

환경매체 중 다이옥신 조사

- 부산시 대기, 하천, 토양, 해저퇴적물 등 환경매체 중 다이옥신 오염 특성 파악
- 잔류성유기오염물질 관리정책 및 저감대책 수립시 기초 자료 제공

1. 조사개요

- 조사근거 : 자체조사사업
[산업환경과-181(2012. 1. 27.)호 및 산업환경과-1079(2014. 04. 25.)호]
- 조사기간 : 2015년 1월 ~ 12월
- 조사대상 : 대기, 하천수 및 하천퇴적물, 토양, 해저퇴적물
- 조사항목 : 2,3,7,8-TCDD 등 다이옥신류 17종
- 분석방법 : 잔류성유기오염물질 공정시험기준 및 EPA method 1613B에 준함

표 1. 다이옥신 congener별 독성등가 계수

	Congener	I-TEF ¹⁾		Congener	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. 조사방법

- 대기
 - 조사주기 : 분기 1회(2015년 1월, 4월, 7월, 10월)
 - 시료채취방법 : High volumn air sampler 이용(0.7 Sm³/min 유속으로 48시간 채취)
 - 조사지점 : 4개 지점(학장동, 전포동, 연산동, 좌동)
- 하천수 및 하천퇴적물
 - 조사주기 : 하천수(반기 1회), 하천퇴적물(연 1회)
 - 조사지점 : 2개 지점(수영강, 감전천)

- 토양
 - 조사주기 : 연 1회
 - 시료채취방법 :
 - 각 지점별로 10 m 사방정도의 평지에서 낙엽 등으로 덮여있지 않은 장소를 선정
 - 5지점 혼합방식을 원칙으로 지표면으로부터 5 cm까지 부분을 채취
 - 조사지점 : 6개 지점
- 해저퇴적물
 - 조사주기 : 연 1회
 - 시료채취방법 : 선박 이용하여 해상에서 채니기를 이용하여 표층 해저퇴적물 채취
 - 조사지점 : 6개 지점

3. 조사결과

3-1. 대기 중 다이옥신 조사결과

- 지역별 및 계절별 다이옥신 농도
 - 지역별 다이옥신 조사결과 학장동 > 전포동 > 연산동 > 좌동 순으로 0.099 pg-TEQ/Sm³ ~ 0.029 pg-TEQ/Sm³ 범위로 조사되었음
 - 고정오염원이 적은 상업지역(전포동) 및 주거지역(연산동, 좌동)은 상대적으로 농도가 낮았으며, 다이옥신 배출원이 산재해 있는 공업지역(학장동)의 경우 분기별 조사마다 농도가 가장 높은 지점으로 조사되었음
 - 계절별 다이옥신 조사결과 겨울철에 0.105 pg-TEQ/Sm³으로 다른 계절에 비해 약 3배 정도 높게 조사되어 뚜렷한 차이를 보였는데,
 - 이는 겨울에는 난방연료 사용량 증가와 강수량 감소 및 대기 역전현상 등 계절적 기후특성으로 인해 다른 계절에 비하여 상대적으로 높은 농도를 보인 것으로 판단됨

