

## 대형소각시설 잔류성유기오염물질 조사

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

### 1. 조사개요

- 조사기간 : 2014년 1월 ~ 12월
- 조사목적 : 소각장 배출가스 및 소각재 중의 비의도적 잔류성유기오염물질의 배출특성 및 분포 특성을 파악하여 효과적인 소각로 운영 유도 및 오염물질 저감대책 수립에 필요한 기초자료 제공
- 조사근거 : 산업환경과-592(2014.03.10.)호 및 2356(2014.09.12.)

### 2. 조사내용 및 방법

- 대상시설
  - 2개 소각장 3개 소각시설
    - 해운대사업소 1기 : 170톤/일 × 1기
    - 명지사업소 2기 : 170톤/일 × 2기
- 조사시기
  - 2014년 3-6월(상반기), 9-12월(하반기)
- 조사매질
  - 배출가스, 소각재(바닥재, 비산재)
- 조사항목 : u-POPs 물질(비의도적 잔류성유기오염물질)
  - 다이옥신류 17종
  - Coplanar PCB 12종
  - 유기염소계농약류 : HCB(Hexachlorobenzene) 1종

표 1. 다이옥신 Congeners 및 I-TEF

Congener		I-TEF <sup>1)</sup>	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			

<sup>1)</sup> I-TEF : 국제 독성등가계수(International Toxic Equivalent Factor)

표 2. Coplanar PCBs congeners 및 WHO-TEF

	Congener	WHO-TEF <sup>1)</sup>		Congener	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

<sup>1)</sup>WHO-TEF : WHO독성등가계수(WHO Toxic Equivalent Factor)

### 3. 조사결과

#### ○ 지점별 배출가스 및 소각재 중의 u-POPs 물질 농도

##### - 배출가스

- 배출가스 중의 다이옥신 농도는 (0.000~0.006) ng-TEQ/Sm<sup>3</sup>의 범위로 「잔류성유기오염물질 관리법」에서 정하는 배출허용기준인 0.1 ng-TEQ/Sm<sup>3</sup>에 비하여 매우 미미한 수준으로 검출되었음.
- 그러나 방지시설 중 다이옥신이 재생성될 가능성이 높은 전기집진기나 여과집진기의 운영에 주의를 기할 필요가 있으며, 소각시 연소 온도, 체류 시간 등 연소조건이나 배가스 상태 등을 통해 저감방안 등을 연구할 필요가 있음.
- Coplanar PCBs는 0.001 ng-TEQ/Sm<sup>3</sup>이 검출된 상반기 명지소각장 1호기를 제외하고는 모두 0.000 ng-TEQ/Sm<sup>3</sup>이었음.
- HCB의 경우 명지소각장 2호기에서 하반기 18.868 ng/Sm<sup>3</sup>로 가장 높게 검출 되었으며 나머지 시설에서는 1.998~8.111 ng/Sm<sup>3</sup>이었음.

##### - 바닥재

- 바닥재 중 다이옥신의 경우 상반기 명지 소각장에서 8.647 pg-TEQ/g으로 가장 높게 검출되었으며, 나머지 시설에서는 (1.639~4.790) pg-TEQ/g의 범위였으며,
- Coplanar PCBs의 경우 (0.023~0.208) pg-TEQ/g의 농도로써, 다이옥신 농도 약 2.4 % 수준으로 미미하였으며,
- HCB는 (0.052~0.204) ng/g(평균 0.104 ng/g)이었으며, 작년 농도의 약 33 % 수준으로 농도가 감소하였음.

##### - 비산재

- 비산재의 경우 Dioxins, Coplanar PCBs 및 HCB 등 조사 항목 모두 바닥재보다 높게 검출되었으며,
- 다이옥신의 경우 (84.994~176.346) pg-TEQ/g, Coplanar PCBs는 (4.504~10.038) pg-TEQ/g 및 HCB는 (1.285~7.288) ng/g으로 검출되었음.
- 다이옥신의 경우 최고 0.176 ng-TEQ/g으로 검출되어 「잔류성유기오염물질 관리법」상 잔류성유기오염물질 함유 폐기물의 다이옥신 기준이 3 ng-TEQ/g의 약 6 % 수준이

있음.

- 특히, 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 <sup>1)</sup>		Coplanar PCBs <sup>2)</sup>		HCB <sup>3)</sup>		
		상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
배출가스	해운대	0.023	0.015	0.064	0.069	7.617	7.935	
	명지-1	0.049	0.023	0.228	0.039	1.998	8.111	
	명지-2	0.034	0.014	0.079	0.081	6.424	18.868	
소각재	바닥재	해운대	0.128	0.041	0.005	0.012	0.204	0.052
		명지 <sup>4)</sup>	0.110	0.045	0.009	0.024	0.088	0.072
	비산재	해운대	2.096	5.565	0.407	0.379	2.744	1.285
		명지 <sup>4)</sup>	3.710	4.954	0.237	0.342	7.288	5.078

1),2) 배출가스는 ng/Sm<sup>3</sup>, 바닥재 및 비산재는 pg/g임.

