

청주시 토양 중 다이옥신 농도 및 특성

김경수 · 김교근[†]

청주대학교 환경조경토목공학부

(2008년 12월 1일 접수, 2009년 5월 28일 채택)

Concentration and Characteristics of PCDDs/DFs in Soil at Cheongju City

Kyoung-Soo Kim · Kyeo-Keun Kim[†]

Division of Environmental, Landscape Architecture & Civil Engineering, Cheongju University

ABSTRACT : To investigate concentration and characteristics of dioxins in soil at Cheongju city, total 28 soil samples were collected. The total and I-TEQ concentration of 17 PCDDs/DFs ranged from 2.30 to 630.40 pg/g dry weight and from 0.002 to 9.79 pg I-TEQ/g dry weight with averages of 55.42 pg/g and 1.13 pg I-TEQ/g, respectively. These levels are very lower than those of around various incinerators in Korea (from n.d. to 153.23 with average value of 7.36 I-TEQ/g). The correlation between total concentration and TEQ concentration showed significant with 99% confidence interval (p -value < 0.001). The TEQ concentration as land use was high as follows; industrial area > green area > residential and commercial area > farm land. In terms of congener distribution, OCDD which is highly detected in general soil samples, was predominant and showed various fraction (from 23 to 100%). The ratios of PCDF concentration against to PCDD concentration varied as samples (from 0.1 to 2.4).

Key Words : Cheongju City, PCDDs/DFs, Soil

요약 : 청주시 토양을 대상으로 다이옥신의 오염수준 및 특성에 대해 조사하였다. 채취된 28개 지점의 토양 중 17개 다이옥신 이성질체의 농도범위는 2.30~630.40(평균 55.42) pg/g-dry으로 검출되었으며 TEQ 농도범위는 0.002~9.79(평균 1.13) pg I-TEQ/g-dry로 조사되었다. 이들 농도는 우리나라 소각시설 주변의 농도(불검출~153.23, 평균 7.36 pg I-TEQ/g-dry)보다 매우 낮은 수준을 나타내었다. 총농도와 TEQ 농도와는 99% 신뢰구간에서 서로 상관성을 나타냈다(p 값 < 0.001). 토지이용별 농도는 공단 > 녹지 > 주거 및 상업지 > 농경지의 순으로 높게 나타났다. 이성질체 조성에 있어서는 일반적으로 토양 중에서 높게 검출되는 OCDD의 비율이 23~100%(평균 59%)로 채취지점에 따라 편차가 심하였으며, PCDF/PCDD의 비율 또한 0.1~2.4(평균 0.8)로 지점에 따라 편차를 보였다.

주제어 : 청주시, 다이옥신, 토양

1. 서론

우리나라에서 1990년대 중반부터 사회적으로 지속적인 관심을 받아오며 다양한 연구들이 진행되고 있는 다이옥신(Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans, PCDDs/DFs)은 독성이 강하고 물리화학적으로 안정하여 환경에 오래 잔류하고 생물체에 농축, 최종적으로 인간에게까지 이동하는 것으로 잘 알려져 있다. 또한 이들 물질은 소각이나 다른 산업적인 열적 공정에서 주로 대기를 통해 배출되어 장거리 이동을 하면서 건·습식 침적과정을 통해 주변 환경매체로 이동하게 되며, 특히 토양이나 저질같은 유기탄소가 풍부한 매체에 잘 축적되는 경향이 있다. 따라서 토양은 어느 지역의 장기적인 오염특성을 조사하는데 유용한 매체라 할 수 있다.

전세계적으로 스톡홀름 협약의 이행을 위해 환경 중 POPs

(Persistent Organic Pollutants) 물질에 대한 다양한 연구 및 저감 노력이 이루어지고 있으며, 우리나라의 경우에도 1999년부터 내분비계장애물질 조사사업¹⁾을 통해 전국의 대기, 수질, 토양 및 저질 등을 대상으로 POPs 물질에 대한 모니터링을 실시해오고 있다. 그러나 충북지역은 우리나라에서도 비교적 청정한 지역으로 청주시 환경매체는 조사지점에 포함되어 있지 않다. 또한 국내의 학회에서도 청주지역 환경매체 중 POPs 오염수준은 보고된 바가 없다.

