

대형소각시설 잔류성유기오염물질 조사

○ 소각장 배출가스 및 소각재 중의 비의도적 잔류성유기오염물질 배출 특성 및 분포특성 파악으로 저감대책 수립에 필요한 기초자료 제공

1. 조사개요

- 조사목적
소각장 배출가스 및 소각재 중의 비의도적 잔류성유기오염물질의 배출특성 및 분포특성을 파악하여 효과적인 소각로 운영 유도 및 오염물질 저감대책 수립에 필요한 기초자료 제공
- 조사근거
▷ 자체 조사사업 : 산업환경과-181(2012.01.27.)호

2. 조사방법

- 대상시설 : 3개 소각장 5개 소각시설
 - ▷ 해운대사업소 2기 : 170톤/일 × 2기
 - ▷ 다대사업소 1기 : 160톤/일 × 1기
 - ▷ 명지사업소 2기 : 170톤/일 × 2기
- 조사시기 : 2012년 3 ~ 5월, 9 ~ 10월
- 조사매질 : 배출가스, 소각재(바닥재, 비산재)
- 조사항목 : u-POPs 물질(비의도적 잔류성유기오염물질)
 - ▷ 다이옥신류 : 2,3,7,8-TCDD 등 17종

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			

▷ co-planar PCBs : 3,4,4',5-TeCB 등 12종

Congener			WHO-TEF ¹⁾		
1	3,4,4',5-TeCB	0.00030	8	2,3',4,4',5,5'-HxCB	0.00003
2	3,3',4,4'-TeCB	0.00010	9	2,3,3',4,4',5-HxCB	0.00003
3	2',3,4,4',5-PeCB	0.00003	10	2,3,3',4,4',5'-HxCB	0.00003
4	2,3',4,4',5-PeCB	0.00003	11	3,3',4,4',5,5'-HxCB	0.03000
5	2,3,4,4',5-PeCB	0.00003	12	2,3,3',4,4',5,5'-HpCB	0.00003
6	2,3,3',4,4'-PeCB	0.00003	11		
7	3,3',4,4',5-PeCB	0.10000	12		

▷ 유기염소계농약류 : HCB(Hexachlorobenzene)

3. 조사결과

○ 지점별 배출가스 및 소각재 중의 u-POPs 물질 농도

표 1. 지점별 배출가스 및 소각재 중의 u-POPs 물질 농도(실측농도)

		Dioxins ¹⁾		coplanar PCBs ²⁾		HCB ³⁾	
		상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기
배출가스	해운대-1	0.000	0.058	0.031	0.003	9.181	11.562
	해운대-2	0.000	0.044	0.023	0.020	9.023	10.759
	다대	0.000	0.130	0.014	0.009	6.784	15.925
	명지-1	0.016	0.046	0.172	0.157	11.141	9.525
	명지-2	0.000	0.017	0.043	0.034	26.890	25.633
소각재	바닥재						
	해운대-1	129.175	37.213	10.688	14.700	8.665	1.625
	해운대-2	20.113	115.950	11.246	12.523	8.250	8.180
	다대	119.938	43.500	15.789	9.623	1.620	8.455
	명지 ⁴⁾	12.075	31.600	15.869	7.617	1.575	6.215
비산재	해운대-1	5989.150	10890.750	350.475	240.442	18.800	31.240
	해운대-2	9811.450	8318.100	458.954	225.586	35.980	37.360
	다대	1745.350	1832.850	428.768	566.870	35.160	31.480
	명지 ⁴⁾	7182.250	439.850	828.752	347.728	37.060	20.620

1),2) 배출가스는 ng/Sm³, 바닥재 및 비산재는 pg/g임.

3) 배출가스는 ng/Sm³, 바닥재 및 비산재는 ng/g임.

4) 명지 소각장 바닥재 및 비산재는 1호기와 2호기 구분없음..

표 2. 지점별 배출가스 및 소각재 중의 u-POPs 물질 농도(TEQ농도)

		Dioxins ¹⁾		coplanar PCBs ²⁾		HCB		
		상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
배출가스	해운대-1	0.000	0.009	0.000	0.000	-	-	
	해운대-2	0.000	0.006	0.000	0.000	-	-	
	다대	0.000	0.004	0.000	0.000	-	-	
	명지-1	0.002	0.002	0.001	0.000	-	-	
	명지-2	0.000	0.000	0.001	0.000	-	-	
소각재	바닥재	해운대-1	0.841	2.149	0.001	0.094	-	-
		해운대-2	1.480	3.354	0.001	0.001	-	-
		다대	1.518	1.995	0.092	0.000	-	-
		명지 ³⁾	0.394	0.948	0.130	0.000	-	-
	비산재	해운대-1	161.414	168.052	4.999	3.551	-	-
		해운대-2	177.728	141.182	8.126	3.018	-	-
		다대	66.517	119.803	8.428	9.844	-	-
		명지 ³⁾	273.133	19.126	15.811	5.960	-	-

¹⁾ I-TEQ값을 적용하였으며, 배출가스는 ng-TEQ/Sm³, 바닥재 및 비산재는 pg-TEQ/g임.

