

## 비산재 중 PCNs의 알칼리 열분해 특성에 관한 연구

김창희<sup>†</sup> · 선우 영\* · 김삼권\*

건국대학교 환경공학과, \*국립환경과학원 환경측정기준부

## Alkali-Pyrolysis Characteristics of Polychlorinated Naphthalenes (PCNs) in Fly Ash

Chang-Whei Kim<sup>†</sup>, Young Sunwoo\*, and Sam-Cwan Kim\*

Department of Environmental Engineering, Konkuk University, 1 Hwayang-Dong, Gwangjin-Gu, Korea

\*Environmental Measurement Standards Department of National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea

The behavior and removal characteristics of PCNs in fly ash obtained from municipal solid waste incineration facilities was investigated. The process was run under alkali pyrolytic treatment in a laboratory-scale heating system and the effective factors concerning its behavior were also investigated. The purpose of the investigation was to identify pyrolytic characteristic of PCNs which can be produced during combustion process. From the analysis results of sample ashes (A and B), the total concentrations of PCNs were 4.8 ng/g and 5.7 ng/g respectively. The change of PCNs concentrations upon the different temperatures for 1 h were monitored to be 4.74 ng/g, 7.39 ng/g at 100°C, 2.09 ng/g, 1.10 ng/g at 200°C and 19.15 ng/g, 18.46 ng/g at 300°C, respectively. At 200°C, the concentration of PCNs were decreased significantly. This phenomenon can be explained by thermal decomposition process, which is followed by dissociation reactions of chlorides. However, the exponential increase of concentrations of PCNs at 300°C would be the result of resynthesis of chlorides so called de novo synthesis. The concentration of PCNs from fly ashes which was treated 50 mL of 1M and 3M NaOH at 100°C, 200°C and 300°C respectively, were inversely proportions to NaOH concentration and temperature.

**Key words :** PCNs (polychlorinated naphthalenes), Fly ash, alkali-pyrolysis

### 1. 서 론

폴리염화나프탈렌(Polychlorinated Naphthalenes, PCNs)은 나프탈렌( $C_{10}H_8$ -)에 결합되어 있는 수소가 염소로 치환된 화합물로, 염소의 위치와 치환수에 따라 일염화물부터 팔염화물까지 75종의 동질체가 존재한다. PCNs은 물리화학적으로 PCBs와 유사한 구조를 가진다. 또한 열에 안정하며, 전기 절연성이 좋고 휘발점과 인화점이 낮다. 화학적으로 난용성이나, 많은 유기용매에 가용성이다. 1910년부터 1980년까지 Halowax, Nibren Waxes, Seekay Waxes 등의 상업적 물질로 많은 양이 생산되었으나 현재는 많은 국가에서 사용이 금지되었다. PCBs와 함께 소각 및 산업공정에

서 비의도적으로 생성되기도 하며 실제 환경 중에 잔류하므로 지속적인 저감대책의 시행이 요구된다. 이에 본 연구에서는 생활폐기물 소각시설 A, B의 비산재를 알칼리 열분해하여 PCNs의 농도변화를 비교·분석하였으며 알칼리 열분해 특성을 고찰하였다.

### 2. 연구방법

#### 2.1. 연구대상시설

본 연구에서는 소각시설에서 배출되는 비산재 중 알칼리 열분해에 의한 PCNs의 제거효율을 평가하기 위하여, 생활폐기물 소각시설 중 A(300톤/일), B(250톤/일) 소각시설을 연구대상으로 선정하였다. 소각시설의

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

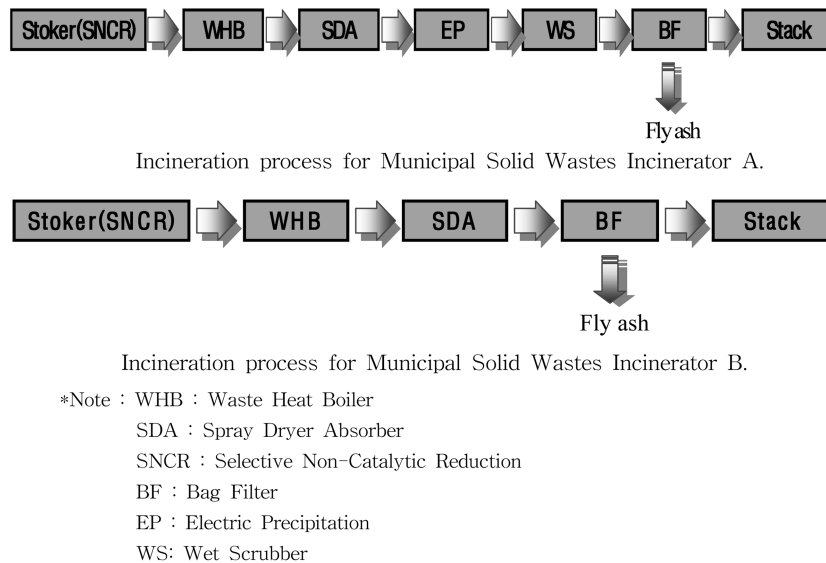


Fig. 1. Schematic diagrams of incineration processes for this study.

