

## 토양 중의 다이옥신 오염실태 조사

- 부산지역 토양 중의 다이옥신 오염실태 파악으로 중장기 환경기준 마련 및 토양정화 대책수립의 기초자료 구축

### 1. 조사개요

- 조사목적 : 연구사업 수행(2005 ~ 2006) 후 지속적인 토양오염실태조사를 강화하여 향후 토양오염 정화대책의 기초자료 구축 및 토양환경 보전에 기여
- 조사기간 : 1년 (2008. 1. ~ 2008. 12.)
- 조사항목 : 다이옥신류 (17종)
- 조사대상 : 교통관련지역 등 7개 지역 30개 지점
- 조사방법 : 잔류성유기오염물질 공정시험방법, EPA method 1613, JIS method K 0311

### 2. 조사내용 및 방법

- 시료채취기간 : 2008년 3월 ~ 5월
- 조사지역 및 지점
  - ▷ 조사지역 및 지점은 교통관련지역 2개지점 등 총 7개지역 30개 지점이며, 표 1과 같다.

표 1. 시료 채취 지점

시료 채취 지점	
교통관련지역(2)	가야차량사무소, (주) 강남
공장및공업지역(7)	풍산마이크로텍, 한국남부발전, 부산탱크터미널, 동일고무벨트, 신호공단, 덕포공원, 동보체인공장
금속광산지역(2)	철마임기납석광산, 정관용천납석광산
금속제련소지역(3)	YK 스틸, 대한제강, 한국주철관공업(주),
기타토지개발지역(1)	구 CJ 부산공장
원광석, 고철, 야적지역(3)	민하산업, 오에스산업, 고려자원
폐기물 적치, 매립, 소각지역(12)	늘푸른환경, 남일환경산업, 서봉리사이클링, 영남환경, 에너지네트웍, 부영개발, 명지소각장, 이비알산업, 호생환경, 호제환경산업, 청하환경, 반릉매립장

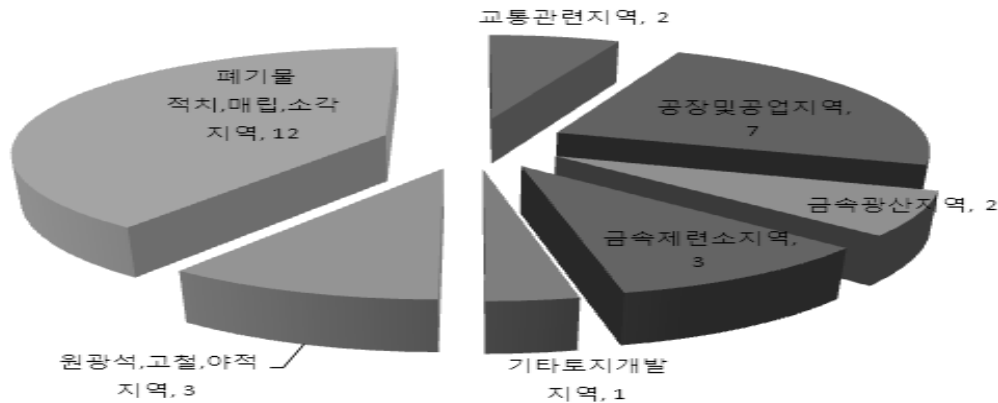


그림 1. 시료 채취 지점

○ 조사항목 및 독성등가계수(TEF : Toxic Equivalent Factor)

▷ 총 210종의 다이옥신류 중 독성이 알려진 17종의 다이옥신류를 조사하였으며, 그 독성등가계수는 표 2와 같다.

표 2. 독성등가 환산계수(I-TEF)

No.	Chemicals	I-TEF <sup>1)</sup>	No.	Chemicals	I-TEF <sup>1)</sup>
1	2,3,7,8-TCDF	0.100	11	2,3,7,8-TCDD	1.000
2	1,2,3,7,8-PeCDF	0.050	12	1,2,3,7,8-PeCDD	0.500
3	2,3,4,7,8-PeCDF	0.500	13	1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.100
4	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.100	14	1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.100
5	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.100	15	1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.100
6	2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.100	16	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.010
7	1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.100	17	OCDD	0.001
8	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.010			
9	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.010			
10	OCDF	0.001			

1) I-TEF : International Toxic Equivalent Factor

○ 조사방법

▷ 시료채취방법(구, 군에서 시료채취)

- 토양오염실태조사 지침에 따라 공장지역, 매립지역, 시가지 지역 등 기타지역의 경우는 그림. 2에서처럼 대상지역의 중심이 되는 1개 지점과 주변 4방위의 5~10 m 거리에 있는 1개 지점씩 총 5개 지점을 선정하여 채취하며,
- 농경지는 대상지역 내에서 지그재그 형으로 5~10개 지점에서 채취
- 자료 및 현장조사를 통하여 지형, 풍향, 지하수 유동을 고려하여 대표지점을 선정.
- 잔류성유기오염물질 공정시험방법에 따라 각 지점에서 지표면으로부터 0~15 cm 사이의 표토를 토양시료 채취기를 이용하여 채취한 다음 풍건 후 체거름(2 mm)하여 균일하게 시료를 혼합

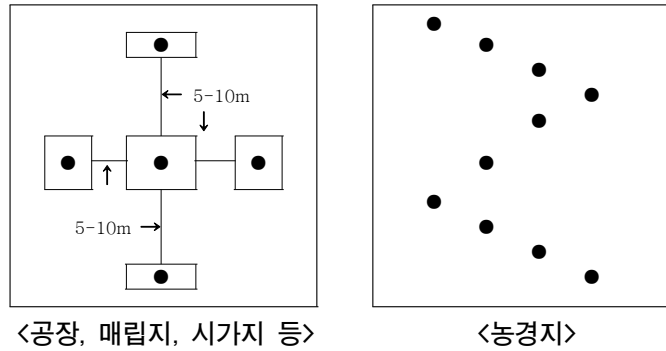


그림 2. 시료 채취 방법

▷ 분석방법

- 전처리방법 : 잔류성유기오염물질 공정시험방법, EPA method 1613 및 JIS method K 0311에 따라 전처리하였으며, 전처리 절차는 그림 3과 같다.
- 기기분석방법 : 분석에 사용된 기기는 HRGC/HRMS(HP 6890/Autospec Ultima)를 사용하였으며, 기기분석 조건은 표 3 및 4와 같다.