3) 배출가스는 ng/Sm<sup>3</sup>, 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 <sup>1)</sup>		Coplanar PCBs <sup>2)</sup>		HCB <sup>3)</sup>		
		상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	
배출가스	해운대	0.003	0.001	0.000	0.000	-	-	
	명지-1	0.006	0.003	0.001	0.000	-	-	
	명지-2	0.001	0.000	0.000	0.000	-	-	
소각재	바닥재	해운대	4.790	1.639	0.023	0.116	-	-
		명지 <sup>4)</sup>	8.647	1.819	0.064	0.208	-	-
	비산재	해운대	84.994	176.346	8.518	10.038	-	-
		명지 <sup>4)</sup>	142.069	134.694	4.504	7.472	-	-

1) I-TEQ값을 적용하였으며, 배출가스는 ng-TEQ/Sm<sup>3</sup>, 바닥재 및 비산재는 pg-TEQ/g임.

2) WHO-TEQ값을 적용하였으며, 배출가스는 ng-TEQ/Sm<sup>3</sup>, 바닥재 및 비산재는 pg-TEQ/g임.

3) 명지 소각장 바닥재 및 비산재는 1호기와 2호기 구분없음.

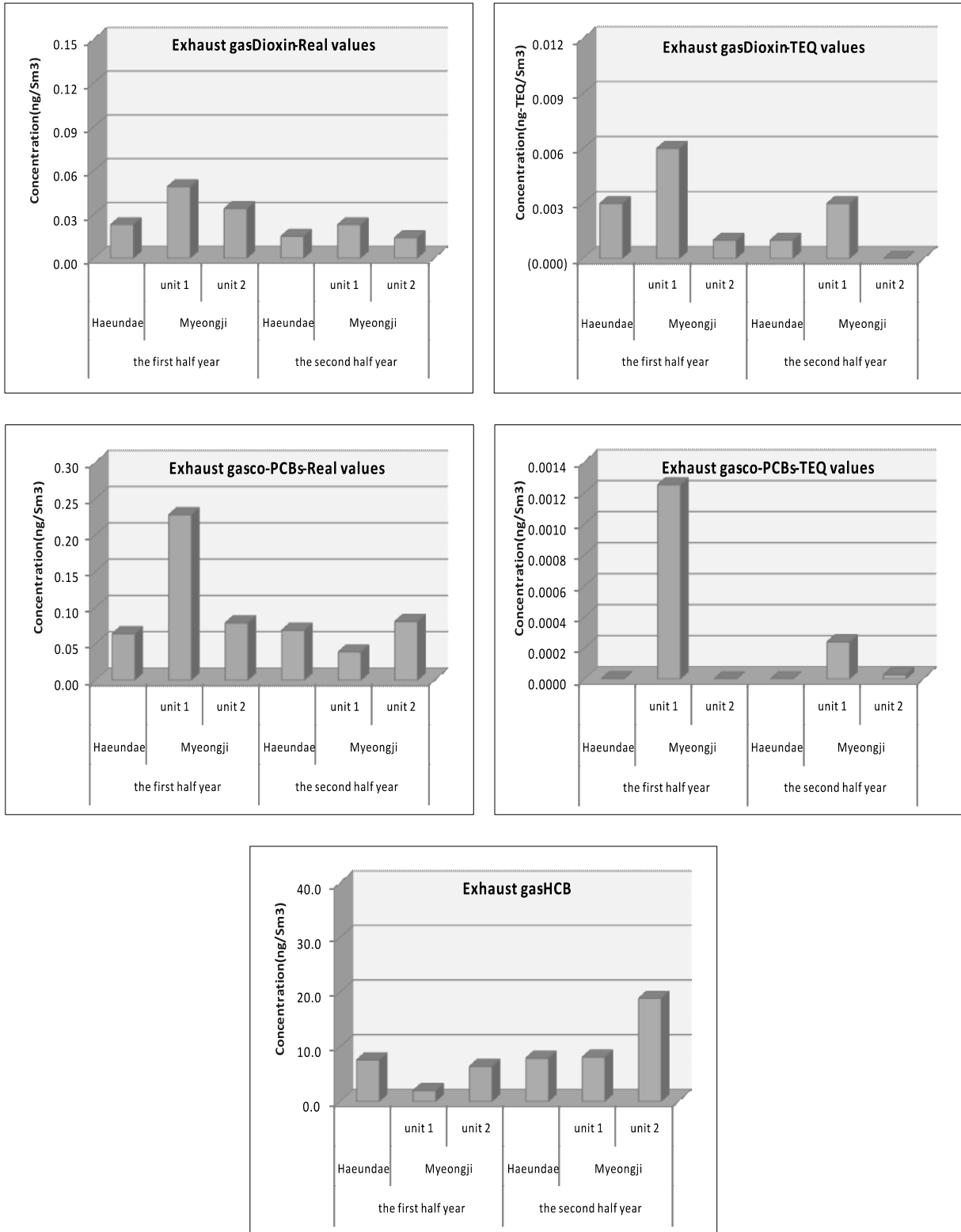


그림 1. 배출가스 중의 u-POPs 물질 농도

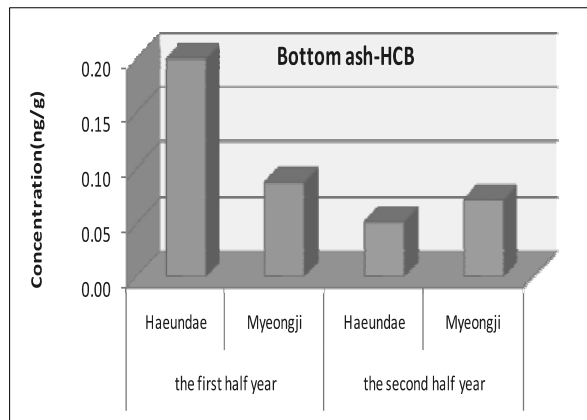
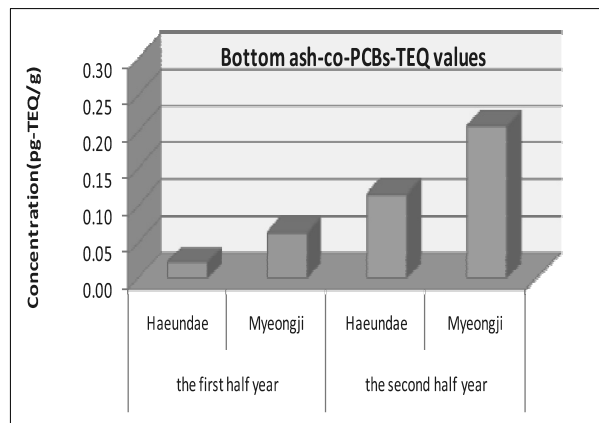
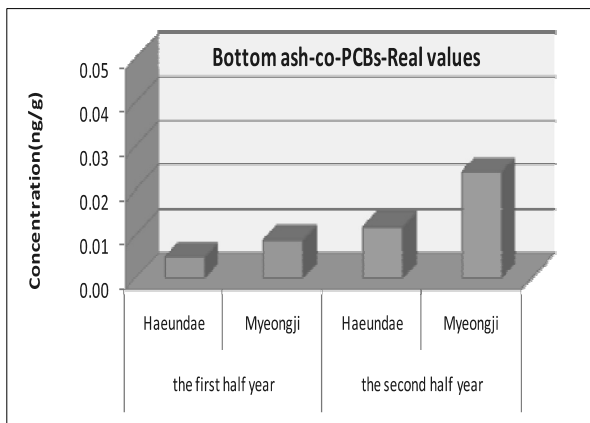
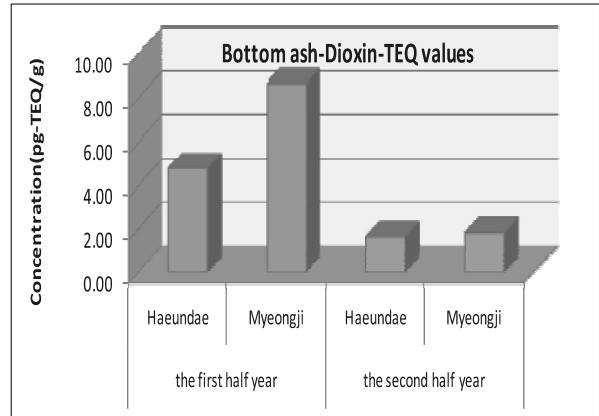
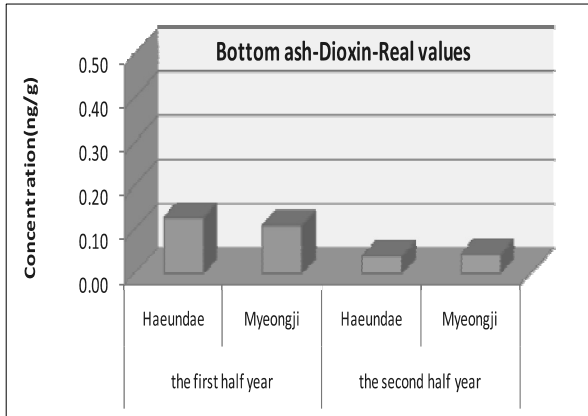