소각처리공정은 Fig. 1과 같다.

2.2. 시료채취

본 실험에서 사용된 시료는 현재 가동 중인 A, B 생활폐기물 소각시설의 배가스 처리시설에서 포집된 비산재를 대상으로 하였으며, 비산재는 A, B 소각장의 여과집진장치(BF : Bag Filter)에서 포집된 비산재를 채취한 후, 공기 중 수분 및 이산화탄소에 대한 영향을 고려하여 폴리에틸렌 백에 담아 밀봉하여 냉장 보관하였다.

2.3. 분석방법

본 실험에서는 비산재의 열분해를 위해 1000°C까지 가열이 가능한 전기로와 25 L 용량의 석영반응조(120(Ø)×500(H))를 제작 사용하였다. 알루미늄 재질의 시료용기 도가니에 60°C에서 24시간 건조된 비산재 100 g을 담아 석영 반응기에 넣은 후, 100°C, 200°C, 300°C 각각의 온도에서 NaOH 1 N과 3 N 용액 50 mL를 가한 군과 가하지 않은 군으로 나누어 열처리했다. 열분해과정을 거친 시료는 속실텐 추출, 다층 실리카겔컬럼 정제 등 전처리 과정을 거쳤다.

다층 실리카겔컬럼은 안지름 10 mm, 길이 300 mm의 유리관 하부에 유리섬유를 깔고 위로부터 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 6 g/10% AgNO<sub>3</sub> Silica-gel 3 g/Silica-gel 1 g/22% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Silica-gel 6 g/Silica-gel 1 g/44% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Silica-gel 4.5 g/Silica-gel 1 g/2% KOH Silica-

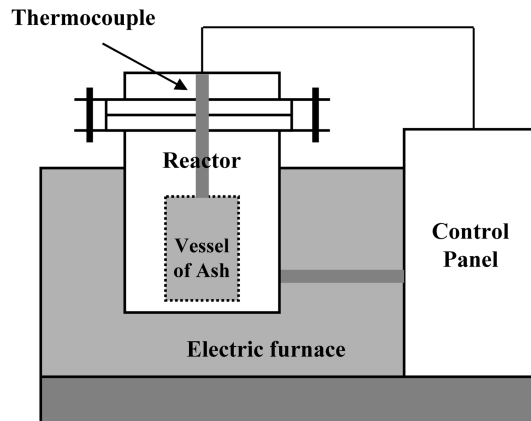


Fig. 2. Schematic diagram of thermal treatment system for fly ash.

Table 1. GC/MS analytical condition

GC/MS	Analytical condition
system	Agilent 6890GC/5973N MS
column	DB-5MS(15 m×0.32 mmI.D.×0.25 μm)
oven temp	75°C(2 min) - (15°C/min)→150°C - →(2.5°C/min)→300°C(15 min)
inlet temp	300°C
injection volume	1 uL
injection mode	splitless
flow rate	1.0 mL/min(He 99.999%)
source temp	230°C
ionization mode	EI(70 eV)
detection mode	SIM

gel 3 g/Silica-gel 1 g을 차례로 충전한 컬럼에 속실렛 추출 농축액을 옮겨 넣고, 노르말헥산 200 ml을 넣은 분액깔때기를 사용하여 매초 1방울의 속도로 용출시킨 후, 그 용출액을 감압농축기에서 약 1 ml까지 농축하였다. 농축된 시료를 다시 질소가스를 이용하여 약 100  $\mu$ l까지 농축한 후 GC/MS 분석을 위한 최종시료로 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 물리화학적 특성

본 연구를 위해 선정된 A, B 소각장 비산재의 물리·화학적 성질 및 산화물 함량 등을 분석한 결과는 Table 2과 같고, pH는 각각 10.45, 12.1 강열감량은 각각 8.56, 7.54%(wt)이었다. 비산재의 대부분이 산화물이므로 산소의 함량이 41%(wt)이상이었고, 염소의 함량은 25~32%(wt)이었다. 이러한 결과는 대부분 생활쓰레기 중 염(salt)성분에 의한 것으로 판단되며, 활성탄의 분무에 따라 비산재 중의 탄소함량도 3~4%(wt)로 비교적 높게 나타났다.