<b>시료채취</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 풍건</li> <li>○ 체거름(2 mm)</li> </ul>
<b>조제된 시료 건조</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 정제용 내부표준물질 일정량 첨가 (<sup>37</sup>C<sub>14</sub>-2,3,7,8-T<sub>4</sub>CDD 1종, 2 ng/mL)</li> <li>○ 2N-HCl 처리</li> <li>○ 여과</li> </ul>
<b>액액 및 속실렛 추출</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 정제용 내부표준물질 일정량 첨가 (<sup>13</sup>C<sub>12</sub>-2,3,7,8-T<sub>4</sub>CDD 등 15종, 100~200 ng/mL)</li> <li>○ 여과 후 여액은 액액추출</li> <li>○ 여과 고상시료는 물로 세정 후 풍건 한 다음 속실렛 추출</li> <li>○ 톨루엔으로 16시간 이상 추출</li> <li>○ 혼합추출액의 일정량을 사용</li> </ul>
<b>용매전환</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 질소가스로 약 100 uL 이하로 농축</li> <li>○ n-헥산 약 2 mL 첨가</li> </ul>
<b>멀티-실리카겔 컬럼</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ n-헥산 150 mL로 용출</li> <li>○ 농축기로 약 5 mL로 농축</li> <li>○ 질소가스로 약 1 mL로 농축</li> </ul>
<b>알루미나 컬럼</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2% 디클로로메탄 함유 n-헥산 100 mL 용출 후 별도 보관</li> <li>○ 50% 디클로로메탄 함유 n-헥산 100 mL로 용출</li> <li>○ 농축기로 약 5 mL로 농축</li> <li>○ 질소가스로 약 1 mL로 농축</li> </ul>
<b>카본 컬럼</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 25% 디클로로메탄 함유 n-헥산 100 mL 용출 후 별도 보관</li> <li>○ 톨루엔 200 mL로 농축</li> <li>○ 농축기로 약 1 mL로 농축</li> <li>○ 질소가스로 약 100 uL 이하로 농축</li> <li>○ 톨루엔으로 용매전환</li> <li>○ 실린지첨가용 내부표준물질 일정량 첨가 (<sup>13</sup>C<sub>12</sub>-1,2,3,4-T<sub>4</sub>CDD, <sup>13</sup>C<sub>12</sub>-1,2,3,7,8,9-H<sub>6</sub>CDD 각 100 ng/mL)</li> <li>○ 최종용액 50 uL로 맞춤</li> </ul>
<b>기기분석</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 고분해능 가스크로마토그래프/질량분석기 사용</li> <li>○ EI, 선택질량이온측정법으로 분석</li> </ul>

그림 3. 다이옥신 분석 절차도

표 3. 가스 크로마토그래프 분석조건

Descriptor	Condition
Instrument	HP 6890
Column	SP-2331 (60 m × 0.25 mm ID × 0.2 um 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	1 uL

표 4. 질량분석기 분석조건

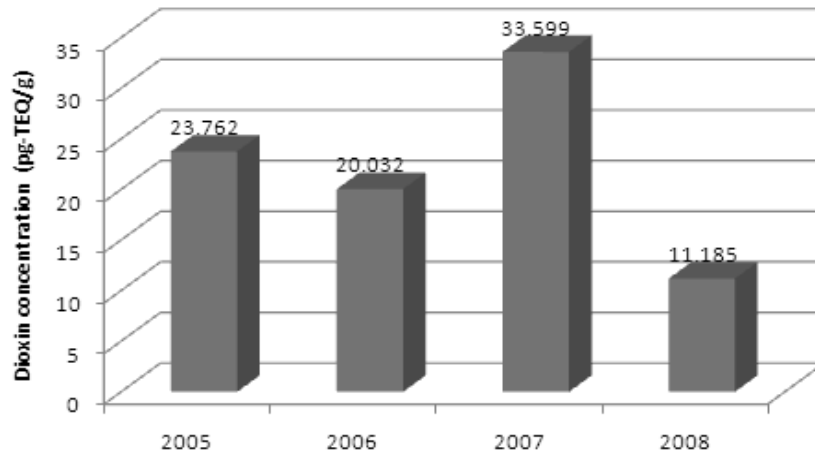
Descriptor	Condition
Instrument	Autospec Ultima
Source temp.	260 °C
Electron energy	35.0 eV
Resolution	10,000 이상
Ionization mode	Electron Ionization Positive Mode (EI <sup>+</sup> )
Selected Ion Mode (SIM)	M <sup>+</sup> and M+2 or M+2 and M+4
Interface temp.	
- Capillary line 1	260 °C
- Capillary line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

### 3. 조사결과

#### ○ 다이옥신 잔류실태

##### ▷ 연도별 다이옥신 농도 변화(그림 4)

- 교통관련지역 2개 지점 등 총 7개 지역 30개 지점의 농도범위는 0.092~59.507 pg-TEQ/g(평균 11.185)으로 선진국의 토양환경기준(1,000 pg-TEQ/g)보다 훨씬 못미치는 수준이었으며,
- 2005년부터 조사를 시작한 이후 2007년까지는 다이옥신 농도가 점점 증가하였으며, 2008년에는 2007년 대비 45.8% 수준으로 감소하였음.



	2005	2006	2007	2008
(unit : pg-TEQ/g)				
n	23	21	35	30
min	0.082	0.417	0.236	0.092
max	194.232	156.753	322.736	59.507
mean	23.762	20.032	33.599	11.185

그림 4. 연도별 연평균 다이옥신 농도

▷ 오염원 지역별 다이옥신 농도 분포(그림 5, 표 5)

- 오염원 지역별 다이옥신 농도분포는 그림 5 및 표 5에서 나타난 것처럼 금속제련소지역이 28.772 pg-TEQ/g으로 가장 높게 검출되었으며, 기타토지개발지역(22.728) > 폐기물 적치, 매립, 소각지역(14.246) > 원광석, 고철, 야적지역(12.069) > 교통관련지역(7.675) > 공장 및 공업지역(3.714) > 금속광산지역(0.157) 순으로 조사되었음.
- 2005년 이후의 결과를 보면 주로 금속제련소지역이나 폐기물 매립, 적치, 소각지역에서 높게 검출되었으며,
- 조사대상 지역 중 가장 낮게 검출된 지역은 금속광산지역인 「철마임기납석광산지역」으로 0.092 pg-TEQ/g이었으며, 가장 높게 검출된 지역은 폐기물 적치, 매립, 소각지역인 「부영개발」에서 59.507 pg-TEQ/g으로 가장 높게 검출되었음.