이에 본 연구에서는 지역적 환경오염수준을 평가할 수 있는 지표자(indicator)의 역할을 할 수 있는 토양시료를 이용하여 청주시의 PCDDs/DFs의 농도수준과 분포특성에 관하여 조사하였다.

2. 연구방법

2.1. 시료채취

토양시료는 청주시를 대상으로 2008년 1월에 토지이용

[†] Corresponding author

E-mail: kyeokim@cju.ac.kr

Tel: 043-229-8574

Fax: 043-229-8569

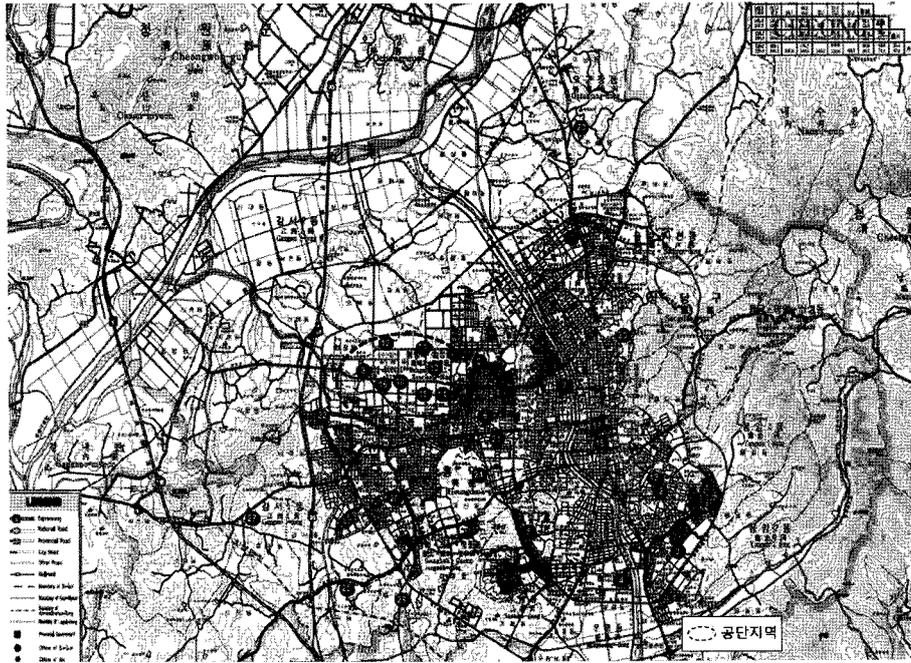


Fig. 1. Map of sampling points in this study.

Table 1. Information about sampling points

No.	Point	Longitude and Latitude	Land use	Remark
1	S-1	E127.29.26, N36.39.54	Residence	
2	S-2	E127.30.26, N36.37.51	Residence	
3	S-3	E127.30.20, N36.36.48	Green	park
4	S-4	E127.29.36, N36.36.45	Residence	
5	S-5	E127.28.20, N36.37.15	Residence	playground
6	S-6	E127.27.51, N36.37.44	Residence	
7	S-7	E127.28.36, N36.37.39	Residence	
8	S-8	E127.27.40, N36.38.39	Residence	playground
9	S-9	E127.26.10, N36.38.29	Green	park in industrial complex
10	S-10	E127.26.24, N36.38.30	Industry	
11	S-11	E127.26.59, N36.38.34	Industry	
12	S-12	E127.26.25, N36.38.47	Industry	
13	S-13	E127.27.22, N36.39.10	Industry	
14	S-14	E127.27.0, N36.38.10	School	in industrial complex
15	S-15	E127.26.32, N36.38.11	Industry	
16	S-16	E127.26.43, N36.38.26	Industry	
17	S-17	E127.29.19, N36.38.12	Green	park
18	S-18	E127.29.8, N36.37.55	Green	park
19	S-19	E127.30.53, N36.37.30	Commerce	
20	S-20	E127.25.59, N36.37.30	Green	park
21	S-21	E127.27.38, N36.37.51	Commerce	
22	S-22	E127.25.45, N36.37.53	Commerce	
23	S-23	E127.29.31, N36.40.54	Farmland	dry-field
24	S-24	E127.27.58, N36.37.16	Farmland	dry-field
25	S-25	E127.25.32, N36.36.41	Farmland	paddy field
26	S-26	E127.26.31, N36.36.30	Commerce	
27	S-27	E127.24.21, N36.37.27	Farmland	paddy field
28	S-28	E127.26.43, N36.38.26	Green	park

