

서울시 지하상가 공기중 다환방향족 탄화수소의 농도조사에 관한 연구

Measurements of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs) Concentration in Air of the Seoul Underground Shopping Stores

전 준 민 · 김 윤 신¹⁾

한양대학교 환경과학대학원

¹⁾한양대학교 의과대학

(원고접수 : 1993. 2. 22)

Jun-Min Jeon and Yoon-Shin Kim*

Graduate School of Environmental Science, Hanyang University

¹⁾College of Medicine, Hanyang University

(Received 22 February 1993)

Abstract

A purpose of this study was carried out to investigate the concentrations of four elements of PAHs(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) in suspended particulate matters of underground shopping stores in Seoul city. The particulate matters were collected at five underground shopping stores(Yongdungpo, Myongdong, Ulchiro, Express Terminal, Chamshil) in the Seoul area during February-October, 1992. Samples were collected using cascade impactor of low volumn air sampler and were analysed using High Performance Liquid Chromatography(HPLC) with fluorescence detector.

Calibration on HPLC analyse is nearly accord with retention time between the standard solution and the samples. Analysed results obtained favorable analysing recovery rate of 97.3% and coefficient of variation of 1.60%.

Mean concentrations of suspended particulate matters in five underground shopping stores were 216.3 g/m³ and observed higher at fine particles(117.2 g/m³) which is respirable particulates than coarse particles(99.2 g/m³).

Concentrations of four species PAH were determined with anthracene of 16.8ng/m³, fluoranthene of 72.3ng/m³, benzo(a)pyrene of 0.54ng/m³, and benzo(k)fluoranthene of 0.29ng/m³, respectively. Fluoranthene levels were significantly higher than those levels in other components. PAHs concen-tration at shopping areas showed 21.3ng/m³ in Yongdungpo, 35.1ng/m³ in Myongdong, 23.4ng/m³ in Ulchiro, 11.1ng/m³ in Express Terminal, and 21.4ng/m³ in Chamshil, respectively. Particularly, benzo(a)pyrene and benzo(k)-fluoranthene were detected over 83 percentage in fine particles, while fluoranthene were highly detected in coarse particles. Also, higher concentrations of benzo(a)pyrene, benzo(k)fluoranthene were found in winter while levels of anthracene and fluoranthene were found higher in summer than other seasons.

1. 서 론

대부분의 도시 생활인들이 하루 24시간중 80-95%를 실내에서 생활하고 있고(Chapin, 1974; Wiley et al., 1991) 최근에는 지하공간(지하철, 지하상가, 지하터널등)에서의 생활시간도 증가되는 경향을 보이고 있어 실내환경의 일부분인 지하공간내 공기오염의 건강영향에 대한 관심이 고조되고 있다.

지하시설물중의 일부분인 지하상가는 많은 시민들이 이용하는 곳으로 다양한 상가가 밀집되어 있어 상가내 공기질은 오염될 수 있는 요소가 많아 실내환경 오염에 관한 문제점을 내포하고 있다. 현재 지하상가에 대한 조사는 매우 미약한 실정에 있으며 일부 오염물질들은 일반대기오염보다 높은 농도를 나타냈다(김윤신, 1992).

주요 대기오염물질 6개중의 하나인 부유분진(suspended particulate matters)은 분진의 발생원과 입자크기, 농도 및 성분에 따라 직접적으로 인체에 미치는 영향과 직결되는 문제이기 때문에 매우 중요한 의미를 갖는다(Steven et al., 1992). 특히 부유분진중 공기역학적직경(aerodynamic diameter)이 $30\mu\text{m}$ 보다 큰 입자는 코나 구강을 통하여 흡입되는 양은 적으나, 직경이 $10\mu\text{m}$ 이하의 작은입자들은 호흡성분진(respirable particulate)으로서 호흡시 폐 깊숙히 흡입되어 폐포나 기관지등에 침착하여 폐암등을 유발시키는 것으로 알려져 있으며(Buell, 1967) 이중 대부분의 입자크기는 $5-10\mu\text{m}$ 의 입자들로서 인체에 더욱 유해한 것으로 보고되고 있다(Owen et al., 1992).

대기부유분진의 유기물질중 다환방향족탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydro-carbons: PAHs)는 주로 화석연료, 소각 및 자동차 배출가스의 불완전연소에 의한 인위적발생과 산불과 같은 자연적발생에 의해 생성되며, 지구상의 공기나 토양 및 침전물등에 널리 분포하고 있는 것으로 알려지고 있다(Wild et al., 1992). Benzo(a)pyrene이 발암물질로 조사(Goulden and Tipler, 1949)보고 된 이래 다환방향족탄화수소(PAHs)는 그동안 여러 동물실험 및 역학적연구(Seinfeld, 1986; Wild et al., 1992)결과 그 일부는 발암성과 돌연변이원성이 강한 물질로서 보고(Meyer, 1983; Robert and Mark, 1984)되어 대기오염물질중 주요한 발암물질로 인식됨으로써 많은 연구의 대상이 되어왔다.

다환방향족탄화수소(PAHs)에 대한 연구는 국내, 외 마찬가지로 일반대기중에서만 조사되었거나, 일부 물질(BaP, BkF, B(ghi)P)에 국한된 조사 뿐으로 국내에서 다환방향족탄화수소(PAHs)의 실내농

도에 관한 조사연구는 보고된 바 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 실내환경의 일부분인 지하상가의 실내공기질에 관한 조사연구의 일환으로 서울시에 소재하는 지하상가 5곳을 대상으로 부유분진의 농도 및 입도분포와 발암,돌연변이원성물질인 Benzo(a)pyrene, Benzo(k)fluoran-thene을 포함한 다환방향족탄화수소(PAHs) 4종류의 농도 분포를 파악하여 지하상가내 이용자의 건강위해평가 및 공기오염방지를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 연구대상 및 실험방법

2.1 연구대상 및 조사방법

본 조사는 서울시내에 지하철역과 연결된 지하상가중 시민의 왕래가 빈번한 주요상가 5곳(영등포, 명동<충무로>, 을지로, 고속터미널, 잠실)을 선정하여 1992년 2월부터 1992년 10월까지 조사대상 지하상가에서 부유분진을 포집하였다. 측정기기는 분진의 입경별 9단 포집이 가능한 로우볼륨 공기포집기인 cascade impactor(AN-200, 일본 Dylec사)를 사용하여 $0.008-30\mu\text{m}$ 이하의 분진을 포집 하였으며 시료채취는 1.5m의 높이에서, 포집기간은 4~5일 동안 유속 $28.3\ell/\text{min}$ 속도로 연속 흡입하였다.

본 실험에 사용된 cascade impactor의 각 단별 여지는 직경 80mm, pore size $0.45\mu\text{m}$ 의 membrane filter(미국 Gelman Science사: Model GN-6)이며, Back-up 필터는 직경 80mm의 glass micro fibre filter(일본 TOYO사)를 이용하였다. 여지는 시료포집 전, 후 모두 72시간 이상 황온,항상상태의 desiccator에 보관하여 향량이 되게 한 다음 0.1mg 까지 측정이 가능한 AINSWORTH & SONS사(Type: SCN,U.S.A)의 microbalance을 이용하여 칭량한 후 여지 전,후의 중량차로 분진의 농도를 산출하였으며, 분진의 농도는 분진입경이 $2.1\mu\text{m}$ 미만인 미세입자(fine particle)와 $2.1\mu\text{m}$ 이상인 조대입자(coarse particle)로 나누어 각각의 농도 및 입경분포를 구하였다. 시료는 다환방향족탄화수소(PAHs)의 분석을 위해 밀봉한 후 저온에서 보관하였다. 지하상가 시료채취지역 및 상가내역은 그림 1과 표 1에 나타냈다.

