대기 중 다이옥신 조사

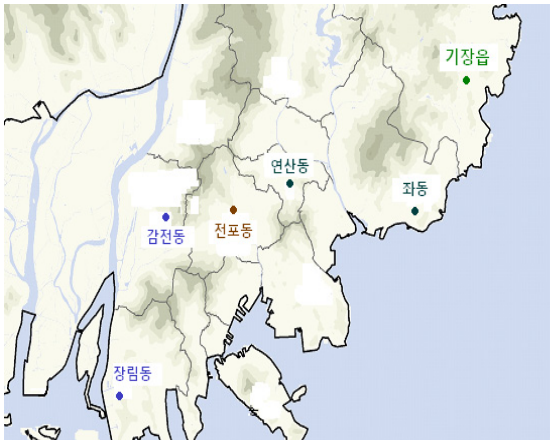
○ 우리 시의 지역별 및 계절별 대기 중의 다이옥신 오염특성 파악
○ 지역 특성에 따른 대기 중의 다이옥신 오염도 조사·연구 결과를 향후 우리 시의 중·장기 대기질 개선을 위한 기초자료 활용

1. 조사개요

○ 조사기간

▷ 2009년 1월 ~ 12월

○ 조사지점



- 공업지역 : 사상구 감전동 동사무소 (IA-1)
  사하구 장림1동 동사무소 (IA-2)
- 상업지역 : 부산진구 전포동 경남공업고등학교 (CA-1)
- 주거지역 : 연제구 연산동 연제초등학교 (RA-1)
  해운대구 좌동 동사무소 (RA-2)
  기장군 기장읍 기장초등학교 (RA-3)

○ 조사내용

▷ 2378-치환 다이옥신류 17종을 조사하였으며, 그 독성등가계수는 표 1과 같다.

표 1. 다이옥신 17개 이성질체 및 독성등가계수

Homologue		Congeners	I-TEF	Homologue		Congeners	I-TEF
PCDFs	TCDF	2,3,7,8-TCDF	0.1	PCDDs	TCDD	2,3,7,8-TCDD	1
	PeCDF	1,2,3,7,8-PeCDF	0.05		PeCDD	1,2,3,7,8-PeCDD	0.5
		2,3,4,7,8-PeCDF	0.5				
	HxCDF	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1		HxCDD	1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1
		1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1			1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1
		2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1			1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1
		1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1				
	HpCDF	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01		HpCDD	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01
		1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01				
	OCDF	OCDF	0.001		OCDD	OCDD	0.001

담당부서 : 산업환경과(☎757-6937)
과장 : 김광수, 담당자 : 정승열

○ 조사주기
▷ 감전동 : 월 1회
▷ 장림동, 전포동, 연산동, 좌동, 기장읍 : 분기 1회

2. 조사방법

○ 조사방법
▷ 시료채취 : 토양오염공정시험방법에 따라 채취
▷ 시료 전처리 : 잔류성유기오염물질 공정시험방법
▷ 기기분석
- 분석장비 : HRGC/HRMS(Autospec Ultima, UK)
- 기기분석 조건 : 기기분석은 잔류성유기오염물질 공정시험방법 및 US EPA-1613 revision B

3. 조사결과

1) 다이옥신 잔류실태

○ 년도별 다이옥신 농도 변화
▷ 년도별 다이옥신 농도변화는 표 2 및 그림 1에 나타낸 것처럼 2005년부터 조사를 시작한 이래 2007년을 제외하고는 매년 감소하였음.
▷ 2007년부터는 타지역 대비 공업지역의 조사주기를 확대하여 연평균 다이옥신 농도가 높아졌으나, 2008년부터는 잔류성유기오염물질관리법의 시행에 따른 다이옥신 배출원 관리 강화로 다이옥신 농도가 다시 감소하는 경향을 보임.
▷ 2009년은 전체 평균 0.102 pg-TEQ/Sm^3으로 2008년에 비해 약35% 감소하였음.

표 2. 년도별 다이옥신 농도분포

(단위 : pg-TEQ/Sm^3)

	2005	2006	2007	2008	2009
n	30	50	28	32	28
mean	0.209	0.190	0.222	0.158	0.102
min.	0.010	0.001	0.008	0.007	0.009
max.	0.754	1.365	0.984	1.125	0.515
S.D.	14.841	24.748	13.804	15.793	14.503

(단위 : pg-TEQ/Sm^3)