현황을 고려하여 28개 지점에서 수행하였다. 본 연구의 토양시료 채취지점과 채취내용은 Fig. 1과 Table 1에 각각 나타내었으며, 0~5 cm의 표층시료를 5지점 혼합방식으로 약 300 g 정도 채취하였다. 채취된 시료는 그늘질 곳에서 풍건한 후, 나뭇잎, 돌맹이 등 조대물질을 제거한 다음 2 mm체로 체거름을 한 후 각 채취지점별로 5개 시료를 등량혼합하여 분석용 시료로 하였다.

2.2. 분석방법

토양시료 중 다이옥신 분석은 내분비계 장애물질 측정 분석방법²⁾과 EPA method 1613³⁾을 기초로 하여 분석하였다. 등량 혼합된 토양시료에 정제용 내부표준물질 15종을 첨가하고 증류톨루엔으로 고속용매추출방법(Accelerated Solvent Extraction Method, ASE)을 이용하여 추출(1500 psi, 150°C, 7 min, 2회)하였다. 추출된 용매는 다검체 농축장치를 이용하여 수 mL정도까지 농축한 다음, n-헥산으로 용매를 전환하고 황산처리를 실시한 후 헥산세정수로 세정하여 약 1 mL로 농축하였다. 극성화합물, 농약류 및 착색물질 등 분석에 방해가 되는 물질을 제거하기 위하여 다층실리카겔 컬럼(아래서부터 무수황산나트륨, 중성실리카겔 1 g, 44% 황산실리카겔 5 g, 중성실리카겔 1 g, 10% 질산은 실리카겔 1 g, 무수황산나트륨 순으로 충전)과 PCBs 등을 제거하기 위해 알루미늄 컬럼(8 g)순으로 정제하였다. 최종적으로 25 µL로 농축하여 2종류의 실린지점가용 내부표준물질을 첨가하고 DB-5MS (60 m × 0.25 mm ID, 0.25 µm)를 이용하여 고분해능 가스크로마토그래피/질량분석기(Agilent HP 6890, Finnigan MAT 95XP)로 정성 및 정량분석을 수행하였다. 주입된 15개의 ¹³C-이성질체의 평균 회수율은 77±12~86±14%로 양호하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 다이옥신 농도

본 연구에서 채취한 토양 중 다이옥신 농도를 Table 2에 나타내었다. 17개 이성질체에 대한 PCDDs/DFs와 I-TEQ의 농도범위는 각각 2.30~630.40(평균 55.42) pg/g-dry, 0.002~9.79(평균 1.13) pg I-TEQ/g-dry로 조사되었다. 이들 농도는 기존에 보고된 우리나라 소각시설 주변의 농도들^{4~8)}보다 매우 낮은 수준을 나타내었으며, 환경부에서 실시하고 있는 내분비계장애물질 조사사업¹⁾과 평균농도에 있어서 4~6차 조사보다는 약간 높은 농도를 보였으나 다른 차년도의 결과보다 낮은 농도를 나타내어 청주시 토양 중 다이옥신 오염정도는 일부 지점을 제외하고는 낮은 것으로 판단된다.

일반적으로 소각로 배출가스에서 PCDFs가 PCDDs보다 높은 농도로 배출되고 있다고 알려져 있으며, 많은 다른 연구들^{9~11)}에서도 PCDFs와 PCDDs의 비율(PCDFs/PCDDs)에 대해 같은 결과를 보고하고 있다. 본 연구에서 토양 중 PCDFs와 PCDDs의 비율은 PCDDs/DFs의 농도에 대해서는 공단지역에서 채취된 시료(S-10, 11, 12, 13, 15와 16)에서 1 이상의 값을 나타냈으며 공단지역 근처지점(S-8과 9)에서도 1.39와 0.91로 다른 지점에 비해 높은 값을 보였다. 반면 농경지의 경우 모든 지점(S-23, 24, 25, 27)에서 0.4 이하의 값을 나타내 대조를 보였다. TEQ 농도에 대해서는 모든 지점에서 1 이상의 값을 보여 PCDFs에 의한 독성등가량의 기여가 높음을 알 수 있었다(S-6, 22와 27 지점은 OCDD만 검출됨).