2.2 PAHs추출 및 분석방법

분진의 농도를 산출한 후 시료는 빛의 투과를 방지하기 위해 호일랩으로 감싸 5°C 이하의 온도에서 보관하였다. 한 장소에서 채취한 시료 1세트를 3개(fine 2개, coarse 1개)로 분류하여 50ml 삼각플라스크에 휘발성이 뛰어나며 유기물질의 추출효율이

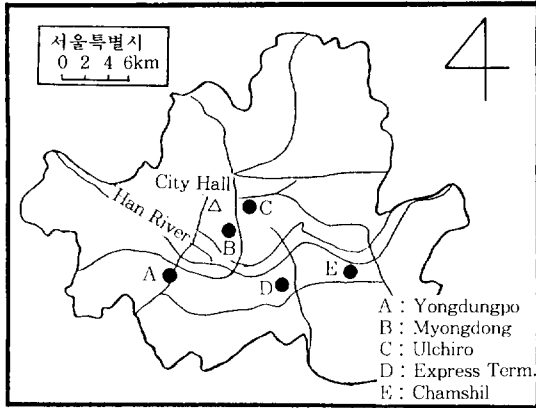


Fig. 1. Sampling site of underground shopping stores in Seoul area.

좋은 dichloromethane(일본 Junsei사, 95% : DCM)을 용매로 하였다. DCM을 삼각플라스틱에 각각 30 ml씩 넣고 30분간 shaking한 다음, 초음파추출기(일본 Nihon Seiki社 600-50)를 이용하여 상온에서 25KHz출력으로 15분씩 2회 추출하였다. 추출액은 시료농축기(일본 TE-HER PIPETTES DRYER, FPS-3)에서 3ml 정도로 감압 농축시킨후 최종액을 DCM 0.5ml로 일정하게 용해시켜 HPLC 로 분석하였다.

추출된 유기물질의 분석방법으로는 GC, LC, HPLC, GC/MS등의 방법들이 있다. 가스크로마토그래피(GC)는 분자량이 낮고 열에 안정하며 휘발성이

있어야 분석이 용이한데, 다환방향족탄화수소는 분자량이 매우 높고 휘발이 안되기 때문에 GC로서는 다환방향족탄화수소의 정확한 농도검출을 기대하기 어렵다. 그러므로 최근에는 GC에 모세분리관(capillary column)을 부착하거나 GC/MS을 이용하는 분석방법들이 있으나 GC/MS 분석방법은 4가지 물질(Anthracene과 Phenanthrene, Chrysene와 Benzo(a)anthracene, Benzo(b)fluoranthene과 Benzo(k)fluoranthene, dibenzo(a,h)anthracene과 indeno(1,2,3-cd)pyrene)에 대해서 분리측정을 할 수 없다는 단점을 지니고 있다(Stanley, 1988). Anthracene과 Fluoranthene는 PAH화합물중 대기중에 많이 존재하며, WHO에서 음료수중에 존재하는 대표적인 물질(EPA, 1983)로 선정된 성분들이며, Benzo(a)pyrene과 Benzo(k)fluoranthene는 발암 및 돌연변이 원성이 있는 물질로 알려지고 있어 본 연구에서는 이러한 특성을 갖는 성분들인 이들 4종류의 PAHs을 선정하여 분석하였다. 따라서 본 실험에서는 고정상이 다양하며 미량으로 존재하는 Anthracene과 Benzo(k)fluoranthene성분을 각각 분리 검출할 수 있으며 높은 감도와 선택성을 가진 검출기(UV, Fluorescence)를 사용할 수 있는 고속액체크로마토그래피(HPLC)를 선택하여 분석하였다.

실험분석기기는 형광검출기(미국, Fluorescence, Waters 486)가 장착된 Waters社 HPLC를 이용하여 분석하였으며, 분리분석용 Column은 NOVA-Pak C18(φ3.9×150mm)을 사용하였다. HPLC에 의한 분리분석은, 이동상으로 acetonitrile: H₂O(60:

Table 1. The present conditions of facilities of underground shopping stores.

		Yongdungpo	Myongdong	Ulchiro	Express Term.	Chamshil
Location		Yongdungpo dong 618-3	Namsan 2-ga 1-3	Ulchi 2-ga 197	Banpodong 1 section	Chamshil 5 dong
Open Date		1980. 1. 28	1970. 8. 22	1979. 9. 21	1979. 4. 19	1981. 2. 26
Area		4678.2㎡ (1415.2Pyung)	2201㎡ (666.9Pyung)	2185.7㎡ (662.3Pyung)	3831.8㎡ (1158.9Pyung)	8446.3㎡ (2555Pyung)
The Number of Shop	Type shop	79s clothing: 47 accessory: 3 leather: 15 others: 14	87s clothing: 70 accessory: 7 leather: 6 others: 4	78s OA: 32 accessory: 6 jewelry: 7 others: 33	140s clothing: 99 immovables: 10 accessory: 17 others: 14	188s clothing: 151 restaurant: 9 accessory: 6 others: 22
Passengers (persons/day)		150,000-200,000	80,000-200,000	70,000-80,000	20,000-30,000	100,000-150,000
Ventilation facilities	Supply	40Hp	15Hp	-	70Hp	40×2Hp
	Exhaust	25Hp	-	50Hp	55Hp	41Hp
	Heating (Fuel)	central (light oil)	individual (kerosene)	individuale(electric)	central (light oil)	central (light oil)
The number of Exit		8	6	8	4	4

40, v/v%) 를 이용하였고, 유량은 1.5ml/min, column의 온도는 25℃로 일정하게 하였다. 검액중의 다환방향족탄화수소는 미량물질의 chromatogram 상의 면적으로부터 검량선을 작성하고, 또한 각 물질에 대한 mass spectrum과 retention time을 비교하여 정성, 정량하였다. 각 PAH의 검출은 표 2에 표시한 바와 같은 조건에서 실시되었으며, 그림 2는 표준혼합물에 대한 mass spectrum과 retention time을 나타낸 것이다. 다환방향족탄화수소 4종류의 각 retention time은 Anthracene 2.45min, Fluoranthene 2.80min, Benzo(k)fluoranthene 4.83min, Benzo(a)pyrene 5.15min으로 선택되었으며 검출과 장은 표 2와 같이 Ex Wavelength와 Em Wavelength로 결정하여 분석하였다(Baek,1991).

2.3 HPLC에 의한 PAHs의 분석조건에의 검사

시료의 농도는 표준액으로 검량선을 작성하여 시료의 면적을 구한 후 용해시킨 용매량과 포집유량을 계산하여 구하였다. 4종류 다환방향족탄화수소(PAHs)의 기술기와 절편값은 표 3에 나타난 바와 같이 모두 신뢰계수 99.7% 이상의 결과를 얻었다.

Table 2. Analysis of PAH compounds by HPLC and fluorescence detection.

