

대형소각시설 잔류성유기오염물질 조사결과 보고

- 소각장 배출가스 및 소각재 중의 비의도적 잔류성유기오염물질 배출특성 및 분포특성 파악으로 저감대책 수립에 필요한 기초자료 제공

1. 조사개요

- 조사기간 : 2013. 1. ~ 2013. 12.
- 조사목적 : 소각장 배출가스 및 소각재 중의 비의도적 잔류성유기오염물질의 배출특성 및 분포특성을 파악하여 효과적인 소각로 운영 유도 및 오염물질 저감대책 수립에 필요한 기초자료 제공
- 조사근거 : 산업환경과-729(2013. 03. 22.)호 및 2300(2013. 09. 25.)

2. 조사방법

- 대상시설
 - 3개 소각장 5개 소각시설(상반기)
 - 해운대사업소 2기 : 170톤/일 × 2기
 - 다대사업소 1기 : 160톤/일 × 1기
 - 명지사업소 2기 : 170톤/일 × 2기
 - 2개 소각장 3개 소각시설(하반기)
 - 해운대사업소 1기 : 170톤/일 × 1기
 - 명지사업소 2기 : 170톤/일 × 2기
- 조사시기
 - 2013. 3. ~ 2013. 6.(상반기), 2013. 9. ~ 2013. 12.(하반기)
- 조사매질
 - 배출가스, 소각재(바닥재, 비산재)
- 조사항목 : u-POPs 물질(비의도적 잔류성유기오염물질)
 - 다이옥신류 17종
 - co-planar PCBs 12종
 - 유기염소계농약류 : HCB(Hexachlorobenzene) 1종

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)

표 2. co-planar PCBs congeners 및 WHO-TEF

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

¹⁾WHO-TEF : WHO독성등가계수(WHO Toxic Equivalent Factor)

3. 조사결과

○ 지점별 배출가스 및 소각재 중의 u-POPs 물질 농도

- 배출가스

- 배출가스 중의 다이옥신 농도는 0.000 ~ 0.013 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 재생성 될 가능성이 높은 전기집진기나 여과집진기의 운영에 주의를 기할 필요가 있음.
- co-planar PCBs는 0.001 ng-TEQ/Sm³이 검출된 상반기 해운대소각장 1호기 및 하반기 명지 1호기를 제외하고는 모두 0.000 ng-TEQ/Sm³이었음.
- HCB의 경우 명지소각장 1호기에서 상·하반기 각각 약 8.140 및 11.727 ng/Sm³, 하반기 명지 2호기에서 10.202 ng/Sm³으로 타 소각장에 비하여 높게 검출되었으며, 나머지 시설에서는 0.480 ~ 5.394 ng/Sm³이었음.

- 바닥재

- 바닥재 중 다이옥신의 경우 하반기 명지 소각장에서 3.403 pg-TEQ/g으로 가장 높게 검출되었으며, 나머지 시설에서는 0.217 ~ 1.935 pg-TEQ/g의 범위였으며,
- co-planar PCBs의 경우 상반기 명지소각장의 0.831 pg-TEQ/g을 제외하고는 0.000 ~ 0.160 pg-TEQ/g의 농도로써, 다이옥신 농도 약 10 % 수준으로 미미하였으며,
- HCB는 0.008 ~ 1.077 ng/g(평균 0.316 ng/g)이었으며, 상하반기 모두 명지소각장에서 상반기 1.077 ng/g, 하반기 0.519 ng/g으로 다른 지점보다 높은 농도를 나타내었음.

- 비산재

- 비산재의 경우 다이옥신, co-planar PCBs 및 HCB 등 조사 항목 모두 바닥재보다 높게 검출되었으며,
- 다이옥신의 경우 30.596 ~ 219.230 pg-TEQ/g, co-planar PCBs는 1.765 ~ 62.286 pg-TEQ/g 및 HCB는 1.196 ~ 18.075 ng/g으로 검출되었음.
- 다이옥신의 경우 최고 0.219 ng-TEQ/g으로 검출되어 「잔류성유기오염물질 관리법」상 잔류성유기오염물질 함유 폐기물의 다이옥신 기준이 3 ng-TEQ/g의 약 7 % 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.