그림 2. 바닥재 중의 u-POPs 물질 농도

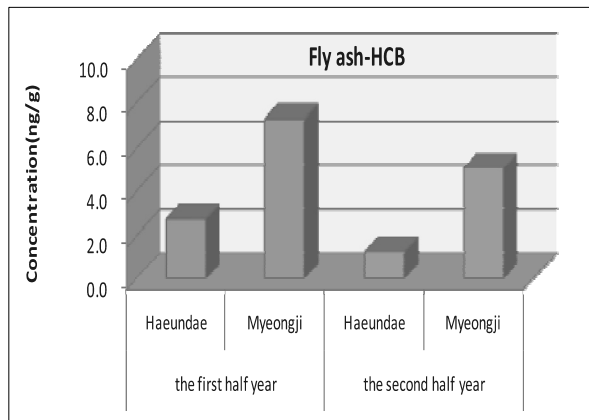
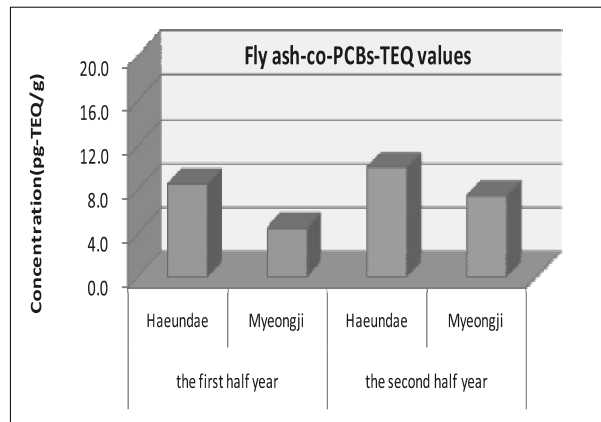
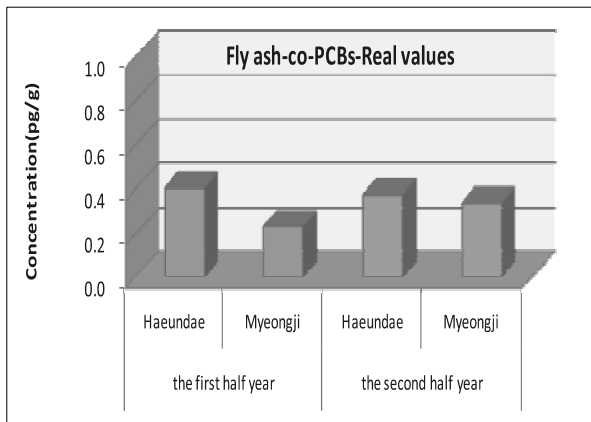
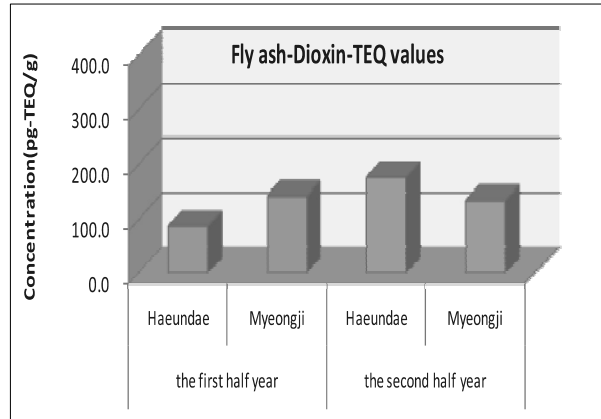
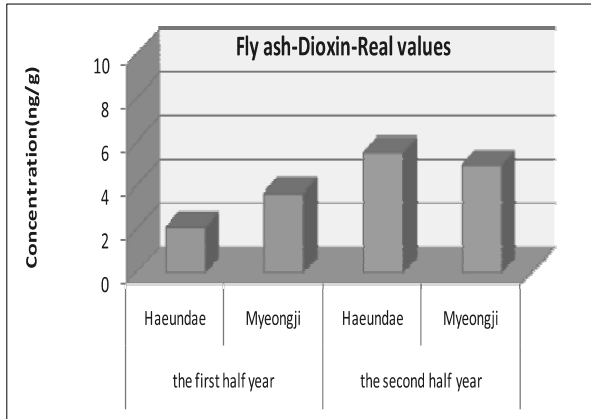


그림 3. 비산재 중의 u-POPs 물질 농도

## ○ Dioxins 및 co-PCBs의 Congener별 분포특성

## - Dioxins

- 배출가스 중 다이옥신 실측농도의 경우 명지2호기의 경우 다이옥신류가 높은 경향을 보였으며, 나머지는 다이옥신류보다 퓨란류의 기여율이 높았음
- 바닥재 및 비산재의 경우 조사대상 4개 시설 모두 OCDD의 기여율각각 약 18.2~53.9 및 (36.3~47.9) %로 17개 Congener들 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 않음.
- TEQ 농도의 경우 TEF값이 1.0~0.001의 범위로 Congener별로 각각 다르기 때문에 실측농도와는 약간 다른 경향을 보였음.
- 배출가스 중 TEQ 농도는 대부분 농도가 낮아 정확하게 분포패턴을 파악하기는 어려우나, 퓨란류의 기여율이 높게 나타났으며, 특히 23478-PeCDF의 비가 가장 높은 것으로 나타남.
- 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