Component	M.W	Retention Time (min)	Fluorescence (nm)	
			Excitation (Ex)	Emission (Em)
Anthracene	178	2.45	260	430
Fluoranthene	202	2.80	260	430
Benzo(k)fluoranthene	252	4.83	295	410
Benzo(a)pyrene	252	5.15	295	410

표 4는 HPLC 분석기기의 회수율과 변동계수를 구하기 위하여, 측정된 시료에 알고있는 표준용액농도를 주입하여 회수율과 변동계수를 구하였다. 본 실험분석 후 회수율과 변동계수를 계산한 결과 평균 회수율은 97.3%, 평균변동계수는 1.60%로 양호한 분석결과를 얻은 것이라 생각된다.

다환방향족탄화수소의 농도계산은 아래와 같다.

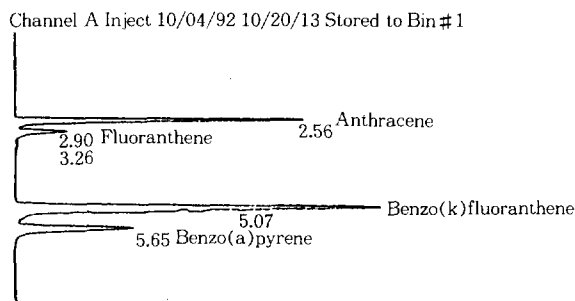


Fig. 2. High performance liquid chromatograms of standard mixture of four polycyclic aromatic hydrocarbons.

Table 3. Coefficients determined for regression equation*.

Component	a	b	r ²
Anthracene	115937	1955	0.9978
Fluoranthene	35732	-1127	0.9986
Benzo(a)pyrene	497109	-2012	0.9984
Benzo(k)fluoranthene	2119037	11289	0.9978

* [sample Area] = [standard Conc.]a + b

Table 4. Recoveries of polycyclic aromatic hydrocarbons from particulate matters in underground shopping stores.

Component	Sample No.	PAHs in particulate	PAHs added	PAHs analysed	Recovery [C/(A+B) × 100]	Mean (%)	C.V.(%)*
		(µg/ml) (A)	(µg/ml) (B)	(C)			
ANTER	1	1.488	3.0	4.421	98.5	97.6	0.85
	2	2.308	3.0	5.143	96.9		
	3	3.746	3.0	6.563	97.3		
FLUR	1	3.724	2.0	5.621	98.2	95.1	3.03
	2	5.816	2.0	7.228	92.5		
	3	8.983	2.0	10.389	94.6		
BaP	1	0.022	0.3	0.332	98.8	98.0	0.72
	2	0.043	0.3	0.334	97.4		
	3	0.087	0.3	0.379	97.9		
BkF	1	0.035	0.3	0.321	95.8	95.5	1.80
	2	0.054	0.3	0.332	93.7		
	3	0.084	0.3	0.373	97.1		

C.V.(%)* : Coefficient of Variation

$$\text{PAHs conc. (ng/m}^3\text{)} = \frac{\text{Sample conc.}(\mu\text{g/ml}) \times \text{Solvent (ml)}}{\text{Total flow (m}^3\text{)}} \times \frac{100}{\text{recovery rate}(\%)} \times 10^3$$

3. 연구결과 및 고찰

3.1 지하상가 공기중 PAHs의 농도

각 지하상가별 부유분진의 입경별,계절별 농도를 측정된 결과는 표 5와 같으며, 표에서 보는 바와 같이 약 9개월에 걸쳐 포집한 시료 20세트의 부유분진 총평균농도는 216.3 $\mu\text{g/m}^3$ 으로 우리나라 총부유분진(TSP: Total Suspended Particulate)의 대기환경기준인 연평균농도 150 $\mu\text{g/m}^3$ 을 약 1.4배 초과하였다. 또한 미세입자(fine particle: <2.1 μm)의 농도는 117.2 $\mu\text{g/m}^3$, 조대입자(coarse particle: > 2.1 μm)의 농도는 99.2 $\mu\text{g/m}^3$ 으로 미세입자가 총부유분진중 54.2%를 차지하고 있어 본 연구결과는 도심지역의 대기부유분진중 미세입자가 차지하는 비율인 55-60%(이용근,1986; Rafael, 1989)보다는 약간 낮았으나 이것은 미세입자의 입경 size의 차이에 의한 것이 아닌가 사료된다. 전체적으로 지하상가내 부유분진의 농도가 매우 높았고 그중 호흡성분진의 분포도 50% 이상을 차지하여 지하상가내에서 생활하는 사람들의 건강에 영향을 줄 것으로 시사된다.

각 지하상가의 장소별,계절별, 입자크기별 부유분진 평균농도를 보면 표 5와 같다. 표 5에서 보는 바와 같이 계절별로 지하상가의 부유분진의 평균농도가 가장 높은 계절을 볼때 영등포상가는 가을에 221.3 $\mu\text{g/m}^3$, 명동상가는 봄에 362.8 $\mu\text{g/m}^3$, 을지로상가는 봄에 251.1 $\mu\text{g/m}^3$, 고속터미널은 겨울에 275.5 $\mu\text{g/m}^3$, 잠실상가는 겨울에 380.2 $\mu\text{g/m}^3$ 으로 각각 높게 나타났다. 장소별로는 잠실(276.2)>명동(230.0)>고속터미널(201.4)>을지로(195.6)>영등포(178.4) 순이며 잠실상가에서 분진의 전체 평균농도는 276.2 $\mu\text{g/m}^3$ 로 최고치를, 영등포상가에서 178.4 $\mu\text{g/m}^3$ 으로 최저치를 보였으며(그림 3), 입자크기별,계절별로 평균농도를 보면 봄철에는 모든상가에서 미세입자의 농도가 조대입자의 농도보다 높았고, 겨울철에는 명동상가를 제외하고, 여름철에는 잠실상가를 제외하고, 가을철에는 명동과 잠실을 제외한 모든 지역에서 미세입자의 농도가 높은 것으로 나타났다. 또한 전체평균농도를 보면 겨울철에는 잠실, 봄철에는 명동, 여름철에는 잠실, 가을철에는 영등포상가에서 가장 높았다.

전체적으로 각 지하상가내의 분진농도는 높은 편

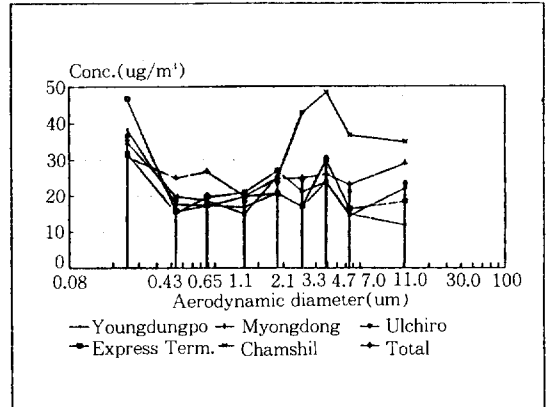


Fig. 3. The distribution of^a particulate matters by each size ranges.