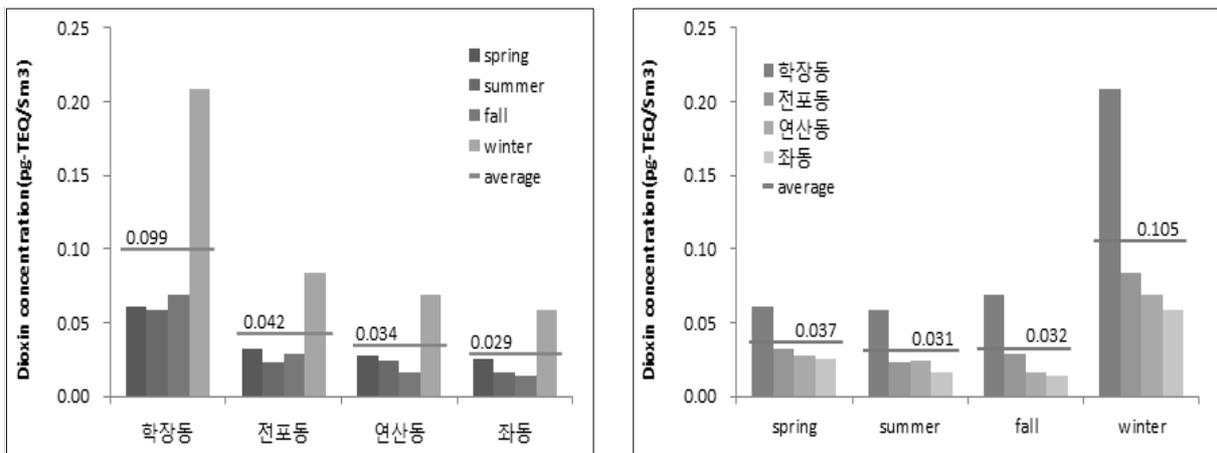


그림 1. 지역별 및 계절별 다이옥신 농도

○ 지역별 다이옥신 상분포

- 지역별로 입자상 및 가스상 다이옥신의 분포비율을 조사한 결과 실측 농도의 경우 입자상 다이옥신의 비율이 약 76.4 % ~ 88.3 %, TEQ 농도의 경우 입자상 다이옥신의 비율이 약 70.6 % ~ 77.8 %로 가스상 다이옥신보다 비율이 높았음
- TEQ 농도의 경우 입자상 다이옥신의 비율이 실측 농도에 비해 다소 감소하는데 이는 독성등가계수가 높은 저염화 다이옥신은 주로 가스상으로 존재하고, 고염화 다이옥신은 주로 입자상으로 존재하기 때문인 것으로 판단됨
- 지역별로 보면 공업지역, 상업지역이 주거지역보다 입자상 다이옥신의 비율이 높았으며, 이는 공업지역의 경우 공장에서 배출되는 배출가스 중의 입자상 물질에 기인하는 것으로 판단되며, 상업지역의 경우 자동차의 영향으로 인한 것으로 판단됨

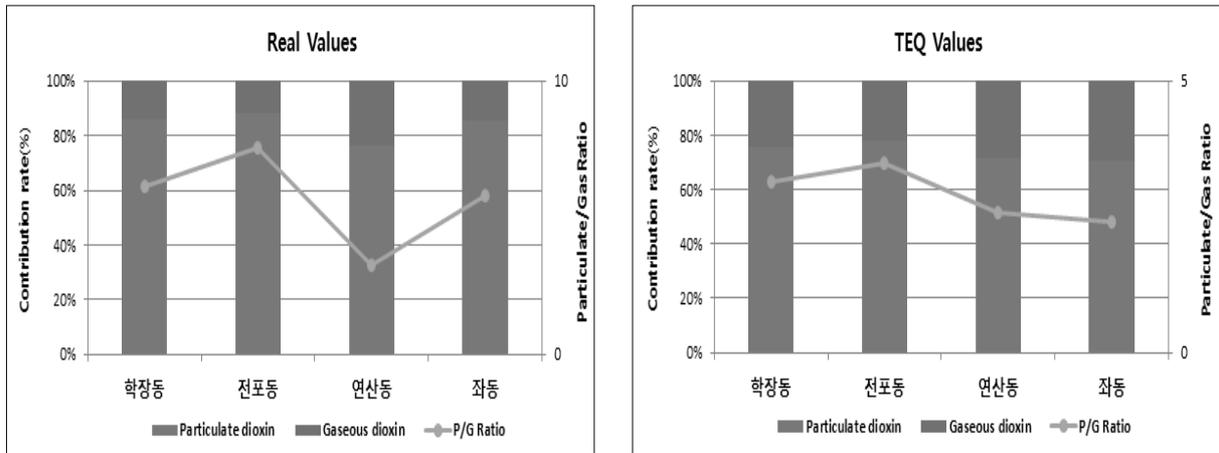


그림 2. 지역별 다이옥신 상분포

○ 계절별 다이옥신 상분포

- 계절별 입자상 및 가스상 다이옥신의 분포 비율을 조사한 결과 실측 농도의 경우 입자상 다이옥신의 비율이 여름철의 경우 약 28.7 %로 가장 낮았으며, 겨울철의 경우 약 97.4 %로 가장 높았음
- TEQ 농도로 환산시에도 입자상 대 가스상 다이옥신의 비율이 여름철에 약 0.5로 가장 낮았으며, 겨울철에 약 18.2로 가장 높은 것으로 나타나 실측 농도와 유사한 경향을 보였음
- 여름철에 입자상 대 가스상 다이옥신 비율이 다른 계절에 비해 낮은 이유는 여름철 고온으로 다이옥신의 가스화로 인한 것으로 판단되며, 특히 염소수가 적을수록 여름철에 가스화가 더 많이 일어나는 것으로 나타났음