#### 3.2. PCNs의 농도 및 분포특성

본 연구에서는 생활 폐기물 소각시설 2개소(A, B)의 비산재에 대하여 PCNs 동질체를 조사하였으며, 각 동질체별 분석결과는 Fig. 3과 같다.

각 비산재에 포함된 PCNs의 총 농도는 A비산재 4.84 ng/g, B비산재 5.7 ng/g이었으며, 각 동질체의 검출패턴은 A비산재의 경우 1, 5, 6, 7염화물, B비산재의 경우 1, 3, 4, 5, 6염화물 등이 고농도로 검출되는 경향을 나타내었다. 연구대상 A, B 비산재에서 모두

Table 2. Physico-chemical property of raw fly ash

Items	Raw fly ash A	Raw fly ash B	
pH	10.45	12.1	
Water content (wt%)	1.74	1.69	
Loss of Ignition (wt%)	8.56	7.54	
Alkalinity (mg · eq/l)	40.45	45.77	
Diameter (avg. $\mu$ m)	17.55	18.85	
Elements (wt%)	C	3.55	4.21
	H	2.76	2.45
	N	0.10	0.57
	S	1.23	4.21
	O	36.74	41.11
	Cl	25.86	32.19

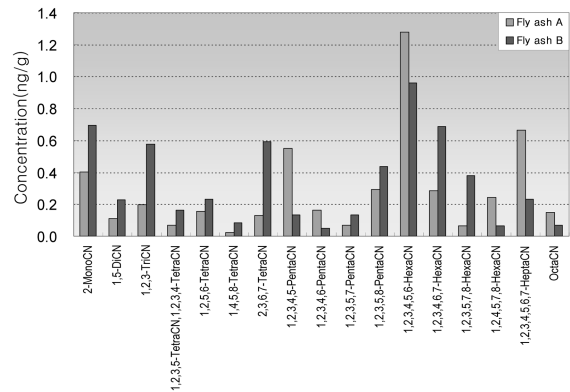


Fig. 3. Congener profiles of PCNs as a total concentration in the fly ash A, B.

PCNs 동질체 1,2,3,4,5,6-HexaCN가 가장 높은 농도로 검출되었으며, B 비산재에서는 PCNs 동질체 2-MonoCN, 1,2,3-TriCN, 2,3,6,7-TetraCN, 1,2,3,5,8-PentaCN, 1,2,3,4,6,7-HexaCN, 1,2,3,5,7,8-HeptaCN이 비교적 높은 농도로 검출되었다.

#### 3.3. 알칼리 열분해에 의한 비산재 중 PCNs의 농도 변화

##### 3.3.1 열분해 온도 및 시간에 따른 비산재 중 PCN의 농도변화 특성

열분해 온도조건에 따른 비산재의 PCNs 농도변화 특성을 조사하기 위하여 열분해 온도를 100°C, 200°C, 300°C로 변화시키고 각 온도에서 처리시간을 1시간과 3시간으로 변화시켜 실험하였으며, 결과를 살펴보면 1시간 처리한 후의 총 농도변화는 100°C에서 각각 A비산재 4.74 ng/g, B비산재 6.5 ng/g, 200°C에서 0.90 ng/g, 1.10 ng/g, 300°C에서 19.15 ng/g, 18.46 ng/g으로 나타났다. 온도조건 변화에 의한 비산재의 PCNs 농도분포 특성은 200°C에서 감소되는 반면 300°C에서는 농도가 증가하는 경향을 나타냈다. 특히 200°C 1시간의 조건에서 열분해한 결과 2-MonoCN, 1,5-DiCN, 1,2,3-TriCN을 제외한 모든 동질체의 PCNs 농도의 제거효율이 90% 이상이었다. 이러한 결과는 저온에서 탈염소화 반응에 의한 염소의 해리에서 기인한 PCNs 구조의 분해 때문인 것으로 추정된다. 또한 100°C 1시간 열분해 조건에서 비산재 A, B 모두에서 1,5-DiCN의 농도가 원비산재보다 증가되는 경향을 확인하였다. 300°C 3시간의 조건에서는 비산재 A, B 모두 공통적으로 1,2,3,5,8-PentaCN, 1,2,3,4,5,6-HexaCN, 1,2,3,4,6,7-

HexaCN, 1,2,3,4,5,6,7-HeptaCN이 급격히 증가하는 경향을 나타냈다. 이와 같은 PCNs 동질체의 농도증가는 디노버 합성반응(de novo synthesis) 등 염화물의 재

합성에 의한 것으로 판단된다(Stieglitz, 1987). 온도 및 시간조건에 따른 비산재 A, B의 PCNs 동질체별 농도 분포는 Table 3과 같다.