으로 나타났다. 그 이유는 외부에서 유입되는 공기에 부유분진이 존재하거나, 지하상가를 이용하는 시민들의 신체에 묻혀서 들어오는 분진이거나 또는 지하상가 자체내에서 발생되는 분진 때문에 외부보다 높은 농도로 나타난 것이 아닌가 추측된다. 특히 잠실상가의 4계절 평균농도가 다른 상가에 비하여 높았는데 잠실상가는 바로옆에 롯데백화점과 지하철역이 인접해 있어 평상시에 백화점을 이용하는 많은 시민들과 출·퇴근시에 지하철을 이용하는 많은 시민들의 이동으로 인해 바닥에 침착되어 있는 분진의 재비산으로 인하여 분진 농도가 높아진 것이 아닌가 생각되며 또는 지하철의 승강장에서 불어오는 바람에 실린 분진등이 직접적으로 잠실상가에 영향을 주었으리라 사료된다. 전체 지하상가에서 측정된 총부유분진의 평균농도(216.3 $\mu\text{g/m}^3$)는 동일한 기기로 경희대 수원캠퍼스 옥상에서 측정된 대기중 연평균농도인 123.9 $\mu\text{g/m}^3$ (이태정, 1992)보다 1.7배, 신동천(1990)등이 신촌지역 도로변에서 측정된 연평균농도 165.7 $\mu\text{g/m}^3$ 보다는 1.3배 높았으나, 1992년 서울시 지하철6개역(동대문, 시청, 신촌, 고속터미널, 서울대, 사당)에서 측정된 6개역의 평균농도 335.8 $\mu\text{g/m}^3$ 보다는 낮으며, 본 조사대상 지하상가인 고속터미널상가와 연결된 고속터미널 지하철역(승강장: 275.1 $\mu\text{g/m}^3$, 지하상가: 182.9 $\mu\text{g/m}^3$)의 분진농도(서울시 지하철공사,1992)보다도 낮게 측정되었다. 결과적으로 지하철역과 연결된 지하상가는 지하철역이 없는 다른 지하상가보다 분진의 농도가 높을 것으로 생각되어, 지하상가의 부유분진은 외부에서 유입되는 공기에도 영향을 받지만, 특히 지하철역에서 불어오는 분진에 의하여 간접적으로나마 많은 영향을 받는 것으로 추측된다. 계절

Table 5. The concentration of particulate matters based on various size ranges.

(unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Season	Sampling Data	Sampling Site	BACK	1	2	3	4	5	6	7	8	FINE	COARSE	MASS
			UP >0.43 μm	0.43 ~0.65	0.65 ~1.1	1.1 ~2.1	2.1 ~3.1	3.1 ~4.7	4.7 ~7.0	7.0 ~11.0	<11.0	>2.1	<2.1	
Winter	920215	Yongdung	42.5	12.2	17.1	11.7	3.4	6.4	9.3	10.3	8.3	87.0	34.2	121.2
	-920220	-po												
	920215	Myong	39.6	8.1	13.4	10.5	7.6	31.0	10.0	39.6	8.1	79.2	88.7	167.9
	-920220	-dong												
	920220	Ulchiro	24.7	15.6	20.1	16.1	19.1	20.1	26.2	10.6	10.6	95.6	67.4	163.0
	-920225													
	920225	Express	76.5	18.5	10.8	26.8	26.8	8.9	54.8	26.8	35.7	149.2	126.3	275.5
	-920301	-Term												
920225	Chamshil	51.2	25.0	9.6	27.5	27.5	68.5	83.2	62.7	44.8	121.0	259.2	380.2	
-920301														
Spring	920404	Yongdung	31.3	18.6	9.3	23.5	48.9	25.9	30.3	13.2	11.2	131.5	80.7	212.2
	-920409	-po												
	920409	Myong	29.8	65.2	50.0	32.8	40.4	23.7	42.4	23.7	54.6	218.3	144.5	362.8
	-920414	-dong												
	920414	Ulchiro	35.3	23.2	17.9	32.1	40.5	23.7	25.3	22.1	31.1	149.0	102.1	251.1
	-920419													
	920419	Express	35.3	19.1	35.3	45.6	25.6	23.2	18.6	13.0	15.8	160.8	70.7	231.5
	-920424	-Term												
920424	Chamshil	35.5	33.9	22.3	17.0	20.7	38.2	18.6	27.6	24.9	129.3	109.2	238.5	
-920429														
Summer	920629	Yongdung	27.0	21.4	21.4	16.8	8.2	19.4	16.3	13.8	14.3	94.9	63.8	158.7
	-920704	-po												
	920706	Myong	23.2	18.1	33.5	24.9	34.4	27.5	33.5	18.9	15.5	134.2	95.5	229.7
	-920711	-dong												
	920713	Ulchiro	31.3	14.9	22.8	19.9	24.8	19.9	20.4	12.4	20.4	113.7	73.0	186.7
	-920718													
	920720	Express	29.0	11.2	17.8	12.2	14.7	19.3	23.9	12.7	12.7	84.8	68.6	153.4
	-920725	-Term												
920727	Chamshil	24.1	14.5	22.3	16.9	29.4	35.6	56.7	32.0	39.2	107.3	163.4	270.7	
-920801														
Fall	920902	Yongdung	54.4	18.7	21.2	15.1	22.2	16.1	39.3	22.2	14.1	129.6	91.8	221.3
	-920907	-po												
	920908	Myong	30.7	8.4	9.9	11.4	16.9	17.4	17.9	9.9	37.2	77.4	82.3	159.7
	-920913	-dong												
	920914	Ulchiro	35.5	7.4	17.5	15.4	23.3	20.7	22.8	12.7	26.0	99.2	82.2	181.4
	-920919													
	920919	Express	45.7	14.1	5.0	4.5	15.1	16.6	22.1	12.6	9.5	84.4	60.8	145.2
	-920924	-Term												
920928	Chamshil	28.9	5.9	20.6	18.1	23.5	28.4	34.89	24.5	30.9	97.0	118.5	215.5	
-921003														
MEAN			36.5	18.7	19.9	18.4	23.7	24.5	30.3	21.1	23.3	117.2	99.2	216.3

별로 볼때 전체 지하상가 부유분진의 농도는 봄이 259.2 g/m^3 로 최고치를, 가을 184.6 g/m^3 으로 최저 농도치를 보였으며 봄>겨울>여름>가을 순으로 부유분진의 농도가 높았다. 이는 일반대기중의 계절별 농도변화와 유사함을 보여준다(그림 4). 또한 전체 지하상가의 입경별 부유분진의 경향을 보면 0.

43 μm 이하에서 측정된 분진의 농도비율에 따라 가장 많은 분진이 포집(12.6~23.1%) 되었으며, 4.7~7.0 μm 사이에서는 장소별·계절별에 따라 전체농도의 13.8%, 13.4%를 나타내 비교적 높은 농도를 나타냄을 알 수 있다.

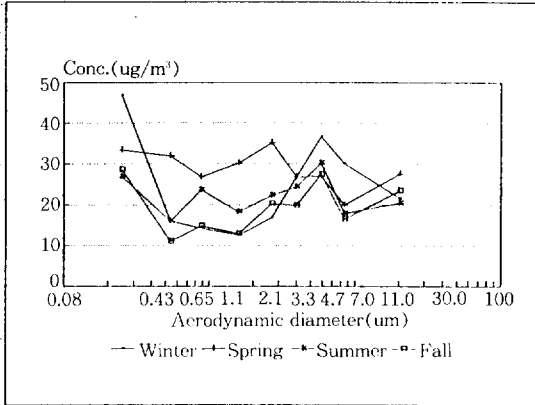


Fig. 4. The seasonal variation of total suspended particulate matters by seach size ranges.

