

서울 서남지역 대기 중 다이옥신 농도 분포 및 인접 도시들의 영향

환경연구개발팀

조수석 · 조성자 · 최용석 · 배일상 · 김현정 · 박양순 · 박찬구 · 김주형

Distribution of PCDD/DF Concentration in the Ambient Air of the Southwestern Seoul and the Influence of Southwestern Cities of Seoul

Environmental Research & Development Team

**Soo-seock Cho, Sung-ja Cho, Yong-suk Choi, Il-sang Bae,
Hyun-jeong Kim, Yang-soon Park, Chan-koo Park and Joo-hyung Kim**

Abstract

This study was performed to investigate the PCDD/DF concentrations in the ambient air of the Seoul. The annually average PCDD/DF concentration in Seoul was 0.114 pg I-TEQ/m³, showing the highest level during winter, followed by spring, fall and summer. The dominant congeners in terms of the concentration profiles were 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-HpCDF, OCDD, OCDF and 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-HpCDD, but 2, 3, 4, 7, 8-PeCDF and 1, 2, 3, 7, 8-PeCDD in terms of the TEQ profiles. The trend of TEQ in Gyeonggi province was shown to be different from that in Seoul. If the PCDD/DF concentrations of Guro and Hwagok are related to those of Yangjae every year, those of the Guro and Hwagok are more influenced by local emission sources than those of the cities southwestern of Seoul.

Key words : PCDD/DF, ambient air, congener, TEQ, local emission sources

서 론

다이옥신은 염화다이옥신류(PCDDs)와 염화플루란류(PCDFs)로 분류할 수 있는데, PCDDs는 두 개의 benzene ring에 두개의 산소가 병렬로 연결

되고 benzene ring의 수소가 1개에서 최대 8개의 염소로 치환된 것으로, 염소의 치환수와 치환위치에 따라서 75개의 동족체가 존재한다. 또한 유사한 성질을 가진 것으로 알려진 PCDFs 역시 치환 염소에 따라 135개의 동족체가 있으며 일반적으로

PCDDs와 PCDFs를 합한 210개의 동족체를 다이옥신류라고 총칭한다(1).

다이옥신은 물리화학적으로 매우 안정한 화합물로서 상온에서는 백색의 고체이며, 융점은 196.5~485°C로 높고, 물에 대한 용해성은 0.4~103 ng/L로써 소수성이다. 증기압도 낮아 증발 비산하는 양은 대단히 적은 것으로 알려져 있다(2). 먼지, 토양 등에 잘 흡착되며, 자외선 같은 빛에 대해서도 매우 안정된 구조를 가지고 있다. 2, 3, 7, 8 -TCDD의 경우 반감기는 공기 중에서 200시간, 수중에서는 약 반년이며 토양과 저질에서는 약 100년 이상이다(3).

다이옥신은 토양, 호수, 강바다, 대기, 동식물 및 인체조직 등 모든 자연환경에 존재한다. 또한 체내에 농축될 경우, 간장, 신장을 파손하고 면역성 저하, 피부병, 암, 기형아, 유전자 이상, 성격이상, 정서불안 등 많은 독성을 유발한다고 알려져 있다(2).

환경 중 다이옥신은 산불, 번개, 화산 등과 같은 자연적 발생과 산업 활동의 부산물로 생성된다. 그 중에서도 인간의 산업 활동에 의해 생성되는 다이옥신의 발생원은 소각시설, 전력생산, 운송, 화학물질생산 및 매립처분 등 매우 다양하나, 미국 다이옥신 배출목록에 의하면 소각시설이 주배출원으로 연간 다이옥신 배출량의 약 70%정도를 차지하고 있다(4).

이런 대기 중 다이옥신은 배출원에서 가까운 지

역뿐만 아니라 멀리 떨어진 지역까지 영향을 주며, 도시 규모 및 토지이용형태에 따라 영향을 주는 것으로 알려져 있다(5). 이에 서울 서남권의 대기 중 다이옥신 농도 경향 및 안산, 부천 등 서울 주변 도시들이 서울시 서남권에 위치한 지역에 어떤 영향을 주는지 파악하고자 한다.

