

환경매체 중 잔류성유기오염물질 조사

- 우리 시의 대기, 하천수 및 하천퇴적물, 토양, 해저퇴적물 등 환경 중에 분포하고 있는 다이옥신 오염실태 및 오염수준 평가하고, 또한 향후 지속적인 자료 축적 및 배출원 관리 등 환경관리를 위한 기초자료 제공

1. 조사개요

- 조사근거 : 산업환경과-181(2012.01.26.) 및 1079(2014.04.25.)호 관련
- 조사기간 : 2014년 1월 ~ 12월
- 조사항목 : 2,3,7,8-TCDD 등 다이옥신류 17종
- 조사매체 : 대기, 하천수 및 하천퇴적물, 토양, 해저퇴적물

표 1. 다이옥신 Congeners 및 I-TEF

Congener			Congener		
		I-TEF ¹⁾			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)

2. 조사내용 및 방법

- 대기
 - 시료채취일 : 2014년 1월, 4월, 7월, 10월
 - 분석방법 : 잔류성유기오염물질 공정시험기준 및 EPA method 1613B에 준함
 - 시료채취지점 : 4개지점
 - 공업지역 : 학장동 측정소
 - 상업지역 : 전포동 측정소

- 주거지역 : 연산동 측정소, 좌동 측정소

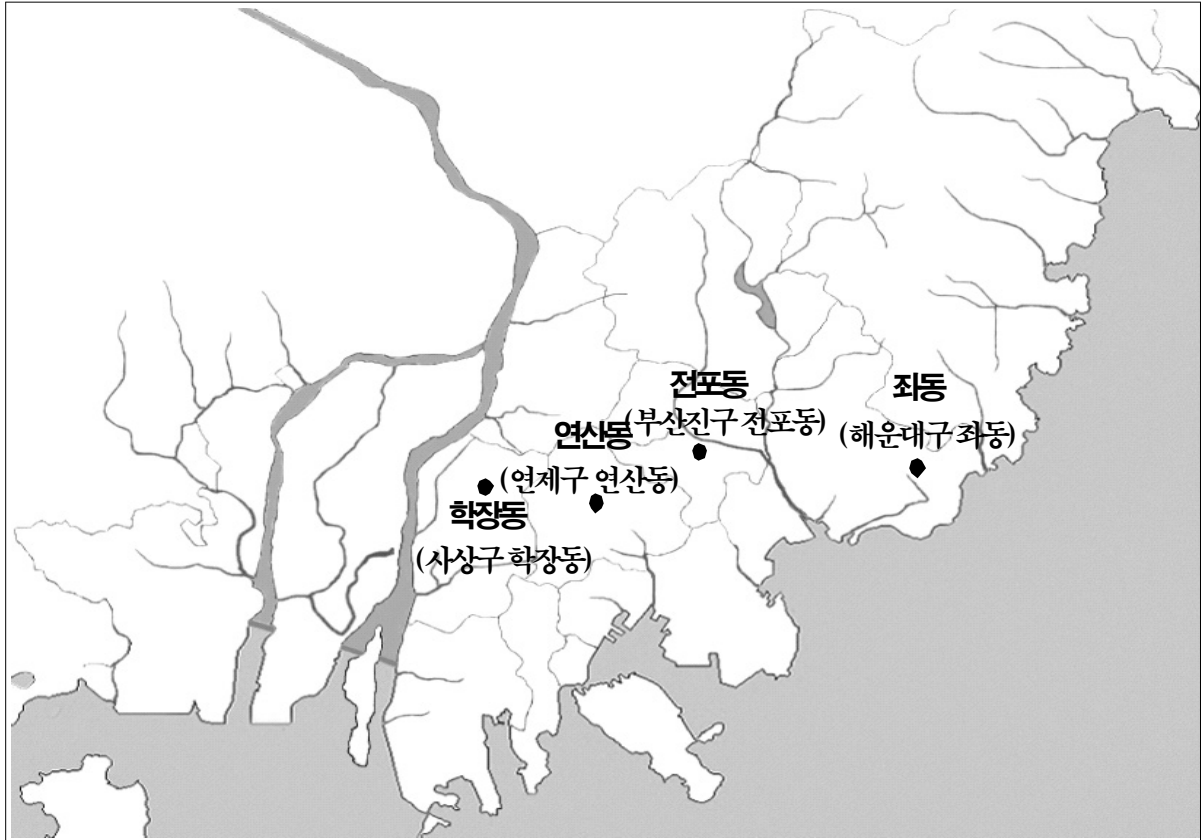


그림 1. 대기 시료채취지점

○ 하천수 및 하천퇴적물

– 시료채취일

- 하천수 : 2014년 6월, 10월
- 하천퇴적물 : 2014년 10월

– 분석방법 : 잔류성유기오염물질 공정시험기준 및 EPA method 1613B에 준함.

