

환경 중 다이옥신 조사

- 부산시 대기, 하천, 토양, 해저퇴적물 중 다이옥신 오염 특성 파악 및 장기 모니터링
- 잔류성유기오염물질 관리정책 및 저감대책 수립, 평가를 위한 기초 자료 제공

1. 조사개요

- 조사근거 : 자체조사사업 [산업환경팀-56(2018. 1. 22.)호]
- 조사기간 : 2018. 1. ~ 2018. 12.
- 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 동질체(congener)별 독성등가 계수

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), 독성이 강한 2,3,7,8-TCDD를 1로 기준하여 다이옥신 각 동족체별로 적용

2. 조사방법

- 대기
 - 조사주기 : 분기 1회(2018년 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 10m 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 4개 지점 모두 대기환경기준(연평균 0.6 pg-TEQ/Sm³) 이내로 만족하였음
- 지역별로는 공업지역(학장동) > 상업지역(전포동) > 주거지역(좌동) > 주거지역(연산동) 순으로 다이옥신 배출원이 산재해 있는 공업지역이 가장 높았음
- 계절별로 보면 겨울철이 타 계절에 비해 다소 높은 수준을 나타냈으며, 이는 겨울철에 난방연료 사용량 증가와 대기 역전현상 등 계절적 기후특성 때문임

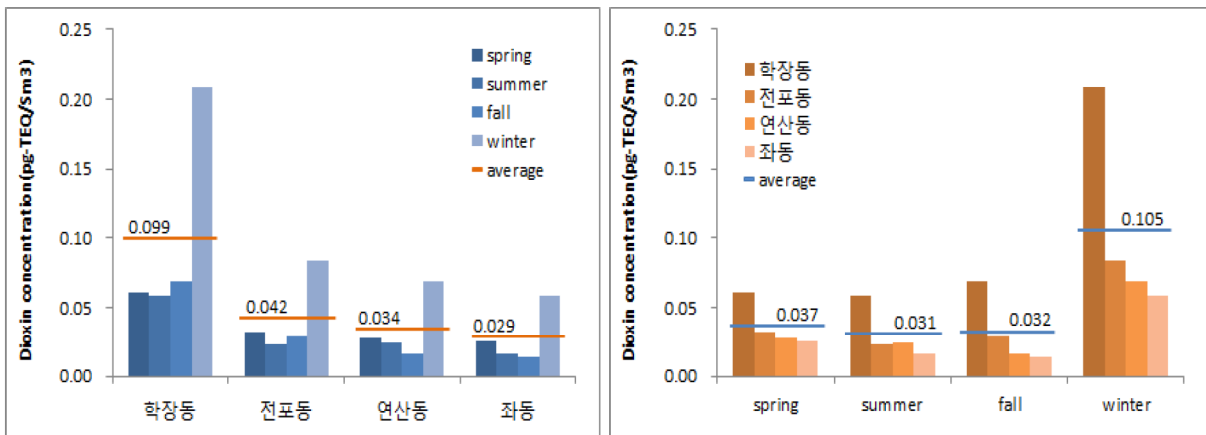


그림 1. 지역별 및 계절별 다이옥신 농도

○ 지역별 및 계절별 다이옥신 상분포

- 지역별 입자상 및 가스상 다이옥신의 분포 비율을 조사한 결과 전 지점 총 다이옥신 중 입자상 다이옥신의 비율이 높았음. 특히 공업지역(학장동)의 입자상 물질과 가스상 물질의 비율이 2.3으로 가장 높았음

- 계절별 다이옥신 상분포 조사 결과 입자상 다이옥신의 비율이 겨울철에 87.0 %로 가장 높았으며, 여름철에 31.3 %로 가장 낮았음. 이는 여름철에는 고온으로 다이옥신의 가스화로 인한 것으로 특히 염소수가 적을수록 가스화가 더 많이 일어나는 것으로 알려져 있음

