

## 대기 중 잔류성유기오염물질 조사

- 우리 시의 지역별 및 계절별 대기 중의 다이옥신 오염특성 파악
- 지역 특성에 따른 대기 중의 다이옥신 오염도 조사·연구 결과를 향후 우리 시의 중장기 대기 질 개선을 위한 기초자료 활용

### 1. 조사개요

- 조사기간 : 2012년 1월 ~ 12월
- 조사항목 : 2,3,7,8-TCDD<sup>1)</sup> 등 다이옥신류 17종

표 1. Dioxin congeners and I-TEF(International Toxic Equivalent Factor)

| Congener |                     |                     | Congener |                     |       |
|----------|---------------------|---------------------|----------|---------------------|-------|
|          |                     | I-TEF <sup>1)</sup> |          |                     | I-TEF |
| 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 : 국제 독성등가계수(International Toxic Equivalent Factor)

○ 조사지점



그림 1. Sampling sites of ambient air according to the land use.

2. 조사방법

- 시료채취일 : 2012년 1월, 4월, 7월, 10월
- 시료채취방법
  - ▷ High volumn air sampler를 이용하여 약  $0.7 \text{ Sm}^3/\text{min}$ 의 유속으로 48시간 연속채취
- 분석방법
  - ▷ 잔류성유기오염물질 공정시험기준 및 EPA method 1613B에 준함

3. 조사결과

- 다이옥신 잔류실태
  - ▷ 연도별 다이옥신 농도 추이
    - 2012년 부산지역 대기 중 연평균 다이옥신 농도는 그림 2에 나타낸 바와 같이 약  $0.059 \text{ pg-TEQ}/\text{Sm}^3$ 으로써, 대기환경기준인  $0.6 \text{ pg-TEQ}/\text{Sm}^3$ 의 약 10% 수준이었음.
    - 2005년 처음 조사를 시작한 이후 꾸준히 감소하여 2012년에는 2005년 농도에 비하여 약 71.7%가 감소하였으며,
    - 이는 2008년부터 「잔류성유기오염물질 관리법」의 시행에 따른 다이옥신 배출업소 관리 강화 등의 영향인 것으로 판단됨.

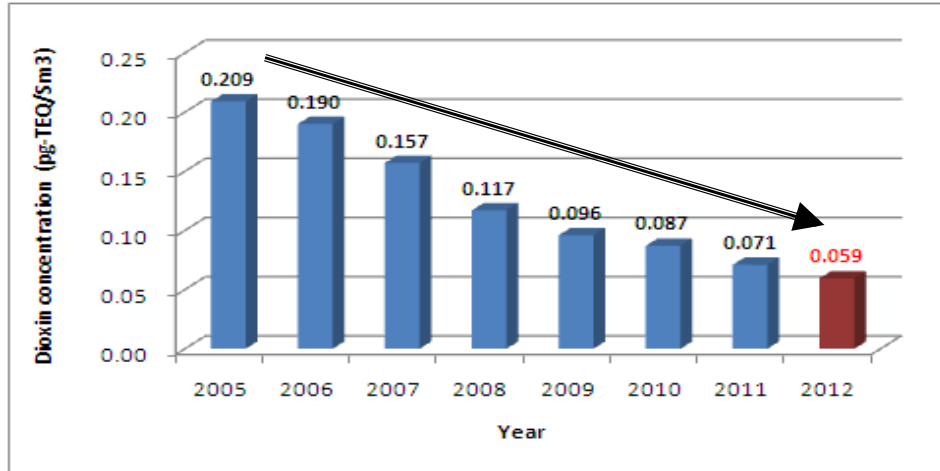


그림 2. Annual variations of dioxin concentration in ambient air.

▷ 지역별 및 계절별 다이옥신 농도

- 지역별 다이옥신 농도는 공업지역에서 0.134 pg-TEQ/Sm<sup>3</sup>으로 가장 높았으며, 그 외 지역에서는 0.026~0.041 pg-TEQ/Sm<sup>3</sup>으로 조사되었음.
- 이는 다이옥신 배출원이 산재해 있는 공업지역의 다이옥신 농도가 상대적으로 높고, 고정오염원이 적은 상업지역이나 주거지역에서는 상대적으로 다이옥신 농도가 낮은 것으로 판단됨.
- 계절별 다이옥신 농도는 겨울철에 0.094 pg-TEQ/Sm<sup>3</sup>으로 가장 높았으며, 가을철에 0.026 pg-TEQ/Sm<sup>3</sup>으로 가장 낮았음.
- 겨울철 다이옥신 농도는 일반적으로 난방연료의 사용량 증가와 대기의 역전현상 발생 등으로 다른 계절에 비하여 상대적으로 높은 농도를 유지하는 것으로 판단됨.