**Table 3. a)** Concentration of PCNs as total concentration in the fly ash A, time variation

Cl	Congener	ASH A	100°C 1Hr	100°C 3Hr	200°C 1Hr	200°C 3Hr	300°C 1Hr	300°C 3Hr	
1Cl	2-Mo-CN	0.404	0.481	0.547	0.494	0.039	1.115	0.392	
2Cl	1,5-Di-CN	0.109	0.094	0.701	0.213	0.065	0.306	0.421	
3Cl	1,2,3-Tri-CN	0.199	0.207	0.242	0.183	0.142	1.248	11.636	
4Cl	1,2,3,4-Te-CN	0.068	0.062	0.047	0.003	0.040	0.093	0.997	
	1,2,3,5-Te-CN		0.154	0.129	0.169	0.002	0.106	1.036	8.232
	1,4,5,8-Te-CN		0.024	0.045	0.022	0.000	0.013	0.903	4.641
	2,3,6,7-Te-CN		0.130	0.108	0.262	0.001	0.096	1.087	5.157
5Cl	1,2,3,4,5-Pe-CN	0.551	0.498	0.494	0.002	0.431	0.616	5.765	
	1,2,3,4,6-Pe-CN	0.163	0.144	0.157	0.001	0.131	0.423	2.854	
	1,2,3,5,7-Pe-CN	0.069	0.059	0.071	0.000	0.058	0.356	2.815	
	1,2,3,5,8-Pe-CN	0.291	0.250	0.307	0.000	0.239	1.954	10.995	
6Cl	1,2,3,4,5,6-Hx-CN	1.277	1.321	1.457	0.004	1.187	2.022	22.148	
	1,2,3,4,6,7-Hx-CN	0.283	0.274	0.374	0.001	0.270	1.392	14.530	
	1,2,3,5,7,8-Hx-CN	0.065	0.067	0.088	0.000	0.070	0.528	2.352	
	1,2,4,5,7,8-Hx-CN	0.241	0.261	1.169	0.001	0.242	1.609	17.026	
7Cl	1,2,3,4,5,6,7-Hp-CN	0.662	0.616	0.840	0.004	0.615	3.128	25.020	
8Cl	Oc-CN	0.147	0.131	0.157	0.000	0.128	1.337	2.447	
	Total Congener	4.840	4.747	7.104	0.909	3.872	19.151	137.42	

**Table 3. b)** Concentration of PCNs as total concentration in the fly ash B, time variation

Cl	Congener	ASH B	100°C 1Hr	100°C 3Hr	200°C 1Hr	200°C 3Hr	300°C 1Hr	300°C 3Hr	
1Cl	2-Mo-CN	0.694	0.833	0.926	0.604	0.792	0.430	1.480	
2Cl	1,5-Di-CN	0.226	0.352	0.602	0.288	0.237	0.306	0.421	
3Cl	1,2,3-Tri-CN	0.576	0.624	0.512	0.200	0.100	1.248	3.860	
4Cl	1,2,3,4-Te-CN	0.163	0.147	0.106	0.003	0.078	0.093	0.997	
	1,2,3,5-Te-CN		0.230	0.150	0.206	0.002	0.209	1.036	1.360
	1,4,5,8-Te-CN		0.085	0.045	0.022	0.000	0.013	0.903	4.641
	2,3,6,7-Te-CN		0.591	0.560	0.393	0.001	0.309	1.087	2.530
5Cl	1,2,3,4,5-Pe-CN	0.131	0.237	0.290	0.002	0.040	0.616	5.765	
	1,2,3,4,6-Pe-CN	0.049	0.100	0.062	0.001	0.037	0.423	2.854	
	1,2,3,5,7-Pe-CN	0.131	0.059	0.071	0.000	0.037	0.356	2.815	
	1,2,3,5,8-Pe-CN	0.435	0.474	0.412	0.000	0.568	1.954	8.000	
6Cl	1,2,3,4,5,6-Hx-CN	0.958	1.321	1.457	0.000	0.798	2.022	16.280	
	1,2,3,4,6,7-Hx-CN	0.688	0.274	0.374	0.001	0.530	1.392	14.530	
	1,2,3,5,7,8-Hx-CN	0.379	0.356	0.640	0.000	0.203	0.528	2.352	
	1,2,4,5,7,8-Hx-CN	0.064	0.225	0.320	0.001	0.059	1.609	2.580	
7Cl	1,2,3,4,5,6,7-Hp-CN	0.230	0.616	0.840	0.000	0.327	3.128	9.360	
8Cl	Oc-CN	0.070	0.131	0.157	0.000	0.053	1.337	1.480	
	Total Congener	5.700	6.504	7.390	1.103	4.390	18.466	81.305	