– 시료채취지점 : 2개지점

- 공업지역 : 감전천
- 주거지역 : 수영강



그림 2. 하천수 및 하천퇴적물 시료채취지점

○ 토양

- 시료채취일 : 2014년 8월
- 분석방법 : 잔류성유기오염물질 공정시험기준 및 EPA method 1613B에 준함.
- 시료채취지점
 - 공장및공업지역 : 녹산공단(보람공원)
 - 매립지 : 해양대학교
 - 교통관련시설지역 : 부산철도차량정비단
 - 어린이놀이터지역 : 온천천
 - 폐기물소각지역 : 부산환경공단 해운대사업소
 - 기타지역 : 정관면 달산교



그림 3. 토양 시료채취지점

○ 해저퇴적물

- 시료채취일 : 2014년 11월
- 분석방법 : 잔류성유기오염물질 공정시험기준 및 EPA method 1613B에 준함.
- 시료채취지점

시료채취지점	시료채취지점 좌표	
동천하류	35° 07.33' N	129° 04.03' E
관공선부두	35° 07.273' N	129° 03.24' E
발전소앞	35° 05.21' N	129° 00.100' E
다대포어시장	35° 03.228' N	128° 58.417' E
남항	35° 05.191' N	129° 01.782' E
감천항	35° 02.53' N	129° 00.393' E

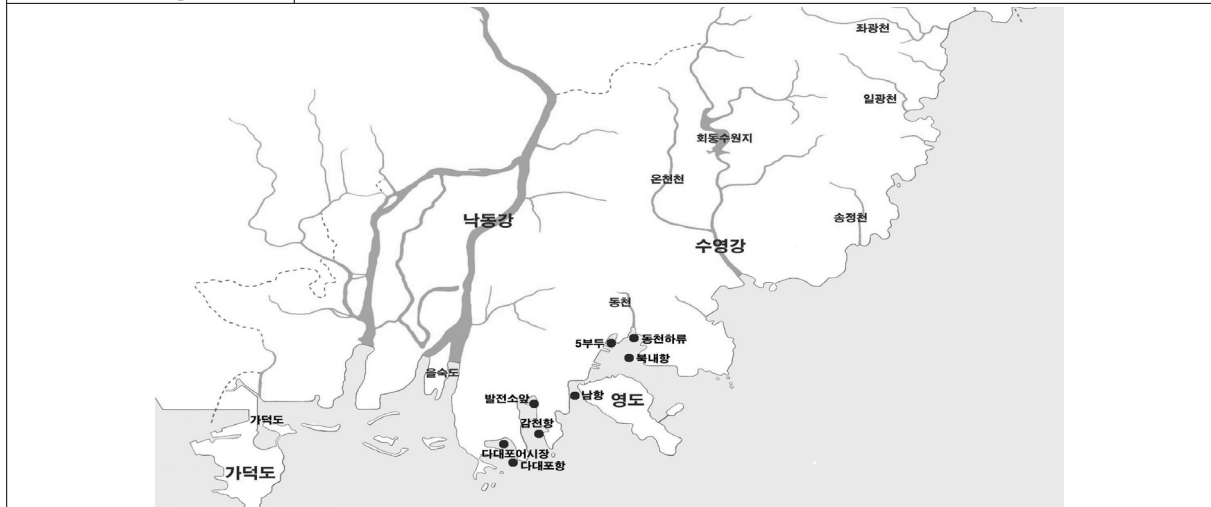


그림 4. 해저퇴적물 시료채취지점

3. 조사결과

○ 대기

- 연도별 다이옥신 농도 추이

- 2014년 부산지역 대기 중 연평균 다이옥신 농도는 그림 5에 나타낸 바와 같이 약 0.072 g-TEQ/Sm³ 으로서, 대기환경기준인 0.6 pg-TEQ/Sm³의 약 12.0 % 수준이었음.
- 2005년 처음 조사를 시작한 이후 꾸준히 감소하여 2014년에는 2005년 농도에 비하여 약 65.6 %가 감소하였으며,
- 이는 2008년부터 「잔류성유기오염물질 관리법」의 시행에 따른 다이옥신 배출업소 관리 강화 등의 영향인 것으로 판단됨.

