

국내 폐기물소각시설 배출가스와 소각재, 환경 매질, 식품 및 인체에서 검출된 다이옥신 농도수준 및 이성질체 유형 특성

김수진*, 박소영, 최승필, 이동수

서울대학교 환경대학원

PCDD/Fs Levels and Congener Pattern Characteristics in Stack Gas and Fly Ash from Waste Incinerators, Environmental Media, Food, and Human Tissues: An Overview

Su-Jin Kim*, Soyoung Park, Seung-Pil Choi and Dong Soo Lee

Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Kwanak-ku,
Shilim-dong San 56-1, Seoul 151-742, Korea

ABSTRACT

Since dioxins became a serious concern in Korea, a significant number of investigations have been conducted to address diverse issues related to dioxins. However, the results have not been organized for ready access and use. The principal purposes of this work were to i) provide an archive of dioxin researches in Korea and ii) give an overview of dioxin contamination. The focus of this work was placed on the contamination levels and characteristics concerning the waste incinerators emissions, environmental media, and biological samples (fishes/shellfishes, foods, and human body). Principal component analysis was conducted to identify common and/or unique features and the important variables associated with the congener patterns. From a comprehensive search of academic journals, research and monitoring project reports, dissertations, and periodicals of other forms, a total of 115 counts were found that met the purposes of this study. The contamination levels of various samples were summarized and compared to those reported in foreign literatures. The congener patterns varied largely with environmental media and distinguished particularly by OCDD, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF, and OCDF for the samples within the same media. The proximity to emission sources differentiated the congener patterns in air and soil samples by the fraction of OCDD.

Key words : dioxin, level, congener pattern, environmental media, biological samples

서 론

그간 다이옥신의 독성과 주요 발생원, 노출경로

등에 대한 국외의 연구는 다른 어떤 화학물질보다도 많이 이루어졌다 해도 과언이 아닐 것이다. 국내에서도 쓰레기 소각장의 건설과 더불어 다이옥신의 유해성은 이제 전문가뿐만 아니라 일반인들에게도 매우 잘 알려져 있으며 이 물질에 대한 높은 관심으로 인해 국내에서도 다양한 연구가 이루

*To whom correspondence should be addressed.

Tel: +82-2-880-8829, E-mail: sujjin90@snu.ac.kr

어져 왔다. 우리나라의 경우 90년대부터 특히 소각 시설의 다이옥신 배출과 관련된 조사를 시작으로 환경의 오염도, 인체노출의 중요 경로인 식품의 오염도, 그리고 인체의 오염도에 대한 평가 등의 연구가 꾸준히 진행되어오고 있다. 그러나 이들 연구는 대부분 산발적으로 진행되어 왔으며, 그 결과도 매우 여러 곳에 흩어져 있어서 현재 이들을 효율적으로 찾아 이용하기가 쉽지 않다. 잘 알려져 있는 바와 같이 다이옥신 연구는 많은 시간과 경비를 필요로 한다. 아직 다이옥신에 대한 자체적인 연구결과가 충분하지 못하고 종합적인 관리 정책이 확립되지 않은 우리의 현실에서 이러한 기존의 연구결과를 충분히 활용해야 할 필요는 매우 크다. 따라서 그간의 연구결과들을 모으고 종합적인 시각에서 국내의 오염 수준 및 특성을 파악하고 평가할 수 있게 해주는 기초자료를 제공하는 것은 큰 의미가 있을 것이다.

본 연구에서는 그동안 국내에서 이루어진 다이옥신 조사자료들을 소각시설 배출물(배출가스와 소각재)과 환경 매질(대기 및 토양, 물, 저토), 식품 및 생물체, 인체 등으로 나누어 정리, 분석하여 농도와 이성체 유형의 특성을 검토하였다. 다이옥신의 독성, 생성기작, 배출저감기술에 대한 결과는 검토의 대상에서 제외하였다. 또한 다이옥신은 2,3,7,8 위치가 염소로 치환된 polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins과 polychlorinated dibenzofurans 만을 대상으로 했으며 coplanar PCB 등 유사한 독성을 가지는 다른 다이옥신류의 물질에 대한 국내의 연구결과는 아직은 축적되지 않아서 앞으로의 일로 남겨두었다.

조 사 방 법

1 자료의 수집

국내 논문검색 사이트인 한국학술정보 (<http://search.koreanstudies.net>)와 환경부 환경종합디지털 도서관 (<http://lib.me.go.kr/lib>) 등에서 '다이옥신(dioxin)' 등을 키워드로 검색하여 한국폐기물학회지, 한국환경분석학회지, 국립환경연구원보, 한국분석과학회지 (Analytical Science & Technology), 한국환경과학회지, 서울시 보건환경연구논문집, 대한환

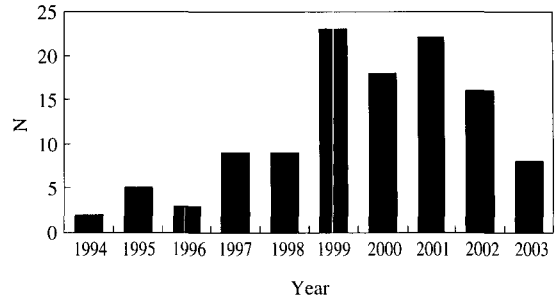


Fig. 1. The number of retrieved publications on dioxins during the period from 1994 to 2003, Korea.

경공학회지, 한국대기환경학회지, 한국공업화학회지, 한국화학회지 등에 발표된 다이옥신관련 논문들을 수집하였다. 그리고 수집된 논문들 중에서 배출원이나 환경 중에서 다이옥신이 측정된 결과가 실린 논문들을 선별하였으며, 여기에 환경관리공단과 국립환경연구원 등 정부기관에서 용역, 발간된 다이옥신관련 연구보고서와 국회도서관에서 검색한 학위논문을 포함하여 총 115편의 국내 다이옥신 조사자료를 수집하였다. 수집된 다이옥신 연구자료들을 발표년도 별로 보면 Fig. 1에 나타난 바와 같이 1994년 이후부터 발표가 되어왔으며 1999년 이후에는 그 수가 보다 증가하였음을 알 수 있다. 연구 내용에 따라 분류하면 소각장의 바닥재나 비산재, 배출가스에서 다이옥신을 검출하거나 소각장주변 대기나 토양에서 다이옥신 농도를 측정하는 사례가 35건, 매립지 침출수 등을 포함하여 수체 및 저토, 생물체, 식품에 대해 조사된 다이옥신 연구는 27건, 다이옥신 발생 및 생성과 관련된 연구가 11건, 다이옥신 배출저감 및 제거효율관련연구가 14건, 인체노출 및 독성연구가 19건, 다이옥신분석방법관련연구가 9건으로 나타났다. 본 연구에서는 이들 자료 중 소각장의 소각재 및 배출가스, 환경 매질(대기, 토양, 수체, 저토, 생물)과 식품 및 인체 시료에서 측정된 다이옥신 조사자료들에 대해 정리, 분석하였다.

2. 자료분석방법

수집된 조사연구 결과들을 조사대상 시료별 - 배출원(소각시설), 환경 매질, 어패류 및 식품과 인

Table 1. PCDD/Fs in stack samples from incinerators

Incinerator size, waste type	N	PCDDs/Fs (ng/Nm ³)				TEQ (ng-I TEQ/Nm ³)				Sampling period	Reference
		Mean	Sd	Min~Max	PCDDs : Fs	Mean	Sd	Min~Max	PCDDs : Fs		
L ¹⁾ MWI ²⁾	11	74.6	94.9	1.9~249.0	42:58	5.7	8.4	0.1~23.1	25:75	'97.1~'97.5	환경관리공단, 1997
LMWI	2	13.0	8.0	7.4~18.6	63:37	0.5	0.2	0.3~0.6	28:72	1997	정영희 등, 1997; 신선경 등, 1999
LMWI-boiler outlet	1	84.0	.	.	48:52	.	.	.	.	.	임채현 등, 1997
LMWI	1	2.5	.	.	43:57	.	.	.	41:59	.	"
LMWI-boiler outlet	9	151.9	242.5	24.0~785.7	45:55	5.8	9.1	1.2~29.6	22:78	'98.2~'98.11	김삼권 등, 2000
LMWI	9	12.9	16.1	0.2~43.0	41:59	1.0	0.9	0.0~4.6	24:76	"	"
LMWI-inlet of bagfilter	2	213	.	.	23:77	9.1	.	.	9:91	2000	이재효 등, 2000
LMWI	3	5.7	.	.	69:31	0.2	.	.	39:61	"	"
LMWI	12	1824.3	4387.7	1.0~15300.3	28:72	32.3	36.5	0.2~129.4	20:80	'99.7~'00.2	국립환경연구원, 2000
LMWI	1	382.3	.	.	29:71	36.5	.	.	17:83	1999~2000	오정은, 2001
MS ³⁾ HWI ⁴⁾ , MWI, IWI ⁵⁾	3	94.7	109.2	14.2~219.0	24:6	7.5	8.9	1.3~17.6	34:66	'97.7~'97.11	환경관리공단, 1997
MS MWI	14	653.5	1028.1	3.3~3628.2	24:76	68.3	124.0	0.5~424.2	20:80	'99.7~'00.2	국립환경연구원, 2000
MS IWI	24	399.1	627.6	0.0~2345.4	27:73	30.8	53.9	0.0~205.2	20:80	"	"
MS MWI, IWI	3	767.5	482.8	427.5~1320.1	24:76	39.2	14.4	26.9~55	20:80	'99.8~'00.1	국립환경연구원, 2000
Paper-Mill sludge waste Inc.	4	1.1	1.7	0.1~3.6	65:35	0.0	0.0	0.0~0.1	38:62	2000	김종국 등, 2000
MS MWI	10	1865.2	2802.5	55.7~8941.5	30:70	147.9	182.5	6.0~517.9	25:75	'01.7~'02.5	국립환경연구원, 2002
MS MWI, IWI	10	936.8	2134.0	43.3~6990.1	24:76	37.1	40.6	3.6~116.7	22:78	"	"
M ⁶⁾ IWI (A)	7	753.6	482.1	234.2~1458.0	23:77	22.2	13.6	6.9~49.7	12:88	'01.3~'01.11	심영주, 2002
M IWI (B)	4	4655.6	5120.0	900.8~12020.4	12:88	54.5	56.8	16.4~137.8	9:91	"	"
M Infectious Waste Inc.	6	183.2	365.4	2.4~927.0	23:77	19.21	39.4	0.1~99.5	23:77	'01.11~'01.12	박인출, 2002

¹⁾L : Large scale; ²⁾MWI : Municipal Waste Incinerator; ³⁾MS : Middle or Small scale; ⁴⁾HWI : Hospital Waste Incinerator; ⁵⁾IWI : Industrial Waste Incinerator; ⁶⁾M : Middle scale

체 - 로 분류하고 각 연구사례별로 총농도와 International-TEF를 적용한 TEQ농도 수준 및 17개 2, 3, 7, 8-이성질체의 유형 (congener pattern)을 %농도로 나타내어 비교하였다. 정리된 자료들의 시료별 이성질체 유형 특성을 알아보기 위해서 17개 이성질체를 변수로 하여 다변량 통계분석 방법의 하나인 주성분분석법 (PCA, principal component analysis)을 적용, 분석하였다. 그러나 소각시설을 제외한 환경매질 및 식품, 생물체, 인체 시료의 경우, 다이옥신 조사분석 방법에 대한 지침이 아직 마련되어 있지 않으며, 전체적으로 시료별 조사사례가 충분하지 않고 결과데이터들의 변이가 큰 점 등으로 볼 때 자료들의 대표성이 취약하며 신뢰도 높은 결론을 도출해 내기는 아직 어려운 것으로 판단되었다. 그러므로 본 연구에서는 지금까지의 연구조사 사례별 결과들을 취합하여 전반적인 현황을 정리하고 그대로 보여주는데 보다 주력하고자 하였음을 미리 밝혀 둔다.

결과 및 고찰

1. 소각시설의 다이옥신 배출 특성

다이옥신은 염소를 포함하고 있는 유기화합물의 연소과정과 열공정, 제조제 등 염소계 화학물질의 제조과정, 그리고 목재의 염소 표백공정에서 비의도적인 부산물로 발생된다. 그 중에서도 소각시설은 대기로의 다이옥신 배출의 기여도가 가장 큰 오염원으로 알려져 있다 (UNEP, 1999). 이는 우리나라도 예외가 아니어서 예비 평가 (환경부, 2001)에 따르면 소각로가 다이옥신의 가장 중요한 배출 원인 것으로 파악된다.

1) 배출가스

배출가스 자료들의 조사대상 소각시설별 17개 2, 3, 7, 8-치환이성질체 다이옥신의 총농도 및 TEQ농도 분포를 Table 1에 나타내었다.