3.2 지하상가 공기중 PAHs의 입경별·계절별 농도 다환방향족탄화수소(PAHs)의 특성

다환방향족탄화수소(PAHs)는 분자식구조가 비슷한 여러개의 이성체가 여러종류의 유기화합물과 혼합되어 존재하며 구조에 따라 생물학적 활성이 크게 다르다(Seo et al., 1988). 그러므로 시료의 채취과정과 분석에 있어 많은 주의를 기울일 필요가 있다.

일반적으로 다환방향족탄화수소(PAHs)는 대부분이 연소공정에서 발생하므로 미세입자에서 많이 분포하고 있기 때문에 본 연구에서는 분진을 미세입자와 조대입자로 나누고, 또한 미세입자(<2.1um)를 0.43um 이하와 0.43-2.1um로 세분하여 입경별 PAHs 화합물의 구성비를 알아보려고 하였다.

입경별 PAHs 농도 분포

각 지하상가에서 포집한 부유분진중 다환방향족탄화수소(PAHs) 4종류의 측정결과는 그림 5와 같다. 각 성분별 평균농도를 보면 Anthracene이 16.8ng/m³, Fluoranthene이 72.3ng/m³, Benzo(k)fluoranthene이 0.29 ng/m³, Benzo(a)pyrene은 0.54ng/m³으로 Fluoranthene이 가장 높은 농도로 나타났다.

또한 입경별 농도를 보면 Fluoranthene은 미세입자보다 조대입자에서 약간 높은 비율(51%)로 나타났으며, Benzo(a)pyrene과 Benzo(k)fluoranthene은 미세입자에서 84%, 83%로 매우 높은 비율을 차지하였다. Benzo(a)pyrene과 Benzo(k)fluoranthene의 농도는 주로 인위적 발생원인 화석연료와 자동차 내연기관에서의 불완전연소에 의해 발생된 연유로 미세입자의 분포가 높게 나타난 것으로 추측된다.

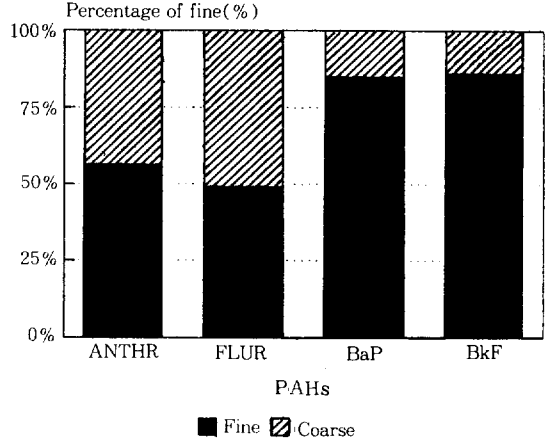


Fig. 5. The distribution of PAHs with regards to particle size.

장소별·계절별 PAHs 농도 분포

표 6은 지하상가의 장소별로 측정된 4종류의 다환방향족탄화수소(PAHs)농도를 나타낸 것으로, 명동지하상가에서 다환방향족탄화수소(PAHs) 4종류의 전체평균농도는 35.1ng/m³으로 가장 높은 농도를 보였으며 고속터미널상가에서 11.1ng/m³으로 가장 낮은 농도값을 보였다. 전체상가의 각 PAH별 총평균농도는 Anthracene 16.8ng/m³, Fluoranthene 72.3ng/m³, Benzo(a)pyrene 0.54ng/m³, Benzo(k)fluoranthene 0.29ng/m³으로 나타났으며 특히 PAHs중 전체농도는 Anthracene과 Fluoranthene이 각 상가별에서 측정된 PAHs 4종류의 전체 농도중에서 높은 비율(99.1%)을 차지하고 있기 때문에 Anthracene과 Fluoranthene이 많이 검출된 명동상가가 타 상가에 비해 가장 높은 농도로 나타났다.

표 1에서 보는 바와 같이 명동상가는 환기시설중 급기만 가동하고 배기시설은 가동하지 않고 있어 실내환경에서 가장 중요한 관리방법인 환기(ventilation)가 원활히 이루어지지 않아 PAHs 뿐만 아니라 대부분의 실내오염물질들의 농도에 많은 영향을 주었을 것으로 생각되며, 또한 PAHs의 농도 증가에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 개별 난방기기(석유난로)의 사용으로 인하여 타 상가에 비해 명동상가에서 높게 검출되지 않았나 추측된다.

일반적으로 발암성이 강하고 대기중에 널리 분포하고 있는 것으로 알려진 Benzo(a)pyrene의 농도를 각 지하상가별로 살펴보면 잠실>고속터미널>올지로>명동>영등포 순으로 높게 측정 되었으며, 잠실상가에서 0.64ng/m³, 영등포상가 0.45ng/m³으로

Table 6. Concentration of PAHs in suspended particulates from underground shopping stores.

Components	(unit : ng/m ³)											
	SITE											
	Yongdungpo		Myongdong		Ulchiro		Express Term.		Chjamshil		Total	
	Mean	Max.	Mean	Max.	Mean	Max.	Mean	Max.	Mean	Max.	Mean	Max.
Anthracene	21.2	24.6	23.6	53.3	14.7	24.6	8.7	11.6	15.1	20.0	16.8	3.8-53.3
Fluoranthene	63.4	101.7	116.1	290.6	77.9	148.4	34.9	41.5	69.4	100.2	72.3	17.3-290.6
Benzo(a)pyrene	0.45	0.86	0.48	0.89	0.54	0.67	0.61	1.21	0.64	1.38	0.54	0.09-1.38
Benzo(k)fluoranthene	0.33	0.52	0.30	0.50	0.26	0.32	0.28	0.53	0.30	0.67	0.29	0.07-0.67
Total	21.3	31.9	35.1	86.3	23.4	43.5	11.1	13.7	21.4	30.6	21.5	0.07-290.6

로 각기 최고·최저치를 보였다. 이러한 농도는 환경처에서 1991년에 조사한 서울시 일반대기중 BaP 평균농도(평균: 0.99ng/m³)보다는 낮은 값이다. Benzo(a)pyrene은 화석연료의 불완전연소에 의해 주로 발생되기 때문에 자동차 배출가스에 의해 오염되어진 외부공기의 유입으로 지하상가내 Benzo(a)pyrene 농도에 영향을 끼친 점도 있겠으나 잠실상가는 타 상가에 비해 많은 식당이 위치하고 있어 식당의 조리장에서 사용하고 있는 연료의 불완전연소로 인해 잠실상가내 Benzo(a)pyrene의 높은 농도에 기인하지 않았나 생각된다. 또한 일반적으로 볼때 중앙집중식 보다는 개별식 난방이 지하상가내 Benzo(a)pyrene 농도에 직접적으로 영향을 미칠 것으로 판단되나 표 1에서 보는 바와 같이 난방형태가 개별식(석유·전기난로)난방 보다는 중앙집중식(연료: 경유)난방을 사용하고 있는 잠실이나 고속터미널상가에서 Benzo(a)pyrene 농도가 확실히 높았으며, 계절별로도 연료의 사용이 많은 겨울철에 가장 높은 농도를 보였고 봄>가을>여름 순으로 높은 농도치를 보였다. 따라서 계절별, 실내환경오염발생원별로 구체적인 조사가 요구된다.