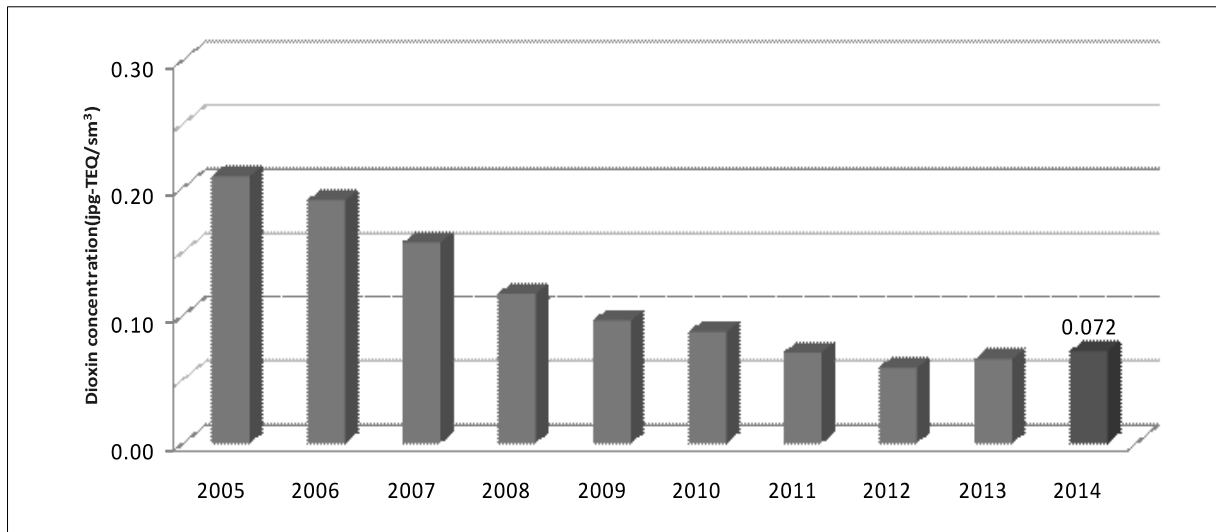


그림 5. 연평균 대기 중 다이옥신 농도변화

- 용도지역별 및 계절별 다이옥신 농도

- 용도지역별 대기 중 다이옥신 농도는 공업지역에서 0.201 pg-TEQ /Sm³으로 가장 높았으며, 그 외 지역에서는 (0.019~0.037) pg-TEQ/ Sm³으로 조사되었음.
- 이는 다이옥신 배출원이 산재해 있는 공업지역의 다이옥신 농도가 상대적으로 높고, 고정 오염원이 적은 상업지역이나 주거지역에서는 상대적으로 다이옥신 농도가 낮은 것으로 판단됨.
- 계절별 대기 중 다이옥신 농도는 겨울철에 0.170 pg-TEQ/Sm³으로 가장 높았으며, 가을철에 0.031 pg-TEQ/Sm³으로 가장 낮았음.
- 겨울철 다이옥신 농도는 일반적으로 난방연료의 사용량 증가와 대기의 역전현상 발생 등으로 다른 계절에 비하여 상대적으로 높은 농도를 유지하는 것으로 판단됨.

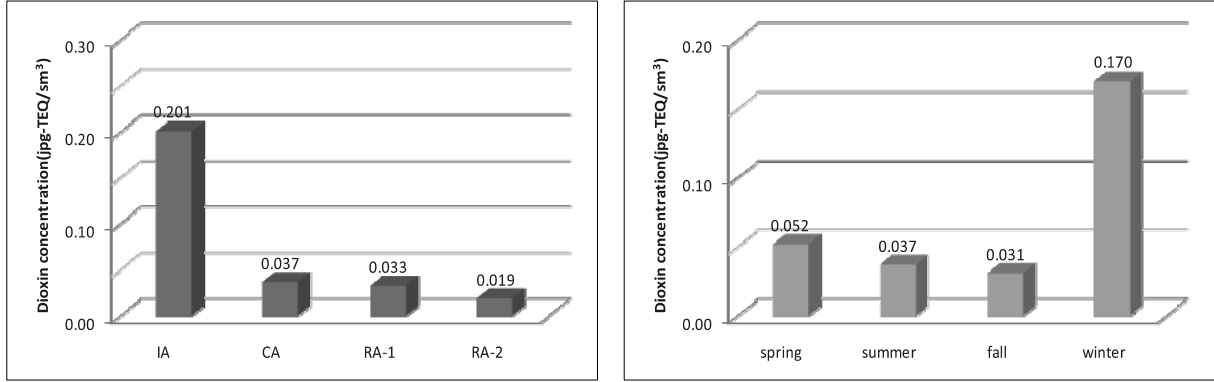


그림 6. 지역별 및 계절별 다이옥신 농도분포

– 용도지역별 대기 중 다이옥신 상분포

- 용도지역별 4개 지점의 대기 중 다이옥신의 상분포를 조사한 결과, 실측값의 경우 입자상 다이옥신의 비율이 약 (56.8 ~ 90.3) %, TEQ 농도의 경우 입자상 다이옥신의 비율이 약 (62.1 ~ 78.7) %로 가스상 다이옥신에 비하여 높은 것으로 조사되었으며,
- 이는 배출원에서 배출되는 배출가스 중의 입자상 물질에 기인하는 것으로 판단되며 특히 다이옥신 농도가 높은 공업지역이 상대적으로 입자상 비율이 더 높은 것으로 나타남.