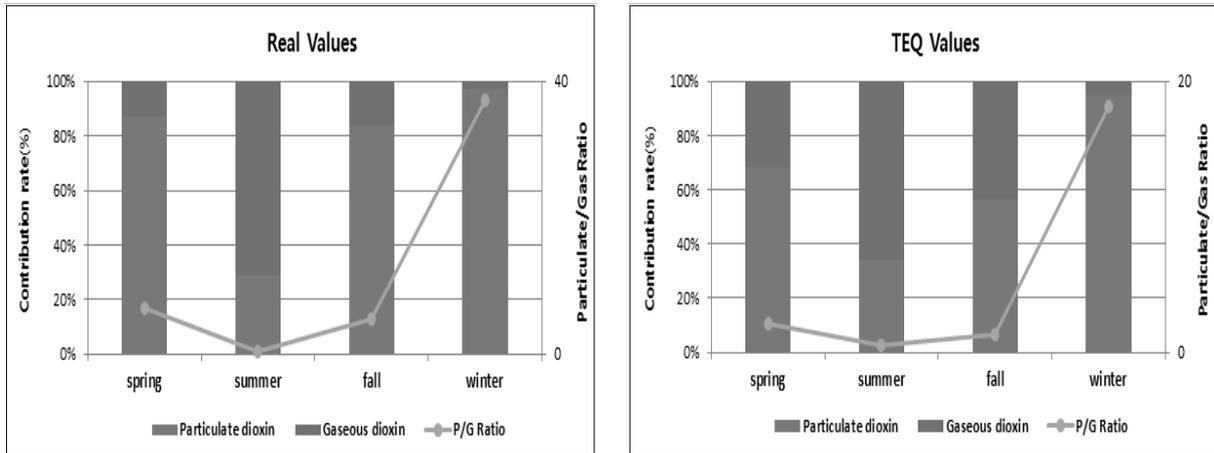


그림 3. 계절별 다이옥신 상분포

○ 연도별 다이옥신 농도

- 2015년 연평균 대기 중 다이옥신 농도는 0.051 pg-TEQ/Sm³으로 대기환경기준(0.6 pg-TEQ/Sm³) 약 9 % 수준으로 만족하였음
- 2005년 조사를 시작한 이후 그림 4에 나타난 바와 같이 지속적인 감소추세에 있으며, 2015년 다이옥신 농도는 2005년에 비해 약 75.6 % 감소하였음
- 이는 2008년 「잔류성유기오염물질 관리법」 시행되면서 소각장 등 다이옥신 배출원 규제 등 관리 강화의 영향으로 감소한 것으로 판단됨

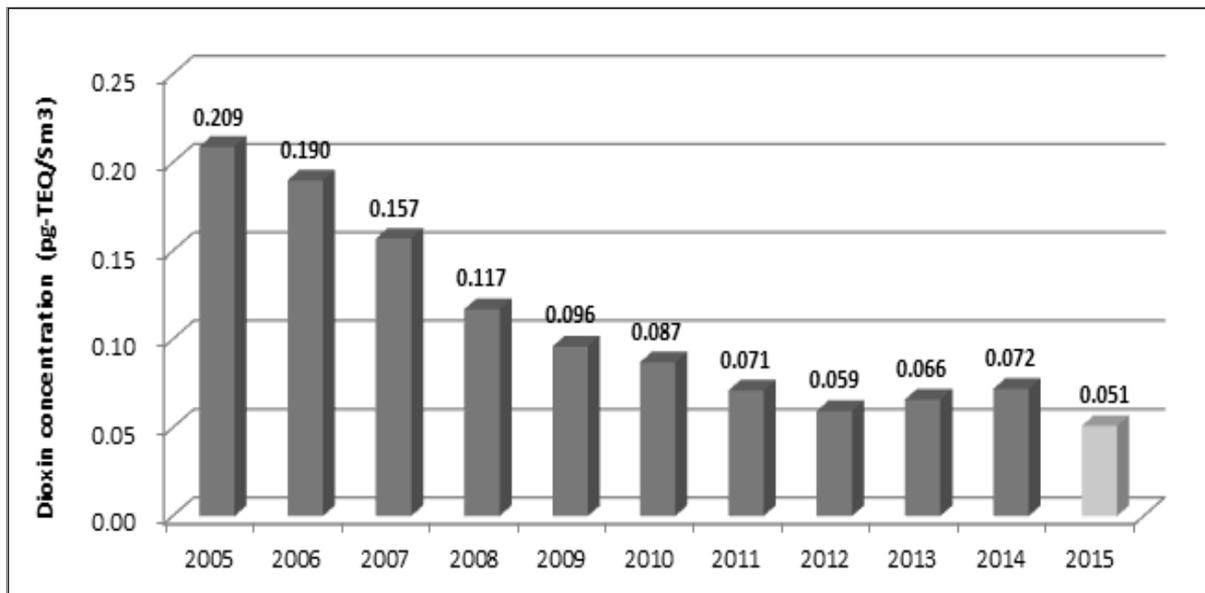


그림 4. 연평균 대기 중 다이옥신 농도 변화

3-2. 하천수 및 하천퇴적물 중 다이옥신 조사결과

○ 하천수 지점별 다이옥신 농도

- 하천수 2개 지점에 대한 다이옥신 농도는 감전천 > 수영강 순으로 그림 5에서 보는 바와 같이 실측 농도, TEQ 농도 모두 감전천이 높았음
- 수영강의 경우 TEQ 농도가 평균 0.686 pg-TEQ/L로 조사되었으며, 감전천의 경우 상·하반기 조사시 각각 1.056 pg-TEQ/L 및 1.445 pg-TEQ/L로 조사되어 일본의 하천수 질기준인 1 pg-TEQ/L 다소 초과한 것으로 조사되었음
(※ 우리나라 경우 하천수 수질기준은 미설정이며, 폐수배출허용기준은 10 pg-TEQ/L)
- 감전천의 경우 '감전유수지 다기능 저류시설 설치공사'로 인해 시료채취 시 수량이 적고 정체되어 있는 상태로 저질 유입 가능성 및 주변 오·폐수 유입 영향 등으로 인해 농도가 높은 것으로 판단됨
- 감전천은 주기적인 퇴적물 준설 작업, 주변 환경정비 및 오수관거 정비 등으로 다이옥신 농도를 감소할 필요가 있으며, 또한 지속적인 모니터링을 통한 오염여부의 확인이 필요할 것으로 판단됨

