

## 부산시내 대기 중의 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

- 조사지점(5개 지점)
  - 공업지역 : 사상구 감전1동사무소, 사하구 장림1동사무소
  - 상업지역 : 부산진구 전포동 경남공업고등학교
  - 주거지역 : 연제구 연산동 연제초등학교
  - 대조지역 : 기장군 기장읍 기장초등학교

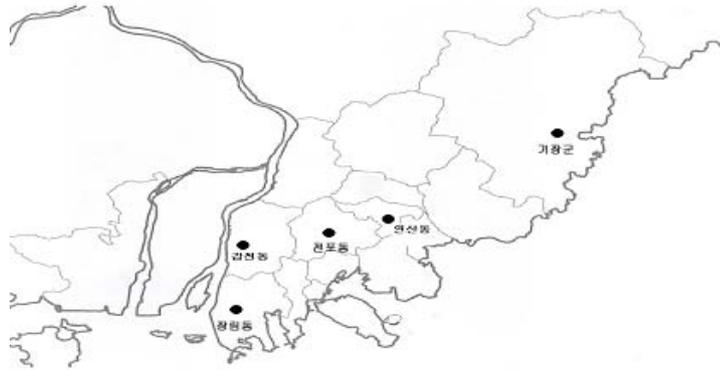


그림 1. 대기시료 채취지점.

- 조사내용

**표 1. 2,3,7,8-TCDD 등 다이옥신류 17종 및 I-TEF**

구 분		화 합 물	I-TEF	구 분		화 합 물	I-TEF
Furan류	4염화물	2,3,7,8-TCDF	0.1	Dioxin류	4염화물	2,3,7,8-TCDD	1
	5염화물	1,2,3,7,8-PeCDF	0.05		5염화물	1,2,3,7,8-PeCDD	0.5
		2,3,4,7,8-PeCDF	0.5		6염화물	1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1
	6염화물	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1			1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1
		1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1			1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1
		2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1				
		1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1				
	7염화물	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01		7염화물	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01
		1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01				
	8염화물	OCDF	0.001		8염화물	OCDD	0.001

□ 조사주기

- 감진동 : 월 1회
- 장림동, 전포동, 연산동, 기장읍 : 분기 1회

□ 조사방법

○ 시료채취

- ▷ 시료채취량 : 약 0.65 Sm<sup>3</sup>/분의 유속으로 24시간동안 약 939 Sm<sup>3</sup>의 공기 포집
- ▷ 시료채취장비 : 하이볼륨에어샘플러(SIBATA HV-1000F, Japan)

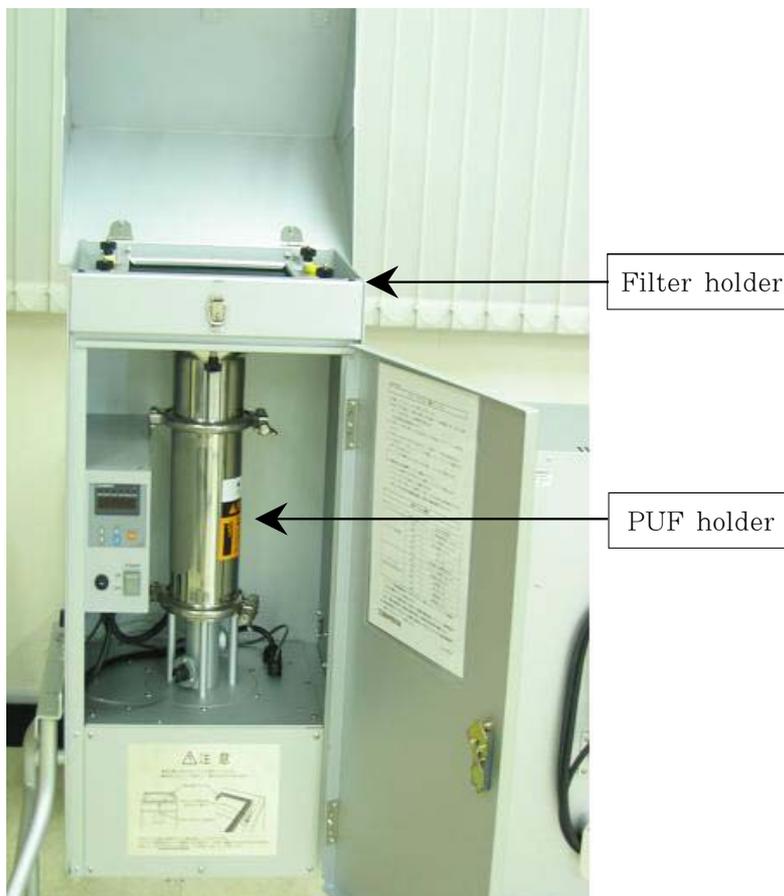


그림 2. 고용량 시료포집기.

- ▷ Quartz Filter : 입자상 물질 포집
  - 600℃에서 5시간 동안 구워 불순물 제거 후 사용
- ▷ PUF(Poly Uretane Form) : 가스상 물질 포집
  - Soxhlet 추출기를 이용하여 Acetone으로 약 18시간동안 추출 후 건조시켜 사용
  - 시료채취 직전 현장에서 시료채취용 내부표준물질 <sup>37</sup>Cl-2,3,7,8-T<sub>4</sub>CDD를 PUF에 첨가

○ 시료 전처리

	Preparation	Details
1	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Sampling</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Quartz fiber filter</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Poly Uretan Form(PUF)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 100px;">← 시료채취용 내부표준물질 (CSS, <sup>37</sup>Cl<sub>4</sub>-2,3,7,8-T<sub>4</sub>CDD)</div>
2	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Extraction</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Soxhlet extraction with toluene for 24 hrs</li> <li>○ 혼합추출액의 일정량을 사용</li> <li>○ 정제용 내부표준물질(LCS, <sup>13</sup>C<sub>12</sub>-2,3,7,8-T<sub>4</sub>CDD 등 15종)</li> </ul> </div>
3	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Concentration</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">○ 1 mL 이하로 농축(가능한 한 톨루엔을 제거)</div>
4	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Column Cleanup</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40%;">Multi-silica column</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 55%;">○ n-Hexane 150 mL로 용출</div> </div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40%;">Alumina column</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 55%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2% D.C.M : n-Hexane 100 mL 용출 후 따로 보관</li> <li>○ 50% D.C.M : n-Hexane 200 mL 용출</li> </ul> </div> </div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40%;">Carbon column</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 55%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Toluene 및 n-Hexane으로 칼럼 pre-eluting</li> <li>○ 25% D.C.M : n-Hexane 100 mL 용출 후 따로 보관</li> <li>○ Toluene 200 mL 용출</li> </ul> </div> </div> </div>
5	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Concentration</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 1 mL 이하로 농축 → 질소가스로 100 μL 이하로 농축</li> <li>○ Syringe 첨가용 내부표준물질(ISS, <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)</li> <li>○ 최종용액 약 40~100 μL</li> </ul> </div>
6	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">HRGC/HRMS</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Selected ion monitoring(SIM)</li> <li>○ EI positive mode</li> <li>○ Resolution &gt;10,000</li> </ul> </div>

그림 3. 다이옥신 분석 절차.

○ 기기분석

▷ 분석장비 : HRGC/HRMS(Autospec Ultima, UK)



그림 4. 고분해능 질량분석기.