재료 및 방법

서울시 대기 중 다이옥신 농도 및 서울 인접 도시들의 영향을 파악하기 위해 서울 서남쪽에 위치하는 측정소 4곳(구로, 마포, 신정, 화곡)과 양재 측정소에서 월 1~2회 시료를 채취하였다(그림 1). 시료채취는 Sibata PUF sampler를 사용하였으며 24시간 동안 800 L/min의 유량으로 약 1,000 m³이상을 채취하였다. 시료 전처리에는 EPA method 1613에 준하여 실시하였고, 실리카겔 및 알루미늄 칼럼으로 정제를 하였다(6). 표준물질은 Cambridge Isotope Laboratories, Inc에서 제공된 검량선 표준물질(EDF-9999), 정량용 내부 표준물질(EDF-89999:100~200 ng/mL), 회수율 표준물질(EDF-5999:200 ng/mL)을 사용하였다. 최종 농축된 시료는 표 1과 같은 조건으로 HRGC/MS를 사용하여 분석하였다.

Table 1. GC/MS conditions for determination of PCDDs/PCDFs

GC	Instrument	Fisons GC8000 series	Thermo GC Ultra
	Injector		Splitless
	Carrier gas	He, 1.2 mL/min	He, 1.3 mL/min
	Sample volume	0.8 μ L	1.0 μ L
	Column	SP2331 60 m \times 0.32 mm ID \times 0.20 μ m	
Temp. program	100°C (1 min) \rightarrow 230°C (15°C/min, 5 min) \rightarrow 265°C (10°C/min, 20 min)	100°C (1 min) \rightarrow 230°C (15°C/min, 1 min) \rightarrow 265°C (10°C/min, 26 min)	
MS	Instrument	VG Autospec Ultima	Thermo DFS
	Ionization mode		Electron impact(EI)
	Detection mode		SIM - 4 Function
	Ionization voltage	36 eV	30 eV
	Resolution	>10,000(10% valley)	>10,000(5% height)

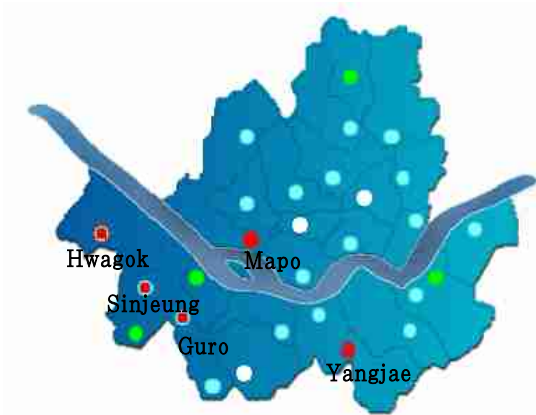


Fig. 1. Location of sampling sites in Seoul.

Table 2. Annual PCDD/DF concentration in five sampling sites

Location	Concentration(pg I-TEQ/m ³) ± SD
Guro	0.096 ± 0.076
Mapo	0.108 ± 0.077
Sineung	0.103 ± 0.059
Yangjae	0.139 ± 0.149
Hwagok	0.125 ± 0.127

결과 및 고찰

1. 5개 지점별 다이옥신 농도

서울시 대기 중 다이옥신 농도는 연평균 0.114 pg I-TEQ/m³(0.014~0.526 pg I-TEQ/m³)이었다. 그리고 서울 서남쪽에 위치하는 측정소 4곳(구로, 마포, 신정, 화곡)과 양재측정소에서 채취한 다이옥신 연평균 농도는 0.096, 0.108, 0.103, 0.139, 0.125 pg I-TEQ/m³ 이었다(표 2). 5곳의 연평균 농도는 0.1 pg I-TEQ/m³의 전후의 농도를 보였고, 양재를 기준으로 보면 화곡은 약 11%가

높고, 나머지 곳들은 13~22%정도 낮았다.

2. 월별 다이옥신 농도 및 분포 특성

월별 다이옥신 농도는 그림 2와 같고, 1월과 2월에서 높은 농도를 보였다. 특히 화곡의 1월과 양재의 2월은 0.5 pg I-TEQ/m³ 이상이었지만, 잔류성 유기오염물질(POPs) 관리법 기준인 연평균 0.6 pg I-TEQ/m³보다 낮았다. 계절적으로 보면, 겨울(0.189 pg I-TEQ/m³)-봄(0.136 pg I-TEQ/m³)-가을(0.068 pg I-TEQ/m³)-여름(0.038 pg I-TEQ/m³) 순으로 농도가 높았다. 겨울철이 다른 계절보다 높은 농도를 보이는 이유는 난방을 위한 연소와 혼합고의 감소에 생각된다.

