한국환경위생학회지, 제26권 제2호(2000)
Kor. J. Env. Hlth. Soc., Vol. 26, No. 2, pp 34~40(2000)

대구지역 부유분진중 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons의 발생원 특성

최성우 · 윤성훈
계명대학교 환경과학대학 환경과학과

Source Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons of Airborne Particulate Matter in Taegu Area

Sung Woo Choi and Sung Hun Yoon
Department of Environmental Science and Engineering, Keimyung University

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the seasonal variation of PAHs and to estimate their source characteristics in Taegu area. To do this, four sampling sites were selected to represent an industrial, a traffic, a traffic & residential, and a residential area in Taegu. Total of 72 samples had been collected from January, 1999 to September, 1999 on glass micro fiber filters by high volume air sampler. The PAHs in the total suspended particulate were extracted by a soxhlet process with dichloromethane and analyzed by GC/MSD, GC/FID. A statistical analysis was performed for the PAHs data set using a principal component analysis to derive important factor inherent in the interactions among the variables. The specific conclusions of this research are: 1) There was a significant seasonal and local variation in the atmospheric concentration of PAHs. The seasonal variation is winter > spring > fall > summer, and the local variation is industrial > traffic > traffic & residential > residential area. 2) To evaluate the correlation between a measured PAHs and other affecting factors such as air pollutant concentration and meterological data, statistical analysis was performed. PAHs have negative correlation with temperature ($r=-0.593$, $p<0.05$), radiation ($r=-0.535$, $p<0.05$), and O_3 ($r=-0.719$, $p<0.05$), but have positive correlation with NO_2 ($r=0.615$, $p<0.05$). 3) Finally, multivariate analysis was performed for the PAHs data set to identify and to estimate the source contributions of PAHs. According to results of statistical analysis, it could be identified as three factors such as vehicular/gasoline, vehicular/diesel, and combustion in Taegu area.

Keywords : PAHs, 부유분진, 회수율, 상관성분석, 주성분분석

I. 서 론

대도시 대기 중 부유분진은 산업시설, 소각시설, 가정난방, 수송수단 등 인간활동에 의한 인위적인 오염원에 의해 주로 발생되며 부유분진에는 무기성이온류, 중금속류, 다환방향족탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, 이하 PAHs) 등 다양한 종류의 유해물질이 포함되어 있어 대기오염을 측정하는 일반지표로 사용된다. 특히 부유분진 중 다환방향족탄화수소는 발암성, 돌연변이원성 물질로서 환경보건학적으로 매우 중요시되는 유해성 대기오염물질이다.

PAHs는 탄소와 수소를 포함하는 유기물의 불완전연소와 고온열분해에 의해 발생되며[1] 대기중 기체상 또는 입자상으로 존재한다.[2-6] 특히 입자상 PAHs는 가스상 PAHs에 비해 인체의 위해성 측면에서 중요시되는 오염물질이다.[7] 또한 PAHs는 O_3형성의 전구물질로 알려져 있으며,[8] 스모그 생성시 촉매역할을 한다. Nitro-PAHs나 Oxygenated PAHs는 연소과정 중에서 생성되거나 대기 중의 OH radical, NO_3 radical 및 N_2O_5와 반응하여 2차적으로 생성되는데[9-11] 이들 대부분은 PAHs 보다 수 배 더 강한 돌연변이원성을 나타내는 것으로 보고되고 있다.[12-14]

미국 EPA(Environmental Protection Agency)에서는 주변 환경에서의 발생빈도 와 위해성 관점에서 수백 가지에 달하는 PAHs 중 16개의 PAH를 선정하여 이들 물질에 대한 집중적인 연구를 권장하고 있다. 특히 이들 PAHs 중 dibenzo(a,h)anthracene, benzo(a)anthracene, indeno(1,2,3-cd)pyrene, chrysene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene은 미국 EPA와 IARC(International Agency for Research on Cancer)에

의해 동물 및 인간에게 발암성이 있는 것으로 보고되었다.[15,16]

PAHs의 유해성을 고려해 볼 때 대기환경 중의 PAHs 농도 현황 분석 및 발생원 추정에 관한 연구는 대도시의 대기질 관리를 위해서 필수적이다. Benner 등의 연구에 따르면 미국의 경우 PAHs는 차량관련 연소가스에서 35%, 알루미늄 제조공정에서 17%, 산불에서 17%, 가정용 땔감에서 12%, 코우크스 제조과정에서 11%, 기타 발전소에서 6%, 소각로에서 3% 순으로 발생하는 것으로 알려져 있다.[17] 우리나라의 경우 PAHs의 발생원 추정에 관한 연구가 이루어지고 있으나[18-20] 매우 미비한 실정이며, 효율적인 지역대기질 관리를 위해서는 지역특성에 맞는 발생원 추정에 대한 연구가 수행되어야 한다.