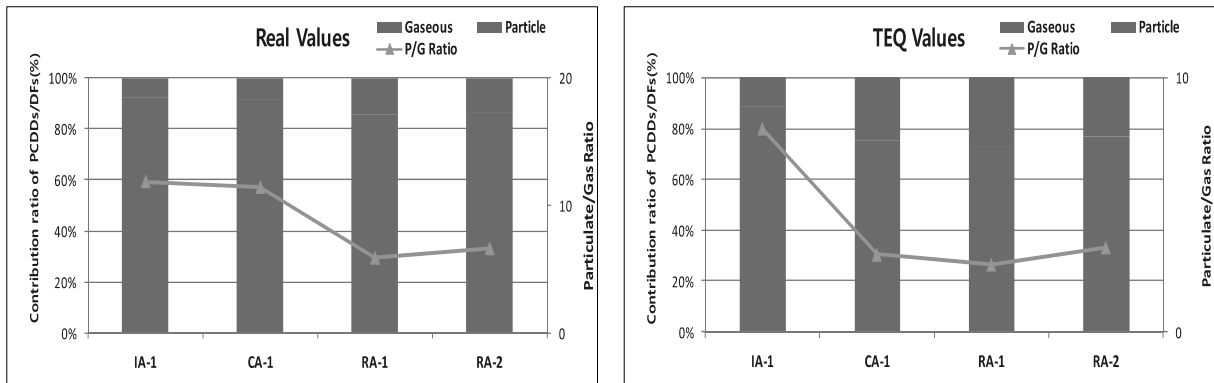


그림 7. 지역별 대기 중 다이옥신의 상분포

– 계절별 대기 중 다이옥신 상분포

- 계절별 4개 지점 전체에 대한 대기 중 다이옥신의 상분포를 조사한 결과, 실측값의 경우 비교적 온도가 따뜻한 여름철과 가을철의 가스상 다이옥신의 비율이 각각 약 44.2 및 23.6 %로 다른 계절에 비하여 가장 높았으며, 겨울철이 약 5.1 %로 가장 낮았음.
- TEQ 농도로 환산하였을 경우 여름철에는 가스상 다이옥신의 비율이 약 68.3 %로 입자상 다이옥신에 비하여 약 2배 정도 더 높았음.
- 이는 여름철 고온으로 인한 다이옥신의 가스화로 인하여 여름철 입자상 물질과 가스상 물

질의 비율이 다른 계절에 비하여 상대적으로 낮은 것으로 판단되며, 특히 염소수가 적을수록 여름철에 가스화가 더 많이 일어나는 것으로 조사되었음.

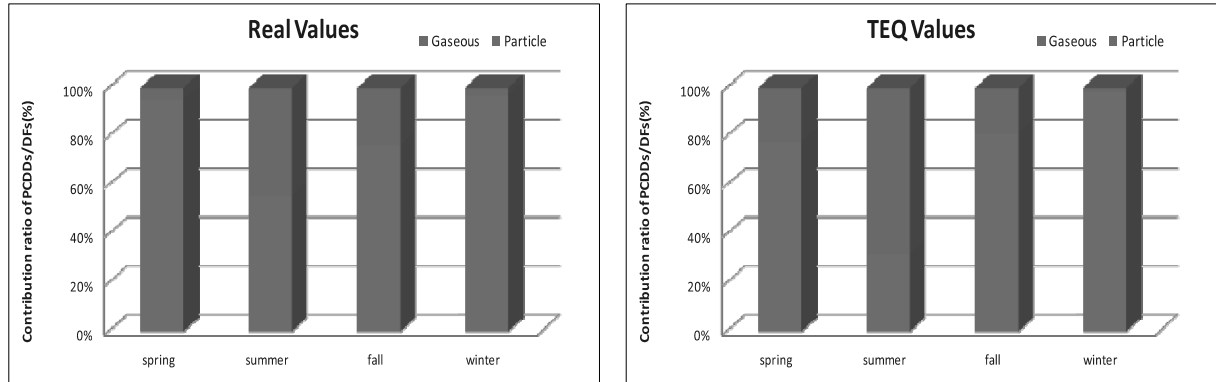


그림 8. 계절별 대기 중 다이옥신의 상분포

- 타 지역과의 농도비교

- 2014년 부산지역 대기 중 평균 다이옥신 농도는 약 0.072 pg-TEQ/Sm³으로 2014년에 비하여 소폭 상승하였음.
- 국내 평균 농도보다는 다소 높았으나, 최고농도는 부산지역이 다소 낮은 것으로 나타났음.
- 2008년 일본의 다이옥신 조사결과와 비교시 평균농도는 공업지역 외 부산지역과 비슷한 농도수준이었음.

