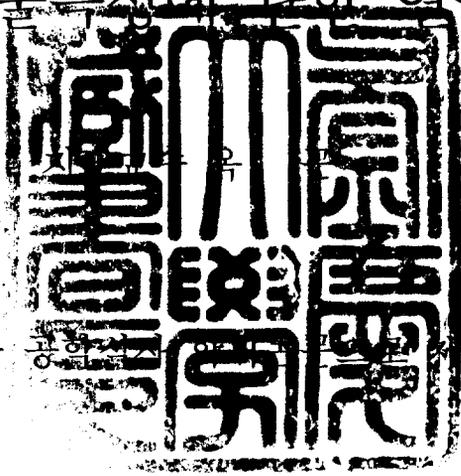


공학석사 학위논문

화장장 배출가스 중  
다환방향족탄화수소류(PAHs)의  
배출특성에 관한 연구

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함



2006년 2월

부경대학교 대학원

지구환경공학연합동과정

윤 승 진

# 윤승진의 공학석사 학위논문을 인준함

2006년 2월 24일

주 심 이학박사 김 영 섭



위 원 공학박사 정 용 현



위 원 공학박사 옥 곤



## < 목 차 >

List of Tables .....	ii
List of Figures .....	iii
Abstract .....	1
제 1장. 서론 .....	3
제 2장 이론적 배경 .....	6
제1절. PAHs의 물리화학적 특성 .....	6
제2절. PAH의 배출원 .....	8
제3절. PAH의 환경내 분포 및 동태 .....	9
제4절. PAH의 인체 위해성 .....	11
제 3장 연구내용 및 방법 .....	19
제1절. 연구대상시설의 일반현황 및 시설개요 .....	19
제2절. 연구대상시설의 운전조건 .....	21
제3절. 시료채취 방법 .....	22
제4절. 분석방법 .....	26
제 4장. 결과 및 고찰 .....	34
제1절 PAHs의 배출농도 및 분포 .....	34
제2절 연소가스 처리설비별 PAHs의 배출특성 .....	42
제3절 화장장 PAHs의 통계분석 .....	46
제4절 화장장 배출가스 중 PAHs의 배출량 산정 .....	48
제 5장 결론 및 제언 .....	56
참고문헌 .....	58
감사의글 .....	63

## <List of Table>

Table 1. The physical and chemical properties of PAHs .....	7
Table 2. Environmental source of PAHs .....	8
Table 3. Mutagenicity of PAHs .....	15
Table 4. Cancer incidence data for Benzo(a)pyrene .....	17
Table 5. Classification within carcinogenic for PAHs(IARC) .....	18
Table 6. Equipment for PAHs sampling .....	24
Table 7. Analysis conditions of GC/MS .....	29
Table 8. Concentration of compound each crematory .....	35
Table 9. Classification within ring-group of PAHs compound .....	39
Table 10. TEFPAHs values proposed other studies .....	51
Table 11. Emission factor of crematory .....	52
Table 12. Present state of crematory in Kora .....	53

## <List of Figure>

Fig. 1 General process of crematory .....	21
Fig. 2 Crematory process of each type .....	22
Fig. 3 Procedure of crematory operating .....	23
Fig. 4 Diagram of sampling equipment .....	24
Fig. 5 Flowchart of sampling .....	25
Fig. 6 Silica gel clean-up column .....	27
Fig. 7 Flowchart of sample cleanup .....	28
Fig. 8 Chromatogram of 16 PAHs standard .....	30
Fig. 9 Concentration of $\Sigma$ PAHs of each crematory sample .....	32
Fig. 10 Concentration of $\Sigma$ PAHs of each crematory .....	34
Fig. 11 Profile of PAHs compound each plant .....	36
Fig. 12 Distribution of PAHs concentration by each ring group .....	39
Fig. 13 Ratio of each Ring group .....	39
Fig. 14 Concentration of $\Sigma$ PAHs and $\Sigma$ PAH <sub>carc</sub> compounds. ....	41
Fig. 15 Concentration of each $\Sigma$ PAH <sub>carc</sub> compound. ....	41
Fig. 16 Profile of PAHs compound each type .....	43
Fig. 17 Profile of PAHs compound each Ring group .....	44
Fig. 18 Concentration of $\Sigma$ PAHs and $\Sigma$ PAH <sub>carc</sub> compounds. ....	45
Fig. 19 Ratio of PAH <sub>carc</sub> compounds .....	45
Fig. 20 Factor analysis of 16 PAHs distribution for crematory in Korea .....	46
Fig. 21 Dendrogram of gaseous and particulate phase of PAHs profile in crematory .....	48

Fig. 22 Emission factor of crematory .....	50
Fig. 23 Compare with each emission factor .....	52
Fig. 24 Ratio of cremation between 1991 ~ 2003 .....	54
Fig. 25 Prediction of cremation until 2010 .....	55

# **A Study of Emission Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Emission Gas from Crematory**

Seung-Jin, Youn

*Graduate School of Earth Environmental Engineering, Graduate School,  
Pukyong National University Busan 608-737, Korea*

## **Abstract**

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are serious and ubiquitous environmental contaminants. Besides some of PAHs, including Benzo[a]pyrene (BaP), were indicated mutagen and carcinogen, namely Endocrine Disruptors (EDs) in view of the environmental toxicology.

This study was carried out to examine two topics. One is about a variation of the concentration levels and the distribution characteristics for polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) compound in emission gas from crematory. The other is about estimated emission amount of PAHs in environment.

In the result, show that the wide distribution range of PAHs concentration's between 3.3 to 284.6 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$  in the emission gas of crematory.

Compounds of 4Ring and 3Ring were 41%(20.9 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$ ), 29%(14.7 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$ ), respectively. The Concentration of Pyrene(Pyr) is occupied highest proportion amongst emission gas from crematory plants. Naphthalene(NaP), Phenanthrene(PhA) and Fluoranthene(FluA) showed relatively high contribution. The concentration of Carcinogen compounds of PAH( $\Sigma\text{PAH}_{\text{carc}}$ ), such as Benzo(a)anthracene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Dibenzo(a,h)anthracene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene, is between 0.03 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$  to 15.7 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$ .

The released amount of PAHs and  $\Sigma\text{PAH}_{\text{carc}}$  from crematory can be estimated as top down approach. Total PAHs and  $\Sigma\text{PAH}_{\text{carc}}$  emission factor ranged between 31.8 mg/body to 638.7 mg/body and from 0.3mg/body to 61.5mg/body, respectively. Emission of PAHs and  $\Sigma\text{PAH}_{\text{carc}}$  from crematory are 32,513g/yr and 1,992.5g/yr.

In this paper, it is confirmed that basic information about the characteristics of the environmental concentration of PAHs from crematory and useful to reduce them to the Stockholm Convention.

Keywords : PAHs,  $\Sigma\text{PAH}_{\text{carc}}$ , Emission gas, Crematory, Emission factor, Top down approach.

## 제 1 장 서론

잔류성 유기오염물질(Persistent Organic Pollutants: 이하 POPs)은 산업의 발달과 더불어 생활환경의 변화에 의해 발생된 최종부산물 중 하나로 강독성과 함께 생태계에 악영향을 미치는 물질이다. 생물학적·화학적 분해에 안정되어 있는 유기물질로 환경 내에서의 체류시간이 길고, 생물축적현상(Bioaccumulation)이 나타나 먹이사슬의 최상위에 속한 인간에게는 고농도로 유입되며, 면역체계의 교란 및 중추신경계 손상을 초래하는 맹독성의 환경유해물질이다. 잔류성에 기인한 장거리 이동특성으로 한 국가의 문제뿐만 아니라 국제적인 문제로 대두되어 그 규제에 대한 공동노력이 절실히 요구되고 있다. 이러한 필요에 부응하여 UNEP를 중심으로 2001년5월 스톡홀름 협약에 당사국회의에서 채택되어 국제적인 대응방안이 강구되고 있다. (UNEP, 2001)

이러한 배경하에서 내분비계 장애물질 및 유해대기오염물질 중의 하나인 다환방향족 탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, 이하 PAHs)는 지구적 규모의 환경매체 중에서 검출됨에 따라 POPs로 새롭게 분류되고 있다. 특히, UNEP는 12종의 POPs 물질 이외에 PAHs를 새로운 항목으로 추가할 물질로 지목하고 있으며, 유럽을 중심으로한 유럽연합국가에 있어서는 이에 대하여 적극적인 연구에 착수하고 있다. (조규탁 등, 2000)

본 연구에서 접근하고 있는 PAHs의 경우 환경독성학적인 관점에서 변이원성과 발암성에 관한 연구 결과가 많이 보고되고 있으며, 특히 PAH 중 Benzo(a) anthracene (BaA), Benzo(b) fluoranthene (BbF), Benzo(k) fluoranthene (BkF), Benzo(a) pyrene (BaP), Dibenzo(a,h) anthracene (DbA), Indeno(1,2,3-cd) pyrene (InP) 등에 대하여

IARC(International Agency for Research on Cancer)에 의해 발암성 물질 (Carcinogenic PAHs)로 보고되고 있다. 이들 중 BaP의 경우 단일 종으로도 발암성을 일으킬 수 있는 대표적인 물질로써 거의 모든 실험 동물에서 가능한 모든 경로를 통해 암을 일으키는 물질로 주목되고 있고, 내분비성 교란물질(Endocrine Disruptors : EDs) 즉, 환경호르몬성 물질 중의 하나로 지적되고 있다(松下秀鶴, 1989).

PAHs의 생성은 화석연료, 더 넓게는 탄소와 수소로 구성된 물질이 고온에서 열분해되는 과정 또는 불완전연소과정에서 주로 발생되며, 산불이나 자연재해보다는 인간의 활동에 기인되어 대부분 생성된다고 알려져 있다. PAHs는 다양한 경로를 통하여 환경 중으로 배출되고 있으며, 주요 발생원은 석탄, 석유로 대표되는 화석연료의 불완전 연소과정에 의한 것으로 가정난방, 발전소와 각종 산업시설 등이 지적되고 있다(Lee et al., 1976, Chander et al., 1994, Crispin et al., 1994). 또한 자동차 배연가스 중 방향족 성분을 가진 경유와 난방보일러, 쓰레기 소각시설 등에서의 불완전 연소시에도 배출되어 생활환경에 악영향을 미친다고 보고되고 있다(Bruce et al., 1989). 이외 기타 배출원으로는 알루미늄 제조업, 산불, 소각장, 코오크스와 아스팔트 제조공정, 식품의 조리, 담배연기 등의 불완전 연소가 일어나는 과정 중에서도 PAHs의 생성은 활발한 것으로 지적되고 있다(Westerholm et al., 1991; C. J. Halsall et al., 1997 ; Diane M. Wagrowski et al., 1997).

본 연구에서 다루고 있는 화장장의 경우 화석연료를 연료로 사용하여 시신을 연소시키는 전형적인 연소의 공정이며, UNEP에서는 주요 POPs 물질 배출원중의 하나로 규정하고, 이에 대한 배출실태 조사 및 저감을 위한 최적가용기술(BAT)의 도입과 최적관리방안(BEP) 마련이 요구되고 있다.(UNEP, 2001)

우리나라 화장문화의 경우 일반인들의 화장에 대한 인식은 미미하여 대부분 토장의 풍습을 따르는 실정이었으나, 현재, 정부의 지속적인 화장장려정책 추진에 따라 화장에 대한 긍정적인 인식과 국민적 공감대가 형성되었다. 1971년 7.0%, 1980년 13.9%, 1990년 17.5%, 2000년 33.7%, 2002년 42.6%로 화장률의 지속적인 증가추세를 보이고 있으며, 연간 화장실적은 157,233구(2003년)에 이르고 있다. (안우환, 2003)

따라서, 본 연구에서는 화장장에서 대기 중으로 배출되는 가스에 포함되어 있는 16종의 PAHs에 대한 농도 분포를 조사하고, 통계분석을 통하여 배출특성을 파악하고자 하며, PAH 배출목록의 기반구축 및 향후 POPs 물질 배출저감과 스톡홀름 협약대응방안 구축을 위하여 화장장에서의 PAHs 배출량을 추정하고자 한다.

## 제 2 장 이론적 배경

### 제 1절. PAHs의 물리·화학적 특성

탄화수소란 순수하게 탄소와 수소로만 구성된 물질이지만, 다환방향족 탄화수소 화합물의 경우에는 질소, 황, 산소 등 다른 원소를 포함한 PAH ring구조의 물질들도 포괄적으로 포함하고 있다.

실온에서 PAHs는 고체상태이며, 이 부류화합물은 비점과 융점이 높으나 증기압이 낮고, 분자량 증가에 따라 극히 낮은 수용해도를 나타내는 것이 일반적인 성질이다. PAHs는 여러 유기용매에 용해되며, 친유성이 높은 화학물질이다.

PAHs는 방향족 고리가 2~4개인 경우 기체 또는 고체에 흡착된 형태로 분포하지만 5개 이상이 되면 주로 고체에 흡착된 상태로 존재한다. 특히, 발생원에서 배출되어 대기 중에 잔존하는 PAH는 대기광화학 반응이 일어나며, 또한, NO<sub>2</sub>와 반응하여 nitro-PAHs등이 생성된다. (Brnson et al., 1985)

16종의 PAHs standards(EPA Method 610)의 물리·화학적 특성을 Table. 4에 나타내었다.

**Table 1. The physical and chemical properties of PAHs**  
(Ming-Yen wey et al., 1998)

Compound	Abbreviation	Chemical Formula	Molecular Weight	Melting Point (°C)	Boiling Point (°C)	Vapor Pressure (mmHg, 25°C)	Structure
Napthalene	Nap	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	128.16	80	218	7.1×10 <sup>-2</sup>	
Acenaphthylene	AcPy	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub>	152.20	93	275	6.7×10 <sup>-3</sup>	
Acenaphthene	AcP	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	154.21	96	279	2.2×10 <sup>-3</sup>	
Fluorene	Flu	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>	166.22	117	295	6.0×10 <sup>-4</sup>	
Phenanthrene	PhA	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178.22	100	340	1.2×10 <sup>-4</sup>	
Anthracene	AnT	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178.22	218	342	6.0×10 <sup>-6</sup>	
Fluoranthene	FluA	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	202.26	110	393	9.2×10 <sup>-6</sup>	
Pyrene	Pyr	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	202.26	156	404	4.5×10 <sup>-6</sup>	
Benzo(a)anthracene	B(a)A	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	228.29	159	435	2.1×10 <sup>-7</sup>	
Chrysene	Chr	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	228.29	256	448	6.4×10 <sup>-9</sup>	
Benzo(b)fluoranthene	B(b)F	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252.32	168	393	N.R.	
Benzo(k)fluoranthene	B(k)F	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252.32	217	480	9.6×10 <sup>-11</sup>	
Benzo(a)pyrene	B(a)P	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252.32	177	496	5.6×10 <sup>-9</sup>	
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	InP	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	276.34	162	534	N.R.	
Dibenzo(a,h)anthracene	DbA	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	278.35	262	535	N.R.	
Benzo(g,h,i)perylene	BghiP	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	276.34	273	542	1.01×10 <sup>-10</sup>	

N.R. : Not reported

## 제 2절. PAHs의 배출원

19세기 후반, 석유정제공장 그리고 석탄정제 공장에 근무하는 근로자들에 대한 피부암의 높은 유병률이 보고되면서, PAHs 화합물에 대한 관심이 고조되기 시작했다.

PAHs의 배출원에 대한 설명은 Table 2에 나타내었다.

**Table 2. Environmental source of PAHs**

Primary Source	Secondary Source
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Incomplete combustion of Petroleum, wood, coal, and synthetic chemicals</li> <li>· Gas manufacturing plants</li> <li>· Wood treatment plants using creosote</li> <li>· Coal-fired electric generating plants</li> <li>· Municipal trash incinerators</li> <li>· Asphalt, coal tar and production plant</li> <li>· Vehicle exhaust</li> <li>· Coking and aluminum plant</li> <li>· Cooked food with charcoal-grilling and charring</li> <li>· Open burning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Heavy oils containing PAH</li> <li>· Food containing PAH ( cereals, vegetables, fruit, meats, beverages, chewing tobacco)</li> </ul>

PAHs 화합물은 휘발유, 쓰레기, 목재류 등이 연소될 때 발생되며, 담배연기와 매연 등에서도 검출되고 있다(Wild et al., 1992).

이 화합물은 대기중에서 먼지입자와 쉽게 결합하여 수질 및 토양으로 전달된다. PAHs 화합물의 형성은 석탄, 목재, 유류 등 연료로 쓰여지는 탄화수소의 열분해(500~800℃)과정 중 reactive free radical의 생성에 의해 진행되는데 부분적으로 응축된 방향족 화합물들을 형성하기 위하여 빠르게 결합하게 된다(Badger, 1962).