3.3.2. NaOH 농도에 따른 비산재 중 PCNs의 농도 변화

NaOH농도에 따른 비산재의 PCNs 농도변화 특성을 조사하기 위하여 100°C, 200°C, 300°C에서 NaOH

1 M, 3 M 용액 50 ml로 처리한 비산재 A, B의 PCNs 농도는 온도와 NaOH 농도에 따라 전체적으로 감소하는 경향을 확인하였다. Table 3, 4에서 나타내는 것과 같이 비교적 안정적인 1염화물과 2염화물에서의

**Table 4. a)** Concentration of PCNs as a total concentration in the fly ash A, treated at different NaOH concentrations for 1hrs

Cl	Congener	ASH A	100°C 1N 1Hr	100°C 3N 1Hr	200°C 1N 1Hr	200°C 3N 1Hr	300°C 1N 1Hr	300°C 3N 1Hr
1Cl	2-Mo-CN	0.404	0.374	0.474	0.538	3.141	0.278	2.122
2Cl	1,5-Di-CN	0.109	0.664	0.652	0.774	0.773	0.408	0.086
3Cl	1,2,3-Tri-CN	0.199	0.086	0.085	0.087	0.104	0.385	0.199
4Cl	1,2,3,4-Te-CN	0.068	0.037	0.038	0.002	0.045	0.036	0.050
	1,2,3,5-Te-CN							
5Cl	1,2,5,6-Te-CN	0.154	0.083	0.081	0.001	0.114	0.049	0.273
	1,4,5,8-Te-CN	0.024	0.012	0.006	0.000	0.009	0.008	0.013
	2,3,6,7-Te-CN	0.130	0.203	0.168	0.001	0.300	0.183	0.076
	1,2,3,4,5-Pe-CN	0.551	0.245	0.232	0.001	0.367	0.292	0.448
6Cl	1,2,3,4,6-Pe-CN	0.163	0.077	0.069	0.000	0.107	0.073	0.079
	1,2,3,5,7-Pe-CN	0.069	0.036	0.036	0.000	0.042	0.027	0.011
	1,2,3,5,8-Pe-CN	0.291	0.110	0.107	0.000	0.141	0.08	0.028
	1,2,3,4,5,6-Hx-CN	1.277	0.617	0.536	0.002	0.958	0.671	0.494
7Cl	1,2,3,4,6,7-Hx-CN	0.283	0.140	0.118	0.000	0.172	0.093	0.012
	1,2,3,5,7,8-Hx-CN	0.065	0.036	0.030	0.000	0.040	0.017	0.008
	1,2,4,5,7,8-Hx-CN	0.241	0.118	0.094	0.001	0.137	0.068	0.253
	1,2,3,4,5,6,7-Hp-CN	0.662	0.006	0.004	0.000	0.449	0.207	0.018
8Cl	Oc-CN	0.147	0.001	0.001	0.000	0.060	0.011	0.000
	Total Congener	4.840	2.845	2.731	1.407	6.959	2.866	4.170

**Table 4. b)** Concentration of PCNs as a total concentration in the fly ash A, treated at different NaOH concentrations for 3hrs