전체 농도 수준을 소각시설별로 비교해 보면, 시

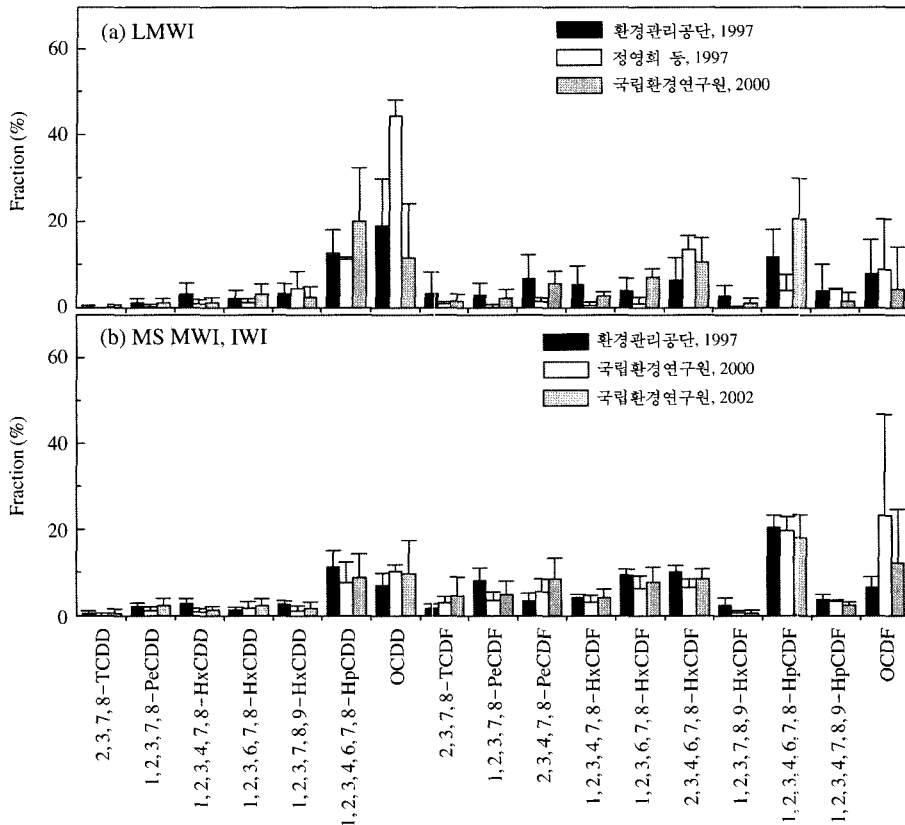


Fig. 2. Congener patterns of PCDD/Fs in stack emission samples as grouped by incinerator size and waste type : (a) large scale MWI, (b) medium or small scale MWI and IWI.

간당 소각 처리용량이 2톤 이상인 대형 도시생활 폐기물 소각시설 (municipal waste incinerator, MWI)의 배출 수준은 중소형 병원/생활/사업장 폐기물 소각시설에 비해 전반적으로 낮고, 다이옥신류의 농도비율에 비해 퓨란류가 차지하는 농도비율도 보다 낮다. 대형 소각시설과 중소형 소각시설을 총 농도와 TEQ농도, 다이옥신과 퓨란의 농도비율(질량기준)값으로 비교했을 때 신뢰도 95% 수준에서 모두 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 그러나 TEQ농도를 기준으로 한 다이옥신과 퓨란의 농도비율은 두 집단 간에 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다. 또한 이재효 등(2000)의 조사에서는, 대형 도시생활폐기물 소각시설의 백필터 전단부와 굴뚝의 배가스 중 다이옥신류와 퓨란류 농도비율이 23:77에서 69:31로 크게 달라지는 결과로부터 시설 및 운전조건을 개선함으로써 전

체적으로 다이옥신류보다 퓨란류의 처리효율이 높아짐을 보고하였다.

17개 이성질체 유형을 비교해보면, 대형 도시생활폐기물 소각시설의 경우(Fig. 2(a)), OCDD가 전체 이성질체 중에서 가장 높은 비율을 나타내었고, 다음으로 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD, 2,3,4,6,7,8-HxCDF, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF, OCDF의 농도비율이 높게 나타났다. 중소형 생활 및 사업장 폐기물 소각시설(Fig. 2(b))에서는 OCDD가 차지하는 농도비율이 보다 작고 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF와 OCDF를 비롯하여 퓨란류의 농도비율이 높은 경향을 보이는데 특히 저염소 퓨란류의 농도가 고르게 상승되어 있다. 또 대형 소각시설과는 달리 중소형 소각시설의 경우 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD와 OCDD의 비율은 비슷하고 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF는 OCDF보다 농도비율이 크게 나타나는 공통점을 발

Table 2. PCDD/Fs in bottom and fly ashes from incinerator

Incinerator size, waste type	N	PCDDs/Fs (ng/g)				TEQ (ng-I TEQ/g)				Sampling period	Reference
		Mean	Sd	Min~Max	PCDDs : Fs	Mean	Sd	Min~Max	PCDDs : Fs		
LMWI-bottom ash	1	4.4	.	.	65:35	0.1	.	.	61:39	.	장윤영 등, 1995
LMWI-fly ash	9	433.3	542.9	7.9~1360.3	64:36	6.8	7.8	0.2~20.6	58:42	'97.1~'97.5	환경관리공단, 1997
LMWI-fly ash	1	86.9	.	.	57:43	.	.	.	.	.	임채현 등, 1997
LMWI-fly ash	1	9793	.	.	84:16	68	.	.	.	.	이동훈 등, 1998
LMWI(A)-fly ash	1	24.8	.	.	66:34	0.9	.	.	51:49	1997.11	최기인 등, 1999
LMWI(B)-fly ash	1	100506.2	.	.	74:26	2251.8	.	.	49:51	"	"
MS HWI, MWI, IWI-fly ash	5	93.9	161.4	2.9~381.5	41:59	6.8	11.4	0.2~27.1	45:55	'97.7~'97.11	환경관리공단, 1997
S MWI-fly ash	1	303.4	.	.	.	9.4	.	.	.	.	이동훈 등, 1998

전할 수 있었다.

한편, 환경부에 의해 2001년부터 국내 다이옥신 배출량 조사가 진행되고 있는데 2005년까지 소각 시설, 철강시설, 비철금속, 화력발전소 등의 점오염원과 자동차 등 비점오염원에 대한 배출량 조사가 완료될 계획이다. 그 이후에는 보다 충분한 자료를 바탕으로 배출원별 배출농도 및 대표적인 배출원별 이성질체 유형 특성 등에 대한 분석이 좀더 명확하게 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

2) 소각재

대형 도시생활폐기물 소각시설과 중소형 생활, 병원, 사업장 폐기물 소각장에서 조사된 바닥재와 비산재 중 다이옥신 농도를 Table 2에 정리하였다.

소각시설 규모에 따른 비산재의 이성질체 유형 차이는 Fig. 3의 (a)와 (b)에 나타내었다. 중소형 소각시설의 경우 OCDD의 비율이 작고 퓨란류의 비율이 더 크다는 점에서 배출가스에서의 소각시설 규모에 따른 유형의 차이와 같은 경향을 보이고 있다. Fig. 3의 (c)에 나타낸 바닥재는 이성질체 유형이 비산재와 전반적으로 유사하지만 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9-HpCDF의 비율이 보다 높은 특징을 보이고 있다.

2. 환경 매질별 다이옥신 잔류 특성

일부 폐수나 폐기물로부터 직접 배출되는 경우를 제외하면 다이옥신은 소각장의 굴뚝과 같은 발생원으로부터 주로 대기 중으로 먼저 배출된다. 배출된 다이옥신은 주로 건식 침적과 습식 침적, 그리고 다른 여러 경로를 통하여 토양 및 수체, 저토, 동식물로 이동, 축적되게 된다. 따라서 다이옥신의

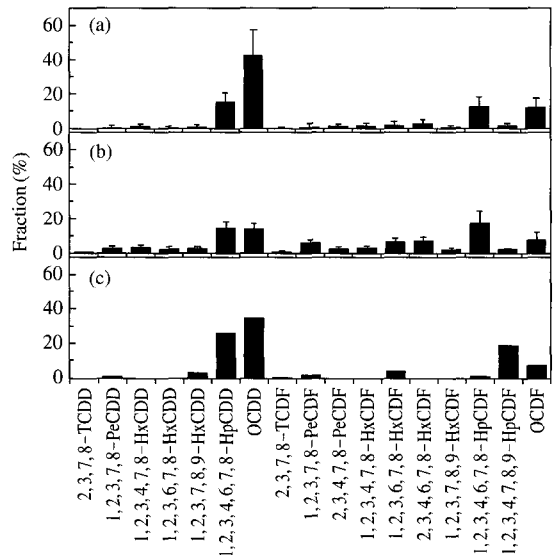


Fig. 3. Congener patterns of PCDD/Fs in incinerator ashes : (a) fly ash from LMWI (환경관리공단, 1997), (b) fly ash from MS HWI, MWI, IWI (환경관리공단, 1997), (c) bottom ash from LMWI (장윤영 등, 1995).

오염도와 그 유형은 비록 매질의 특성에 의해 영향을 받고 또한 이동과정에서 변화가 일어난다 하더라도 여러 매체 간에 상호 연관성 혹은 공통점을 보일 가능성을 가지게 된다.

1) 대기

대기 중에서 측정된 다이옥신 연구조사결과를 Table 3에 나타내었다.

오정은(2001)과 서정호 등(2001)에 의해 소각시

Table 3. PCDD/Fs levels in air

Sampling site	N	PCDDs/Fs (pg/Nm ³)				TEQ (pg-I TEQ/Nm ³)				Sampling period	Reference
		Mean	Sd	Min~Max	PCDDs:F _s	Mean	Sd	Min~Max	PCDDs:F _s		
Near incinerator	10	11.2	5.8	3.9~21.1	44:56	0.7	0.3	0.2~1.2	29:71	'99.8~'00.5	오정은, 2001
Near incinerator (Bucheon)	2	13.9	2.6	12.1~15.8	15:85	0.6	0.1	0.5~0.6	17:83	1999	서정호 등, 2001
Urban area (Seoul station)	2	0.9	0.2	0.8~1.0	18:82	0.1	0.0	0.0~0.1	17:83	'98.3, '99.1	김신도 등, 1999
Near industrial complex (Incheon)	2	3.4	0.3	3.1~3.6	22:78	0.3	0.1	0.2~0.3	13:87	"	"
Urban area (Pusan)	24	.	.	1.1~24.3	.	.	.	0.0~0.3	.	'99.3~'00.4	김영교 등, 2001
Land use type											
-residential area	.	3.9	.	.	32:68	0.2	.	.	.	.	홍희택 등, 2001
-commercial area	.	3.6	.	.	35:65	0.3	.	.	.	.	"
-industrial area	.	7.2	.	.	38:62	0.3	.	.	.	.	"
-rural	3	.	.	.	.	0.1	.	0.0~0.1	.	'01.6~'02.5	국립환경연구원, 2002
Size of the city											
-large (Seoul, Taejon)	.	9.7	.	.	32:68	0.6	.	.	23:77	.	홍희택 등, 2001
-middle (Jeonju)	.	4.5	.	.	42:58	0.2	.	.	29:71	.	"
-small (Cheonan, Kunsan)	.	1.3	.	.	35:65	0.1	.	.	27:73	.	"
Size of the city											
-large	15	.	.	.	.	0.2	.	0.1~0.7	.	'01.6~'02.5	국립환경연구원, 2002
-middle or small	8	.	.	.	.	0.6	.	0.0~1.7	.	"	"
Nationwide	24	.	.	.	30:70	0.4	0.9	0~4.5	15:85	'99.4~'00.3	국립환경연구원, 2000
"	26	.	.	.	.	0.3	0.4	0.0~1.5	.	'00.6~'01.3	국립환경연구원, 2001
"	26	.	.	.	.	0.3	.	0.0~1.7	.	'01.6~'02.5	국립환경연구원, 2002

설주변 대기 중 다이옥신 농도가 조사되었다. 김신도 등(1999)은 도심지역과 공단지역의 대기 중 다이옥신 농도를, 교통량이 많은 서울역과 남서쪽에 남동공단이 위치하고 있는 인천시 가좌동에서 각각 측정하였다. 홍희택(2001)은 도시규모별 대기 중 다이옥신 농도분포를 조사하였는데 인구 100만 이상인 서울과 대전을 대도시로, 인구 약 60만인 전주를 중도시로, 인구 30만 미만인 군산과 천안지역을 소도시로 분류 조사하였다. 내분비계장애물질 환경잔류실태조사에서는 1999년에 전국 15개 지역 24개 지점, 2000년과 2001년에는 전국 17개 지역 26개 지점에서 대기 중 다이옥신 농도를 측정하였는데 연도별로 평균값을 나타내었다. 또 2001년의 결과에 대해서는 전국 대기 중 검출농도를 도시규모별로 분류해서 나타내었다(국립환경연구원, 2002).

대체로 도시규모가 클수록 대기 중 다이옥신 농도가 높은 경향을 나타내고, 토지이용 형태에 따라

서는 소각시설주변 대기가 가장 높고, 주거지역은 공업지역이나 상업지역보다 다소 낮은 것으로 보인다. 그러나 조사된 자료 수가 많지 않아서 통계적으로 유의한 차이가 있는지는 아직 판단하기 어렵다. Fig. 4의 다이옥신 이성질체 유형을 보면, 오정은(2001)의 결과는 예외적이지만, 소각장근처와 도시지역의 대기에서 OCDD의 농도비율이 낮고 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-HpCDF와 OCDF의 농도비율은 다소 높게 나타났는데, 이것은 소각시설 배출가스 및 비산재의 이성질체 유형과 비슷한 형태로서 소각장에 의한 영향이 있음을 시사한다.

다이옥신은 증기압이 매우 낮아서 대기 중 상당한 부분이 입자에 흡착된 상태로 존재하게 되고 주로 전식침적이나 습식침적 과정에 의해 토양이나 수체로 이동하게 된다. 오정은(2001)은 여름과 가을에 소각장 근처와 소각장에서 10 km 떨어진 지역(suburban)에서 입자상의 농도와 다이옥신의 농도를 조사했다. 소각장근처에서 입자상 농도는

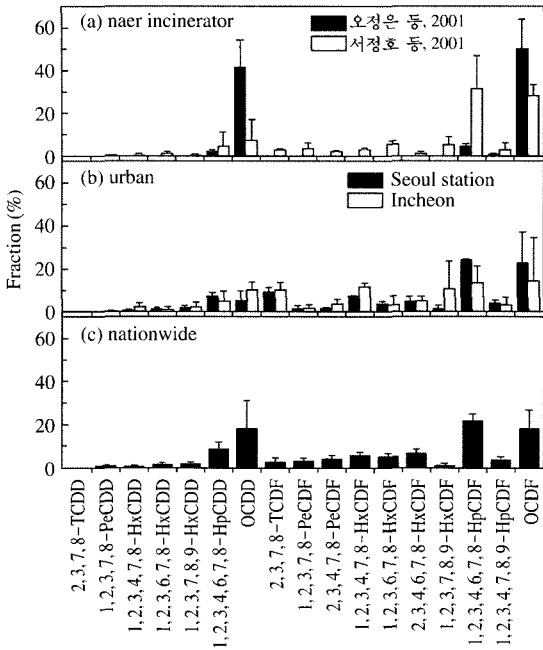


Fig. 4. Congener patterns of PCDD/Fs in air: (a) near incinerator, (b) urban near industrial complex (김신도 등, 1999), (c) nationwide (국립환경연구원, 2000).