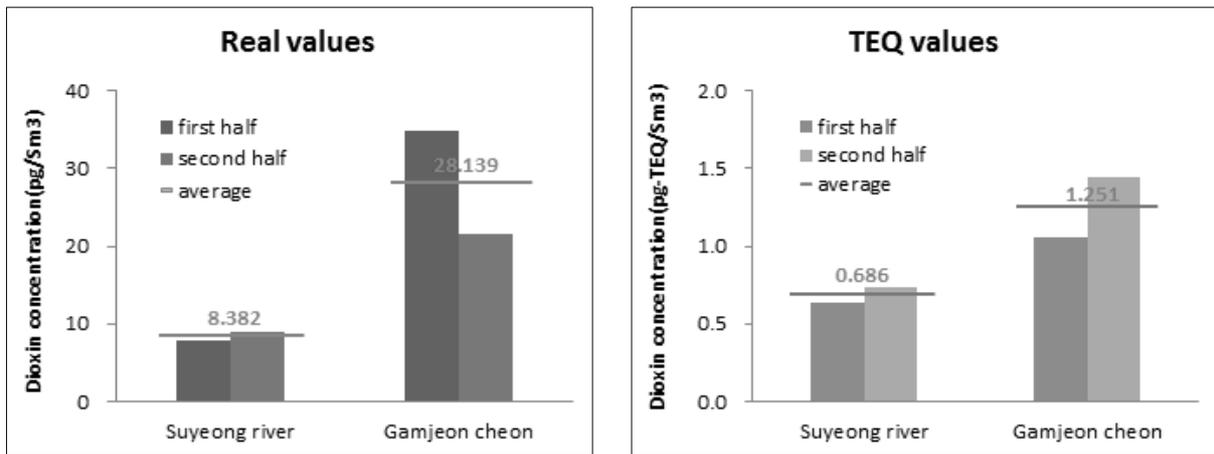


그림 5. 지점별 하천수 중 다이옥신 농도

○ 하천퇴적물 지점별 다이옥신 농도

- 하천퇴적물 다이옥신 농도는 하천수와 마찬가지로 감전천 > 수영강 순으로 그림 6에서 보는 바와 같이 실측 농도, TEQ 농도 모두 감전천이 높았음
- TEQ 농도는 수영강 1.369 pg-TEQ/g, 감전천 63.192 pg-TEQ/g로 일본의 퇴적물 기준인 150 pg-TEQ/g 이하로 검출되었으나
- 퇴적물이 하천으로 용출 가능성이 크기 때문에 농도가 높은 감전천의 경우 하상 준설작업을 시행함으로써 하천수와 퇴적물의 다이옥신 농도를 저감할 필요가 있으며, 하천수와 함께 지속적인 모니터링이 요구됨

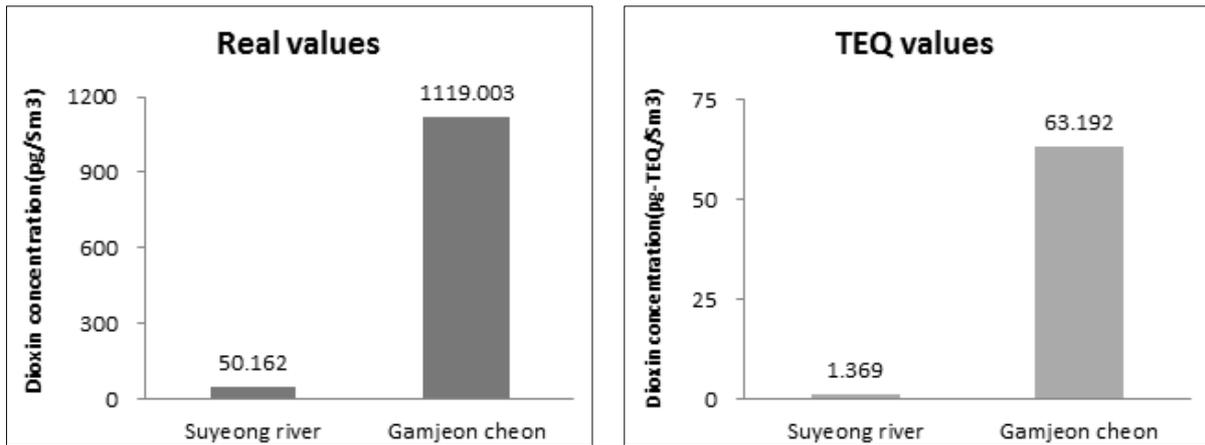


그림 6. 지점별 하천퇴적물 중 다이옥신 농도

- 하천수 지점별 다이옥신 이성체별 분포 특성
 - 하천수 다이옥신 이성체별 분포는 그림 7과 같이 실측 농도는 2개 지점 모두 OCDD와 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD 등 고염화 다이옥신이 높게 검출되었음
 - TEQ 농도의 경우 2개 지점 모두 2,3,4,7,8-PeCDF와 1,2,3,7,8-PeCDD 등 독성등가계수가 높은 저염화 다이옥신의 비율이 높았으며, PCDDs류보다 PCDFs류의 기여율이 더 높은 것으로 나타났음
 - 수영강, 감전천의 다이옥신 이성체별 분포는 실측 농도, TEQ 농도 모두 유사한 경향을 보였음