표 3. 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	0.198	-	0.119	-	1.851	-
	해운대-2	0.059	0.064	0.080	0.075	1.607	5.394
	다대	0.091	-	0.062	-	0.480	-
	명지-1	0.008	0.073	0.048	0.311	8.140	11.727
	명지-2	0.010	0.023	5.892	0.034	1.191	10.202
소각재	바닥재						
	해운대-1	0.010	-	0.004	-	0.012	-
	해운대-2	0.016	0.006	0.008	0.001	0.136	0.144
	다대	0.005	-	0.035	-	0.008	-
	명지 ⁴⁾	0.046	0.077	0.057	0.017	1.077	0.519
비산재	해운대-1	4.804	-	0.279	-	2.353	-
	해운대-2	10.617	1.215	0.216	0.093	2.282	1.196
	다대	1.283	-	0.350	-	6.937	-
	명지 ⁴⁾	3.925	6.047	0.451	2.486	7.534	18.075

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 구분 없음

표 4. 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	0.013	-	0.001	-	-	-
	해운대-2	0.005	0.003	0.000	0.000	-	-
	다대	0.010	-	0.000	-	-	-
	명지-1	0.001	0.006	0.000	0.003	-	-
	명지-2	0.001	0.001	0.000	0.000	-	-
소각재	바닥재						
	해운대-1	0.451	-	0.019	-	-	-
	해운대-2	0.520	0.217	0.000	0.008	-	-
	다대	0.342	-	0.003	-	-	-
	명지 ³⁾	1.935	3.403	0.831	0.160	-	-
비산재	해운대-1	106.594	-	5.012	-	-	-
	해운대-2	213.265	30.596	3.703	1.765	-	-
	다대	52.234	-	7.046	-	-	-
	명지 ³⁾	134.556	219.230	10.088	62.286	-	-

1)1-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

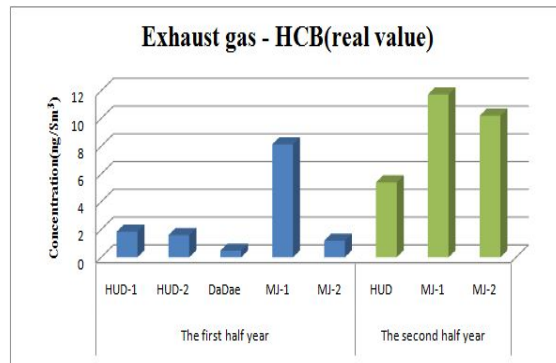
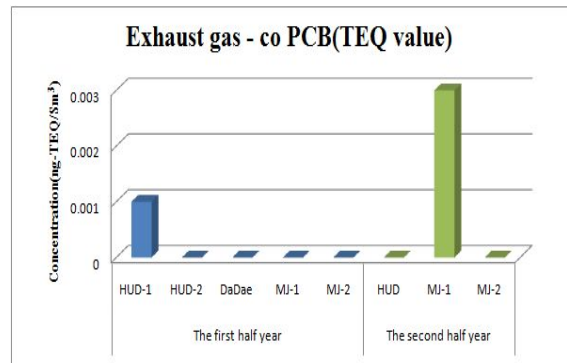
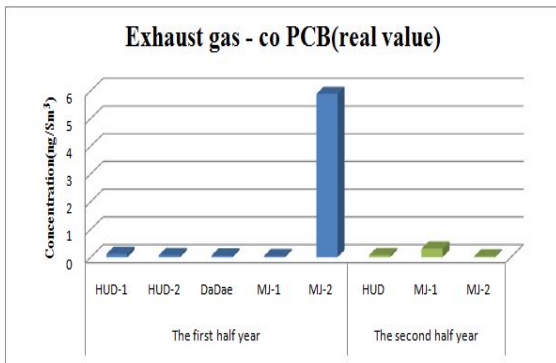
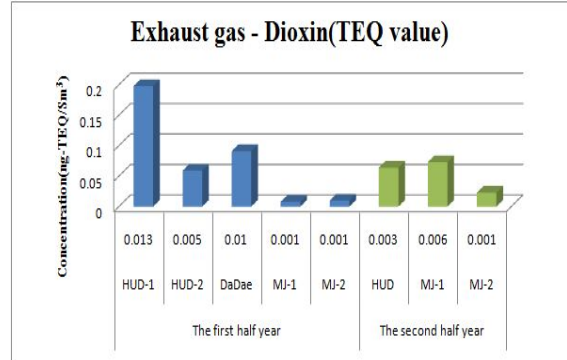
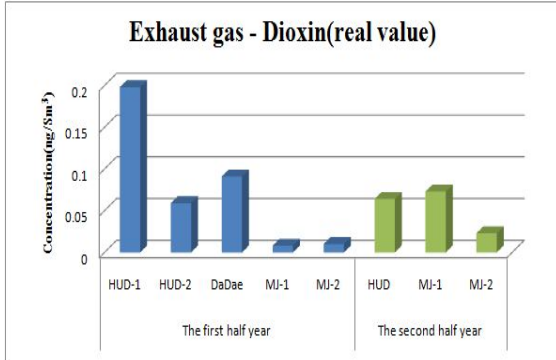