## - Coplanar PCBs

- 배출가스 중 Coplanar PCBs 실측농도의 경우 조사대상 3개 시설 모두 23'44'5-PeCB를 포함한 PeCB의 기여율이 가장 높았으며,
- TEQ농도의 경우 농도가 낮아 기여율이 높은 Congener의 경우 각 시료에 따라 각각 다르게 나타남.
- Coplanar PCBs 실측농도는 바닥재는 23'44'5-PeCB, 비산재는 33'44'5-PeCB의 기여율이 가장 높게 나타남.
- TEQ값의 경우에는 바닥재는 33'44'55-HxCB, 33'44'5-PeCB의 기여도가 높았으며, 비산재는 33'44'5-PeCB의 기여율이 80 % 이상으로 가장 큰 비중을 차지함.

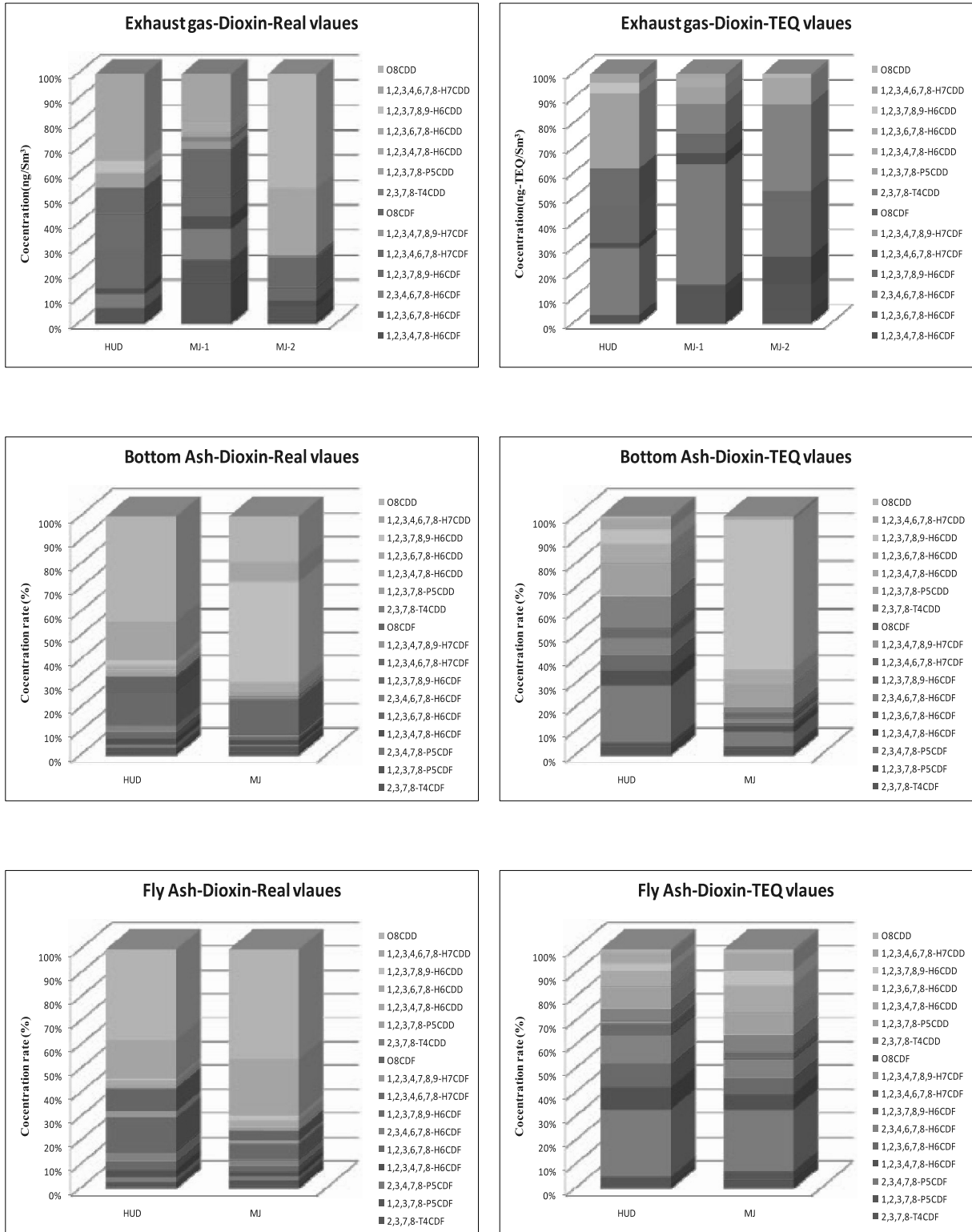