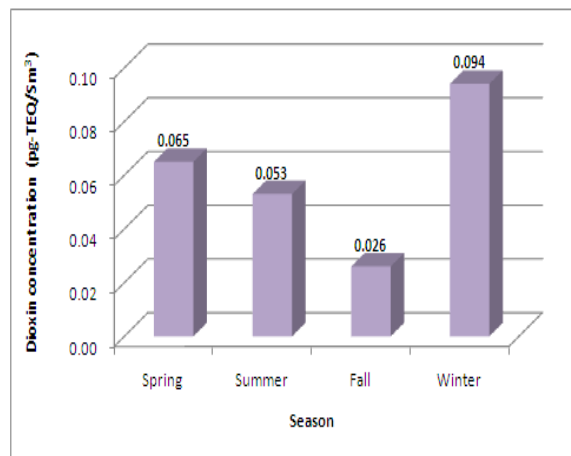
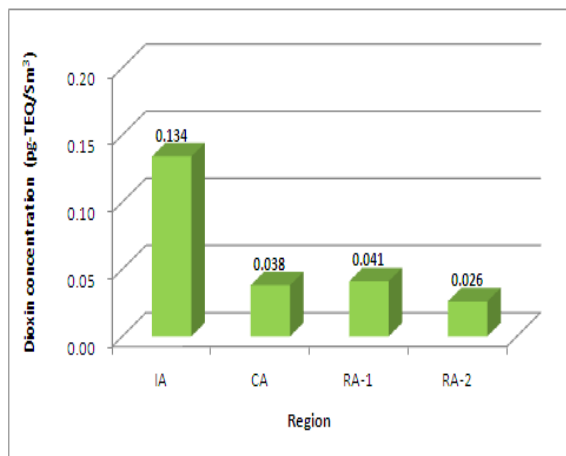


그림 3. Mean concentration of dioxin in ambient air by sampling sites and season.

○ 다이옥신 congener 분포특성

▷ 지역별 다이옥신 congeners 분포

- 지역별 평균 다이옥신 congeners 분포를 조사한 결과(표 2 및 3) 4개 지점 모두 실측값의 경우 PCDFs 중에서는 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF와 OCDF의 기여율이 가장 높았으며,
- PCDDs 중에는 4개 지점 모두 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD와 OCDD의 기여율이 가장 높았음.
- TEQ 농도는 TEF값이 상대적으로 높은 2,3,4,7,8-PeCDF와 1,2,3,7,8-PeCDD의 기여율이 가장 높았음.

▷ 지역별 PCDFs/PCDDs 분포

- 지역별 4개 지점의 평균 PCDFs와 PCDDs의 분포비율을 조사한 결과(그림 5) 실측값의 경우 4개 지점 모두 PCDFs의 비율이 각각 약 56.5~72.2%로 PCDFs가 PCDDs보다 높게 검출되었음.
- TEQ농도로 환산하였을 경우에도 PCDFs의 비율이 약 77.8~87.9%로 PCDDs에 비하여 높게 검출되었음.
- 이는 소각시설을 비롯한 연소시설에서 배출되는 다이옥신의 영향을 많이 받고 있기 때문인 것으로 판단됨.