표 2. 국내외 대기 중 다이옥신 농도 비교

조사지점	조사결과 (pg-TEQ/Sm ³)	비 고
부산시 4개 지점	0.011 ~ 0.548 (평균 0.072)	2014년 조사결과
부산시 4개 지점	0.014 ~ 0.282 (평균 0.066)	2013년 조사결과
국내 37개 지점	0.000 ~ 0.366 (평균 0.051)	잔류성유기오염물질 측정망 운영결과보고서 (환경관리공단, 2009)
시흥 정왕동	연평균 0.205	"
포천 신읍동	연평균 0.304	"
일본	0.003 ~ 0.260 (연평균 0.036)	2008년 다이옥신류 환경조사 결과 (일본 환경성, 2009)

○ 하천수 및 하천퇴적물

– 하천수 지점별 다이옥신 농도

- 각 지점별 하천수 2개 지점에 대한 다이옥신 농도는 감전천 > 수영강 순으로 높았음.
- TEQ 농도의 경우에도 감전천 지점이 상하반기 각각 약 1.206 및 1.057 pg-TEQ/L으로 평균 1.131으로 일본 환경 기준을 약간 초과하는 것으로 나타났으며 수영강 지점은 평균 0.829을 나타냄.
- 감전천 지점의 경우 낙동강물을 통수하고 있으나, 시료채취시 채취지점이 정체되어 있고 수량이 적어 저질의 유입가능성이 있고, 평소 폐수는 하수처리장으로 차집관거를 통해 배출되지만 특히, 강우시 월류되어 유입되어 영향을 미쳐 농도가 높은 것으로 사료되며, 또한 감전천 주변에 산재해 있는 합류식 오·폐수관에서 차집관거를 통해 배출되지만 강우 등 일시적 오·폐수 유입으로 농도가 일시적으로 증가한 것으로 판단됨.
- 그러나 주기적인 준설 작업, 차수관거 정비 다이옥신 농도가 감소할 것으로 예상되며, 또한 지속적인 모니터링을 통한 오염여부의 확인이 필요할 것으로 사료됨.

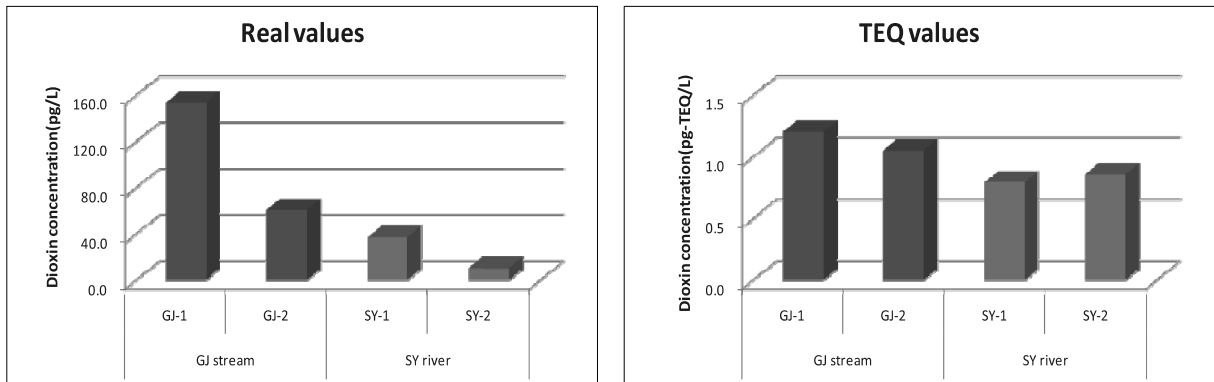


그림 9. 지점별 하천수 중 다이옥신 농도분포

– 하천퇴적물 지점별 다이옥신 농도

- 각 지점별 하천퇴적물 중의 다이옥신 농도는 실측농도의 경우 공업지역인 감전천 지점이 약 12973.733 pg/g으로 가장 높았으며, TEQ 농도의 경우 실측농도와 마찬가지로 감전천 지점이 약 122.735 pg-TEQ/g으로 가장 높았으며, 수영강은 실측농도가 52.169 pg/g, TEQ농도는 1.203 pg-TEQ/g의 농도를 나타냄.
- 조사대상 2개 지점 모두 일본의 퇴적물 기준인 150 pg-TEQ/g 미만이었음.
- 퇴적물의 경우 물로의 용출가능성이 있고 또한 오염이 심할 경우 수생태계에도 많은 영향을 미치기 때문에 지속적인 모니터링이 필요하며, 또한 준설작업 등 퇴적물 제거작업이 정기적으로 이루어져야 할 것으로 판단됨.