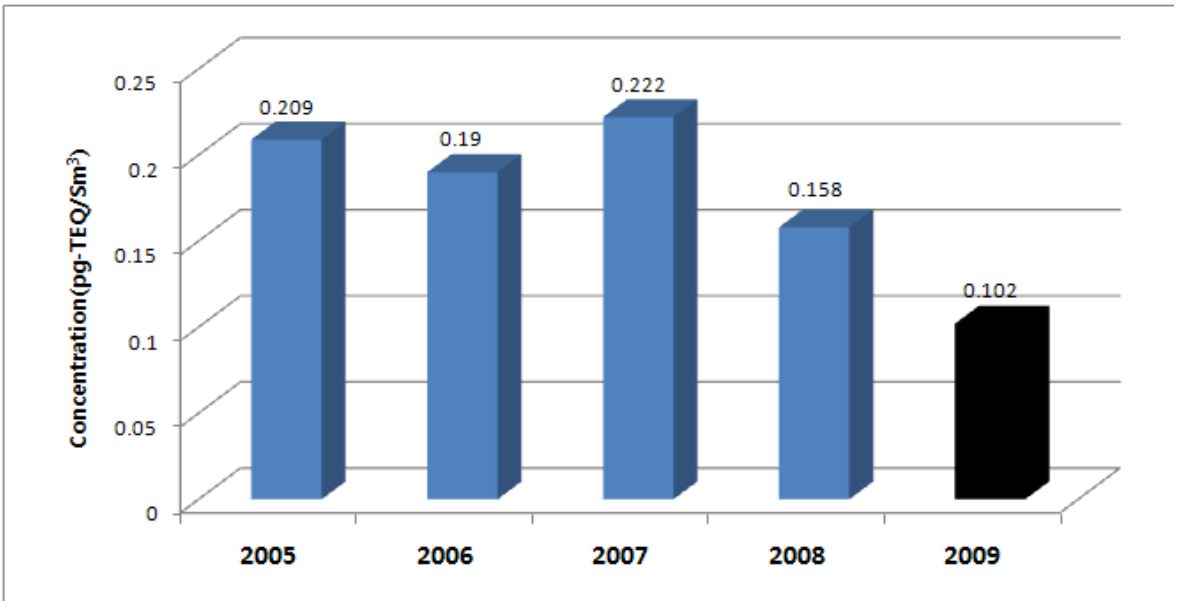


그림 1. 년도별 다이옥신 농도

○ **계절별 및 용도지역별 다이옥신 농도 변화**

▷ 2005년부터 2008년까지 4년 동안의 평균농도와 올해 농도를 비교해 보았을 때 전체적으로 평균농도가 감소하는 추세를 나타내고 있는데 2005년 조사한 이래 가장 낮은 농도수준을 보였음.

▷ 2005년부터 2008년까지 4년 동안 각 계절별로 다이옥신 농도분포는 그림 2에서 나타낸 것처럼 겨울철 농도가 0.311 pg-TEQ/Sm^{3}으로 가장 높았으며, 올해 또한 최고 농도가 0.257 pg-TEQ/Sm^{3}로 겨울철이 가장 높았는데 이는 다른 계절에 비해 온도가 낮고 대기역전으로 인해 고도가 낮아 확산이 적고 공기정체 발생이 빈번한 이유를 들 수 있고 또한 난방연료의 사용량 증가의 영향이 큼.

▷ 봄과 가을철의 다이옥신 농도는 각각 0.060 및 0.054 pg-TEQ/ Sm^{3}으로 비슷하였으며, 여름철 다이옥신 농도가 0.031 pg-TEQ/ Sm^{3}으로 가장 낮았음.

▷ 2005년부터 2009년까지 5년 동안의 용도지역별 다이옥신 농도분포는 그림 3에 나타낸 것처럼 공업지역 두 군데의 다이옥신 농도가 각각 0.377 및 0.203 pg-TEQ/Sm^{3}으로 조사대상 지역 중 상대적으로 높게 검출되었음.

▷ 기타 지역(상업지역, 주거지역, 녹지지역)은 0.033~0.089 pg-TEQ/Sm^{3}으로 공업지역의 다이옥신 농도보다는 상대적으로 낮게 검출되었음.

▷ 조사대상 전 지역 모두 연평균 대기환경기준인 0.6 pg-TEQ/Sm^{3}을 만족하였음.