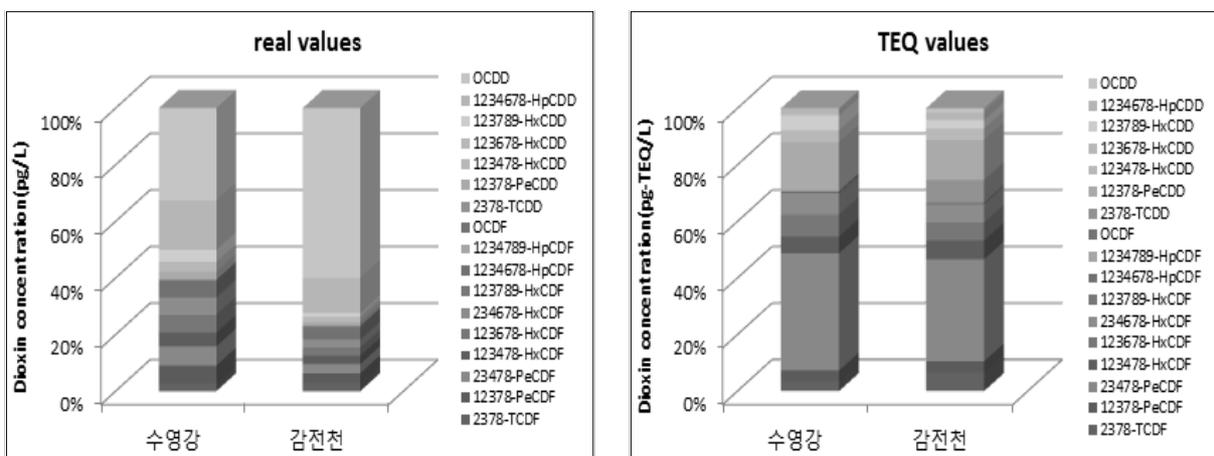


그림 7. 하천수 다이옥신 이성체별 농도 분포

- 하천퇴적물 지점별 다이옥신 이성체별 분포 특성
 - 실측 농도의 경우 수영강은 OCDD, 감전천은 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF와 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD

같이 고염화 다이옥신의 비율이 높았는데, 이는 고염화물은 토양이나 저질 등 환경 중에 오래 잔류하는 특징 때문인 것으로 판단됨

- TEQ 농도는 하천수와 마찬가지로 2개 지점 모두 2,3,4,7,8-PeCDF와 1,2,3,7,8-PeCDD 5염화물의 기여율이 높은 것으로 나타났음

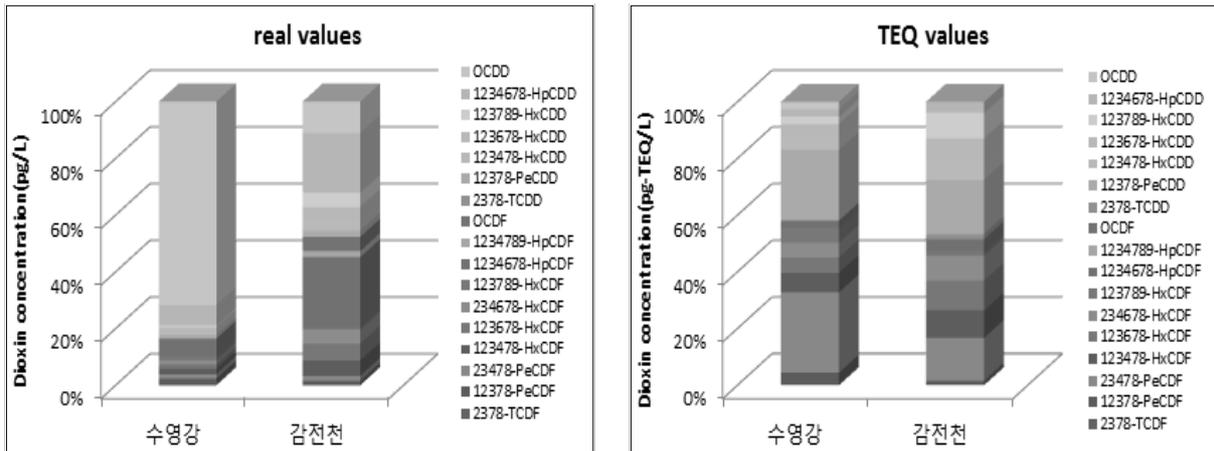


그림 8. 하천퇴적물 다이옥신 이성체별 농도 분포

3-3. 토양 중 다이옥신 조사결과

○ 지점별 다이옥신 농도

- 토양 중 다이옥신 실측 농도의 경우 해양대학교 지점이 2,065.5 pg/g으로 가장 높았으며, 그 외 지점은 모두 평균보다 낮은 수치로 해운대소각장 > 철도차량정비단 > 녹산공단 > 온천천놀이터 > 정관면 달산교 순으로 조사되었음
- TEQ 농도의 경우 0.312 pg-TEQ/g ~ 8.053 pg-TEQ/g으로 일본 기준인 1,000 pg-TEQ/g의 비해 매우 낮은 농도로 검출되어 전 지점 기준을 만족하였으며
- TEQ 농도 지점별로 보면 해운대소각장 > 녹산공단 > 해양대학교 > 철도차량정비단 > 온천천놀이터 > 정관면 달산교 순으로 조사되었음
- 해양대학교 지점의 경우 실측 농도가 다른 지점에 비해 크게 높았지만 TEQ 농도로 환산 시 3.959 pg-TEQ/g으로 상대적으로 낮았는데, 이는 TEF 값이 가장 낮은 OCDD 기여율이 높았기 때문임
- 해운대소각장 지점의 경우 TEQ 농도가 가장 높았는데 이는 다이옥신의 주요 발생원 중 하나인 생활폐기물처리시설 지점으로 지속적인 모니터링이 요구됨