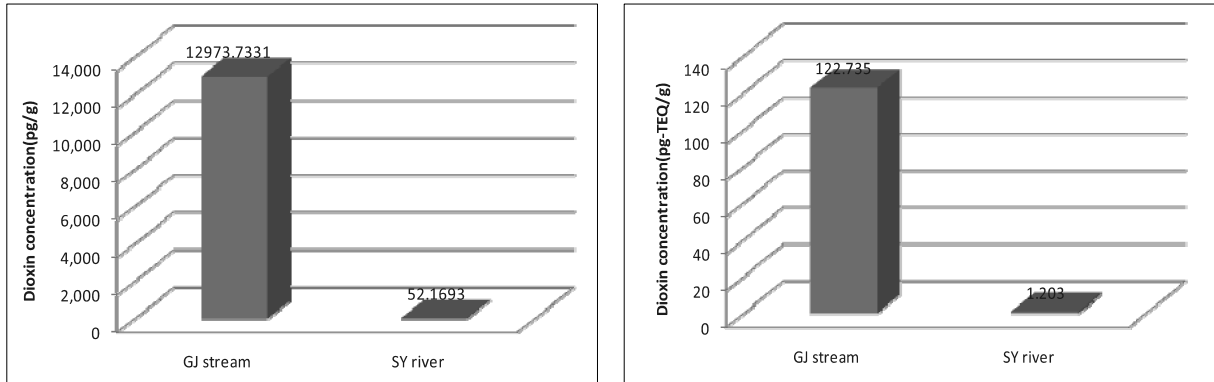


그림 10. 지점별 하천퇴적물 중 다이옥신 농도분포

- 타 지역과의 농도비교

- 부산지역 토양 중 다이옥신 농도의 경우 조사대상 지점이 오염지역을 위주로 선정되었기 때문에 다른 지역 조사 결과에 비하여 평균농도가 다소 높은 수준이었으나,
- 공업지역이나 산단지역의 경우 부산지역이 인천기계공단이나 여천공단 지점보다 다소 낮았음.
- 일본의 경우 평균농도는 부산보다 낮았으나, 농도편차가 심하여 최고농도는 부산보다 약 3.3배 높게 나타났음.

표 3. 국내외 하천수 및 하천퇴적물 중 다이옥신 농도 비교

(단위 : 하천수 pg-TEQ/L, 하천퇴적물 pg-TEQ/g)

조사지점	조사결과	비 고
하천수	부산시 2개 지점	0.797 ~ 1.206 (0.980) 2014년 조사결과
	부산시 4개 지점	0.126 ~ 1.235 (0.468) 2013년 조사결과
	국내 36개 지점	0.000 ~ 1.924 (0.095) 잔류성유기오염물질 측정망 운영결과보고서 (환경관리공단, 2009)
	일본	0.013 ~ 3.0 (평균 0.20) 2008년 다이옥신류 환경조사 결과 (일본 환경성, 2010)
하천 퇴적물	부산시 2개 지점	1.203 ~ 122.735 (평균 61.969) 2014년 조사결과
	부산시 4개 지점	0.333 ~ 613.096 (평균 154.524) 2013년 조사결과
	국내 30개 지점	0.001 ~ 3.828 (평균 0.860) 잔류성유기오염물질 측정망 운영결과보고서 (환경관리공단, 2009)
	일본	0.067 ~ 540 (평균 7.2) 2008년 다이옥신류 환경조사 결과 (일본 환경성, 2010)

○ 토양

－ 지점별 다이옥신 농도

- 각 지점별 토양 중 다이옥신 농도는 실측농도의 경우 해양대학교 지점이 4,740.3 pg/g으로 가장 높았으며, 해운대소각장, 온천천놀이터 순으로 조사되었으며, 부산철도차량정비단 지점이 71.9 pg/g으로 가장 낮았음.
- TEQ 농도의 경우 해운대소각장 지점이 13.593 pg-TEQ/g으로 가장 높았으며, 그 다음으로는 해양대학교, 온천천놀이터 지점 순으로 조사되었음.
- 해운대소각장 지점의 경우 다이옥신의 주요 발생원인 생활폐기물 처리시설이 있는 지점으로 지속적인 대기 침적으로 인해 다이옥신 농도가 높게 검출된 것으로 판단됨.
- 실측농도가 4,740.3 pg/g으로 가장 높았던 해양대학교 지점의 경우 TEQ 농도로는 8.426 pg-TEQ/g으로 조사대상 6개 지점 중 두 번째로 높은 것으로 나타났으며,
- 이는 TEF값이 상대적으로 가장 낮은 OCDD가 가장 많이 검출되었기 때문인 것으로 판단됨.
- 조사대상 6개 지점 모두 0.875 ~ 13.593 pg-TEQ/g(평균 5.491 pg-TEQ/g)의 범위로서, 일본의 토양환경기준인 1,000 pg-TEQ/g에 비하여 훨씬 못미치는 수준이었음.