최근에는 고온에서 숯을 이용하여 식품을 구울 때나, 음식물이 타는 과정 중에 PAHs 화합물이 발생하는 것 이외에, PAHs 화합물로 오염된 토양에서 재배된 식품들 즉, 곡식, 채소, 과일들과 오염된 식물들을 섭취한 동물들의 육질, 그리고 오염된 채소나 야채로 만들어진 식·음료들에서도 PAHs 화합물이 검출되고 있으며, coal tar를 함유하고 있는 샴푸, 생활용품 등에서도 검출되고 있다(ATSDR, 1990).

### 제 3절. PAHs의 환경내 분포 및 동태

#### 3.1 PAHs의 환경내 분포

대기중에서 관찰된 PAHs 화합물 중 주로 가스상으로 존재하는 Naphthalene 과 같은 bicyclic species로부터, 입자상 물질에 주로 흡착되어 존재하는 coronene처럼 2개 이상 또는 여러 개의 벤젠고리를 포함하는 PAHs 화합물의 환경내 분포를 결정하는 가장 중요한 물리적 성질은 증기압이다.

일반적으로 25℃의 대기 평형상태에서 Naphthalene은 100% 가스상으로 존재하고, 반면 5~6개의 벤젠고리를 가지고 있는 Benzo(a)pyrene과 기타 PAHs 화합물들은 입자상 물질에 현저하게 흡착되어 존재한다. 그리고 3~4개의 벤젠고리를 가지고 있는 PAHs 화합물들은 가스상과 입자상으로 동시에 존재한다. 대기중의 PAHs 화합물은 long-range transport에 의해 변화되거나 희석됨이 없이 상당히 먼 거리까지도 전달된다(Bjorseth and Olufsen, 1983).

#### 3.2 PAHs 화합물의 환경내 동태

대기중 PAHs 화합물은 O<sub>3</sub> 의해 변화된다. 어두운 상태에서 0.19

ppm의 O<sub>3</sub>에 노출된 Benzo(a)pyrene의 반감기가 약 40분 정도이며(Lane and Kats, 1977), Benzo(a)pyrene과 Anthracenes 의 ozonolysis에 의한 반감기는 상대적으로 비교적 짧다. 반면 Benzo(b)fluoranthene과 Benzo(k)fluoranthene은 긴 편이며, Benzo(e)pyrene과 Pyrene은 중간정도에 해당된다. Benzo(a)anthracene의 경우, ozonolysis에 의한 반감기는 70분 정도인데 비해 광산화에 대한 반감기가 12분 정도로 광분해에 의한 변화보다는 그 작용이 다소 약하다고 할 수 있다(Kats et al., 1979).

대기중에서 Napthalene, Phenanthrene, Anthracene의 반감기는 각각 12시간, 8시간, 3시간 정도로 알려지고 있고, nitration에 의한 transformation이 수산기의 부가에 의해 시작되는데 NO<sub>2</sub>를 포함하고 있는 공기 중에서는 hydroxy- PAH, nitro-PAH 그리고 hydroxynitro-PAH 등이 형성된다고 보고되고 있다(Brnson et al., 1985).

## 제 4절. PAHs 의 인체 위해성

PAHs는 물에서의 용해도가 낮고 유기용매에서의 용해도가 높은 저용성물질로 상피막 이동에 의한 피부흡수가 가능하며, 주로 발암성 PAHs는 그 자체의 낮은 증기압으로 입자상 물질에 흡착되어 폐로 유입된다. 이 경우 대기입자의 크기에 영향을 받는데, 특히 PAHs 중 대부분의 Benzo(a)pyrene은  $2.0\mu\text{m}$ 이하의 작은 입자상 물질에 흡착되어 있으므로, 장시간 폐포에 잔류되고, 입자에서 분리되어 호흡기계조직과 반응한다(Migual and Friellander, 1978).

### 4.1 PAHs의 독성 기전

PAHs는 생체내에서 대사될 때 일부 물질의 특정구조로 인해 생성되는 중간물질인 diol epoxide의 이성질체가 PAHs 독성의 원인물질로 알려져 있으며, 특히 Benzo(a)pyrene 대사물질인 7,8-diol-9,10-epoxide은 PAHs 대사물질 중 가장 독성이 강한 것으로 보고되고 있다(Ushar, 1989).

PAH는 생체내에서 conjugation이나 oxidation의 과정을 거쳐 극성이 강한 유도체로 대사되어 담즙이나 뇨, 변으로 배설된다(Falkemd, 1963).

그 첫단계로 Cytochrom P-450의 의존성(mixed function oxidation)에 의한 산화로 epoxide 혹은 arene oxide를 형성한다. 불안정한 상태인 arene oxide는 주로 3가지의 기전으로 진행되는데, 자체적으로 phenol로 전환되거나, epoxide hydrolase의 효소작용으로 dihydroxydihydro compound(diols)를 형성한다. 또 다른 하나는 glutathione-S-transferase(GST) 효소군의 영향이나, 서서히 자발적으로 일어나는 기전인 glutathion과의 conjugation이다. 이 GST conjugates는 mercapturic acid의 수용성 전구물질로 일반적 체내 기전 물질로 대사 되며, 앞서 언급된 phenols와

diols는 각각 UDP glucuronyl transferase(UDPGT)에 의해 glucuronic acid로 conjugation되거나, sulfo- transferase에 의한 sulfation과정을 거쳐 수용성 대사물질로 전환된다. (Dipple, et al., 1984). 이 과정 중 7-hydroxy-methyl benzo(a)anthracene의 sulfate ester들과 같은 일부 sulfate conjugate들은 bacterial system에서 돌연변이의 원인이 되기도 한다(Watabe et al., 1986).

Dihydrodiols와 phenols의 또 다른 기전으로 oxidation에 의한 multiple hydroxylated 유도체들(triols, tetrols)의 형성이 있다(Gelboin & Ts's, 1981). 이때, 이들 물질 형성의 전 단계에서 발암성 대사체인 "bay-region diol-epoxide"가 중간물질로 생성되는데, 이 물질이 단백질, RNA, DNA등과 같은 세포내 거대분자들과 상호작용 하므로 세포독성과 culture에서의 세포 돌연변이, 동물에서의 종양을 유발시키게 된다(Harvey, 1985; Thakker et al., 1985).

## 4.2 급성독성

Benzo(a)pyrene을 0.1%(1000ppm)농도로 식물에 노출 시켰을 때, 성장저하가 보고되고 있다(CHEMINFO, 1996). Benzo(a)pyrene을 복강 내로 투여했을 경우 mice에서 250mg/kg, 피하투여의 경우 rats에서 50mg/kg의 LD<sub>50</sub>값이 알려지고 있다(CHEMINFO, 1996).

## 4.3 만성독성

PAHs에 장기간 노출시 인간의 혈액에 영향이 있는 것으로 보고되었고, 그 밖의 실험동물에서도 서로 다른 기관에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(ACGHI, 1991).

여러 가지의 mice를 대상으로 6개월간 식이중 Benzo(a)pyrene 120mg/

kg/day를 투여한 결과, 한 종의 mice만이 체중 감소 및 골수의 기능저하(aplastic anemia, pancytopenia)를 보이며 4주안에 사망하였고, 나머지 종에서는 어떤 영향도 관찰되지 않는 것으로 보고되고 있다.(Rubinson, 1975).

일부 피부 질환자를 대상으로 한 연구에서는 1% Benzo(a)pyrene용액을 매일 기존 질환이 있는 피부에 적용시켰을 때, 4개월 내에 redness, pigmentation 및 피부암 발현 증세가 나타나기 시작했으나, 약물적용을 중단한 지 2~3개월 안에 다시 회복되었다(Cotini et al., 1939). 이 밖에도 작업장에서 PAHs가 함유된 물질에 계속적으로 피부노출된 경우 pigmentation과 광 알레르기가 알려지고 있다(NAS, 1983).

#### 4.4 태아독성과 최기형성

Benzo(a)pyrene의 태반 전이는 경구와 정맥주사에 의한 경우 rats와 mice에서 보고되었다. 이 경우 용량이나 종간 차이는 있으나 태아독성과 최기형성이 관찰되었다. mice에서 임신 7~16일 기간중 Benzo(a)pyrene 10mg/kg/day를 경구 투여한 실험에서 태아의 체중감소 및 생식선의 발달 저하가 나타났으며(Mackenzie et al., 1981), 또 다른 실험에서도 Benzo(a)pyrene의 경구투여는 몇몇 종의 rats와 mice에서 유산과 기형 등의 유발을 보고하고 있다.(Legavernarend et al., 1984).

#### 4.5 생식독성

Benzo(a)pyrene의 경구투여는 생식독성을 나타낸다. 특히, mice에서 번식능력저하(태아수 감소, 불임기간의 연장)를 보이는데, 임신 7~16일 기간에 용량을 달리하여 Benzo(a)pyrene(10, 40, 160mg/kg/day)을 경구 투여했을 때, Benzo(a)pyrene 10mg/kg/day 적용군의 경우 다음세대의 생

식능력과 번식력이 암·수 모두에서 감소되었고, Benzo(a)pyrene 40mg/kg/day적용군의 다음세대는 거의 대부분이 불임상태임이 보고되었다 (Mackenzie et al., 1981).

#### 4.6 돌연변이 원성

PAHs는 몇몇 화합물질에 대한 발암성과 함께 돌연변이성이 보고되고 있으며, 물질별로 나타나는 돌연변이성의 성향은 Table 6 과 같다.

Table 에서 나타난 것들은 확실한 돌연변이 원성을 나타내는 주로 발암성 물질로 분류된 PAHs 화합물이다.

Jerina 등(1978)에 의하면, 위의 일반 독성기전에서 언급된 바와 같이 Benzo(a)pyrene, Benzo(a)anthracene, Chrysene, Dibenzo(a,h)anthracene, Phenanthrene 등 “bay-region” 구조를 지닌 물질에서 돌연변이원성을 나타내는 독성적 특징을 갖는 것으로 지적하고 있다.

특히, Benzo(a)pyrene은 여러 가지 단기실험에서도 DNA binding, DNA repair, sister chromatid exchange(SCE), chromosomal aberration 등이 보고되고 있다(Osborn et al., 1987).

**Table 3. Mutagenicity of PAHs**

PAHs	Mutagenicity
Benzo(a)pyrene	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DNA damage, reverse and forward mutation in prokaryotic assays</li> <li>• Mammalian cell culture assay               <ul style="list-style-type: none"> <li>- DNA damage, forward mutation, chromosomal effects, cell transformation</li> </ul> </li> </ul>
Benzo(a)anthracene	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mutation in bacterial and in mammalian cells</li> <li>• Transformed mammalian cells in culture               <ul style="list-style-type: none"> <li>- surian hamster embryo cell, mouse prostate C3HG23 cell</li> </ul> </li> <li>• Forward mutation in Chinese hamster cell, V76 cells, mouse lymphoma L5178Y cells, and rat liver epithelial cell</li> </ul>
Benzo(b)fluoranthene	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Positive results for mutation in Salmonella typhimurium TA98</li> <li>• Negative results in Salmonella typhimurium TA100</li> </ul>
Benzo(k)fluoranthene	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reverse mutation in S. typhimurium TA100 and TA98</li> </ul>
Dibenzo(a,h)anthracene	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DNA damage and mutagenicity in bacteria               <ul style="list-style-type: none"> <li>- reverse mutation in Salmonella typhimurium strains TA100 and TA98</li> <li>- forward mutation in strain TM677</li> </ul> </li> <li>• DNA damage, mutagenicity and cell transformation in mammalian cell</li> </ul>
Indeno(1,2,3)pyrene	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reverse mutation assay in Salmonella typhimurium TA100 and TA98</li> </ul>
Benzo(g,h,i)perylene	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DNA damage in chinese hamster ovary cells</li> <li>• Reverse mutation in Salmonella typhimurium</li> </ul>
Chrysene	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chromosomal abnormalities in hamsters and mouse germ cell</li> <li>• Bacterial gene mutation and transformed mammalian cells</li> </ul>

## 4.7 발암성

PAHs 중 대표적인 발암물질인 Benzo(a)pyrene는 거의 모든 동물종에서 발암성을 나타낸다. 이와 관련된 역학자료는 충분치 않지만 동물실험 중 3주간 Benzo(a)pyrene에 노출된 사람에게 피부암이 발견되었고, 피폭적 혹은 환경중 오염(담배연기, 석탄타르 pitch)으로 Benzo(a)pyrene에 노출된 집단에서 폐, 피부, 음낭 등에 암발생이 증가됨이 보고된 바 있다(IAPC, 1972).

PAHs 중 일부 물질은 발암성을 나타내며(weight-of-evidence classification : B2, IRIS), 대표적 발암물질인 Benzo(a)pyrene의 발암성에 대한 동물자료는 Table 7과 같다.

Benzo(a)pyrene은 PAHs 중 단독으로 암을 발생시키는 대표적 물질로 mice, rats, hamsters, guinea pigs, rabbits, monkeys 등 거의 모든 동물실험에서 가능한 모든 경로를 통해 암을 발생시키는데, 각 경로별로 낮은 농도에서도 암 발생이 관찰되었다(inhalation 9.5mg/m<sup>3</sup>; skin 1.7μg/day; oral 5.2mg/kg/day; skin injection 0.062mg). Benzo(a)pyrene의 표적이 되는 주된 장기는 피부와 폐로, 식이중 투여로 소화기계 상부암이 관찰되며, 간장과 신장암의 관찰은 드물게 보고되고 있다. 피부암의 경우 rats, rabbits, guinea pigs 등의 동물실험에서 관찰되며, mice에서 가장 민감하게 나타나는 것으로 알려지고 있다(CHEMINFO, 1996). U.S. EPA(1994)에 의하면, hamster를 이용한 Benzo(a)pyrene의 호흡노출에서 호흡기계와 함께 소화기계에서도 용량에 따른 종양의 발생이 관찰되었고, 일부 mice를 이용한 Benzo(a)pyrene의 식이중 투여에서, 투여량에 비례하여 위장 상부암이 관찰되었다(IRIS, 1994). PAHs 화합물의 발암성에 관한 자료는 Table 4.에 나타내었다(IARC, 1995).

**Table 4. Cancer incidence data for Benzo(a)pyrene**

Source	Experimental design			Cancer Incidence	
	Species	Routes	Tumor site	Dose	Response
Neal and Rigdon 1967	mice	gavage	forestomach	20 ppm	1 / 23
				30	0 / 37
				40	1 / 40
				45	4 / 40
				50	23 / 34
				100	19 / 23
				250	66 / 73
Brune et al. 1981	rats	gavage	forestomach	Untreated	3 / 64(129)
			esophagus	0 mg/kg	6 / 64(102)
			laynx	6	13 / 64(112)
				18	26 / 64(113)
				39	14 / 64( 87)
Thysseen et al. 1981	hamster	inhalation	respiratory tract	0 mg/m <sup>3</sup>	0 / 27
				2.2	0 / 27
				9.5	9 / 26
				46.5	13 / 25
			digestion tract	0 mg/m <sup>3</sup>	0 / 27
				2.2	0 / 27
				9.5	7 / 26
				46.5	14 / 25

**Table 5. Classification within carcinogenic for PAHs(IARC)**

Group	Item
Class 2A (probable human carcinogen)	<i>Benzo(a)anthracene</i> <i>Benzo(a)pyrene</i> <i>Dibenzo(a,h)anthracene</i>
Class 2B (possible human carcinogen)	<i>Benzo(b)fluoranthene</i> <i>Benzo(k)fluoranthene</i> Dibenzo(a,e)pyrene <i>Indeno(1,2,3-cd)pyrene</i>
Class 3 (unclassifiable as to carcinogenicity to human)	Chrysene Dibenzo(a,c)anthracene
Co-carcinogenic PAHs	Pyrene Fluoranthene Benzo(e)pyrene Benzo(ghi)perylene
Salmonella typhimurium Ta 100균주(菌株)	2-methyanthracene Perylene Benzo(b)chrysene

## 제 3장 연구 내용 및 방법

### 제 1절 연구대상 시설의 일반현황 및 시설개요

#### 1.1 국내 화장장 현황

2003년 기준으로 전국적으로 46개의 화장시설이 운영중에 있고, 총 화장로의 수는 198기로서 시설별 화장로 수는 서울23기, 부산15기, 성남 15기, 인천11기 순으로 설치되어 있으며 그 이외에는 10기 미만으로 운영중이다. 전국 연도별 화장 건수는 2000년 81,270건, 2001년 93,493건, 2002년 105,103건, 2003년 157,233건으로 지속적인 증가율을 보이고 있다.

화장로의 경우 시설의 특성상 일괄 투입되어 운전되는 간헐운전(Batch Type)방식으로 운전되고 있으며, 투입시기 및 점화시점이 불규칙적으로 운전되고 있는 특징을 보이고 있다. 일반적인 경우 시신 1구에 대한 연소시간은 평균 60~90min 내외이며, 로 용량은 70~80kg/hr 규모의 상연소 방식을 채택한 소각로로 구성되어 있다. 대부분의 화장로에서는 주연소로에 이어서 2차 연소로가 가동되고 있으며 이후 배출가스 중 유해물질 처리를 위한 방지시설은 별도의 규정이 없어 각각의 시설별로 다르게 운영되고 있다.