각 지점별 농도를 살펴보면, 가장 높은 농도를 나타낸 지점은 흥덕구 산업공단내 소각업체 주변 도로변(S-16)으로 나타났으며 그 다음으로 공단 주변에 위치한 주택가 놀이터에서 2.61 pg I-TEQ/g으로 높았다. Fig. 2에서 보는

Table 2. Concentration of PCDDs/DFs in soil at Cheongju city

Point	17 Congeners conc. (pg/g-dry)				I-TEQ Conc. (pg I-TEQ/g-dry)
	PCDFs	PCDDs	Total	DF/DD	
S-1	0.87	4.99	5.86	0.18	0.01
S-2	0.29	2.55	2.85	0.12	0.01
S-3	3.75	18.82	22.57	0.20	0.09
S-4	6.02	27.19	33.21	0.22	0.51
S-5	19.02	20.76	39.78	0.92	1.44
S-6	n.d	8.39	8.39	n.a	0.01
S-7	7.00	21.70	28.70	0.32	0.59
S-8	27.98	20.10	48.08	1.39	2.61
S-9	5.50	6.07	11.57	0.91	0.43
S-10	20.32	18.28	38.59	1.11	1.07
S-11	51.20	22.97	74.18	2.23	2.45
S-12	46.49	28.65	75.14	1.62	2.43
S-13	7.02	5.88	12.90	1.19	0.53
S-14	9.79	13.00	22.78	0.75	0.54
S-15	33.15	28.05	61.19	1.18	1.85
S-16	447.39	183.01	630.40	2.44	9.79
S-17	24.19	97.58	121.77	0.25	1.19
S-18	37.31	33.96	71.26	1.10	1.29
S-19	0.50	4.68	5.18	0.11	0.03
S-20	19.04	19.54	38.58	0.97	1.17
S-21	12.20	20.92	33.13	0.58	0.89
S-22	n.d	2.30	2.30	n.a	0.002
S-23	7.20	19.16	26.36	0.38	0.65
S-24	3.99	16.07	20.05	0.25	0.10
S-25	12.20	66.09	78.29	0.18	0.92
S-26	2.17	3.99	6.16	0.55	0.08
S-27	n.d	9.98	9.98	n.a	0.01
S-28	9.58	13.00	22.59	0.74	0.81

n.d = not detected, n.a = not available

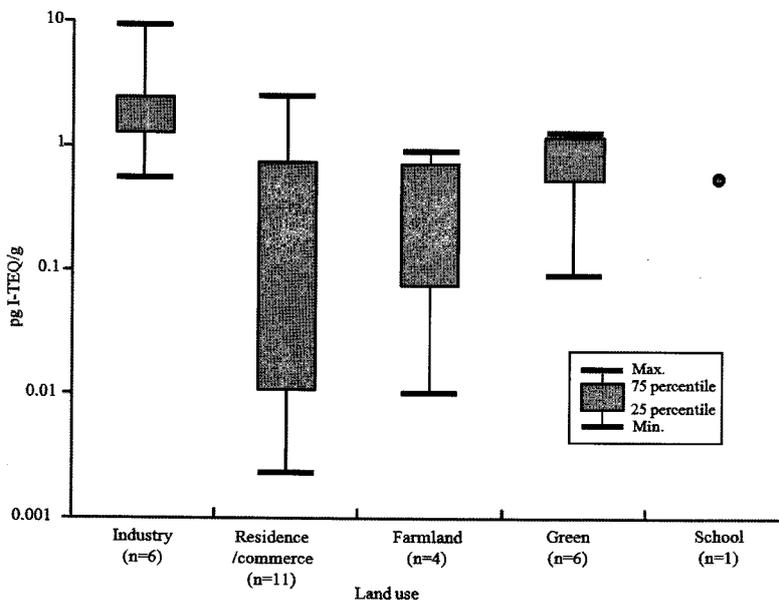


Fig. 2. Concentration of PCDDs/DFs by a land use.