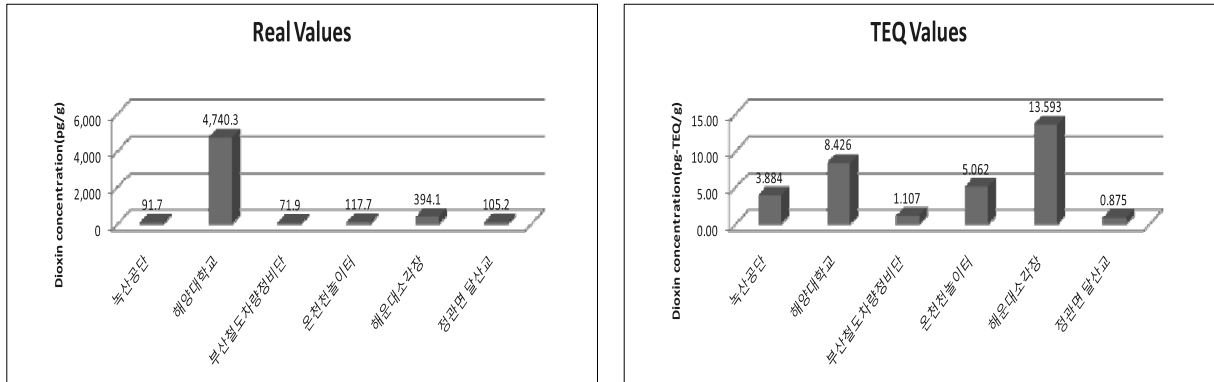


그림 11. 지점별 토양 중 다이옥신 농도분포

－ 타 지역과의 농도비교

- 부산지역 토양 중 다이옥신 농도의 경우 조사대상 지점이 오염지역을 위주로 선정되었기 때문에 다른 지역 조사 결과에 비하여 평균농도가 다소 높은 수준이었으나,
- 공업지역이나 산단지역의 경우 부산지역이 인천기계공단이나 여천공단 지점보다 다소 낮았음.
- 일본의 경우 평균농도는 부산보다 낮았으나, 농도편차가 심하여 최고농도는 부산보다 약 3.3배 높게 나타났음.

표 4. 국내외 토양 중 다이옥신 농도 비교

조사지점	조사결과 (pg-TEQ/g)	비 고
부산시 6개 지점	0.875 ~ 13.593 (5.491)	2014년 조사결과
부산시 12개 지점	0.075 ~ 56.936 (7.338)	2013년 조사결과
국내 57개 지점	0.041 ~ 16.149 (2.280)	잔류성유기오염물질 측정망 운영결과보고서 (환경관리공단, 2009)
인천기계공단	14.192	"
여천공단	16.149	"
일본	0 ~ 190 (3.1)	2008년 다이옥신류 환경조사 결과 (일본 환경성, 2010)
캐나다	0.1 ~ 78.5	Birmingham et al.(1990년 조사결과)

○ 토양

- 지점별 다이옥신 농도

- 각 지점별 다이옥신 농도는 실측농도의 경우 발전소앞 지점이 874.2 pg/g으로 가장 높았으며, TEQ 환산농도 또한 발전소앞 지점이 11.615 pg-TEQ/g으로 가장 높았음.
- 6개 지점의 다이옥신 농도범위는 0.626 ~ 11.615 pg-TEQ/g(평균 6.398 pg-TEQ/g)의 범위로서, 일본의 토양 및 퇴적물 기준인 1,000 및 150 pg-TEQ/g에 비하여 훨씬 못 미치는 수준이었음.

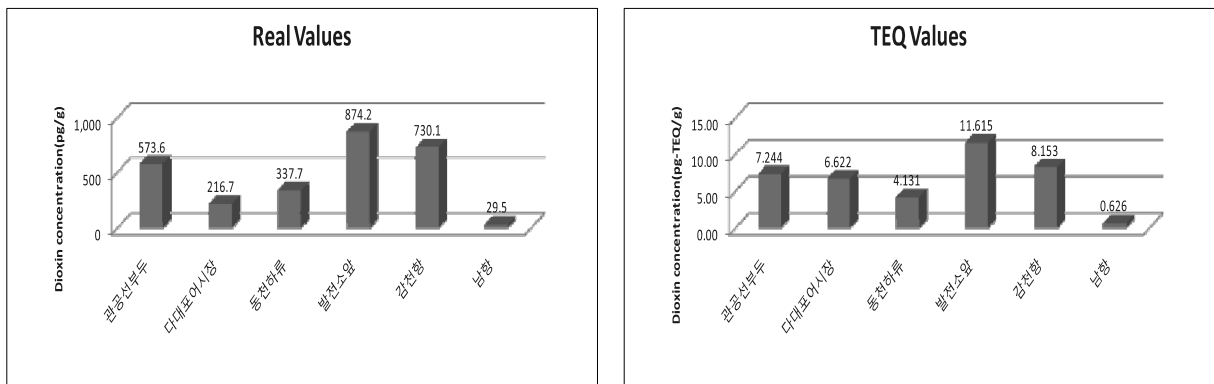


그림 12. 지점별 해저퇴적물 중 다이옥신 농도분포

- 타지역과의 농도비교

- 국내·외 다른 지역의 해저퇴적물 중의 다이옥신의 농도 비교 결과, 속초만이나 광양만보다는 대체로 높고 마산만이나 영일만 보다는 낮은 수준으로 조사되었으며,
- 외국의 경우 지역에 따라 편차가 심하였으나, 대체적으로 외국의 조사결과보다는 높지 않은 수준이었음.