전체 지하상가에서 측정된 Anthracene(16.8ng/m³)과 Fluoranthene(72.3ng/m³)의 평균농도는 신(1990)등이 신촌지역의 도로변에서 측정한 Anthracene(0.14ng/m³)농도보다 120배, Fluoranthene(3.77 ng/m³) 보다 19.2배 정도 높게 나타났는데 이것은 외부와 지하환경간의 기온과 기상조건 등의 요인으로 나타난 차이로 보인다. 본 연구에서 Anthracene과 Fluoranthene이 일반대기중에 존재하는 농도보다는 높게 조사되었으나 아직까지 이 두물질이 어느정도의 농도에서 인체에 큰 영향을 끼친다거나 독성이 있다는 연구는 조사되어 있지 못한 실정이다. 山崎裕康 등(1983)이 일본 오사카지역의 일반대기중에 Phenanthrene+Anthracene과 Fluoranthene을 조사한 결과 Phenanthrene+Anthracene의 연평균치는 122.9ng/m³, Fluoranthene 36.0ng/m³으로 측정되어 국내에 조사보고된 자료(신동천,1990; 이영준,1991)와는 많은 차이가 있으며, 본 조사와는 상당히 근접한 결과를 보였다. 일반적으로 본 조사대상인 지하상가내 Benzo(a)pyrene(0.

54ng/m³)과 Benzo(k)fluoranthene(0.29ng/m³)의 전체 평균농도는 실외지역(혹석동, 서울도심지)에서 조사한 대기농도(손동현,1991; 이영준,1991)보다는 낮게 나타났다. 이것은 조사지정 기간의 차이에서 온 것이 아닌가 생각된다.

그림 6은 지하상가에서 다환방향족탄화수소(PAHs)의 계절별 농도를 나타낸 것이다. 계절별 Anthracene과 Fluoranthene의 평균농도는 여름에 각각 24.1ng/m³, 123.2ng/m³으로 최고치를, Anthracene은 봄에 12.4ng/m³, Fluoranthene은 겨울에 41.6ng/m³로 최저치를 보였다. 또한 Benzo(a)pyrene과 Benzo(k)fluoranthene은 특히 겨울에 타 계절에 비해 월등히 높은 것으로 조사되었다. 山崎裕康 등(1983)의 연구에 의하면 증기압이 높은 Anthracene과 Fluoranthene은 기온이 상승할수록 농도가 증가한다고 보고하고 있는데 본 연구에서도 여름철이 타 계절보다 기온이 높으며 각 상가에서 검출된 Anthracene과 Fluoranthene의 농도분포가 山崎裕康 등의 연구결과와 거의 일치한 계절별 농도를 보였으며, Benzo(a)pyrene과 Benzo(k)fluoranthene은 화석연료의 소비가 많은 겨울철에 매우 높은 농도로 나타나 여러연구(Matsushida,1978)에서 조사된 것과 유사함을 보여주고 있다.

표 7에서 보는 바와 같이 Anthracene과 Fluoranthene간에는 높은 상관성($r=0.92$)을 보이고 있어 두 물질은 온도의 영향에 민감하게 반응한다는 것을 알수있다. 한편 Benzo(a)pyrene과 Benzo(k)fluoranthene은 증기압이 낮은 물질로 기온상승시 농도가 감소하며, 역으로 기온이 낮아질수록 농도는 높아진다는 연구결과와 같이 다른계절에 비해 겨울에 Benzo(a)pyrene과 Benzo(k)fluoranthene의 농도가 높게 검출되었다고 사료되며 이 두물질간의 상관성($r=0.84$)으로 볼때 山崎裕康 등의 연구와 일치함을 보인다. 그림 7은 측정된 다환방향족탄화수소의 4종류를 입경분포별에 따른 계절별농도를 나타낸 것이다. Anthracene은 전반적으로 미세입자($<2.1\mu\text{m}$)에서 많이 분포하고 있으며 특히 겨울철에 높은 비율(F/T: 0.71)을 보이고 있다. Fluoranthene은 측정조사한 PAHs의 4종류 중 유일하게 미세입자보다 조대입자($>2.1\mu\text{m}$)에서 많이 검출된

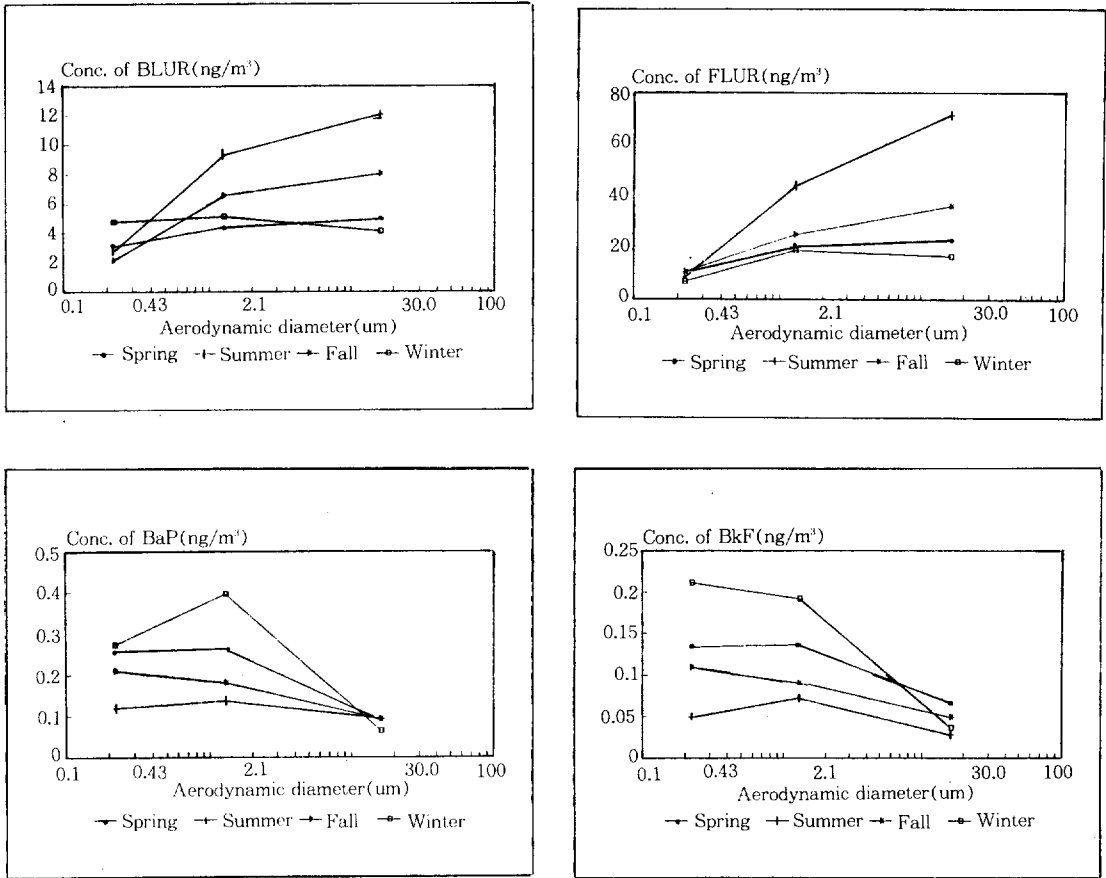


Fig. 6. Seasonal distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in particulate matters at underground shopping stores.