○ 다이옥신 이성체별 분포 특성

- 조사 6개 지점 전체 평균 이성체 분포를 살펴보면 그림 10과 같이 실측 농도의 경우 17개 congener들 중 OCDD가 389.015 pg/g으로 전체 기여율의 약 88.9 %로 대부분을 차지하였음

- OCDD는 일반적으로 다른 이성체에 비하여 증기압이 낮고 물에 대한 용해성과 생물학적 분해성이 낮고, Koc가 높아 침출속도가 느려져서 토양이나 저질 중에 오랜 기간 잔류하는 특징을 가지고 있기 때문에 토양 중 OCDD가 많이 검출되는 것으로 보고되어 있음
- 각 이성체별 다이옥신의 TEQ 농도 분포를 보면 2,3,4,7,8-PeCDF가 약 28.7 %로 기여율이 가장 높았으며, 그 다음으로 OCDD와 1,2,3,7,8-PeCDD이 각각 10.4 %, 10.2 %로 5염화물이 TEQ 농도에서 가장 큰 비율을 차지함을 알 수 있었으며, TEF 값이 낮은 OCDD는 실측 농도에 비해 TEQ 기여도는 낮은 것으로 나타났음

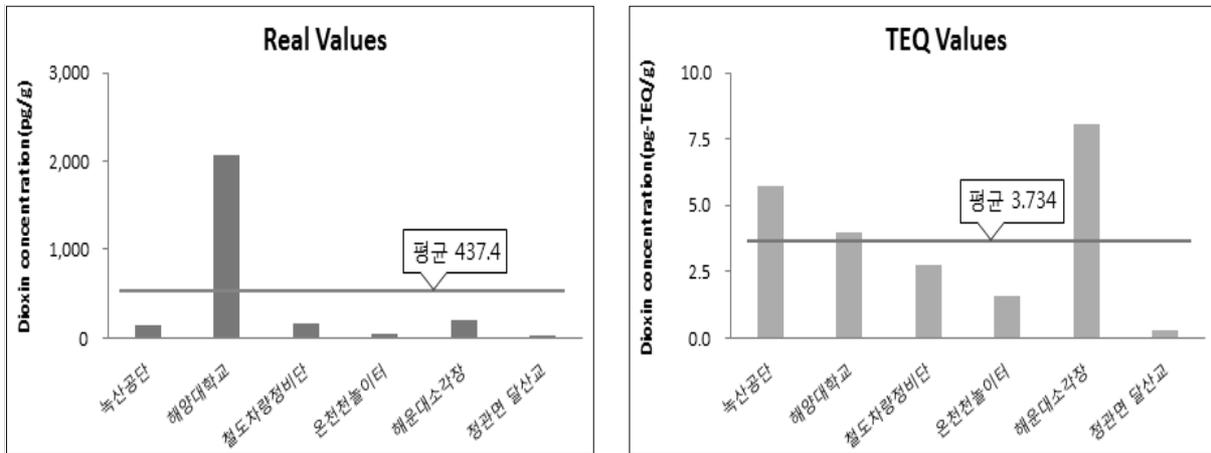


그림 9. 지점별 토양 중 다이옥신 농도

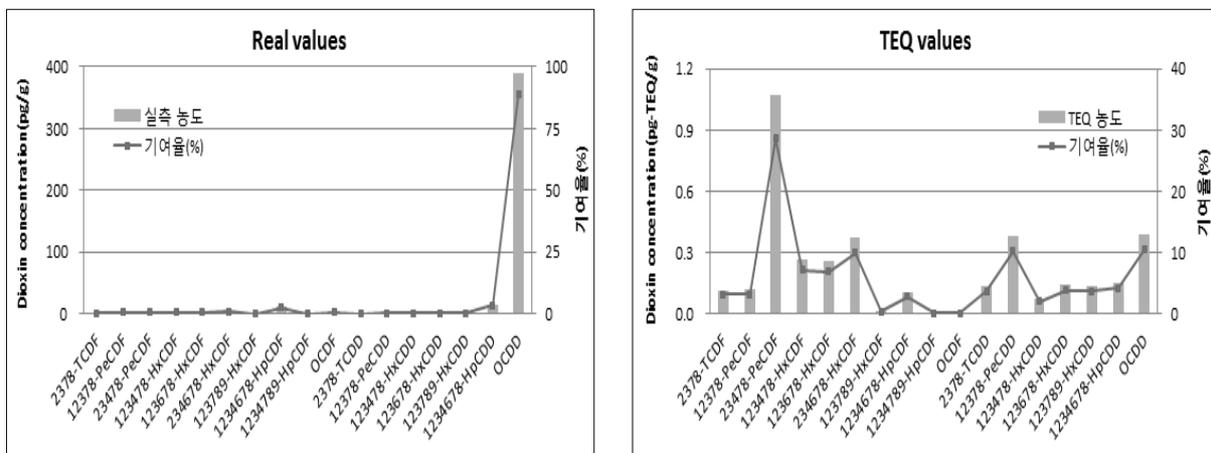


그림 10. 이성체별 농도 분포

3-4. 해저퇴적물 중 다이옥신 조사결과

○ 지점별 다이옥신 농도

- 조사지점 중 다이옥신 실측 농도의 경우 동천하류 지점이 392.7 pg/g으로 가장 높았으며, 다대포어시장 > 감천항 > 5부두 > 발전소앞 > 남항 순으로 조사되었음