62.68 ~ 160.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 다이옥신은 0.66 pg-ITEQ/ m^3 , 소각장에서 10 km 떨어진 지점의 입자상 농도는 39.75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 다이옥신은 0.043 pg-ITEQ/ m^3 로 분석되어 오염지역에서 입자상 농도와 다이옥신의 농도가 모두 높게 나타난 결과를 보여주었다. 또 저염소 다이옥신은 큰 입자(>2.1 μm)에 흡착되고, 고염소 다이옥신은 보다 작은 입자(<2.1 μm)에 흡착되어 검출되는 경향을 보고하였다. 오정은(2001)과 홍희택(2001)은 각각 가스상과 입자상에서 검출되는 다이옥신의 이성체별 농도 분포를 조사했는데, 입자상에서는 7~8개 염소가 치환된 다이옥신의 농도비율이 보다 높은 비율로 존재하며 반대로 가스상에서는 4~5개 염소가 치환된 다이옥신이 좀더 높은 비율로 존재하는 것으로 조사되었다. 또한, 5 ~ 25°C의 온도구간에서 다이옥신의 입자상 비율은 온도가 낮아질수록 증가하는 것으로 조사되었다(홍희택, 2001). 이러한 결과들은 다이옥신의 물리화학적 특성 및 흡착이론에 근거한 예상과 부합된 것이다.

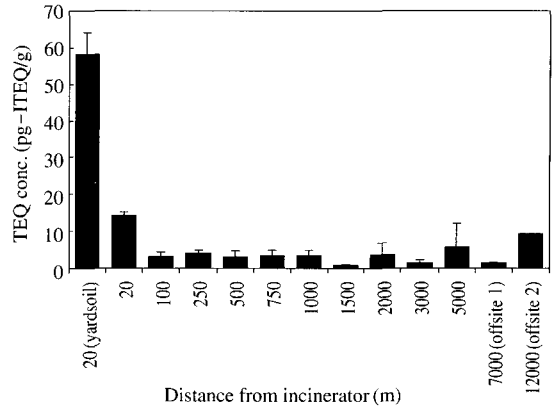


Fig. 5. The decline of PCDD/Fs level in soil with distance from incinerator (평택시, 2003).

2) 토양

소각시설 주변 및 일반 토양에서 조사된 다이옥신의 농도수준 및 이성질체 유형을 Table 4에 나타내었다.

류인철 등(1999)은 서울시 소각장 주변, 청정지역, 공원녹지, 고수부지, 매립지 토양의 5개 지점의 표토층(0 ~ 15 cm) 토양시료를 채취하고 다이옥신 농도분포를 조사하였는데, 목동자원회수시설의 소각장 오염원이 가까이 있는 지점이 오염원이 없는 지역 토양보다 약 8배 높은 농도로 검출되었으며 매립지 토양에서도 비교적 높은 농도가 검출되었다. 오정은(2001)은 생활 및 사업장폐기물 소각시설주변과 대조지역에서 0 ~ 10cm의 토양을 채취하였는데, 소각장 주변 지역이 대조지역보다 약 20배 높은 것으로 나타났다. 김종국 등(2001)은 제지공장 소각로 주변 약 2km 이내 3개 지점에서 지표면으로부터 5cm까지의 토양을 채취하고 발생원으로부터 20km 이상 떨어진 산간 지역에서 1개의 대조군 시료를 채취하였는데 소각장 주변의 농도가 2배 정도로 높게 조사되었다. 평택시(2003)의 '(주)금호환경 주변지역 환경 및 주민건강조사'에서는 소각시설주변 5km 이내 지역(42개 지점)과 소각시설에서 약 7km 떨어진 대조 지역에서 주로 논 토양을 채취하였다. 전반적인 거리에 따른 오염수준을 TEQ농도로 보면 Fig. 5와 같다. 소각장 바로 인접한 수백 미터 지점의 토양 오염도는 대조지역의 10배까지 농도가 높은 것으로 조사되었고 1km를 벗어나면서부터 농도수준이 크게 감소되어 소

Table 4. PCDD/Fs levels in soil

Sampling site	N	PCDDs/Fs (pg/g)				TEQ (pg-1 TEQ/g)				Sampling period	Reference
		Mean	Sd	Min~Max	PCDDs : Fs	Mean	Sd	Min~Max	PCDDs : Fs		
Near Masan bay	·	·	·	71~12107	·	·	·	0.2~3719	·	·	임숙현 등, 1995
Near incinerator (Seoul)	1	165.3	·	·	50:50	6.6	·	·	30:70	'99.4~'99.7	류인철 등, 1999
Near incinerator (≤2 km)	10	562.0	661.1	16.0~1996.4	53:47	19.1	23.4	1.2~75.0	80:20	1999~2000	오정은, 2001
Near paper-mill incinerator (≤2 km)	3	43.2	35.4	3.3~71.2	54:46	1.9	1.5	0.2~2.9	23:77	·	김종국 등, 2002
Near incinerator (Pyeongtaek) (≤1 km)	26	249.6	221.7	45.0~1014.4	69:1	4.8	3.7	1.4~15.5	63:37	'02.12~'03.3	평택시, 2003
Park (Seoul)	1	78.9	·	·	88:12	2.8	·	·	47:53	'99.4~'99.7	류인철 등, 1999
Landfill (Seoul)	1	262.9	·	·	91:9	3.3	·	·	69:41	"	"
Terrace (Seoul)	1	72.7	·	·	66:34	1.7	·	·	45:55	"	"
Clean area (Seoul)	1	38.0	·	·	92:8	0.9	·	·	46:54	"	"
Urban (Taegu)	9	·	·	121.6~1244.1	·	·	·	1.1~17.3	·	1999.10	김동환 등, 2001
Urban area (Pusan)	15	657.9	·	·	62:38	10.5	·	·	54:46	'98.5~'98.6	김상조, 2001
" (Taegu)	7	576.1	·	·	51:49	7.0	·	·	26:74	1999.10	"
" (Kwangju)	11	379.2	·	·	40:60	4.2	·	·	22:78	1999.10	"
" (Changwon)	15	206.8	·	·	49:51	4.2	·	·	52:48	1999.9	"
" (Cheju)	3	146.7	·	·	84:16	0.5	·	·	58:42	1999.10	"
Background (rural area)	1	128.9	·	·	89:11	0.9	·	·	62:38	1999~2000	오정은, 2001
Background area (20 km from paper-mill incinerator)	1	14.2	·	·	77:23	0.8	·	·	54:45	·	김종국 등, 2002
Background area (Kisan) (7 km from incinerator)	2	127.7	76.7	73.5~182.0	73:27	1.5	0.2	1.3~1.6	88:12	'02.12~'03.3	평택시, 2003
Nationwide	35	380.4	1641.3	0~9735.8	93:7	0.9	3.8	0.0~22.4	74:26	'99.4~'00.3	국립환경연구원, 2000
"	35	·	·	·	·	1.7	6.8	0.0~40.5	·	'00.4~'01.9	국립환경연구원, 2001
"	35	·	·	·	·	1.7	·	0.0~43.3	·	'01.4, '01.10	국립환경연구원, 2002
Land use type											
-agricultural field	25	·	·	·	·	·	·	0.0~43.3	·	"	"
-industrial field	4	·	·	·	·	·	·	0.0~0.6	·	"	"
-athletic field and park	3	·	·	·	·	·	·	0.0~0.1	·	"	"
-others	4	·	·	·	·	·	·	0.0~1.8	·	"	"

각장으로부터 거리가 멀어질수록 농도가 줄어드는 경향을 보여주고 있다. 또, 총농도 수준 및 이성질체별 농도 분석을 통해 소각장 영향이 비교적 명확히 나타나는 거리는 1~1.5 km로 분석하고 있고 1 km 이후 지점의 토양에서 높은 농도의 다이옥신이 검출된 곳은 농약 등 다른 오염원의 영향일 가능성이 있는 것으로 보았다. 한편 김동환 등(1999)과 김상조(2001)는 도시지역에서 표층으로부터 30×30×5 cm 크기의 토양을 채취하고 다이옥신 농도를 조사하였다. 결과, 부산시의 평균 농도 수준이

가장 높고 제주가 가장 낮은 것으로 조사되었는데, 제주의 경우 다이옥신류의 농도 비율도 매우 높아 농도수준과 함께 background 지역과 유사한 특성을 나타내었다. 국립환경연구원의 내분비계장애 물질 잔류실태 조사에서는 1999년부터 2001년까지 전국 35개 지점의 토양 중 다이옥신 농도를 조사하였다. 2001년 조사결과에 대해서는 토지 용도별로 분류한 결과도 같이 나타내었는데, 같은 토지용도 내에서도 오염 농도 수준은 매우 다양하게 나타났다.

Table 5. PCDD/Fs levels in water and wastewater

Sampling site	N	PCDDs/Fs (pg/ l)				TEQ (pg-I TEQ/ l)				Sampling period	Reference
		Mean	Sd	Min~Max	PCDDs :Fs	Mean	Sd	Min~Max	PCDDs :Fs		
Nanji landfill leachate	4	273.5	203.3	97.5~493.7	63:37	14.3	1.4	13.0~16.1	39:61	'98.12~'99.3	이윤국 등, 1999
Landfill leachate-raw	2	765.6	203.4	621.8~909.4	.	6.8	1.6	5.6~7.9	.	'93~'97.5	김용진 등, 2001
Landfill leachate-effluent	2	27.2	24.3	10~44.3	.	0.9	0.2	0.8~1.1	.	"	"
Paper-mill wastewater (acid)											
-before bleaching	1	164.9	.	.	61:39	7.8	.	.	38:62	.	정영희 등, 1998, 2001
-after bleaching	1	1291.9	.	.	61:39	51.4	.	.	37:63	.	"
Paper-mill wastewater (alkali)											
-recovery	1	504.1	.	.	24:76	42.2	.	.	18:82	.	신성경 등, 2001
-finishing	1	379.5	.	.	38:62	22.7	.	.	8:92	.	"
-catch basin influent	1	3302.6	.	.	97:3	226.6	.	.	96:4	.	"
-catch basin effluent	1	584.8	.	.	62:38	37.7	.	.	59:41	.	"
Rivers, lakes											
-nationwide	43	3.6	5.0	0~20.6	84:16	0.1	0.1	0~0.5	51:37	'99.9~'99.10	국립환경연구원, 2000
"	43	.	.	.	.	0.1	.	<0.0~1.1	.	'00.5~6, '00.9~10	국립환경연구원, 2001
"	43	.	.	.	.	0.1	.	0~1.0	.	'01.4~.5, '01.9~10	국립환경연구원, 2002
Water type											
-rivers	34	.	.	.	.	0.055	.	.	.	"	"
-lakes	5	.	.	.	.	0.012	.	.	.	"	"
-effluents	4	.	.	.	.	0.298	.	.	.	"	"

이상의 모든 조사결과들은 오염원 주변지역의 토양오염도가 상승되어 있다는 점을 공통적으로 나타내고 있으며 이는 토양이 오염원의 영향을 평가하기에 적절한 매질임을 보여준다. 특히 오염도를 TEQ농도 기준으로 평가하는 경우 그 경향이 더욱 뚜렷하게 나타나는 경우가 있다. 비록 쌍체 t-검정을 이용하여 오염원 주변지역과 대조 지역의 농도수준을 비교했을 때 그 차이가 유의하게 나타나지는 않았지만, Fig. 6에 나타난 바와 같이 이성질체 유형을 보면 소각시설 주변지역으로부터 대조지역과 일반 토양으로 갈수록 OCDD의 농도 비율은 증가되고 퓨란류의 농도비율은 감소되는 경향을 볼 수 있다.

3) 물

다이옥신은 대기로부터 지표수로 유입된다. 또한 펄프 및 제지공정의 폐수, 폐기물매립지의 침출수 등을 통해 유입되기도 한다. 특히, 다이옥신의 주요 발생원으로 알려져 있는 소각시설에 대한 규제기

준이 강화되어 소각공정개선과 오염방지시설의 설치를 통해 대기 중으로의 다이옥신 배출은 감소되고 있으나 그 결과 비산재와 활성탄에 포획된 다이옥신류는 침출수의 형태로 다시 유출될 가능성이 커지고 있다. Table 5에 주요 지표수와 폐수 중의 다이옥신 오염도를 요약하였다.