바와 같이 토지이용별 토양 중 다이옥신 농도는 공단 > 녹지 > 주거 및 상업지 > 농경지의 순으로 나타났다. 녹지의 경우 공단 및 도심지 도로변에 위치해 있는 공원내에서 채취되어, 주거 및 상업지 토양보다 평균적으로 높은 농도를 나타낸 것으로 판단된다.

토양 중 Σ PCDDs/DFs와 I-TEQ 농도의 상관성을 살펴본 결과, 99% 신뢰구간에서 결정계수 R^2 값이 0.92로 나타나 통계적으로 유의한 상관성을 나타내었다(p값 <0.001).

3.2. 이성질체 분포특성

Fig. 3에 Σ PCDDs/DFs농도 및 I-TEQ 농도에 대한 17개 이성질체의 분포를 토지이용별로 나누어서 나타내었다. Fig. 3(a)는 PCDFs 및 PCDDs의 각각 이성질체의 합이 100%가 되도록 표준화하여 작성하였으며, Fig. 3(a)에 나타난 바와 같이 모든 토양 시료에서 가장 독성이 강한 2,3,7,8-TCDD는 검출되지 않았다. 또한 PCDDs에 있어서는 OCDD가 가장 높은 농도로 검출되었으며 그 다음으로 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD가 검출되었으며 다른 이성질체는 거의 검출되지 않았다. PCDFs에 있어서는 OCDF가 가장 높게 검출되었으며 그 다음으로 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF가 검출되었으며, 다른 이성질체들도 조금씩 검출되어 PCDDs와는 다른 경향을 보였다. OCDD가 높게 검출된 지점은 농경지, 녹지 및 주거지와 상가주변의 화단 등에서 나타났다. 공장지대가 아닌 일반지역 및 배정지역 토양 시료 중 OCDD가 높게 검출되는 이유로서는 대기의 침적에 의한 영향과 pentachlorophenol (PCP)에 의한 영향 등이 있을 수 있으나^{6,7)} 이들에 대한 명확한 규명은 17개 이성질체의 분석만으로는 어려우며 210개의 모든 이성질체 분석을 통해서 가능하다. 본 연구에서는 오염이 심한 지역이 없었기

때문에 이와 같은 분석 및 해석은 생략하였다. 위에서 언급한 4개의 이성질체는 전형적인 토양시료에서 주로 검출되는 이성질체들로, 3.1절의 각 지점별 농도 등도 고려할 때 다이옥신 발생원에 의한 영향을 크지 않은 것으로 판단된다.

한편, I-TEQ농도에 대한 비교방법^{12,13)}은 다이옥신 농도 크기에 대해 상대적으로 독립적이며, 소각 등의 연소공정에 영향을 받은 시료에서의 I-TEQ 농도에 대한 기여하는 이성질체는 농약 등의 영향을 받은 시료에서의 이성질체와 구별이 되기 때문에 오염특성 해석을 하는데 이용되어져 왔다. Fig. 3(b)는 PCDFs 및 PCDDs 이성질체의 I-TEQ 농도의 합이 100%가 되도록 표준화하였으며, I-TEQ 농도에 대한 각 이성질체의 기여는 토지이용형태에 따라 약간 차이를 보이지만 전체적으로 2,3,4,7,8-PeCDF가 가장 높았으며, 그 다음으로 OCDD, HxCDF/HpCDF의 순으로 높았다. PCDDs/DFs 이성질체 중 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD는 PCP 농약에서 독성을 갖는 주요한 이성질체¹⁴⁾이며, 2,3,4,7,8-PeCDF, 2,3,4,6,7,8-HxCDF 및 1,2,3,6,7,8-HxCDF는 소각로 배출가스의 특징적인 이성질체(fingerprint)⁹⁾로 알려져 있다. 공단과 녹지에서 채취된 토양은 연소공정의 특징을 나타내는 이성질체의 비율이 높은 반면, OCDD의 비율은 주거지/상업지 및 농경지의 시료와 달리 매우 낮게 나타났으며, 특히 공단지역에서 채취된 시료는 위에서 언급한 소각로 배출가스의 특징적인 3개 이성질체가 모두 다른 지점에 비해 가장 높은 비율을 나타내었다.