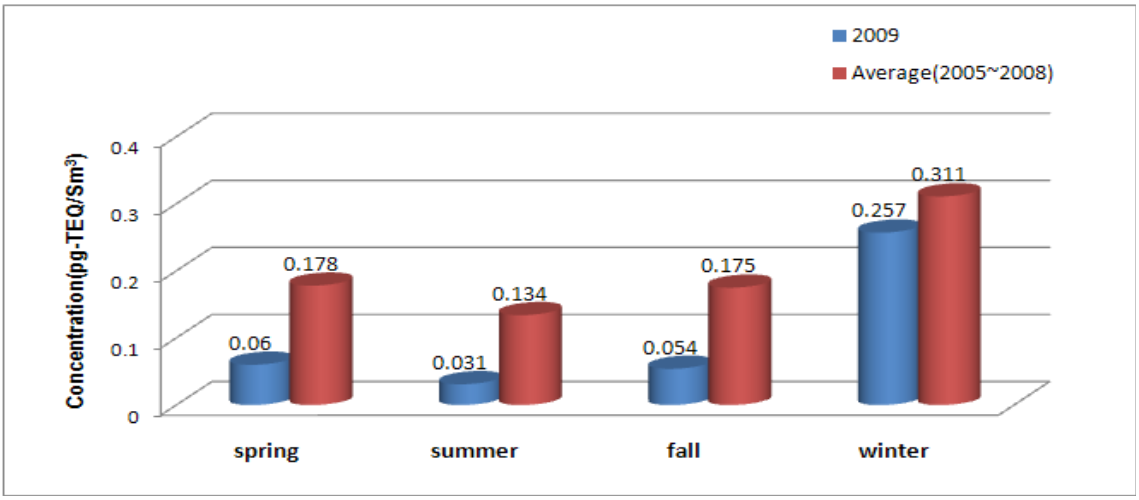
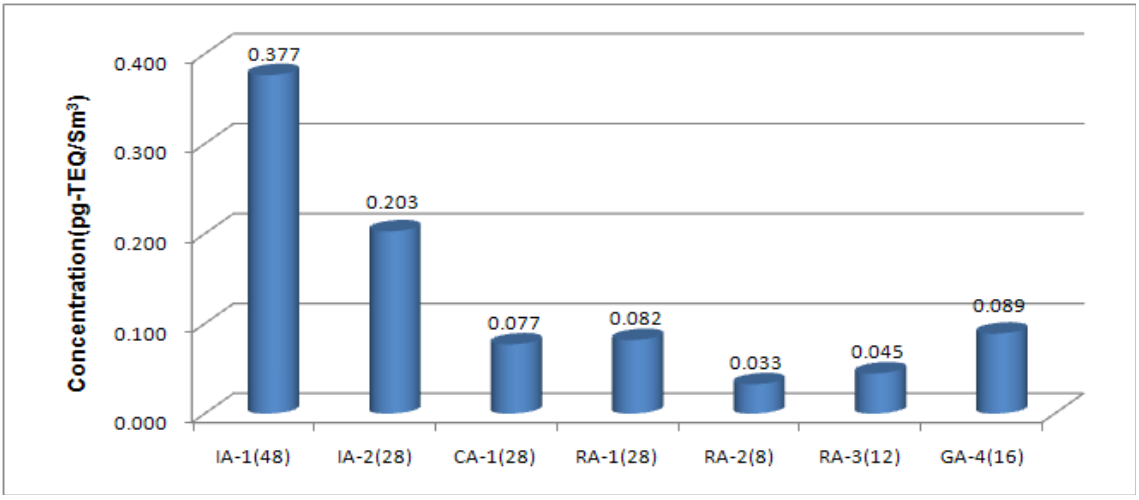


그림 2. 계절별 대기중 다이옥신 평균 농도



IA : 공업지역 RA : 주거지역 CA : 상업지역 ( ) : 시료채취지점수

그림 3. 주거지역 용도지역별 대기중 다이옥신 평균 농도

2. 다이옥신 congeners 분포특성

○ 각 지역의 월별 및 계절별 다이옥신 농도 변화

▷ 2009년 공업지역 2개 지역, 상업지역 1개 지역 및 주거지역 3개 지역 등 총 6개 지역의 월별 및 계절별 다이옥신 농도분포는 표 3 및 그림 4에 나타나 있다. 공업지역 2개 지점의 다이옥신 농도가 각각 0.248 및 0.171 pg-TEQ/Sm^3으로 상대적으로 타지역에 비해 높게 검출되었고,

▷ 공업지역인 감전동 지역의 경우 조사대상 6개 지역 중 다이옥신 농도가 가장 높게 검출되었으며, 농도범위는 0.079~0.515 pg-TEQ/Sm^3(평균 0.248)으로 조사되었음.

▷ 주거지역인 RA-2의 다이옥신 농도는 0.009~0.024 pg-TEQ/Sm^3(평균 0.018)으로 가장 낮게 검출되어 다이옥신 배출원의 영향을 상대적으로 많이 받지 않는 것으로 나타났음.

▷ 상업지역인 CA-1 및 주거지역 RA-1 지점의 다이옥신 농도는 0.065 및 0.063 pg-TEQ/Sm^3로 조사되었으며, 대조지역으로 조사한 주거지역인 RA-3 지점은 0.044 pg-TEQ/Sm^3으로 조사되어 다이옥신 배출원의 직접적인 영향을 받지 않는 지역에서도 미량의 다이옥신이 검출되는 것으로 조사되었음.

▷ 계절별로 살펴보면 겨울>봄>가을>여름의 순으로 다이옥신농도를 나타내었으며 봄과 가을은 비슷한 농도를 보였다.