그림 1. 배출가스 중의 u-POPs 물질 농도

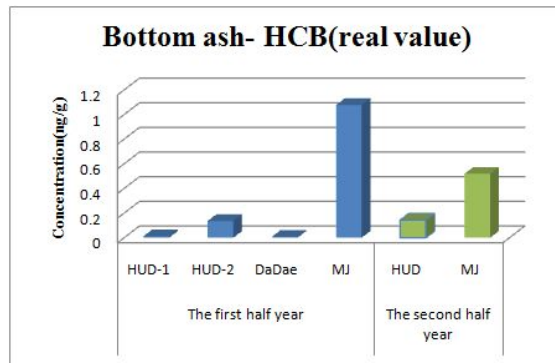
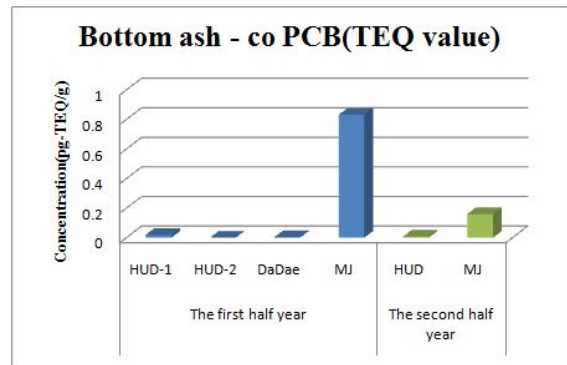
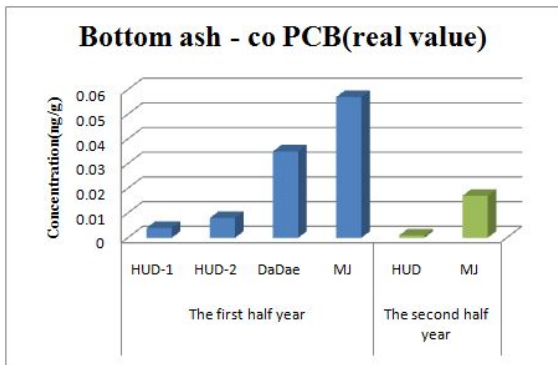
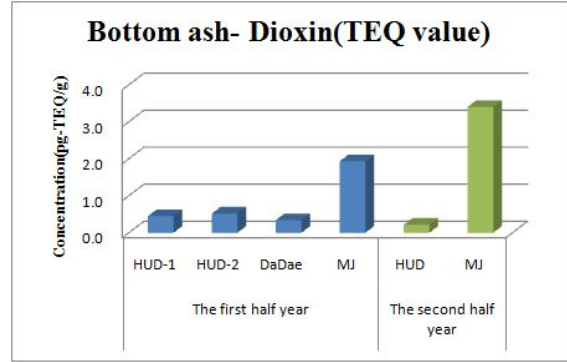
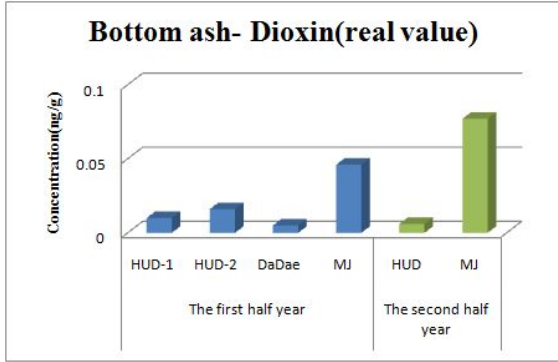