이상의 결과로부터 청주시 토양은 그 오염영향의 크기는 미미하지만, 공단지역 부근에서 채취된 시료는 소각로 배출가스의 영향을, 농경지 및 화단에서 채취된 시료는 PCP 또는 대기 침적의 영향을 받고 있는 것으로 판단된다.

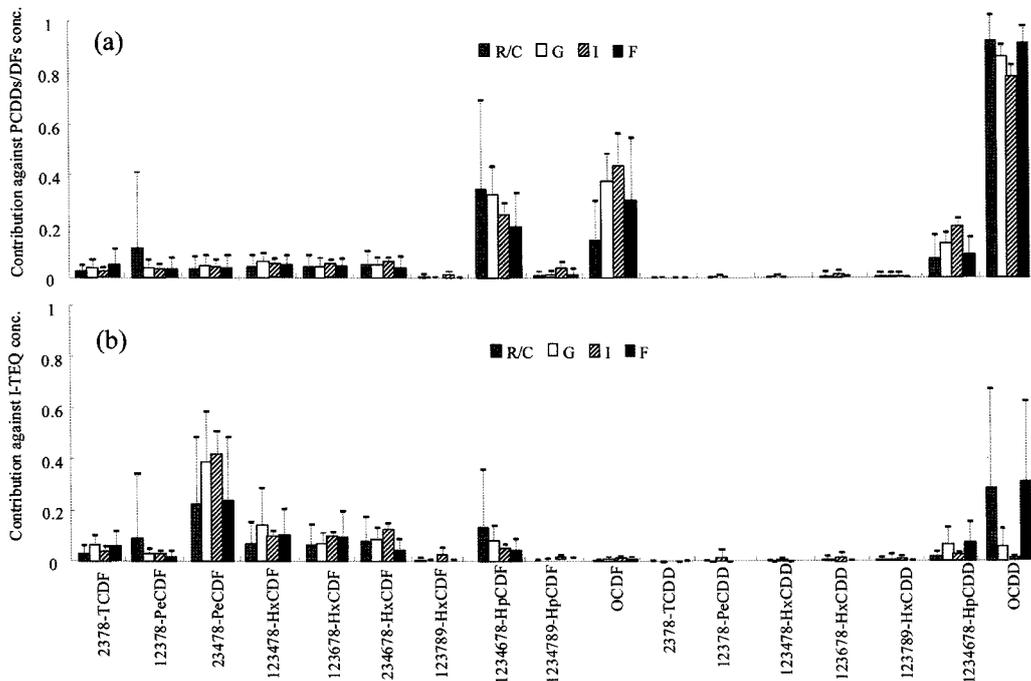


Fig. 3. 17 Congener profiles normalized to (A) Σ PCDFs=1 & Σ PCDDs=1 and (B) Σ I-TEQ=1.