▷ Gas Chromatography 및 Mass Spectrometry 조건

표 2. 기기분석 조건

Descriptor	GC 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℃
Oven ramping	Initial temp. 100℃(5 min.) 20℃/min. → 200℃(7 min.) 5℃/min. → 260℃(36 min.) 10℃/min. → 270℃(2 min.)
Injection volumn	2 uL

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

▷ 동위원소 피이크의 자연존재비

표 3. 염소원자수에 의한 동위원소 피이크의 자연존재비

염소 원자수	질 량 수							
	M	M+2	M+4	M+6	M+8	M+10	M+12	M+14
4	76.5	100	48.7	10.5	0.9	-	-	-
5	61.5	100	65.0	21.1	3.5	0.2	-	-
6	51.2	100	81.2	35.2	8.5	1.1	0.06	-
7	43.2	100	97.5	52.8	17.1	3.3	0.36	0.02
8	33.8	87.9	100.0	65.0	26.4	6.8	1.1	0.10

▷ 동위체 면적비에 대하여 ±15% 이내에 있는 물질만 정량

표 4. 동위체 면적비

염소수	M/Z	이론적인 비	QC limits <sup>1)</sup>	
			Lower	Upper
4 <sup>2)</sup>	M/M+2	0.77	0.65	0.89
5	M+2/M+4	1.55	1.32	1.78
6	M+2/M+4	1.24	1.05	1.43
7	M+2/M+4	1.05	0.88	1.20
8	M+2/M+4	0.89	0.76	1.02

- 1) 이론적인 비의 ±15%.
- 2) <sup>37</sup>Cl-2,3,7,8-T<sub>4</sub>CDD는 적용안됨.

▷ 기기분석시 4염화물에서 8염화물의 선택이온들을 4개 그룹으로 나누어 마그네트 전환방식 (magnet switching)으로 PFK에 대한 질량검증

표 5. Descriptor exact M/Z 및 M/Z type

Descriptor	Exact M/Z	M/Z type	Elemental Composition	Substance	비고
1	303.9016	M	C <sub>12</sub> H <sup>35</sup> Cl <sub>4</sub> O	TCDF	
	305.8987	M+2	C <sub>12</sub> H <sup>35</sup> Cl <sub>3</sub> <sup>37</sup> ClO	TCDF	
	315.9419	M	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> H <sup>35</sup> Cl <sub>4</sub> O	TCDF	label
	317.9389	M+2	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> H <sup>35</sup> Cl <sub>3</sub> <sup>37</sup> ClO	TCDF	label
	319.8965	M	C <sub>12</sub> H <sup>35</sup> Cl <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	TCDD	
	321.8936	M+2	C <sub>12</sub> H <sup>35</sup> Cl <sub>3</sub> <sup>37</sup> ClO <sub>2</sub>	TCDD	
	327.8847	M	C <sub>12</sub> H <sup>37</sup> Cl <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	TCDD	
	331.9368	M	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> H <sup>35</sup> Cl <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	TCDD	label
	333.9339	M+2	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> H <sup>35</sup> Cl <sub>3</sub> <sup>37</sup> ClO <sub>2</sub>	TCDD	label
	339.8597	M+2	C <sub>12</sub> H <sub>3</sub> <sup>35</sup> Cl <sub>4</sub> <sup>37</sup> ClO	PeCDF	
	341.8568	M+4	C <sub>12</sub> H <sub>3</sub> <sup>35</sup> Cl <sub>3</sub> <sup>37</sup> Cl <sub>2</sub> O	PeCDF	
	351.9000	M+2	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> H <sub>3</sub> <sup>35</sup> Cl <sub>4</sub> <sup>37</sup> ClO	PeCDF	label
	353.8970	M+4	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> H <sub>3</sub> <sup>35</sup> Cl <sub>3</sub> <sup>37</sup> Cl <sub>2</sub> O	PeCDF	label
	330.9792	QC		C <sub>7</sub> F <sub>13</sub>	PFK

표 5. 계속

Descriptor	Exact M/Z	M/Z type	Elemental Composition	Substance	비고
2	339.8597	M+2	C <sub>12</sub> H <sub>3</sub> <sup>35</sup> C <sub>14</sub> <sup>37</sup> ClO	PeCDF	
	341.8568	M+4	C <sub>12</sub> H <sub>3</sub> <sup>35</sup> C <sub>13</sub> <sup>37</sup> Cl <sub>2</sub> O	PeCDF	
	351.9000	M+2	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> H <sub>3</sub> <sup>35</sup> C <sub>14</sub> <sup>37</sup> ClO	PeCDF	label
	353.8970	M+4	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> H <sub>3</sub> <sup>35</sup> C <sub>13</sub> <sup>37</sup> Cl <sub>2</sub> O	PeCDF	label
	373.8207	M+2	C <sub>12</sub> H <sub>2</sub> <sup>35</sup> C <sub>15</sub> <sup>37</sup> ClO	HxCDF	
	375.8178	M+4	C <sub>12</sub> H <sub>2</sub> <sup>35</sup> C <sub>14</sub> <sup>37</sup> Cl <sub>2</sub> O	HxCDF	
	385.8610	M+2	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> H <sub>2</sub> <sup>35</sup> C <sub>15</sub> <sup>37</sup> ClO	HxCDF	label
	387.8580	M+4	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> H <sub>2</sub> <sup>35</sup> C <sub>14</sub> <sup>37</sup> Cl <sub>2</sub> O	HxCDF	label
	389.8157	M+2	C <sub>12</sub> H <sub>2</sub> <sup>35</sup> C <sub>15</sub> <sup>37</sup> ClO <sub>2</sub>	HxCDD	
	391.8127	M+4	C <sub>12</sub> H <sub>2</sub> <sup>35</sup> C <sub>14</sub> <sup>37</sup> Cl <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	HxCDD	
	401.8559	M+2	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> H <sub>2</sub> <sup>35</sup> C <sub>15</sub> <sup>37</sup> ClO <sub>2</sub>	HxCDD	label
	403.8530	M+4	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> H <sub>2</sub> <sup>35</sup> C <sub>14</sub> <sup>37</sup> Cl <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	HxCDD	label
	354.9792	QC	C <sub>9</sub> F <sub>13</sub>	PFK	Lock
3	373.8207	M+2	C <sub>12</sub> H <sub>2</sub> <sup>35</sup> C <sub>15</sub> <sup>37</sup> ClO	HxCDF	
	375.8178	M+4	C <sub>12</sub> H <sub>2</sub> <sup>35</sup> C <sub>14</sub> <sup>37</sup> Cl <sub>2</sub> O	HxCDF	
	385.8610	M+2	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> H <sub>2</sub> <sup>35</sup> C <sub>15</sub> <sup>37</sup> ClO	HxCDF	label
	387.8580	M+4	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> H <sub>2</sub> <sup>35</sup> C <sub>14</sub> <sup>37</sup> Cl <sub>2</sub> O	HxCDF	label
	407.7818	M+2	C <sub>12</sub> H <sup>35</sup> C <sub>16</sub> <sup>37</sup> ClO	HpCDF	
	409.7788	M+4	C <sub>12</sub> H <sup>35</sup> C <sub>15</sub> <sup>37</sup> Cl <sub>2</sub> O	HpCDF	
	419.8220	M+2	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> H <sup>35</sup> C <sub>16</sub> <sup>37</sup> ClO	HpCDF	label
	421.8191	M+4	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> H <sup>35</sup> C <sub>15</sub> <sup>37</sup> Cl <sub>2</sub> O	HpCDF	label
380.9761	QC		PFK	Lock	
4	441.7428	M+2	C <sub>12</sub> Cl <sub>7</sub> <sup>37</sup> ClO	OCDF	
	443.7399	M+4	C <sub>12</sub> Cl <sub>6</sub> <sup>37</sup> Cl <sub>2</sub> O	OCDF	
	457.7377	M+2	C <sub>12</sub> Cl <sub>7</sub> <sup>37</sup> ClO <sub>2</sub>	OCDD	
	459.7348	M+4	C <sub>12</sub> Cl <sub>6</sub> <sup>37</sup> Cl <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	OCDD	
	469.7780	M+2	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> Cl <sub>7</sub> <sup>37</sup> ClO <sub>2</sub>	OCDD	label
	471.7750	M+4	<sup>13</sup> C <sub>12</sub> Cl <sub>6</sub> <sup>37</sup> Cl <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	OCDD	label
	442.9729	QC	C <sub>10</sub> F <sub>17</sub>	PFK	Lock