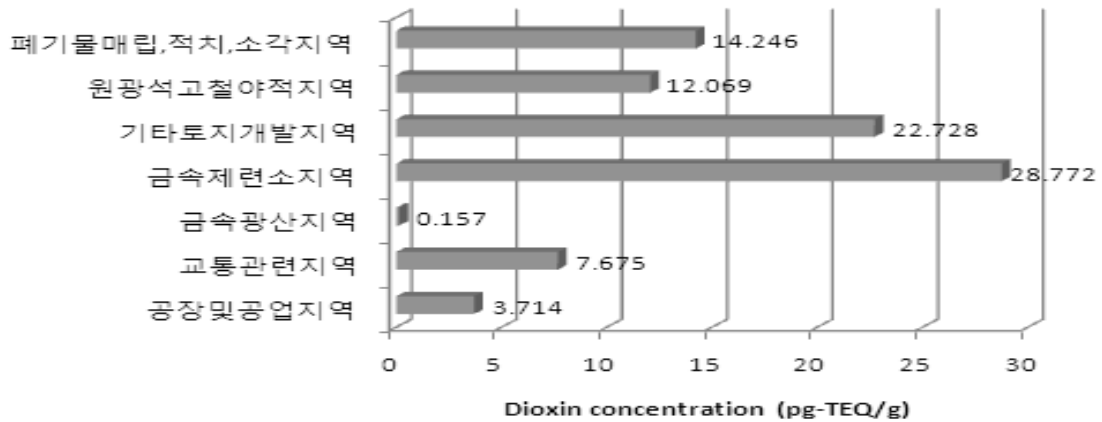


그림 5. 오염원별 평균 다이옥신 농도

표 5. 연도별 및 오염원별 평균 다이옥신 농도

(unit : pg-TEQ/g)

지역별	2005	2006	2007	2008
공장 및 공업지역	52.308	6.420	12.038	3.714
공장폐수유입지역	7.934	0.482	21.000	-
교통시설관련지역	3.768	-	29.778	7.675
금속광산지역	1.724	1.111	7.351	0.157
금속제련소지역	16.808	86.204	50.357	28.772
기타토지개발지역	-	-	1.291	22.728
사고발생 및 민원유발지역	-	-	3.670	-
어린이놀이터지역	-	-	0.548	-
원광석, 고철 야적지역	4.664	3.489	50.699	8.838
폐기물적치, 매립, 소각지역	26.199	15.141	67.527	14.246
평균	16.201	18.808	24.426	11.185

▷ 다이옥신 congeners별 분포특성(표 6)

- 조사대상 지역인 7개 지역 30개 지점의 평균 다이옥신 congeners 분포는 실측값의 경우 OCDD의 기여율이 53.3 %로 가장 높게 나타났으며, 123789-HxCDF의 기여율이 0.1 %로 가장 낮게 나타났음.
- TEQ값의 경우 TEF값의 영향으로 실측값과는 약간 다른 경향을 보였으며, 가장 높은 기여율을 나타낸 congener는 23478-PeCDF로써 36.7 %였고, 가장 낮은 기여율을 나타낸 congener는 실측값과 마찬가지로 123789-HxCDF로써 0.3 %였음.
- 또한 실측값의 PCDFs/PCDDs 비가 약 0.45로써 PCDDs가 PCDFs보다 약 2배 이상 많이 검출되었으며, TEQ값의 경우 PCDFs/PCDDs의 비는 실측값과는 반대로 약 2.40으로 나타났음.

표 6. 다이옥신 이성체 분포

Congeners	Real values		TEQ values	
	Concentration (pg/g)	Contribution (%)	Concentration (pg-TEQ/g)	Contribution (%)
1 2378-TCDF	5.108	1.3	0.549	4.6
2 12378-PeCDF	7.350	1.9	0.402	3.4
3 23478-PeCDF	8.193	2.1	<b>4.376</b>	<b>36.7</b>
4 123478-HxCDF	9.982	2.5	1.049	8.8
5 123678-HxCDF	7.767	2.0	0.823	6.9
6 234678-HxCDF	7.322	1.9	0.768	6.4
7 123789-HxCDF	0.304	0.1	0.033	0.3
8 1234678-HpCDF	31.691	8.1	0.328	2.8
9 1234789-HpCDF	4.614	1.2	0.048	0.4
10 OCDF	40.570	10.3	0.041	0.3
<b>PCDF</b>	<b>122.901</b>	<b>31.3</b>	<b>8.417</b>	<b>70.6</b>
11 2378-TCDD	0.355	0.1	0.406	3.4
12 12378-PeCDD	2.513	0.6	1.354	11.3
13 123478-HxCDD	1.638	0.4	0.180	1.5
14 123678-HxCDD	4.510	1.2	0.481	4.0
15 123789-HxCDD	3.591	0.9	0.388	3.3
16 1234678-HpCDD	47.440	12.1	0.488	4.1
17 OCDD	<b>209.192</b>	<b>53.3</b>	0.214	1.8
<b>PCDD</b>	<b>269.239</b>	<b>68.7</b>	<b>3.512</b>	<b>29.4</b>
<b>Σ(PCDF + PCDD)</b>	<b>392.140</b>	<b>100.0</b>	<b>11.929</b>	<b>100.0</b>

▷ 동족체 패턴을 통한 주성분분석(그림 6, 그림 7)

- 실측값에 대한 주성분분석결과 2개의 주요인으로 성분 1과 성분 2는 각각 92.9 및 5.2 %로 총 98.1 %로 설명되었음.
- 거의 대부분의 시료가 포함된 그룹 I 은 주성분 주요인 1축에 높은 양의 가중치를 보였으며, OCDD가 가장 높은 비율을 차지하였으며,
- 그룹 II는 「(구)CJ부산공장」 지역과 「(주)청하환경」 지역이 포함되어있으며, 주요인 2축에 높은 양의 가중치를 보였고, OCDF가 가장 높은 비율을 차지하였음.