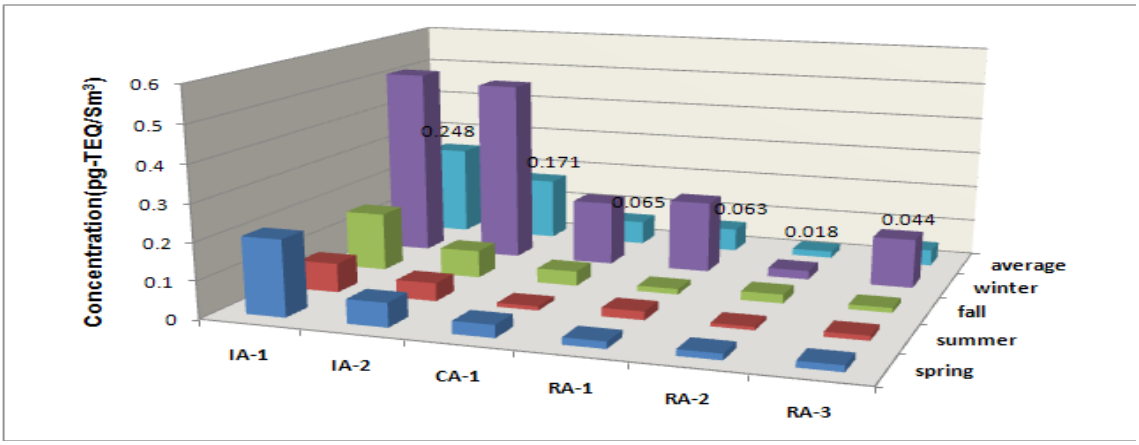
▷ 조사대상 전 지역에서 연평균 대기환경기준인 0.6 pg-TEQ/Sm^3을 초과하는 지역은 없었으며, 대부분의 지역은 대기환경기준을 훨씬 못 미치는 것으로 조사되었음.

표 3. 2009년 월별 평균 농도

(단위 : pg-TEQ/Sm^3)

		IA-1	IA-2	CA-1	RA-1	RA-2	RA-3[1)]
Spring	2009. 3	0.093	-	-	-	-	-
	2009. 4	0.206	0.065	0.034	0.019	0.017	0.017
	2009. 5	0.390	-	-	-	-	-
Summer	2009. 6	0.246	-	-	-	-	-
	2009. 7	0.079	0.049	0.011	0.023	0.009	0.013
	2009. 8	-	-	-	-	-	-
Fall	2009. 9	-	-	-	-	-	-
	2009. 10	0.159	0.071	0.040	0.015	0.024	0.013
	2009. 11	-	-	-	-	-	-
Winter	2009. 12	-	-	-	-	-	-
	2009. 1	0.515	0.495	0.176	0.196	0.024	0.134
	2009. 2	0.264	-	-	-	-	-
2009년 평균		0.248	0.171	0.065	0.063	0.018	0.044

1) 대조지역으로 사용



IA : 공업지역 RA : 주거지역 CA : 상업지역

그림 4. 토지이용에 따른 각 지역점별 다이옥신 농도분포

○ PCDFs/PCDDs의 분포특성

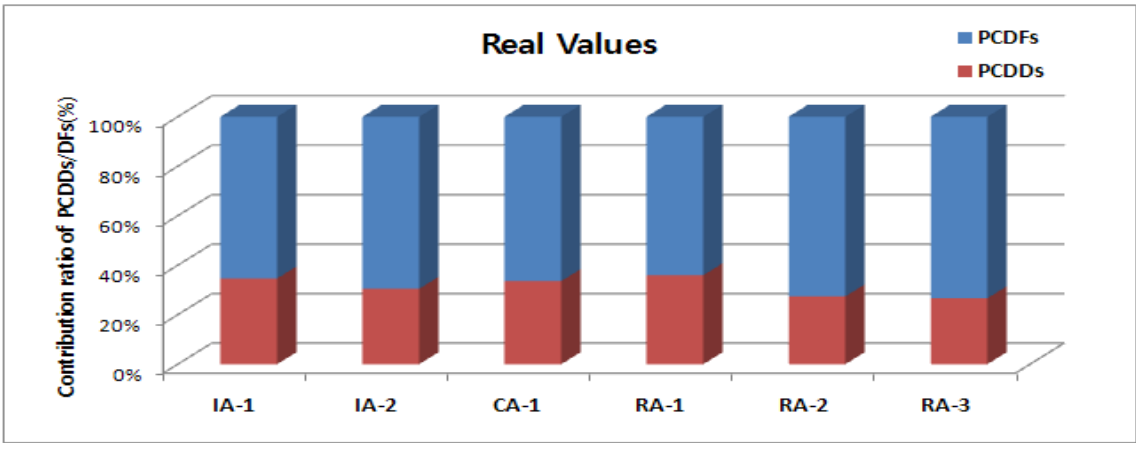
▷ 공업지역 2개 지역, 상업지역 1개 지역 및 주거지역 3개 지역 등 총 6개 지역에 대한 각 지역의 연평균 다이옥신 congeners(실측값)의 기여율을 조사한 결과 공업지역을 제외한 모든 지역에서는 OCDD의 기여율이 가장 높게 나타났음(표 4 및 그림 5).