2. 조사결과

- 부산시내 각 지역의 시료채취 시기별 다이옥신 농도(실측값)
  - 다이옥신 실측값의 경우 공업지역인 감전동 지역이 연평균 8.576 pg/Sm<sup>3</sup>으로 가장 높게 검출되었으며,
  - 연평균 다이옥신 실측값은 감전동 > 장림동 > 연산동 > 전포동 > 기장읍 순으로 높게 검출되었음
  - 시기별로는 대부분의 지역에서 겨울철에 높게 검출되었으며,
  - 감전동은 11월, 장림동, 전포동 및 기장읍은 1월 그리고 연산동 지역은 이와 반대로 여름철인 7월에 가장 높게 검출되었음
  - 또한 연산동 지역을 제외한 나머지 지역에서는 여름철인 7월에 가장 낮게 검출되었음
  - 대부분의 지역에서 2005년과 2006년에 비하여 2007년의 연평균 다이옥신 농도가 낮았으며,

○ 감전동 지역의 경우 2005년에 비해 2006년에 증가한 후 2007년에 다시 약간 감소하는 경향이었음

표 6. 각 지역의 시료채취시기별 다이옥신 실측값 (단위 : pg/Sm<sup>3</sup>)

	공업지역		상업지역	주거지역	대조지역	평 균
	감전동	장림동	전포동	연산동	기장읍	
2007. 1	10.313	5.082	2.889	1.285	1.049	6.095
2007. 2	8.781	-	-	-	-	-
2007. 3	22.594	-	-	-	-	-
2007. 4	2.067	2.101	0.875	1.675	0.537	1.681
2007. 5	5.841	-	-	-	-	-
2007. 6	4.416	-	-	-	-	-
2007. 7	4.932	0.627	0.661	1.691	0.500	2.073
2007. 8	3.829	-	-	-	-	-
2007. 9	0.551	-	-	-	-	-
2007. 10	1.020	0.781	0.678	0.770	0.167	0.826
2007. 11	32.398	-	-	-	-	-
2007. 12	5.798	-	-	-	-	-
<b>평 균</b>	<b>8.576</b>	<b>2.148</b>	<b>1.276</b>	<b>1.355</b>	<b>0.563</b>	<b>4.000</b>
<b>2006년 평균</b>	<b>8.640</b>	<b>3.963</b>	<b>1.803</b>	<b>1.637</b>	<b>1.474<sup>1)</sup></b>	
<b>2005년 평균</b>	<b>6.834</b>	<b>2.958</b>	<b>1.427</b>	<b>1.685</b>	<b>1.694<sup>1)</sup></b>	

1) 대조지역인 영도구 동삼동 지역의 다이옥신 실측값임.

□ 부산시내 각 지역의 시료채취 시기별 다이옥신 농도(I-TEQ값)

- 독성등가값으로 환산한 다이옥신 농도의 경우 공업지역인 감전동 지역이 연평균 0.383 pg I-TEQ/Sm<sup>3</sup>으로 가장 높게 검출되었으며,
- 그 다음으로는 장림동>연산동>전포동>기장읍 순으로 높게 검출되었음
- 시기별로는 대부분의 지역에서 겨울철에 높게 검출되었으며,
- 감전동은 11월, 장림동, 전포동 및 기장읍은 1월에 가장 높게 검출되었으며, 연산동은 4월에 가장 높게 검출되었음
- 감전동의 경우 1, 3 및 11월의 다이옥신 농도가 일본의 연평균 대기환경기준인 0.6 pg I-TEQ/Sm<sup>3</sup>을 초과하였으나, 평균 농도는 기준을 초과하지 않았으며,
- 기타 지역은 일본의 연평균 대기환경기준을 초과한 예는 없었음
- 감전동 지역은 또한 2005년과 2006년에 비해 연평균 농도가 점차 감소하고 있는 추세에 있었으며,
- 장림동의 경우도 감전동과 마찬가지로 2005년과 2006년에 비해 2007년 연평균 농도가 낮았음
- 연산동 지역의 경우는 공업지역인 감전동과 장림동 지역과는 달리 2005년과 2006년에 비해 오히려 약간 증가하는 경향이었음

표 7. 각 지역의 시료채취시기별 다이옥신 농도 (단위 : pg I-TEQ/Sm<sup>3</sup>)

	공업지역		상업지역	주거지역	대조지역	평 균
	감전동	장림동	전포동	연산동	기장읍	
2007. 1	0.737	0.386	0.215	0.088	0.078	0.446
2007. 2	0.483	-	-	-	-	-
2007. 3	0.768	-	-	-	-	-
2007. 4	0.140	0.174	0.068	0.196	0.031	0.127
2007. 5	0.332	-	-	-	-	-
2007. 6	0.247	-	-	-	-	-
2007. 7	0.218	0.045	0.042	0.079	0.026	0.102
2007. 8	0.254	-	-	-	-	-
2007. 9	0.095	-	-	-	-	-
2007. 10	0.053	0.063	0.038	0.081	0.008	0.051
2007. 11	0.984	-	-	-	-	-
2007. 12	0.286	-	-	-	-	-
<b>평 균</b>	<b>0.383</b>	<b>0.167</b>	<b>0.091</b>	<b>0.111</b>	<b>0.036</b>	
2006년 평균	0.488	0.255	0.077	0.064	0.064 <sup>1)</sup>	
2005년 평균	0.507	0.213	0.097	0.098	0.130 <sup>1)</sup>	

※ 일본의 연평균 대기환경기준 0.6 pg-TEQ/Sm<sup>3</sup>

1) 대조지역인 영도구 동삼동 지역의 다이옥신 농도임.

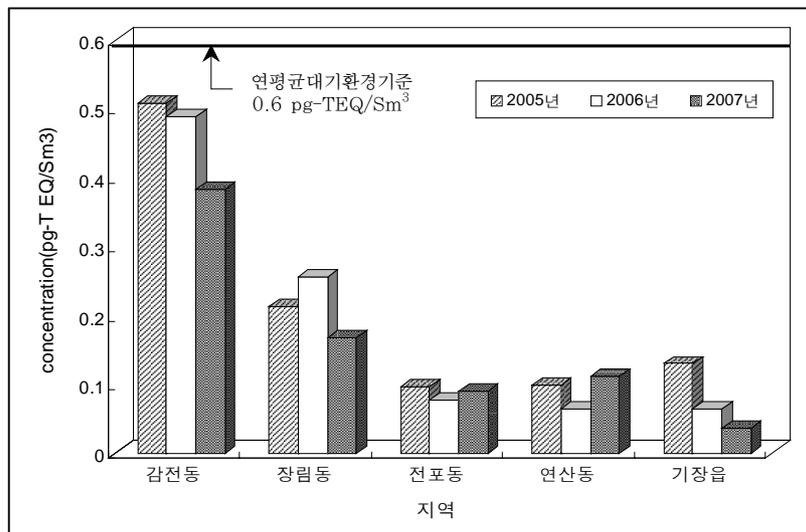


그림 5. 각 지역의 연평균 다이옥신 농도.