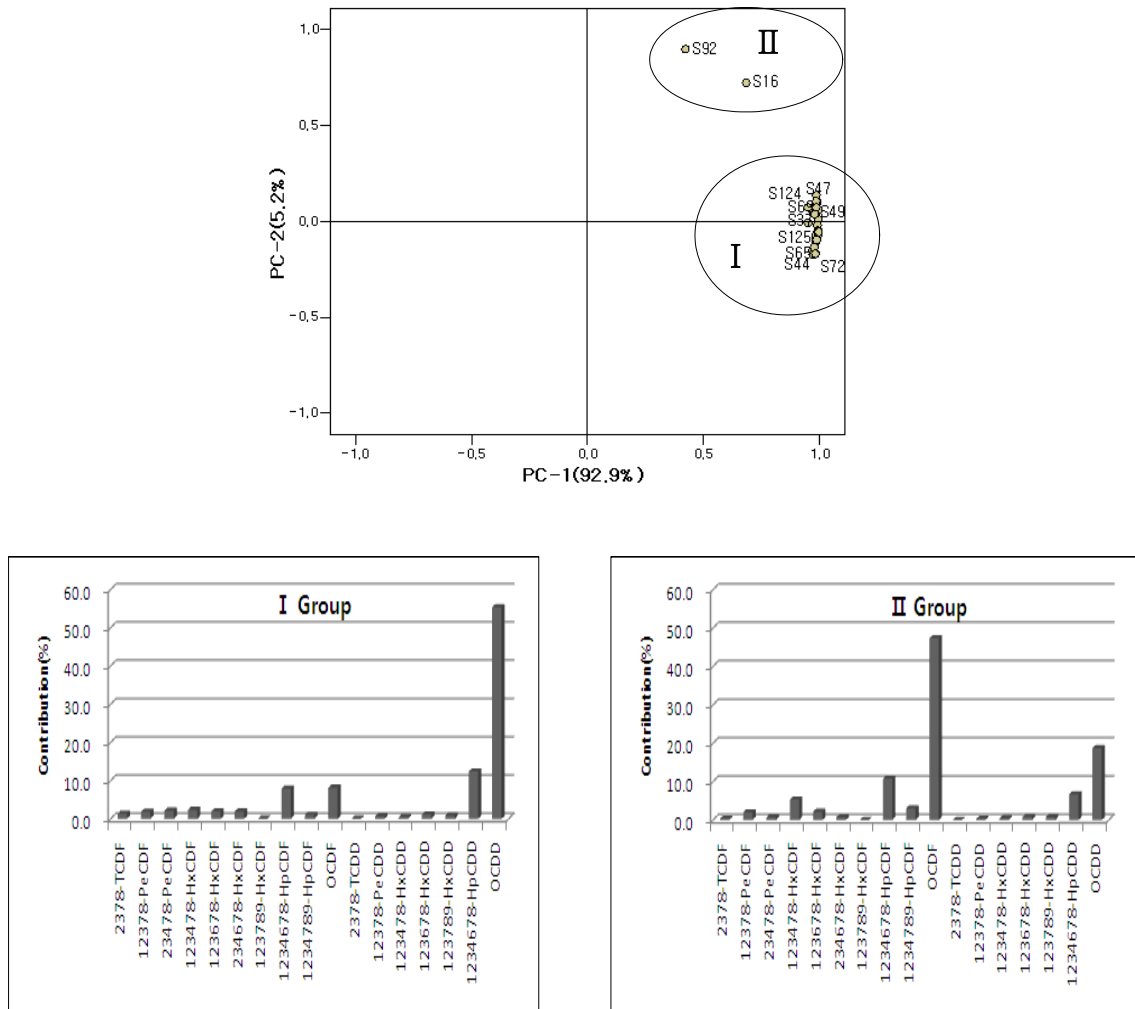


그림 6. 다이옥신 이성체(실측값)에 대한 주성분 분석

- TEQ값에 대한 주성분분석결과 2개의 주요인으로 성분 1과 성분 2는 각각 82.4 및 9.0 %로 총 91.4 %로 설명되었음.
- 거의 대부분의 시료가 포함된 그룹 I은 주성분 주요인 1축에 높은 양의 가중치를 보였으며, 23478-PeCDF 및 12378-PeCDD가 높은 비율을 차지하였으며,
- 철마임기납석광산지역 및 정관용천납석광산지역이 포함된 그룹 II는 주요인 2축에 높은 양의 가중치를 보였고, 123478-HxCDF, 123678-HxCDF, 234678-HxCDF가 높은 비율을 차지하였음.
- 광산지역 토양 중 다이옥신 농도는 타지역에 비해 비교적 낮았으며 congeners 분포 또한 PeCDF와 PeCDD가 높게 검출된 타지역과는 달리 HxCDF와 HpCDF가 주로 검출되었으며, PCDDs는 거의 검출이 안되는 것으로 나타났음.