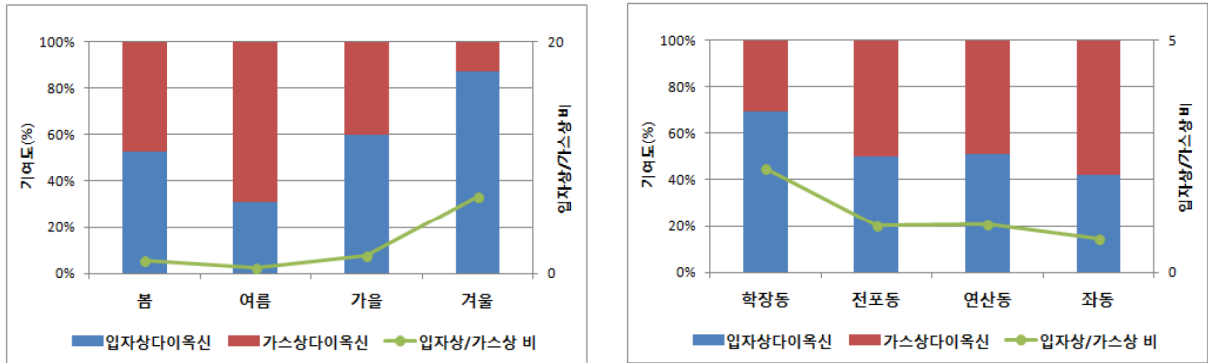


그림 2. 2018년 지역별 및 계절별 다이옥신 상분포

○ 연도별 다이옥신 농도

- 2018년 연평균 대기 중 다이옥신 농도는 0.045 pg-TEQ/Sm³으로 대기환경기준(0.6 pg-TEQ/Sm³) 약 7.5% 수준으로 만족하였음
- 2005년 조사를 시작한 이후 그림 3에 나타난 바와 같이 지속적인 감소추세에 있으며 2018년 다이옥신 농도는 2005년에 비해 약 78% 감소하였음
- 환경부 자료에 따르면 2005년 우리나라 다이옥신 배출량은 268.9 g-TEQ/yr에서 2011년 120.9 g-TEQ/yr로 감소한 것으로 나타났으며, 2006년 다이옥신 배출허용기준 대폭강화, 2007년 기준강화에 따른 소형폐기물 소각시설이 상당수 폐쇄되면서 대기 중 다이옥신 농도가 낮아진 것으로 판단됨

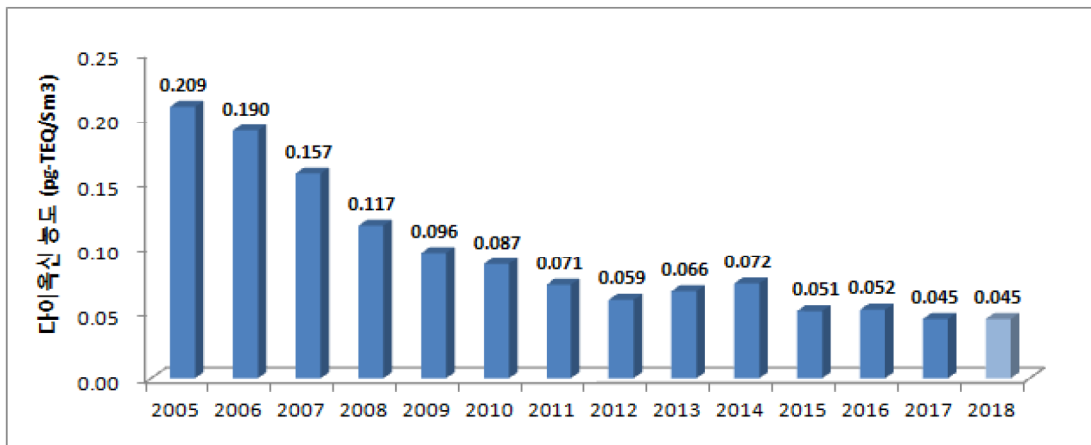


그림 3. 연평균 대기 중 다이옥신 농도 변화

- 2012년부터 지점별 다이옥신 농도를 살펴보면 학장동 지점의 다이옥신이 타 지점대비 높은 수준을 나타냄. 이는 학장동에 위치한 철강, 비철, 비금속 배출원 영향인 것으로 판단됨. (2011년 다이옥신 배출량 : 소각시설 35.4%, 철강 등 비소각시설 64.6% 차지)
- 전포동과 연산동은 전포동이 소폭 높은 수준을 유지하는 가운데 유사한 경향을 나타내고 있었으며, 좌동은 전년에 비해 다소 증가한 경향을 나타내었음
- 환경부 잔류성유기오염물질 측정망('10~'13)에 따르면 전국 대기 중 다이옥신 농도는 2013년 0.034 pg-TEQ/Sm³을 나타내어 전포동, 연산동, 좌동은 평균 이하로 나타났으나, 학장동은 다소 높은 것으로 나타났음. 또한 공업단지가 밀집된 타지역의 다이옥신 농도가 0.138~0.256 pg-TEQ/Sm³으로 이들 지역에 비해 학장동(0.100)은 상대적으로 다소 낮은 것으로 분석되었음