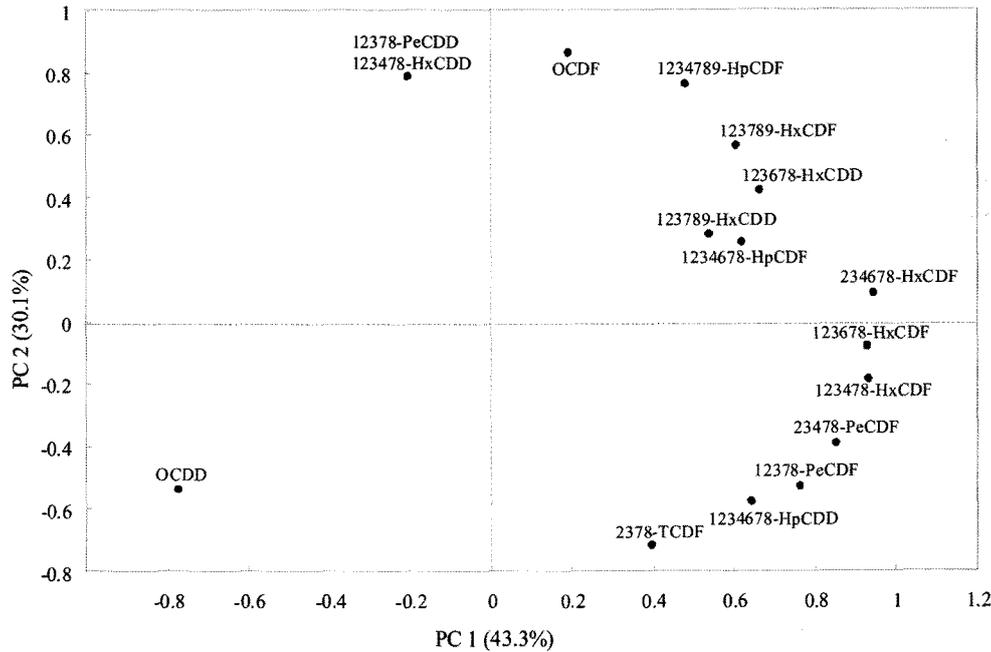


Fig. 4. Factor loading plot (PC 1 vs. PC 2) by a principal component analysis

3.3. 통계적해석을 이용한 오염특성 해석

본 연구에서 채취·분석한 청주시 토양 중 다이옥신 오염특성 해석을 위해 주성분분석(principal component analysis, PCA)를 수행하였다. 주성분분석은 SPSS 15.0을 이용하였으며, 입력변수는 채취된 28지점 토양의 17개 이성질체 농도를 $\sum PCDFs/DDs = 1$ 로 표준화 한 후 입력하였다. 또한 28지점 모두 2,3,7,8-TCDD 이성질체가 검출되지 않았기 때문에 입력변수에서 제외하였으며, 17개 이성질체 중 8개 이성질체이상에서 불검출된 시료는 제외하고 총 19개를 입력시료로 하였다.

Fig. 4에 주성분분석결과의 인자부하량 그림(주성분 1과 2)을 나타내었다. 주성분 2까지의 누적기여율은 73.4%였으며, 그 이하 주성분의 기여율은 매우 낮았기 때문에 주성분 2까지만을 대상으로 축의 해석을 수행하였다. Fig. 4에 나타난 바와 같이 주성분 1과 상관성이 높은(0.8 이상) 이성질체는 1,2,3,4,7,8-HxCDF, 1,2,3,6,7,8-HxCDF, 2,3,4,6,7,8-HxCDF와 2,3,4,7,8-PeCDF로 앞에서 언급한 바와 같이 소각로 배출가스의 특성을 나타내는 이성질체로 주성분 1의 양의 축은 연소에 의한 영향으로 해석하였다. OCDD는 주성분 1과 강한 음의 상관관계를 나타내었는데 이것은 OCDD는 PCP 농약의 특징적인 이성질체¹⁴⁾로 주성분 1의 양의 축인 연소과정의 특징과는 상반된 특징을 나타내기 때문이다. 주성분 2와 상관성이 높은(0.7 이상) 이성질체는 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF, OCDF, 1,2,3,7,8-PeCDD와 1,2,3,4,7,8-HxCDD였다. 17개 다이옥신 이성질체 중 chloronitrophen (CNP)의 특징적인 이성질체¹⁵⁾는 1,2,3,6,7,8-HxCDF, 2,3,4,6,7,8-HxCDF, 1,2,3,7,8-PeCDD 및 1,2,3,6,7,8-HxCDD이며, 앞에서 서술한 바와 같이 PCP의 특징적인 이성질체는 OCDD, OCDF, 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF와 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD이다. 따

라서 주성분 2는 PCP 및 CNP 등의 농약에 의한 영향으로 해석하였다. 그러나, 다이옥신은 총 210개의 이성질체가 존재하며, CNP의 특징적인 이성질체¹⁴⁾는 독성이 있는 17개 이성질체의 1,3,6,8-TCDD, 1,3,7,9-TCDD, 1,2,4,6,8/1,2,4,7,9-PeCDD, 1,2,3,7,9-PeCDD, 2,4,6,8-TCDF, 1,3,4,6,8/1,2,4,6,8-PeCDF이며, PCP의 경우 1,2,4,6,7,9/1,2,4,6,8,9-HxCDD, 1,2,3,6,7,9/1,2,3,6,8,9-HxCDD, 1,2,4,6,8,9-HxCDF 및 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF가 특징적인 이성질체¹⁴⁾로 알려져 있기 때문에 고농도로 오염된 환경매체의 오염특성을 해석하기 위해서는 모든 이성질체를 분석하는 것이 필요하나 본 연구 대상 지역의 토양 중 다이옥신 농도는 높지 않기 때문에 실시하지 않았다.