Table 7. Correlation coefficient matrix between PAHs and particulate matters.

	TSP	Anthracene	fluoranthene	Benzo(a)-pyrene	Benzo(k)-fluoranthene
TSP	1.0000				
Anthracene	.0917	1.000			
Fluoranthene	.1973	.9201**	1.0000		
Benzo(a)pyrene	.6675**	.0348	.0139	1.000	
Benzo(k)fluoranthene	.4660	.1246	-.0683	0.8405**	1.000

N of cases: 20 1-tailed signif: *.01 **-.001

성분(C/T: 0.51)으로 여름철에 가장 높은 평균농도인 123.2ng/m³(58%)으로 측정조사되었으며 그 다음이 가을철(71.2ng/m³, 51%)로 역시 조대입자에서 많이 검출되었다.

Benzo(a)pyrene과 Benzo(k)fluoranthene는 F/T가 각각 평균 0.84, 0.83으로 4계절 모두 미세입자에서 월등히 높은 농도로 검출됨을 알 수 있었으며,

Benzo(a)pyrene과 Benzo(k)fluoranthene는 난방기구의 사용이 많은 겨울철에 가장 높은 평균농도인 0.73ng/m³, 0.44ng/m³를 보였고 특히 미세입자중 0.43-2.1μm 입자사이에서 많이 검출됨을 볼 수 있다. 표 7에서 보는 바와 같이 Anthracene과 Fluoranthene이 타 계절에 비해 여름철에 높게 측정된 것은 기온의 영향과 기상조건등의 요인 때문에 여

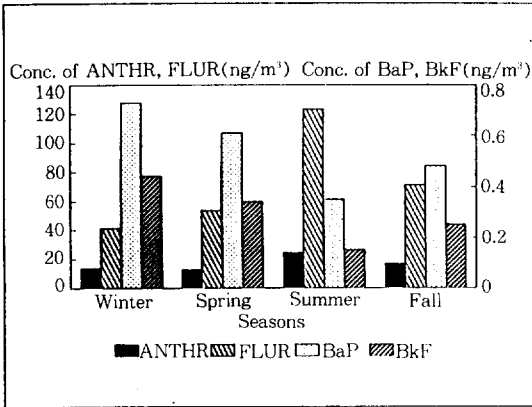


Fig. 7. Seasonal variation of particle size distribution at underground shopping stores.

름철에 높게 검출될 수 있으며, 일반적으로 Fluoranthene를 포함한 유기물들은 fly ash, 대기분진에 따라 미세입자보다 조대입자에서 흡착도가 크다는 연구(Daisey and Low, 1985; Pat et al., 1986)도 있어 본 조사에서 나타난 바와 같이 조대입자에서 약간 높은 비율로 검출되었으리라 생각된다.

Benzo(a)pyrene과 Benzo(k)fluoranthene는 화석 연료 및 자동차 배출가스의 불완전연소에 의해 발생되므로 계절적 변화와 상관없이 4계절 모두 미세입자에서 높은 농도를 보였으리라 생각된다. 따라서 발암성(carcinogen)물질로 잘 알려진 Benzo(a)pyrene과 Benzo(k)fluoranthene이 인체의 호흡시 쉽게 흡입이 가능한 호흡성분진인 미세입자($2.1\mu\text{m}$ 이하)에서 높게 측정된 것을 볼때 발암성이 강한 물질들은 입경분포가 작은입자에 주로 분포하고 있다는 것을 알 수 있고 즉, 흡입하기 쉬운 작은입자에 장기간 폭로될 경우 폐암에 걸릴 확률이 높다는 연구(Lioy and Daisey, 1986)결과와 같이 암에 걸릴 위험도 클 것으로 시사된다.

3.3 부유분진과 PAHs 상관성 검증

표 7은 각 지하상가에서 포집한 부유분진과 다환방향족탄화수소간의 상관성을 검증하고자 부유분진과 다환방향족탄화수소(PAHs) 4종류의 상관계수를 계산하였다. 부유분진과 Benzo(a)pyrene 간의 상관계수(r)는 0.67로 표에서 보는 바와 같이 높은 상관성을 보여 지하상가의 분진농도가 높아질수록 발암성물질인 Benzo(a)pyrene의 농도도 높아질 수 있음을 시사하며 지하상가의 분진농도의 저감대책이 요구된다. Benzo(a)pyrene을 제외한 Anthracene, Fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene등은 부

유분진과의 상관성이 약한 것으로 나타났다. 또한 PAHs 4종류간의 상관성을 보면 Anthracene과 Fluoranthene는 0.92, Benzo(a)pyrene과 Benzo(k)fluoranthene의 상관계수(r)는 0.84로 상관성이 매우 큰 것으로 나타나 각각의 물질간에 관련성이 강한 것으로 나타났다.

Anthracene과 Fluoranthene은 지하상가에서 4계절에 검출된 PAHs의 총 검출량중 99.1%를 차지하고 있다. 또한 기온이 높은 여름철에 Anthracene과 Fluoranthene 모두 높은 농도를 보여주었으며(그림 6), 연료사용량이 적은 계절에 두 물질이 조대입자에서 많이 검출된 것을 볼때 기상조건 및 물리적 현상등에 의해 기인되었음을 뒷바침하여 준 것이라 생각된다. Benzo(a)pyrene과 Benzo(k)fluoranthene는 주로 미세입자로부터 검출되었고(그림 5) 화석연료의 소비가 많은 겨울철에 비교적 높은 농도를 나타내었다(그림 6). 또한 Benzo(a)pyrene과 Benzo(k)fluoranthene간의 상관계수(r)는 0.84로 나타나 두 물질간에 높은 상관성을 입증하고 있는데 이는 토양중 Benzo(a)pyrene과 Benzo(k)fluoranthene와의 높은 상관성($r=0.99$)을 보고한 玉川勝美와 相原良之(1987)의 연구결과와도 일치함을 보였다.

4. 결 론

서울시내에 소재하는 주요 지하상가 5곳(영등포, 명동, 을지로, 고속터미널, 잠실)을 선정하여 1992년 2월부터 1992년 10월까지 약 9개월간에 걸쳐 각 계절별로 4-5일씩 cascade impactor로 부유분진을 포집한 후 60개 시료에 대하여 고속액체크로마토그래피(HPLC)를 이용하여 분진중의 다환방향족탄화수소중 4종류(Anthracene, Fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Benzo(k)fluoranthene)에 대한 입경별, 계절별 농도를 조사하였다. 또한, HPLC분석을 검사하여 PAHs의 검출에 대한 검토도 병행하였다. HPLC분석에 대한 검사는 분석의 신뢰도를 보기 위한 것으로 Standard와 Sample의 Retention time이 거의 일치하며 4종류의 PAHs를 분석정량한 결과 회수율 97.3%, 변동계수 1.60%로 양호한 분석결과를 얻었다.

연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 조사대상 지하상가내 부유분진의 총평균농도는 $216.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 이중 미세입자의 평균농도는 $117.2\mu\text{g}/\text{m}^3$, 조대입자는 $99.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 호흡성분진인 미세입자의 농도가 조대입자의 농도보다 약 1.2배 높게 나타났다. 분진의 평균농도($216.3\mu\text{g}/\text{m}^3$)는

총부유분진의 년평균기준치인 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 1.4배 정도 높았고 미세입자가 총부유분진중의 54.2%를 차지하였다. 또한 전체적으로 $0.43\mu\text{m}$ 이하의 미세입자에서 가장 많은 분진이 포집되었으며, 조대입자중 $4.7\text{--}7.0\mu\text{m}$ 사이에서 비교적 높은 농도를 나타냈다.