화장장 배출가스는 화장 개시 초기에 있어서 로 내의 연소온도가 낮고, 유체의 70%에 해당하는 높은 수분량 등으로 인하여 불완전 연소를 일으키기 쉬운 특성으로 인하여 대기오염물질 및 악취가 높게 발생하는 것으로 지적하고 있다. (안우환, 2003)

#### 1.2 화장장 시설개요

##### 1) 주연소실

주연소실의 크기 및 구조는 관의 수용 및 소골의 추출이 용이하며, 로

의 운전 조작을 효율적으로 실시할 수 있는 구조로 수개의 로가 설치된 경우 각 로를 분리하여 독립형으로 설치하는 것이 일반적이다. 통상적으로 로 내의 크기는 W700 x H780 x L2300 정도이다. 주연소로에서의 연소과정을 살펴보면 점화 후 20분까지는 관 부장품들의 연소가 이루어지며 이 때 로 내의 온도가 700℃이하이다. 그 후 저온에서 고온으로 상승하여 신체 소화시 700~900℃의 고온으로 유지되는 온도변화경향을 보인다.

## 2) 재연소실

화장로에서 불완전연소된 배출가스를 재연소시키는 시설로 재연소로 내에서는 800℃ 전후의 온도가 유지되고 로 내 체류시간이 0.3초~1초 정도 유지되어 운전되고 있다.

## 3) 연소가스 냉각설비 및 열교환기

연소효율을 높이고 연료비 절감을 위하여 800℃ 이상의 배기가스를 이용하여 여열을 회수하고 배기가스를 냉각시킨다.

## 4) 방지설비

배기가스 중의 유해물질을 제거하기 위하여 싸이크론 또는 싸이크론 + 여과집진설비 등을 설치하여 대기유해물질을 제거한다. 국내 화장장의 방지시설별 설치현황을 살펴보면 일부시설의 경우 화장로 연소로 이외에 별도의 설비없이 최종 배출구로 연소가스를 배출하는 경우도 있으며, 일부시설의 경우 대기유해물질 제거를 위해 멀티싸이클론 만을 설치하여 가동하였으나, 최근에는 멀티싸이클론 후단에 여과집진기를 설치하여 운영하는 시설이 증가하고 있다.

최근 설치되고 있는 화장장의 시설개요는 Fig. 1과 같다.

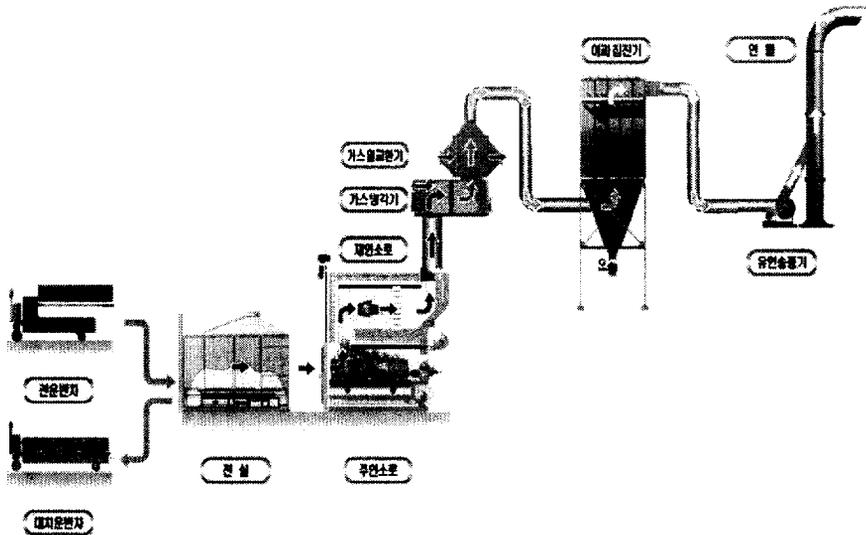


Fig. 1 General process of crematory

## 제 2절 대상시설의 운전조건

### 2.1. 화장로의 운전조건

본 연구에서는 화장로 운영형태별 PAHs 배출특성을 조사하기 위하여 화장로 연소 배출가스 후처리공정에 따라 그룹을 분리하였다.

연소가스의 처리설비 형태에 따라 방지시설이 없는 그룹(Type A), 기본적인 방지시설 운영 그룹(Type B), 여과집진기 또는 전기집진기를 추가적으로 설치하여 운용 중인 그룹(Type C)로 분리하였다. 각각의 타입별 연소가스 처리설비 현황은 Fig 2. 와 같다.

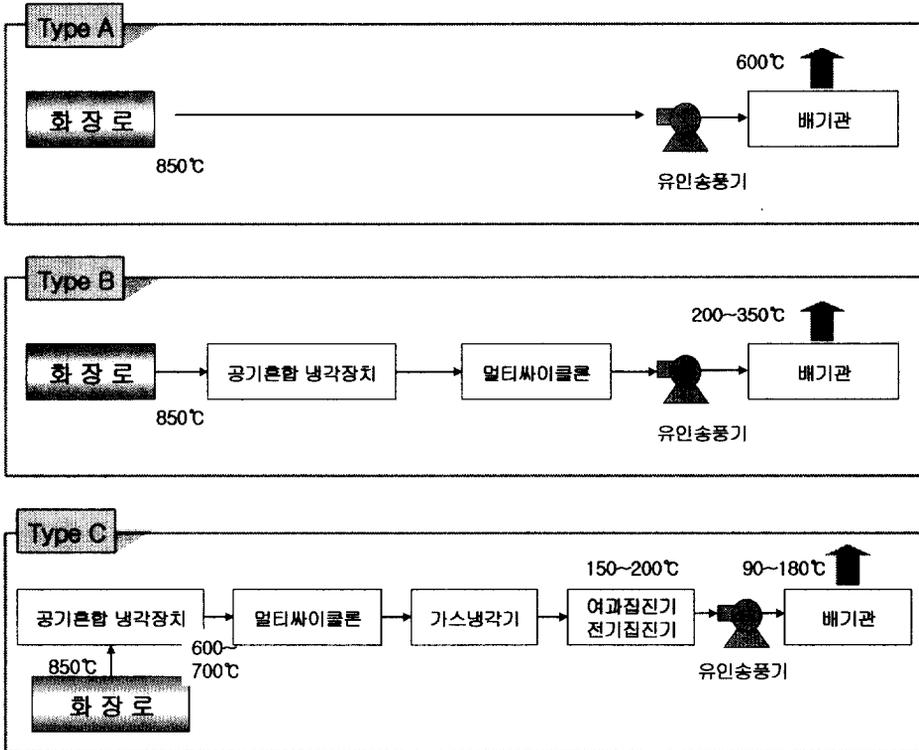


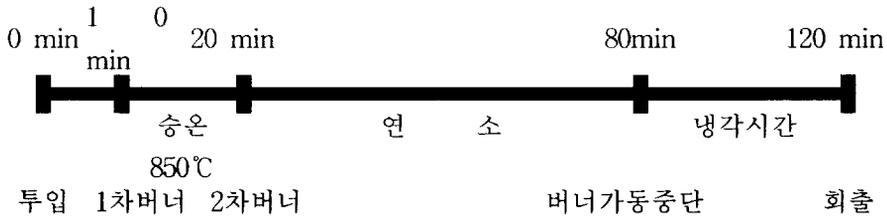
Fig. 2 Crematory process of each type

### 제 3절 시료채취 방법

#### 3.1 시료채취 방법

간헐운전(Batch Type)방식인 화장로에서 시신 1구에 대한 연소시간은 평균 60~90min 내외이다. 화장대상은 노환으로 사망한 성인을 대상으로 하였다. 화장로 가동시 화장원료물질로는 도장된 화장용관, 합성수지류 부장품 등이 포함되어 있다.

본 연구에서는 시신투입 후 2차 연소용 버너(또는 1차 연소용버너) 점화시부터 시료채취를 실시하여, 버너가동이 중지되는 시점까지 1 batch 에 해당되는 시간에 등속흡인으로 시료채취를 실시하였다.



**Fig. 3 Procedure of crematory operating**

### 3.2 시료채취 준비

원통여지는 사용 전에 850℃에서 2시간동안 강열시킨 후 아세톤 및 톨루엔으로 1시간 30분 이상 세척한 후 사용하고, XAD 수지의 경우는 아세톤 및 톨루엔으로 2시간 30분 이상 세척한 후 속실렛(Soxhlet)장치를 이용하여 메틸렌클로라이드로 4시간이상 세척 후 사용하였다.

초자류는 비눗물세척 후 초음파세척기를 이용하여 약 40분 가량 세척하였다. 이를 다시 비눗물로 세척하고 증류수 세척한 후 완전히 건조시킨 후 아세톤과 톨루엔을 이용하여 용매세척을 실시하였다. 용매세척이 완료되 초자류는 건조 후 알루미늄호일로 밀봉하여 사용하였다.

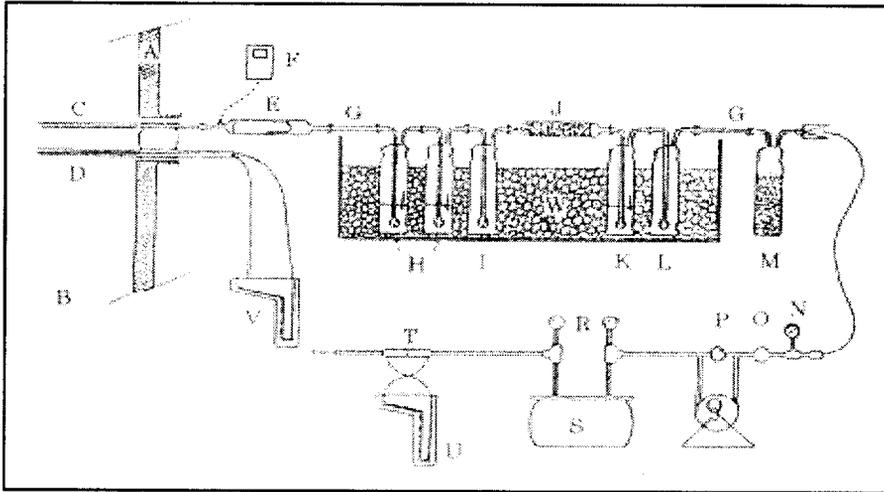
### 3.3 시료채취 방법

화장장 배출가스에서의 시료채취를 위하여 시료채취 기간 중 Dust Sampler 및 연소가스 분석기를 통하여 평균 배기 가스량, 유속, 배기가스 온도, 수분을 등 시료 채취를 위한 자료는 10분 간격으로 확인하였다.

한편 시료채취방법은 대기오염공정시험법에 준하여 실시하였다.

**Table 6. Equipment for PAHs sampling**

품 명	규 격 (모 델)
Stack Sampler	Apex MC 572
Gas Analyser	Green Line



- |                 |                  |
|-----------------|------------------|
| A: 굴뚝           | L: 공병            |
| B: 배출가스 흐름방향    | M: 임핀저(제습용 실리카겔) |
| C: 흡입관          | N: 진공계이지         |
| D: S형 피토우관      | O: 주 조정밸브        |
| E: 여과지 홀더       | P: 바이패스          |
| F: 열전도 온도계      | Q: 진공펌프          |
| G: 연결관          | R: 온도계           |
| H: 임핀저(물)       | S: 건식 가스메타       |
| I: 임핀저(공병)      | T: 오리피스          |
| J: 흡착관          | U: 오리피스 마노메타     |
| K: 임핀저(디에틸렌글리콜) | V: 피토우 마노메타      |
|                 | W: 얼음상자          |

**Fig. 4 Diagram of sampling equipment**

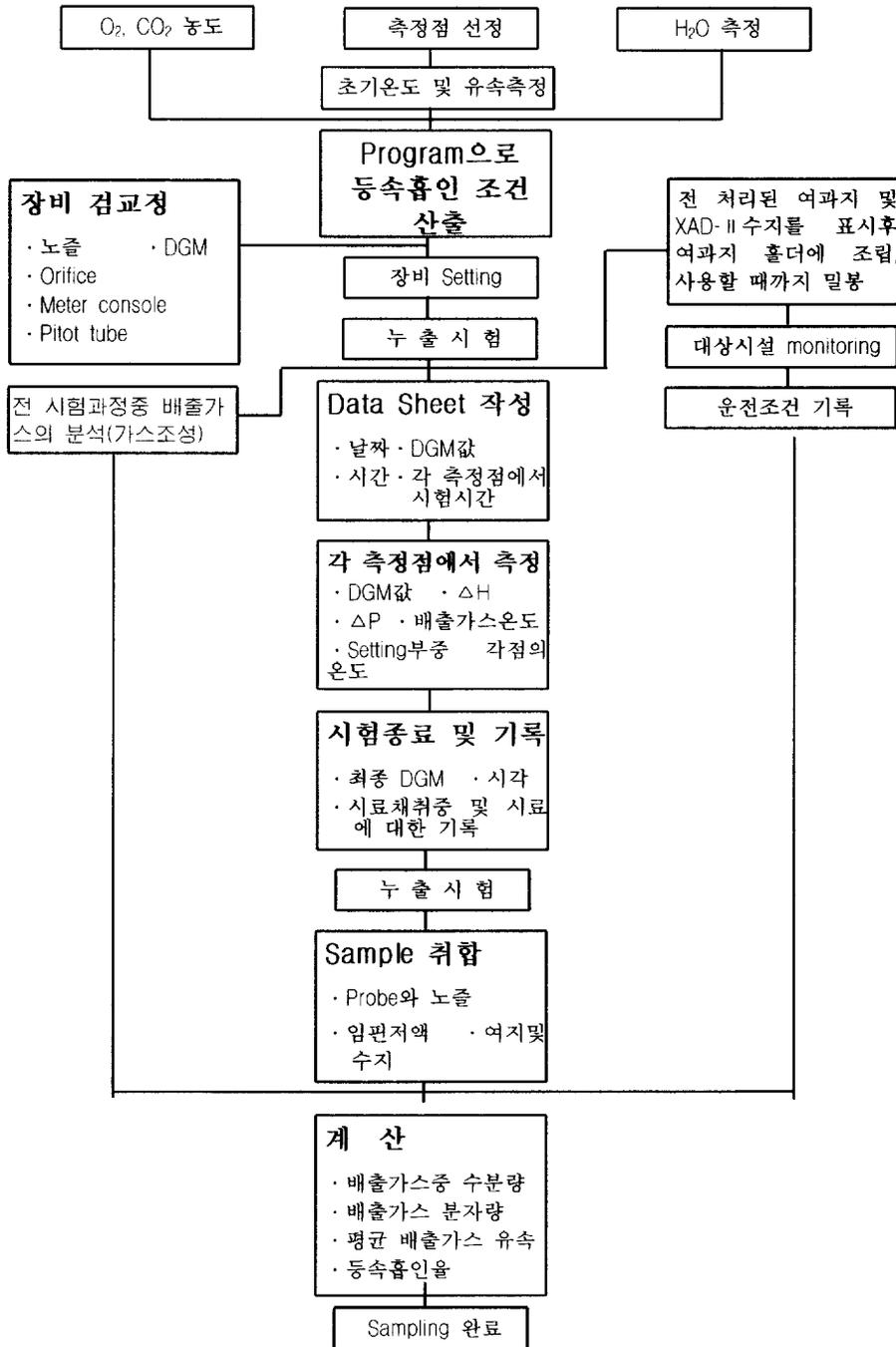


Fig. 5 Flowchart of sampling

## 제 4절 분석방법

### 4.1 전처리방법

채취된 시료 중 액상시료는 1 L 분액여두에 넣고 추출용매 톨루엔과 아세톤을 3:1 비율로 넣고 3번에 걸쳐 액-액 추출을 하였으며, 함께 채취된 입자상 시료는 톨루엔 200 mL로 16시간 동안 속실텍 추출을 하였다.

추출된 시료는 수조의 온도를 41~43℃로 하여 회전진공농축기(Rotary evaporator : EYELA社)를 이용하여 시료전체의 부피가 약 10mL가 되도록 농축하였다. 이 중 1mL(2g 분량)를 분취하여 PAHs 분석을 위한 시료로 하였다.