Cl	Congener	ASH A	100°C 1N 3Hr	100°C 3N 3Hr	200°C 1N 3Hr	200°C 3N 3Hr	300°C 1N 3Hr	300°C 3N 3Hr
1Cl	2-Mo-CN	0.404	0.404	0.24	0.182	0.325	2.292	0.214
2Cl	1,5-Di-CN	0.109	0.109	0.448	0.292	0.584	1.032	0.247
3Cl	1,2,3-Tri-CN	0.199	0.199	0.065	0.039	0.058	0.052	0.110
4Cl	1,2,3,4-Te-CN	0.068	0.068	0.037	0.038	0.002	0.013	0.036
	1,2,3,5-Te-CN							
5Cl	1,2,5,6-Te-CN	0.154	0.154	0.039	0.026	0.001	0.058	0.049
	1,4,5,8-Te-CN	0.024	0.024	0.012	0.006	0.000	0.009	0.008
	2,3,6,7-Te-CN	0.130	0.13	0.234	0.227	0.001	0.143	0.183
	1,2,3,4,5-Pe-CN	0.551	0.551	0.169	0.123	0.001	0.247	0.169
6Cl	1,2,3,4,6-Pe-CN	0.163	0.163	0.071	0.026	0.000	0.130	0.073
	1,2,3,5,7-Pe-CN	0.069	0.069	0.036	0.036	0.000	0.042	0.027
	1,2,3,5,8-Pe-CN	0.291	0.291	0.111	0.045	0.000	0.221	0.080
	1,2,3,4,5,6-Hx-CN	1.277	1.277	0.506	0.357	0.002	0.727	0.429
7Cl	1,2,3,4,6,7-Hx-CN	0.283	0.283	0.100	0.162	0.000	0.100	0.093
	1,2,3,5,7,8-Hx-CN	0.065	0.065	0.036	0.03	0.000	0.013	0.017
	1,2,4,5,7,8-Hx-CN	0.241	0.241	0.052	0.039	0.001	0.039	0.068
	1,2,3,4,5,6,7-Hp-CN	0.662	0.662	0.006	0.004	0.000	0.182	0.071
8Cl	Oc-CN	0.147	0.147	0.001	0.001	0.000	0.061	0.011
	Total Congener	4.840	4.837	2.162	1.633	0.975	5.360	1.885

PCNs의 농도는 증가하는 결과를 확인했다. 비산재 A, B의 각 조건별 PCNs 동질체 농도를 확인한 결과, 온도조건 100°C를 제외한 모든 조건에서 2-MonoCN이

가장 높은 농도로 나타났으며 이는 2-MonoCN을 제외한 다른 동질체들의 분해에 기인한 재합성으로 인해 고농도의 경향을 나타내는 것으로 사료된다. 원비산재에

**Table 4. c)** Concentration of PCNs as a total concentration in the fly ash B, treated at different NaOH concentrations for 1hrs

Cl	Congener	ASH B	100°C 1N 1Hr	100°C 3N 1Hr	200°C 1N 1Hr	200°C 3N 1Hr	300°C 1N 1Hr	300°C 3N 1Hr
1Cl	2-Mo-CN	0.694	0.314	0.246	2.279	2.627	1.037	2.108
2Cl	1,5-Di-CN	0.226	0.157	0.273	1.078	1.460	0.785	0.700
3Cl	1,2,3-Tri-CN	0.576	0.232	0.321	0.191	0.068	0.150	0.246
4Cl	1,2,3,4-Te-CN	0.163	0.096	0.136	0.002	0.045	0.036	0.050
	1,2,3,5-Te-CN							
	1,2,5,6-Te-CN							
	1,4,5,8-Te-CN							
5Cl	2,3,6,7-Te-CN	0.591	0.389	0.300	0.001	0.205	0.389	0.076
	1,2,3,4,5-Pe-CN							
	1,2,3,4,6-Pe-CN							
	1,2,3,5,7-Pe-CN							
6Cl	1,2,3,5,8-Pe-CN	0.435	0.266	0.191	0.000	0.141	0.080	0.028
	1,2,3,4,5,6-Hx-CN							
	1,2,3,4,6,7-Hx-CN							
	1,2,3,5,7,8-Hx-CN							
7Cl	1,2,4,5,7,8-Hx-CN	0.064	0.068	0.055	0.001	0.137	0.068	0.150
	1,2,3,4,5,6,7-Hp-CN							
	8Cl							
	Total Congener	5.700	3.319	2.970	3.556	5.831	3.607	4.502

**Table 4. d)** Concentration of PCNs as a total concentration in the fly ash B, treated at different NaOH concentrations for 3hrs