1999년도에 국립환경연구원에서는 수도권에서 배출되어지는 일반 및 산업폐기물이 매립된 난지도 매립지 침출수 발생 지점 4곳의 다이옥신 농도를 조사하였다(이윤국의, 1999). 김용진 등(2001)은 도시생활폐기물을 주로 매립하고 일부의 슬러지류, 건설잔재 등의 사업장 폐기물이 반입되는 한 매립지에서 매립지 침출 원수와 방류수 중 다이옥신을 2회씩 채취 분석하였는데, 침출수 처리 시설을 모두 거친 방류수에서의 농도가 크게 줄었으나 소각재가 주로 매립되어 있는 일본의 매립지 침출수 조사결과보다 5~25배 이상 높고, 방류수 농도는 2~170배까지 높은 것으로 보고하였다. 정영희 등

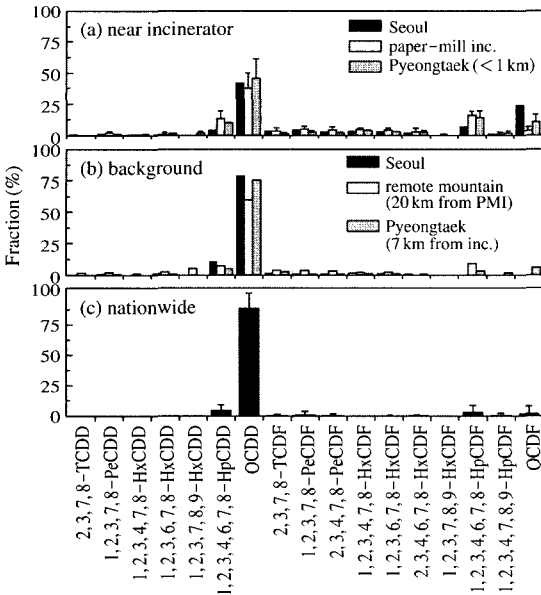


Fig. 6. Congener patterns of PCDD/Fs in soil by distance from incinerator: (a) near incinerator (유인철 등, 1999; 김중국 등, 2002; 평택시, 2003), (b) background (유인철 등, 1999; 김중국 등, 2002; 평택시, 2003), (c) nationwide (국립환경연구원, 2000).

(1998, 2001)과 신선경 등(2001)은 펄프제지 폐수 배출시설의 공정별 폐수를 채취, 다이옥신을 분석하고 이성질체 농도비율을 비교하였다. 제지·펄프 공정 중 발생하는 폐수는 표백공정에서 발생하는 산성 및 알칼리 폐수와 표백공정이외의 회수, 증해 및 마감공정 중 발생하는 알칼리폐수로 분류된다. 산성폐수 중 염소표백공정 전단에서 후단보다 약 8배 높은 농도의 다이옥신이 검출되어 염소표백공정 중 다이옥신이 많이 생성되었음을 알 수 있었다. 또 산성폐수에 비하여 알칼리폐수에서 배출농도가 높게 나타났다. 특히 공정별 알칼리 폐수와 표백공정 중 발생한 알칼리 폐수가 포함된 집수조 알칼리 폐수의 농도 및 배출 패턴이 다른 경향을 보이고 있는데 이는 표백공정 중 생성된 알칼리 폐수의 다이옥신 배출유형이 다르기 때문으로 보았다. 알칼리 폐수에서 방류수 중 배출되는 다이옥신류의 농도는 37.7 pg-ITEQ/L로, 같은 표백단계를 포함하고 있는 스웨덴의 펄프제조시설의 방류수 농도의 42.9~82.5 ng-ITEQ/L보다 조금 낮은 농도로 배출되고 있는 것으로 보고되었다(정영희

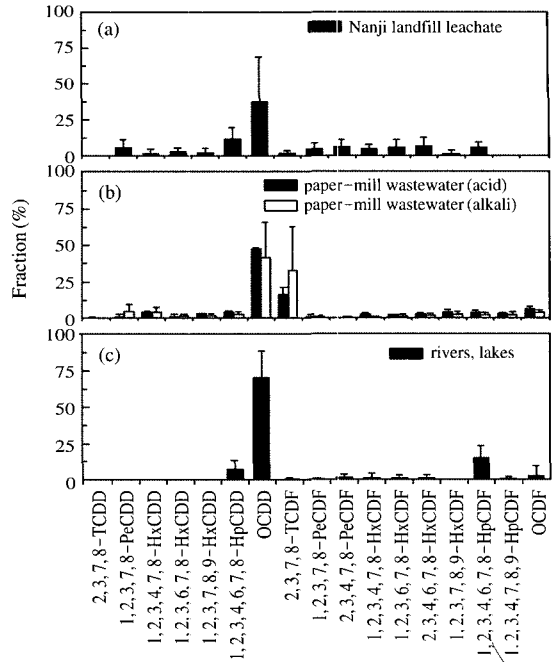


Fig. 7. Congener patterns of PCDD/Fs in water and wastewater: (a) landfill leachate (이윤국 등, 1999), (b) paper-mill sludge waste water (정영희 등, 1998; 정영희 등, 2001; 신선경 등, 2001), (c) rivers and lakes (국립환경연구원, 2000).

등, 1998). 국립환경연구원의 내분비계장애물질 잔류실태 조사에서는 1999년부터 2001년까지 전국 43개 지점의 하천, 호수, 방류수 중 다이옥신 농도를 조사하였다.

Fig. 7의 이성질체 유형을 보면 난지매립지 침출수의 경우 OCDD의 비율이 평균 38%이고, 퓨란류의 농도 비율이 고르게 분포하고 있다. 제지폐수에서의 OCDD의 비율은 산성과 알칼리폐수에서 모두 평균 40%를 넘었고, OCDD 다음으로 2,3,7,8-TCDF가 차지하는 농도비율이 높게 나타난 점이 특이하다. 환경부의 내분비계장애물질 환경잔류농도조사 사업에서 실시한 전국 43개 지점의 이성질체 유형을 검토한 결과, OCDD의 농도비율이 평균 70%이고 저염소 퓨란류는 매우 낮아서 오염이 덜된 환경일수록 OCDD비율이 증가하고 저염소 퓨란류의 비율은 감소되는 경향을 보이고 있다. 이는 대기 및 토양 시료에서의 경우와 일관성이 있는 경향이며 또한 오염된 지역의 이성질체 유형은 모

Table 6. PCDD/Fs levels in sediment

Sampling site	N	PCDDs/Fs (pg/g d.w.)				TEQ (pg-I TEQ/g d.w.)				Sampling period	Reference
		Mean	Sd	Min~Max	PCDDs:F _s	Mean	Sd	Min~Max	PCDDs:F _s		
Masan bay	11	.	.	.	31:69	.	.	1~76	.	1992.5	임숙현 등, 1995, 2002 G. Ok <i>et al.</i> , 1999
Coast	.	.	.	.	.	.	2~32	.	.		
Southeast coast;											
-Pohang (Youngil bay)	5	.	.	.	40:60	5.9	1.7	4.4~8.6	29:71	2000.2	H. Moon <i>et al.</i> , 2002
-Pusan bay	5	.	.	.	68:32	2.6	1.9	1.2~5.9	42:58	"	"
-Jinhae	5	.	.	.	65:35	2.1	1.0	0.5~3.2	41:59	"	"
-Ulsan	6	.	.	.	67:33	0.8	0.2	0.6~1.2	43:57	"	"
Ulsan bay	22	271.3	.	.	79:21	3.2	.	1.3~5.5	33:67	2000.11	H. Moon <i>et al.</i> , 2002
Jeonju river	4	8.9	8.0	2.5~20.1	74:26	0.2	0.2	0.1~0.4	32:68	1999.11	김종국 등, 2000
Han river (Group-1)	7	7.7	4.2	3.9~14.0	64:36	0.2	0.1	0.1~0.2	23:77	2000.1	최용석, 2000
" (Group-2)	7	104.7	99.2	24.7~245.2	68:32	2.0	1.9	0.2~4.4	18:82	2000.3	"
Rivers, lakes											
-nationwide	11	.	.	.	59:41	0.2	.	0~1.0	39:61	'99.9~'99.10	국립환경연구원, 2000
"	11	.	.	.	.	0.1	.	0~0.2	.	'00.4~6, '00.9~10	국립환경연구원, 2001
"	11	.	.	.	.	0.1	.	0~0.5	.	'01.4~5, '01.9~10	국립환경연구원, 2002

두 소각로 배출가스의 유형과 유사한 특성을 나타내고 있다는 점이 주목된다.

4) 저토

다이옥신은 전반적으로 물에 잘 녹지 않는 특성을 가지므로 수체로 유입된 다이옥신은 수체내 부유고형물질들과 함께 가라앉아 저토에 축적되게 된다. Table 6에 국내 해안지역 및 강, 하천, 호소수 저토에서 조사된 다이옥신의 농도 수준을 요약하였다.

임숙현 등(1995)은 마산만의 표층저질시료, 문효방 등(2002)은 남동해안에 있는 산업도시로 둘러싸인 포항, 부산, 울산, 진해의 21개 지역의 저토 시료를 분석하였다. 김종국 등(2000)은 제지공장과 하수처리장 부근 전주천의 상류 1개 지점과 중류 2개 지점, 하류 1개 지점에서 표층 5 cm 부분의 저토 시료를 채취하였다. 최용석(2000)은 한강 본류와 3대 지천(탄천, 안양천, 중랑천)의 저토 10개 지점에서 2개 그룹으로 나눠 총 14개 시료를 채취하였다. 그룹 1은 잠실대교, 성수대교, 성산대교 각각의 하류와 행주대교 50 m 상류지점에서 저토 표층부(0~20 cm)의 시료를 채취하였으며 3대 지천의 시료는 탄천교 하류 양재천과 합류 후 지점에서, 안양천은 고척교 하류에서, 중랑천은 성동교 하류 청계천과 합류된 후 지점에서 채취하였다. 그룹 2는 그룹 1을 채취한 곳 주위의 clay와 silt 성분이

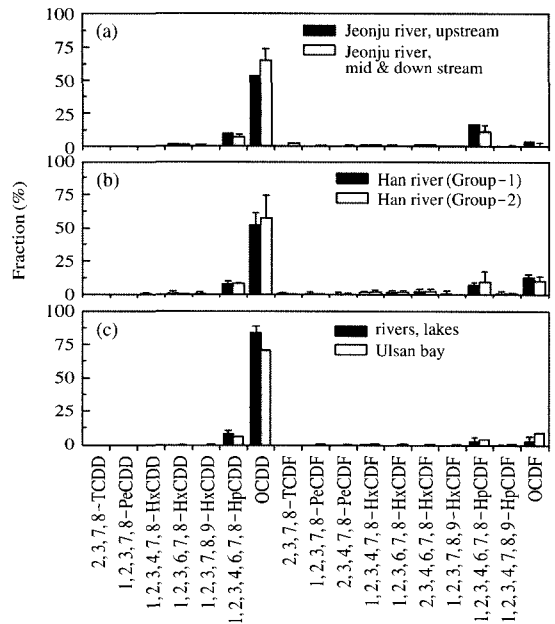


Fig. 8. Congener patterns of PCDD/Fs in sediment: (a) Jeonju river (김종국 등, 2000), (b) Han river (최용석, 2000), (c) rivers and lakes (국립환경연구원, 2000) and Ulsan bay (H. Moon *et al.*, 2002).

많은 지점에서 시료가 채취되었다. 하천의 유심부 저토에는 물의 유동이 커서 모래, 자갈이 많고 연

안부 저토에는 유속이 완만하여 silt, 점토질이 퇴적하므로 오염물질도 많이 축적되는 것으로 알려져 있다. 그룹 1은 주로 sand로 구성되어 있고 그룹 2는 silt와 clay가 주성분이었는데, 그룹 2의 다이옥신 총농도가 그룹 1보다 높게 나타났다. 그러나 TEQ농도 및 다이옥신류와 퓨란류의 농도비율은 큰 차이를 보이지 않았다. 내분비계장애물질 환경잔류실태 조사에서는 하천 저토 7곳, 호소 저토 4곳이 조사되었는데 2001년의 결과를 수역별로 비교하여보면, 호소 저토의 평균 농도(0.204 pg-ITEQ/g)가 하천 저토의 평균 농도(0.019 pg-ITEQ/g)보다 약 10배 높은 것으로 보고되었다.

저토에서 조사된 다이옥신의 농도수준은 마산만을 비롯한 해안지역이 강이나 하천 및 호소수의

저토보다 대체로 다소 높고, 다이옥신류에 비해 퓨란류의 농도비율도 만이나 해안지역이 비교적 높게 나타났다. 해안지역 저토와 하천호소수 저토의 TEQ농도 수준은 통계적으로도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

Fig. 8에 이들 저토 중의 이성질체 유형특성을 나타내었다. 대규모 산업지역이며 항구인 울산만(22개 지점, 표층 0~5 cm)에서 분석한 다이옥신의 이성질체 유형이나 오염원의 영향을 받지 않은 전주천의 상류, 그리고 일반 하천, 호소수에서의 이성질체 유형이 거의 비슷한 경향을 보였다. OCDD의 평균 농도비율이 모두 50%를 넘으면서 매우 높고, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD 및 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF, OCDF가 다음으로 높은 비율을 나타냈다.