▷ 공업지역 중 IA-1 지역에서는 OCDF의 기여율이 22.08 %로 가장 높았으며, IA-2 지역에서는 1234678-HpCDF의 기여율이 20.14 %로 가장 높았는데 이는 작년의 결과와 유사하였음.

▷ 조사대상 6개 지역 모두에서 PCDDs보다는 PCDFs가 더 많이 검출되었으며, 다이옥신 농도가 가장 높은 RA-3 지역의 경우 PCDFs 비율이 73.37 %로 조사대상 6개 지역 중 가장 높았음.

▷ 모든 지역에서 PCDFs 중에는 1234678-HpCDF와 OCDF의 기여율이 그리고 PCDDs 중에는 1234678-HpCDD와 OCDD의 기여율이 가장 높았음.

▷ PCDFs/PCDDs의 비율은 공업지역인 IA-2와 주거지역인 RA-2,RA-3지역은 2이상으로 PCDFs의 비율이 높았으며, 이들 지역을 제외한 다른 지역에서는 2.0이하로 나타났음.



IA : 공업지역 RA : 주거지역 CA : 상업지역 GA : Green Area

그림 5. 토지이용지역에 따른 대기중 PCDDs/PCDDs의 비(실측값)

▷ TEQ값으로 환산하였을 경우 조사대상 6개 지역 모두에서 PCDDs보다는 PCDFs가 실측값보다 더 많은 비율로 검출되었으며, 모든지역에서 PCDFs가 PCDDs보다 3배 이상 더 많이 검출되었음(표 5 및 그림 6).

▷ PCDFs/PCDDs의 비율은 주거지역 1개 지역에서 14.2로 나타났으며, 나머지지역은 3.1~4.0으로 비슷하게 나타났음.

▷ 독성등가값(TEF)의 영향으로 조사대상 전 지역에서 실측값보다 TEQ 환산값의 PCDFs/ PCDDs 비율이 더 높게 나타났음.

▷ 모든 지역에서 PCDFs 중에는 23478-PeCDF의 기여율이 그리고 PCDDs 중에는 12378-PeCDD의 기여율이 가장 높았음.

표 4. 토지이용지역에 따른 다이옥신 이성질체 농도(실측값)

(단위 : pg-TEQ/Sm^3)

No.	Chemicals	IA-1		IA-2		CA-1		RA-1		RA-2		RA-3	
		Real values	Contri-bution(%)	Real values	Contri-bution(%)	Real values	Contri-bution(%)	Real values	Contri-bution(%)	Real values	Contri-bution(%)	Real values	Contri-bution(%)
1	2378-TCDF	0.075	1.48	0.067	2.78	0.021	2.17	0.027	2.62	0.013	4.25	0.023	3.07
2	12378-PeCDF	0.205	4.01	0.167	6.97	0.062	6.31	0.069	6.59	0.025	8.30	0.049	6.52
3	23478-PeCDF	0.168	3.28	0.130	5.43	0.051	5.17	0.047	4.47	0.015	4.92	0.032	4.24
4	123478-HxCDF	0.241	4.72	0.175	7.27	0.063	6.39	0.069	6.55	0.019	6.31	0.047	6.14
5	123678-HxCDF	0.206	4.02	0.150	6.26	0.063	6.35	0.046	4.44	0.018	5.74	0.038	5.00
6	234678-HxCDF	0.207	4.04	0.160	6.67	0.060	6.04	0.054	5.17	0.023	7.38	0.042	5.61
7	123789-HxCDF	0.023	0.45	0.026	1.06	0.000	0.00	0.008	0.30	0.008	0.88	0.008	0.36
8	1234678-HpCDF	0.948	18.54	0.484	20.14	0.193	19.49	0.187	17.87	0.075	24.51	0.146	19.34
9	1234789-HpCDF	0.139	2.73	0.069	2.88	0.021	2.14	0.023	2.23	0.000	0.00	0.018	2.31
10	OCDF	1.129	22.08	0.242	10.06	0.123	12.38	0.144	13.82	0.032	10.32	0.157	20.78
	∑ PCDFs	3.340	65.34	1.670	69.52	0.658	66.44	0.670	64.06	0.222	72.61	0.555	73.37
11	2378-TCDD	0.012	0.24	0.005	0.21	0.003	0.32	0.005	0.44	0.000	0.00	0.002	0.30
12	12378-PeCDD	0.050	0.98	0.029	1.22	0.014	1.36	0.010	0.94	0.001	0.43	0.010	1.28
13	123478-HxCDD	0.032	0.62	0.031	1.30	0.008	0.83	0.000	0.00	0.000	0.00	0.002	0.23
14	123678-HxCDD	0.073	1.43	0.054	2.23	0.010	1.03	0.019	1.85	0.002	0.74	0.001	0.17
15	123789-HxCDD	0.043	0.85	0.032	1.35	0.005	0.53	0.015	1.48	0.000	0.00	0.008	1.03
16	1234678-HpCDD	0.523	10.23	0.232	9.64	0.106	10.74	0.106	10.10	0.028	8.98	0.053	6.97
17	OCDD	1.038	20.30	0.349	14.55	0.186	18.75	0.221	21.13	0.053	17.26	0.126	16.64
	∑PCDDs	1.772	34.66	0.732	30.48	0.332	33.56	0.376	35.94	0.084	27.39	0.202	26.63
	∑ total	5.112	100.00	2.402	100.00	0.990	100.00	1.045	100.00	0.306	100.00	0.757	100.00