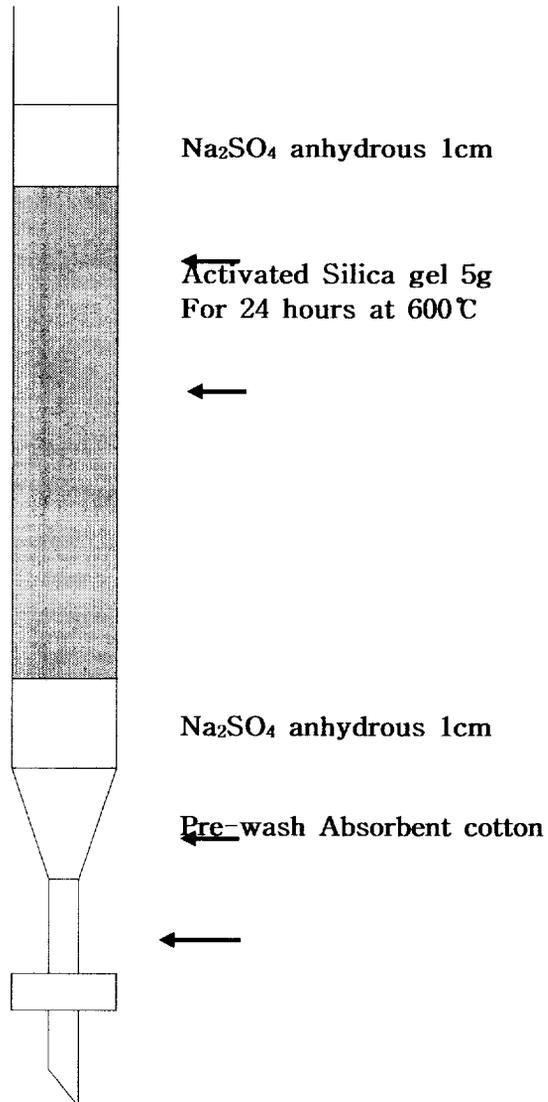
정제 칼럼을 통과시키기 위하여 시료 1mL에 Keeping solvent로 세정된 n-Nonane(Fluka 社) 300 $\mu$ L를 첨가한 후 실온에서 Toluene이 완전히 없어 질 때까지 질소(N<sub>2</sub>) 가스로 purge 시킨 후, n-Hexane(J.T. baker 社, 잔류농약분석용)으로 용매전환 하였다.

시료의 정제는 중성 Silica gel(Merck 社, 70~230mesh, Art. 7734)을 600℃의 전기로 내에서 2시간 동안 활성화하여 진공 데시케이터에 보관된 것을 1.5cm×25cm 유리관 Column에 충전하여 정제하였다. 충전순서는 Toluene으로 세정·건조된 탈지면, 무수황산나트륨 1cm, 600℃에서 2시간 활성화 한 Silica gel 5g, 무수황산나트륨 1cm의 순으로 충전하였다.

본 실험에 사용된 Cleanup Column Chromatography를 Fig. 6에 나타내었으며, 시료의 Cleanup up 의 흐름은 Fig. 7에 나타내었다.

시료의 정제는 Silica gel을 충전한 칼럼을 n-Hexane으로 세정한 후 세정된 Column에 시료를 넣고 용출 시켰다. 용출순서는 1st fraction은 n-Hexane 6mL를 매초 1방울의 유속으로 용출하였고, 2nd fraction은 10%의 Dichloromethane(Yakuy pure chemical, 잔류농약분석용)/n-Hexane 50mL를 용출시킨 후, 2nd fraction을 받아 Rotary evaporator로

농축한 후 질소가스(N<sub>2</sub>)로 purge 한 뒤, 최종 농축량을 200 $\mu$ l로 하여 GC/MS 분석을 행하였다.



**Fig. 6 Silica gel clean-up column.**

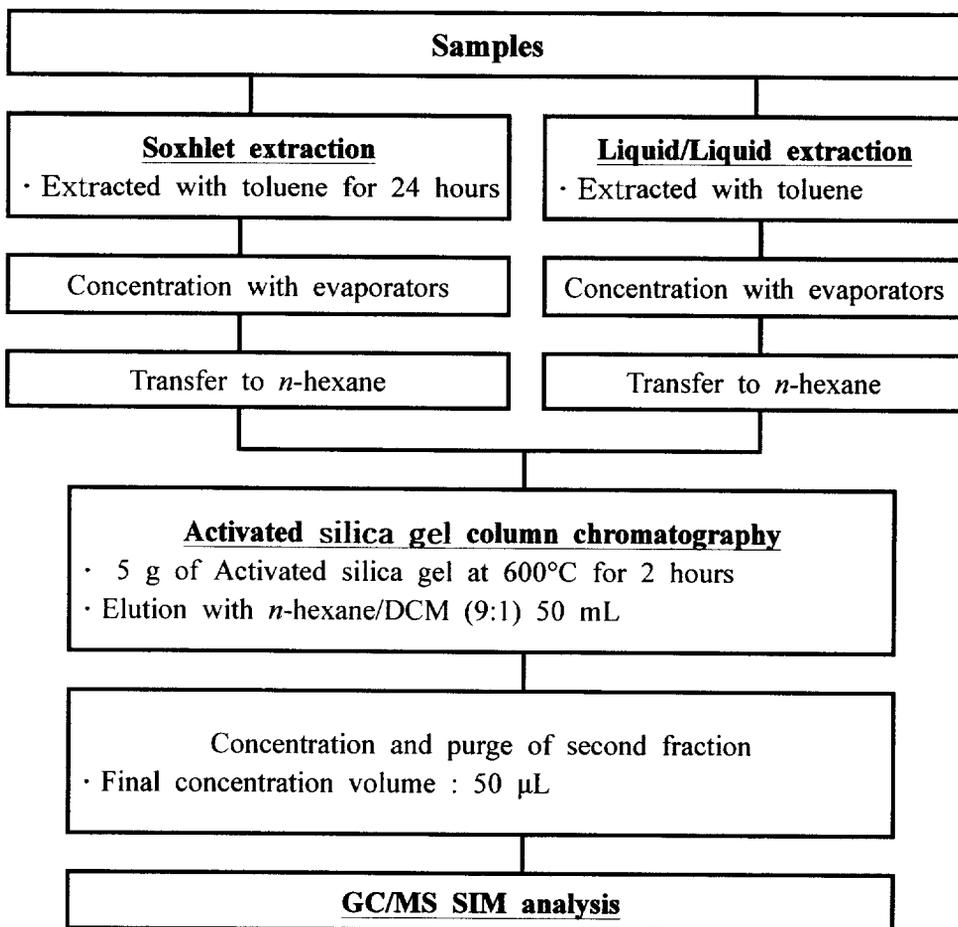


Fig. 7 Flowchart of sample cleanup.

## 4.2 GC/MS 분석

본 연구에 사용된 16종의 PAHs standards(EPA Method 610)의 물리·화학적 특성은 Table 4에 이미 나타내었으며, 분석에 사용된 GC/MS는 HP6890 series/HP5973이고, 사용된 Column은 HP-5MS Column이다.

16종 PAHs에 대한 GC/MS의 분석조건을 Table 10에 나타내었다. 본 연구에서 조사한 16종의 PAHs 표준물질의 크로마토그램을 Fig. 8에 나타내었고, 슬러지에서의 크로마토그램을 Fig. 9에 나타내었다.

**Table 7. Analysis conditions of GC/MS**

Item	Condition
GC	HP 6890series
MS	HP 5973
Column	HP-5MS (30m×0.25mm×0.25 $\mu$ m)
Interface Temp.	280 $^{\circ}$ C
Injector Temp.	240 $^{\circ}$ C
Carrier Gas	He (1.2ml/min)
Injection mode	Splitless
Purge on time	1 min
Ionization mode	EI mode
GC Program	
Initial Temp.	80 $^{\circ}$ C (1min)
Program rate	7 $^{\circ}$ C/min→240 $^{\circ}$ C(2min) 4 $^{\circ}$ C/min→280 $^{\circ}$ C(2min)
Final Temp.	280 $^{\circ}$ C (14min)

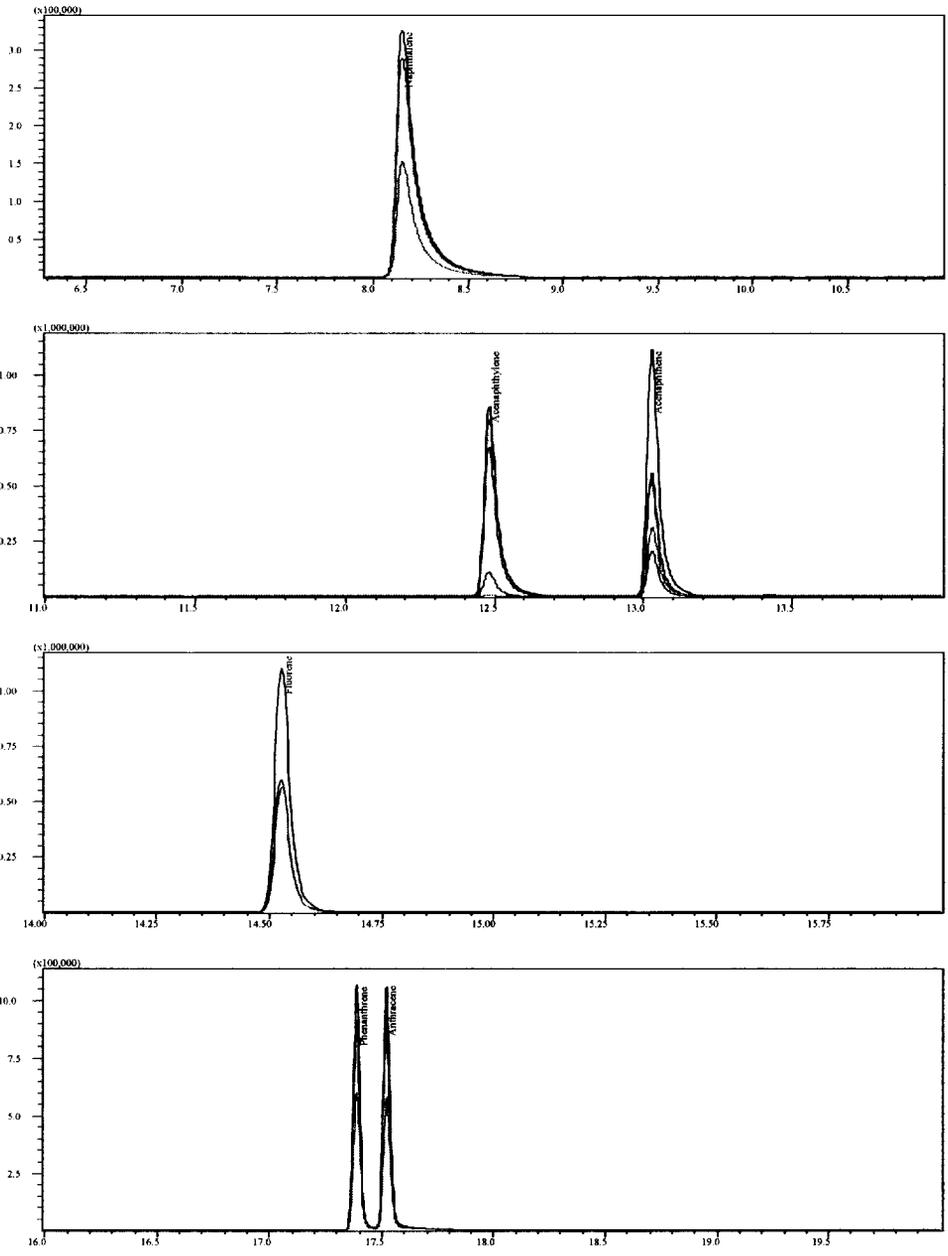


Fig. 8-1 Chromatogram of 16 PAHs standard.

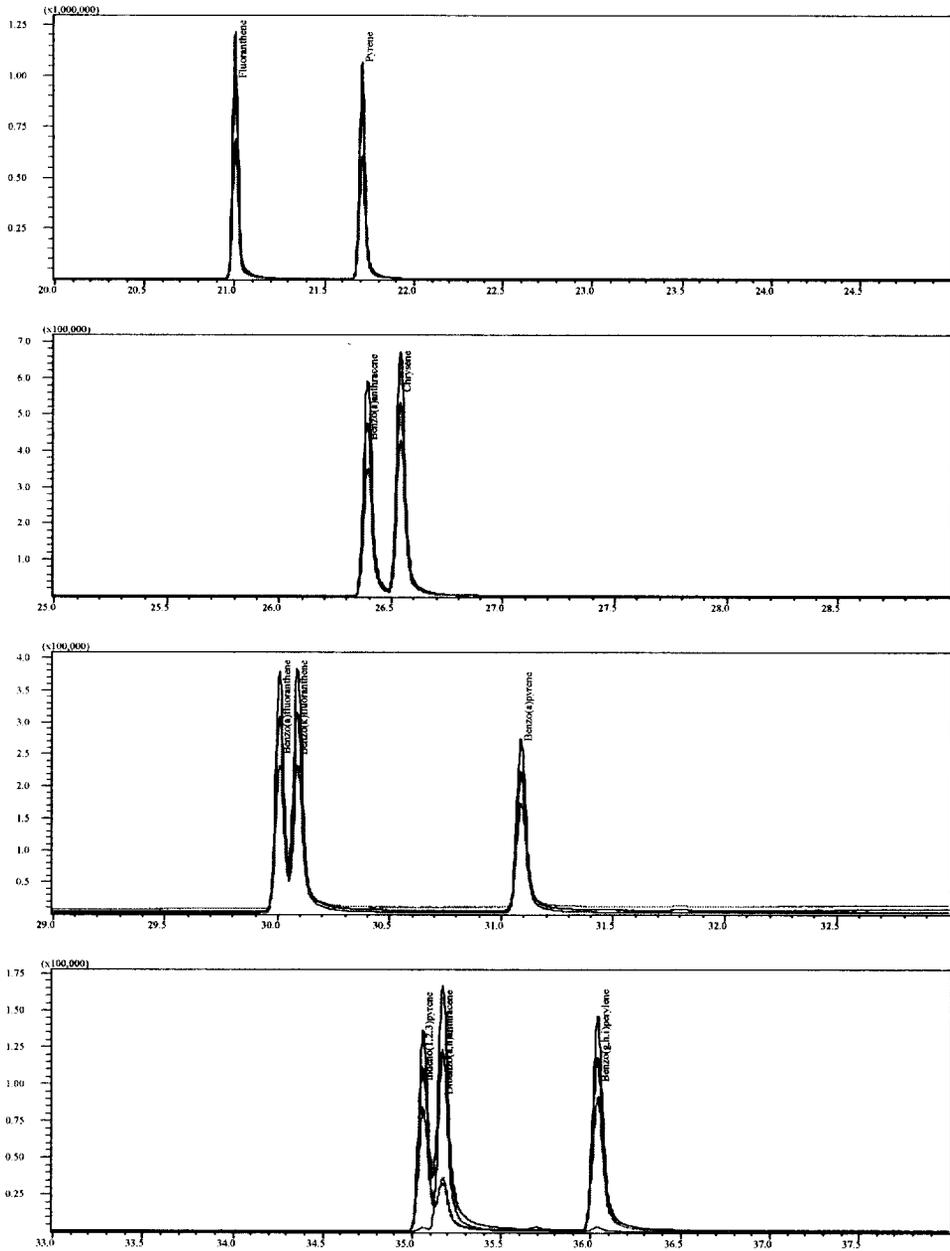


Fig. 8-2 Chromatogram of 16 PAHs standard.

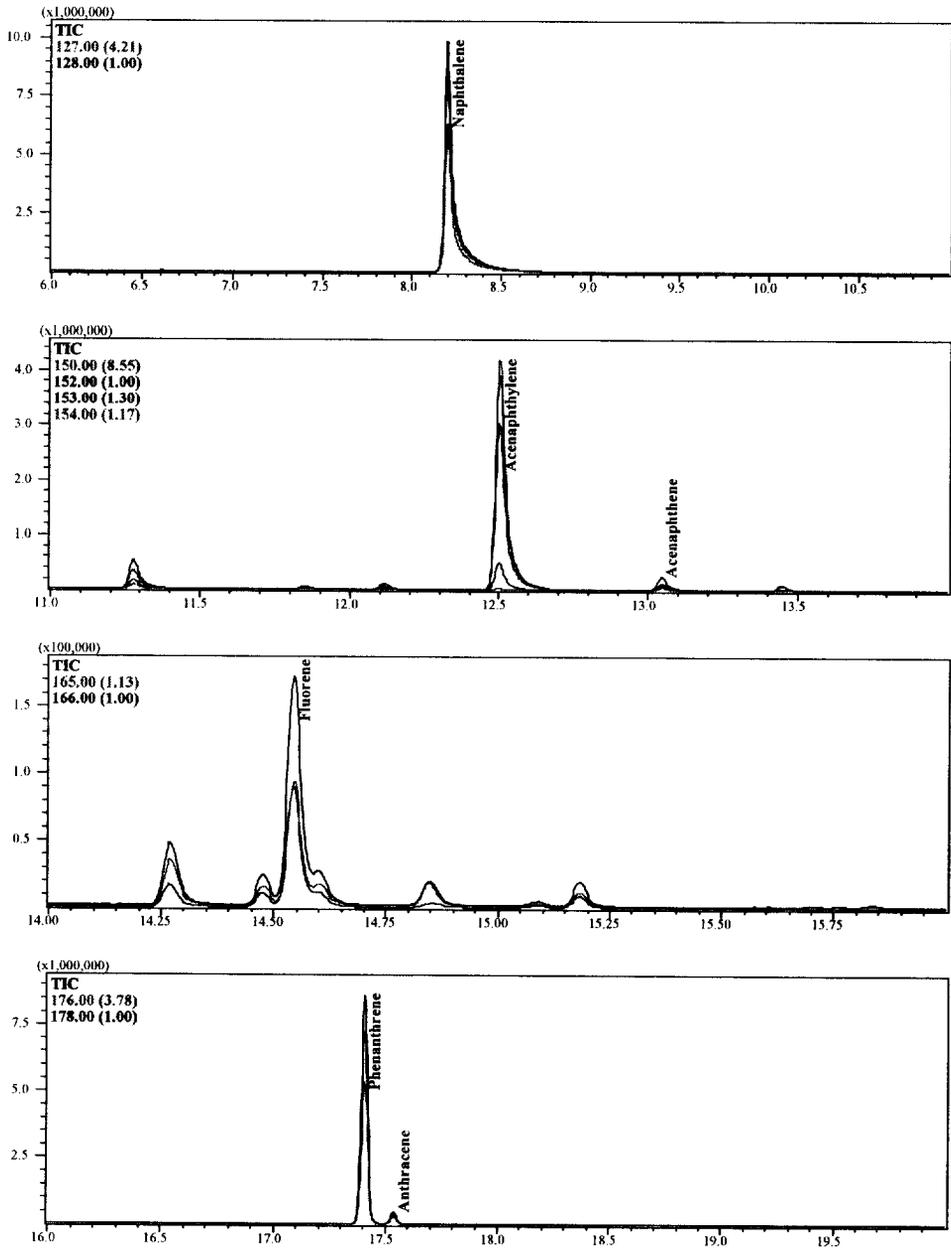


Fig. 9-1 Chromatogram of 16 PAHs sample.