Table 7. PCDD/Fs levels in fishes/shellfishes and amphibia

Species	N	PCDDs/Fs (pg/g)				TEQ (pg-I TEQ/g)				Sampling period	Reference
		Mean	Sd	Min~Max	PCDDs : Fs	Mean	Sd	Min~Max	PCDDs : Fs		
Masan bay fishes/shellfishes	.	.	.	52~3419	.	.	.	0.1~22	.	.	임숙현 등, 1995
Coastal shellfishes (Incheon, Kunsan, Yosu, Pusan, Sokcho)	5	16.1	.	11.3~21.5	67:33	0.3	0.1	0.1~0.5	.	1995	한국소비자보호원, 1999 김종국 등, 1999
Oyster (Seoul market)	1	2.1	.	.	57:43	0.2	.	.	28:72	1999.3	"
Fishes-pollack, anchovy (Seoul market)	2	2.8	3.7	0.1~5.4	86:14	0.2	0.2	0.0~0.3	52:48	"	"
Jeonju river fishes	15	13.7	12.2	2.6~52.5	42:58	1.1	0.9	0.1~3.4	32:68	1998.10	김종국 등, 2000
5 large city market											
-mackerel	15	1.0	0.9	.	81:19	0.1	0.1	.	73:27	.	김연제 등, 2002
-pollack	15	2.0	1.7	.	92:8	0.0	0.0	.	14:86	.	"
-yellow corvina	15	1.6	2.7	.	76:24	0.0	0.0	.	53:47	.	"
-cuttlefish	15	2.2	0.8	.	87:13	0.0	0.1	.	28:72	.	"
				PCDDs/Fs (pg/g)				TEQ (pg-WHO TEQ/g)			
5 city fish											
-hairtail, mackerel, yellow corvina	15	.	.	.	.	0.8	0.9	0.0~2.9	.	.	원경풍 등, 2000
5 city shellfish											
-oyster, granulated ark, short-necked clam, sea mussel	20	.	.	.	.	0.1	0.3	0.~1.2	.	.	"
3 city fish											
-mackerel, hairtail, eel, pollack, yellow corvina, flatfish, saury, octopus	27	.	.	.	.	0.4	1.4	0~7.2	.	.	홍무기 등, 2002
3 city shellfish											
-crab, oyster, shrimp short-necked clam	12	.	.	.	.	0.1	0.1	0~0.3	.	.	"
Fishes											
-crucian, carp, dace, gobiidae, dark chub	.	.	.	.	.	.	.	0~1.3	.	'00.12~ '01.12	국립환경연구원, 2002
amphibia-3 frogs	.	.	.	.	.	.	.	0~1.3	.	"	"

시료로 조제한 후 분석하였으며 조개의 연체부 시료는 우리나라 주요연안(인천, 군산, 여수, 부산 속초)에서 구입한 조개를 대상으로 조사하였다(김종국 외, 1999). 김종국 등(2000)은 전주천의 5개 지점-오염원이 없다고 판단되는 전주천 상류의 1개 지점과 중류의 3개 지점, 만경강으로 유입되기 이전인 하류 1개 지점-에서 참마자, 모래무지, 갈겨니, 피라미, 붕어, 잉어 등의 시료를 채취, 분석하였다. 김연제 등(2002)은 국내 5개 대도시, 서울, 춘천, 대전, 광주, 부산에서 각 도시 당 3개 지점의 시장에서 시료를 수집하여 4개 생선(고등어, 명태, 조기, 오징어) 당 5개씩 총 20개의 시료를 분석하였다. 또, 국립환경연구원(2002)의 내분비계장애물질 생태영향조사에서는 전국 주요하천, 호소, 습지 등 31개 지점에서 채집한 어류 및 양서류의 다이옥신 농도가 조사되었다.

구사업으로 2000년에 곡류 2종(쌀, 콩), 육류 3종(소고기, 돼지고기, 닭고기), 난류 1종(계란), 어류 3종(고등어, 갈치, 조기), 패류 4종(굴, 바지락, 꼬막, 홍합) 등 총 5품목 13종 65시료를 서울, 부산, 대전, 광주, 춘천의 5개 도시에서 각각 수집하고 대두 및 쇠고기와 돼지고기의 수입산 2시료를 포함 총 71개 시료 중 다이옥신을 분석하였다(원경풍 등, 2000). 2002년에는 우유 및 유가공품류 2종(우유, 치즈), 유지류 1종(버터)을 추가하고 어패류 13종(고등어, 갈치, 장어, 명태, 조기, 가자미, 삼치, 꽂치, 낙지, 게, 굴, 모시조개, 새우)에 대해서 서울, 광주, 부산의 3개 도시에서 각각 수집하였고 수입 소고기와 수입 돼지고기, 수입 치즈 및 수입 버터의 혼합 시료 11개를 포함하여 총 70개 시료를 분석하였다(홍무기 등, 2002). 한편, 김종국 등(2002)은 소각장주변 약 2km 이내 지점에서 채취한 파의 다이옥신 농도를 조사하였고, 평택시(2003)에서는 소각

식약청 잔류농약과에서는 내분비계 장애물질 연

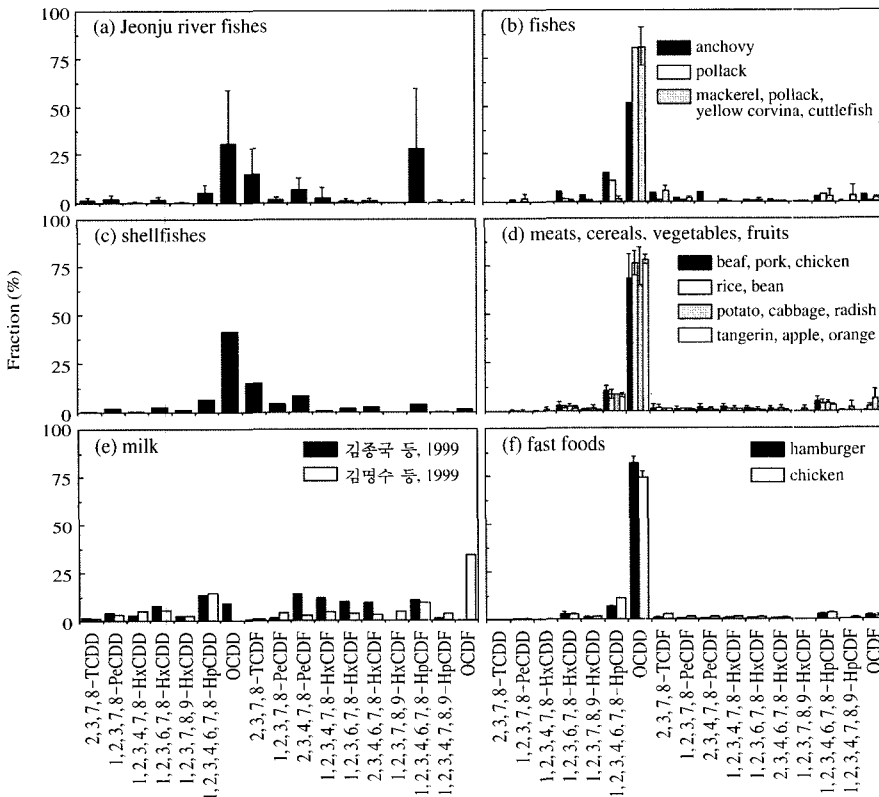


Fig. 9. Congener patterns of PCDD/Fs in foods: (a) Jeonju river fish (김종국 등, 2000), (b) fishes (김연제 등, 2002; 김종국 등, 1999), (c) shellfishes-oyster (김종국 등, 1999), (d) meats, cereals, fruits and vegetables (김종국 등, 1999), (e) milk (김종국 등, 1999; 김명수 등, 1999), (f) fast foods (김경심 등, 1999).

Table 9. PCDD/Fs levels in human tissues

Human tissue, Sampling site	N (M ² ; F ³)	PCDDs/Fs (pg/g lipid)			TEQ (pg ~ I TEQ/g lipid)			Age (mean, range)	Sampling period	Reference		
		Mean	Sd	Min ~ Max	Mean	Sd	Min ~ Max					
1st day breast milk (Seoul)	20	21.2 ¹⁾	.	.	67:33	0.9 ¹⁾	.	80:20	.	김연제 등, 2001		
1st day breast milk (Seoul)	59	919.2	.	.	78:22	31.8	45.9	2.0 ~ 162.3	81:19	'99.8 ~ '99.10 김명수 등, 1999		
Breast milk	66	380.3	.	.	70:30	10.2	.	55:45	21~41	'00.4 ~ '00.9 김명수 등, 2000		
1st day breast milk (Seoul, Chonbuk)	46	108.1	.	46.5 ~ 316.8	69:31	7.1	.	2.9 ~ 21.0	37:63	'02.5 ~ '02.11 강윤석 등, 2002		
4 ~ 5th day breast milk (Masan)	10	700.4	.	200 ~ 1080	90:10	18	.	74:26	28(24~32)	'95.11 ~ '96.2 강윤석 등, 2002		
(Kyungnam)-male	18	300	.	80 ~ 1280	83:17	18.8	.	3.3 ~ 40	47:53	56(36~72) Y Kang et al., 1996;		
(Kyungnam)-female	14	266	.	64.1 ~ 720	81:19	16.7	.	1 ~ 42	41:59	53(34~64) Y Kang et al., 1997		
abdominal adipose tissue (Seoul)	.	32.5	.	.	82:18	2.7	.	.	44:56	.	김연제 등, 2001	
Adipose tissue (Seoul)	17(0:17)	779	.	.	97:3	16.4	.	25(19~49)	66:34	'94.4 ~ '96.2 강윤석 등, 2002		
(Masan)	10(1:10)	445	.	.	93:7	16.6	.	52(48~63)	61:39	'94.4 ~ '95.1		
(Jinju)	32(18:14)	285.1	.	.	82:18	18.2	.	M ²⁾ 54(36~72) F ³⁾ 51(34~64)	44:56	'95.1 ~ '96.2		
(Kyunggi)	10(7:2)	261.6	165	112.3 ~ 662.6	78:22	25.2	.	9.7 ~ 54.2	49:51	2002	강윤석 등, 2002	
(Incheon) industrial complex (Shihwa);	14(14:0)	4255.5	.	.	56:44	24.5	.	1.3 ~ 105.1	33:67	37(28~47)	김명수 등, 2000	
-worker	10(9:1)	1221.9	.	641.5 ~ 1802.2	64:36	40.3	.	.	54:46	34(23~46)	양윤희 등, 2001	
-resident	10(1:9)	698.7	.	551.9 ~ 845.6	76:24	16.6	.	.	53:47	38(32~41)	양윤희 등, 2001	
near incinerator (Yangcheon)	19	867.1	1176.5	138.3 ~ 5064.1	92:8	13.0	8.6	0.2 ~ 29.3	47:53	.	임종한 등, 2002	
near incinerator (Nowon)	10(8:2)	557.5	720.1	220.3 ~ 2560.2	84:16	10.8	6.2	5.4 ~ 25.0	31:69	.	"	
Blood	6(3:3)	321.2	193.5	24.9 ~ 587.3	88:12	7.6	4.2	1.7 ~ 13.5	38:62	.	"	
background	48	8.2	6.8	0.1 ~ 26.1	.	.	"	
near incinerator (Seoul) background	5	3.6	4.7	0.2 ~ 10.6	.	.	"	
near incinerator (Pyeongtaek) background	40(20:20)	219.3	121.0	83.7 ~ 537.3	77:23	12.0	6.5	3.0 ~ 26.3	33:67	46(24~71)	2003	평택시, 2003
(Pyeongtaek) rural (Ansung)	20(6:14)	317.1	107.8	152.7 ~ 499.6	87:13	11.0	4.9	4.3 ~ 21.7	38:62	46(27~70)	2003	"
cord blood (Incheon) placenta (Incheon)	5	298.4	188.8	129.5 ~ 548.1	93:7	4.0	2.3	1.5 ~ 6.9	50:50	.	2003	"
	20	190	.	.	57:43	0.2	.	.	57:43	22~39	'00.9	김명수 등, 2000
	20	940	.	.	18:82	8.8	.	.	15:85	"	"	"

¹⁾unit: pg/ml; ²⁾M: male; ³⁾F: female

장 주변지역의 쌀과 무, 우유 시료 중 다이옥신을 분석하였다.

Table 7과 8에 나타난 바와 같이 어패류와 식품 중의 전반적인 다이옥신 농도는 환경 매질에서 조사된 결과보다 매우 낮은 수준이다. 마산만이나 해안의 어패류와 전주천에서 조사된 어류에서는 다른 지역에 비해 상대적으로 높은 농도의 다이옥신이 검출되었는데 전주천 어류의 경우 퓨란류의 비율도 매우 높아 그 오염원에 대한 파악이 필요할 것으로 보인다. 조사된 식품들 중에서는 소각장주변과, 패스트푸드, 육류 및 우유의 순으로 다이옥신 농도가 높게 나타났으며 반면 곡류나 과일 중 다이옥신의 농도수준은 가장 낮은 것으로 조사되었다.

Fig. 9의 어패류 및 식품 중 이성질체 분포를 보면 전주천 어류와 우유를 제외한 시료들에서 OCDD가 거의 대부분의 농도를 차지하는 공통적

특성을 나타내었고, 전주천 어류는 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF의 농도비율이 높고, 우유는 2개 조사결과에서 모두 OCDD의 농도가 거의 검출되지 않고 저염소 퓨란류 및 다이옥신류의 농도가 고르게 분포하고 있는 특이한 유형을 나타냈다.

7) 인체

인체에서의 다이옥신 잔류농도는 크게 모유와 체지방, 혈액에서 조사되어왔으며 2000년 식약청 연구에서는 인천지역의 제대혈과 태반에 대해서도 조사되었다. 다이옥신의 농도수준은 Table 9에 정리되어 있고 이성질체 유형은 Fig. 10에 나타나있다.