따라서 본 연구는 대기환경규제지역으로 지정된 대구지역을 대상으로 PAHs의 농도 현황을 조사 분석하고 그 발생원을 평가하여, 유해성 대기오염물질의 관리 및 제어를 위한 기초적 자료를 제공하고자 한다. 본 연구는 PAHs의 농도변화특성과 발생원을 추정하기 위해 PAHs의 배출원이 서로 다를 것으로 예상되는 4개 지역을 선정하여 첫째, 계절 및 지역별 PAHs의 농도분포를 조사, 비교 분석하고 둘째, PAHs와 기상요인 및 주요대기오염물질과의 상관성을 분석하며 마지막으로 다변량분석을 통해 대구지역의 PAHs 배출원 기여도를 평가하였다.

II. 연구방법

1. 시료포집 및 기간

본 연구는 PAHs의 배출원이 서로 다를 것으로 예상되는 4개 지역(공업지역, 교통지역, 교통주거복합지역, 주거지역)을 선정하여 1999년 1월부터 9월까지 지역별로 월 2회 부유분진을 포집하였으며, 총 72개의 시료를 포집하였다. 부유분진의 포집을 위해 high-volume air sampler(Andersen, GHV-2200 PS handi-vol)를 사용하여 시료를 채취하였으며, sampler 본체에 내장된 유량측정계를 이용하여 포집 전·후의 유량을 산정하여 평균유량을 계산하였다. 부유분진은 각 지점별로 550 l/min의 유량으로 24시간에서 48시간동안 포집하였다. 본 실험에서는 시료채취를 위해 유리섬유필터(Whatman)를 사용하였으며, 여지내의 불순물을 제거하기 위해 250°C에서 24시간 건조시킨 후 사용하였다. 각 여지를 시료포집 전·후 24시간 동안 항온·항습 상태의 데시케이터에 보관하여 항량이 되게 한 다음 chemical balance(Chyo, JK-180)를 이용하여 칭량하였다. 또한 칭량 전·후의 여지 중량차로 분진의 농도를 산출하였다. 포집된 여지는 빛의 투과를 방지하기 위해 알루미늄 호일로 밀봉하고 분석 전까지 -20°C 이하에서 냉동보관하였으며 PAHs의 손실을 방지하기 위해 48시간내에 분석하였다.

2. PAHs의 추출 및 분석방법

PAHs의 추출효율을 높이기 위해 추출과정, 추출용매, 추출시간 등을 고려하여 다양한 실험을 수행함으로써 본 실험실 여건에 가장 적합한 추출방법을 도출하였다. 본 실험실에 가장 적절한 추출법으로는 dichloromethane으로 6시간동안 soxhlet을 이용한 추출방법이 가장 높은 효율을 보여 위의 추출방법을 이용해 부유분진 중 PAHs를 추출하였다. Soxhlet을 이용한 PAHs의 추출은 여지를 환저플라스크에 넣고 추출용매 120 ml를 주입한 후 추출하였으며, 추출된 시료는 rotary vacuum evaporator(Eyera N-N serise)를 사용하여 3 ml로 농축한 다음 고순도 질소가스로 소량까지 휘발시키고 cyclohexane으로 재용해 시킨 후 sep-pak silica cartridge (Waters, Pat NO. 36580)를 이용하여 비극성 부분과 PAHs가 함유된 반극성 부분을 분리하였다. 비극성 부분은 분리해 버리고 PAHs가 함유된 반극성 부분은 고순도 질소가스로 농축하고 다시 DCM 1 ml에 용해시킨 후 정성분석에는 GC/MSD(H.P 6890 serise)를, 정량분석에는 GC/FID(H.P 6890 serise)를 사용하였다.