²⁾ WHO-TEQ값을 적용하였으며, 배출가스는 ng-TEQ/Sm³, 바닥재 및 비산재는 pg-TEQ/g임.

³⁾ 명지 소각장 바닥재 및 비산재는 1호기와 2호기 구분없음..

▷ 배출가스

- 5개 소각로의 배출가스 중의 다이옥신 농도는 0.000~0.009 ng-TEQ/Sm³의 범위로 「잔류성유기오염물질 관리법」에서 정하는 배출허용기준인 0.1 ng-TEQ/Sm³에 비하여 매우 미미한 수준으로 검출되었음.
- 그러나 방지시설 운영이 미흡할 경우 다이옥신 농도가 급격하게 높아질 수 있고, 특히 다이옥신이 재생성될 가능성이 높은 전기집진기나 여과집진기의 운영에 주의를 기할 필요가 있음.
- co-planar PCBs는 0.001 ng-TEQ/Sm³이 검출된 상반기 명지소각장 1호기 및 2호기를 제외하고는 모두 0.000 ng-TEQ/Sm³이었고
- HCB의 경우 명지소각장 2호기에서 상하반기 각각 약 26.890 및 25.633 ng/Sm³으로 타 소각장에 비하여 높게 검출되었으며, 나머지 시설에서는 6.784~15.925 ng/Sm³ 수준이었음.