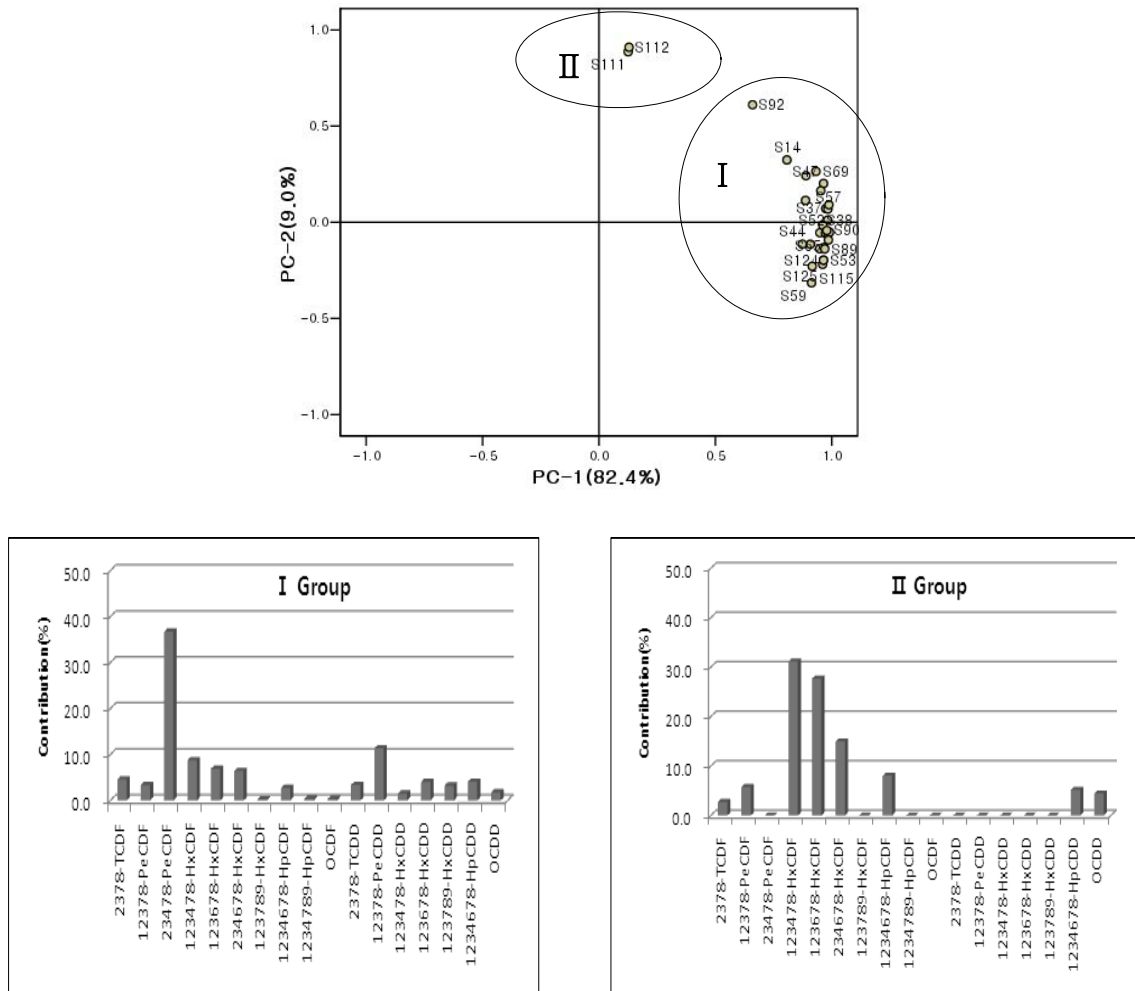


그림 7. 다이옥신 이성체(TEQ값)에 대한 주성분 분석

○ 지점별 다이옥신 농도

▷ 공장 및 공업지역(표 7)

- 공장 및 공업지역은 총 7개지점을 조사하였으며, 농도범위는 0.579~16.232 pg-TEQ/g(평균 3.714 pg-TEQ/g)이었음.
- 7개 모든 지점에서 PCDDs보다는 PCDFs가 많이 검출되었으며, 특히 23478-PeCDF가 가장 많이 검출되었음.
- 7개 지점 평균 congeners 분포를 보면, 23478-PeCDF가 1.120 pg-TEQ/g으로 가장 많이 검출되었으며, 그 다음으로는 12378-PeCDD > 123478-HxCDD > 234678-HxCDF 순으로 많이 검출되었음.

표 7. 공장 및 공업지역의 다이옥신 이성체 분포

(unit : pg-TEQ/g)

No.	Congeners	풍산 마이크로텍	한국 남부발전	부산 탱크터미널	동일 고무벨트	신호 공단	덕포 공원	동보체인 1공장	Average
1	2378-TCDF	0.163	0.028	0.086	0.112	0.000	0.034	0.365	0.113
2	12378-PeCDF	0.077	0.020	0.056	0.077	0.039	0.000	0.523	0.113
3	23478-PeCDF	<b>0.837</b>	<b>0.255</b>	<b>0.621</b>	<b>0.774</b>	<b>0.320</b>	<b>0.388</b>	<b>4.648</b>	<b>1.120</b>
4	123478-HxCDF	0.245	0.000	0.270	0.178	0.148	0.115	1.101	0.294
5	123678-HxCDF	0.219	0.057	0.240	0.129	0.085	0.092	1.008	0.262
6	234678-HxCDF	0.219	0.067	0.232	0.125	0.069	0.153	0.996	0.266
7	123789-HxCDF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.067	0.010
8	1234678-HpCDF	0.120	0.022	0.101	0.072	0.044	0.036	0.292	0.098
9	1234789-HpCDF	0.000	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000	0.052	0.010
10	OCDF	0.020	0.000	0.012	0.011	0.006	0.006	0.018	0.010
	<b>PCDF</b>	<b>1.898</b>	<b>0.448</b>	<b>1.636</b>	<b>1.478</b>	<b>0.713</b>	<b>0.823</b>	<b>9.071</b>	<b>2.295</b>
11	2378-TCDD	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.042	0.149
12	12378-PeCDD	0.437	0.000	0.149	0.187	0.000	0.297	2.764	0.548
13	123478-HxCDD	0.061	0.027	0.000	0.000	0.000	0.000	0.533	0.089
14	123678-HxCDD	0.142	0.000	0.103	0.000	0.000	0.000	1.181	0.204
15	123789-HxCDD	0.000	0.045	0.101	0.113	0.000	0.102	0.948	0.187
16	1234678-HpCDD	0.188	0.033	0.069	0.153	0.053	0.045	0.583	0.161
17	OCDD	0.179	0.025	0.047	0.158	0.037	0.019	0.110	0.082
	<b>PCDD</b>	<b>1.007</b>	<b>0.130</b>	<b>0.469</b>	<b>0.611</b>	<b>0.090</b>	<b>0.463</b>	<b>7.161</b>	<b>1.419</b>
	<b>Total</b>	<b>2.905</b>	<b>0.579</b>	<b>2.104</b>	<b>2.089</b>	<b>0.803</b>	<b>1.287</b>	<b>16.232</b>	<b>3.714</b>

## ▷ 폐기물 적치, 매립, 소각지역(표 8)

- 폐기물 적치, 매립, 소각지역은 총 14개 지점을 조사하였으며, 농도범위는 0.788~59.507 pg-TEQ/g(평균 14.246 pg-TEQ/g)이었음.
- 「청하환경」 지역을 제외한 모든 지역에서 23478-PeCDF가 가장 많이 검출되었으며,
- 14개 지점 평균 PCDFs의 기여율은 68.8 %로써 PCDD보다 2배 이상 더 많이 검출되었으며, 특히 「호제환경산업」 지역의 경우 PCDFs의 기여율이 81.3 %로 가장 높게 나타났음.
- 개별 congeners들의 기여율을 보면 23478-PeCDF가 35.7%로 가장 높게 나타났으며, 12378-PeCDD(12.6%) > 123478-HxCDF(9.4%) > 123678-HxCDF(7.0) > 234678-HxCDF(6.5%) > 1234678-HpCDD(5.5%) 순이었음.
- 조사대상 30개지점 중 가장 높게 검출된 「부영개발」 지역의 경우 23478-PeCDF의 기여율이 44.24 %로써 폐기물관련지역 전체평균보다 훨씬 높게 나타났으며, 반면 PCDFs의 기여율은 전체평균인 68.8 %보다 낮은 59.1 %로 나타났음.