김연재 등(2001)은 서울지역 병원에서 모유와, 복부에서 채취한 체지방 시료를 분석하였다. 식약청의 내분비계 장애물질 연구에서는 1999년에는 분만후 최초 모유에서의 다이옥신농도를 일차적으로 모니터링하고(김명수 등, 1999), 2000년에는 서

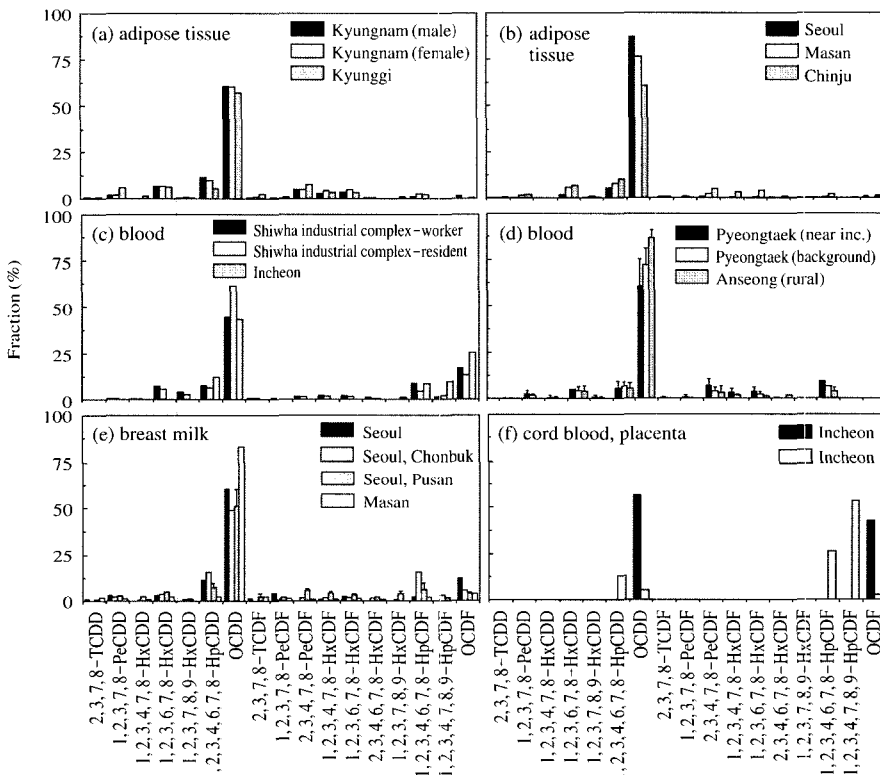


Fig. 10. Congener patterns of PCDD/Fs in human tissues: (a) adipose tissue in Kyungnam (Y. Kang *et al.*, 1996; 1997) and Kyunggi (강윤석 등, 2002), (b) adipose tissue in Seoul, Msan, Jinju (강윤석 등, 2002), (c) blood in Shiwha (양윤희 등, 2001) and Incheon (김명수 등, 2000), (d) blood in Pyeongtaek and Anseong (평택시, 2003), (e) breast milk (김명수 등, 1999, 2000; 강윤석 등, 2002), (f) cord blood, placenta (김명수 등, 2000).

울과 전북지역의 5년 이상 거주자들을 대상으로 출산 후 5일째 모유 중 다이옥신 모니터링을 실시하였으며(김명수 등, 2000), 2002년에는 서울과 부산지역에 거주하는 산모 46명을 대상으로 분만 후 최초 모유 중 다이옥신을 모니터링하였다(강윤석 등, 2002). 또한 마산지역에 거주하는 10인의 산모-초산자 5인, 재산자 5인-의 출산 후 4~5일 경과 후의 모유를 채취하였다. 이들 조사에서는 출산의 날자가 300일이 지나서 모은 모유의 다이옥신 농도는 5일째 모유의 70% 정도로 나타나서 분만 후 시간이 경과함에 따라 모유 중 다이옥신의 농도가 감소하는 경향을 보여주었다. 또 일반적으로 재산부의 모유에서 다이옥신의 함량이 낮은 것으로 알려져 있으나 위 조사결과에서는 특별한 차이가 없는 것으로 조사되었다. 지역별로는 2000년 자료의 경우 서울지역이 전북지역보다 약간 높은 것으로 조사되었으나 2002년의 조사결과에는 서울과 부산지역 간에 큰 차이가 없는 것으로 보고되었다. 강윤석 등(1996)의 경남지역 체지방 조사에서, 나이 및 성별에 따른 다이옥신 총농도 수준은 거의 차이가 없으나 2,3,7,8-TCDD나 OCDD의 유형은 약간의 차이를 나타내서 각 이성질체 별로 발생원이나 체내 축적 대사과정에 대한 연구가 중요하다고 주장하였다. 또한 강윤석 등(2002)은 체지방 시료로 서울, 마산, 진주에 거주하는 일반주민을 대상으로 피하지방을 채취하였다. 식약청의 내분비계장애물질 연구에서는 경기지역 체지방 시료가 조사되었다(강윤석 등, 2002).

양윤희 등(2001)은 시화공단지역 근로자 10명과 일반주민 10명의 혈액을 채취하여 분석하였는데, 근로자 중 1명을 제외하고는 평균 6년(2~15년)간 폐기물 처리업체에서 근무하고 있는 사람들이고 일반주민은 평균 3년간 시화공단지역에 거주하고 있는 사람들로 두 집단 간에 유의한 농도 차이가 나타났다. 평택시(2003) 소각장주변지역 거주자 40명과 소각장 비영향 지역 거주자 20명을 대상으로 한, 혈 중 다이옥신 총농도 조사결과에서는 영향지역과 비영향 지역의 농도수준에서는 큰 차이가 없었다. 그러나 주목할만한 점은 이성질체의 농도비율은 영향지역과 대조지역이 뚜렷한 차이를 보였다는 점인데, t-test 실시 결과, 1, 2, 3, 7, 8-PeCDD, OCDD, 2, 3, 4, 7, 8-PeCDF, 1, 2, 3, 4, 7, 8-HxCDF, 1, 2, 3, 6, 7, 8-HxCDF, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-HpCDF의

각 이성질체에 대해 통계적으로도 두 집단의 차이가 유의한 것으로 나타났다. 이로부터 영향지역 거주자들로부터 관찰되는 이성질체의 유형은 대조지역 사람들의 유형과 유의한 차이가 있다는 사실을 확인할 수 있었으며 그 차이는 주로 대조지역보다 OCDD의 비율이 낮고 일부 퓨란류의 비율이 높다는 점에서 소각장주변과 대조지역의 토양 중 다이옥신 이성질체 유형의 차이와 공통되는 특성을 나타내는 것으로 분석되었다.

Fig. 10의 이성질체 유형을 보면 체지방, 혈액, 모유 모두에서 대체로 유사한 특성을 보이고 있다. 그러나 혈액의 경우, 공단근로자 및 소각장 주변 지역의 거주자가 일반인이나 오염원으로부터 멀리 떨어진 지역의 거주자보다 OCDD의 농도비율은 보다 낮고 퓨란류의 농도비율은 조금 높은 경향을 볼 수 있다. 반면 제대혈과 태반의 경우는 1,2,3,7,8,9-HpCDF와 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF, 혹은 OCDD와 OCDF의 농도비율이 매우 높게 나타났다.

3. 전체 대상 시료의 다이옥신 농도 분포

1) 다이옥신 총 TEQ 농도 수준 비교

소각시설 비산재와 배출가스, 환경매질과 어패류 및 식품, 그리고 인체 시료들의 조사결과에서 정리된 다이옥신의 TEQ농도 수준을 이용하여 전체 대상 시료별로 TEQ평균농도의 평균값과 범위, 그리고 시료별 TEQ농도의 최소값과 최대값을 Table 10에 정리하였다. 환경 매질별 국내 연구조사결과들의 평균 농도는 국외 농도수준과 비교해볼 때 비슷하거나 약간 낮은 수준임을 알 수 있다. 그러나 매질별 최대값의 경우 국내결과들은 국외 조사결과에 비해 매우 낮은 수준인데, 이는 외국의 경우 오염의심지역에서의 다이옥신 조사가 많이 이루어져왔기 때문인 것으로 짐작되며 우리나라에서도 오염의심지역에 대한 조사의 필요성을 제기한다. 한편, 대기의 경우 국내조사 결과에서도 상대적으로 높은 값을 보이는 지점이 있었다. 앞서도 언급한 바와 같이 다이옥신의 배출이 주로 대기를 통하여 먼저 이루어진 뒤, 점차 다른 매질로 확산될 가능성이 크기 때문에 다른 매질 특히 토양이나 저토의 오염은 시간이 경과하면서 상대적으로 천천히 진행될 것으로 예상된다. 따라서 우리나라의 산업화역사나 쓰레기 소각의 역사가 개발국에 비

Table 10. PCDD/Fs TEQ levels of samples and comparison with the levels of other country

Sample	Class	Mean			Min	Max	Japan ¹⁾	UK ²⁾	Germany ²⁾
		N	Mean	Range					
Fly ash (ng-ITEQ/g)		7	15.3 ³⁾	0.1 ~ 2251.8	0.2	27.1			
Stack sample (ng-ITEQ/Nm ³)	Large incinerator	9	36.9	0.1 ~ 36.5	0.0	129.4	above 4 ton/hr: 3.7 (0 ~ 5.7) 2 ~ 4 ton/hr: 8.5 (0 ~ 7.7)		
	Middle & small incinerator	11	45.4	0.0 ~ 147.9	0.0	517.9	under 2 ton/hr: 12 (0 ~ 110)		
Air (pg-ITEQ/Nm ³)	Near incinerator	2	0.7	0.6 ~ 0.7	0.2	1.2	near Inc.: 0.2 (0.0 ~ 0.65)	contaminated: 14.8	
	Unspecified (urban, rural etc)	8	0.3	0.1 ~ 0.6	0.0	4.5	along loads: 0.19 (0.0 ~ 0.48) in general: 0.23 (0.0 ~ 0.96)	urban: 0 ~ 0.81 rural: 0.0 ~ 0.024	0.0 ~ 0.812
Sediment (pg-ITEQ/g d.w.)	Coast	5	2.9	0.8 ~ 5.9	0.5	76			
	River, lake	6	0.5	0.1 ~ 2.0	0	4.4	bottom sediment: 6.8 (0 ~ 230) ⁴⁾		
Soil (pg-ITEQ/g)	Near incinerator	4	8.1	1.9 ~ 19.1	0.2	75.0	near sources: 6.8 (0.0 ~ 110) ⁴⁾	contaminated: < 1,585	contaminated: < 30,000
	Unspecified, background area	10	1.6	0.8 ~ 3.3	0	43.3	background: 1.7 (0.13 ~ 6) ⁴⁾	rural: < 1 ~ 20	rural: < 1 ~ 5
Water (pg-ITEQ/L)	Leachate, wastewater	8	51.6	6.8 ~ 226.6	0.8	16.1		sewage sludge: 9 ~ 192 ⁵⁾	sewage sludge: 0.7 ~ 1207 ⁵⁾
	River, lake	4	0.3	0.1 ~ 0.9	0	1.1	public water: 0.37 (0.0 ~ 3.9)	rivers: < 6	
Aquatic biota, Food (pg-ITEQ/g)	Fish/Shellfishes	8	0.3	0.0 ~ 1.1	0	22	aquatic organisms: 0.64 (0 ~ 11) ⁴⁾	European MRL ⁷⁾	MRL ⁷⁾ for eel: 8
	Meat, rice, fruit, vegetables	14	0.2	0.0 ~ 2.6	0	3.5	crops: 0.026(0.0 ~ 0.61) ⁶⁾	for fish: 4	
Human body (pg-ITEQ/g lipid basis)	Adipose tissue	9	16.6	2.7 ~ 25.2	1.0	55	adipose tissue: 11.9 ²⁾		
	Blood	11	14.8	3.6 ~ 40.8	0.1	105.1	blood_Fukuoka: 19.7 (sd: 7.3)		human tissue: 15.6 (16.5 ~ 70)
	Breast milk	4	13.6	7.1 ~ 31.8	2.0	162.3	blood_Tokyo: 17.9 (sd: 20.7)		

¹⁾Ministry of the environment, Japan, 2002, Ministry of Health and Welfare, Japan, 1998; ²⁾ UNEP, 2002; ³⁾ Mean value of LMWI(B) in the table 2 is excluded for this calculation due to this value is considered as an outlier; ⁴⁾ WHO-TEF is used for calculation, fiscal year: 1998; ⁵⁾ pg-ITEQ/g d.m.; ⁶⁾ PCDDs/DFs+CoPCBs, WHO-TEF is used, fiscal year: 1998; ⁷⁾ MRL: maximum residue limit.

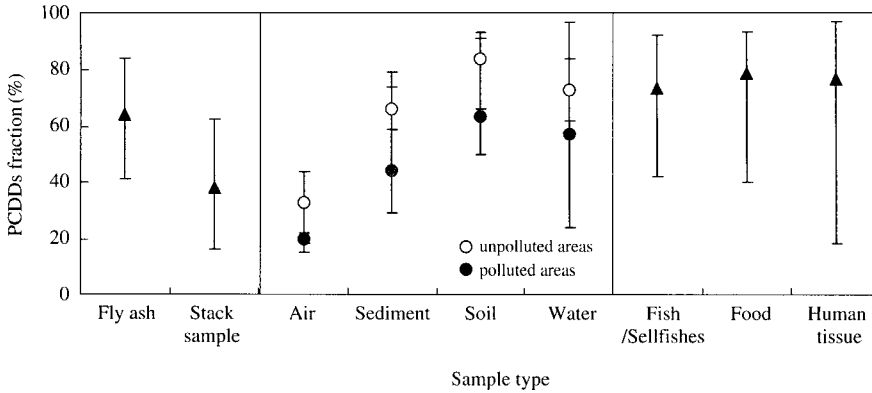


Fig. 11. Fraction of PCDDs in various samples.

해 상대적으로 짝다는 점을 감안하면, 국외의 오염 수준과 비교했을 때 다른 매질의 농도는 아직 낮지만 대기의 농도가 상대적으로 더 근접해 있다는 점은 우리나라의 대기배출 수준이 지금처럼 유지되는 경우 다른 매질의 오염도도 지속적으로 증가할 가능성이 있음을 시사한다.