표 5. 토지이용 지역에 따른 다이옥신 이성질체 농도(TEQ 값)

(단위 : pg-TEQ/Sm^3)

No.	Chemicals	IA-1		IA-2		CA-1		RA-1		RA-2		RA-3	
		TEQ values	Contri-bution(%)	TEQ values	Contri-bution(%)	TEQ values	Contri-bution(%)	TEQ values	Contri-bution(%)	TEQ values	Contri-bution(%)	TEQ values	Contri-bution(%)
1	2378-TCDF	0.008	3.15	0.007	3.90	0.002	3.29	0.003	4.33	0.001	7.10	0.002	5.22
2	12378-PeCDF	0.010	4.27	0.008	4.89	0.003	4.78	0.003	5.44	0.001	6.93	0.002	5.55
3	23478-PeCDF	0.084	34.94	0.065	38.15	0.026	39.21	0.023	36.88	0.008	41.13	0.016	36.14
4	123478-HxCDF	0.024	10.06	0.017	10.20	0.006	9.69	0.007	10.82	0.002	10.55	0.005	10.47
5	123678-HxCDF	0.021	8.58	0.015	8.79	0.006	9.64	0.005	7.34	0.002	9.60	0.004	8.52
6	234678-HxCDF	0.021	8.61	0.016	9.36	0.006	9.17	0.005	8.53	0.002	12.34	0.004	9.56
7	123789-HxCDF	0.002	0.97	0.003	1.49	0.000	0.00	0.000	0.50	0.000	1.48	0.000	0.61
8	1234678-HpCDF	0.009	3.95	0.005	2.83	0.002	2.96	0.002	2.95	0.001	4.10	0.001	3.30
9	1234789-HpCDF	0.001	0.58	0.001	0.40	0.000	0.32	0.000	0.37	0.000	0.00	0.000	0.39
10	OCDF	0.001	0.47	0.000	0.14	0.000	0.19	0.000	0.23	0.000	0.17	0.000	0.35
	∑PCDFs	0.181	75.58	0.137	80.16	0.052	79.25	0.049	77.38	0.017	93.42	0.036	80.12
11	2378-TCDD	0.012	5.21	0.005	2.89	0.003	4.85	0.005	7.31	0.000	0.00	0.002	5.03
12	12378-PeCDD	0.025	10.42	0.015	8.54	0.007	10.35	0.005	7.80	0.001	3.57	0.005	10.92
13	123478-HxCDD	0.003	1.31	0.003	1.82	0.001	1.27	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.40
14	123678-HxCDD	0.007	3.05	0.005	3.13	0.001	1.56	0.002	3.05	0.000	1.22	0.000	0.29
15	123789-HxCDD	0.004	1.81	0.003	1.89	0.001	0.81	0.002	2.44	0.000	0.00	0.001	1.76
16	1234678-HpCDD	0.005	2.18	0.002	1.35	0.001	1.63	0.001	1.67	0.000	1.50	0.001	1.19
17	OCDD	0.001	0.43	0.000	0.20	0.000	0.28	0.000	0.35	0.000	0.29	0.000	0.28
	∑PCDDs	0.059	24.42	0.034	19.84	0.014	20.75	0.014	22.62	0.001	6.58	0.009	19.88
	∑ total	0.240	100.00	0.171	100.00	0.065	100.00	0.063	100.00	0.018	100.00	0.044	100.00