표 8. 폐기물 적치, 매립, 소각지역의 다이옥신 이성체 분포 (unit : pg-TEQ/g)

No.	Congeners	늘푸른 환경	남일 환경산업	서봉 리사이클링	에너지 네트웍	부영개발	명지 소각장	이비알 산업
1	2378-TCDF	0.461	0.133	0.198	0.435	1.161	0.026	0.125
2	12378-PeCDF	0.257	0.084	0.247	0.590	0.702	0.028	0.115
3	23478-PeCDF	<b>3.054</b>	<b>0.921</b>	<b>1.845</b>	<b>5.333</b>	<b>26.324</b>	<b>0.299</b>	<b>0.960</b>
4	123478-HxCDF	0.807	0.355	0.667	1.660	2.224	0.076	0.221
5	123678-HxCDF	0.696	0.257	0.445	1.558	1.660	0.069	0.202
6	234678-HxCDF	0.807	0.310	0.446	1.813	1.735	0.074	0.248
7	123789-HxCDF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	1234678-HpCDF	0.248	0.158	0.249	0.778	0.950	0.028	0.100
9	1234789-HpCDF	0.065	0.000	0.024	0.115	0.137	0.000	0.000
10	OCDF	0.035	0.022	0.042	0.059	0.246	0.000	0.015
	<b>PCDF</b>	<b>6.431</b>	<b>2.240</b>	<b>4.164</b>	<b>12.341</b>	<b>35.140</b>	<b>0.600</b>	<b>1.987</b>
11	2378-TCDD	0.573	0.000	0.416	0.000	0.619	0.000	0.253
12	12378-PeCDD	0.995	0.365	0.662	1.331	14.111	0.000	0.360
13	123478-HxCDD	0.192	0.000	0.124	0.348	0.351	0.000	0.000
14	123678-HxCDD	0.513	0.181	0.352	0.945	2.725	0.000	0.110
15	123789-HxCDD	0.365	0.144	0.325	0.697	1.169	0.000	0.122
16	1234678-HpCDD	0.378	0.217	0.610	0.837	4.219	0.053	0.137
17	OCDD	0.154	0.182	0.548	0.269	1.173	0.134	0.129
	<b>PCDD</b>	<b>3.171</b>	<b>1.090</b>	<b>3.037</b>	<b>4.428</b>	<b>24.367</b>	<b>0.187</b>	<b>1.112</b>
	<b>Total</b>	<b>9.602</b>	<b>3.330</b>	<b>7.200</b>	<b>16.769</b>	<b>59.507</b>	<b>0.788</b>	<b>3.099</b>

(Continued)

No.	Congeners	호생환경	호제 환경산업	청하환경	반룡매립장	영남환경	Average
1	2378-TCDF	0.157	0.360	0.209	0.045	1.502	<b>0.401</b>
2	12378-PeCDF	0.144	0.322	0.644	0.063	1.733	<b>0.411</b>
3	23478-PeCDF	<b>1.243</b>	<b>2.597</b>	2.223	<b>0.544</b>	<b>15.618</b>	<b>5.080</b>
4	123478-HxCDF	0.350	0.922	<b>3.366</b>	0.271	5.169	<b>1.341</b>
5	123678-HxCDF	0.282	0.666	1.321	0.168	4.646	<b>0.997</b>
6	234678-HxCDF	0.298	0.693	0.452	0.158	4.005	<b>0.920</b>
7	123789-HxCDF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.406	<b>0.034</b>
8	1234678-HpCDF	0.118	0.321	0.665	0.054	1.859	<b>0.461</b>
9	1234789-HpCDF	0.000	0.057	0.198	0.015	0.306	<b>0.076</b>
10	OCDF	0.008	0.033	0.300	0.000	0.113	<b>0.073</b>
	<b>PCDF</b>	<b>2.600</b>	<b>5.970</b>	<b>9.379</b>	<b>1.318</b>	<b>35.358</b>	<b>9.794</b>
11	2378-TCDD	0.297	0.000	0.000	0.000	1.450	<b>0.301</b>
12	12378-PeCDD	0.300	0.000	0.785	0.000	2.590	<b>1.792</b>
13	123478-HxCDD	0.048	0.105	0.238	0.098	0.630	<b>0.178</b>
14	123678-HxCDD	0.086	0.346	0.551	0.170	1.272	<b>0.604</b>
15	123789-HxCDD	0.095	0.231	0.528	0.169	1.438	<b>0.440</b>
16	1234678-HpCDD	0.110	0.404	0.418	0.137	1.884	<b>0.784</b>
17	OCDD	0.078	0.289	0.115	0.074	1.090	<b>0.353</b>
	<b>PCDD</b>	<b>1.015</b>	<b>1.375</b>	<b>2.635</b>	<b>0.647</b>	<b>10.355</b>	<b>4.452</b>
	<b>Total</b>	<b>3.615</b>	<b>7.346</b>	<b>12.014</b>	<b>1.965</b>	<b>45.712</b>	<b>14.246</b>

▷ 원광석, 고철 야적지역(표 9)

- 원광석, 고철 야적지역은 강서지역의 고물야적장을 포함하여 총 3개지점을 조사하였으며, 오에스산업지역에서 22.670 pg-TEQ/g으로 가장 높게 검출되었으며, 민하산업(8.838) > 고려자원(4.698) 순으로 높게 검출되었음.
- 3개지점의 평균 congeners 기여율을 보면 다른 조사지역과 마찬가지로 23478-PeCDF의 기여율이 38.8 %로써 가장 높게 나타났으며, 12378-PeCDD(10.0%) > 123478-HxCDF (8.2%) > 123678-HxCDF (6.9%) 순으로 나타났음.