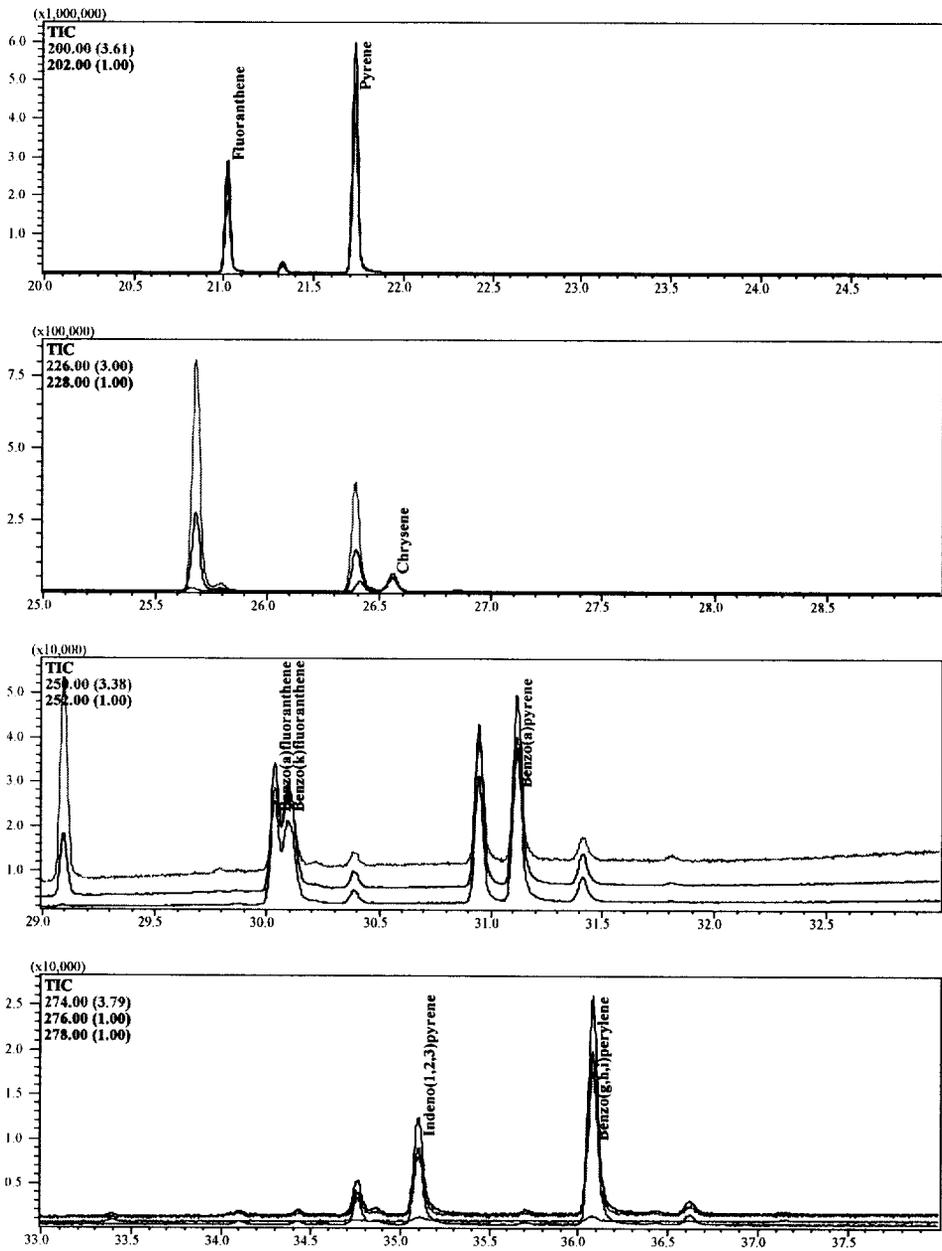


Fig. 9-2 Chromatogram of 16 PAHs sample.

## 제4장 결과 및 고찰

### 제 1절 PAHs 배출농도 및 분포

#### 1.1 PAHs의 농도수준

현재 국내 화장로의 경우 운전의 경우 별도의 운전지침이 없이 현장조건에 따라 수동으로 운전되고 있으며, 버너 작동시간, 공기 투입율 등의 기술적인 주요 운전변수들을 조작자가 현장에서 결정하여 운전되고 있는 실정이다. 국내에 일반적으로 설치되어 있는 50~80 kg/hr 내외의 화장로의 경우 배출가스량 범위는 2,174 Sm<sup>3</sup>/hr~11,894 Sm<sup>3</sup>/hr 이었으며, 유해 1구 화장시에 배출되는 가스량은 2,155 Sm<sup>3</sup>/body~10,407 Sm<sup>3</sup>/body으로 화장장 별로 배출가스량의 편차가 심하게 나타났다.

본 연구에서는 화장로 배출가스 중의 PAHs 농도분포를 조사하기 위하여 채취한 배출가스 시료에 대하여 16종의 PAHs를 분석하였다.

Fig. 10. 에 각 화장장별 배출가스의  $\Sigma$ PAHs 농도를 나타냈었다.

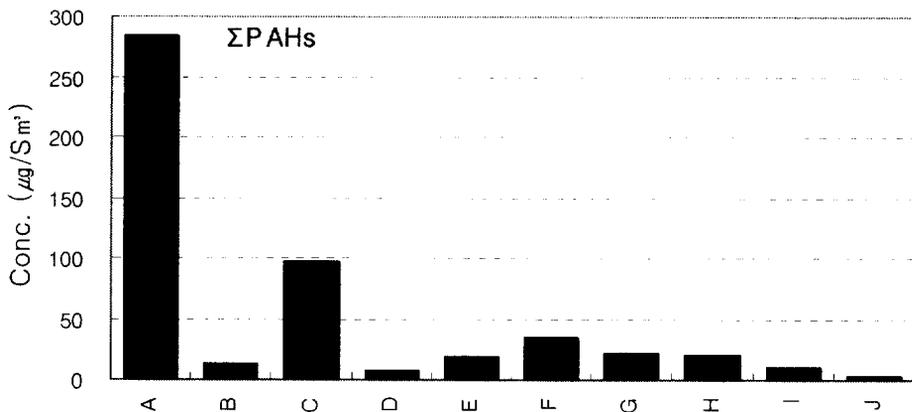


Fig. 10 Concentration of  $\Sigma$ PAHs of each crematory

**Table 8. Concentration of compound each crematory**

구분	농도범위 (최소 ~ 최대)	평균	표준편차
Nap	2.3 ~ 49.3	9.6	14.2
AcPy	0.1 ~ 31.2	4.4	9.6
AcP	0.0 ~ 0.2	0.1	0.1
Flu	0.0 ~ 3.1	0.7	0.9
PhA	0.4 ~ 36.1	9.0	11.5
Ant	0.0 ~ 2.6	0.4	0.8
FluA	0.2 ~ 39.1	8.2	12.8
Pyr	0.1 ~ 82.0	11.8	25.7
B(a)A	0.0 ~ 1.2	0.2	0.4
Chr	0.1 ~ 2.5	0.7	0.7
B(b)F	0.0 ~ 2.9	0.7	1.1
B(k)F	0.0 ~ 2.5	0.6	0.9
B(a)P	0.0 ~ 1.9	0.2	0.6
Inp	0.0 ~ 8.4	1.2	2.7
DbA	0.0 ~ 0.0	0.0	0.0
BghiP	0.0 ~ 24.1	3.0	7.6

Fig. 9 에 나타난 바와 같이 화장장별 배출가스에서의 농도수준은  $3.3 \mu\text{g}/\text{Sm}^3 \sim 284.6 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$ 로 나타났다. 각 화장장의  $\Sigma\text{PAHs}$  농도를 살펴보면 시설 A의 화장장이 가장 높게 나타났으며, 시설 J 화장장이 가장 낮은 수준을 나타내었으며, 평균농도수준은  $51.0 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$ 로 조사되었다.

화장장 배출가스에서의 PAHs의 profile 분포특성은 전체적으로 유사한 형태로 보이며 Naphthalene(Nap), Phenanthrene(PhA), Fluoranthene(FluA), Pyrene(Pyr)이 우세한 경향을 나타내었다.

화장장 배출가스에서의 16종 PAHs의 평균농도 및 각 화장장별 발생 패턴은 Fig. 11. 와 같다.

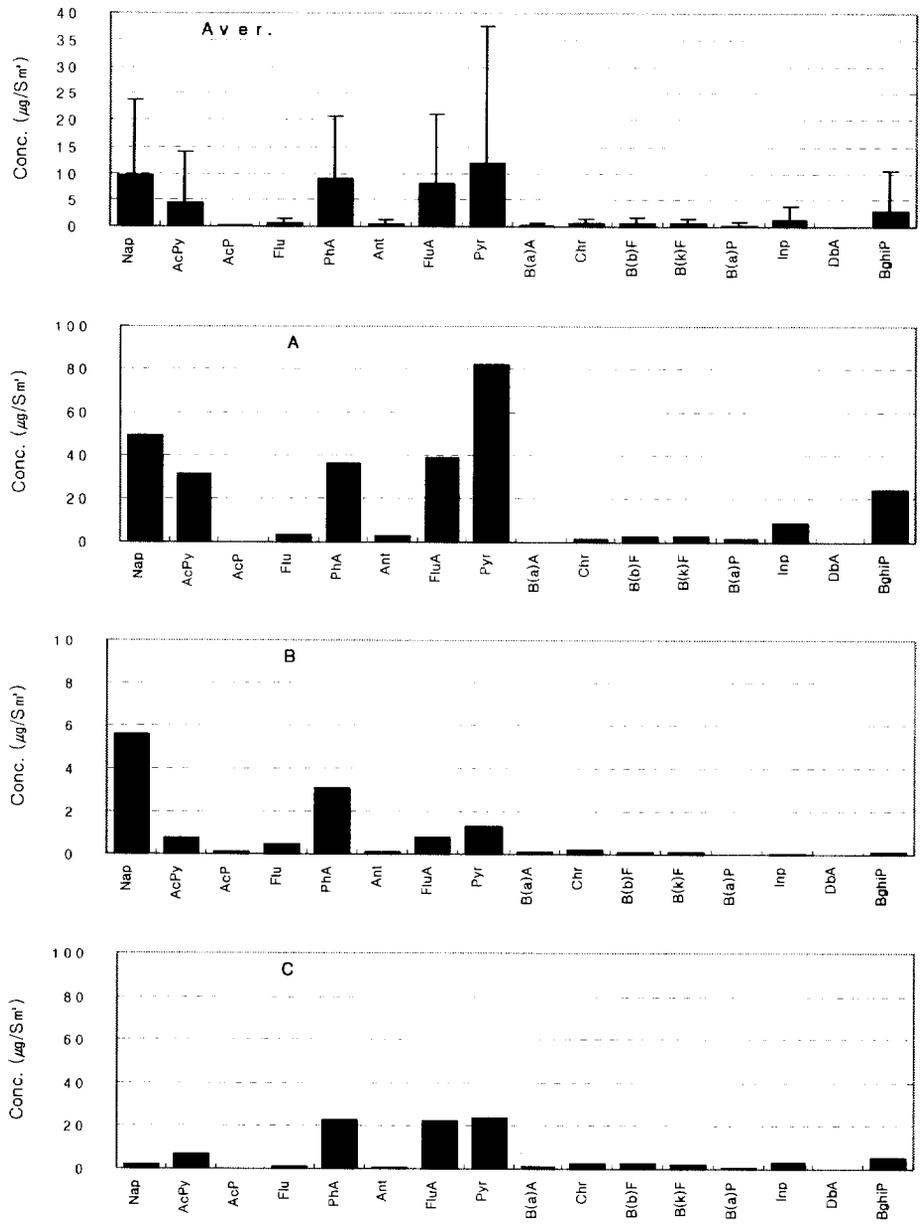


Fig. 11-1 Profile of PAHs compound each plant

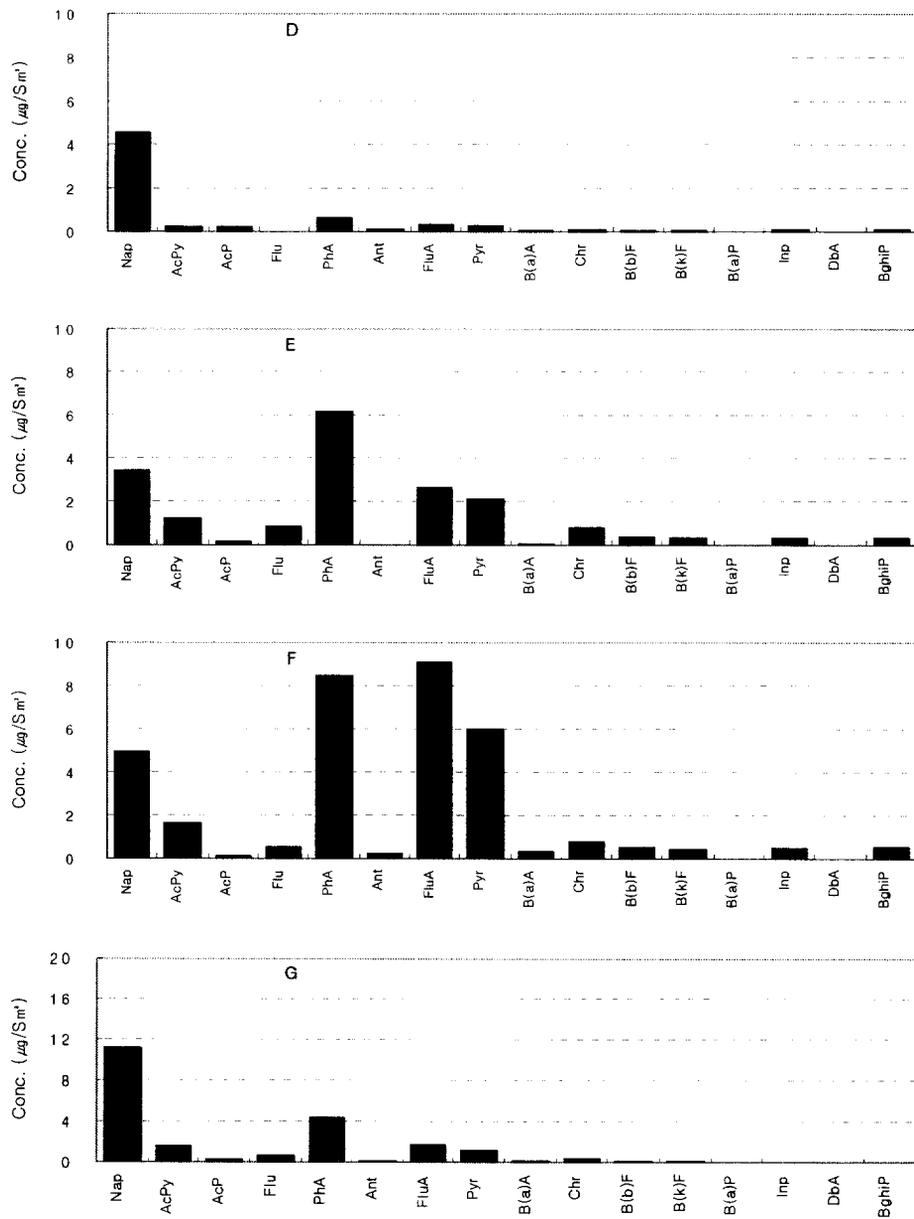
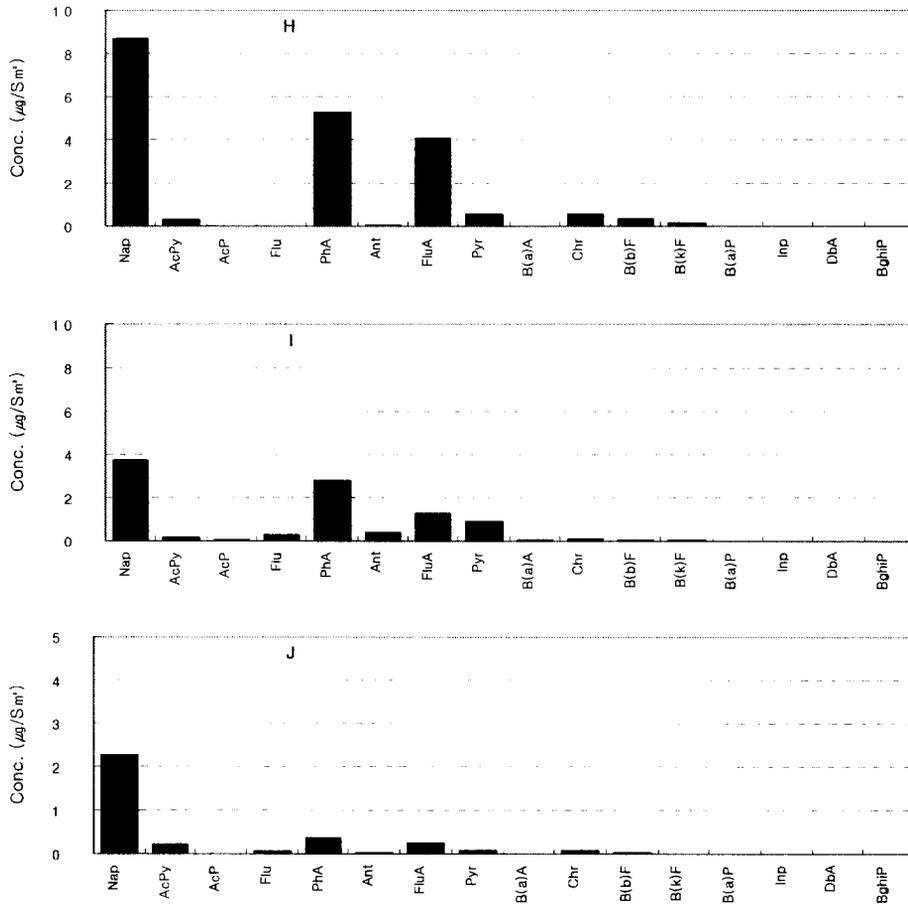