- TEQ 농도는 1.063 pg-TEQ/g ~ 11.884 pg-TEQ/g으로 다대포어시장 > 동천하류 > 발전소앞 > 감천항 > 5부두 > 남항 순으로 일본의 퇴적물 기준인 150 pg-TEQ/g 이내로 전 지점 만족하였음
- 동천하류와 다대포어시장 지점이 조사지점 중 농도가 높았는데 이는 타지점보다 육상으로부터 오염물질의 영향을 많이 받는 지점으로 육상 오염원 유입 저감 및 유입하천의 하상 정비 등 관리가 요구됨

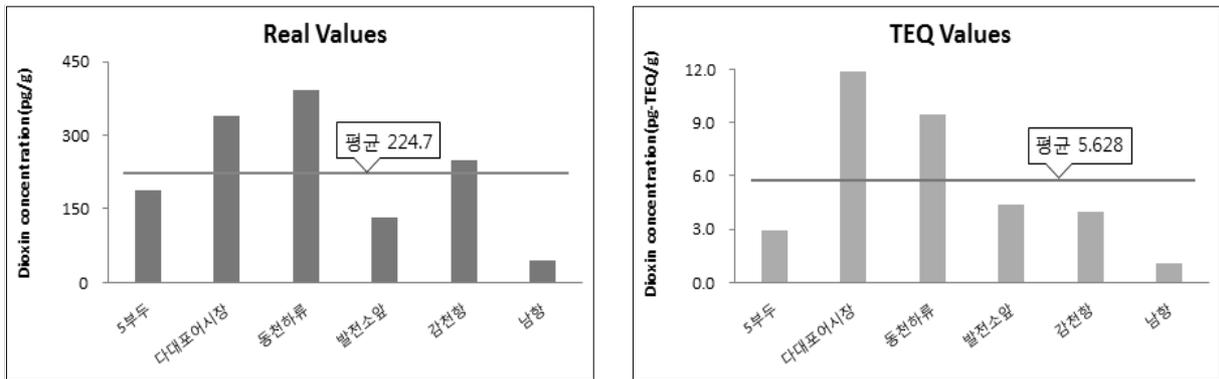


그림 11. 지점별 해저퇴적물 중 다이옥신 농도

○ 연도별 다이옥신 농도

- 2015년 해저퇴적물 중 다이옥신 농도는 전 지점 평균 5.628 pg-TEQ/g으로 일본 퇴적물 기준인 150 pg-TEQ/g 이내로 만족하였음
- 2005년부터 2015년 동안 연도별 조사지점 전체 평균 다이옥신 농도를 살펴보면 2010년도에 8.541 pg-TEQ/g으로 가장 높았으며, 2011년에는 0.947 pg-TEQ/g으로 가장 낮았음
- 2011년의 경우 부산지방해양항만청 및 부산항만공사에서 수행한 부산항 주변 퇴적물 정화복원사업 및 수심 유지를 위한 준설작업 등의 영향으로 농도가 감소하였으며, 그 외 연도는 비슷한 농도 추이를 보였음

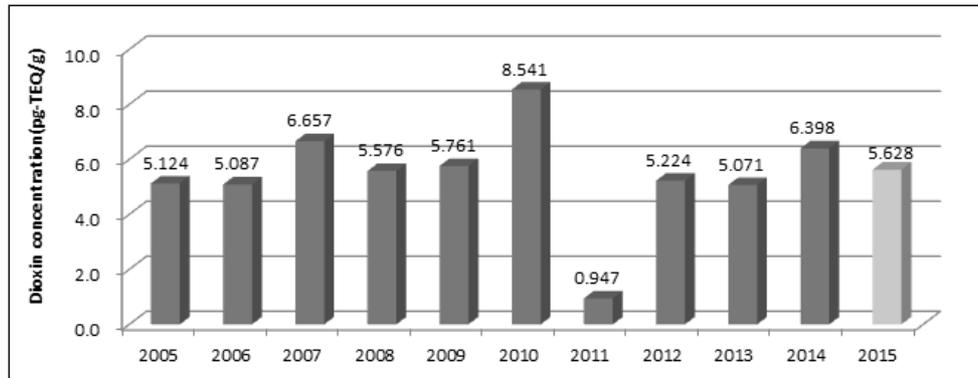


그림 12. 연도별 해저퇴적물 중 다이옥신 농도

○ 다이옥신 이성체별 분포 특성

- 6개 지점 전체 평균 이성체 분포를 보면 실측 농도의 경우 OCDD가 145.097 pg/g으로 전체 기여율의 약 64.6 %로 가장 높았으며
- TEQ 농도의 경우 2,3,4,7,8-PeCDF가 1.779 pg-TEQ/g으로 전체의 약 31.6 %의 기여율로 가장 높았으며, 그 다음으로 1,2,3,7,8-PeCDD 10.0 %로 5염화물이 TEQ 농도에서 가장 큰 비율을 차지하였음
- 실측 농도 최대 기여율 항목은 OCDD, TEQ 농도 최대 기여율 항목은 2,3,4,7,8-PeCDF로, 이는 토양 중 다이옥신 이성체별 분포 특성과 유사한 것으로 나타났음