그림 4. 다이옥신의 congener별 기여율 평가



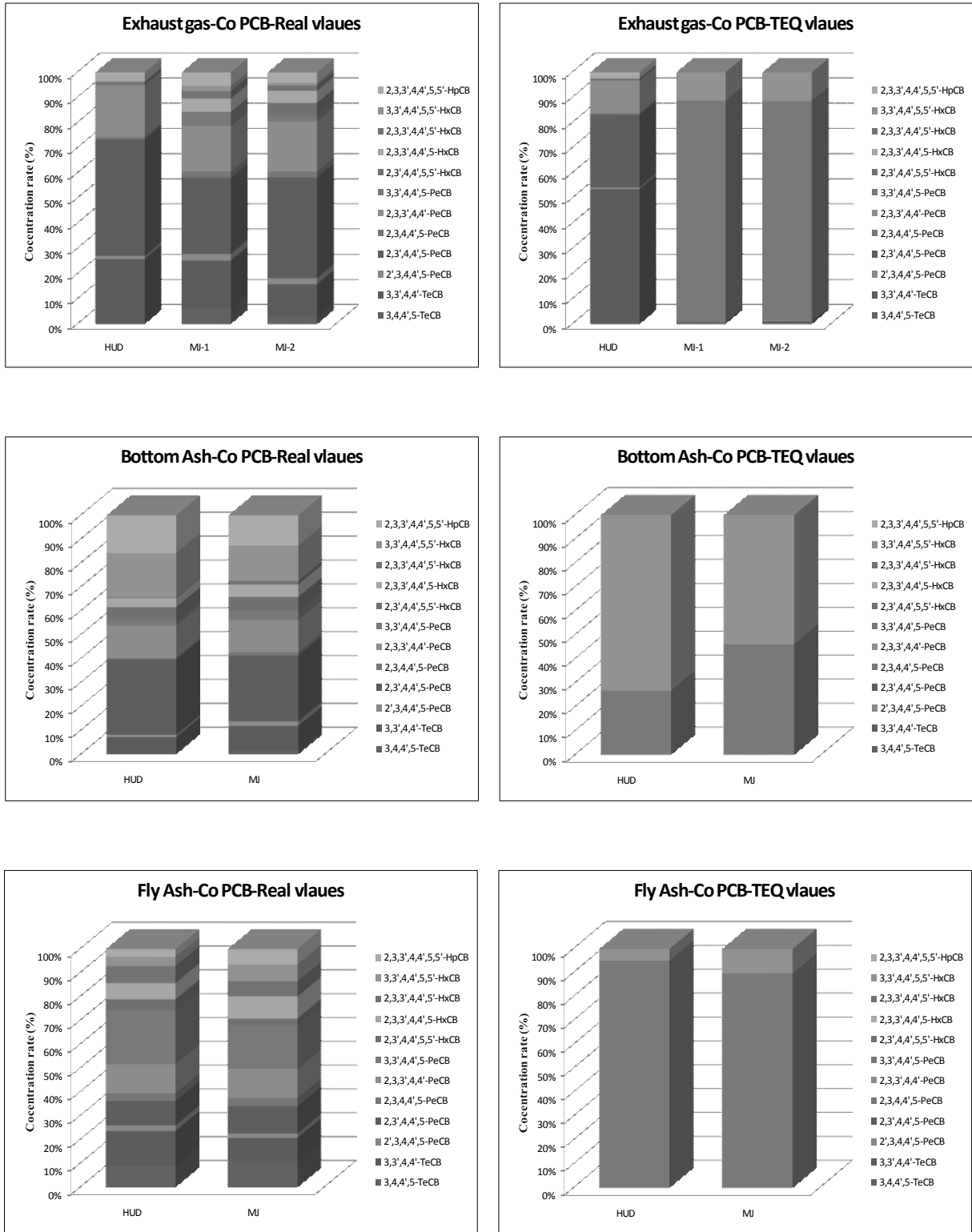


그림 5. Co-planar PCBs의 congener별 기여율 평가

○ 상관계수

- 각 매질별 u-POPs 물질간의 상관관계

- 매질별 u-POPs 물질간의 상관관계를 조사한 결과는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 다이옥신과 Coplanar PCBs의 경우 TEQ농도는 너무 낮아 상관관계 계산에 적당하지 않아 모두 실측농도를 적용하였음.
- 전체적으로 시료의 수가 적어 유의성 있는 자료를 찾기 어려웠음.
- 배출가스 및 바닥재 중의 다이옥신과 Coplanar PCBs의 실측농도간에는 다소 양의 상관성이 있는 것으로 나타났음.