PAHs의 정성 및 정량분석을 위해 PAHs 표준용액(Supelco)을 단계별로 희석하여 사용하였으며 내부표준물로는 perylene-d12을 사용하였다. 각 GC의 조건은 동일하게 하여 주입부의 온도는 250°C, 검출기의 온도는 320°C로 하였고 column의 온도는 초기온도를 75°C로 하여 1분간 유지한 후 최종온도를 300°C로 하여 분당 12°C씩 승온시킨 후 10분간 유지하였다. 또한 column은 HP-5(30 m×0.32 mm ID, 0.25 μm film thickness)를 사용하였다. GC/FID 분석시 검출한계는 최저 69 pg에서 최대 152 pg으로 나타났다. 한편 PAHs 분석방법의 정도 관리 위한 회수율 실험을 실시하였다. 회수율실험은 3단계 표준물질의 농도를 1 ppm, 10 ppm, 100 ppm으로 spike하여 시료추출방법과 동일한 조건으로 5회 반복 시험한 결과 시료회수율은 35.6%에서 99.6%로 저분자 PAHs의 회수율이 고분자 PAHs에 비해 전반적으로 낮았으며 repetability는 5%이하로 비교적 양호하였다.

한편 정성·정량분석된 PAHs의 자료와 기상요인 및 주요 대기오염물질과의 상관분석 및 PAHs의 발생원을 추정하기 위한 다변량 통계분석은 SPSS PC+ 9.0 (SPSS Inc.)을 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 대기 중 부유분진의 농도

Fig. 1은 대구시 대기환경 중 부유분진의 월별 농도 분포를 나타낸 것이다. 조사대상 기간 중 18% 정도의 시료가 연간 평균치 150 μg/m³를 초과하였으나 24시간 평균치 300 μg/m³를 초과한 경우는 없었다. 평균 부유분진의 농도는 116.83 μg/m³이었으며, 가장 높은 농도는 겨울철 268.94 μg/m³이었다. 계절별 평균농도의 분포는 겨울 144±21 μg/m³, 봄 122±27 μg/m³, 가을 95±12 μg/m³, 여름 92±13 μg/m³의 순으로 나타났다. 부유분진 농도분포의 특이점은 황사와 관련된 것으로 황

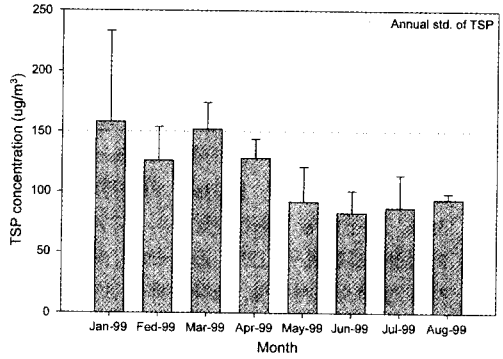
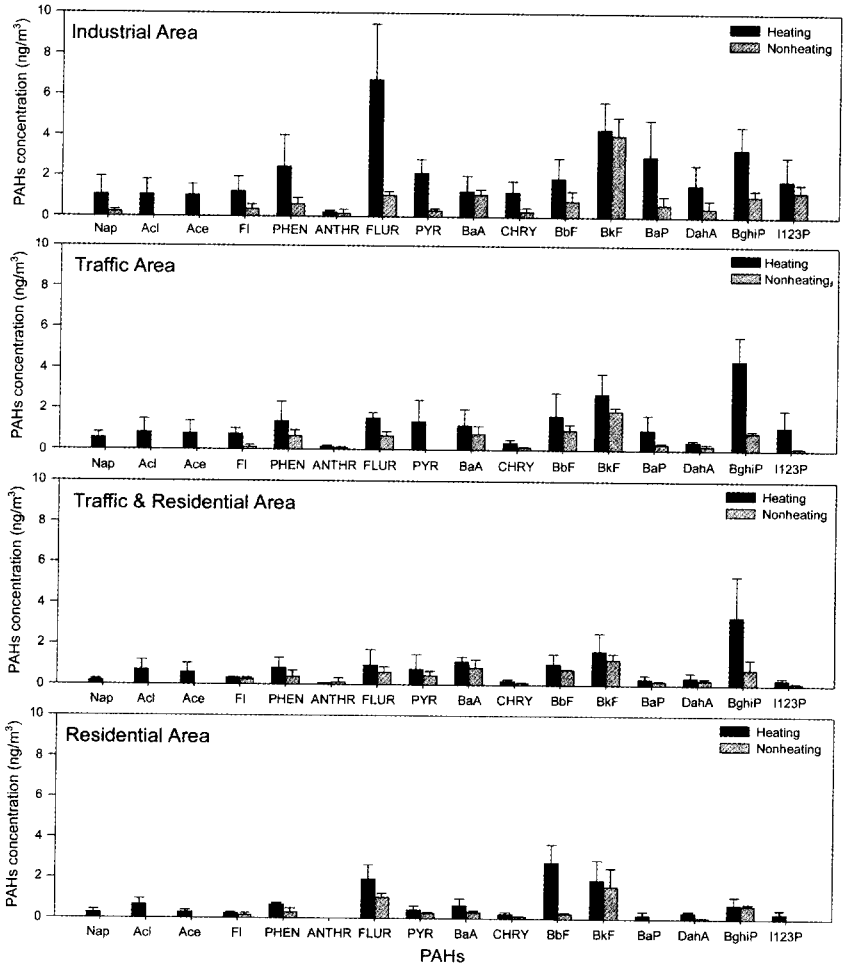