표 9. 원광석, 고철 야적지역의 다이옥신 이성체 분포

(unit : pg-TEQ/g)

No.	Congeners	민하산업	오에스산업	고려자원	Average
1	2378-TCDF	0.213	1.540	0.098	0.617
2	12378-PeCDF	0.171	1.161	0.122	0.485
3	23478-PeCDF	<b>2.736</b>	<b>9.109</b>	<b>2.015</b>	<b>4.620</b>
4	123478-HxCDF	0.847	1.870	0.270	0.996
5	123678-HxCDF	0.763	1.518	0.234	0.838
6	234678-HxCDF	0.835	1.320	0.296	0.817
7	123789-HxCDF	0.000	0.000	0.000	0.000
8	1234678-HpCDF	0.332	0.345	0.100	0.259
9	1234789-HpCDF	0.000	0.069	0.000	0.023
10	OCDF	0.023	0.026	0.006	0.018
	<b>PCDF</b>	<b>5.920</b>	<b>16.958</b>	<b>3.141</b>	<b>8.673</b>
11	2378-TCDD	0.000	1.764	0.000	0.588
12	12378-PeCDD	1.003	1.773	0.857	1.211
13	123478-HxCDD	0.230	0.288	0.049	0.189
14	123678-HxCDD	0.535	0.718	0.212	0.488
15	123789-HxCDD	0.432	0.627	0.140	0.400
16	1234678-HpCDD	0.479	0.443	0.222	0.381
17	OCDD	0.240	0.098	0.079	0.139
	<b>PCDD</b>	<b>2.918</b>	<b>5.712</b>	<b>1.558</b>	<b>3.396</b>
	<b>Total</b>	<b>8.838</b>	<b>22.670</b>	<b>4.698</b>	<b>12.069</b>

▷ 금속제련소지역(표 10)

- 금속제련소지역은 총 3개지점을 조사하였으며, 농도범위는 22.728~33.161 pg-TEQ/g(평균 28.772 pg-TEQ/g)로 조사대상 7개지점 중 가장 높게 검출되었음.
- 3개지점 평균 PCDFs 및 PCDDs의 기여율을 각각 76.7 및 23.3 %로써 PCDFs가 PCDDs에 비하여 약 3.3배 더 많이 검출되었으며,
- PCDFs는 23478- PeCDF (40.6%) > 123478-HxCDF ≒ 2378-TCDF(8.1%) 순으로, 그리고 PCDDs는 12378-PeCDD (8.5%) > 2378-TCDD(4.0%) > 123678-HxCDD(3.3%) 순으로 높게 검출되었음.

표 10. 금속제련소지역의 다이옥신 이성체 분포 (unit : pg-TEQ/g)

No.	Congeners	와이케이스틸	대한제강	한국주철관공업	Average
1	2378-TCDF	4.030	1.843	1.147	2.340
2	12378-PeCDF	0.923	1.443	1.021	1.129
3	23478-PeCDF	<b>14.166</b>	<b>12.374</b>	<b>8.464</b>	<b>11.668</b>
4	123478-HxCDF	2.130	3.262	1.630	2.341
5	123678-HxCDF	1.855	2.368	1.460	1.894
6	234678-HxCDF	1.823	2.516	1.100	1.813
7	123789-HxCDF	0.000	0.252	0.075	0.109
8	1234678-HpCDF	0.563	0.967	0.377	0.635
9	1234789-HpCDF	0.086	0.150	0.044	0.093
10	OCDF	0.042	0.085	0.015	0.047
	<b>PCDF</b>	<b>25.618</b>	<b>25.260</b>	<b>15.333</b>	<b>22.070</b>
11	2378-TCDD	0.890	0.986	1.535	1.137
12	12378-PeCDD	1.624	2.736	3.008	2.456
13	123478-HxCDD	0.276	0.588	0.499	0.455
14	123678-HxCDD	0.697	1.228	0.911	0.945
15	123789-HxCDD	0.584	1.098	0.859	0.847
16	1234678-HpCDD	0.553	0.945	0.438	0.645
17	OCDD	0.187	0.320	0.145	0.217
	<b>PCDD</b>	<b>4.810</b>	<b>7.901</b>	<b>7.396</b>	<b>6.702</b>
	<b>Total</b>	<b>30.428</b>	<b>33.161</b>	<b>22.728</b>	<b>28.772</b>

▷ 기타지역(표 11)

- 기타지역을 금속광산지역 2지점, 교통관련시설지역 2개지점 그리고 기타토지개발지역 1개지점을 각각 조사하였으며,
- 금속광산지역의 평균 다이옥신 검출농도는 0.157 pg-TEQ/g으로 조사대상 7개지점 중 가장 낮게 검출되었으며, 교통관련지역 및 기타토지개발지역에서는 각각 약 7.675 및 22.728 pg-TEQ/g이었음.
- 금속광산지역의 경우 평균 PCDFs의 기여율이 90.4 %로써 아주 높게 나타났으며, 개별 congeners들의 기여율은 123478-HxCDF > 123678-HxCDF > 234678-HxCDF 순으로 높게 나타나 다른 지역과는 다른 경향이었음.