□ 동족체별 분포특성(연평균 농도)

○ 실측값

▷ 조사대상 전 지역에서 PCDD보다는 PCDF가 많이 검출되었음

- ▷ 감전동 지역의 경우 1,2,3,4,6,7,8-H<sub>7</sub>CDD가 가장 많이 검출되었으며, 그 다음으로는 1,2,3,4,6,7,8-H<sub>7</sub>CDF, O<sub>8</sub>CDD, O<sub>8</sub>CDF 순으로 많이 검출되었음
- ▷ 장림동 지역의 경우는 1,2,3,4,6,7,8-H<sub>7</sub>CDF, O<sub>8</sub>CDD, 1,2,3,7,8-P<sub>5</sub>CDF 순으로 많이 검출되었음
- ▷ 상업지역인 전포동 지역과 주거지역인 연산동 지역은 TEF값이 가장 낮은 O<sub>8</sub>CDD가 가장 많이 검출되었음
- ▷ 대체적으로 대부분의 지역에서 1,2,3,4,6,7,8-H<sub>7</sub>CDF, O<sub>8</sub>CDF, O<sub>8</sub>CDD 등이 많이 검출되는 경향이었음

표 8. 각 지역별 연평균 다이옥신 실측값의 분포특성 (단위 : pg/Sm<sup>3</sup>)

Congeners	공업지역		상업지역	주거지역	대조지역	
	감전동	장림동	전포동	연산동	기장읍	
1	2,3,7,8-T <sub>4</sub> CDF	0.076	0.050	0.034	0.050	0.014
2	1,2,3,7,8-P <sub>5</sub> CDF	0.274	0.160	0.097	0.130	0.035
3	2,3,4,7,8-P <sub>5</sub> CDF	0.258	0.148	0.086	0.111	0.034
4	1,2,3,4,7,8-H <sub>6</sub> CDF	0.351	0.182	0.107	0.118	0.047
5	1,2,3,6,7,8-H <sub>6</sub> CDF	0.301	0.159	0.097	0.101	0.045
6	2,3,4,6,7,8-H <sub>6</sub> CDF	0.329	0.158	0.094	0.091	0.046
7	1,2,3,7,8,9-H <sub>6</sub> CDF	0.003	0.000	0.000	0.003	0.000
8	1,2,3,4,6,7,8-H <sub>7</sub> CDF	1.151	0.487	0.283	0.297	0.139
9	1,2,3,4,7,8,9-H <sub>7</sub> CDF	0.111	0.048	0.000	0.000	0.000
10	O <sub>8</sub> CDF	0.569	0.143	0.058	0.003	0.010
<b>Σ PCDF</b>		<b>4.716</b>	<b>1.535</b>	<b>0.858</b>	<b>0.905</b>	<b>0.369</b>
11	2,3,7,8-T <sub>4</sub> CDD	0.010	0.004	0.003	0.006	0.000
12	1,2,3,7,8-P <sub>5</sub> CDD	0.042	0.024	0.000	0.003	0.000
13	1,2,3,4,7,8-H <sub>6</sub> CDD	0.048	0.012	0.001	0.000	0.000
14	1,2,3,6,7,8-H <sub>6</sub> CDD	0.084	0.023	0.002	0.004	0.000
15	1,2,3,7,8,9-H <sub>6</sub> CDD	0.068	0.019	0.014	0.004	0.000
16	1,2,3,4,6,7,8-H <sub>7</sub> CDD	1.907	0.212	0.148	0.115	0.040
17	O <sub>8</sub> CDD	0.853	0.318	0.249	0.318	0.154
<b>Σ PCDD</b>		<b>3.860</b>	<b>0.613</b>	<b>0.418</b>	<b>0.451</b>	<b>0.194</b>
<b>합 계</b>		<b>8.576</b>	<b>2.148</b>	<b>1.276</b>	<b>1.355</b>	<b>0.563</b>

○ 독성등가값

- ▷ 조사대상 전 지역에서 PCDD보다는 PCDF가 훨씬 많이 검출되었으며, PCDD의 경우는 검출수준이 미미하였음
- ▷ 감전동 지역의 경우 2,3,4,7,8-P<sub>5</sub>CDD가 0.197 pg-TEQ/Sm<sup>3</sup>로 가장 많이 검출되었으며, 그 다음으로는 2,3,4,6,7,8-H<sub>6</sub>CDF이 많이 검출되었음
- ▷ 장림동 지역도 감전동 지역과 마찬가지로 2,3,4,7,8-P<sub>5</sub>CDD가 0.074 pg-TEQ/Sm<sup>3</sup>로 가장 많이 검출되었음
- ▷ 전포동 지역과 연산동 지역은 2,3,4,7,8-P<sub>5</sub>CDD, 1,2,3,4,7,8-H<sub>6</sub>CDF, 1,2,3,6,7,8-H<sub>6</sub>CDF, 2,3,4,6,7,8-H<sub>6</sub>CDF 등이 대체로 많이 검출되었음

표 9. 각 지역별 연평균 다이옥신 분포특성

(단위 : pg-TEQ/Sm<sup>3</sup>)

Congeners	공업지역		상업지역	주거지역	대조지역	
	감전동	장림동	전포동	연산동	기장읍	
1	2,3,7,8-T <sub>4</sub> CDF	0.011	0.005	0.003	0.005	0.001
2	1,2,3,7,8-P <sub>5</sub> CDF	0.022	0.008	0.005	0.007	0.002
3	2,3,4,7,8-P <sub>5</sub> CDF	0.197	0.074	0.043	0.055	0.017
4	1,2,3,4,7,8-H <sub>6</sub> CDF	0.050	0.018	0.011	0.012	0.005
5	1,2,3,6,7,8-H <sub>6</sub> CDF	0.039	0.016	0.010	0.010	0.004
6	2,3,4,6,7,8-H <sub>6</sub> CDF	0.052	0.016	0.009	0.009	0.005
7	1,2,3,7,8,9-H <sub>6</sub> CDF	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
8	1,2,3,4,6,7,8-H <sub>7</sub> CDF	0.016	0.005	0.003	0.003	0.001
9	1,2,3,4,7,8,9-H <sub>7</sub> CDF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	O <sub>8</sub> CDF	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>Σ PCDF</b>		<b>0.301</b>	<b>0.142</b>	<b>0.084</b>	<b>0.101</b>	<b>0.035</b>
11	2,3,7,8-T <sub>4</sub> CDD	0.026	0.004	0.003	0.006	0.000
12	1,2,3,7,8-P <sub>5</sub> CDD	0.050	0.012	0.000	0.002	0.000
13	1,2,3,4,7,8-H <sub>6</sub> CDD	0.009	0.001	0.000	0.000	0.000
14	1,2,3,6,7,8-H <sub>6</sub> CDD	0.012	0.002	0.000	0.000	0.000
15	1,2,3,7,8,9-H <sub>6</sub> CDD	0.011	0.002	0.001	0.000	0.000
16	1,2,3,4,6,7,8-H <sub>7</sub> CDD	0.008	0.002	0.001	0.001	0.000
17	O <sub>8</sub> CDD	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>Σ PCDD</b>		<b>0.118</b>	<b>0.024</b>	<b>0.006</b>	<b>0.010</b>	<b>0.001</b>
<b>합 계</b>		<b>0.383</b>	<b>0.167</b>	<b>0.091</b>	<b>0.111</b>	<b>0.036</b>