Fig. 1. Monthly variation of TSP concentration in Taegu area.



NaP: Naphthalene, Acl: Acenaphthylene, Ace: Acenaphthene, Fl: Fluorene, PHEN: Phenanthrene, ANTHR: Anthracene, FLUR: Fluoranthene, PYR: Pyrene, BaA: Benzo(a)anthracene, CHRY: Chrysene, BbF: Benzo(b)fluoranthene, BkF: Benzo(k)fluoranthene, BaP: Benzo(a)pyrene, DahA: Dibenzo(a,h)anthracene, BghiP: Benzo(ghi)perylene, I123P: Indeno(1,2,3-cd)pyrene.

Fig. 2. Average concentration of PAHs at heating & nonheating season.

사는 주로 3~5월에 발생하여 봄철 부유분진의 농도가 가장 높은 경향을 보이나 본 조사기간 중에는 1월과 2월에 겨울철 황사가 발생하여 겨울철이 봄철보다 부유분진의 농도가 높게 나타났다. 겨울철과 봄철 부유분진 농도를 황사기간과 비황사기간으로 구분하여 보면 황사기간 부유분진의 농도는 비황사기간에 비해 1.28~1.90배 높게 나타났다.

2. 대기 중 PAHs의 농도

포집된 분진시료로부터 추출된 PAHs의 난방기/비난방기에 따른 지역적·계절적 농도분포를 각 측정지점별로 Fig. 2에 나타내었다. 총 PAH의 농도는 난방기의 경우 공업지역이 34.24 ng/m^3, 교통지역이 20.08 ng/m^3, 교통주거복합지역이 12.58 ng/m^3, 주거지역이 11.34 ng/m^{3}로 나타났으며 비난방기에는 공업지역이 12.16 ng/m^3, 교통지역이 6.71 ng/m^3, 교통주거복합지역이 6.01 ng/m^3, 주거지역이 4.66 ng/m^{3}로 나타났다. 즉 난방기와 비난방기의 농도비를 비교한 결과 공업지역에서는 2.8배, 교통지역은 3.0배, 교통주거복합지역은 2.1배, 주거지역은 2.4배로 4개 지역 모두 난방기의 농도가 비난방기에 비해 높았다. 특히 교통지역의 경우 I123P의 농도가 비난방기에 비해 최고 11.3배 정도 높게 나타났다. 난방기의 PAHs 농도가 비난방기보다 높은 것은 겨울철 대기중 PAHs의 주요 발생원인 화석연료의 사용증가와 밤사이 빈번하게 발생하는 복사역전에 기인한 것으로 사료되며 비난방기에는 높은 온도와 일사량으로 인한 광화학반응과 여름철의 잦은 호우와 같은 기상적 요인에 의해 농도가 낮아지는 것으로 추정된다.

난방기와 비난방기에 따른 지역별 각 PAH의 농도 비교시 난방기의 경우 공업지역에서는 FLUR > BkF > BghiP > BaP 순으로, 교통지역에서는 BghiP > BkF > BbF > FLUR 순으로, 교통주거복합지역에는 BghiP > BkF > BaA > BbF 순으로, 주거지역에서는 BbF > FLUR > BkF > BghiP 순으로 나타났으며, 비난방기의 경우 공업지역에서는 BkF > I123P > BaA > FLUR 순으로, 교통지역에서는 BkF > BbF > BghiP > BaA 순으로, 교통주거복합지역 BkF > BaA > BghiP > BbF순으로, 주거지역에서는 BkF > FLUR > BghiP > BaA 순으로 나타났다.