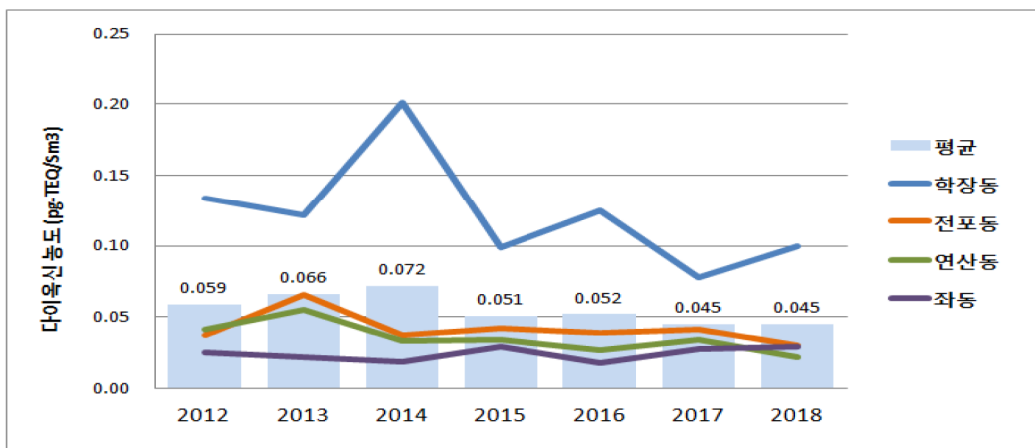


그림 4. 지점별 연평균 대기 중 다이옥신 농도 변화

표 2. 지점별 연평균 대기 중 다이옥신 농도

(단위 : pg-TEQ/Sm³)

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
학장동	0.134	0.122	0.201	0.099	0.125	0.078	0.100
전포동	0.037	0.066	0.037	0.042	0.039	0.041	0.030
연산동	0.041	0.055	0.033	0.034	0.027	0.034	0.022
좌 동	0.025	0.022	0.019	0.029	0.018	0.028	0.029
평 균	0.059	0.066	0.072	0.051	0.052	0.045	0.045

3-2. 하천수 및 하천퇴적물 중 다이옥신 조사결과

○ 하천수 및 하천퇴적물 지점별 다이옥신 농도

- 하천수 및 하천퇴적물 다이옥신 농도는 감전천 > 수영강 순으로 실측 농도, TEQ 농도 모두 감전천이 높았음
- 하천수의 TEQ 평균 농도는 수영강 0.593 pg-TEQ/L, 감전천 1.150 pg-TEQ/L로 수영강은 일본

- 하천수질 기준(1 pg-TEQ/L) 이내로 조사되었으나, 감전천은 초과하였음. (* 우리나라 하천수 기준은 미설정, 폐수배출허용기준은 10 pg-TEQ/L)
- 하천퇴적물의 TEQ 농도는 수영강 0.682 pg-TEQ/g, 감전천 287.306 pg-TEQ/g로 수영강은 일본 퇴적물 기준(150 pg-TEQ/g) 이내로 조사되었으나, 감전천은 초과하였음. (* 우리나라 경우 퇴적물 기준 미설정)
 - 감전천은 생태하천 복원사업('16.12.~'19.12.)중 교량 재가설 위한 물막이공을 실시하여 하천 유지수량이 매우 적고 흐름이 정체되어 하천수 및 하천퇴적물 다이옥신 농도가 기준을 초과한 것으로 판단됨
 - 따라서 생태하천 복원사업에 포함되는 오폐수 준설작업, 주변 환경정비 및 유지수량 확보 등으로 다이옥신 농도를 감소할 필요가 있으며, 향후 사업 완료 후 모니터링을 통한 오염도 확인 필요