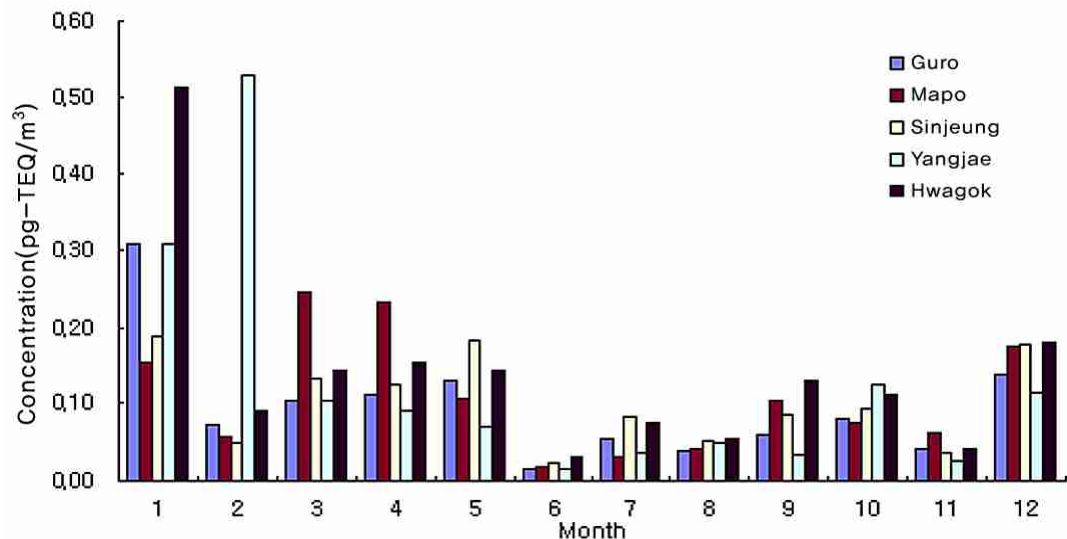


Fig. 2. Monthly PCDD/DF concentrations in five sampling sites.

3. 서울시 이성체 분포

2,3,7,8 위치에 염소가 치환된 17종 이성질체들의 중에서 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF, OCDD, OCDF 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD의 순으로 높은 농도를 보였고, 전체의 약 59%를 차지하고 있었다(그림 3). Raun 등(7)의 OCDD, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD, OCDF, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF, 이 등(5)의 OCDF, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD 및 김

등(8)의 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF, OCDD, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD의 분포와는 다소 다른 결과를 보였다. 홍(3)의 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF, OCDF, OCDD와는 비슷한 결과를 나타냈다. 그렇지만, TEQ 환산농도로 보면 2,3,4,7,8-PeCDF와 1,2,3,7,8-PeCDD가 높은 농도를 보였고, 총 TEQ 농도 중 2,3,4,7,8-PeCDF와 1,2,3,7,8-PeCDD가 48%를 차지하고 있는 것으로 나타났다(그림 4).

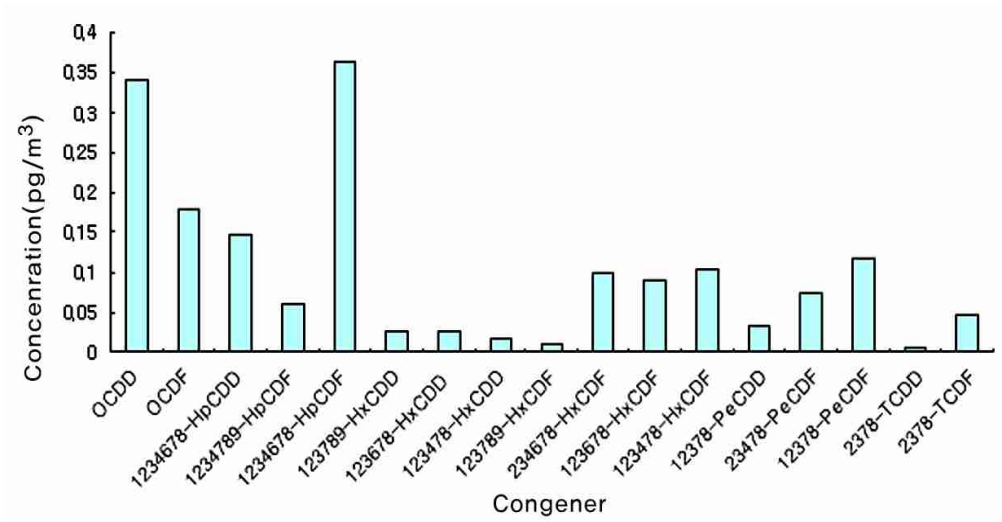


Fig. 3. Distribution of the PCDD/DF in ambient air of the Seoul.