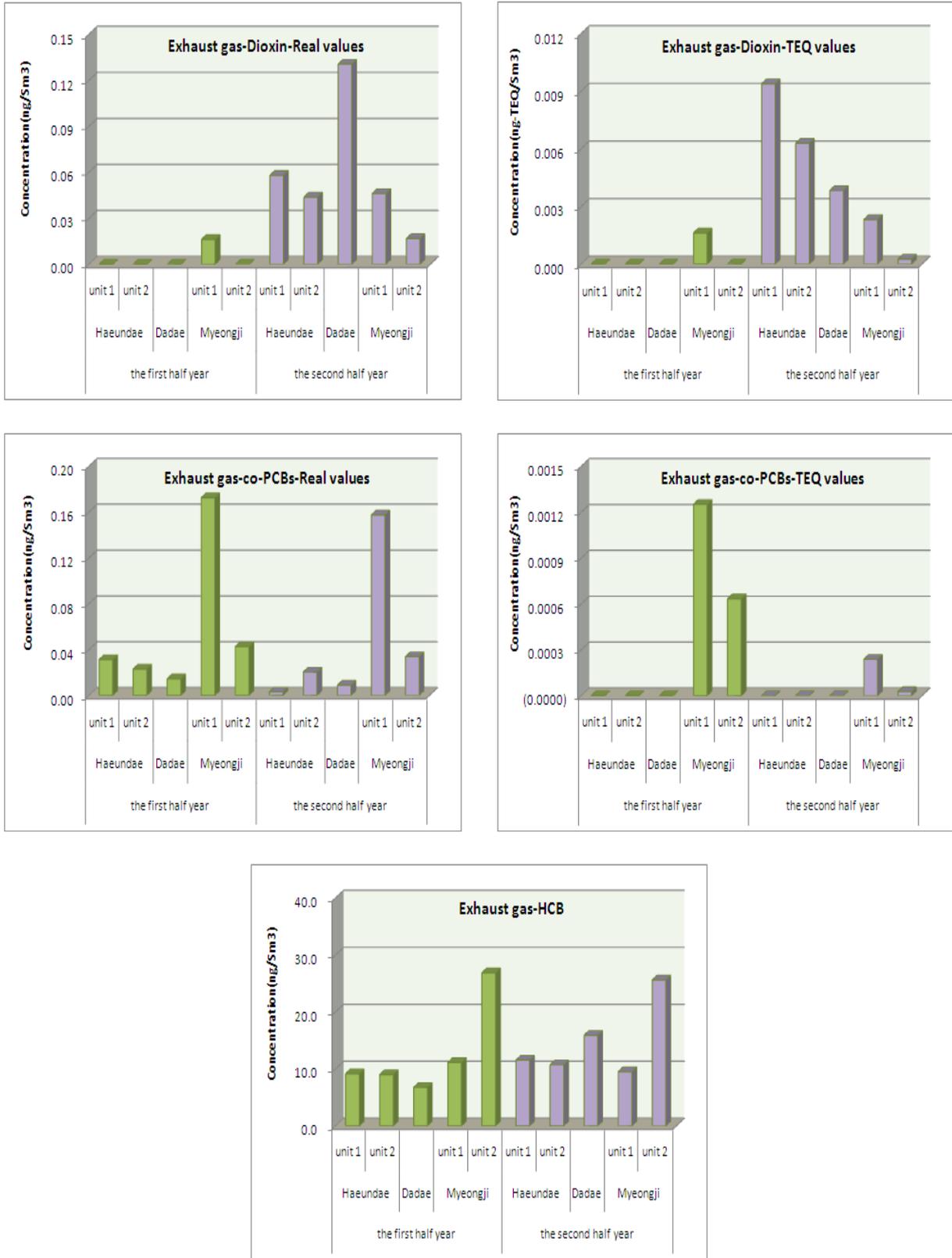


그림 1. 배출가스 중의 u-POPs 물질 농도

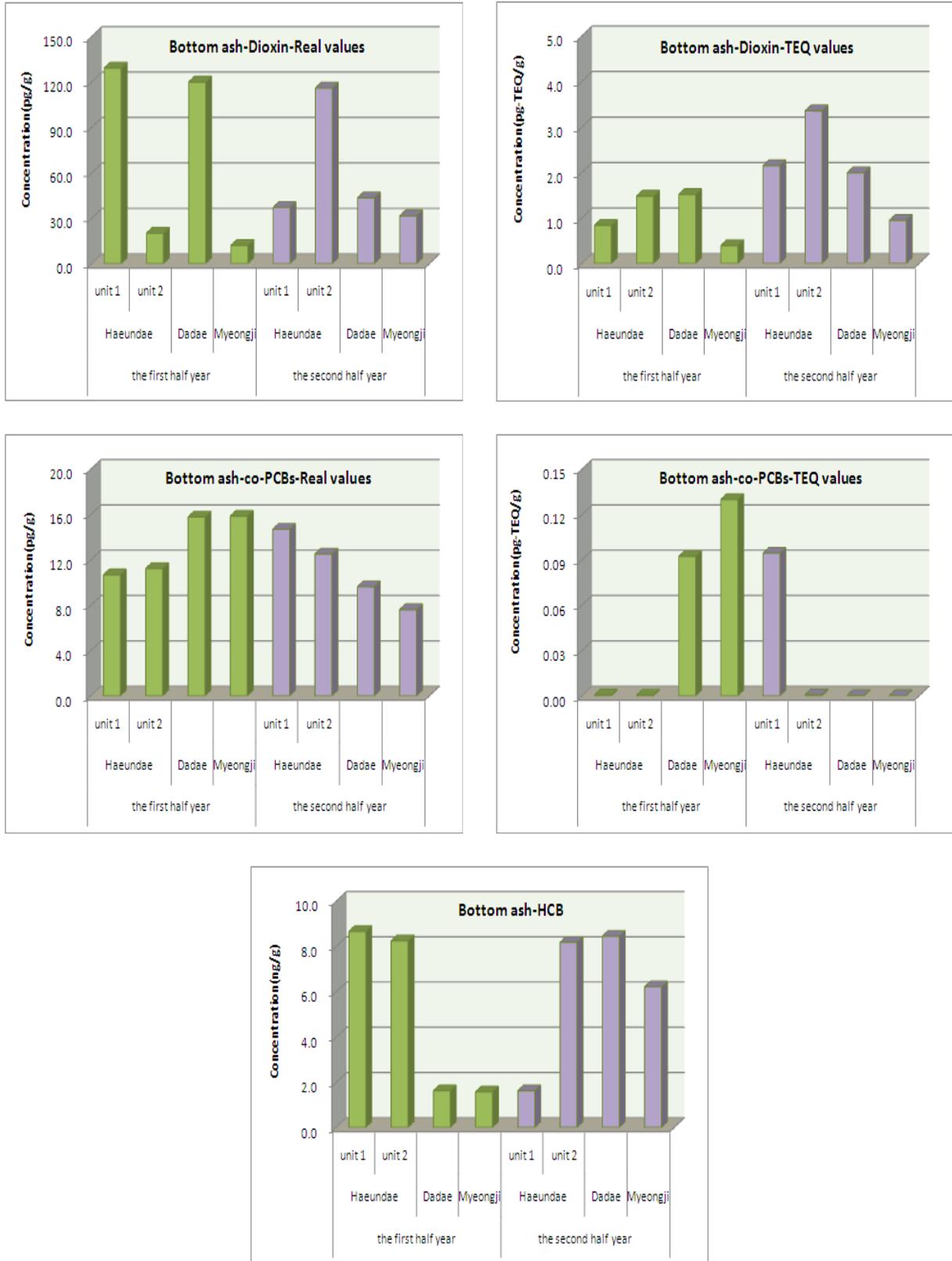


그림 2. 바닥재 중의 u-POPs 물질 농도

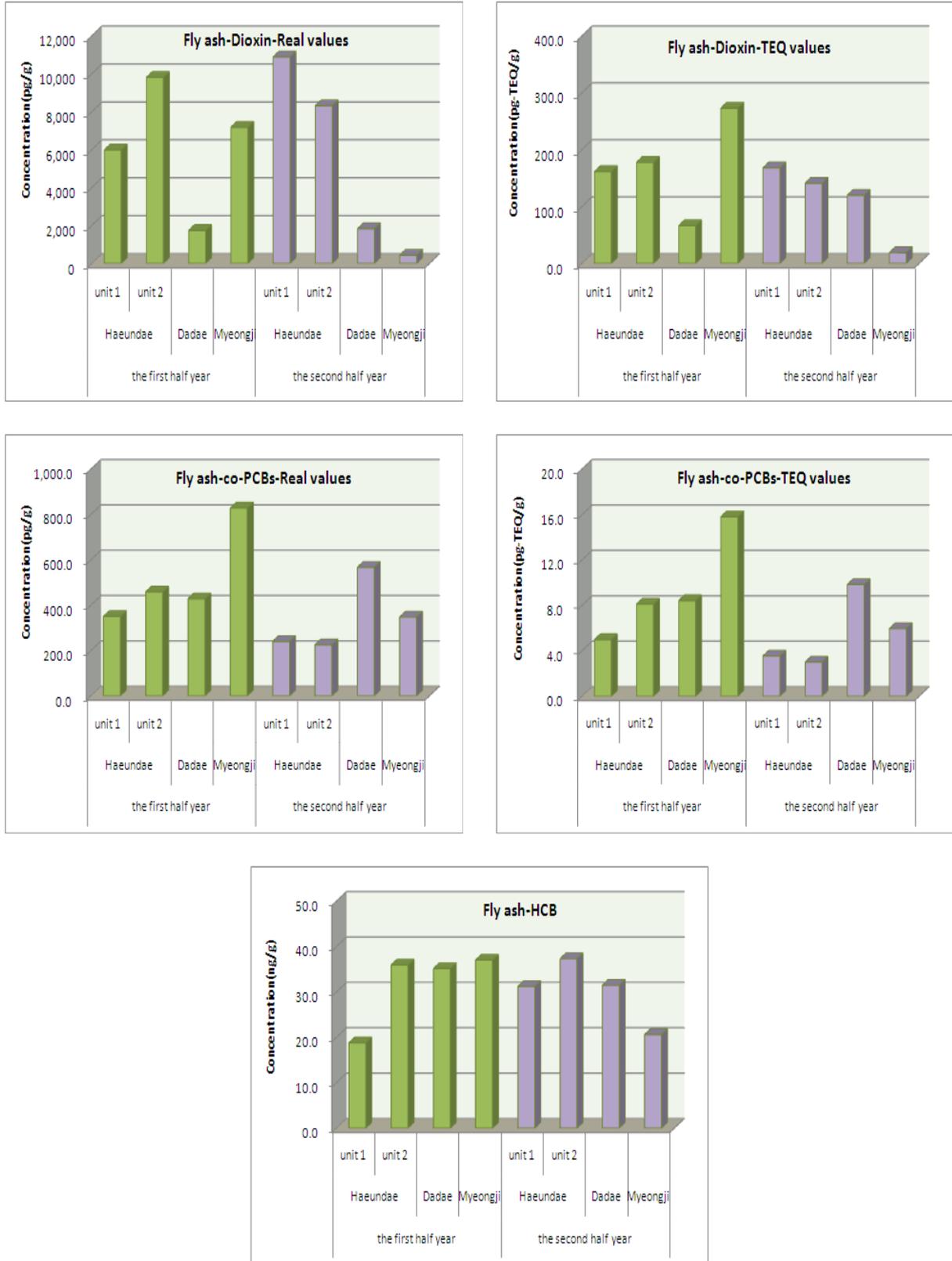


그림 3. 비산재 중의 u-POPs 물질 농도

▷ 바닥재

- 바닥재 중 다이옥신의 경우 하반기 해운대 소각장 2호기에서 3.354 pg-TEQ/g으로 가장 높게 검출되었으며, 나머지 시설에서는 0.394~2.149 pg-TEQ/g의 범위였고,
- co-planar PCBs의 경우 0.000~0.130 pg-TEQ/g(평균 0.040 pg-TEQ/g)으로 다이옥신 농도의 약 2.5% 수준으로 미미하였음,
- HCB는 상·하반기 평균농도의 경우 해운대 소각장 2호기에서 약 8.215 ng/g으로 가장 높았으며, 상반기에는 1.575~8.665 ng/g(평균 5.028 ng/g)이었으며, 하반기에는 1.625~8.455 ng/g(평균 6.119 ng/g)으로 하반기에 약간 더 높았으나 큰 차이는 없었음.

▷ 비산재

- 비산재의 경우 dioxins, co-planar PCBs 및 HCB 등 조사 항목 모두 바닥재보다 높게 검출되었으며,
- 다이옥신은 19.129~273.133 pg-TEQ/g, co-planar PCBs는 3.018~15.811 pg-TEQ 및 HCB는 18.800~37.060 ng/g으로 검출되었음.
- 다이옥신의 경우 최고 0.3 ng-TEQ/g으로 검출되어 「잔류성유기오염물질 관리법」 상 잔류성유기오염물질 함유 폐기물의 다이옥신 기준이 3 ng-TEQ/g의 약 10% 수준이었음.
- 해운대소각장 및 명지소각장 비산재에서 다이옥신이 대체로 많이 검출되고 있기 때문에 다이옥신의 재합성이 잘 일어나는 전기집진기 운영(특히 운전온도) 및 비산재 관리에 만전을 기할 필요가 있음.