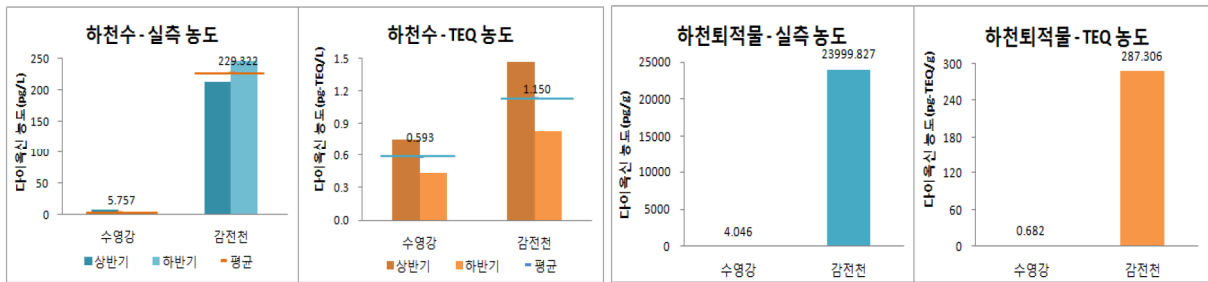


그림 5. 하천수 및 하천퇴적물 중 지점별 다이옥신 농도

○ 하천수 및 하천퇴적물 중 다이옥신 동질체별 분포 특성

- 하천수 및 감전천 하천퇴적물 실측농도의 다이옥신 동질체 중 주로 OCDD의 기여율이 가장 높게 나타났음. OCDD는 고염화 다이옥신으로 휘발성이 낮아 저염화 다이옥신에 비해 퇴적물 중에 오래 잔류하는 특성을 가지기 때문임
- 독성을 고려한 TEQ 농도의 다이옥신 동질체별 분포는 독성등가환산계수가 높은 2,3,4,7,8-PeCDF가 가장 큰 비율을 차지한 것으로 나타남

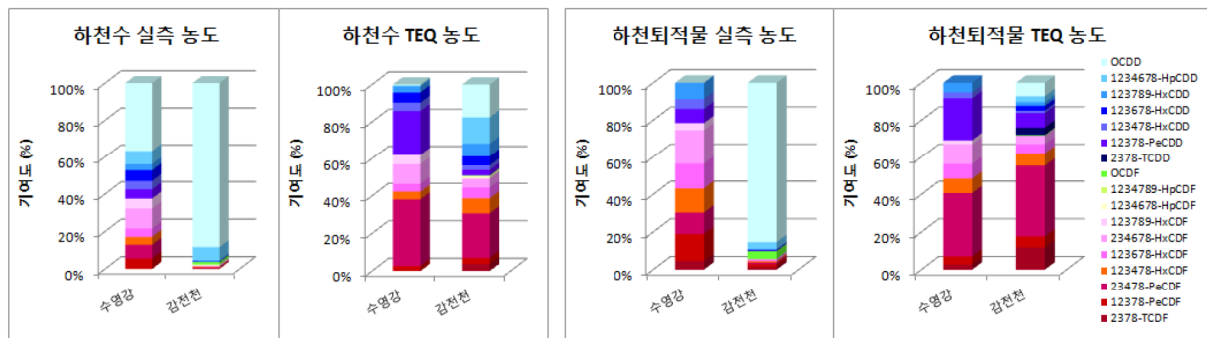


그림 6. 하천수 및 하천퇴적물 중 다이옥신 동질체별 농도 분포

○ 연도별 하천수 및 하천퇴적물 다이옥신 농도

- 2012년부터 연도별 하천수 및 하천퇴적물 다이옥신 농도를 살펴보면, 수영강은 0.404~0.862 pg-TEQ/L, 감전천은 0.830~1.471 pg-TEQ/L의 분포를 나타내었음. 환경부 잔류성유기오염물질 측정망('10~'13년)에 따르면 2013년 하천 다이옥신은 0.234 pg-TEQ/L(0.013~1.404)을 나타내어 수영강, 감전천 모두 평균대비 높은 수준을 나타내었음
- 2012년부터 2018년까지 하천퇴적물은 수영강 0.406~7.566 pg-TEQ/g, 감전천 30.645~287.306 pg-TEQ/g 분포를 나타내었으며, 타지역 하천퇴적물('13년)은 0.605 pg-TEQ/L(0.006~3.517)를 나타내어 수영강 하천퇴적물은 타지역 대비 다소 높고, 감전천은 큰 폭으로 높은 수준을 나타냄