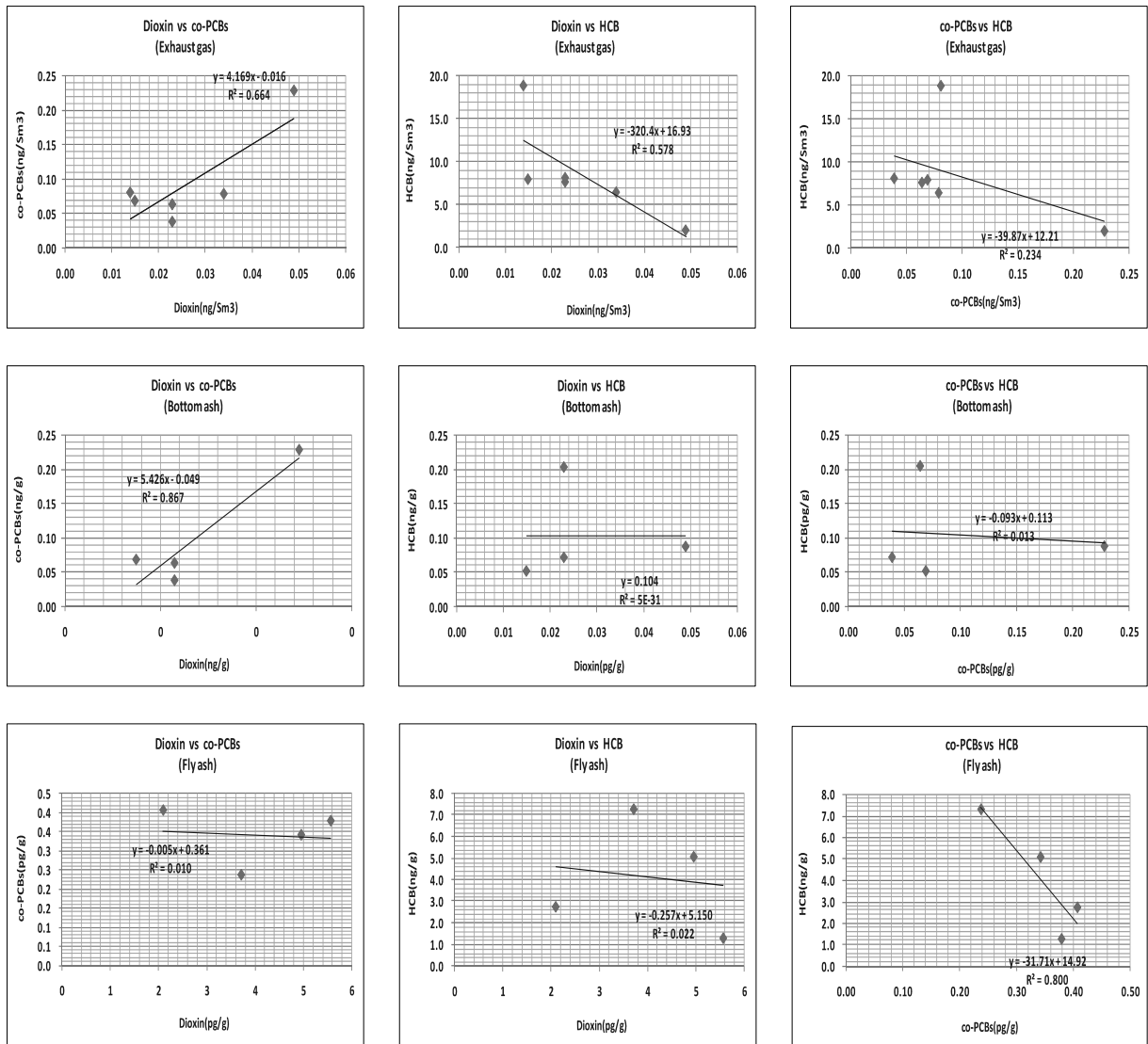


그림 6. 매질별 u-POPs 물질간의 상관관계

- u-POPs 물질별 매질간의 상관관계

- u-POPs 물질별 매질간의 상관관계를 조사한 결과는 Fig. 7에서 보는 바와 같이 다이옥신 실측농도의 경우 배출가스와 바닥재, 배출가스와 비산재 그리고 바닥재와 비산재 모두 유의성은 없는 것으로 나타났음.
- Coplanar PCBs 실측농도의 경우 배출가스와 바닥재는 음의 상관이었으나 나머지 매질간에는 양의 상관이었으나 모두 유의성은 없었음.
- HCB에 대한 매질간 상관관계는 배출가스와 바닥재/비산재간에 양의 상관성을 보였으며, 나머지 매질은 모두 유의성은 없는 것으로 나타났음.