○ Dioxins 및 co-PCBs의 congener별 분포특성

▷ Dioxins

- 배출가스 중 다이옥신 실측농도의 경우 다이옥신이 거의 검출되지 않은 명지소각장 2호기를 제외한 나머지 4개 시설에서는 다이옥신류보다 퓨란류의 기여율이 높았으며,
- 바닥재 및 비산재의 경우 조사대상 4개 시설 모두 OCDD의 기여율이 각각 약 40.2~77.4 및 32.6~59.0%로 10개 homologue들 중 가장 높았음.
- OCDD의 경우 독성등가값(TEF)은 낮으나 축매반응 및 열분해 등의 탈염소화반응으로 인해 독성등가값(TEF)이 높은 TCDD나 TCDF로 치환될 수 있으므로 그 양이 많은 것은 바람직하지 않는 것으로 판단됨.
- TEQ 농도의 경우 TEF값이 1.0~0.001의 범위로 congener별로 각각 다르기 때문에 실측농도와는 약간 다른 경향을 보였으며,
- 배출가스 중 TEQ 농도는 해운대 소각장 2호기를 제외하고는 퓨란류의 기여율이 높게 나타났다.
- 바닥재의 경우 조사대상 4개 지점 모두 HxCDF의 기여율이 47.0~70.4%로 가장 높았으며, 그 다음으로는 PeCDF의 기여율이 높게 나타났고,
- 비산재의 경우 다대소각장을 제외한 나머지 3개 지점에서는 HxCDF의 기여율이 가장 높았으며, 전반적으로 바닥재의 분포패턴과 유사한 경향을 보였음.