표 3. 지점별 하천수 및 하천퇴적물 다이옥신 농도 추이 (하천: pg-TEQ/L, 하천퇴적물: pg-TEQ/g)

		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
하천	수영강(상)	0.404	0.605	0.797	0.640	0.849	0.793	0.754
	수영강(하)	0.504	0.326	0.862	0.733	0.583	0.649	0.432
	수영강(연평균)	0.454	0.466	0.829	0.686	0.716.	0.721	0.593
	감전천(상)	-	-	1.206	1.056	1.019	0.918	1.471
	감전천(하)	-	1.235	1.057	1.445	1.133	0.923	0.830
	감전천(연평균)	-	1.235	1.131	1.251	1.076	0.920	1.150
하천 퇴적물	수영강	0.406	3.251	1.203	1.369	7.566	0.488	0.682
	감전천	30.656	145.657	122.735	63.192	126.287	138.871	287.306

3-3. 토양 중 다이옥신 조사결과

○ 지점별 다이옥신 농도

- 토양 중 다이옥신 실측 농도는 평균값이 265.6 pg/g으로 그림 7과 같이 해양대학교 지점의 농도가 평균보다 높았음
- TEQ 농도의 경우 0.195 pg-TEQ/g ~ 3.401 pg-TEQ/g으로 전 지점 일본 토양환경기준(1,000 pg-TEQ/g) 이내로 만족하였으며, 온천천놀이터, 해양대학교 농도가 가장 높았음. 온천천놀이터는 주변 다이옥신 배출원 영향이 비교적 적은 지점이나, 농도가 가장 높게 나타나 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단됨
- 해양대학교 지점은 실측 농도는 높았으나, 대부분 독성값이 낮은 OCDD로 TEQ 농도는 온천천놀이터와 유사한 수준으로 나타났음

○ 연도별 토양 다이옥신 농도

- 2012년부터 2018년까지 지점별 토양 다이옥신 농도를 살펴보면 해양대학교 지점은 평균 37.704 pg-TEQ/g, 2.190~168.201 pg-TEQ/g의 분포를 나타내어 가장 농도가 높은 것으로 나타났음. 다음으로 해운대사업소가 평균 8.629 pg-TEQ/g으로 높게 나타났고, 온천천놀이터는 평균 4.433 pg-TEQ/g, 1.608~9.166 pg-TEQ/g의 분포를 보였음. 녹산공단은 0.722~5.709 pg-TEQ/g의 분포를 나타내었음
- 환경부 잔류성유기오염물질 측정망(10~13)에 따르면 2013년 평균 1.660 pg-TEQ/g (0.000~17.267)을 나타내어, 2018년 기준 해양대학교와 온천천놀이터가 타지역 토양 다이옥신에 비해 다소 높은 것으로 분석되었음

표 5. 지점별 토양 다이옥신 농도 추이

(단위: pg-TEQ/g)

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
녹산공단	-	-	3.884	5.709	4.720	3.266	0.722
해양대학교	9.348	168.201	8.426	3.969	68.463	2.190	3.328
부산철도차량정비단	3.851	2.590	1.107	2.753	3.709	1.725	0.793
온천천놀이터	9.166	5.989	5.062	1.608	3.012	2.793	3.401
해운대사업소	6.151	0.530	13.593	8.053	20.563	10.265	1.243
정관면 달산교	6.917	1.036	0.875	0.312	1.824	0.389	0.195