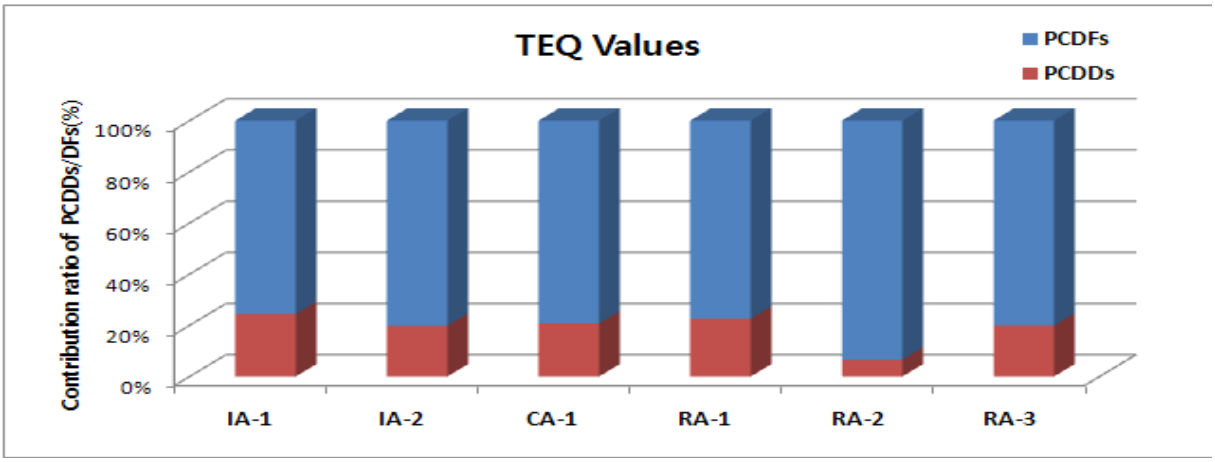
○ 입자상물질/가스상물질 분포특성

▷ 입자상 물질과 가스상 물질의 분포비를 보면 실측값의 경우 조사대상 6개 지역 모두 총 다이옥신 중 입자상 물질이 90% 이상 검출되었음(그림 7).

▷ 지역별로는 일정한 경향을 보이지 않았으며, IA-1 지역의 입자상물질/가스상물질의 비가 34.8로 가장 높았으며, RA-2 지역의 입자상물질/가스상물질의 비가 13.2로 가장 낮았음.

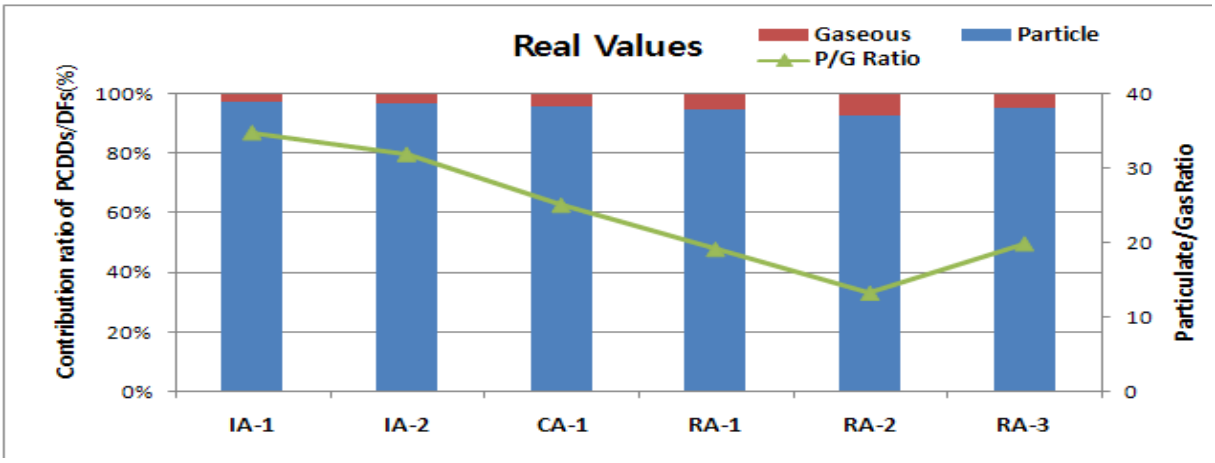
▷ TEQ값으로 환산한 값의 입자상물질/가스상물질의 비는 독성등가값의 영향으로 실측값보다는 약간 낮았으며,

▷ 그 비는 CA-1 지역(16.2) 〉 IA-2 지역(13.9) 〉 RA-2 지역(10.9) 〉 RA-3 지역(9.1) 〉 IA-1 지역(7.6) 〉 RA-1 지역(6.7) 순으로 나타났는데 실측값, TEQ값 모두 작년보다 입자상 농도의 비가 높은 것으로 조사됨.