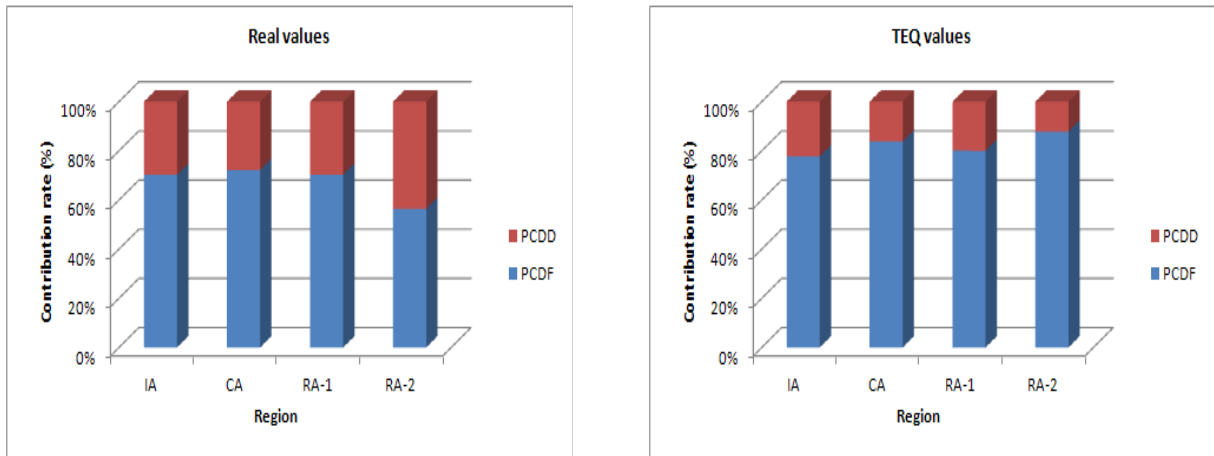


그림 4. PCDFs/PCDDs distribution of dioxin in ambient air under different sites.

○ 지역별 다이옥신 상분포

- ▷ 지역별 4개 지점의 평균 입자상 및 가스상 다이옥신의 분포비율을 조사한 결과(그림 6) 실측값의 경우 입자상 다이옥신의 비율이 약 85.6~93.0%로 가스상 다이옥신에 비하여 약 5.9~13.3배 이상 높은 것으로 조사되었음.
- ▷ 이는 배출원에서 배출되는 배출가스 중의 입자상 물질에 기인하는 것으로 판단됨.
- ▷ TEQ 농도의 경우 입자상 다이옥신의 비율이 약 65.5~76.6%로 실측농도보다는 다소 낮았으며,
- ▷ 이는 독성등가계수가 높은 저염화 다이옥신들이 상대적으로 가스상으로 많이 존재하기 때문에 TEQ 농도로 환산하였을 경우는 가스상 물질의 비율이 상대적으로 증가하는 것으로 판단됨.

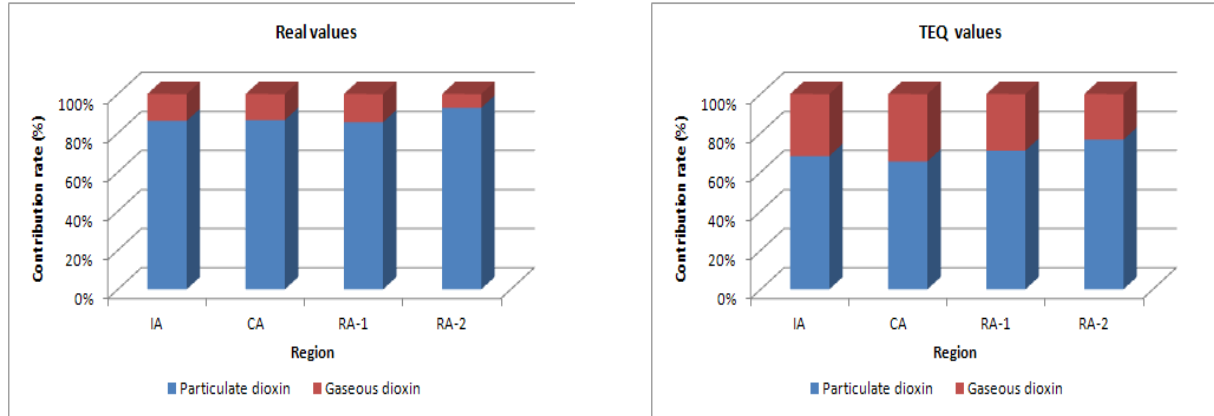


그림 5. Phase distribution of dioxin in ambient air under different sites.