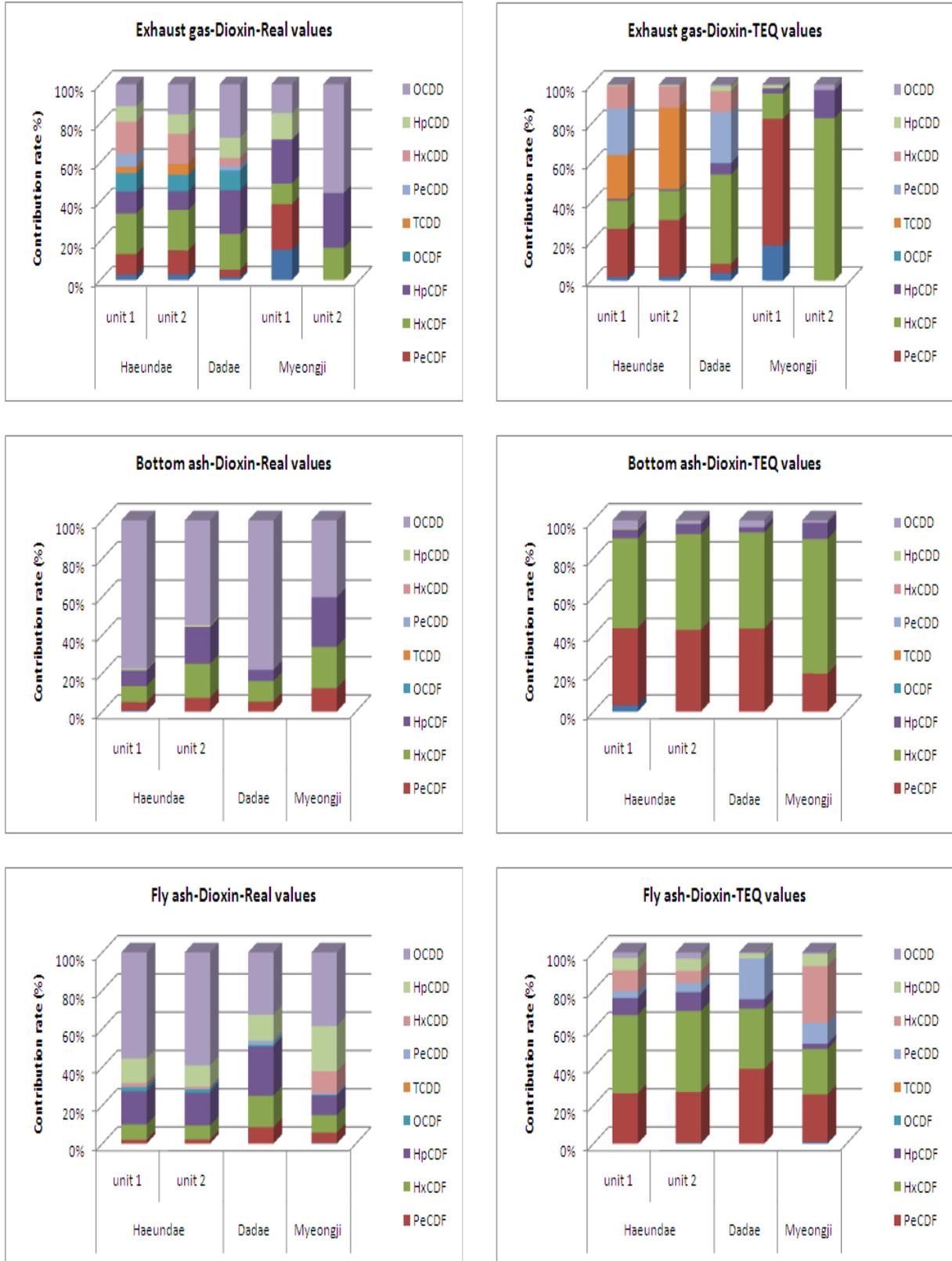


그림 4. 다이옥신의 congener별 기여율 평가

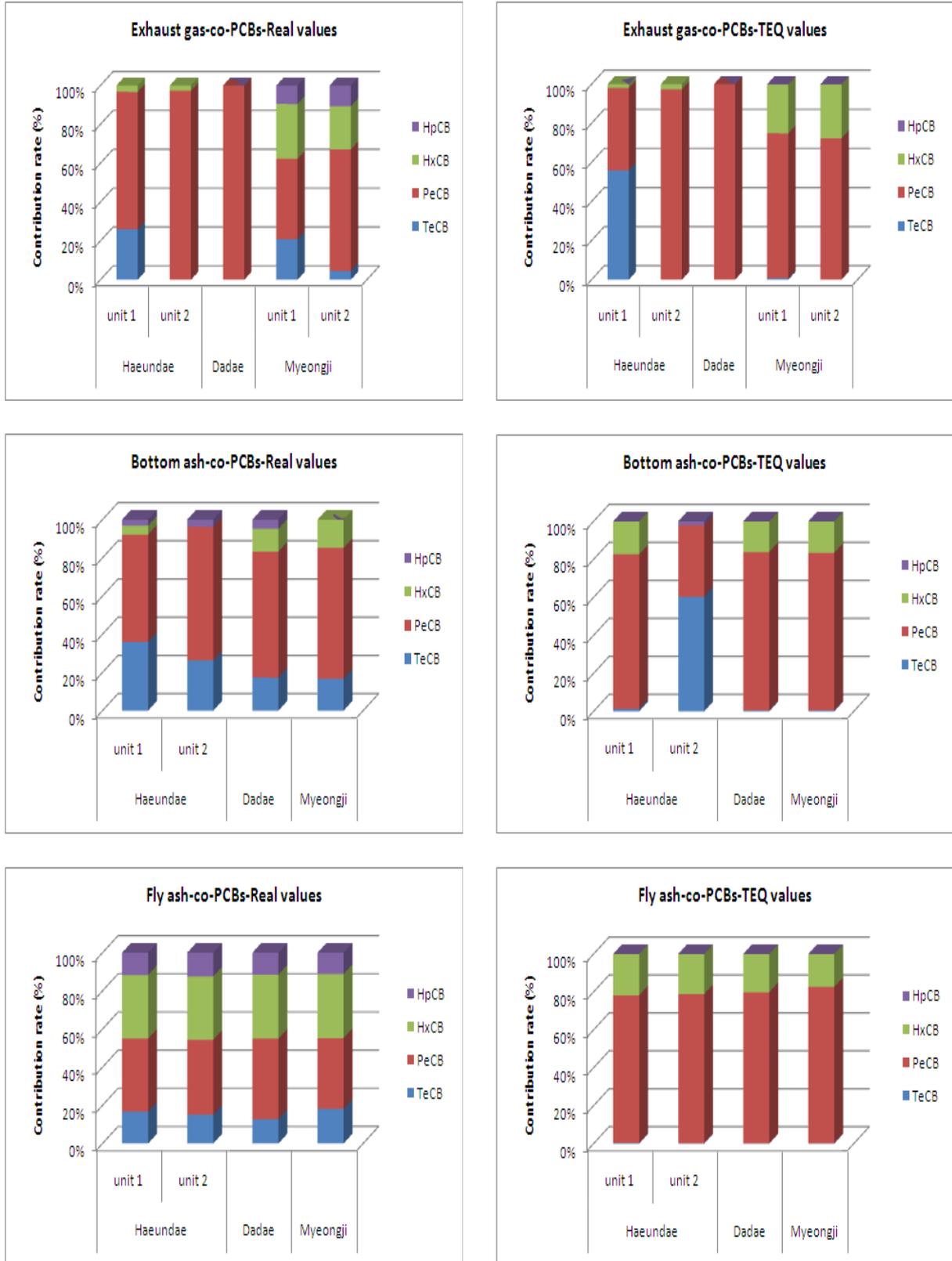


그림 5. Co-planar PCBs의 congener별 기여율 평가

▷ co-planar PCBs

- 배출가스 중 co-planar PCBs 실측농도의 경우 조사대상 5개 시설 모두 PeCB의 기여율이 41.4~100.0%로 가장 높았으며,
- TEQ농도 또한 TeCB의 기여율이 가장 높았던 해운대 1호기를 제외하고는 PeCB의 기여율이 가장 높았음.
- 바닥재 및 비산재 중의 co-planar PCBs 실측농도는 배출가스와 마찬가지로 PeCB의 기여율이 56.3~69.9 및 37.1~42.1%로 가장 높았으며,
- TEQ값의 경우에도 해운대 2호기 바닥재를 제외하고는 바닥재 및 비산재 모두 실측값과 마찬가지로 PeCB의 기여율이 37.6~83.4% 및 78.0~82.4%로 가장 높았음.

○ 상관계수

▷ 각 매질별 u-POPs 물질간의 상관관계

- 매질별 u-POPs 물질간의 상관관계를 조사한 결과는 그림 6에서 보는 바와 같이 다이옥신과 co-PCBs의 경우 TEQ농도가 너무 낮아 상관관계 계산에 적당하지 않아 모두 실측농도를 적용하였으며,
- 배출가스 및 비산재 중의 각 항목간의 상관관계는 모두 유의성이 없는 것으로 나타났고,
- 바닥재 중의 co-planar PCBs 실측농도와 HCB간에는 부의 상관이 있는 것으로 나타났음.