Fig. 11-2 Profile of PAHs compound each plant



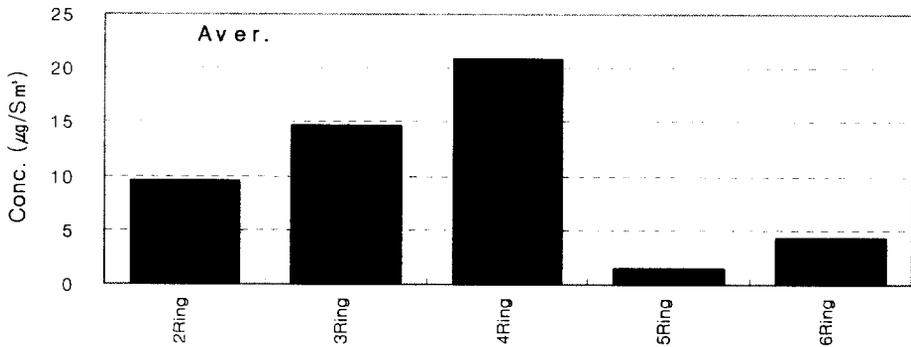
**Fig. 11-3 Profile of PAHs compound each plant**

## 1.2 환상별 PAHs 화합물 특성

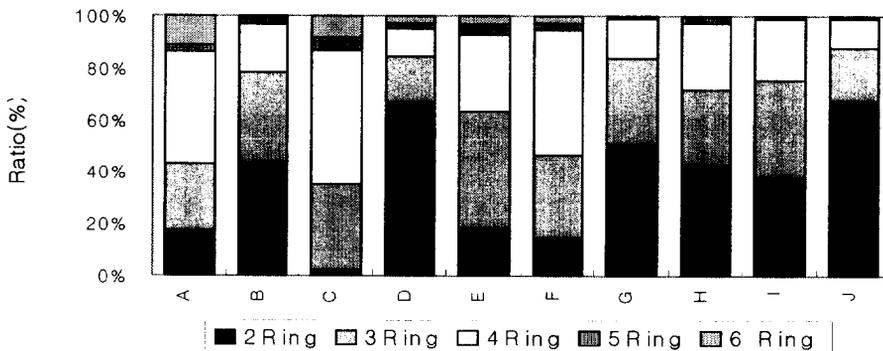
16종의 PAHs 는 환상별 구조를 가지며 2~6가지의 환상별로 구별될 수 있다. 환상별 PAHs의 물질은 Table 9에 나타내었으며, 화장로별 Ring별 농도분포와 발생비율은 Fig. 12 에 나타내었다.

**Table 9 . Classification within ring-group of PAHs compound**

	3 Ring	4 Ring	5 Ring	6 Ring
Compound	AcPy	FluA	B(b)F	InP
	AcP	Pyr	B(k)F	BghiP
	Flu	B(a)A	B(a)P	
	PhA	Chr	DbA	
	AnT			



**Fig. 12 Distribution of PAHs concentration by each ring group.**



**Fig. 13 Ratio of each Ring group.**

Fig 13에 나타난 바와 같이 2~4 Ring이 우세한 경향을 나타내고 있으며, 5 Ring과 6 Ring은 상대적으로 낮게 나타났다.

이들 PAHs 화합물 중 FluA, Pyr, B(a)A, B(b)F, B(k)F, Chr, B(a)P, B(e) P, Inp, Bghip 등과 같은 분자량이 높은 중·고비점 화합물의 경우 연소활동에 의하여 생성되는 물질로 지적하고 있는 F. Phrahl 등(1984)의 연구 결과에 의거하면 4~6 Ring 의 PAHs가 연소활동에 기여하는 것으로 나타났으나 본 연구 결과에서는 Ring 별 발생비율이 4 Ring > 3 Ring > 2 Ring > 6 Ring > 5 Ring 화합물 순으로 발생하였다.

본 연구에서 조사하고 있는 화장장의 경우 시설 A를 제외한 모든 시설에서 대기오염 방지설비를 가동중에 있었으며, 이 경우 방지지설에 의하여 입자상 물질이 제거됨에 따라 고비점 화합물이 동시에 제거되어 상대적으로 저비점 화합물의 비율이 높게 나타나는 것으로 판단된다.

### 1.3 PAHs 화합물중 발암성 물질에 대한 고찰.

Table 5. 에서 제시된 16개 PAHs 화합물중 발암예상물질인B(a)A, B(b)F, B(k)F, B(a)P, DbA, Inp은 Table 3.에서 나타내고 있는 돌연변이성 물질인 B(a)P, B(a)A, B(b)F, B(k)F, DbA, Inp, BghiP, Chr 과도 상당 부분일치하고 있다.

발암성과 돌연변이성을 유발할 수 있는 이들 물질은 대부분이 중, 고비점 화합물로서 화장장에서의  $\Sigma$ PAH<sub>carc.</sub> 농도범위는 평균  $3.0 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$ 로 검출한계이하부터  $15.7 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$  수준을 나타내었다.

각 화장장별  $\Sigma$ PAH<sub>carc.</sub>의 평균농도와 발생비를 Fig. 14 에 나타내었다. 각 화장장에서  $\Sigma$ PAH<sub>carc.</sub> 발생비율을 살펴보면 0.8~9.6%의 범위를 나타내는 것으로 나타났으며, 화장장 J 에서의 발생비율이 가장 낮은 것으로 조사되었다.  $\Sigma$ PAH<sub>carc.</sub> 화합물에서는 Inp이 평균 41.6% 으로 가

장 높게 나타났으며, 대표적인 발암물질인 B(a)p의 경우 평균 7.6%로 나타났다.  $\Sigma$ PAHs와  $\Sigma$ PAHcarc의 발생비율과  $\Sigma$ PAHcarc화합물별 농도분포를 Fig. 14와 Fig. 15에 각각 나타내었다.

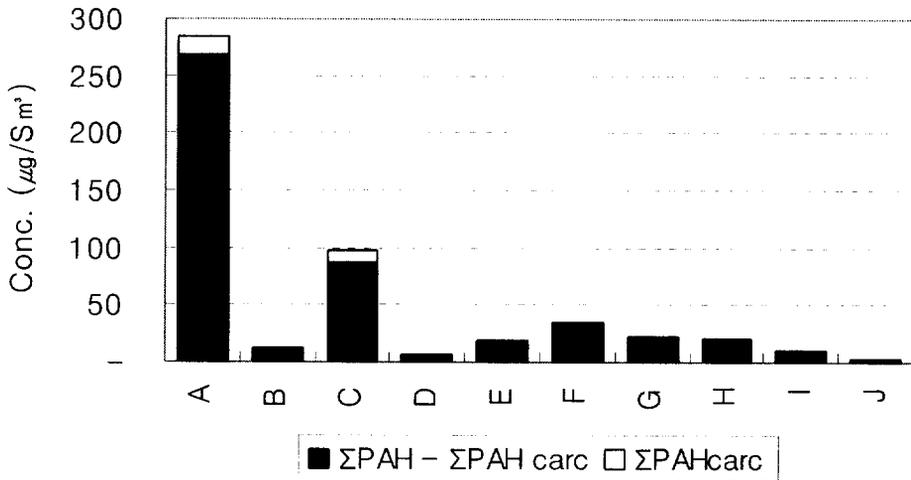


Fig. 14 Concentration of  $\Sigma$ PAHs and  $\Sigma$ PAHcarc compounds.

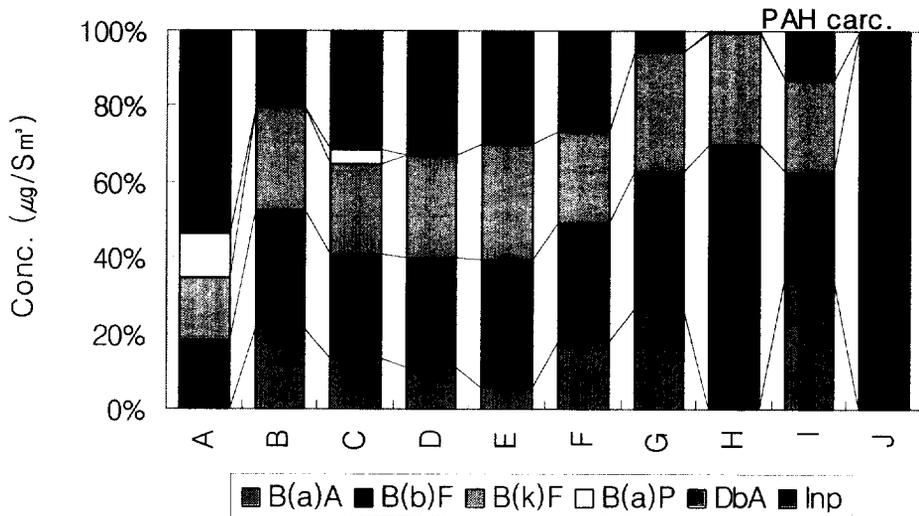


Fig. 15 Concentration of each  $\Sigma$ PAHcarc compound.

## 제 2절 연소가스 처리설비별 PAHs 배출특성

### 2.1 연소가스 처리설비별 PAHs 배출농도

본 연구에서는 화장로별 대기오염방지시설의 설치현황에 따라 PAHs 배출특성을 파악하기 위하여 연소가스의 처리설비 형태에 따라 방지시설이 설치되어 있지 않은 그룹(Type A, n=1), 멀티싸이클론만을 설치·가동중인 그룹(Type B, n=5), 멀티싸이클론의 후단에 추가적으로 여과집진기 또는 전기집진기를 설치한 그룹(Type C, n=4)로 분리하였다.

#### 1) 연소가스 처리설비별 PAHs 배출농도

Type 별 평균  $\Sigma$ PAHs 배출농도는 Type A, Type B, Type C의 경우 각각  $284.6 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$ ,  $34.0 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$ ,  $13.8 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$ 로 나타났다. Type A의 경우 16-PAHs 의 배출 농도가 기타 그룹에 비하여 8배에서 21배로 높게 나타났다. Type A에서 가장 우세하게 나타나는 화합물은 Pyr로  $\Sigma$ PAHs 배출농도의 28.8%를 차지하고 있다. Type B의 경우 가장 우세하게 나타나는 화합물은 Pha로  $\Sigma$ PAHs 의 24.4%를 차지하고 있다. Type C의 경우 가장 우세하게 나타나는 화합물은 Nap로  $\Sigma$ PAHs의 47%를 차지하였다. Type C의 경우 방지시설의 특성상 입자상 물질의 제거효율이 A, B에 비하여 양호하며, 이에 따라 고비점화합물이 배출비율이 Type A, B에 비하여 낮은 것으로 사료된다. Fig. 16에 각 그룹별 profile을 나타내었다.

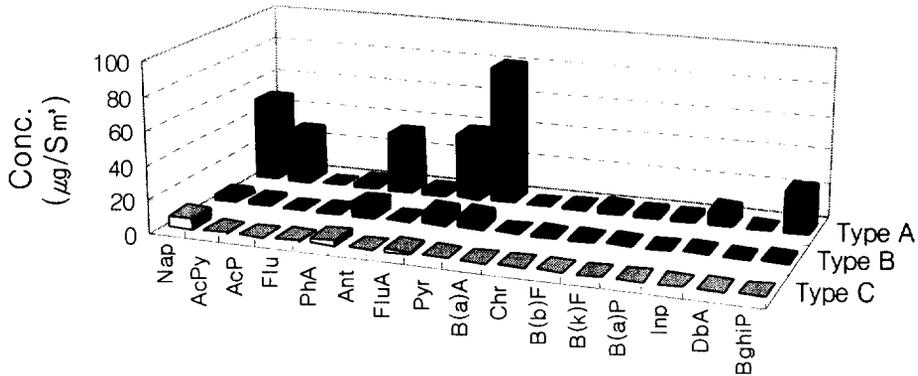


Fig. 16. Profile of PAHs compound each type

## 2) 연소가스 처리설비별 환상별 PAHs 화합물 특성

환상별 PAHs 화합물의 배출특성은 Fig. 17에 나타난 바와 같이 Type A, B 에서는 4 Ring > 3 Ring > 2 Ring > 6 Ring > 5 Ring 화합물순으로 발생하였으며, 환상별 배출특성이 유사한 경향을 보이고 있으나, Type C에서는 2 Ring > 3 Ring > 4 Ring > 5 Ring > 6 Ring 화합물 순으로 배출이 되는 것으로 나타났다.

연소가스 처리설비가 설치되어 있지 않는 Type A의 경우 4 Ring 화합물이 43%로 우세하게 검출되었으며, 고비점 화합물인 5, 6Ring 에서의 배출비율은 14.0%로 나타났다. 원심집진설비만을 갖추고 있는 Type B의 경우에는 4Ring 화합물이 평균 44%, 3 Ring 화합물이 평균 33%, 2 Ring 화합물이 평균 12%로 검출되었으며, 중고비점 화합물인 5 Ring과 6 Ring의 합계가 10%로 검출되었다. Type C의 경우에는 2 Ring 화합물이 평균 47% 이었으며, 고비점화합물인 5 Ring과 6 Ring 에서의 배출은 1.8%로 미만으로 나타났다.

Fig 17에 각 Type에 대한 Ring 별 화합물을 나타내었다. Type별의 비교결과 방지시설 운영에 따른 입자상 물질의 제거에 의하여 중고비점 화합물의 저감이 이루어지고 있는 것으로 판단된다.