그림 2. 바닥재 중의 u-POPs 물질 농도

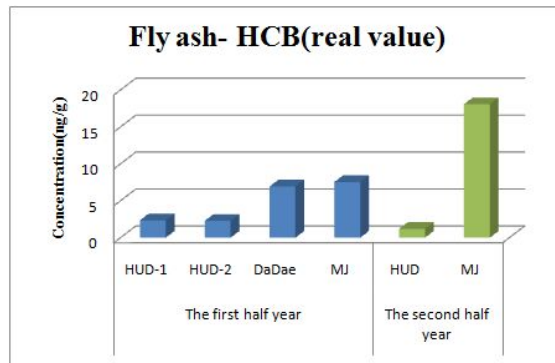
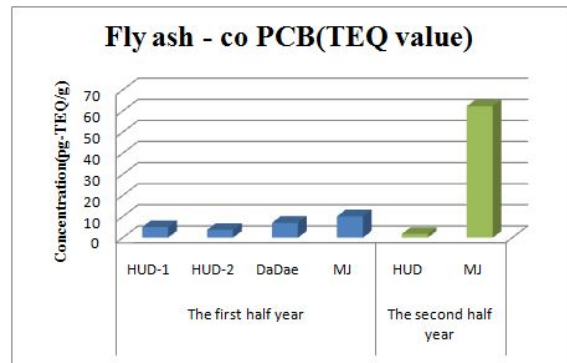
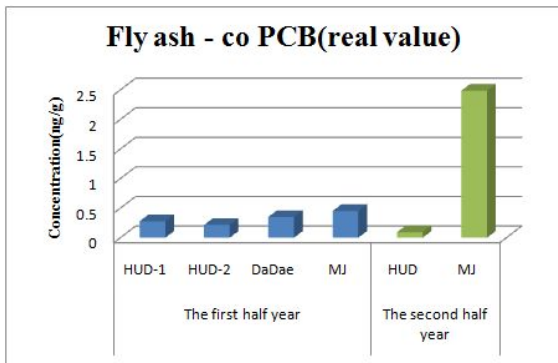
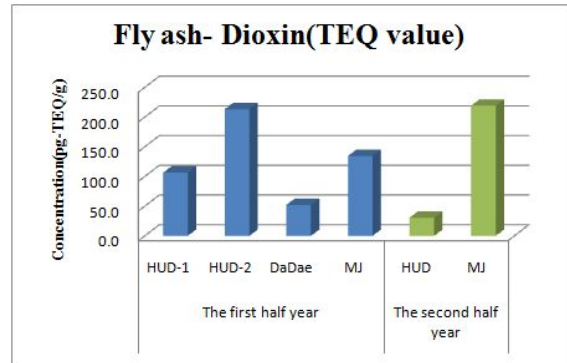
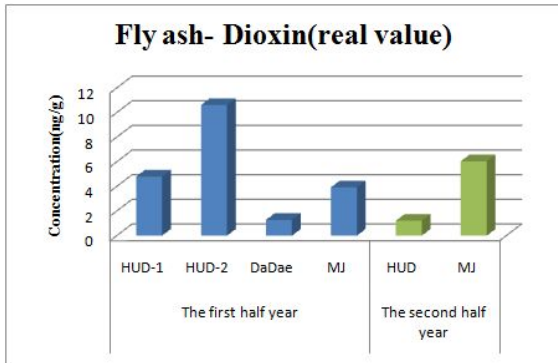


그림 3. 비산재 중의 u-POPs 물질 농도

○ 다이옥신 및 co-planar PCBs의 congener별 분포특성

- 다이옥신

- 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 기여율 각각 약 15.9 ~ 33.7 및 32.6 ~ 36.6 %로 17개 congener들 중 가장 높았음.
- OCDD의 경우 독성등가값(TEF)은 낮으나 촉매반응 및 열분해 등의 탈염소화반응으로 인해 독성등가값(TEF)이 높은 TCDD나 TCDF로 치환될 수 있으므로 그 양이 많은 것은 바람직하지 않음.
- TEQ 농도의 경우 TEF값이 1.0 ~ 0.001의 범위로 congener별로 각각 다르기 때문에 실측농도와는 약간 다른 경향을 보였으며,
- 배출가스 중 TEQ 농도는 농도가 낮은 명지 소각장 2호기를 제외하고는 다른 시설의 경우, 퓨란류의 기여율이 높게 나타났으며, 특히 23478-PeCDF의 비가 가장 높았음.
- 바닥재와 비산재의 경우, 조사대상 4개 지점 모두 배출가스와 마찬가지로 17개 이성질체 중 23478-PeCDF의 비의 기여율이 가장 높았으며, 123478-HxCDF, 비산재의 경우 123678-HxCDF의 순으로 높은 것으로 조사되었음.