난방기와 비난방기 모두 BkF의 농도가 지역 및 계절에 상관없이 높은 농도를 보였는데 이는 BkF가 여러 발생원에서 비교적 균일하게 배출되고 PAHs 화합물 중 반응성이 낮아 대기 중에서 안정하기 때문인 것으로 추정된다. 지역별 비교시 공장지역에서는 FLUR이 높은 농도로 나타났는데 이는 공장지역에서 많이 사용하는 B-C유 연소와 디젤기관의 영향에서 기인한 것이며, 가장 강력한 발암성물질로 알려진 BaP의 농도가 다른 지역에 비해서 상대적으로 높게 나타났다. 또한 교통 및 교통주거복합지역의 경우 차량 중 가솔린기관에서 많이 배출되는 BghiP의 농도가 높았다. 주거지역은 BghiP와 BaP의 농도가 타 지역과 비교하여 상대적으로 낮았으며, 그 원인으로는 이 지역의 교통량이 타 지역에 비하여 월등히 작고, 석탄이나 목재연소가 거의 없기 때문으로 해석된다. 그럼에도 FLUR, BbF, BkF가 상대적으로 높은 것은 시료채취장소로부터 30여 미터 근처에 중앙집중식 난방을 하는 아파트의 굴뚝이 여러 개 위치해 이것에 의한 영향으로 사료된다.

PAHs의 발생은 화석연료의 연소 및 자동차 배기가스와 매우 밀접한 관계를 가진다. 교통량이 증가하기 이전에는 대부분의 PAHs들이 화석연료의 연소과정에서 발생되었으나 대도시의 자동차 증가로 인해 자동차 배기가스에 의한 고분자 PAHs의 오염농도가 점차 증가하는 현상을 보여주고 있다. 일반적으로 PAHs의 발생원 해석시 화석연료의 연소관련 발생원은 BaP를 사용하고 있으며, 자동차관련 발생원은 BghiP를 주로 사용하고 있다.[21,22] 외국의 대도시에서 BghiP와 BaP의 농도비를 살펴보면 Baltimore에서는 1.38,[17] Birmingham에서는 2.62~3.30[23]로 나타났다. 즉 BghiP와 BaP의 농도비 비교시 1이상인 경우는 PAHs의 주요 발생원이 연소관련 배출원보다는 자동차 관련 배출원의 영향이 큼을 알 수 있다. 본 연구의 결과 난방기 공업지역에서는 1.12로 두 PAHs의 농도가 비슷한 추세로 발생됨을 알 수 있었으나 난방기 교통지역의 경우 농도비가 4.47로 자동차에 의한 PAHs의 발생기여도가 높음을 알 수 있었다.

3. PAHs와 기상 및 대기오염 물질간의 상관성분석

PAHs의 농도 변이에 영향을 미치는 기상과 대기오염물질과의 관련성을 알아보기 위해 대구 기상대에서 관측한 기상인자와 그리고 대기오염 자동측정망이 본 연구의 시료채취지점과 일치하는 지역인 공단지역과 교통주거복합지역의 대기오염물질 오염도 자료를 이용하여 총 PAHs와 기상인자인 기온, 일사량 그리고 대기오염물질 중 SO_2, O_3, NO_2, CO와의 상관성을 검증하였다. Table 1에 총 PAH와 이들 변수 사이의 상관성을 나타내었다. 총 PAH와 기상인자인 기온, 일사량은 상관계수(R)가 -0.593, -0.535로 음의 상관을 나타내었고 대기오염물질 중 O_3와는 -0.719로 음의 상관을 SO_2와 CO와는 0.534, 0.615로 양의 상관을 나타내었다 ($P<0.05$). 총 PAH가 SO_2 및 CO와 양의 상관성을 보

Table 1. Correlation of air pollutant, meterological data and total PAH in Taegu area

	기온 (°C)	일사량	SO_2	O_3	NO_2	CO	TPAH
기온(°C)	1						
일사량	.839*	1					
SO_2	-.384	-.606*	1				
O_3	.669*	.737*	-.739*	1			
NO_2	-.256	-.443	.511*	-.642*	1		
CO	-.533*	-.683*	.759*	-.799*	.542*	1	
TPAH	-.593*	-.535*	.534*	-.719*	.407	.615*	1

*: Correlation is significant at the 0.05 level.

Table 2. Correlation of selected PAHs

	Fl	PHEN	BghiP	I123P	CHRY	FLUR	BkF
Fl	1.00						
PHEN	.723*	1.00					
BghiP	.204	.188	1.00				
I123P	.409*	.289	.724*	1.00			
CHRY	.286	.361*	-.016	.393*	1.00		
FLUR	.575*	.470*	.011	.247	.553*	1.00	
BkF	.375*	.473*	.279	.449*	.438*	.304	1.00

*: Correlation is significant at the 0.05 level.
Fl: Fluorene, PHEN: Phenanthrene, BghiP: Benzo(ghi) perylene, I123P: Indeno(1,2,3-cd)pyrene, CHRY: Chrysene, FLUR: Fluoranthene, BkF: Benzo(k)fluoranthene.