2) 상가별 부유분진의 농도를 보면 잠실상가에서 $276.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고 영등포상가는 $178.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮았으며, 계절별로는 봄>겨울>여름>가을 순으로 봄이 $259.2\mu\text{g}/\text{m}^3$, 가을이 $184.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 계절별 최고, 최저치를 나타냈다. 또한 각 상가의 부유분진 평균농도는 대기분진 기준치를 모두 초과하고 있었다.

3) 부유분진중 4종류의 다환방향족탄화수소를 분석한 결과 Fluoranthene의 평균농도는 $72.3\text{ng}/\text{m}^3$, Anthracene는 $16.8\text{ng}/\text{m}^3$, Benzo(a)pyrene $0.54\text{ng}/\text{m}^3$, Benzo(k)fluoranthene $0.29\text{ng}/\text{m}^3$ 순으로 나타났다. 발암성물질인 Benzo(a)pyrene과 Benzo(k)fluoranthene는 83% 이상이 미세입자에 분포하고 있었으며, Fluoranthene는 조대입자에서 많이 분포하고 있었다. 특히 Benzo(a)pyrene의 평균농도는 잠실상가에서 $0.67\text{ng}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았다.

4) 각 상가별 PAHs의 평균농도를 보면 명동상가는 $35.1\text{ng}/\text{m}^3$, 고속터미널은 $11.1\text{ng}/\text{m}^3$ 으로 각각 최고치와 최저치를 나타냈으며, 전체상가의 계절별로 보면 여름이 $36.9\text{ng}/\text{m}^3$, 겨울이 $14.2\text{ng}/\text{m}^3$ 로 나타났고, 여름에는 Fluoranthene과 Anthracene이, 겨울에는 Benzo(a)pyrene과 Benzo(k)fluoranthene이 각각 높게 검출됨을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

김윤신(1992) 우리나라 실내공기질에 관한 고찰, 대한보건협회지, 18, 1, 147-165.
 서울시 지하철공사(1992) 서울시 지하철역 공기오염도 조사 및 지하환경기준치 설정.
 손동현, 권창호, 정원태, 허문영(1991) 대기부유분진중 다환방향족 탄화수소 및 중금속의 농도, 대기보전학회지, 7: 1: 17-22.
 신동천, 정용, 문영한, 노재훈(1990) 서울시 대기중 유기오염물질의 농도와 돌연변이원성에 대한 연구, 예방의학지, 23, 1, 43-55.
 유명식 외 7인(1991) 돌연변이원성을 지표로한 대기부유분진의 평가, 과학기술처보고서.
 이영준(1991) 서울시 대기중 다환방향족탄화수소에 관한 연구, 서울대 보건대학원 석사학위논문.
 이용근, 원정호, 김경섭, 황규자(1986) 대기 부유분진중의 고무성분 및 납과 아연의 입도별 거

동, 대기보전학회지, 2: 2: 60-65.
 이태정(1992) X선 형광분광법을 이용한 대기부유분진중 중금속의 농도분포에 관한 연구, 경희대학교 석사학위논문.
 허귀석, 서영화, 김미경(1987) 환경오염측정용 유기입차표준시약 개발에 관한 연구, 과학기술처.
 山崎裕康, 野喜夫, 田一弘(1983) 因子分析法による大氣中の多環芳香族炭化水素の汚染解析, 大氣汚染學會誌, 18, 1, 8-17. 松下秀鶴(1989) 空氣中のかん 變異原物質とその暴露評價手法の進歩, 大氣汚染學會誌, 24, 5-6, 108-119.
 玉川勝美, 相原良之(1987) アスファルトを含有する道路たい積土砂中の多環芳香族炭化水素の分析, 公害と對策, 23, 14, 1367-1372.
 Baek Sung-Ok(1991) Evaluation of Sampling and Analytical Methods for Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Ambient Atmosphere, J. KAPRA., 7, 1, 1-16.
 Buell P.(1967) Relation impact of smoking and air pollution on lung cancer, Arch. Environ. Health, 291-297.
 Chapin F. S.(1974) Human Activity Patterns in the City, Wiley, New York.
 Daisey J. M., Low M. J.(1985) The Nature of the surface interactions of adsorbed pyrene on several types of particles, BATTELLE PRESS, 307-315.
 Federal Register, Environmental Protection Agency(USA) (1983) National Revised Primary Drinking Water Regulations, 40 CFR Part 141, 48, 194, 45519.
 Goulden F. and Tipler M. M.(1949) Experiments on the identification of 3,4-benzpyrene in domestic soot by means of the fluorescence spectrum, Br. J. Cancer 3, 157-160.
 Liroy P. J. and Daisey J. M.(1986) Airborne toxic elements and organic substances, Environ. Sci. Tech., 20, 8-14.
 Matsushida Hidetsuru(1978) Analytical Methods for Monitoring Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Environment, Academic Press, INC., 1, 71-81.
 Meyer B.(1983) Indoor Air Quality; Addison-Wesley Publishing Co., Reading, MA.

- Owen M. K, Ensor D. S, Sparks. L. E.(1992) air-borne particle sizes and sources found in indoor air, *Atmos. Environ.*, 26, 12, 2149-2162.
- Rafael Infante and Vidal Perez (1989) Size distribution measurement of suspended particulate matter in Ponce, PUERTO RICO, *Atmos. Environ.*, 24, 2, 275-281.
- Robert B. J. and Mark L. H.(1984) Simplified measurement technique for polycyclic aromatic hydrocarbons using the EPA Method 5 Sampling Train, *JAPCA*, 31, 2, 156.
- Seo Young-Hwa, Lee Kwang-Woo and Heo Gui-Suk(1988) Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in chimney soot extract by high-resolution Gas Chromatography, *J. KAPRA.*, 4, 2, 11-19.
- Seinfeld J. H.(1986) *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*, John Wiley, New York, 137.
- Stanley D. Rasberry(1988) National Bureau of Standards Certificate of Analysis: Standard Reference Material 1647a : Priority Pollutant Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(in Acetonitrile), Gaithersburg, MD.20899.
- Steven D. Colome, Norman Y. Kado, Peter Jaques and Michael Kleinman(1992) Indoor-Outdoor air pollution relations: particulate matter less than 10 m in aerodynamic diameter (PM10) in homes of asthmatics, *Atmos. Environ.*, 26,4, 2173-2178.
- Van Vaeck L. and Van Cauwenberghe K.(1978) Cascade impactor measurements of the size distribution of the major classes of organic pollutants in atmospheric particulate matter, *Atmos. Environ.*, 12, 2229.
- Wild S. R., K.C.Jones, A. E. Johnston(1992) The polynuclear aromatic hydrocarbon(PAH) content of herbage from a long-term grassland experiment, *Atmos. Environ.*, 26, 7, 1299-1307.
- Wiley J. A., Robinson P. J., Piazza T., Garrett K., Cirkseña K., Cheng Y. and Martin G.(1991) Activity patterns of California residents, Final report for the Research Division, California Air Resources Board. contact no. Sacramento, CA, A6, 177, 33.