표 2. Contribution rate of each dioxin congener in total dioxin concentration in ambient air under different sites (real values)

| No.     | Chemicals           | IA                                 |                       | CA                                 |                       | RA-1                               |                       | RA-2                               |                       |
|---------|---------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|
|         |                     | Real values, (pg/Sm <sup>3</sup> ) | Contribution rate (%) | Real values, (pg/Sm <sup>3</sup> ) | Contribution rate (%) | Real values, (pg/Sm <sup>3</sup> ) | Contribution rate (%) | Real values, (pg/Sm <sup>3</sup> ) | Contribution rate (%) |
| 1       | 2,3,7,8-TCDF        | 0.087                              | 4.7                   | 0.022                              | 3.8                   | 0.029                              | 4.3                   | 0.008                              | 1.4                   |
| 2       | 1,2,3,7,8-PeCDF     | 0.091                              | 4.9                   | 0.030                              | 5.1                   | 0.024                              | 3.5                   | 0.014                              | 2.3                   |
| 3       | 2,3,4,7,8-PeCDF     | 0.117                              | 6.3                   | 0.034                              | 5.9                   | 0.033                              | 4.9                   | 0.022                              | 3.7                   |
| 4       | 1,2,3,4,7,8-HxCDF   | 0.067                              | 3.6                   | 0.022                              | 3.7                   | 0.025                              | 3.6                   | 0.016                              | 2.7                   |
| 5       | 1,2,3,6,7,8-HxCDF   | 0.119                              | 6.4                   | 0.038                              | 6.6                   | 0.038                              | 5.6                   | 0.032                              | 5.5                   |
| 6       | 2,3,4,6,7,8-HxCDF   | 0.096                              | 5.1                   | 0.030                              | 5.2                   | 0.030                              | 4.4                   | 0.036                              | 6.3                   |
| 7       | 1,2,3,7,8,9-HxCDF   | 0.001                              | 0.0                   | 0.000                              | 0.1                   | 0.000                              | 0.0                   | 0.000                              | 0.0                   |
| 8       | 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 0.349                              | 18.8                  | 0.115                              | 19.8                  | 0.144                              | 21.1                  | 0.140                              | 24.3                  |
| 9       | 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 0.025                              | 1.3                   | 0.023                              | 4.0                   | 0.030                              | 4.4                   | 0.013                              | 2.2                   |
| 10      | OCDF                | 0.355                              | 19.1                  | 0.106                              | 18.2                  | 0.127                              | 18.6                  | 0.046                              | 7.9                   |
| 11      | 2,3,7,8-TCDD        | 0.003                              | 0.2                   | 0.000                              | 0.0                   | 0.000                              | 0.0                   | 0.000                              | 0.0                   |
| 12      | 1,2,3,7,8-PeCDD     | 0.032                              | 1.7                   | 0.007                              | 1.1                   | 0.008                              | 1.2                   | 0.001                              | 0.2                   |
| 13      | 1,2,3,4,7,8-HxCDD   | 0.018                              | 1.0                   | 0.002                              | 0.4                   | 0.001                              | 0.2                   | 0.002                              | 0.3                   |
| 14      | 1,2,3,6,7,8-HxCDD   | 0.036                              | 1.9                   | 0.008                              | 1.4                   | 0.016                              | 2.3                   | 0.005                              | 0.9                   |
| 15      | 1,2,3,7,8,9-HxCDD   | 0.032                              | 1.7                   | 0.010                              | 1.7                   | 0.014                              | 2.1                   | 0.005                              | 0.9                   |
| 16      | 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 0.196                              | 10.6                  | 0.058                              | 10.0                  | 0.068                              | 9.9                   | 0.104                              | 18.0                  |
| 17      | OCDD                | 0.236                              | 12.7                  | 0.076                              | 13.1                  | 0.096                              | 14.0                  | 0.134                              | 23.2                  |
| Σ PCDFs |                     | 1.306                              | 70.2                  | 0.421                              | 72.2                  | 0.481                              | 70.3                  | 0.326                              | 56.5                  |
| Σ PCDDs |                     | 0.553                              | 29.8                  | 0.162                              | 27.8                  | 0.203                              | 29.7                  | 0.252                              | 43.5                  |
| Σ Total |                     | 1.860                              | 100.0                 | 0.583                              | 100.0                 | 0.684                              | 100.0                 | 0.578                              | 100.0                 |