3-4. 해저퇴적물 중 다이옥신 조사결과

○ 해저퇴적물 중 지점별 다이옥신 농도

- 해저퇴적물 다이옥신 실측 평균 농도 219.3 pg/g으로 다대포어시장, 동천하류 지점이 평균보다 높았음
- TEQ 농도는 1.621 pg-TEQ/g ~ 53.070 pg-TEQ/g으로 전 지점 일본 퇴적물 기준인 150 pg-TEQ/g 이내로 만족하였음
- 해저퇴적물 중 다이옥신 농도 증가는 수리조선소, 미차집오수 유입과 같은 육상기인 오염물질 유입, 반폐쇄성 해역 환경으로 인한 흐름 정체와 관련 있음
- 수리조선소와 인접한 지점으로는 다대포어시장, 발전소앞, 남향이 있으며, 그 중 반폐쇄성 해역 특성을 가장 뚜렷하게 나타나는 다대포어시장 해저퇴적물에서 다이옥신 농도가 가장 높은 것으로 판단됨. 또한 동천하류는 육상오염원의 직접적인 영향을 받아 조사지점 중 농도가 다소 높은 것으로 보임
- 따라서 육상 오염원 유입 저감, 수리조선소 등 주변 오염배출 유발시설물 지도점검 강화, 오염퇴적물 준설작업 등의 관리가 요구됨

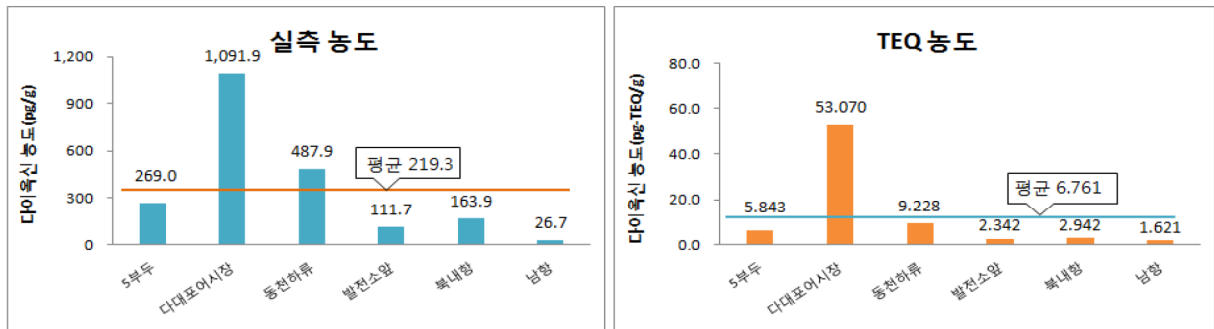


그림 9. 2018년 해저퇴적물 중 지점별 다이옥신 농도

- 그림 10은 지점별 해저퇴적물 중 다이옥신과 COD 관계를 나타낸 그림임. 다대포어시장 지점을 제외하고 다이옥신과 COD 농도는 피어슨상관계수 0.876을 나타내 상관관계가 높게 나타났음. 다대포어시장 지점은 타지점 COD에 비해 다이옥신 농도가 다소 높게 나타났으며, 이는 앞서와 같이 반폐쇄성 해역 특성과 수리조선소 등의 오염물질의 영향이 것으로 판단됨

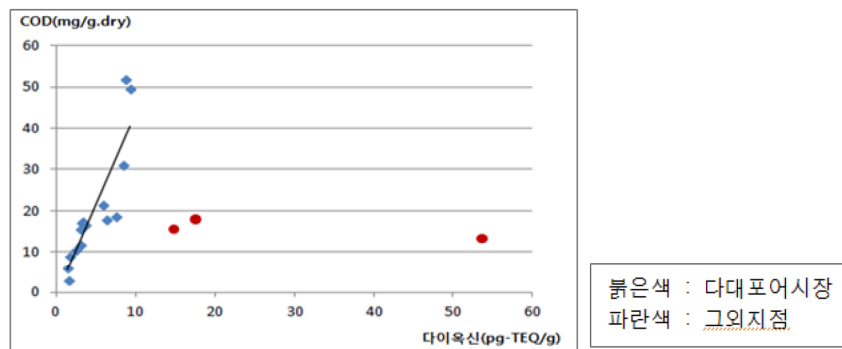


그림 10. 지점별 해저퇴적물 중 다이옥신과 COD 관계(2016~2018년)

○ 다이옥신 동질체별 분포 특성

- 해저퇴적물 다이옥신의 동질체별 분포를 살펴보면 OCDD, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF, OCDF 등 고염화 다이옥신의 비율이 높았으며, 이는 하천퇴적물과 마찬가지로 고염화 다이옥신은 퇴적물에 오래 잔류하는 특징 때문임
- TEQ 농도의 최대 기여율 항목은 독성등가환산계수가 높은 2,3,4,7,8-PeCDF, 1,2,3,7,8-PeCDD 같은 5염화물로 나타났음