Cl	Congener	ASH B	100°C 1N 3Hr	100°C 3N 3Hr	200°C 1N 3Hr	200°C 3N 3Hr	300°C 1N 3Hr	300°C 3N 3Hr
1Cl	2-Mo-CN	0.694	0.171	0.116	0.246	2.654	0.907	2.400
2Cl	1,5-Di-CN	0.226	0.225	0.143	0.750	1.249	0.130	0.314
3Cl	1,2,3-Tri-CN	0.576	0.065	0.039	0.058	0.052	0.205	0.052
4Cl	1,2,3,4-Te-CN	0.163	0.037	0.038	0.002	0.013	0.036	0.013
	1,2,3,5-Te-CN							
	1,2,5,6-Te-CN							
	1,4,5,8-Te-CN							
5Cl	2,3,6,7-Te-CN	0.591	0.164	0.259	0.001	0.068	0.123	0.052
	1,2,3,4,5-Pe-CN							
	1,2,3,4,6-Pe-CN							
	1,2,3,5,7-Pe-CN							
6Cl	1,2,3,5,8-Pe-CN	0.435	0.110	0.045	0.000	0.221	0.080	0.028
	1,2,3,4,5,6-Hx-CN							
	1,2,3,4,6,7-Hx-CN							
	1,2,3,5,7,8-Hx-CN							
7Cl	1,2,4,5,7,8-Hx-CN	0.064	0.048	0.039	0.001	0.039	0.068	0.100
	1,2,3,4,5,6,7-Hp-CN							
	8Cl							
	Total Congener	5.700	1.551	1.300	1.062	5.782	2.575	3.316

서 동질체별 가장 높은 농도로 검출된 1,2,3,4,5,6-HexaCN의 경우 비산재 A에서 200°C NaOH 1 M 1 시간, 200°C NaOH 3 M 3시간의 처리한 결과 99% 가까운 PCNs 농도 제거효율을 나타냈다. 비산재 B는 시간조건과 상관없이 200°C NaOH 1 M에서 처리하였을 때 최적의 1,2,3,4,5,6-HexaCN 제거효율을 나타냈다. 비산재중 200°C에서 NaOH 1 M 1시간의 처리조건에서 1, 2Cl을 제외한 고염화물의 PCNs의 전체 동질체별 농도가 급격히 감소하였으며 NaOH 농도별 염화나프탈렌의 총농도량은 1 M에서 각각 A비산재 1.41 ng/g, B비산재 3.55 ng/g, 3 M에서 6.96 ng/g, 5.83 ng/g으로 확인되었다. NaOH 농도 및 온도 시간 변화에 따른 비산재 A, B의 PCNs 동질체별 농도 분포는 Table 3, 4와 같다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 소각시설 비산재에 존재하는 PCNs을 효과적으로 제거하기 위하여 현재 가동중인 처리용량 300 톤/일과 250 톤/일인 대형생활폐기물 소각시설 2개소의 비산재를 대상으로 100°C, 200°C, 300°C에서 NaOH 1 M, 3 M 용액 50 ml로 각각 1시간, 3시간 열처리하여 비산재중 PCNs의 거동 및 저감특성을 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 원비산재 A, B의 물리·화학적 특성 및 산화물 함량 등을 분석한 결과, 각각의 pH는 10.45, 12.1로 확인되었으며 7.54~8.56%(wt)의 강열감량 및 40~46 mg/eq-1의 높은 알칼리도를 나타내었으며, 41%이상의 산소와 32% 이상의 염소함량을 확인했다. 이러한 결과는 생활쓰레기 중에 포함된 염(salt)성분에 의한 영향으로 판단된다.

2. 비산재중 PCNs 총 농도 저감을 위해서는 NaOH 1 M, 200°C 1시간 처리가 최적의 조건으로 확인되었으며, 이는 알칼리 분해에 의한 탈염소화 반응에 의한 결과로 판단된다.

3. 원비산재에서 각 동질체별 농도를 확인한 결과 1,2,3,4,5,6-HexaCN이 비산재 A가 1.27 ng/g, 비산재 B의 경우 0.96 ng/g으로 가장 높은 농도로 검출되었으며, 200°C 1시간 열처리한 결과 99%의 PCNs 동질체 농도 제거효율을 확인했다.

4. NaOH 농도에 따른 비산재의 PCNs 농도변화 특성을 조사하기 위하여 100°C, 200°C, 300°C에서 NaOH 1 M, 3 M 용액 50 ml로 처리한 비산재 A,

B의 PCNs 농도는 비교적 안정적인 1, 2염화물을 제외한 모든 염화물에서 온도와 NaOH 농도에 따라 전체적으로 감소하는 경향을 확인하였다.

5. 300°C 3시간의 조건에서는 비산재 A, B 모두 공통적으로 1,2,3,5,8-Penta-CN, 1,2,3,4,5,6-HexaCN, 1,2,3,4,6,7-HexaCN, 1,2,3,4,5,6,7-HeptaCN이 급격히 증가하는 경향을 나타냈다. 이와 같은 PCNs 동질체의 농도증가는 디노버 합성반응(de novo synthesis) 등 염화물의 재합성에 의한 것으로 보여진다.

6. 저온에서 탈염소화 반응이 나타날 수 있는 이유는 비산재의 성분에 의한 촉매작용의 역할 때문이며, 그 성분들의 양에 따라 반응의 속도가 다르게 나타나는 것으로 판단된다.