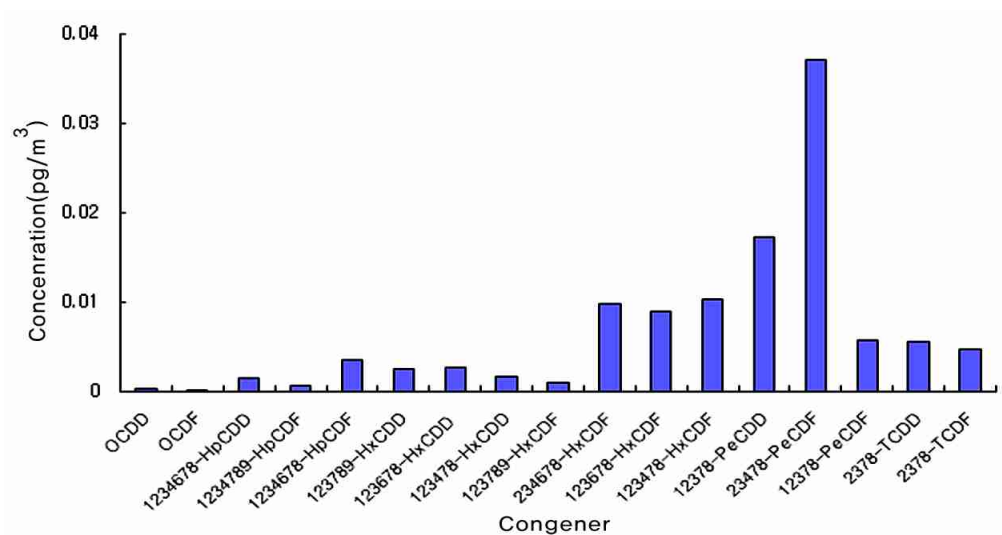


Fig. 4. Distribution of the PCDD/DF in ambient air of the Seoul.

4. 서울 인접 도시의 영향

송 등(9)에 의하면, 서울 서남권에 있는 경기도 도시들의 다이옥신 농도는 그림 5와 같다. 경기도 일대 도시 3곳(안산, 부천, 시흥)의 '03년에서 '06년 연평균 다이옥신 농도를 보면 0.691 pg I-TEQ/m³에서 0.289 pg I-TEQ/m³으로 전반적으로 감소하는 추세에 있는 것을 볼 수 있다. 그렇지만, 서울시 양재의 다이옥신 농도는 '04년에서 '08년까지 0.12~0.14 pg I-TEQ/m³범위에서만 변화가 있는 서로 다른 추세를 나타냈다. 그리고 구로, 마포, 신정, 화곡 및 양재에 대해서 지역별 상관관계는 표 3과 같다. TEQ농도별에 의한 상관관계는 화곡-양재, 화곡-구로 및 구로-양재에서 0.9이상이었다. 이로 볼 때, 구로-화곡-양재는 비슷한 오염 경향성을 확인 할 수 있었다.

서울의 서남권에 위치한 구로와 화곡의 시료채취지점들이 '04년~'08년 양재와 같은 경향을 띠다면, 구로와 화곡의 다이옥신 농도는 경기도 일대 도시의 영향보다는 다른 국지적 원인에 의해 더 영향을 받는 것으로 생각된다. 마포와 신정의 경우는 양재와 상대적으로 상관성은 낮지만, 화곡보다 TEQ값이 낮았다. 이는 경기도 일대 도시의 영향이 있다고 하더라도 미미할 것으로 생각된다.