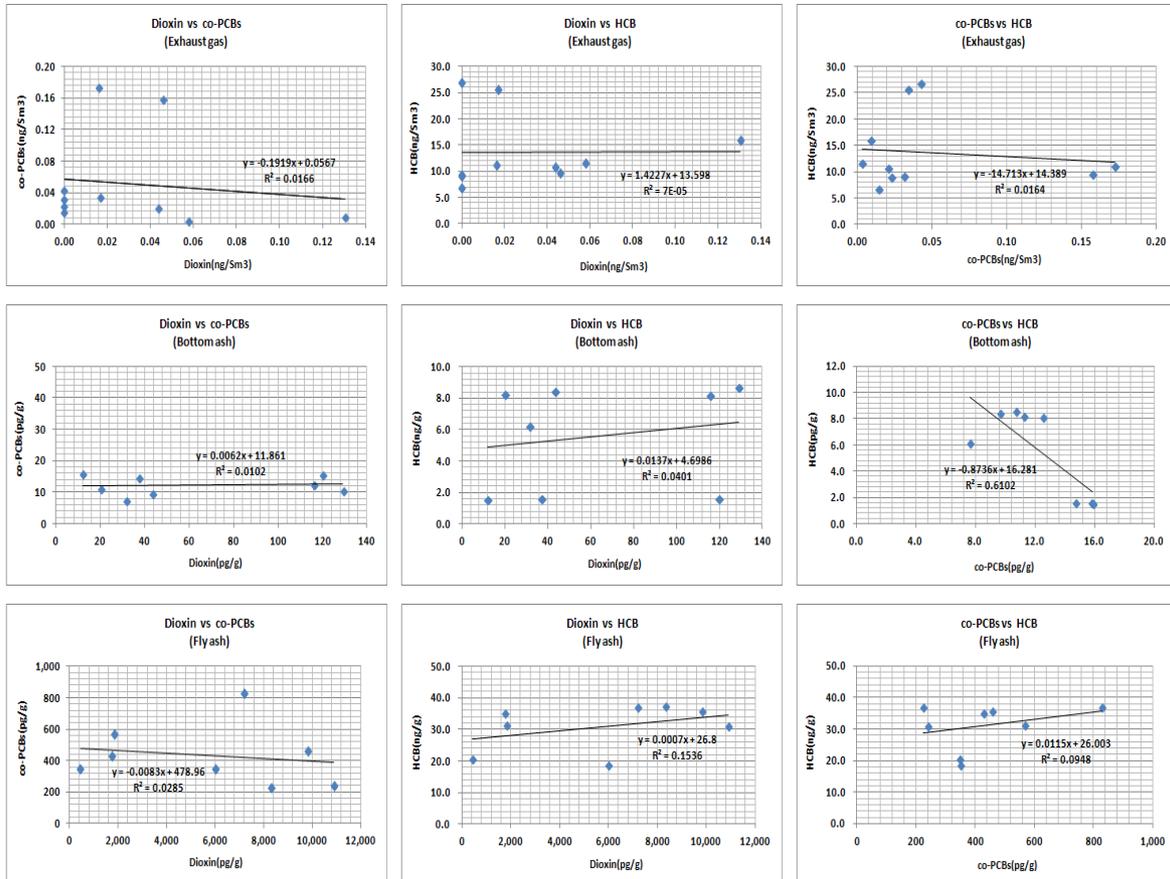


그림 6. 매질별 u-POPs 물질간의 상관관계

▷ u-POPs 물질별 매질간의 상관관계

- u-POPs 물질별 매질간의 상관관계를 조사한 결과는 그림 7에서 보는 바와 같이 다이옥신 실측농도의 경우 배출가스와 바닥재, 배출가스와 비산재 그리고 바닥재와 비산재 모두 부의 상관관계가 있었으나 유의성은 없는 것으로 나타났으며,
- co-planar PCBs 실측농도의 경우 배출가스와 바닥재는 부의 상관이었고, 나머지 매질간에는 양의 상관이었으나 모두 유의성은 없었음.
- HCB에 대한 매질간 상관관계는 다이옥신 실측농도와 마찬가지로 모든 매질간 부의 상관이었으나 유의성은 없는 것으로 나타났음.