2) 다이옥신류 및 퓨란류의 점유비율 (PCDDs : PCDFs)

전체농도에 대한 다이옥신류 및 퓨란류의 농도 비율이 다이옥신의 배출원과 환경매질(대기, 토양, 수체, 저토), 식품 및 인체 시료에 따라 다르게 구분되는지 비교해보았다. Fig. 11을 따르면, 통계적으로 유의한 차이를 찾기는 어려우나 평균값을 기준으로 보았을 때 소각시설 배출가스 및 대기 중 다이옥신류의 농도비율이 비교적 낮고, 토양과 수체, 어패류 및 식품과 인체에서는 다이옥신류 농도비율이 높은 것으로 보인다. 또한 같은 환경 매질에서도 일반 환경보다 오염 환경에서의 다이옥신류의 농도비율이 보다 낮은 것을 확인할 수 있다. 한편, 수체와 인체의 경우는 다이옥신류 농도비율의 범위가 매우 넓게 분포하는 것으로 나타났다.

주성분 분석 결과

지금까지 정리된 소각시설과 환경 매질별 다이옥신 이성질체 측정 자료를 이용하여 시료별로 이성질체 유형의 일관적인 특성이나 경향이 나타나는지를 분석해보고자 하였다. 이를 위해 각 시료들

에 대해 17개 이성질체의 절대 농도를 전체 다이옥신 농도에 대한 상대농도로 계산해 준 다음, 17개 이성질체의 퍼센트 농도를 변수로 넣고 주성분 분석(Principal Component Analysis, PCA; SIMCA 9.01, Umetrics, Sweden)을 실시하였다.

1. 소각시설 규모에 따른 배가스 이성질체 유형의 차이

소각시설 배가스 시료들의 이성질체 유형이 소각시설 규모나 폐기물분류 등에 의해 차이가 나타나는지 배출가스 총 104개 개별 시료들을 대상으로 주성분 분석을 실시하였다. Fig. 12는 분석결과 첫 번째와 두 번째 주성분에 대한 score plot이다. 변수들의 29.6%가 첫 번째 주성분(principal component 1: X축, 고유치 = 5.03)에 의해 설명되어지고 변수들의 18.2%가 두 번째 주성분(principal component 2: Y축, 고유치 = 3.09)에 의해 설명된다. 이에 따르면, 소각시설 규모별 즉, 대형 소각시설과 중소형 생활 및 사업장폐기물 소각시설의 배출가스 시료들은 뚜렷하게 나뉘지는 것은 아니지만 대체로 두 번째 주성분에 의해 구분되어지는 경향을 확인할 수 있었다. 이러한 경향은 주로 OCDD와 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-HpCDD, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-HpCDF와 OCDF의 차이에 의한 것이다.

2. 소각장 배출가스와 환경매질의 이성질체 유형의 차이

소각시설 배출가스와 대기 및 토양, 저토, 수체의

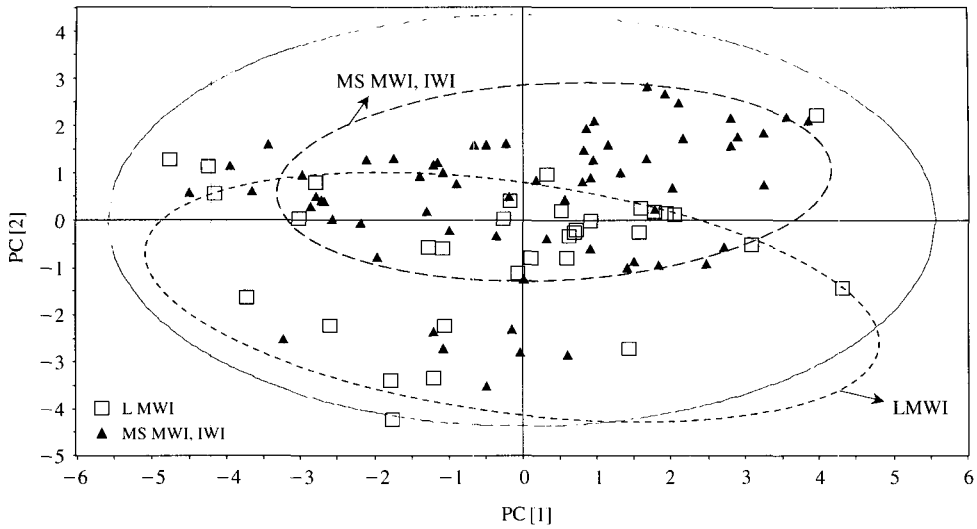


Fig. 12. PCA of PCDD/Fs congener patterns in fly ash samples: score plot.

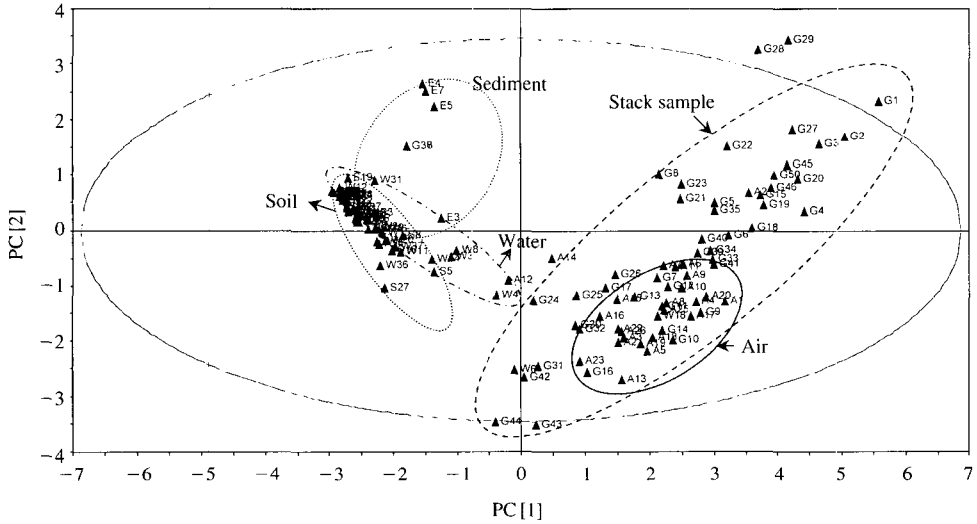


Fig. 13. PCA of PCDD/Fs congener patterns in stack and environmental samples(A: air, G: stack, S: soil, W: water, E: sediment): score plot.

환경매질별로 이성질체 유형이 구분되어지는지 확인해보기 위해 주성분 분석을 실시하였다. 분석기관이나 분석방법의 차이에 의한 영향을 배제하기 위해서 국립환경연구원의 내분비계장애물질 실태조사 결과 중에서 1999년도 자료(소각시설 배출가스, 대기, 토양, 저토, 수체)만을 분석에 이용했다. 분석 결과 변수들의 45.5%가 첫 번째 주성분(princi-

pal component 1: X축, 고유치 = 7.73)에 의해 설명되어지고 변수들의 11.4%가 두 번째 주성분(principal component 2: Y축, 고유치 = 1.95)에 의해 설명되어졌다. Fig. 13의 score plot을 보면 다소 겹치는 부분도 있지만, 대체로 동일한 매질의 시료들끼리 묶이는 형태로 나타나 전반적으로 매질의 특성이 이성질체의 유형을 결정하는 우선적인 요인임을

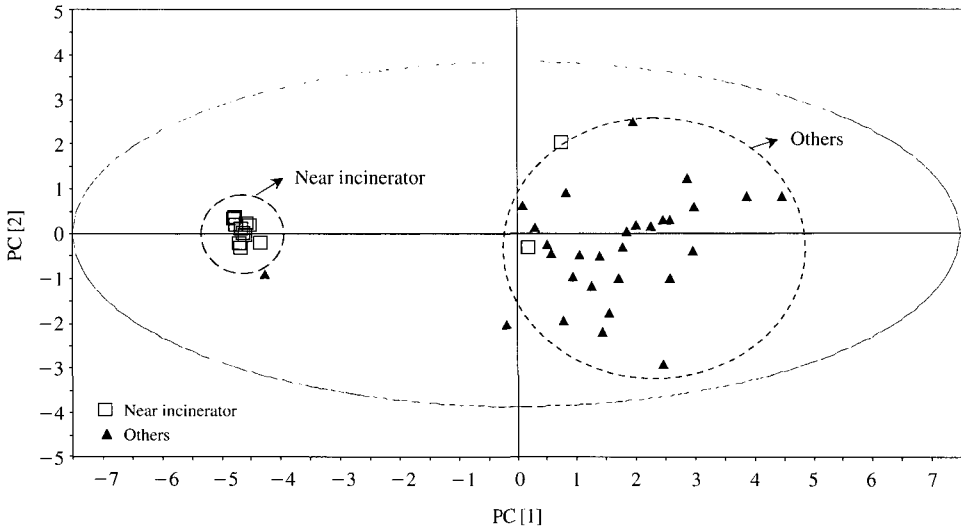


Fig. 14. PCA of PCDD/Fs congener patterns in air samples: score plot.

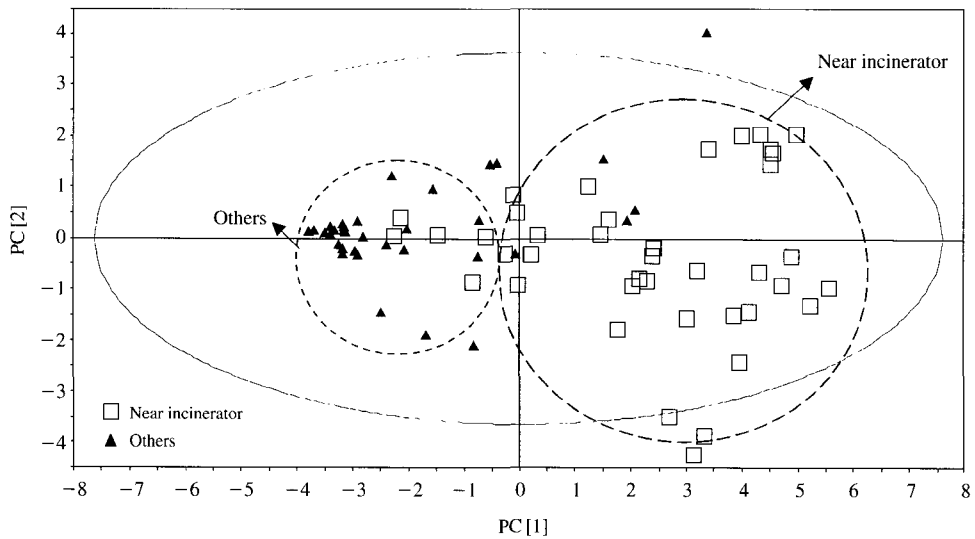


Fig. 15. PCA of PCDD/Fs congener patterns in soil samples: score plot.

다시 확인할 수 있었다.

3. 소각장 배출가스와 소각장 주변 환경 매질의 이성질체 유형 비교

1) 대기

Fig. 14는 전체 대기 시료 총 42개를 대상으로 PCA분석한 결과 score plot이다. 변수들의 51.1%가

첫 번째 주성분(principal component 1: X축, 고유치 = 8.68)에 의해 설명되어지고 변수들의 13.4%가 두 번째 주성분(principal component 2: Y축, 고유치 = 2.28)에 의해 설명된다. 소각시설 주변과 그렇지 않은 곳의 대기가 명백히 구분되고 있으며 이는 주로 OCDD와 OCDF의 차이에 의한 것이다. 그러나 소각장주변 대기와 일반 대기에서의 조사결과가

각각 다른 연구팀에 의해 보고된 것으로 이런 명백한 차이가 연구기관의 차이에 기인한 것일 가능성도 배제할 수 없다.

2) 토양

Fig. 15는 전체 토양 총 84개 시료에 대해 주성분 분석을 실시한 결과이다. 변수들의 55.1%가 첫 번째 주성분(principal component 1: X축, 고유치=9.36)에 의해 설명되어지고 변수들의 12.5%가 두 번째 주성분(principal component 2: Y축, 고유치=2.12)에 의해 설명되어진다. 대기의 경우와 마찬가지로 소각시설 주변 토양과 나머지 토양이 비교적 명확하게 구분되었으며 이러한 차이를 유발시키는 가장 큰 요인은 OCDD의 차이이다.