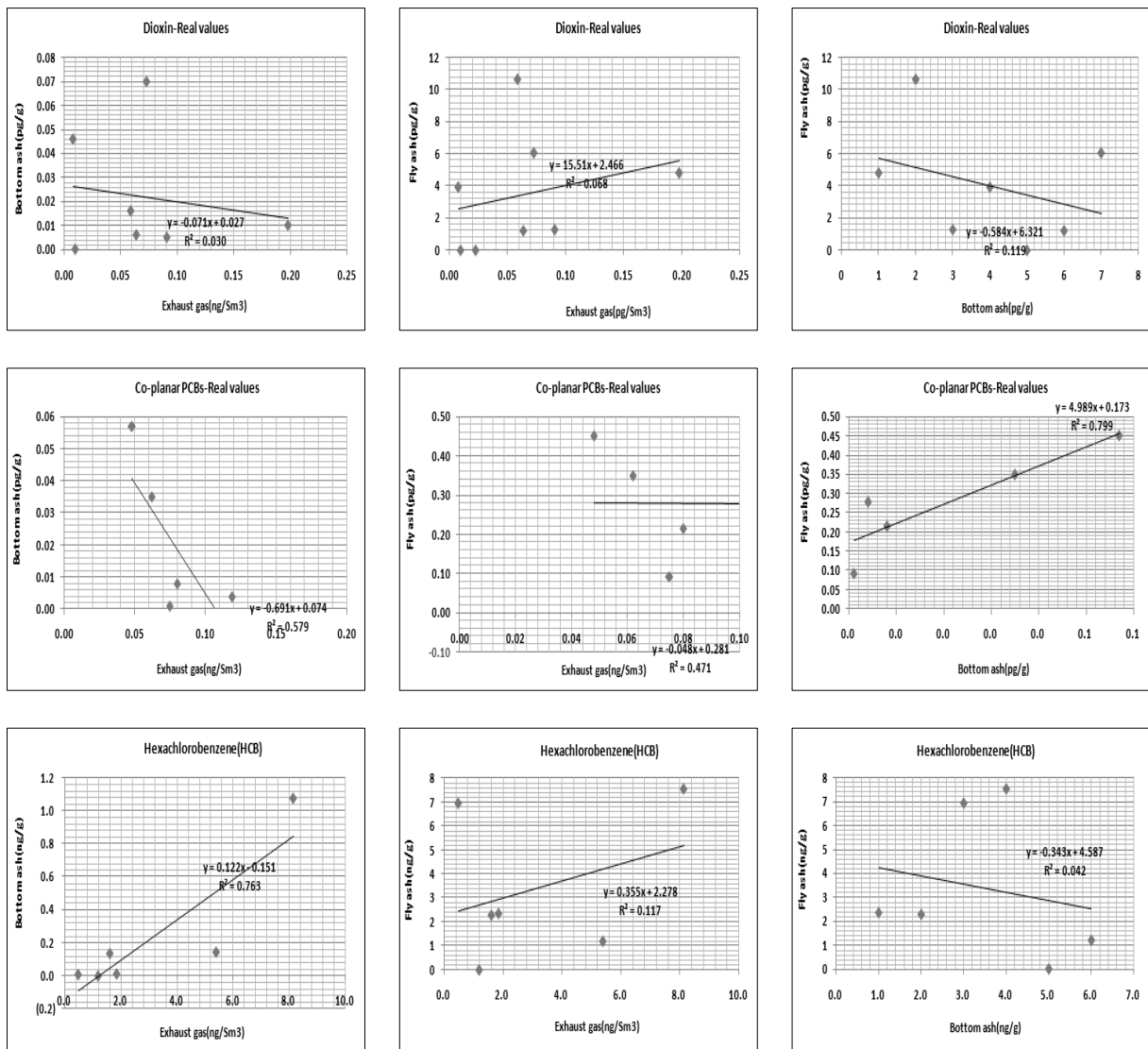


그림 7. u-POPs 물질별 매질간의 상관관계

#### 4. 결 론

- 배출가스 중의 다이옥신 농도는 0.000~0.006 ng-TEQ/Sm<sup>3</sup>의 범위로 「잔류성유기오염물질 관리법」에서 정하는 배출허용기준인 0.1 ng-TEQ/Sm<sup>3</sup>의 최대 6 % 수준이었음.
- Coplanar PCBs의 경우 0.000~0.001 ng-TEQ/Sm<sup>3</sup>의 범위로 배출허용기준 대비 최대 1 % 수준으로 매우 미미한 수준이었음.
- 바닥재 및 비산재의 경우에도 「잔류성유기오염물질 관리법」에서 정하는 잔류성유기오염물질 함유 폐기물의 다이옥신 함유기준인 3 ng-TEQ/g의 최대 0.3 및 6 % 수준으로 미미하였음.
- 환경부 보고에 따르면 아직까지 다이옥신에 대한 소각장의 기여율이 높고, 또한 동일시설에서도 연소 온도, 체류 시간 등 연소조건이나 배가스 상태 및 운전조건에 따라 다이옥신 등 비의도적으로 생성되는 잔류성유기오염물질의 발생농도 및 배출특성이 달라지게 되므로 적절한 방지 시설 운영을 통해 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.
- Coplanar PCBs의 경우 다이옥신에 비하여 비교적 낮은 농도로 검출되었으나 다이옥신과 유사한 독성을 지니고 있고, 또한 스톡홀름협약에서도 다이옥신 농도에 Coplanar PCBs를 포함하고 있기 때문에 앞으로도 계속 예의 주시해야 될 것으로 보임.
- HCB의 경우에도 대기 배출허용기준은 설정이 되어있지 않으나, 소각장 등에서 비의도적으로 생성되는 물질이기 때문에 Coplanar PCBs와 마찬가지로 배출원에서의 지속적인 관리가 필요할 것으로 판단됨.