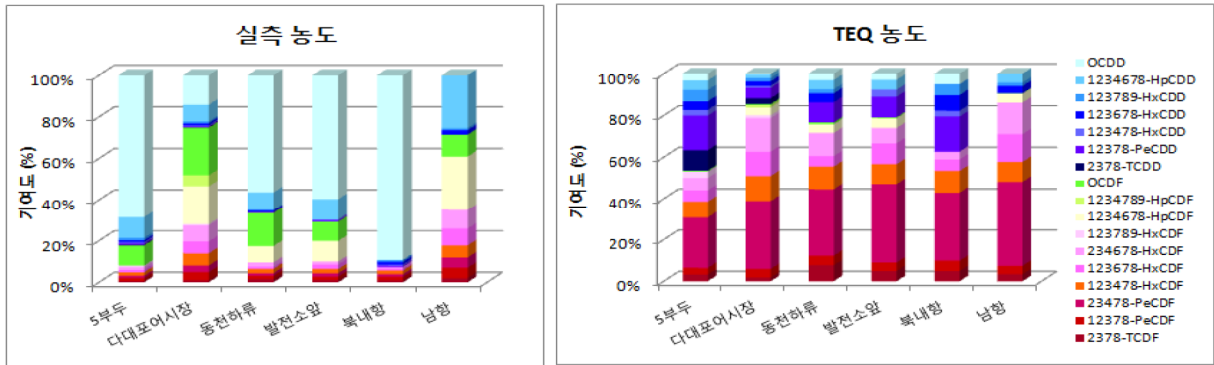


그림 11. 2018년 해저퇴적물 중 다이옥신 동질체별 농도 분포

표 6. 2018년 지점별 해저퇴적물 중 다이옥신 동질체별 농도 및 기여율

No.	Chemicals	TEQ값 (pg-TEQ/g)						기여율 (%)					
		5부두	다대포어시장	동천하류	발전소앞	북내항	남항	5부두	다대포어시장	동천하류	발전소앞	북내항	남항
1	2378-TCDF	0.185	0.942	0.704	0.114	0.143	0.054	3.2	1.8	7.6	4.9	4.9	3.3
2	12378-PeCDF	0.188	2.188	0.424	0.096	0.145	0.065	3.2	4.1	4.6	4.1	4.9	4.1
3	23478-PeCDF	1.421	17.491	2.983	0.891	0.973	0.660	24.3	33.0	32.3	38.0	33.1	40.7
4	123478-HxCDF	0.454	6.394	1.002	0.225	0.307	0.156	7.8	12.0	10.9	9.6	10.4	9.6
5	123678-HxCDF	0.324	5.227	0.465	0.235	0.164	0.216	5.5	11.7	5.0	10.0	5.6	13.3
6	234678-HxCDF	0.348	8.555	1.026	0.171	0.105	0.246	6.0	16.1	11.1	7.3	3.7	15.2
7	123789-HxCDF	0.181	0.714	0.000	0.000	0.000	0.000	3.1	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0
8	1234678-HpCDF	0.000	2.010	0.388	0.111	0.000	0.069	0.0	3.8	4.2	4.7	0.0	4.3
9	1234789-HpCDF	0.000	0.587	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0
10	OCDF	0.026	0.250	0.078	0.010	0.000	0.003	0.5	0.5	0.8	0.4	0.0	0.2
	PCDF	3.128	45.357	7.071	1.853	1.842	1.469	53.5	85.5	76.6	79.1	62.6	90.6
11	2378-TCDD	0.573	1.497	0.000	0.000	0.000	0.000	9.8	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0
12	12378-PeCDD	0.970	2.673	0.895	0.232	0.495	0.000	16.6	5.0	9.7	9.9	16.8	0.0
13	123478-HxCDD	0.161	0.507	0.000	0.078	0.082	0.000	2.8	1.0	0.0	3.3	2.8	0.0
14	123678-HxCDD	0.240	1.147	0.394	0.000	0.222	0.057	4.1	2.2	4.3	0.0	7.5	3.5
15	123789-HxCDD	0.317	0.851	0.179	0.000	0.154	0.027	5.4	1.6	1.9	0.0	5.2	1.7
16	1234678-HpCDD	0.269	0.882	0.414	0.112	0.000	0.068	4.6	1.7	4.5	4.8	0.0	4.2
17	OCDD	0.185	0.155	0.275	0.067	0.146	0.000	3.2	0.3	3.0	2.8	5.0	0.0
	PCDD	2.715	7.713	2.157	0.489	1.099	0.152	46.5	14.5	23.4	20.9	37.4	9.4
	SUM	5.843	53.070	9.228	2.342	2.942	1.621	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