표 5. 국내외 해저퇴적물 중 다이옥신 농도 비교

조사지점		조사결과 (pg-TEQ/g)	비 고
우리원	부산항 6개지점	0.626 ~ 11.615 (평균 6.398)	2014년
우리원	부산항 8개지점	0.656 ~ 12.000 (평균 5.071)	2013년
국내	부산항(북항) ¹⁾	3.34 ± 1.68	2001~2007년 평균
	부산항(남항) ¹⁾	2.66 ± 2.32	"
	속초항 ¹⁾	0.06 ± 0.07	"
	마산만 ¹⁾	12.22 ± 3.86	"
	영일만 ²⁾	7.22 ± 3.84	2000~2002년 시료채취
	울산만 ²⁾	3.01 ± 0.95	"
	진해만 ²⁾	6.77 ± 8.48	"
	광양만 ²⁾	1.24 ± 0.35	"
국외	도쿄만 ³⁾	3.2 ~ 52	빅토리아항 포함 마오포 습지
	홍콩만 ⁴⁾	3.0 ~ 33	
	홍콩 ⁴⁾	10.8 ~ 16.4	
	중국 타이후 호수 ⁵⁾	0.83 ~ 17.7	
	미국 디트로이트강 ⁶⁾	3.1 ~ 62	
	지중해 ⁷⁾	0.4 ~ 39.2	

¹⁾ Marine Pollution Bulletin, 2011, 62, 1352-1361

²⁾ Environmental Toxicology and Chemistry, 2008, 62(2), 323-333

³⁾ Marine Pollution Bulletin, 2003, 47, 68-73

⁴⁾ Marine Pollution Bulletin, 2002, 45, 372-378

⁵⁾ Chemosphere, 2005, 61, 314-322

⁶⁾ Environmental Toxicology and Chemical, 2001, 20, 1878-1889

⁷⁾ Environmental Science Technology, 2001, 35, 3589-3594

4. 결 론

- 조사대상 4개 지점 전체의 대기 중 연평균 다이옥신 농도는 약 0.072 pg-TEQ/Sm³으로써, 대기환경기준인 0.6 pg-TEQ/Sm³의 약 12% 수준이었음.
- 용도지역별 대기 중 연평균 다이옥신 농도의 경우 다이옥신 배출원이 산재해 있는 공업지역에서의 다이옥신 농도가 약 0.201 pg-TEQ/Sm³으로 가장 높았으며, 그 다음으로는 상업지역 > 주거지역 - 1 > 주거지역 - 2 순으로 높았음.
- 계절별 대기 중 연평균 다이옥신 농도의 경우 겨울철 난방연료의 사용량 증가와 겨울철 대기의 역전현상 발생 등으로 인하여 겨울철의 다이옥신 농도가 약 0.170 pg-TEQ/Sm³으로 가장 높았으며, 다른 계절에는 0.031 pg-TEQ/Sm³ ~ 0.052 pg-TEQ/Sm³의 범위였음.
- 하천수 중의 상하반기 평균 다이옥신 농도는 감전천 지점이 약 1.131 pg-TEQ/g으로 가장 높았으며, 그 다음으로는 수영강(0.829) 순이었음.
- 하천퇴적물의 경우 감전천 지점이 약 122.735 pg-TEQ/g으로 가장 높았으며, 수영강은 1.203 pg-TEQ/g으로 조사대상 2개 지점 모두 일본의 퇴적물 기준인 150 pg-TEQ/g을 초과하지 않았으나 감전천의 경우 기준에 근접하며, 퇴적물의 경우 물로의 용출가능성이 있고 오염이 심할 경우 수생태계에도 많은 영향을 미치기 때문에 지속적인 모니터링이 필요하며, 또한 준설작업 등 퇴적물 제거작업이 정기적으로 이루어져야 할 것으로 판단되며 주기적인 모니터링이 요구됨.
- 토양의 경우 조사대상 6개 지점이 0.875 pg-TEQ/g ~ 13.593 pg-TEQ/g(평균 5.491 pg-TEQ/g)의 범위로 일본의 토양환경기준인 1,000 pg-TEQ/g보다 훨씬 못 미치는 수준이었음.
- 해저퇴적물의 경우 조사대상 8개 지점이 0.626 pg-TEQ/g ~ 11.615 pg-TEQ/g(평균 6.398 pg-TEQ/g)의 범위로 일본의 퇴적물 기준인 150 pg-TEQ/g보다 훨씬 못 미치는 수준이었음.