7. 비산재내 PCNs 분포 및 농도가 조건에 따라 상이한 이유는 Hagenmaier (1987)와 Addink 등 (1998)이 제시한 것과 같이 동족체 각각의 열역학적 특성, 즉 엔탈피, Gibbs Free Energy 등에 의해 다른 온도 의존성을 가지기 때문으로 판단된다.

#### 참고문헌

- Addink, R., Harrie, A., Grovers, J. and Olie, K., *Environmental Science & Technology*, **1998**, Vol. 32, pp. 1888-1893.
- Addink, R., *Chemosphere*, **1990**, 20(10-12), pp. 1929-1934.
- Addink, R., *Chemosphere*, **1991**, 23(8-1), pp. 1205-1211.
- Addink, R. and Olie, K., *Environ. Sci. Technol.* **1995**, 29, pp. 1425-1435.
- Buchniz, B. A., *Sci. Health*, **1993**, 28A(2), pp. 423-441.
- Buchholz, B. A. and Landsberger S., *Leaching dynamics studies of municipal solid waste incinerator ash, Air & Waste Management*, **1995**, 45, pp. 579-590.
- Buchholz, B. A. and Landsberger, S., *Leaching dynamics studies of municipal solid waste incinerator ash, Air & Waste Management*, **1995**, 45, pp. 579-590.
- Ballschmitter, K, Swerev, M., *Fresenius Z Anal. Chem*, **1987**, Vol. 328, pp. 125-127.
- Cains, P. W, *Chemosphere*, **1997**, 34, pp. 51-69.
- Crookes M. J., Howe P. D. Directorate for Air, Climate and Toxic Substances, Department of the Environment, **1993**, TSD/12.
- Chang, A. C., A. L. Page and F. T. Bingham, *Reutilization of Municipal Qastewater Sludges-Metals and Nitrate*, J. WPCF, **1981**, 53, pp. 237-245.

12. Connell, D. W, Basic Concepts of Environmental Chemistry, Lewis Publishers, New York, **1997**, pp. 125-152.
13. Dickson L.C, Environ. Sci. Technol. **1992**, 26, pp. 1822-1828
14. Everaert, K., The formation and emission of dioxin in large scale thermal process, Chemosphere, **2002**, 46, pp. 439-448.
15. F. Lombardi, T. Mangialardi, L. Piga, P. Sirini, *Waste Management*, **1998**, 18, pp. 99-109
16. Fraser, J. L. and K. R. Lum, Sci. Technol., **1983**, 17, pp. 52-54.
17. Hagenmaier H., Kraft M, Brunner H, and Haag R, Environmental Science & Technology, **1987**, Vol. 21, pp. 11.
18. Hagenmaier H, Chemosphere, **1987**, 16, pp. 1759-1764.
19. Ishima M., Shji R., Nie P, Nakamura N. and Sakai S, Organohalogen Compounds, **1996**, Vol. 27, pp. 147-152.
20. J. M. Chimenos, M. Segarra, M. A. Fernandez, F. Espiell, *Journal of Hazardous Materials*, **1999**, 64, pp. 211-222.
21. M. Andac, F. P. Glasser, *Waste Management*, **1998**, 18, pp. 309-319.
22. Ruuskanen, J, Struct. (THEOCHEM), **1994**, 306, pp. 49-56.
23. Sakai, S, Technol., **2001**, 35(18), pp. 3601-3607.
24. Sakai, S, Chemosphere, **1996**, 32, pp. 79-81.
25. Sakai, S, Organohalogen Compounds, **1993**, 11, pp. 245-248.
26. Stieglitz, L, Chemosphere, **1987**, 16, pp. 1917-1922.
27. S. Dugenes, Universite Claude Bernard Bernard at Lyon, Dec, **1997**.
28. T. Mangialardi *Environmental Engineering Science*, **1998**, 15, pp. 291-297.
29. Taylor, P.H., Wehrmeier, A., Sidhu, S.S., Lenoir, D., Schramm, K.-W, Chemosphere vol. **2000**, 40, pp. 1297-1303.
30. Taylor, P.H., Wehrmeier, A., Sidhu, S.S., Lenoir, D., Schramm, K.-W, Chemosphere vol. **2000**, 40, pp. 1297-1303.
31. T. Mangialardi, *Environmental Engineering Science*, **1998**, 15, pp. 291-297.
32. The International Ash Working Group, Studies in Environmental Science **1997**, 67, Elsevier, pp. 115-118.