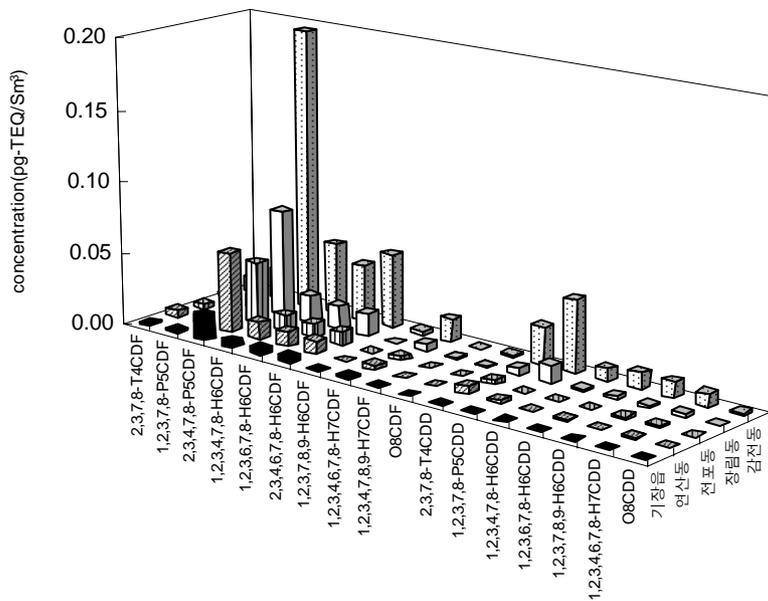


그림 6. 각 지역별 연평균 다이옥신 Congener profiling.

□ 입자상 농도/가스상 농도 분포비(연평균 농도)

- 조사대상 전 지역에서 입자상물질의 농도가 가스상 물질의 농도보다 훨씬 높았으며, 특히 장림동의 경우 입자상물질/가스상물질의 비가 17.1로 가장 높게 나타났음
- 감전동 지역을 제외한 나머지 지역의 가스상 PCDD가 거의 검출이 되지 않아 P/V가 계산되지 않았으며, 감전동 지역의 경우 PCDF보다는 PCDD의 P/V가 높게 나타났음

표 10. 각 지역별 입자상/가스상 다이옥신 분포특성 (단위 : pg-TEQ/Sm<sup>3</sup>)

Congeners	감전동			장림동			전포동			연산동			기장읍			
	입자상 (P)	가스상 (V)	P/V	입자상 (P)	가스상 (V)	P/V	입자상 (P)	가스상 (V)	P/V	입자상 (P)	가스상 (V)	P/V	입자상 (P)	가스상 (V)	P/V	
1	2,3,7,8-T <sub>4</sub> CDF	0.005	0.004	1.4	0.004	0.001	3.7	0.002	0.001	1.6	0.004	0.001	2.5	0.001	0.001	1.3
2	1,2,3,7,8-P <sub>5</sub> CDF	0.011	0.004	2.7	0.007	0.001	8.5	0.004	0.001	7.1	0.004	0.002	2.0	0.001	0.000	4.2
3	2,3,4,7,8-P <sub>5</sub> CDF	0.114	0.025	4.6	0.069	0.005	14.8	0.040	0.003	13.6	0.039	0.017	2.3	0.015	0.002	6.9
4	1,2,3,4,7,8-H <sub>6</sub> CDF	0.036	0.004	8.8	0.017	0.001	24.9	0.010	0.000	33.7	0.009	0.003	2.8	0.004	0.000	13.4
5	1,2,3,6,7,8-H <sub>6</sub> CDF	0.032	0.003	10.1	0.015	0.001	30.2	0.009	0.000	36.0	0.008	0.002	3.1	0.004	0.001	7.5
6	2,3,4,6,7,8-H <sub>6</sub> CDF	0.040	0.001	27.0	0.016	0.000	-	0.009	0.000	-	0.007	0.002	4.6	0.004	0.000	12.0
7	1,2,3,7,8,9-H <sub>6</sub> CDF	0.001	0.000	-	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-
8	1,2,3,4,6,7,8-H <sub>7</sub> CDF	0.016	0.000	53.4	0.005	0.000	-	0.003	0.000	-	0.003	0.000	7.3	0.001	0.000	-
9	1,2,3,4,7,8,9-H <sub>7</sub> CDF	0.002	0.000	-	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-
10	O <sub>8</sub> CDF	0.001	0.000	-	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-
	Σ PCDF	0.259	0.042	6.2	0.135	0.008	17.2	0.079	0.005	14.5	0.073	0.028	2.6	0.031	0.004	7.2
11	2,3,7,8-T <sub>4</sub> CDD	0.009	0.002	6.0	0.003	0.001	2.2	0.003	0.000	-	0.006	0.000	-	0.000	0.000	-
12	1,2,3,7,8-P <sub>5</sub> CDD	0.022	0.002	8.9	0.012	0.000	-	0.000	0.000	-	0.002	0.000	-	0.000	0.000	-
13	1,2,3,4,7,8-H <sub>6</sub> CDD	0.006	0.000	-	0.001	0.000	-	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-
14	1,2,3,6,7,8-H <sub>6</sub> CDD	0.010	0.001	16.4	0.002	0.000	-	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-
15	1,2,3,7,8,9-H <sub>6</sub> CDD	0.008	0.000	71.6	0.002	0.000	-	0.001	0.000	-	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-
16	1,2,3,4,6,7,8-H <sub>7</sub> CDD	0.020	0.000	1197.7	0.002	0.000	-	0.001	0.000	-	0.001	0.000	-	0.000	0.000	-
17	O <sub>8</sub> CDD	0.002	0.000	-	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-
	Σ PCDD	0.078	0.005	16.2	0.023	0.001	16.4	0.006	0.000	-	0.010	0.000	-	0.001	0.000	-
	합 계	0.337	0.046	7.3	0.158	0.009	17.1	0.085	0.005	15.7	0.083	0.028	3.0	0.032	0.004	7.3

□ PCDF/PCDD 분포비

- 공업지역인 감전동 지역과 장림동 지역의 PCDF/PCDD 비는 각각 약 7.3 및 6.7로써, 비교적 농도가 낮은 타 지역에 비해 낮게 나타났음
- 감전동 지역의 경우 PCDD의 농도가 비교적 낮게 검출된 4월과 9월 그리고 10월을 제외하고는 1.7~6.5의 범위였음
- 장림동 지역의 경우 년중 비슷한 PCDF/PCDD의 비율을 유지하였으며,
- 전포동 지역은 PCDD가 비교적 높게 검출된 1월을 제외하고는 PCDD의 검출이 매우 미미하였기 때문에 상대적으로 PCDF/PCDD의 비율이 크게 증가하였으며, 9.2~67.0(평균 33.3)의 범위를 나타내었음