이는 것은 배출원의 특성에 따른 것으로 생각되며, O_3와 음의 상관성을 보이는 것은 대기 중에서 PAHs가 O_3와 반응하기 때문으로 사료된다. 또한 여름철 높은 기온과 일사량은 PAHs 농도의 주요한 감소요인으로 사료된다.

4. 다변량분석을 이용한 발생원 기여도 평가

측정된 PAHs 중 결측치가 없고 일정하게 검출된 PAHs를 선택하여 상관분석을 실행한 후 결과를 Table 2에 나타내었다. Fl은 PHEN, I123P, FLUR, BkF와 전반적으로 상관성이 높았으며, PHEN은 CHRY, FLUR, BkF와 상관성이 있는 것으로 나타났다($p<0.05$). 특히 BghiP와 I123P는 상관계수가 0.724로 매우 높아 두 화합물의 배출원이 자동차 배기가스와 밀접한 관계가 있음을 보여주었다($p<0.05$).

상관분석에 사용된 PAHs에 대해 발생원 기여도를 추정하기 위하여 요인분석(factor analysis) 중 주성분 분석(principal component analysis)을 수행하였으며 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 주성분 분석을 통해 도

Table 3. Result of VARIMAX rotated principal component analysis of selected PAHs

Variable \ Source	PC1 Coal Combustion	PC2 Vehicular/ Gasoline	PC3 Vehicular/ Diesel
Fl	.904	.193	.137
PHEN	.861	.151	.199
FLUR	.586	-7.557E-02	.586
BghiP	8.557E-02	.936	-.116
I123P	.162	.860	.326
CHRY	.137	6.251E-02	.935
BkF	.292	.423	.537
Eigenvalues	3.27	1.44	0.88
% Variance	46.7	20.6	12.5
Σ % Var.	46.7	67.3	79.8

출된 요인성분에 대한 해석을 용이하게 하기 위해 각 요인성분의 통계적 독립성을 잃지 않고 좌표축 직교변환방법의 하나인 varimax 회전법을 이용하여 분석하였다. Varimax rotation을 시킨 후 3개의 주성분과 각 주성분에 높게 적재(loading)된 변수를 주성분의 적재치로 나타내었다. Eigenvalue값이 1이상인 것을 요인으로 선택하는 것이 일반적이나 본 연구에서는 요인3의 eigenvalue가 0.88로 1보다 낮았지만 전체분산에 대한 기여도가 12.5%로 높게 나타났기 때문에 요인으로 채택하였다. 그 결과 도출된 3개의 주성분은 총 분산의 79.8%를 설명할 수 있었다. 첫 번째 요인은 Fl, PHEN, FLUR로 총 분산의 46.7%를 설명하며 요인부하량은 0.586~0.904로 Fl과 PHEN이 높게 적재되어 있었고 두 번째 요인은 BghiP, I123P로 총 분산의 20.6%를 설명하고 부하량은 0.860~0.936으로 매우 높게 적재되어 있었으며 세 번째 요인은 CHRY, BkF로 총 분산의 12.5%를 설명하고 CHRY이 0.935로 높은 부하량을 보였다.

요인분석 결과 PAHs의 배출원으로 추정되는 발생원으로 자동차 배기가스와 연소관련 등 크게 두 가지로 분류되었다. PAHs의 정확한 배출원 특성을 도출하는 것은 매우 어려우나 요인1에서 높게 적재된 Fl과 PHEN은 일반적으로 코우크스 제조공정과 같은 연소공정에서 많이 발생하며, 요인2에 적재된 BghiP와 I123P는 차량 중 가솔린기관에서 많이 배출되는 PAHs이고, 요인3에 높게 적재된 CHRY는 차량 중 디젤기관에서 많이 배출되는 PAHs로 디젤 차량에 영향을 받는 주성분으로 추정할 수 있다. Fig. 3에 요인분석에 의해 추정한 대구지역 총 PAH의 농도변동율을 나타내었다. 총 PAH의 변동율은 연소관련 발생원 46.7%, 차량 중 가

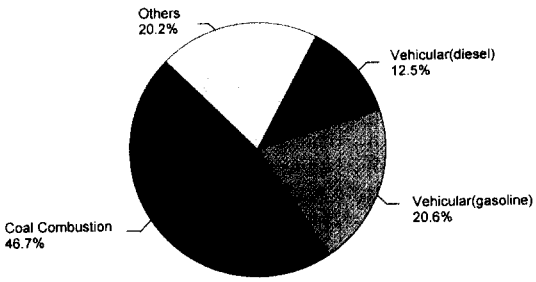


Fig. 3. Average percentage contribution of each source to the selected PAHs.