- co-planar PCBs

- 배출가스 중 co-planar PCBs 실측농도의 경우 조사대상 5개 시설 중 명지 2호기를 제외한 모두 2,3',4,4',5-PeCB를 포함한 PeCB의 기여율이 가장 높았으며,
- TEQ농도의 경우 농도가 낮아 기여율이 높은 Congener의 경우 각 시료에 따라 각각 다르게 나타남.
- 바닥재 및 비산재 중의 co-planar PCBs 실측농도는 배출가스와 마찬가지로 2,3',4,4',5-PeCB의 기여율이 가장 높았으며,
- TEQ값의 경우에도 해운대 2호기 바닥재를 제외하고는 바닥재 및 비산재 모두 3,3',4,4',5-PeCB의 기여율이 80 %이상으로 가장 큰 비중을 차지함.

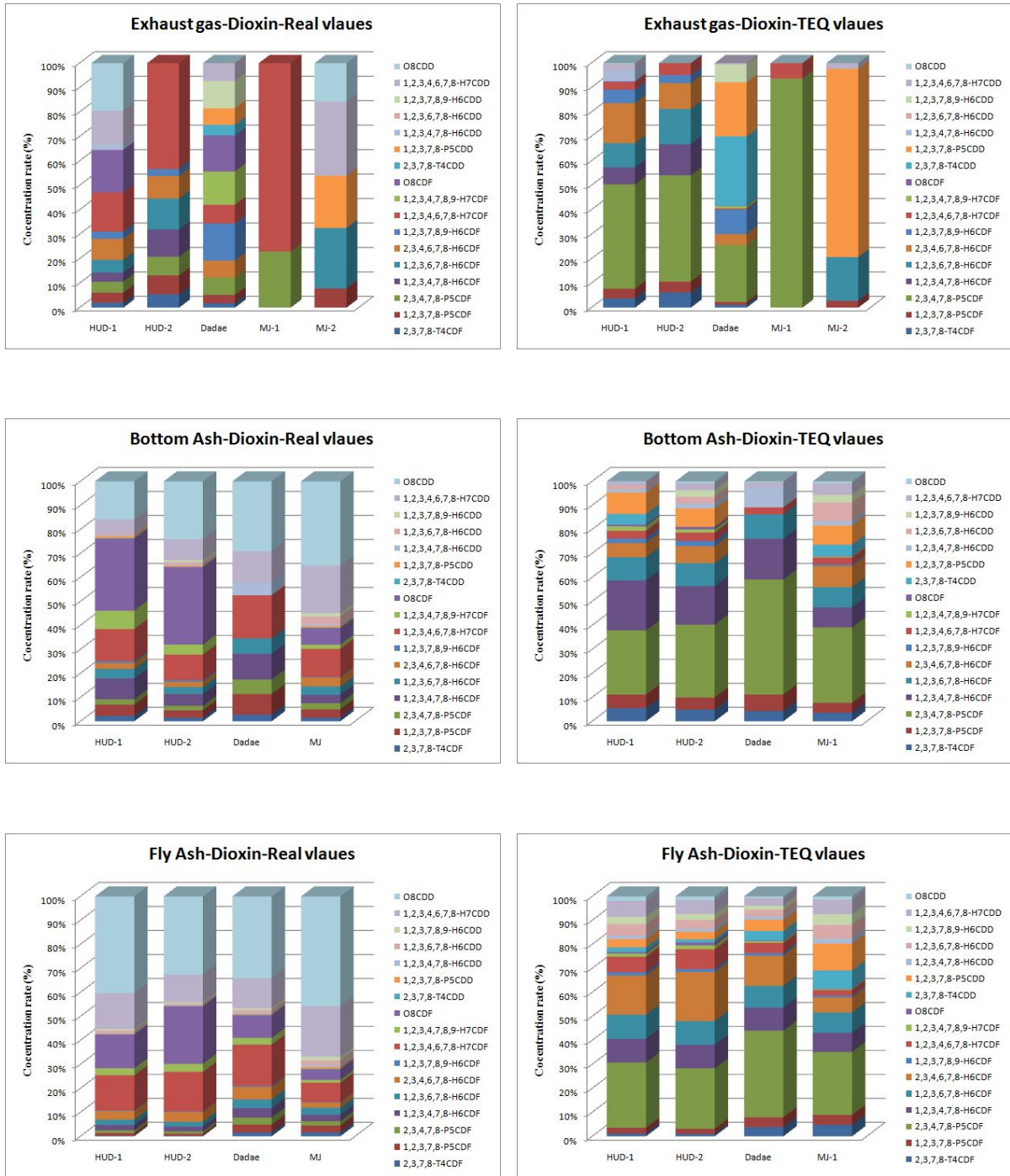


그림 4. 다이옥신의 congener별 기여율 평가

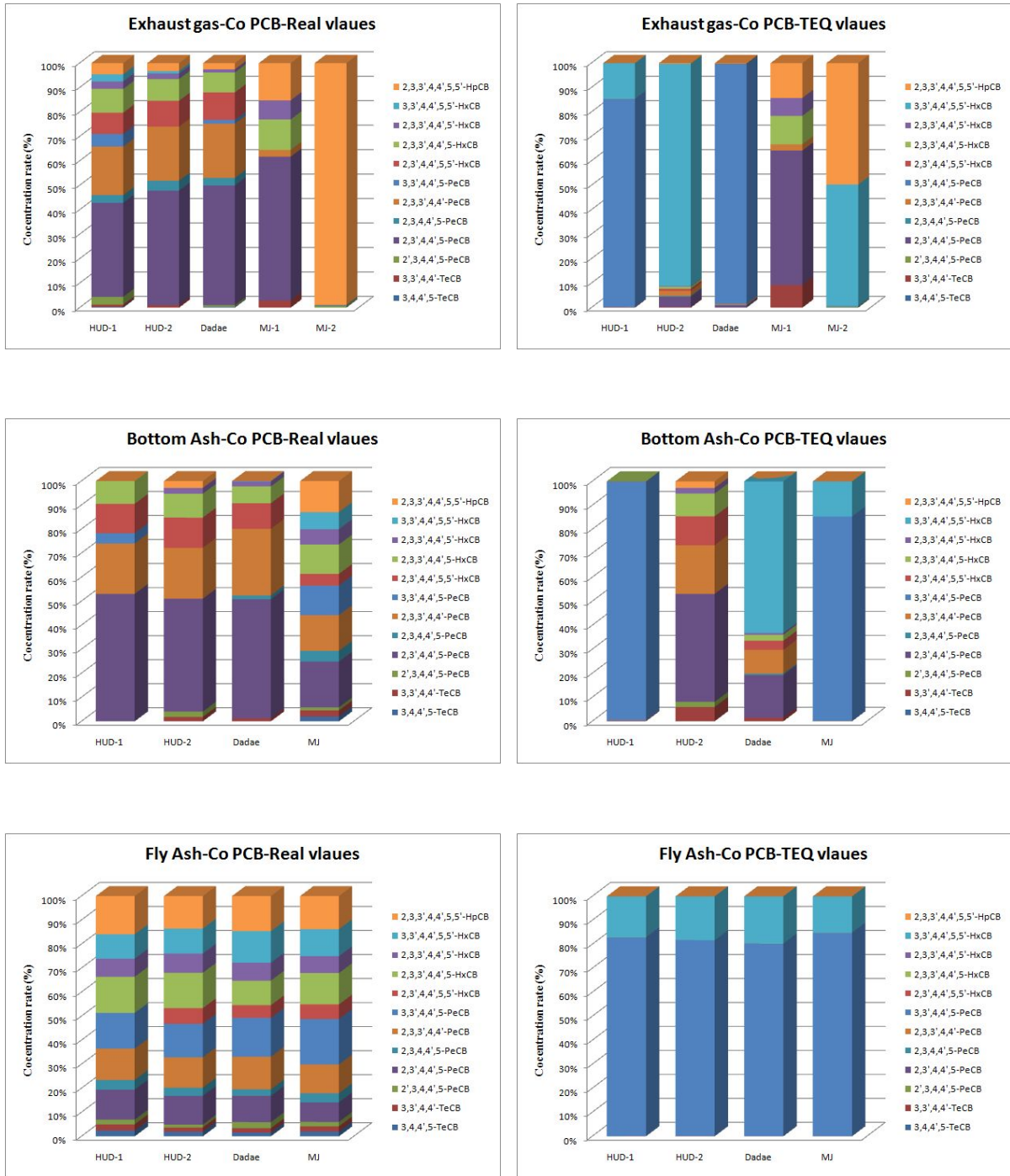


그림 5. Co-planar PCBs의 congener별 기여율 평가

○ 상관계수

- 각 매질별 u-POPs 물질간의 상관관계

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