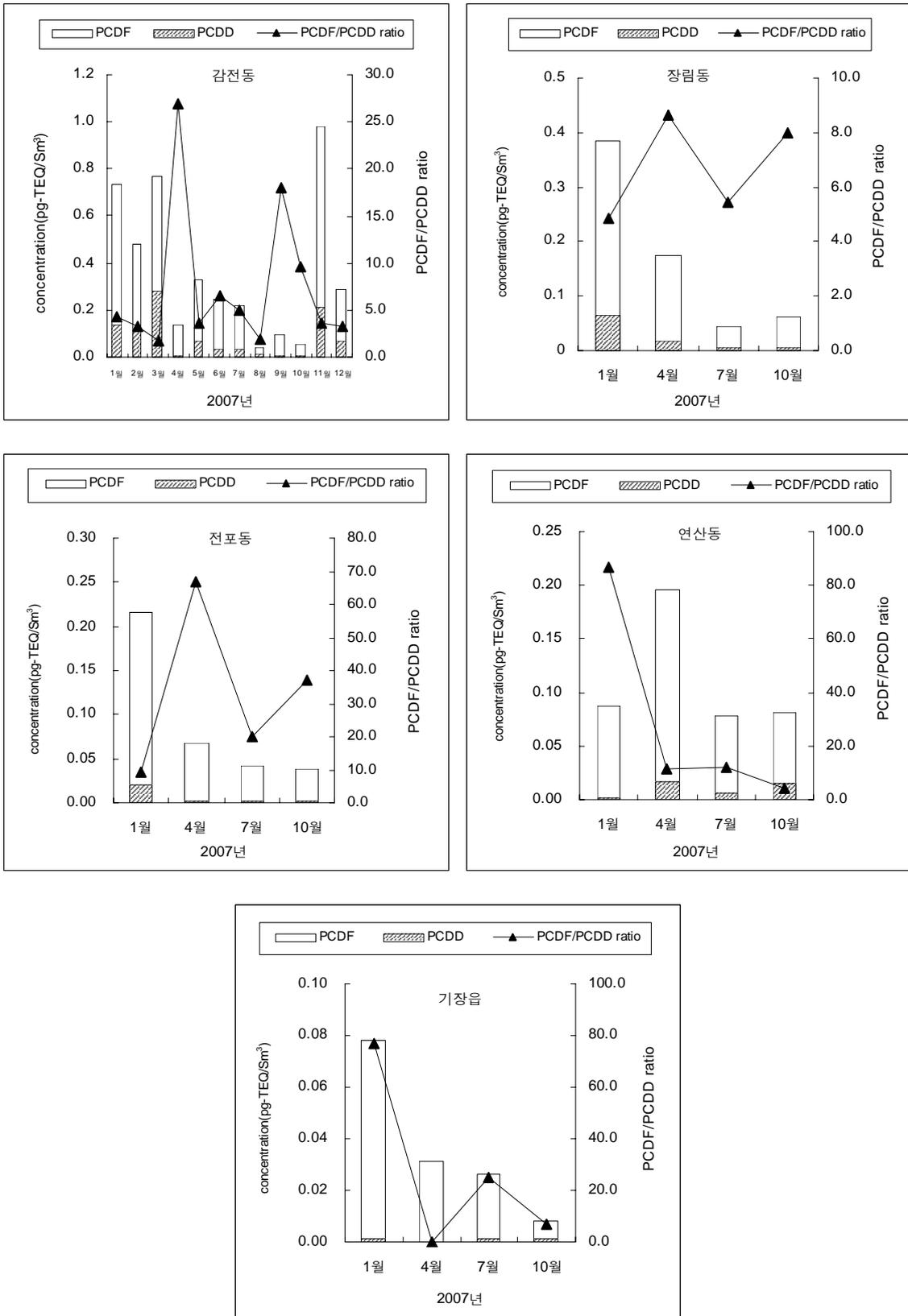


그림 7. 각 지역의 시료채취시기별 PCDF/PCDD 분포특성.

- 연산동 지역은 전포동 지역과는 반대로 PCDD가 거의 검출되지 않은 1월에 PCDF/PCDD의 비율이 87.0으로 가장 높았으며, 10월에 4.4로 가장 낮았음
- 대조지역으로 조사한 기장읍의 경우 조사한 모든 시기에서 PCDD의 검출이 매우 미미하거나 검출되지 않았기 때문에 전체 평균 PCDF/PCDD의 비율이 가장 높게 나타났음
- 모든 조사대상 지역 및 조사한 모든 시기에서 PCDD보다는 PCDF가 많이 검출되어 PCDF/PCDD의 비율이 모두 1 이상으로 나타났음

□ 다이옥신 농도와 기상상태와 관계

○ 다이옥신 농도와 온도와의 관계

- ▷ 대부분의 지역이 온도가 낮은 겨울철에 다이옥신 농도가 높게 검출되었으며, 연산동 지역의 경우는 봄철인 4월에 가장 높게 검출되었음
- ▷ 감전동 지역의 경우 겨울철인 1월, 2월, 3월 그리고 11월의 다이옥신 농도가 다른 시기에 비해 높았으며, 특히 이 시기에 입자상 다이옥신 농도가 매우 많이 증가한 것을 알 수 있었음
- ▷ 또한 기온이 상승하는 4월부터 10월까지의 연평균 농도인 0.383 pg-TEQ/Sm<sup>3</sup> 이하로 검출되었음
- ▷ 장림동의 경우도 감전동 지역과 마찬가지로 겨울철인 1월에 다이옥신 농도가 가장 높았으며, 특히 온도가 가장 높은 여름철에 입자상 다이옥신의 농도가 많이 감소하였음
- ▷ 전포동 지역 또한 감전동과 장림동 지역과 비슷한 경향을 나타내었으며,
- ▷ 연산동 지역은 봄철인 4월에 다이옥신 농도가 가장 높게 검출되었음
- ▷ 또한 온도가 가장 높은 7월에 입자상 다이옥신 농도가 감소하였음
- ▷ 대조지역으로 조사한 기장읍의 경우에도 겨울철인 1월에 다이옥신 농도가 가장 높게 검출되었으며, 여름철인 7월에 가장 낮게 검출되었음
- ▷ 연산동 지역을 제외한 조사대상 모든 지역에서 온도가 낮은 겨울철에 다이옥신 농도가 가장 높았으며,
- ▷ 온도가 높은 여름철로 갈수록 입자상 다이옥신 농도는 감소하고 가스상 다이옥신 농도는 증가하였음.