솔린기관 20.6%, 차량 중 디젤기관 12.5%, 기타 20.2%로 나타나 총 PAH 농도변동의 79.8%를 도출된 주성분에 의해 설명할 수 있었다. 특히 대구와 같은 대도시 지역은 PAHs의 발생 기여도가 자동차 운행의 증가로 인해 점차 증가할 것으로 예상된다. 따라서 합리적이고 종합적인 대기질 보전대책이 지역별로 수행되어야 하며 유해성 대기오염물질의 체계적인 관리와 대책 마련을 위해 측정자료의 data base와 발생원 추정연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

IV. 결 론

PAHs의 동정 및 분리 방법을 평가하여 본 실험실에 가장 적합한 PAHs의 전처리 방법을 선택한 후, 대구지역을 대상으로 PAHs의 배출특성이 서로 다를 것으로 예상되는 4개 지역을 선정하여 1999년 1월부터 9월까지 부유분진을 포집하였다.

본 연구는 대기 중 PAHs의 계절적 · 지역적 농도분포 현황을 조사하였고 상관성 분석을 통해 PAHs의 농도에 영향을 미치는 주요 대기오염물질과 기상요인과의 관련성을 분석하였으며 다변량 분석을 통해 각 PAH의 배출원별 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 조사기간 중 부유분진의 평균 농도는 116.83 μg/m^{3}이었고, 겨울, 봄, 가을, 여름의 순으로 농도가 높게 나타났다. 평년과는 다르게 1월과 2월에 겨울철 황사가 발생하여 결과적으로 겨울철 분진의 농도가 높게 나타났다.

2. 총 PAH의 농도는 겨울, 봄, 가을, 여름의 순으로 높게 나타났으며 공업지역, 교통지역, 교통주거복합지역, 주거지역 순으로 높게 나타났다. 난방기의 경우 공업지역이 34.24 ng/m^3, 교통지역이 20.08 ng/m^3, 교통주거복합지역이 12.58 ng/m^3, 주거지역이 11.34 ng/m^{3}로 나타났으며 비난방기에는 공업지역이 12.16 ng/m^3, 교통지역이 6.71 ng/m^3, 교통주거복합지역이 6.01 ng/m^3, 주거지역이 4.66 ng/m^{3}로 나타났다. 난방기와 비난방기의 농도비를 비교해 보면 공업지역에서는 2.8배, 교통지역은 3.0배, 교통주거복합지역은 2.1배, 주거지역은 2.4배로 4개 지역 모두 난방기의 농도가 비난방기의 농도에 비해 높았다.

3. 총 PAH와 기온, 일사량 및 O_3은 음의 상관성($P<0.05$)을 보이고, CO와는 양의 상관성($P<0.05$)을 보였다.

4. 다변량 분석을 통한 배출원 기여도 평가결과 선택된 PAHs가 3개의 주요인으로 분류되었다. Fl, PHEN, FLUR은 석탄연소관련, BghiP, I123P는 차량 중 가솔린 관련, CHRY, BkF은 차량 중 디젤관련 주성분으로 추정할 수 있었으며 이들 주성분들은 대기 환경 중 총 PAH의 농도변동에 79.8%를 설명할 수 있었다.