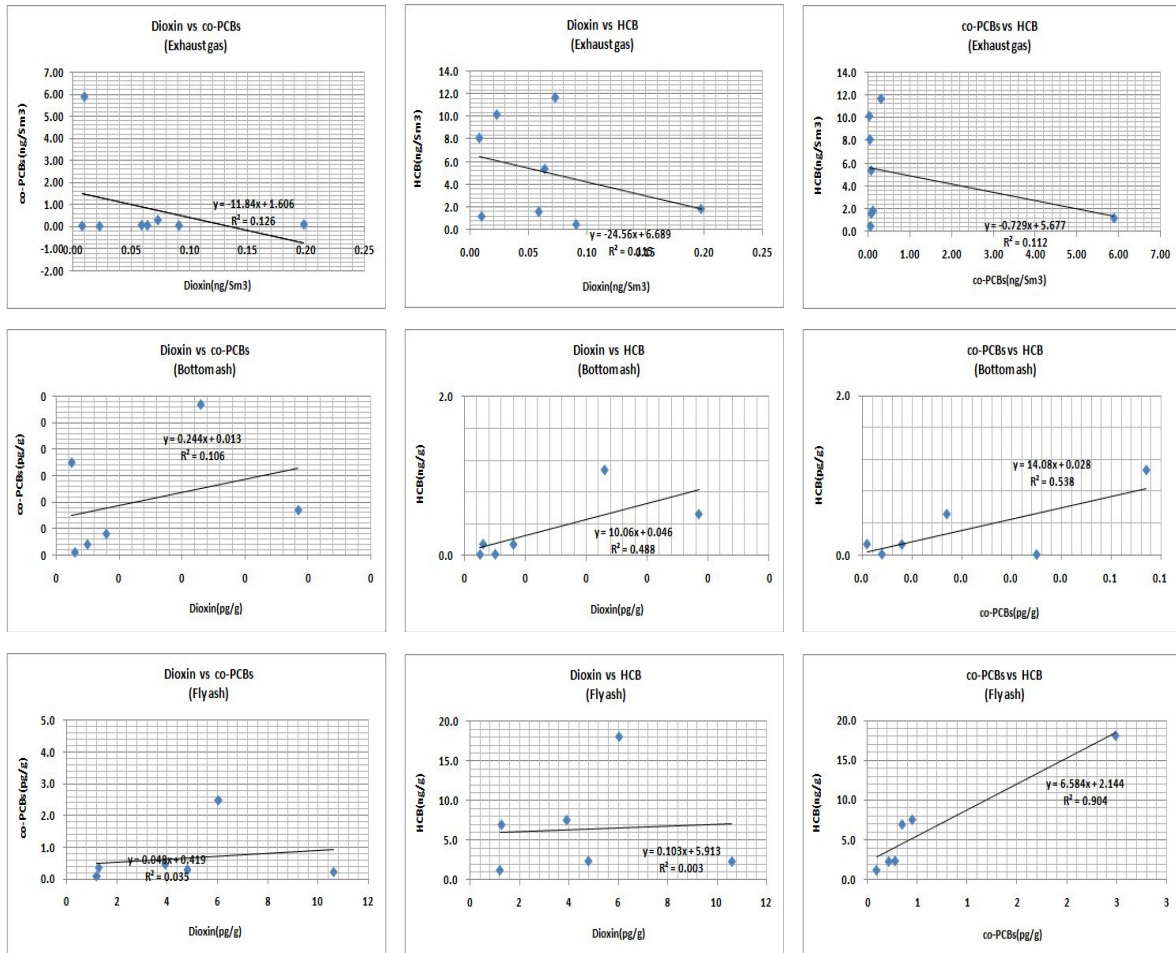


그림 6. 매질별 u-POPs 물질간의 상관관계

- 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 유의성은 없는 것으로 나타났으며,
- co-planar PCBs 실측농도의 경우 배출가스와 바닥재는 음의 상관이었고, 나머지 매질간에는 양의 상관이었으나 모두 유의성은 없었음.
- HCB에 대한 매질간 상관관계는 바닥재와 배출가스간에 양의 상관성을 보였으며, 나머지 매질은 모두 유의성은 없는 것으로 나타났음.