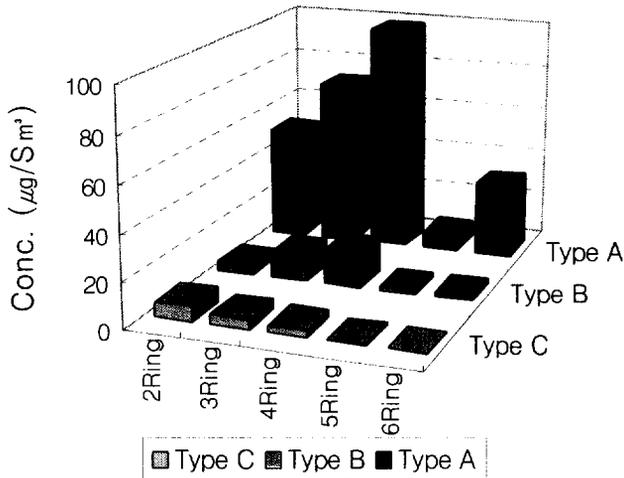
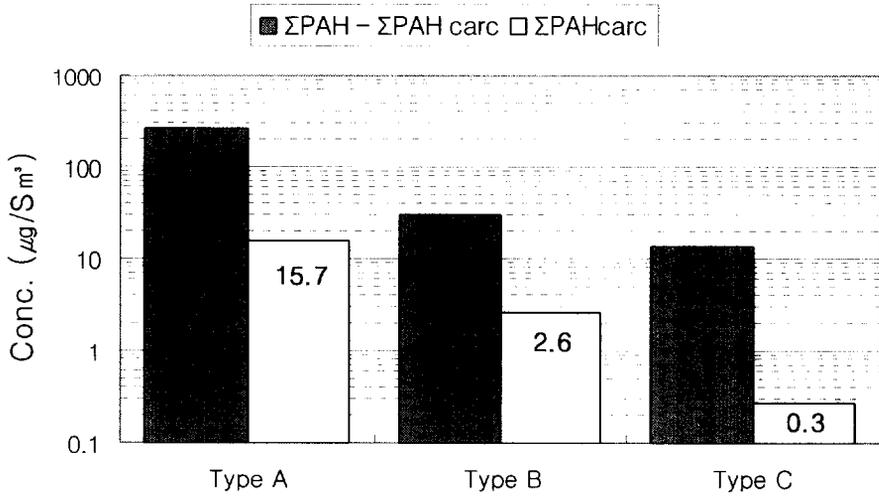


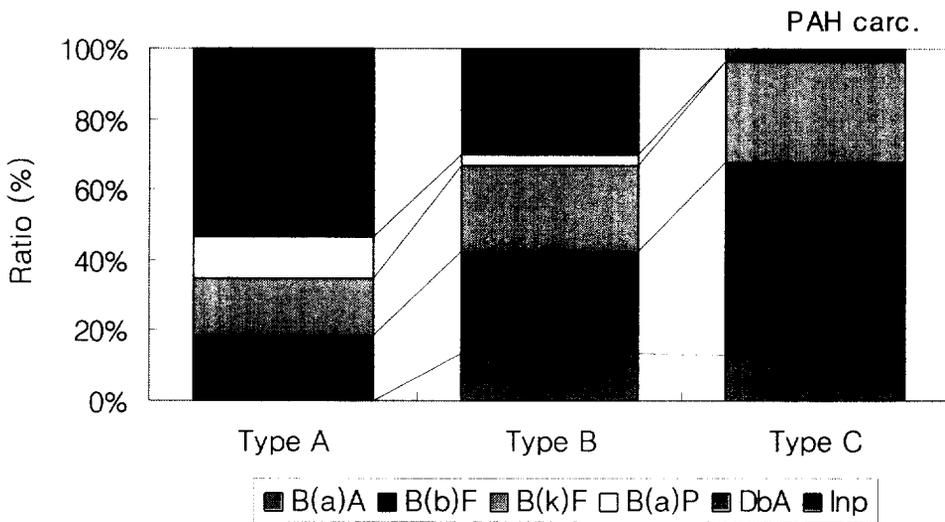
Fig. 17 Profile of PAHs compound each Ring group

### 3) 연소가스 처리설비별 PAHs 화합물중 발암성 물질 배출특성

$\Sigma$ PAHScarc의 배출농도를  $\Sigma$ PAH의 배출농도와 비교한 결과 Type A의 경우 5.7%, Type B에서는 8.0%, Type C에서는 2%의 비율을 보이고 있다. Fig. 17에서 고비점 화합물의 배출비율이 10%이상으로 나타났던 Type A, B의 경우 발암성 물질의 배출비율도 Type C에 비하여 상대적으로 우세한 것으로 조사되었다. PAHcarc 화합물 중 Inp의 경우 Type A에서 C로 갈수록 배출비율이 급격하게 감소하는 경향을 보이고 있으며, B(b)F와 B(k)F의 경우 Type A에서 Type C로 갈수록 배출비율이 증가하는 경향을 나타낸다.  $\Sigma$ PAH와  $\Sigma$ PAHScarc의 배출농도비율은 Type 별 발암성 물질의 배출특성을 Fig 18에 나타내었다.



**Fig. 18 Average concentration of ΣPAHs and ΣPAHcarc compounds**



**Fig. 19 Ratio of PAHcarc compounds.**



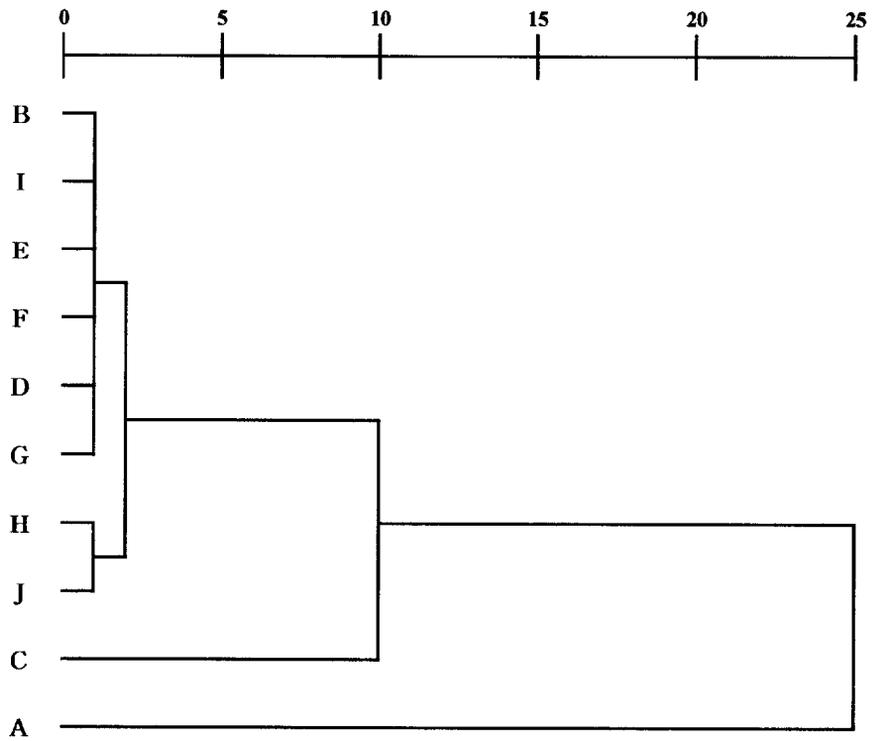
### 3.2 군집분석

16종의 PAHs를 배출하는 10곳의 화장장에 대하여 SPSS (Statistical Package for the social Science)를 통한 군집분석(Cluster analysis)을 실시한 결과를 Fig. 21에 나타내었다.

군집분석 결과 방지사설을 가지고 있지 않는 A시설의 경우 군집을 형성하지 못하고 다른 배출특성을 보이는 반면, 원심력집진시설(Cyclone)을 갖추고 있는 B, C, D, E, F 시설과 원심력(Cyclone)과 여과집진시설(Bag filter)을 조합한 G, H 시설과 원심력(Cyclone)과 전기집진장치(Electrostatic Precipitator)를 조합한 I, J 시설의 경우 C 시설을 제외하고는 유사한 군집을 형성하고 있는 것으로 분석되었다.

16종 PAHs의 농도분포에 있어서는 방지사설의 유무에 대하여 확연히 구분되는 군집을 형성한 반면, 방지사설의 종류에 있어서는 명확한 군집으로 분리되지 않는 특징을 보였다. 이러한 특징에 대한 원인으로는 고온영역의 화장로 내부온도와 화장로 굴뚝까지의 짧은 체류시간에 기인하는 것으로 판단된다. 즉, 높은 온도와 짧은 체류시간으로 인하여 각각의 방지사설별 농도특성이 발현되기는 어려운 것으로 판단된다.

Rescaled Distance Cluster Combine



**Fig. 21. Dendrogram of gaseous and particulate phase of PAHs profile in crematory.**

## 제 4절 화장장 배출가스중 PAHs의 배출량 산정

### 4.1 배출량 산정식

일반적으로 오염물질의 배출평가에 이용되는 방법은 대기와 수계에 들어가는 물질의 총량에 초점을 맞추는 『The Load Orientated Approach』 방법과 배출원에서 대기와 수계로 배출되는 것에 초점을 맞추는 『The Source Orientated Approach』 방법으로 크게 분류할 수 있다.

『Source Orientated Approach』 방식은 배출점(the point of emission)에서의 배출 혹은 누출을 정량하는 것과 관련이 있으며 일반적으로 직접 측정에 기초하고 이를 통하여 배출원로부터 배출량을 평가한다. 배출량 산정방식은 각 개별시설의 배출계수를 가지는 경우 적용가능한 『Bottom up Approach방식』 과, 개별시설의 배출계수를 가지지 않는 경우 사용되는 『Top down Approach방식』 으로 구별 될 수 있다.

『Bottom up Approach』 는 개별 시설의 배출량을 산출한 후 이를 합하여 총 배출량을 산출하는 방법이며 주로 대형 배출업체에 적용되는 방법이다. 『Top down Approach』 방법은 배출시설이 많고 밀집되어 있어 전 시설의 배출량을 조사하는 것이 불가능한 경우 배출계수와 활동도를 이용하여 배출량을 산출하는 방법으로, 적용하기 쉬운 장점이 있는 반면 각 배출원의 경향만을 파악할 수 있다는 단점이 있다. 반면 『Bottom up Approach』 방법은 각 시설에 대한 정확한 배출량을 파악할 수 있으나 시간적, 경제적으로 많은 제약사항이 있어, 실제로는 두 접근방법을 결합하여 사용하고 있다.

본 연구에서는 화장장에서의 배출계수를 산출하고 연간 활동도를 이용하여 연간 배출량을 산정하는 『TOP Down Approach방식』 을 이용하여 화장장에서의 PAHs 배출량을 산정하고자 한다. 배출량 산정을 위한 공식은 다음과 같이 요약될 수 있다.

$$R_{air} = EF \times A$$

여기서,  $R_{air}$  : 환경중으로 배출되는 PAHs의 연간 배출량(g-TEQ/yr)

$EF$  : PAHs 배출계수 (g/ton)

$A$  : 연간 활동도(ton/yr) 이다.

## 4.2 배출계수

시신1구 화장시에 배출되는 PAHs배출량을 검토한 결과 조사대상 화장장에서의 배출량 범위는 31.8 ~ 638.7 mg/body이고, 평균  $\Sigma$ PAH 배출량은 206.8 mg/body로 조사되었다. 방지시설별로 살펴본 결과 Type A의 경우 613.5 mg/구, Type B에서는 47.1~638.7 mg/구, Type C에서는 31.8~101.4 mg/구로 Type C의  $\Sigma$ PAH 배출량은 Type A의 12%, Type B의 31% 수준으로 조사되었다. Fig 20의 PAH 화합물별 배출계수는  $\Sigma$  PAH 배출농도와 유사한 경향을 보이고 있다.

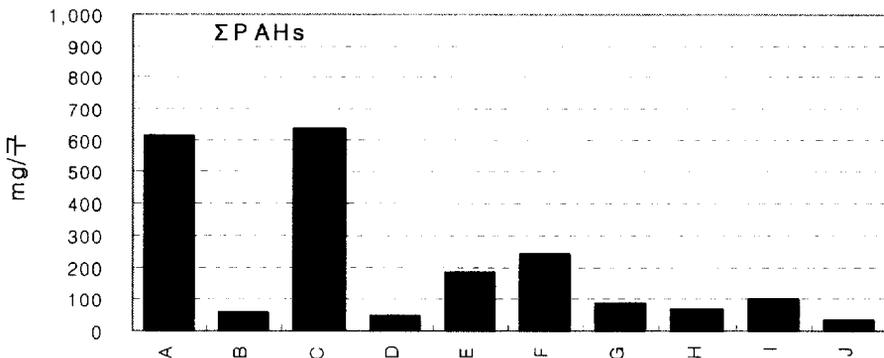


Fig. 22 Emission factor of each crematory

발암성 물질의  $\Sigma$ PAH<sub>carc.</sub> 배출계수범위는 0.3mg/body ~ 61.5 mg/body 으로 조사되었다. PAH의 유해성을 대표적인 POPs 물질 중 하나인 다이옥신과 비교하여 위하여 2,3,7,8 TCDD의 독성을 1로 가정하였을 때의 PAH 독성에 대하여 환산한 자료를 Table 10.에 나타내었다.

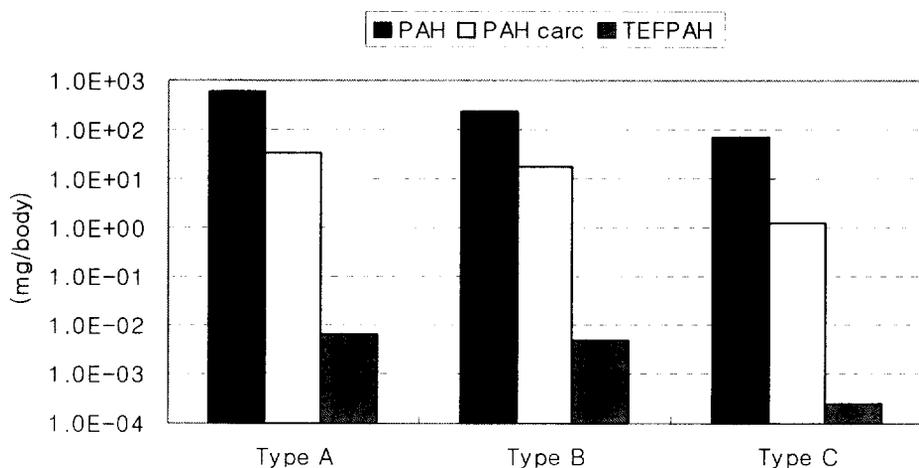
본 연구에서는 가장 최근의 연구결과로써 BaP에 가장 높은 독성계수를 부여하였고 6종의 발암성 PAH에 대한 독성등가를 제시한 Klimm et al 발표한 독성등가계수를 활용하였다. 조사결과 TEQ PAH의 배출계수 범위는 0.0 mg-TEQ/body ~ 0.014 mg-TEQ/body 으로 조사 되었다. 각 화장장에서의 배출계수에 대하여 Table 11 및 Fig. 23에 Type별로 Σ PAHs 와 ΣPAHcarc를 비교하여 나타내었다.

**Table 10. TEF PAHs values proposed other studies**

Compound	Willett et al.	Clemons et al.	Klimm et al.
	1997	1998	1999
Benzo(a)anthracene :			
BaA	0.000025	0.00001	0.000027
Chrysene :			
Chr	0.0002	0.01	-
Benzo(b)fluoranthene :			
BbF	0.00253	-	0.00038
Benzo(k)fluoranthene :			
BkF	0.00478	0.05	0.00029
Benzo(a)pyrene :			
BaP	0.000354	0.00001	0.0003
Indeno(1,2,3-cd)pyrene :			
InP	0.001	-	0.000086
Dibenzo(a,h)anthracene :			
DbA	0.00203	0.05	0.000078
Anthracene :			
AnT	-	0.0001	-

**Table 11. Emission factor of crematory**

구분		배출계수 (mg/body)		
		$\Sigma$ PAH	$\Sigma$ PAHcarc	TEQ PAHs
Type A	a	613.5	33.8	0.007
Type B	a	59.3	1.8	0.000
	b	638.7	61.5	0.014
	c	47.1	1.9	0.007
	d	181.5	10.4	0.000
	e	239.7	12.3	0.002
	평균	233.3	17.6	0.005
Type C	a	85.5	1.3	0.000
	b	69.4	1.9	0.000
	c	101.4	1.5	0.000
	d	31.8	0.3	0.000
	평균	72.0	1.3	0.000
평균		206.8	12.7	0.003



**Fig. 23 Compare with each emission factor**

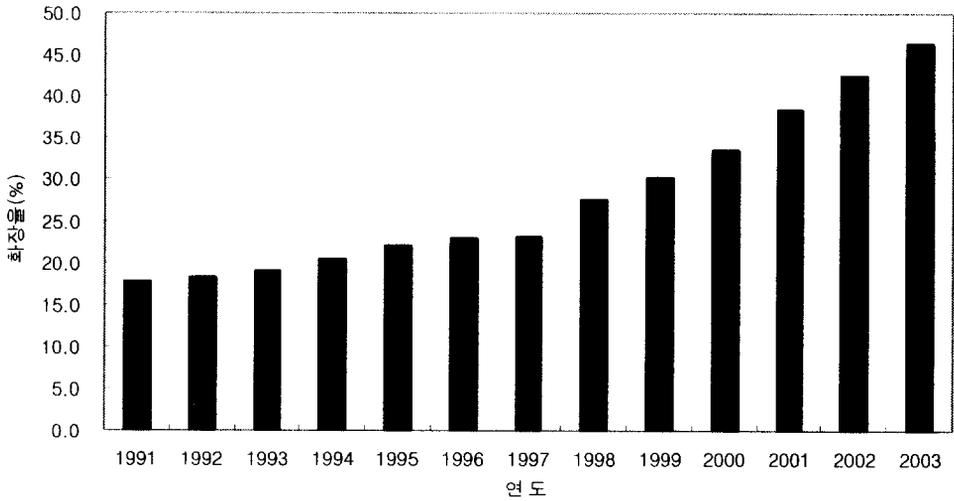
### 4.3 활동도

최근 국내 화장현황과 화장율을 Table 12와 Fig. 24에 나타내었다.