표 3. Contribution rate of each dioxin congener in total dioxin concentration in ambient air under different sites (TEQ values)

| No.     | Chemicals           | IA                               |                       | CA                               |                       | RA-1                             |                       | RA-2                             |                       |
|---------|---------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|
|         |                     | TEQ values (pg/Sm <sup>3</sup> ) | Contribution rate (%) | TEQ values (pg/Sm <sup>3</sup> ) | Contribution rate (%) | TEQ values (pg/Sm <sup>3</sup> ) | Contribution rate (%) | TEQ values (pg/Sm <sup>3</sup> ) | Contribution rate (%) |
| 1       | 2,3,7,8-TCDF        | 0.009                            | 6.5                   | 0.002                            | 5.9                   | 0.003                            | 7.3                   | 0.001                            | 3.3                   |
| 2       | 1,2,3,7,8-PeCDF     | 0.005                            | 3.4                   | 0.001                            | 4.0                   | 0.001                            | 3.0                   | 0.001                            | 2.7                   |
| 3       | 2,3,4,7,8-PeCDF     | 0.059                            | 43.7                  | 0.017                            | 45.8                  | 0.017                            | 41.8                  | 0.011                            | 42.5                  |
| 4       | 1,2,3,4,7,8-HxCDF   | 0.007                            | 5.0                   | 0.002                            | 5.8                   | 0.002                            | 6.2                   | 0.002                            | 6.2                   |
| 5       | 1,2,3,6,7,8-HxCDF   | 0.012                            | 8.9                   | 0.004                            | 10.3                  | 0.004                            | 9.6                   | 0.003                            | 12.6                  |
| 6       | 2,3,4,6,7,8-HxCDF   | 0.010                            | 7.1                   | 0.003                            | 8.1                   | 0.003                            | 7.6                   | 0.004                            | 14.3                  |
| 7       | 1,2,3,7,8,9-HxCDF   | 0.000                            | 0.0                   | 0.000                            | 0.1                   | 0.000                            | 0.0                   | 0.000                            | 0.0                   |
| 8       | 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 0.003                            | 2.6                   | 0.001                            | 3.1                   | 0.001                            | 3.6                   | 0.001                            | 5.5                   |
| 9       | 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 0.000                            | 0.2                   | 0.000                            | 0.6                   | 0.000                            | 0.8                   | 0.000                            | 0.5                   |
| 10      | OCDF                | 0.000                            | 0.3                   | 0.000                            | 0.3                   | 0.000                            | 0.3                   | 0.000                            | 0.2                   |
| 11      | 2,3,7,8-TCDD        | 0.003                            | 2.3                   | 0.000                            | 0.0                   | 0.000                            | 0.0                   | 0.000                            | 0.0                   |
| 12      | 1,2,3,7,8-PeCDD     | 0.016                            | 11.9                  | 0.003                            | 8.9                   | 0.004                            | 10.0                  | 0.001                            | 2.7                   |
| 13      | 1,2,3,4,7,8-HxCDD   | 0.002                            | 1.3                   | 0.000                            | 0.6                   | 0.000                            | 0.4                   | 0.000                            | 0.7                   |
| 14      | 1,2,3,6,7,8-HxCDD   | 0.004                            | 2.7                   | 0.001                            | 2.2                   | 0.002                            | 4.0                   | 0.001                            | 2.1                   |
| 15      | 1,2,3,7,8,9-HxCDD   | 0.003                            | 2.4                   | 0.001                            | 2.7                   | 0.001                            | 3.6                   | 0.001                            | 2.1                   |
| 16      | 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 0.002                            | 1.5                   | 0.001                            | 1.6                   | 0.001                            | 1.7                   | 0.001                            | 4.1                   |
| 17      | OCDD                | 0.000                            | 0.2                   | 0.000                            | 0.2                   | 0.000                            | 0.2                   | 0.000                            | 0.5                   |
| Σ PCDFs |                     | 0.104                            | 77.8                  | 0.031                            | 83.8                  | 0.032                            | 80.1                  | 0.022                            | 87.9                  |
| Σ PCDDs |                     | 0.030                            | 22.2                  | 0.006                            | 16.2                  | 0.008                            | 19.9                  | 0.003                            | 12.1                  |
| Σ Total |                     | 0.134                            | 100.0                 | 0.037                            | 100.0                 | 0.040                            | 100.0                 | 0.025                            | 100.0                 |