참고문헌

1) Badger G. M.: Mode of formation of carcinogens in human environment, *Nat. Cancer Inst. Monograph*, **9**, 1-16, 1962.
2) Baek, S. O., Field, R. A., Goldstone, M., Kirt, P. M., Lester, J. N. and Perry, R.: Polycyclic aromatic hydrocarbons; sources, fate, behavior, *Water, Air and Soil Pollution*, **60**, 279-300, 1991.
3) Lioy, P. J. and Daisey, J. M.: Airborne toxic elements and organic substances, *Environ. Sci. Technol.*, **20**, 8-14, 1985.
4) Kamens, R. M., Guo, Z., Fulcher, J. N. and Bell, D. A.: Influence of humidity, sunlight and temperature on the daytime decay of polycyclic hydrocarbons on atmospheric shoot particles, *Environ. Sci. Technol.*, **22**, 103-108, 1988.
5) Venkataraman, C., Lyons, J. M. and Friendlander, S. K.: Size distributions of Polycyclic aromatic hydrocarbons and elemental carbon. 1. Sampling, measurement methods, and source characterization, *Environ. Sci. Technol.*, **28**(4), 555-562, 1994.
6) Coutant, R. W., Brown, L., Chuang, J. C., Riggin, R. M. and Lewis, R. G.: Phase distribution and artifact formation in ambient air sampling for Polynuclear aromatic hydrocarbons, *Atmos. Environ.*, **22**, 403-409, 1988.
7) Jones, K. C.: PAHs in air adjacent to two inland water bodies, *Environ. Sci. Technol.*, **29**, 2405-2413, 1985.
8) Van Vaeck, L., Van Cauwenberghe, K. and Janssens, J.: The gas-particle distribution of organic aerosol constituents; measurement of the volatilisation artifact in Hi-Vol cascade impactor sampling, *Atmos. Environ.*, **18**, 417-430, 1984.
9) Arey, J., Zielinska, B., Atkinson, R. and Winter, A. M.:

Polycyclic aromatic hydrocarbon and nitroarene concentrations in ambient air during a wintertime high-NOx episode in the Los Angeles Basin, *Atmos. Environ.*, **21**, 1437-1444, 1986.

10) Fan, Z., kamens, R. M., Hu, J. and Mcdow, S.: Photostability of nitro-polycyclic aromatic hydrocarbons of combustion soot particles in sunlight, *Environ. Sci. Technol.*, **30**, 1358-1364, 1996.
11) Allen, J. O., Dookeran, N. M., Lafleur, A. L., Smith, K. A. and Sarofim, A. F.: Measurement of oxygenated polycyclic aromatic hydrocarbons associated with a size-segregated urban aerosol, *Environ. Sci. Technol.*, **31**, 2064-2070, 1997.
12) Arey, J., Atkinson, R., Zielinska, B. and Mcelroy, P. A.: Diurnal concentrations of volatile polycyclic aromatic hydrocarbons and nitroarenes during a photochemical air pollution episode in Glendora, California, *Environ. Sci. Technol.*, **23**, 321-327, 1989.
13) Pitts, J. N. Jr.: Nitration of gaseous polycyclic aromatic hydrocarbons in simulated and ambient urban atmospheres: a source of mutagenic nitroarenes, *Atmos. Environ.*, **21**, 2531-2547, 1987.
14) Tuominen, S., Salimaa, S., Pyysalo, H. and skytta, E.: Polycyclic aromatic compounds and genotoxicity in particulate and vapor phase of ambient air: effect to traffic, season and meterological conditions, *Environ. Sci. Technol.*, **22**, 1228-1234, 1988.
15) IARC: IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans, 32, polynuclear aromatic compounds, Part 1, Chemical, environmental and experimental data, International Agency for Research on Cancer, Lyon, 1983.
16) U.S. EPA: Locating and estimating air emissions from sources of polycyclic organic matter. External review draft report, Research Triangle Park, North Carolina, Radian No. 289-130-43, September, 1995.
17) Benner B. A., Gordon G. E. and Wise S. A.: Mobile sources of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: a roadway tunnel study, *Environ. Sci. Technol.*, **23**, 1269-1277, 1989.
18) 구자공, 서영화 : 도시 대기오염물 중 다환방향족 탄화수소의 배출원 규명을 위한 화학물질 수지모델의 적용, 한국대기보전학회지, **8**(4), 229-239, 1992.
19) 권기태 : 대구지역 대기 중 호흡가능성분진에 함유된 다환방향족탄화수소의 농도, 영남대학교 환경대학원 석사학위논문, 1995.
20) 도화석, 최 혁, 정연욱, 홍성희, 김종우, 김창동 : 연소관련 분진 중 polycyclic aromatic hydrocarbons의 함량에 관한 연구, 보건환경, **5**, 250-272, 1994.
21) Baek, S. O.: Phase distribution and particle size dependency of polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere. *Chemosphere.*, **22**, 503-520, 1991.
22) Gordon, R. J.: Distribution of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons concentration at four Los Angeles sites. *Environ. Sci. Technol.*, **10**, 370-373, 1976.
23) Harrison, R. M., Smith, D. J. T., Luhana, L.: Source apportionment of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons collected from an urban location in Birmingham, U.K, *Environ. Sci. Technol.*, **30**, 825-832, 1996.