표 11. 기타지역의 다이옥신 이성체 분포

(unit : pg-TEQ/g)

No.	Congeners	금속광산지역			교통관련지역			기타토지개발지역	
		철마임기 납석광산	정관용천 납석광산	Average	가야차량 사무소	(주) 강남	Average	구 CJ 부산공장	Average
1	2378-TCDF	0.000	0.009	<b>0.004</b>	0.065	0.780	<b>0.422</b>	1.147	<b>1.147</b>
2	12378-PeCDF	0.000	0.018	<b>0.009</b>	0.052	0.392	<b>0.222</b>	1.021	<b>1.021</b>
3	23478-PeCDF	0.000	0.000	<b>0.000</b>	<b>0.462</b>	<b>4.674</b>	<b>2.568</b>	<b>8.464</b>	<b>8.464</b>
4	123478-HxCDF	0.036	<b>0.062</b>	<b>0.049</b>	0.244	1.350	<b>0.797</b>	1.630	<b>1.630</b>
5	123678-HxCDF	<b>0.040</b>	0.047	<b>0.044</b>	0.157	0.998	<b>0.577</b>	1.460	<b>1.460</b>
6	234678-HxCDF	0.000	0.047	<b>0.024</b>	0.167	0.943	<b>0.555</b>	1.100	<b>1.100</b>
7	123789-HxCDF	0.000	0.000	<b>0.000</b>	0.000	0.113	<b>0.057</b>	0.075	<b>0.075</b>
8	1234678-HpCDF	0.009	0.016	<b>0.013</b>	0.145	0.404	<b>0.275</b>	0.377	<b>0.377</b>
9	1234789-HpCDF	0.000	0.000	<b>0.000</b>	0.000	0.049	<b>0.024</b>	0.044	<b>0.044</b>
10	OCDF	0.000	0.000	<b>0.000</b>	0.033	0.033	<b>0.033</b>	0.015	<b>0.015</b>
	<b>PCDF</b>	0.085	0.199	<b>0.142</b>	1.324	9.734	<b>5.529</b>	15.333	<b>15.333</b>
11	2378-TCDD	0.000	0.000	<b>0.000</b>	0.000	0.833	<b>0.417</b>	1.535	<b>1.535</b>
12	12378-PeCDD	0.000	0.000	<b>0.000</b>	0.000	1.270	<b>0.635</b>	3.008	<b>3.008</b>
13	123478-HxCDD	0.000	0.000	<b>0.000</b>	0.050	0.181	<b>0.115</b>	0.499	<b>0.499</b>
14	123678-HxCDD	0.000	0.000	<b>0.000</b>	0.120	0.430	<b>0.275</b>	0.911	<b>0.911</b>
15	123789-HxCDD	0.000	0.000	<b>0.000</b>	0.085	0.357	<b>0.221</b>	0.859	<b>0.859</b>
16	1234678-HpCDD	0.000	0.016	<b>0.008</b>	0.245	0.346	<b>0.296</b>	0.438	<b>0.438</b>
17	OCDD	0.007	0.007	<b>0.007</b>	0.223	0.152	<b>0.187</b>	0.145	<b>0.145</b>
	<b>PCDD</b>	0.007	0.023	<b>0.015</b>	0.723	3.569	<b>2.146</b>	7.396	<b>7.396</b>
	<b>Total</b>	0.092	0.223	<b>0.157</b>	2.047	13.303	<b>7.675</b>	22.728	<b>22.728</b>

#### 4. 조사결과 고찰

- 교통관련지역 2개 지점 등 총 7개 지역 30개 지점의 다이옥신 농도범위는 0.092~59.507 pg-TEQ/g(평균 11.185)로 아직 토양환경기준이 설정되어 있지 않지만 선진국의 토양환경기준(1,000 pg-TEQ/g)보다 훨씬 못 미치는 수준이었으며, 2005년 이후의 조사결과 2007년까지는 전체 평균농도가 점점 증가하였으나, 2008년에는 2007년 대비 45.8% 수준으로 감소하였음.
- 오염원 지역별 평균 다이옥신 농도는 금속제련소지역이 28.772 pg-TEQ/g으로 가장 높게 검출되었고, 그 다음으로는 기타토지개발지역(22.728) > 폐기물 적치, 매립, 소각지역(14.246) > 원광석, 고철, 야적지역(12.069) > 교통관련지역(7.675) > 공장 및 공업지역(3.714) > 금속광산지역(0.157) 순으로 조사되었으며, 2005년 이후의 결과를 보면 주로 금속제련소지역이나 폐기물 매립, 적치, 소각지역에서 높게 검출되었음.
- 조사대상 지역 중 가장 낮게 검출된 지역은 금속광산지역인 「철마임기납석광산지역」으로 0.092 pg-TEQ/g이었으며, 가장 높게 검출된 지역은 폐기물 적치, 매립, 소각지역인 「부영개발」에서 59.507 pg-TEQ/g으로 가장 높았으나 2007년에 가장 높게 검출된 지역인 「(주)영남환경」 지역의 322.736 pg-TEQ/g보다는 훨씬 낮았음.
- 조사대상 지역인 7개 지역 30개 지점의 평균 다이옥신 congeners 분포는 실측값의 경우 OCDD의 기여율이 53.3%로 가장 높았으며, TEQ값의 경우는 23478-PeCDF가 36.7%로 가장 높았음. 또한 실측값의 PCDFs/PCDDs 비가 약 0.45로써 PCDDs가 PCDFs보다 약 2배 이상 많이 검출되었으나, TEQ값을 적용시킬 경우 PCDFs/PCDDs의 비는 실측값과는 반대로 PCDFs가 PCDDs보다 2.4배 더 많이 검출되는 것으로 나타났음.
- 주성분 분석결과 실측값의 경우 「(구)CJ부산공장」 지역과 「(주)청하환경」 지역을 제외한 대부분의 시료가 그룹 I에 포함되었으며, 이 그룹에서는 OCDD가 가장 높은 비율을 차지하였고, TEQ값의 경우 금속광산지역을 제외한 모든 시료가 그룹 I에 포함되었으며, 이 그룹에서는 23478-PeCDF 및 12378-PeCDD가 높은 비율을 차지하였고, 금속광산지역 2개지점이 포함된 그룹 II는 123478-HxCDF, 123678-HxCDF, 234678-HxCDF가 높은 비율을 차지하였음.
- 다이옥신 주 오염원으로 알려져 있는 폐기물 적치, 매립, 소각지역의 경우 총 14개 지점의 다이옥신 농도범위는 0.788~59.507 pg-TEQ/g(평균 14.246 pg-TEQ/g)로 타 지역에 비해 비교적

높게 검출되었음. 또한 폐기물의 단순 적치지역이나 신생 소각장 지점에서는 다이옥신의 오염이 상대적으로 낮았으며, 반면 비교적 시기가 오래된 소각장 지점에서는 그 농도가 상대적으로 높게 나타났음.

- 향후 지역별로 토양오염의 개연성이 있는 지점을 중심으로 조사지점을 선정하고, 지속적이고 장기적인 모니터링을 함으로써 신뢰성 있는 자료를 구축할 수 있을 것으로 사료됨.