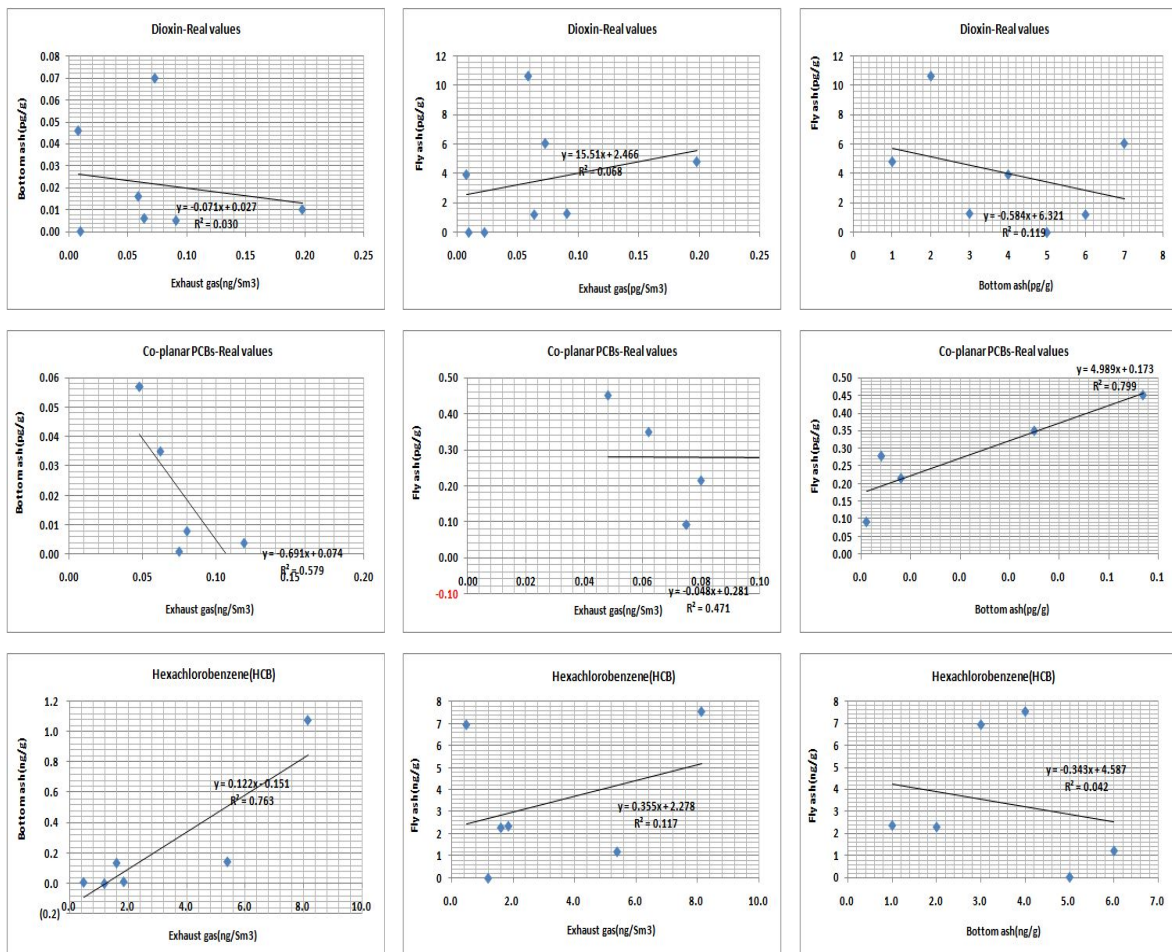


그림 7. u-POPs 물질별 매질간의 상관관계

4. 결론

- 배출가스 중의 다이옥신 농도는 0.001 ~ 0.013 ng-TEQ/Sm³의 범위로 「잔류성유기오염물질 관리법」에서 정하는 배출허용기준인 0.1 ng-TEQ/Sm³의 최대 13 % 수준이었으며,
- co-planar PCBs의 경우 0.000 ~ 0.003 ng-TEQ/Sm³의 범위로 배출허용기준 대비 최대 3 % 수준으로 매우 미미한 수준이었음.
- 바닥재 및 비산재의 경우에도 「잔류성유기오염물질 관리법」에서 정하는 잔류성유기오염물질 함유 폐기물의 다이옥신 함유기준인 3 ng-TEQ/g의 최대 0.1 및 7 % 수준으로 미미하였음.
- 환경부 보고에 따르면 다이옥신에 대한 소각장의 기여율이 여전히 높고, 또한 동일 시설에서도 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 스톡홀름협약에서도 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.