○ 다이옥신 농도와 PM-10 농도와의 비교

- ▷ 공업지역인 감전동과 장림동 지역의 경우 총 다이옥신 농도와 입자상 다이옥신 농도는 PM-10 농도의 영향을 거의 받지 않았음
- ▷ 감전동 지역의 경우 2007년 9월 PM-10 농도가 164 ug/m<sup>3</sup>으로 가장 높았지만 총 다이옥신 농도 및 입자상 다이옥신 농도는 각각 0.095 및 0.040 pg-TEQ/Sm<sup>3</sup>으로 연평균 농도에 비해 오히려 감소하였음
- ▷ 장림동 지역도 감전동 지역과 마찬가지로 PM-10 농도가 총다이옥신 농도나 입자상 다이옥신 농도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 오히려 다이옥신 농도가 가장 낮은 7월의 PM-10 농도는 가장 높았음
- ▷ 상업지역인 전포동이나 주거지역인 연산동 지역 그리고 대조지역으로 이용된 기장읍 지역에서도 공업지역과 마찬가지로 PM-10 농도가 총다이옥신 농도나 입자상 다이옥신 농도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났음

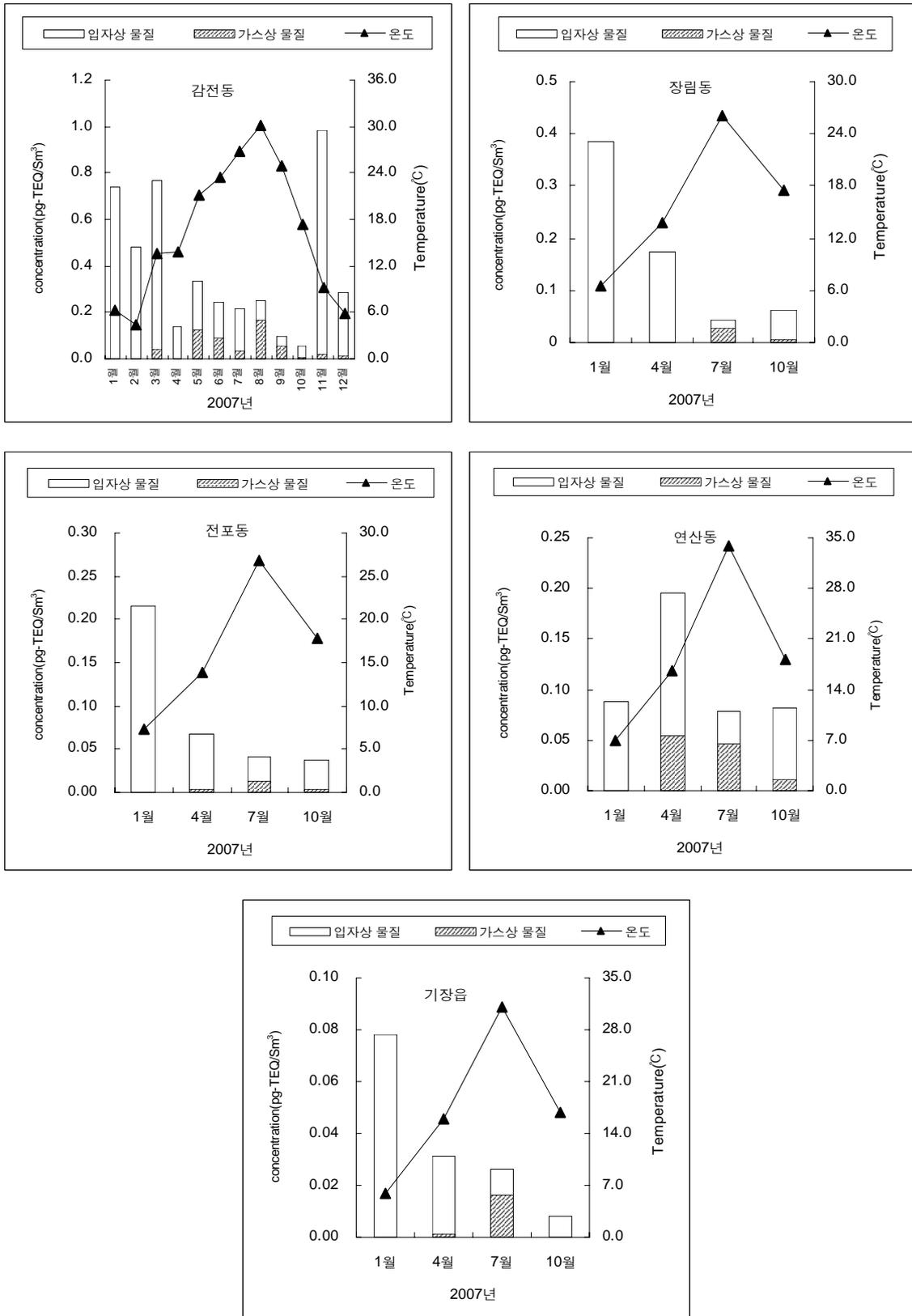


그림 8. 각 지역의 다이옥신 농도와 온도와의 상관관계.

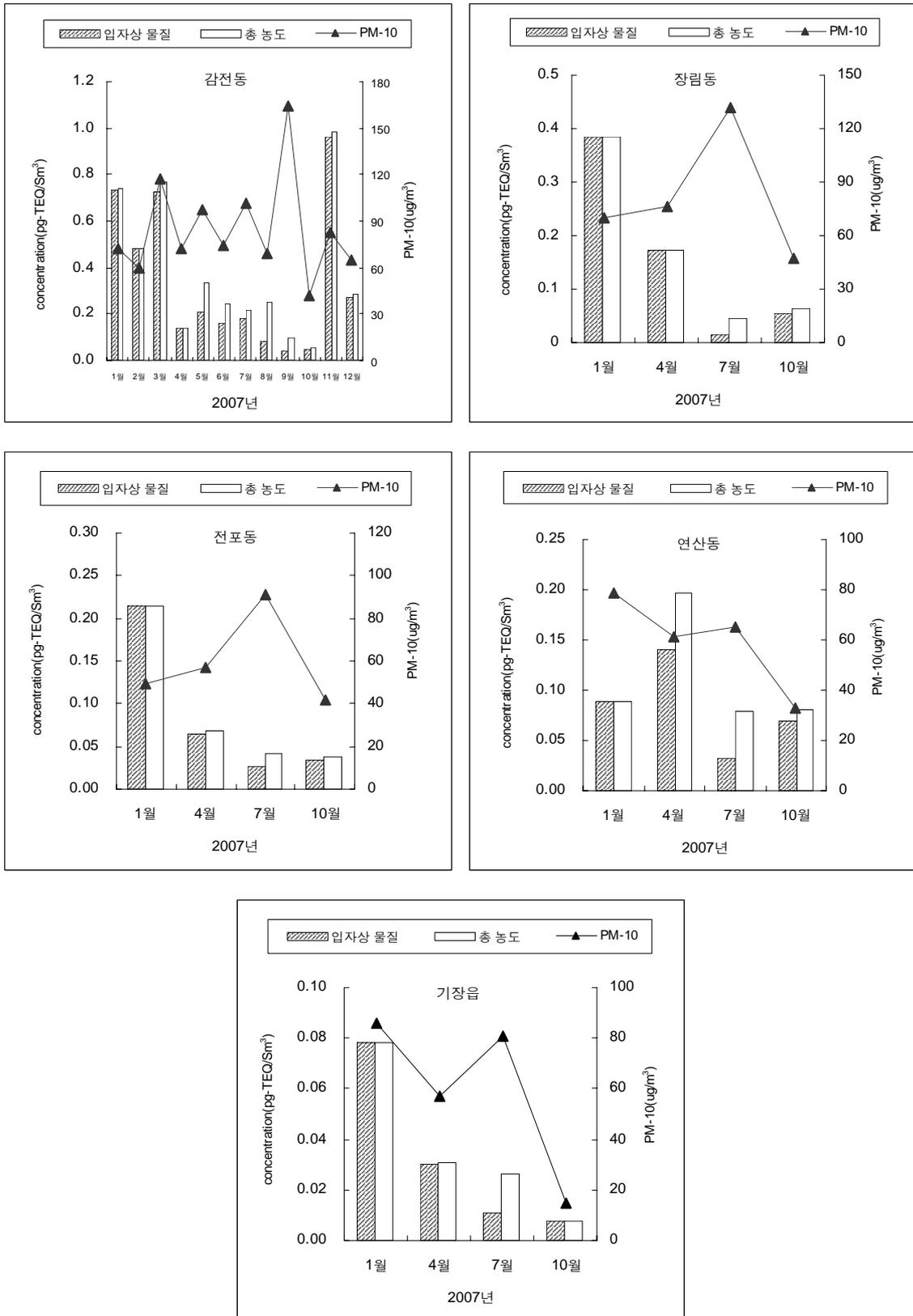


그림 9. 각 지역의 다이옥신 농도와 PM-10과의 상관관계.