## ○ 계절별 다이옥신 상분포

- ▷ 용도지역별 4개 지점 전체에 대한 계절별 입자상 및 가스상 다이옥신의 비율을 조사한 결과 (그림 7) 실측값의 경우 온도가 가장 높은 여름철의 가스상 다이옥신의 비율이 약 39.6%로 다른 계절에 비하여 가장 높았으며, 겨울철이 약 0.6%로 가장 낮았음.
- ▷ TEQ 농도로 환산하였을 경우 여름철에는 가스상 다이옥신이 입자상 다이옥신에 비하여 약 3배 이상 더 높았음.
- ▷ 이는 여름철 고온으로 인한 다이옥신의 가스화로 인하여 여름철 입자상 물질과 가스상 물질의 비율이 다른 계절에 비하여 상대적으로 낮은 것으로 판단되며, 특히 염소수가 적을수록 여름철에 가스화가 더 많이 일어나는 것으로 조사되었음.

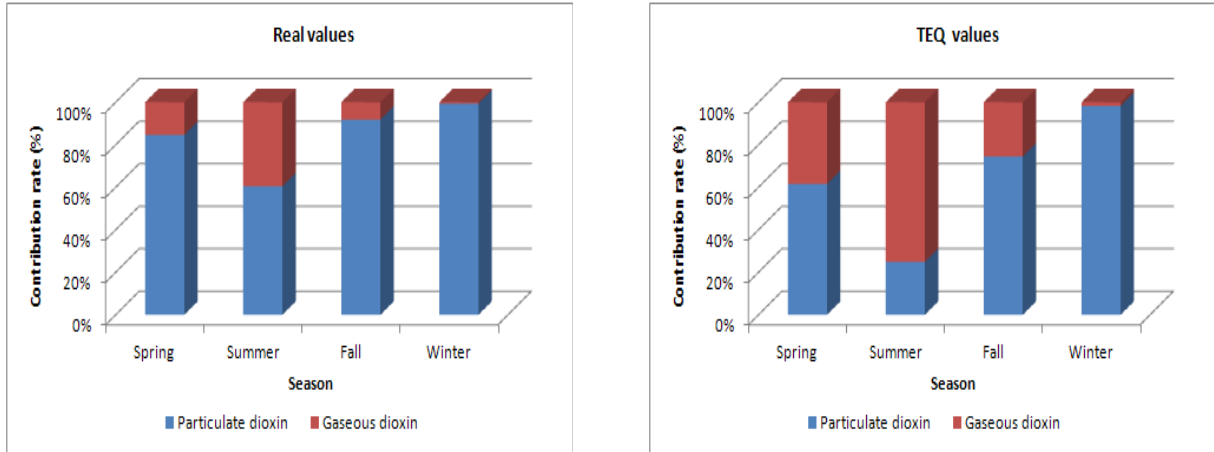


그림 6. Phase distribution of dioxin in ambient air under different season.

#### 4. 조사결과 평가

- 2012년도 부산지역 대기 중 연평균 다이옥신 농도는  $0.059 \text{ pg-TEQ/Sm}^3$ 으로써, 대기환경기준인  $0.6 \text{ pg-TEQ/Sm}^3$ 의 약 10% 수준이었음.
- 지역별로는 공업지역에서 가장 높았으며, 계절별로는 겨울철이 가장 높았음.
- 이는 겨울철 난방연료의 사용량 증가와 겨울철 대기의 역전현상 발생 그리고 여름철에 발생하는 광분해 및 OH-라디칼과의 반응에 의한 감소반응 등의 영향을 받기 때문인 것으로 판단됨.
- 지역별 평균 다이옥신 congeners 분포는 소각시설 등 연소시설에서 배출되는 다이옥신의 영향으로 PCDFs가 PCDDs보다 높게 검출되었으며,
- 상분포 비율을 조사한 결과 입자상 다이옥신의 비율이 가스상 다이옥신에 비하여 높았으며, 이는 배출원에서 배출되는 배출가스 중의 입자상 물질에 기인하는 것으로 판단됨.
- 계절별 상분포 비율은 여름철 가스상 다이옥신의 비율이 다른 계절에 비하여 높았으며,
- 이는 여름철 고온으로 인한 다이옥신의 가스화로 인하여 여름철 입자상 물질과 가스상 물질의 비율이 다른 계절에 비하여 상대적으로 낮은 것으로 판단되었음.