국내의 화장율은 1997년 까지는 20% 이하로 거의 변화가 없었으나, 1998년부터 급격히 증가하기 시작해서 2003년에는 46.4%에 달하고 있다. 전국 연도별 화장 건수는 2000년 81,270건, 2001년 93,493건, 2002년 105,103건, 2003년 157,233건으로 지속적인 증가율을 보이고 있다.

**Table 12. Present state of crematory in Kora**

연도	화장실적(천구)
1995	53.9
1996	57.0
1997	56.9
1998	61.0
1999	74.7
2000	81.3
2001	94.5
2002	105.1
2003	157.2



**Fig. 24 Ratio of cremation between 1991 ~ 2003**

국내의 화장률은 향후 급격하게 증가할 것으로 전망되고 있다. 이러한 화장에 대한 기본의식의 변화부터 나타나는 긍정적인 변화로 화장 증가율도 유례가 없을 정도로 급증하고 있으며 앞으로도 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 화장율 추계를 위한 자료는 보건복지부에서 제공하는 국내 화장장 및 납골당 이용현황 자료를 인용하였다. 화장율을 추계하는 방법은 장기추계방법으로는 비현실적이지만 단기추계에 있어서는 실제 값에 잘 부합되는 2차 함수를 이용하여 2010년 까지의 화장율을 추계한 결과 2005년에는 약 210,000구, 2010년에는 440,000구로 추계되었다.

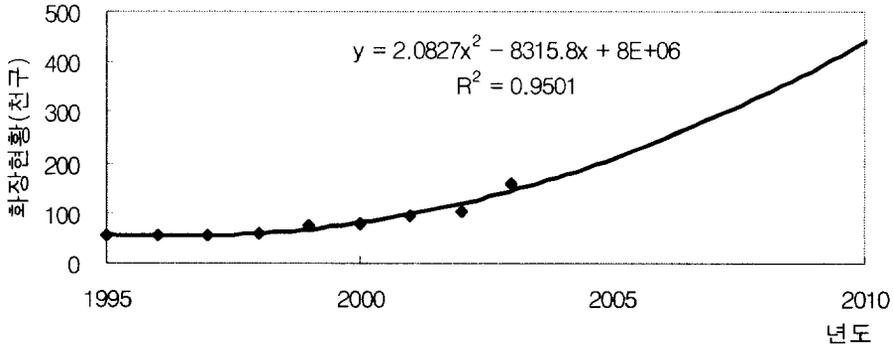


Fig. 25 Prediction of cremation until 2010

#### 4.4 배출량 산정

현재 보건복지부에서 제시하고 있는 국내 화장실적은 화장장의 방지시설 Type과는 무관하게 총계로 제시되고 있으므로 배출량 산정을 위하여 Table 11의 배출계수 중 전체 평균 배출계수를 이용하였다.

2003년 국내 화장실적을 이용한 결과 국내 화장장 배출가스에서의  $\Sigma$  PAHs와  $\Sigma$ PAHcarc,  $\Sigma$ TEQ PAH의 연간 발생량은 각각 32,514 g-PAH/yr, 1,993 g-PAHcarc/yr, 0.5 g-TEQ PAH/year 로 추정되었다.

2005년의 화장실적을 210,000구, 2010년의 화장실적을 440,000구로 추정하여 배출량을 추정한 결과  $\Sigma$ PAHs와  $\Sigma$ PAHcarc.,  $\Sigma$ TEQ PAH의 연간배출량은 2005년에는 43,435 g-PAH/yr, 2,661 g-PAHcarc/yr, 0.7 gTEQPAH/yr, 2010년에는  $\Sigma$ PAHs와  $\Sigma$ PAHcarc,  $\Sigma$ TEQ PAH의 연간배출량은 95,986g-PAH/yr, 5,576g-PAHcarc/yr, 1.4g TEQ PAH/yr로 추정되었다.

## 제 5장 결론 및 제언

본 연구결과는 국내 화장로 연소공정에서 최종 배출되는 연소가스에서 PAHs배출 특성에 대하여 1) 각 화장장별 PAHs 농도 수준, 2) 환상별 PAHs 화합물의 배출특성, 3) 주요 발암성 PAHs와 총 PAHs와의 상관성을 비교하였으며, 4) 화장장별 통계분석을 실시하고, 5) 평균배출계수를 도출하였으며, 6) PAHs 배출량을 추정하여 향후 국제협약 대응을 위한 기초연구를 수행하였다. 이에 대하여 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

1) 국내 화장장 배출가스에서의  $\Sigma$ PAHs 배출농도범위는  $3.3\mu\text{g}/\text{Sm}^3 \sim 284.6 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$  으로 나타났으며, 대기오염 방지시설의 종류에 따라 방지시설이 없는 경우  $284.6 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$ , 원심집진시설의 경우  $34.0\mu\text{g}/\text{Sm}^3$ , 원심집진시설 후단에 여과집진기 등을 설치한 경우  $13.8\mu\text{g}/\text{Sm}^3$  로의 결과를 나타내어 대기오염 방지시설에 따른 배출농도의 차이가 큰 것으로 나타났다.

2) 환상별 화합물의 발생을 살펴보면 Type A와 Type B의 경우 4 Ring 화합물이  $122.4 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$ ,  $15.0\mu\text{g}/\text{Sm}^3$ 로 전체 배출량의 43%와 44%를 차지하는 것으로 나타났으며, Type C의 경우 2Ring 화합물이  $6.5 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$ 로 전체 배출량의 47%를 차지하였다. 특히, Type C의 경우 고비점 화합물인 5Ring과 6Ring 화합물의 합계가 1.8% 미만으로 나타났다.

3) Benzo(a)anthracene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Dibenzo(a,h)anthracene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene의 발암성물질은 중·고비점 화합물로서 화장장에서  $\Sigma$ PAH<sub>carc.</sub> 농도수준은  $0.03\mu\text{g}/\text{Sm}^3 \sim 15.7 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$ 을 나타내었다. 또한, 평균  $\Sigma$ PAH<sub>carc.</sub> 발생농도는  $3.0 \mu\text{g}/\text{Sm}^3$ 으로 나타났으며 방지시설의 종류별로 Type A의 경우에는  $\Sigma$ PAH의 5.8%, Type B와 C는 각각 8.0%와 2.0%로 나타나 방지시설 처리능력에 따른 차이가 확인되었다.

4) 화장장에서 배출되는 16종의 PAHs에 대하여 SPSS 요인분석 결과 저분자 화합물 중 AcP와 BaA를 제외한 나머지 물질들은 모두 2성분에 의한 영향이 큰 것으로 판단되며, 저분자량 PAHs의 경우 넓게 산포된 반면, 고분자량을 가지는 5와 6 ring화합물의 경우 밀집하여 존재하는 특성을 보였다.

5) PAHs의 배출계수값은 31.8 mg/body ~ 613.5 mg/body의 범위를 가지며, 발암성 물질의  $\Sigma$ PAHcarc.의 배출계수는 0.3 mg/body ~ 61.5 mg/body의 범위를 나타내었으며 TEFLPAH의 경우 배출계수 범위는 0.000mg/body ~ 0.014 mg/body다.

6) 화장로에서의 PAHs에 대한 Inventory 평가결과, 국내 화장장 배출 가스에서의  $\Sigma$ PAHs,  $\Sigma$ PAHcarc 및 TEFLPAH의 연간발생량은 2003년 화장량을 기준으로 하여 각각 32,514g/year, 1,993g/year 및 0.494g/yr로 추정되었다.

화장에 대한 긍정적인 인식과 함께 정부 차원의 화장장려 정책에 힘입어 향후 국내의 화장율은 더욱 증가될 것으로 예상된다.

그러나 화장장 배출가스 중에는 향후 잔류성 유기오염물질로의 지정이 유력한 PAHs가 다량 함유되어 배출되어 있는 것이 본 연구결과로 확인되었다. 따라서 화장장에 대한 적극적인 저감과 관리의 대응책이 필요한 것으로 판단된다.

결과적으로, 본 연구결과는 화장장에 대한 규제기준 적용 및 후처리 공정별 배출특성에 대한 연구결과를 바탕으로 BAT/BEP 구축을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 나아가서 화장장에서 환경중으로 배출되는 PAHs 배출량을 추정함에 따라 향후 잔류성 유기오염물질의 국가적 배출량 산정에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- 김동환, 옥곤, 2005: 서울시 토양 중 다환방향족탄화수소의 농도특성에 관한 연구, 한국환경분석학회지, 14(1), 71-80
- 김태승, 신선경, 2001: 환경 중의 다환방향족탄화수소류의 배출 및 분석 현황, 한국분석과학회, 14(4), 47A-74A
- 조규탁, 이동수, 신용승, 2000: 다환방향족탄화수소의 국내 배출량 추정 (잔류성유기오염물질의 국제규제에 대응하여), 한국환경분석학회지, 22(10), 1921-1932
- 옥곤, 김동환, 김상조, 박지현, 김성태, 2001: 토양중 다환방향족탄화수소 (PAHs)의 오염특성연구, 한국환경분석학회 2001 춘계학술대회 초록집, 155-159.
- 박찬구, 윤중섭, 김민명, 손종열, 모세영, 2004: 발생원별 PAH 배출특성, 한국대기환경학회지 20(3), 331-343
- 안우환, 2003: 火葬, 생각하는 창, 177-214
- 보건복지부, 보건복지통계연보, 1998.
- 보건복지부, 보건복지통계연보, 2004.
- 松下秀鶴, 1989 : 空氣中のがん・變異原物質とその暴露評價手法の進歩, 大氣汚染學會誌, 第5・6号, 418-429.
- 松下秀鶴, 郭 錦堂, 今宮俊一郎 1989 : 東京, バコクおよびチェンマイにおける大氣浮遊粉じん中の發がん性多環芳香族炭化水素濃度の相互比較, 大氣汚染學會誌, 第24・3号, 234-243.
- Blumer. M., W. Blumer and T. Reich 1977 : Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in soils of a mountain valley : Correlation with highway traffic and cancer incidence, Environ. Sci. Technol., 28,

1269~1278.

Bruce, A., J. Benner and E. G. Glen 1989 : Mobile sources of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons : A roadway tunnel study, *Environ. Sci. Technol.*, 23, 1269-1278.

Benner B. A., Gordon G. E and Wise S. A., 1989: Mobil sources of atmospheric polyaromatic hydrocarbons a roadway tunnel study. *Environ. Sci. Technol.*, vol. 23, pp. 1269-1277.

C. J. Halsall, L. A. Barrie, P. Fellin, D.C.G. Muir, B.N. Billeck, L. Lickhart, F. Ya, Rovinsky, E. Ya. Kononov, and B. Pastukhov, 1997 : Spatial and Temporal Variation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Arctic Atmosphere, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 31, 3593~3599.

C.J.Halsall, L.A.Barrie, P.Fellin, D.C.G.Muir, B.N.Billeck, L.Lockhart, F.YA.Rovinsky, E.YA.Kononov, and B.Pastukhov, Spatial and Temporal Variation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Arctic Atmosphere, *Evir. Sci. Technol.*, 1997, 31, 3593-3599.

Clemons J. H., L. M. Allan, C. H. Marvin, Z. Wu, B. E. McCarry, D. W. Bryant and T. R. Zacharewski, 1998: Evidence of estrogen and TCDD-like activities in crude and fractionated extracts of PM10 air particulate material using in vitro gene expression assays, *Environ. Sci. Technol.*, 32, 1853-1860

Crispin J. H., Peter J. C., Brian J. D., Vitoria B., Keith S. W., Peter H. J. and Kevin C. J., 1994: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in U. K. urban air, *Envrion. Sci. Technol.*, vol. 28, pp. 2380-2386.

Doll R. and Peto R., The causes of cancer : quantitative esimates of

- avoidable risks of cancer in the United States., J. Natl. Cancer Inst., 1981, 66, 1191~1308.
- IARC, 1984: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic risk of chemical to humans, volume 34: Polynuclear aromatic compounds, Part 3 : Industrial exposures in aluminium production, coal gasification, coke production, and iron and steel founding. Lyon: International Agency for Research on cancer.
- IARC, 1985: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic risk of chemical to humans, volume 35: Polynuclear aromatic compounds, Part 4 : Bitumens, coal-tars and derived products, shale-oils and soots. Lyon: International Agency for Research on cancer.
- IARC, 1987: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic risk of chemical to humans, volume 1-42: suppl. 7: Overall evaluations of carcinogenicity: an updating of LARC Monographs. Lyon: International Agency for Research on cancer.
- IARC, 1989: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Diesel and Gasoline Engine Exhausts and Some Nitroarenes, Monographs 46, pp. 41-57.
- Keiichi. A., S. Takashi, Y. Masahiro and K. Yasushi 1992 : Polynuclear aromatic hydrocarbon concentration and mutagenic activity in soils sampled at roadsides, J. japan Soc. Air Pollut., 27(4), 190-197.
- Klimm C., A. M. Hofmaier, K. W. Schramm and A. Kettrup, 1999: Using TEF concept for assessing toxic potency of polycyclic

aromatic hydrocarbons in industrial samples, *Organo. Comp.*, 40, 39-42

McDow, S. R., Q. R. Sun., M. Valentiainon, Y. s. Hong, Y. L. Yao and R. M. Kamens 1994 : Effect of composition and state of organic component on PAH decay in atmospheric aerosols, *Environ. Sci. Technol.*, 28(12).

Menzie C. A. and Santodonato J., Exposure to carcinogenic PAHs in the environment, *Evir. Sci. Technol.*, 1992, 26(7), 1278-1283.

Ming-Yen Wey, et al. 2005: Formations and controls of HCl and PAHs by different additives during waste incineration

Nasrin R. K., Peter A. S., and Thomas M. H. 1994: PAH source fingerprinting for coke ovens, diesel and gasoline engines, highway tennels, and wood combustion emissions, *Atmospheric Environment*, vol. 29, pp. 534-542.

Pitts, J. N. et al. 1980 : Atmospheric Reactions of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Facile Formation of Mutagenic Nitro Derivative, *Science*, 202, 515-519.

Raymond M. Hoff and Kar-Wah Chan 1987 : measurement of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Air along the Niagara River, *Environ. Sci. Technol.*, 21, 556-561.

Roger W and Hang L., 1994: A multivariate statistical analysis of fuel-related Polyaromatic Hydrocarbon emission from heavy-duty diesel vehicle, *Envrion. Sci. Technol.*, vol. 28, pp. 965-972.

Sawicki, E., Rosenfeld C. and Davis W. 1976; In *Environmental*

Pollution and Carcinogenic Risks, IARC Sci. Publ., No. 13, 297-354.

UNEP, Resolutions Adopted By The Conference Of Plenipotentiaries On The Stockholm Convention On Persistent Organic Pollutants, 2001.

Westerholm R., J. Almen, H. Li, U. Rannug and A. Roson 1992 : Exhaust emissions from gasoline fuelled light duty vehicles operated in different driving conditions a chemical biological characterization, *Atmos. Environ.*, 26, 76-90.

Willett K. L., P. R. Gardinali, J. L. Sericano, T. L. Wade and S. H. Safe, 1997, Characterization of the H4IIE rat hepatoma cell bioassay for evaluation of environmental samples containing polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs), *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 32, 442-448

## 감사의 글

이 한편의 논문을 위하여 애써 주신 모든 분들께 깊은 감사를 드립니다.

먼저 바쁘신중에도 석사과정을 마무리 할 수 있도록 많은 관심과 애정으로 지도를 하여 주신 옥곤 교수님께 진심으로 감사를 드리며, 앞으로도 많은 지도와 가르침을 주시기를 바랍니다. 또한, 바쁘신 시간을 나누어 논문을 심사하여 주시고 조언해 주신 김영섭 교수님과 정용현 교수님께도 감사의 마음을 전하고 싶습니다.

항상 바로 옆에서 석사과정을 챙겨주신 김동환 박사님을 비롯한 김철수님, 정봉길님, 김동욱님, 이석형님, 황성민님, 박노진님, 정유진님 등 연구실의 모든 분들께도 감사를 드립니다.

회사생활을 하면서 석사과정을 잘 마무리 할 수 있도록 많은 배려와 조언을 주신 중앙검사소 주창한 소장님, 전용렬 팀장님, 문동호 팀장님, 김광태 팀장님을 비롯한 직장 선배 동료 분들께도 감사를 드리며, 형님같이 함께 해주신 정을규 차장님께 진심으로 감사드립니다.

마지막으로 존경하고 사랑하는 부모님과 형제 가족에게 큰 감사를 올립니다. 그리고 저의 든든한 후원자이며 인생의 동반자로서 사랑으로 같이 하고 있는 아내 이민영에게 고마움을 표시하며 작지만 소중한 저의 결실을 드립니다.

2006. 2