### 3. 조사결과 평가

- 부산시내 각 지역의 시료채취 시기별 다이옥신 농도(실측값)
  - 다이옥신 실측값의 경우 공업지역인 감전동 지역이 연평균 8.576 pg/Sm<sup>3</sup>으로 가장 높게 검출되었으며, 그 다음으로는 장림동>연산동>전포동>기장읍 순으로 높게 검출되었음
  - 시기별로는 대부분의 지역에서 겨울철에 높게 검출되었으며,
  - 대부분의 지역에서 2005년과 2006년에 비하여 2007년의 연평균 다이옥신 농도가 낮았음
- 부산시내 각 지역의 시료채취 시기별 다이옥신 농도(I-TEQ값)
  - 독성등가값으로 환산한 다이옥신 농도의 경우 실측값과 마찬가지로 공업지역인 감전동 지역이 연평균 0.383 pg-TEQ/Sm<sup>3</sup>으로 가장 높게 검출되었으며, 그 다음으로는 장림동>연산동>전포동>기장읍 순으로 높게 검출되었음
  - 시기별로는 대부분의 지역에서 겨울철에 높게 검출되었으며,
  - 대부분의 지역에서 2005년과 2006년에 비하여 2007년의 연평균 다이옥신 농도가 낮았으며, 이와 반대로 연산동 지역의 경우는 2005년과 2006년에 비해 오히려 약간 증가하였음
- 동족체별 분포특성(연평균 농도)
  - 실측값
    - 조사대상 전 지역에서 PCDD보다는 PCDF가 많이 검출되었으며,
    - 대부분의 지역에서 1,2,3,4,6,7,8-H<sub>7</sub>CDF, O<sub>8</sub>CDF, O<sub>8</sub>CDD 등이 많이 검출되었음
  - 독성등가값
    - 조사대상 전 지역에서 PCDD보다는 PCDF가 훨씬 많이 검출되었으며, PCDD의 경우는 검출수준이 미미하였음
- 입자상 농도/가스상 농도 분포비(연평균 농도)
  - 조사대상 전 지역에서 입자상물질의 농도가 가스상 물질의 농도보다 훨씬 높았음
- PCDF/PCDD 분포비
  - 모든 조사대상 지역 및 조사한 모든 시기에서 PCDD보다는 PCDF가 많이 검출되어 PCDF/PCDD의 비율이 모두 1 이상으로 나타났음
- 다이옥신 농도와 기상상태와 관계
  - 다이옥신 농도와 온도와의 관계
    - ▷ 연산동 지역을 제외한 조사대상 모든지역에서 온도가 낮은 겨울철에 다이옥신 농도가 가장 높았으며,
    - ▷ 온도가 높은 여름철로 갈수록 입자상 다이옥신 농도는 감소하고 가스상 다이옥신 농도는 증가하였음
  - 다이옥신 농도와 PM-10 농도와의 비교
    - ▷ 조사대상 모든 지역에서 총 다이옥신 농도와 입자상 다이옥신 농도는 PM-10 농도의 영향을 거의 받지 않았음

□ 타 연구결과와의 다이옥신 농도 비교

표 11. 내분비계장애물질 조사·연구사업 결과(환경부, 국립환경과학원) (단위 : pg-TEQ/Sm<sup>3</sup>)

도시명	측정명	용도지역	조 사 시 기						
			1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
서울	대치동	주거	0.402	0.112	0.306	0.179			
	도곡동	주거					0.261	0.044	
	시청앞	상업	0.683	0.231	0.062	0.187	0.608	0.102	
	서울역	도로변(상업)	0.134	0.256	0.080	0.199	0.734	0.086	
부산	덕천동	주거	0.164	0.155	0.091	0.081	0.087	0.051	
	해운대	주거					0.042		
	다대포	주거					0.085		
	온천동	도로변(상업)	0.127	0.133	0.111	0.064		0.072	
대구	만촌동	주거	0.214	0.187	0.152	0.113	0.125	0.077	
	남산동	도로변(상업)	0.209	0.209	0.156	0.094	0.261	0.131	
광주	송정동	주거	0.103	0.275	0.080	0.082	0.143	0.064	
	백운동	도로변(상업)	0.052	0.061	0.097				
	치평동	도로변(상업)				0.095	0.092	0.121	
대전	구성동	녹지	0.083	0.142	0.102	0.103	0.028	0.071	
	대흥동	도로변(상업)	0.055	0.238	0.153	0.112	0.117	0.082	
인천	송의동	주거	0.299	1.496	0.445	0.723	0.431	0.281	0.212
	석남동	주거				0.870	0.541	0.427	
	만석동	주거				0.454			
	구월동	주거							0.173
	연수동	주거							0.152
	석바위	도로변	0.877	0.591	0.798	0.579	0.465	0.362	0.241
	부평동	상업				0.482			
	논현동	공업					0.769	0.364	0.234

표 11. 계속

도시명	측정명	용도지역	조 사 시 기						
			1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
울산	야음동	주거	0.121	0.084	0.049	0.029	0.038	0.030	0.022
	여천동	공업	0.305	0.154	0.169	0.044	0.076	0.069	0.125
수원	신평동	상업	0.796	0.579	0.307	0.315	0.129	0.111	
안산	원곡동	주거					0.278	0.214	
	본오동	주거					0.303	0.378	0.455
	고잔동	상업		0.348	0.861	0.253	0.233	0.135	
	원시동	공업	4.448	1.149	1.664	0.875	0.559	0.345	0.456
시흥	정왕동	주거		0.956	0.837	0.322	2.049	0.290	0.318
	시화공단	공업					0.255	0.435	0.539
안양	부림동	주거	0.368	0.153	0.278	0.086	0.125	0.080	
성남	신기동	주거	0.633	0.224	0.317	0.101	0.275	0.073	
여천	삼일동	준공업	0.040	0.474	0.037	0.042	0.032	0.149	
서산	독곶리	공업	0.037	0.129	0.161	0.037	0.306	0.034	
강화	석모리 <sup>1)</sup>	산림	0.026	0.015	0.021	0.091	0.040	0.053	0.032
충남태안	파도리	공원	0.026	0.071	0.122	0.036			
제주	고산	준농림	0.000	0.012	0.013	0.020	0.011	0.005	0.004
광양	중동	주거				0.019	0.038	0.050	0.015
	태인동	공업							0.012
포항	상대동	주거				0.057	0.025	0.092	
	대도동	주거							0.017
	장흥동	공업							0.035
창원	명서동	주거							0.060
	가음정동	공업				0.399	0.580	0.260	0.108
청주	내덕동	주거				0.198	0.077	0.122	
구미	형곡동	주거							0.033
	구미공단	공업						0.629	0.144
여수	쌍봉동	주거							0.014
	삼일동	준공업							0.010
	월내동	공업							0.022

1) 농도배경지역.