○ 연도별 해저퇴적물 다이옥신 농도

- 2005년부터 2018년까지 지점별 해저퇴적물 다이옥신 농도를 살펴보면, 다대포어시장은 최대 53.070 pg-TEQ/g, 평균 14.768 pg-TEQ/g으로 가장 높은 농도를 나타내었으며, 다음으로 동천하류가 최대 11.469 pg-TEQ/g, 평균 6.378 pg-TEQ/g, 발전소앞이 최대 11.615 pg-TEQ/g, 평균 6.069 pg-TEQ/g의 농도를 나타내었음
- 남항 지점은 최대 7.951 pg-TEQ/g, 평균 3.013 pg-TEQ/g으로 가장 낮은 수준을 나타내었으며, 이는 타 지점 대비 폐쇄성 수역 특성이 낮고, 2009년~2014년 오염퇴적물 정화사업의 영향인 것으로 판단됨
- 2005년부터 해저퇴적물 다이옥신을 분석한 결과, 2011년 전반적으로 농도가 낮게 나타났으며, 이는 부산항 주변 퇴적물 정화복원사업 및 수심 유지를 위한 준설작업 영향인 것으로 판단됨

표 7. 지점별 해저퇴적물 다이옥신 농도 추이

(단위: pg-TEQ/g)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
5부두	3.565	2.489	17.901	0.828	8.065	2.710	1.603	5.426	2.375	7.244	2.968	3.120	2.942	5.843
다대포어시장	1.523	0.481	3.976	27.704	9.997	38.796	1.580	6.875	12.000	6.622	11.884	14.449	17.793	53.070
동천하류	3.224	4.577	3.881	4.454	10.978	11.469	0.964	5.153	4.729	4.131	9.483	8.631	8.383	9.228
발전소앞	10.313	6.694	6.329	4.600	6.908	2.953	1.861	4.357	8.883	11.615	4.364	7.419	6.324	2.342
북내항	7.966	4.604	5.078	1.792	3.577	3.575	1.564	4.243	2.619	8.153	4.005	3.342	3.591	2.942
남 항	7.951	6.393	5.424	0.669	1.148	4.878	0.000	5.487	3.970	0.626	1.063	1.418	1.530	1.621

4. 결론 및 고찰

- 대기 다이옥신 결과 전 지점 대기환경기준(0.6 pg-TEQ/Sm³) 이내
 - 지역별로는 다이옥신 배출원이 산재해있는 학장동(공업지역), 계절별로는 난방연료 사용 증가 등으로 겨울철이 가장 높았음
 - 다이옥신 상분포 조사 결과 전 지점 입자상 다이옥신 비율이 가스상 다이옥신보다 높았고, 계절별로는 겨울철에 입자상 비율이 가장 높았음
- 하천수 및 하천퇴적물 다이옥신 결과 수영강은 일본 기준* 이내였으나, 감전천은 기준 초과하였음.
 - * 일본 하천수질 기준 1 pg-TEQ/L, 일본 퇴적물 기준 150 pg-TEQ/g
 - 감전천은 생태하천 복원사업('16.12.~'19.12.) 교량 재가설 위한 물막이공을 실시하여 하천 유지수량이 매우 적고 흐름이 정체되어 기준초과된 것으로 판단됨. 오히려 준설작업 등 사업 완료 후 오염도 확인 필요
- 토양 다이옥신 결과 전 지점 일본 토양환경기준(1,000 pg-TEQ/g) 이내
 - 온천천놀이터와 해양대학교 지점이 다소 높은 수준으로 나타나 지속적인 모니터링 필요

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 정책수립을 위한 자료 확보 및 잔류성 유기오염물질 오염실태에 대한 시민 알권리 보장