결론

서울 서남쪽에 위치하는 측정소 4곳(구로, 마포, 신정, 화곡)과 양재측정소에서 채취한 다이옥신 연평균 농도는 0.096, 0.108, 0.103, 0.139,

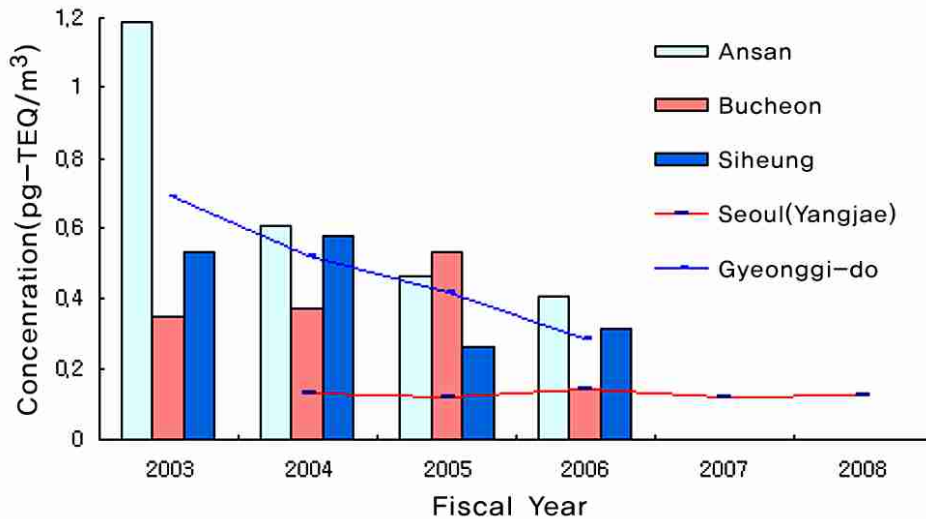


Fig. 5. Comparison of PCDD/DF of Seoul with that of Gyeonggi province.

Table 3. Correlation coefficients of the TEQ of PCDD/DF between sampling sites(excluded February)

pg I-TEQ/m ³	Guro	Mapo	Sinjeung	Yangjae	Hwagok
Guro	1	0.511	0.827	0.948	0.979
Mapo		1	0.651	0.444	0.448
Sinjeung			1	0.691	0.730
Yangjae				1	0.954
Hwagok					1

0.125 pg I-TEQ/m³ 이었고, 5곳의 대기 중 다이옥신 연평균 농도는 0.114 pg I-TEQ/m³ 이었다. 이는 잔류성 유기오염물질(POPs) 관리법 기준인 연평균 0.6 pg I-TEQ/m³ 보다 낮았다. 또한, 월별 다이옥신 농도는 0.014~0.526 pg I-TEQ/m³ 로, 겨울 - 봄 - 가을 - 여름 순으로 농도가 높았다. 겨울철의 높은 농도는 난방연료 사용으로 판단된다.

17종 이성질체들의 분포로 보면 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF, OCDD, OCDF 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD의 순으로 높은 농도를 보였지만, TEQ 환산농도로 보면 2,3,4,7,8-PeCDF과 1,2,3,7,8-PeCDD가 높은 농도를 보였다.

지역별 TEQ 농도에 의한 상관성 및 경기도의 다이옥신 연평균농도의 감소추세로 볼 때, 구로와 화곡의 다이옥신 농도는 경기도 일대 도시의 영향보다는 다른 국지적 원인에 의한 영향으로 판단되므로 추후 이에 대한 지속적인 연구결과가 필요할 것이다.

참고문헌

1. 권오경, 은희수, 최달순, 홍수명, 권혜영, 최주현 : 작물재배환경 중 다이옥신 잔류함량 비교 연구. 농약과학회지, 10(2):91~98, 2006.
2. 김종국, 홍희택 : 수환경중에서 다이옥신 농도와 이성체 분포 특성. 공학연구, 31:145~151, 2000.
3. 홍희택 : 도시 대기 중 다이옥신 분포특성에 관한 연구. 공학연구, 32:177~184, 2001.
4. UNEP : Dioxin and Furan inventories. 1999.
5. 이재효, 김민영, 이동훈 : 다변량 통계분석에 의한 환경 중 다이옥신의 이성체 패턴 해석. 한국폐기물학회지, 21(7):749~758, 2004.
6. U.S. EPA method 1613, Tetra Through Octa-Chlorinated Dioxins and Furans by Isotope Dilution HRGC/HRMS, Reversion B, 1996.
7. Raun LH, Correa O, Rifai H, Suarez M and Koenig L : Statistical investigation of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in the ambient air of Houston, Texas. Chemosphere, 60:973~989, 2005.
8. 김연제, 전명윤 : 몇 가지 환경 시료 중에 함유된 다이옥신류 이성질체들의 분포에 대한 상관성 연구. Analytical Science and Technology, 18(5):419~424, 2005.
9. 송일석, 김동기, 민윤기, 허종원 : 경기도내 환경매체 중 다이옥신 실태조사 및 위해성 평가. 경기도 보건환경연구원, 2008.