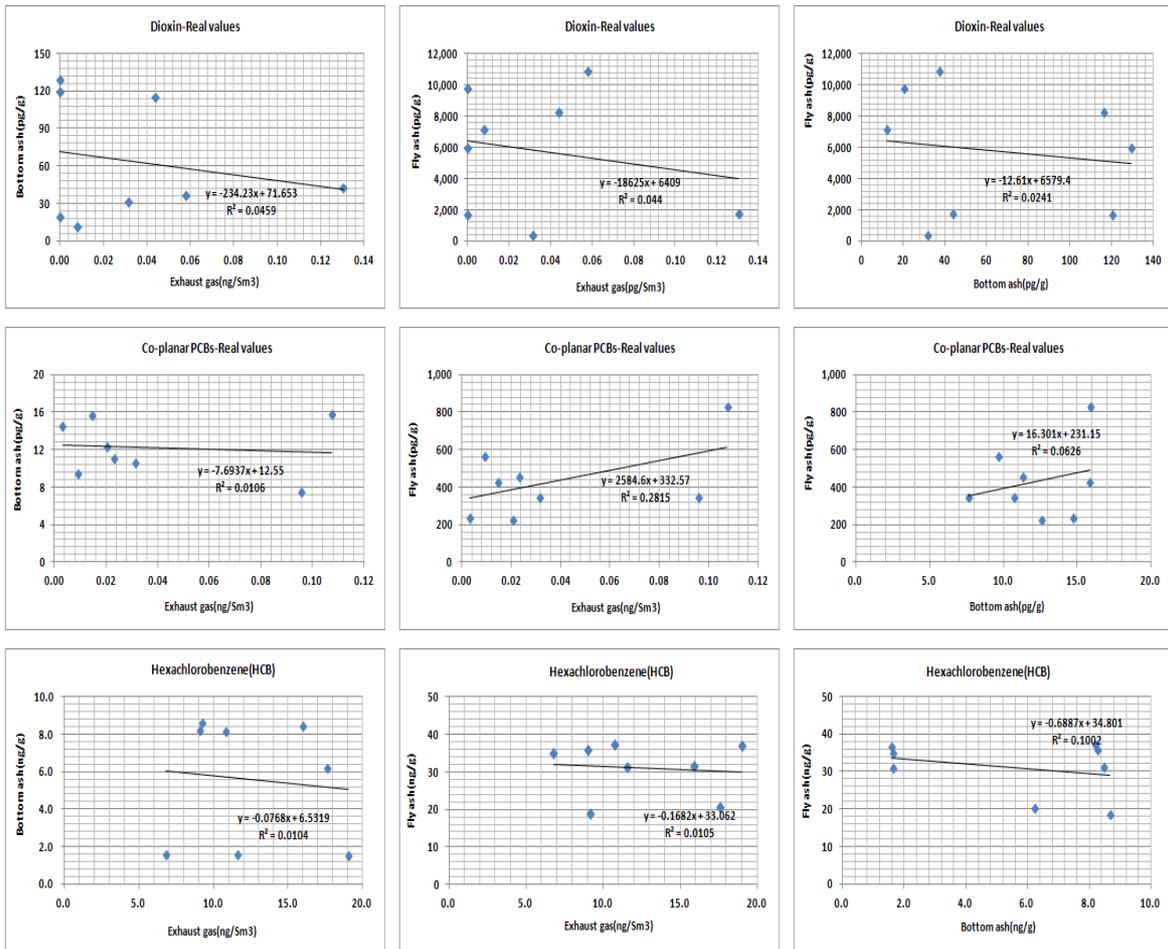


그림 7. u-POPs 물질별 매질간의 상관관계

4. 결 론

- 3개 소각장 5개 소각시설 모두 배출가스 중의 다이옥신 농도는 0.000~0.009 ng-TEQ/Sm³의 범위로 「잔류성유기오염물질 관리법」에서 정하는 배출허용기준인 0.1 ng-TEQ/Sm³의 최대 9% 수준이었으며,
- co-planar PCBs의 경우 0.000~0.001 ng-TEQ/Sm³의 범위로 배출허용기준 대비 최대 1% 수준으로 매우 미미한 수준이었고,
- 바닥재 및 비산재의 경우에도 「잔류성유기오염물질 관리법」에서 정하는 잔류성유기오염물질 함유 폐기물의 다이옥신 함유기준인 3 ng-TEQ/g의 최대 0.1 및 10% 수준으로 미미하였음.
- 환경부 보고에 따르면 다이옥신에 대한 소각장의 기여율이 여전히 높고, 또한 동일시설에서도 유입 폐기물 관리 및 로내 폐기물 소각기술 등의 운전조건에 따라 다이옥신 등 비의도적으로 생성되는 잔류성유기오염물질의 발생농도 및 배출특성이 달라지게 되므로 방지시설 운영 등 소각장 관리에 만전을 기할 필요가 있음.
- 특히 방지시설로 전기집진기를 사용할 경우 운전온도에 따라 de novo 합성에 의한 다이옥신의 재합성이 일어날 가능성이 크므로 운전온도를 낮추거나 활성탄 투입 등 다이옥신이 재합성되지 않도록 해야 함.
- co-planar PCBs의 경우 다이옥신에 비하여 비교적 낮은 농도로 검출되었으나 다이옥신과 유사한 독성을 지니고 있고, 또한 스탁홀름협약에서도 다이옥신 농도에 co-planar PCBs를 포함하고 있기 때문에 향후 규제해야할 물질로 예상이 되며,
- HCB의 경우에도 대기 배출허용기준은 설정이 되어있지 않으나, 소각장 등에서 비의도적으로 생성되는 물질이기 때문에 co-planar PCBs와 마찬가지로 배출원에서의 지속적인 관리가 필요할 것으로 판단됨.