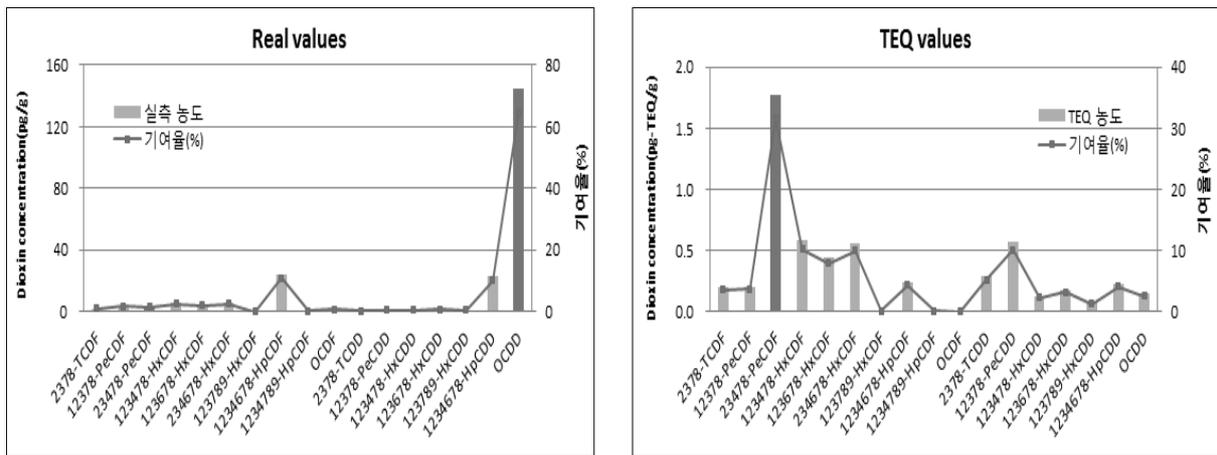


그림 13. 이성체별 농도 분포

4. 결론 및 고찰

- 2015년 대기 중 연평균 다이옥신 농도는 0.051 pg-TEQ/Sm³으로 대기환경기준인 0.6 pg-TEQ/Sm³의 약 12 % 수준으로 만족하였음
- 지역별 대기 중 다이옥신 조사결과 공업지역 > 상업지역 > 주거지역1 > 주거지역2 순으로 다이옥신 배출원이 산재해 있는 공업지역이 가장 높았음
- 계절별 대기 중 다이옥신 조사결과 겨울철이 다른 계절에 비해 약 3배 정도 높았으며 이는 겨울철 난방연료 사용량 증가와 계절적 기후 특성으로 인한 것으로 판단됨
- 하천수 중 다이옥신 평균 농도는 감전천 1.251 pg-TEQ/L, 수영강 0.686 pg-TEQ/L로 감전천의 경우 일본의 하천수질기준인 1 pg-TEQ/L를 다소 초과하였음
- 하천퇴적물 중 다이옥신 농도는 감전천 63.192 pg-TEQ/g, 수영강 1.369 pg-TEQ/g으로 감전천이 수영강에 비해 농도가 훨씬 높았으나, 일본의 퇴적물 기준인 150 pg-TEQ/g 이내로 만족하였음
- 하천수/하천퇴적물 조사지점인 감전천의 경우 시료 채취시 공사로 인해 수량이 적고 정체되어 있어 저질의 유입 등으로 농도가 높은 것으로 판단되며 주기적인 퇴적물 준설 작업 및 주변 환경정비가 요구됨

- 토양 다이옥신 조사결과 0.312 pg-TEQ/g ~ 8.053 pg-TEQ/g(평균 3.734 pg-TEQ/g)으로 일본 토양환경기준인 1,000 pg-TEQ/g에 비해 매우 낮은 농도로 검출되어 전 지점 만족하였음
- 해저퇴적물 다이옥신 조사결과 1.063 pg-TEQ/g ~ 11.884 pg-TEQ/g(평균 5.628 pg-TEQ/g) 범위로 일본 퇴적물 기준인 150 pg-TEQ/g 이내로 전 지점 만족하였음
- 해저퇴적물 조사지점 중 동천하류와 다대포어시장 지점이 농도가 높았는데 이는 육상에서 유입된 오염물질의 영향으로 육상오염원 유입저감 및 유입하천의 하상정비 등 관리가 요구됨

5. 활용방안

- 부산시 대기, 하천, 토양 등 환경매체 중 다이옥신 오염 실태 및 분포 특성을 파악하여 환경 개선을 위한 기초자료로 활용

6. 기대효과

- 환경매체별 다이옥신 오염도 조사를 통해 잔류성유기오염물질 관련 정책 수립을 위한 자료 확보 및 시민들에게 자료 제공을 통해 시민들의 요구사항에 대처 가능