4. 결론

본 연구는 현재까지 국내외적으로 보고된 바가 없는 비교적 청정한 지역인 청주시를 대상으로 장기적인 다이옥신 오염의 정도를 알아보기 위해 토양시료를 채취·조사하였다. 청주시 토양 중 다이옥신 농도는 국내 소각시설 주변 토양보다는 매우 낮은 농도로, 내분비계장애물질 조사사업 결과와는 비슷하거나 낮은 수준을 나타내었다. 토양 중 다이옥신의 오염특성을 해석하기 위해 주성분분석을 사용하였으며, 그 결과 소각로 배출가스등의 연소공정과 PCP 및 CNP 등의 농약 등의 발생원이 영향을 미치고 있는 것으로 추정되었다.

참고문헌

1. 환경부, 내분비계장애물질 환경잔류실태조사(1999~2005).
2. 국립환경연구원, 내분비계장애물질 측정분석방법(2002).

3. US EPA, 1994, Method 1613 Tetra-through Octa-Chlorinated Dioxins and Furans by Isotope Dilution HRGC/HRMS.
4. 김종국, 김경수, 김재식, 신선경, 정영희, 정일록, “이성체 정보를 이용한 토양 중 다이옥신 오염원 해석,” *대한환경공학회지*, **27**(3), 316~322(2005).
5. Kim, K. S., Kim, K. K., and Kim, J. G., “The concentration of PCDD/Fs in flue gas and soil collected in the vicinity of various incinerators, Korea,” *Environ. Eng. Res.*, **12**, 55~63(2007).
6. Kim, K. S., Shin, S. K., Kim, K. S., Song, B. J., and Kim, J. G., “National monitoring of PCDD/DFs in environmental media around incinerators in Korea,” *Environment International*, **34**, 202~209(2008).
7. Oh, J. E., Choi, S. D., Lee, S. J., and Chang, Y. S., “Influence of a municipal solid waste incinerator on ambient air and soil PCDD/Fs levels,” *Chemosphere*, **64**, 579~587(2006).
8. Park, S., Kim, S. J., Kim, K. S., Lee, D. S., and Kim, J. G., “Influence of an industrial waste incinerator as assessed by the levels and congener patterns of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans,” *Environ. Sci. Technol.*, **38**, 3820~3826(2004).
9. Lohmann, R. and Jones, K. C., “Dioxins and furans in air and deposition: a review of levels, behavior and processes,” *Sci. Total Environ.*, **219**, 53~81(1998).
10. Kim, S. C., Jeon, S. H., Jung, I. R., Kim, K. H., Kwon, M. H., Kim, J. H., Yi, J. H., Kim, S. J., You, J. C., and Jung, D. H., “Formation and emission status of PCDDs/PCDFs in municipal solid waste incinerators in Korea,” *Chemosphere*, **43**, 701~707(2001).
11. Yu, B. W., Jin, G. Z., Moon, Y. H., Kim, M. K., Kyoung, J. D., and Chang, Y. S., “Emission of PCDD/Fs and dioxin-like PCBs from metallurgy industries in S. Korea,” *Chemosphere*, **62**, 494~501(2006).
12. Lohmann, R., Green, N. J. L., and Jones, K. C., “Detailed studies of the factors controlling atmospheric PCDD/DFs concentrations,” *Environ. Sci. Technol.*, **33**, 4440~4447(1999).
13. Capuano, F., Cavalchi, B., Martinelli, G., Pecchini, G., Renna, E., and Scaroni, I., “Environmental prospection for PCDD/PCDF, PAH,PCB and heavy metals around the incinerator power plant of Reggio Emilia town (Northern Italy) and surrounding main roads,” *Chemosphere*, **58**, 1563~1569(2005).
14. Masunaga, S., Takasuga, T., and Nakanishi, J., “Dioxin and dioxin-like PCB impurities in some Japanese agrochemical formulations,” *Chemosphere*, **44**, 873~885(2001).