결 론

소각시설 배출가스와 비산재, 환경매질(대기, 토양, 수체, 저토), 식품 및 생물체와 인체에서 조사된 다이옥신의 총농도 수준 및 TEQ농도 수준을 정리하고 17개 2,3,7,8-치환이성질체의 유형을 비교 분석하였다. 결과 시료별로 전반적인 농도수준을 알 수 있었고, 매질의 차이 혹은 오염원의 영향유무에 따라 농도수준과 이성질체 유형에서 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 오염된 지역일수록 다이옥신류의 비율이 줄어들고 퓨란류의 비율은 증가하였는데, 개별 이성질체로는 OCDD의 비율이 감소하고, OCDF, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-HpCDF, 저염소 퓨란류의 농도비율은 증가하는 경향을 보였다. 실제로 주성분분석결과, 동일한 시료끼리 대체로 같은 그룹으로 묶이는 결과를 얻을 수 있었고, 대기와 토양에서는 소각장 주변지역과 그 외 지역이 따로 구분되는 것을 확인할 수 있었다. 특히 소각로의 경우, 오염원의 영향이 나타나는 곳과 그렇지 않은 곳의 차이는 대기 및 토양의 이성질체유형에서 비교적 명확하고 일관성이 있게 나타나고 있어서 앞으로 소각로의 영향여부를 판단하는 주요한 자료로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

국내의 다이옥신 연구는 아직 충분하게 진행되었다고 보기 어려우며 또 조사가 산발적으로 이루어지고 있어서 국내 환경 중 다이옥신의 오염 정도를 정확히 판단하기는 어렵다. 다이옥신의 적절한 관리를 위해서 앞으로 환경매질별, 토지이용도

별, 오염수준별로 체계적이고 다양한 조사 및 연구 사업을 통해 보다 많은 자료의 축적이 필요할 것으로 생각되며, 획득된 자료에 대해서는 총농도 수준뿐만 아니라 이성질체 유형의 분석 등 충분한 검토를 거쳐 정확한 결론을 이끌어내는 다양한 접근이 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 강윤석, 박종세, 민병윤. 다이옥신류에 의한 한국인의 폭로 현황 및 리스크 평가, *Analytical Science & Technology* 2002; 15(3): 270-286.
- 강윤석, 김명수, 차수진, 차경훈, 송 훈, 전미령, 최혜경, 최시내, 이미연. 한국인 인체시료에서의 다이옥신 등에 대한 모니터링, 식약청 국립독성연구소, 내분비계장애 물질연구보고서 2002; 4(2): 67-136.
- 김삼권, 전성환, 정일록, 김기현, 김재형, 권명희, 이준홍, 김승진, 정동희, 여재천, 문만상, 이상원. 도시폐기물 소각 시설에서의 다이옥신류 생성 및 배출, *한국폐기물학회지* 2000; 17(1): 61-69.
- 국립환경연구원, '99 내분비계장애물질 다이옥신실태조사, 환경부, 2000.
- 국립환경연구원, 중소형 소각시설에 대한 다이옥신 및 대기오염물질 배출특성조사, 최종보고서, 2000.
- 국립환경연구원, 중소형 소각시설 다이옥신 및 주요대기오염물질 배출특성조사와 구조 및 성능평가(I), 최종보고서, 2002.
- 국립환경연구원, 내분비계장애물질(환경호르몬) 환경잔류 실태조사연구 1차년도(1999) 결과보고서, 환경부, 2000.
- 국립환경연구원, 내분비계장애물질(환경호르몬) 환경잔류 실태조사연구 2차년도(2000) 결과보고서, 환경부, 2001.
- 국립환경연구원, 내분비계장애물질(환경호르몬) 환경잔류 실태조사연구 3차년도(2001) 결과보고서, 환경부, 2002.
- 국립환경연구원, 제2차 내분비계장애물질 생태영향조사결과 보고서, 환경부, 2002.
- 김경심, 김종국, 정태섭, 김경수. 페스트 푸드 중 다이옥신류 잔류 농도, *대한환경공학회, 1999년 추계학술연구 발표회 논문집* (II), 1999.
- 김동환, 김상조, 김영교, 김성용, 옥삼복, 옥 곤. 대구시 토양 중 다이옥신 및 다환방향족탄화수소의 분포특성, *한국환경분석학회지* 2001; 4(1): 23-28.
- 김명수, 김연제, 명승운, 최명자, 최정은, 이선영, 민혜기, 양세현, 김혜영, 고미라. 식품 및 인체시료에서 내분비계장애물질에 대한 모니터링, 식약청 국립독성연구소, 내분비계장애물질연구보고서 1999; 1(2): 3-56.
- 김명수, 최명자, 명승운, 김연제, 민혜기, 장윤정, 이선영, 양세현, 김혜영, 이용관, 고미라. 한국인 인체시료에서의

- 다이옥신 등에 대한 모니터링, 식약청 국립독성연구소, 내분비계장애물질연구보고서 2000; 2(2): 161-198.
- 김상조. 토양과 식생(소나무)을 지표로 한 다이옥신 오염에 관한 연구, 부경대 석사학위논문, 2001.
- 김신도, 유성욱, 김연제, 김명수. 일반대기중의 계절별 다이옥신의 농도분포에 관한 연구, 한국대기환경학회 춘계 학술대회 논문집 1999; 201-202.
- 김연제, 이선영, 한순영, 박귀례, 김광섭, 양규환, 김은경, 김명수. 체지방 조직 및 초유 중에 잔류되어 있는 다이옥신 함유도에 관한 연구, *Analytical Science & Technology* 2001; 14(6): 504-509.
- 김연제, 이선영, 이효민, 윤은경, 양규환, 김은경, 김명수. 우리나라에서 많이 소비되고 있는 몇가지 생선류 중의 PCDFs와 PCDDs 함유도 조사, *Analytical Science & Technology* 2002; 15(2): 142-148.
- 김영교. 대기 중 다이옥신 오염과 침적에 관한 연구, 부경대 석사학위논문, 2001.
- 김용진, 大迫 政浩, 유재천, 이동훈. 도시폐기물 매립지에서 다이옥신류의 침출 거동, 한국폐기물학회 2001; 18(1): 51-59.
- 김종국, 김경심, 이병호. 우리나라 시판 식품 중 다이옥신 및 이성체 분포 특성에 관한 연구, 한국환경분석학회지 1999; 2(3): 167-174.
- 김종국, 홍희택. 환경 중에서 다이옥신류의 거동특성, 전북대학교 공학연구원 공학연구 2000; 31: 71-80.
- 김종국, 홍희택. 수환경 중에서 다이옥신 농도와 이성체 분포 특성, 전북대학교 공학연구원 공학연구 2000; 31: 145-151.
- 김종국, 박진수, 김경심, 원찬희. 소각로 배가스 및 주변환경시료 중 다이옥신 농도에 관한 연구, 한국환경분석학회 2002; 5(2): 89-93.
- 류인철, 이윤국, 최용석, 이진, 한규문, 엄석원, 신재영. 서울시 토양중의 다이옥신 분포 특성에 관한 연구, 서울특별시 보건환경연구논문집 1999; 35: 425-430.
- 문효방. 환경 대기 중 PAHs 및 다이옥신 관련 화합물의 농도 수준 및 특성, 부경대 석사학위논문, 1999.
- 박인출. 감염성 폐기물 소각시설의 다이옥신 배출특성에 관한 연구, 한양대 석사학위 논문, 2002.
- 부천시. 부천시 폐기물소각시설주변지역 환경상 영향조사, 최종보고서, 2000.
- 서정호, 광태현, 송재오, 동종인. 생활폐기물 소각장에서 배출되는 배기가스 중 Dioxin 저감시설 개선에 관한 연구, 한국폐기물학회지 2001; 18(7): 685-692.
- 시민환경연구소 (주)금호환경 주변지역주민 건강조사 연구 보고서, 2002.
- 신선경, 정영희, 김삼권, 장성기, 이재인, 이원석, 이준배, 이동훈. 도시쓰레기 소각로 배출가스 중 다이옥신류 및 전구물질의 배출특성(I), *Analytical Science & Technology* 1999; 12(1): 61-67.
- 신선경, 장성기. 제지폐수 중의 다이옥신 배출 패턴 및 형성 메커니즘(II)-표백공정 이외의 폐수(알칼리폐수)를 중심으로, *Analytical Science & Technology* 2001; 14(5): 422-431.
- 심영주. 중형 소각로의 다이옥신 배출특성에 관한 연구, 한양대 석사학위논문, 2002.
- 양윤희, 김병훈, 장윤석. 국내 혈액에서의 PCDD/Fs 및 PCBs 분석과 오염원 특성에 관한 연구, *Analytical Science & Technology* 2001; 14(2): 147-158.
- 오정은. 배출원 주위 대기/토양에서의 다이옥신 분포와 거동연구, 포항공대 박사학위논문, 2001.
- 원경봉, 최동임, 황인균, 박건상, 허수정, 최윤주, 이강봉, 서정혁, 최영미, 정지윤, 박진호, 김신욱, 차수진, 김창민. 식품 중 Doxins 모니터링(I), 식약청 국립독성연구소, 내분비계장애물질연구보고서 2000; 2(1): 69-122.
- 이동훈, 이재효, 김용진. 도시 고형폐기물 소각비산재의 다이옥신류 함유량에 관한 연구(I), 도시과학논총 1998; 24(1): 165-173.
- 이동훈, 김용진. 도시폐기물 소각비산재에서 다이옥신류의 장기침출 특성, 한국폐기물학회지 2000; 17(3): 280-286.
- 이윤국, 류인철, 한규문, 엄석원, 김민영. 서울시 일부 매립장 침출수 중의 다이옥신류의 농도와 분포에 관한 연구, 서울특별시 보건환경연구논문집 1999; 35: 431-438.
- 이재효, 이동훈, 이정주. 시설 및 운전조건 개선에 의한 도시고형폐기물 소각시설에서의 PCDD/DFs의 저감, 한국폐기물학회지 2000; 17(6): 789-795.
- 임숙현, 민병윤, 松田 宗明, 脇本 忠明. 한국 마산만 저질의 PCBs, PCDDs/PCDFs에 관한 연구, 한국환경과학회, 1995, 봄 학술발표 초록집.
- 임숙현, 민병윤, Muneaki Matsuda, Tadaaki Wakimoto. 한국 마산만 서식생물과 만 주변토양으로부터의 다이옥신류 및 PCBs, 농약의 분포경향과 거동, 한국환경과학회, 1995, 가을 학술발표 초록집, 52-53.
- 임종환(인하대 의대), 미발표자료, 2002.
- 임채현, 김희택, 손정현, 장윤석. 도시 소각로 쓰레기 소각 후 생성된 폐가스 및 비산재중에 포함된 다이옥신류의 측정 및 특성고찰, 한국공업화학학회지 1997; 8(5): 790-795.
- 장윤영, 홍종기, 김진영. 도시소각로 시설의 고형 쓰레기 연소 후 생성된 바닥재 시료에 대한 다이옥신과 퓨란류의 분석, 한국화학회지 1995; 39(7): 513-523.
- 정영희, 김삼권, 신선경, 강인구, 이재인, 이원석, 이준배, 이은희, 이동훈, 홍지형, 김대곤. 환경 중 다이옥신 배출 및 오염실태 조사와 발생기전 규명에 관한연구(I)-대형쓰레기 소각시설을 중심으로, 국립환경연구원보

- 1997; 19: 123-138.
- 정영희, 신선경, 장성기, 최덕일, 이원석, 이재인, 김상교, 이동훈, 박진성. 환경 중 다이옥신 배출 및 오염실태 조사와 발생기전 규명에 관한연구(II)-폐수중의 다이옥신 배출패턴, 국립환경연구원보 1998; 19: 123-138.
- 정영희, 신선경, 장성기, 최덕일, 이원석, 이재인, 김상교, 이동훈, 박진성. 환경 중 다이옥신 배출 및 오염실태 조사와 발생기전 규명에 관한 연구(II), 국립환경연구원보 1998; 20: 53-65.
- 정영희, 신선경, 장성기. 제지폐수중의 다이옥신 배출 패턴 및 형성 메커니즘(I)-염소표백공정(산성폐수) 전·후 단을 중심으로, Analytical Science & Technology 2001; 14(3): 266-273.
- 최기인. 도시생활폐기물 소각비산재내에 존재하는 PCDDs/DFs의 이성체 분포패턴에 관한 연구, 서울시립대 석사학위논문, 1999.
- 최동미, 허수정, 정지윤, 원경풍. HRGC/HRMS를 이용한 국내유통 육류 중 다이옥신류 분석, Analytical Science & Technology 2001; 14(1): 88-93.
- 최용석. 한강수계 저질 중 다이옥신류의 농도와 특성, 서울시립대 석사학위논문, 2000.
- 평택시. (주)금호환경 주변지역 환경 및 주민건강 조사 최종보고서, 2003.
- 한국소비자보호원. 식품 중 다이옥신류 잔류량 모니터링 결과 보고서, 1999.
- 홍무기, 원경풍, 최동미, 황인균, 서정혁, 임무혁, 허수정, 이강봉, 오금순, 김정미, 최경규, 김창민. 식품 중 Doixins 모니터링(III), 식약청 국립독성연구소, 내분비계장애물질연구보고서 2002; 4(1): 3-42.
- 홍희택. 도시 대기 중 다이옥신 분포특성에 관한 연구, 전북대학교 공학연구원 공학연구 2001; 32: 177-184.
- 환경관리공단. 소각시설배출 다이옥신 등 유해물질 분석에 관한 조사연구, 최종보고서, 1997.
- 환경부. 스톡홀름 협약의 채택과 우리나라의 대응방안, 최종보고서, 2001.
- Ok G. Moon HB, Ji SH and Han YH. Concentration Levels and Behavior Characteristics of PCDDs/Fs in Atmosphere, Organo. Comp. 1999; 43: 209-212.
- Hyo Bang Moon, Hee Gu Choi, Sang Soo Kim, Chang Keun Kang, Pil Yong Lee. Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans in sediments from the Southeastern Coastal Areas of Korea, 한국환경분석학회지, 2002; 5(1): 41-47.
- Hyo Bang Moon, Hee Gu Choi, Sang Soo Kim, Seung Ryul Jeong, Pil Yong Lee, Gon Ok. Evaluation of PCDDs/DFs origin in Sediments from Ulsan Bay, Korea, 한국환경분석학회지, 2002; 5(4): 225-235.
- Im SH, Kannan K, Matsuda M, Giesy J, John P and Wakimoto T. Sources and Distribution of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans in Sediments from Masan Bay, Korea, Environ. Toxicol. Chem. 2002; 21: 245-252.
- Youn-Sepk Kang, Muneaki Matsuda, Tadaaki Wakimoto, Byung-Yoon Min. Organochlorine compounds including PCDDs and PCDFs in human adipose tissues from Western Kyungnam, Korea, 대한환경공학회 추계학술연구발표회, 1996; 605-608.
- Youn-Seok Kang, Muneaki Matsuda, Masahide Kawano, Tadaaki Wakimoto and Byung-Yoon Min. Organochlorine pesticides, PCDDs and PCDFs in human adipose tissues from Western Kyungnam, Korea, Chemosphere 1997; 35(10): 2107-2117.
- Environmental Health Department, Ministry of the environment, Japan, The environmental monitoring report on the persistent organic pollutants (POPs) in Japan, 2002.
- Ministry of Health and Welfare, Japan, Health science research "Survey on Human Exposure to Dioxins" (Report on Findings of Fiscal 1997), 1998.
- UNEP, Dioxin and Furan Inventories, 1999.
- UNEP, Regionally based Assessment of Persistent Toxic substances, Europe (III), Central and North East Asia (VII), 2002.