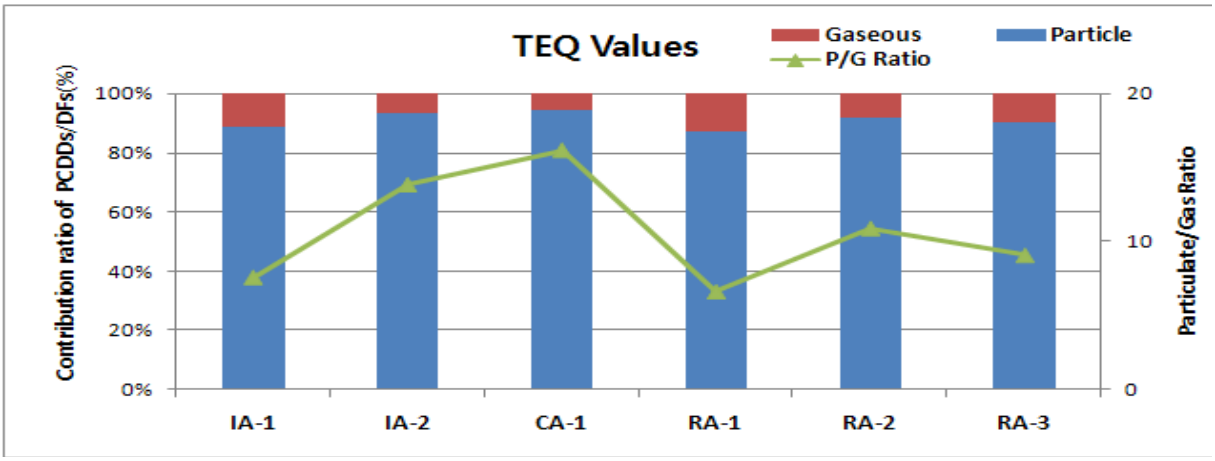
IA : Industrial Area RA : Residence Area CA : Commercial Area GA : Green Area

그림 6. 지역별 대기중 PCDDs/PCDFs의 비(TEQ 값)



IA : Industrial Area RA : Residence Area CA : Commercial Area GA : Green Area

그림 7. 지역별 대기중 PCDDs/PFs의 비(실측값)



IA : Industrial Area RA : Residence Area CA : Commercial Area GA : Green Area

그림 8. 지역에 따른 대기중 가스상/입자상 다이옥신의 비(TEQ 값)

4. 결 론

○ 년도별 다이옥신 농도 변화

▷ 2009년도 부산지역 다이옥신의 평균농도는 0.102 pg-TEQ/Sm^3으로 2005년부터 조사를 시작한 이래 가장 낮은 농도이며, 조사지점을 확대한 2007년을 제외하고는 매년 감소하였으며, 특히 2008년부터 시행된 잔류성유기오염물질관리법으로 인한 다이옥신 배출원 관리 강화로 다이옥신 농도가 꾸준히 감소하는 경향을 보임.

▷ 지역별로는 공업지역〉상업지역〉주거지역 순이었으며, 계절별로 살펴보면 겨울〉봄〉가을〉여름의 순으로 다이옥신농도를 나타내었으며 봄과 가을은 비슷한 농도를 보였다.

▷ 조사대상 전지역에서 연평균 대기환경기준인 0.6 pg-TEQ/Sm^3을 초과하는 지역은 없었으며, 대부분의 지역은 대기환경기준을 훨씬 못미치는 것으로 조사되었음

○ 다이옥신 congeners 분포특성

▷ 2008년 공업지역 2개 지역, 상업지역 1개 지역 및 주거지역 3개 지역 등 총 6개 지역 각각의 연평균 다이옥신 농도는 공업지역이 가장 높게, 그리고 주거지역이 가장 낮게 검출되었으며, 다이옥신 배출원의 직접적인 영향을 받지 않는 대조지역으로 조사한 지역에서도 미량의 다이옥신이 검출되는 것으로 나타났음.

▷ 조사대상 6개 지역 모두에서 PCDDs보다는 PCDFs가 더 많이 검출되었으며, 실측값의 경우 PCDFs 중에는 1234678-HpCDF와 OCDF의 기여율이, 그리고 PCDDs 중에는 1234678-HpCDD와 OCDD의 기여율이 가장 높았음.

▷ TEQ값의 경우 PCDFs 중에는 23478-PeCDF의 기여율이, 그리고 PCDDs 중에는 12378- PeCDD의 기여율이 가장 높았음.

▷ 입자상물질/가스상물질의 분포비는 실측값의 경우 조사대상 6개 지역이 13.2~34.8의 범위로 총 다이옥신 중 입자상물질이 90% 이상 검출되었으며, TEQ값으로 환산한 값은 조사대상 6개 지역 모두 6.7~16.2의 범위로 독성등가값의 영향으로 인하여 실측값보다는 약간 낮으며 모두 작년보다 입자상물질의 비가 상대적으로 높아짐.