

## 대기 부유분진중 발암성 유기추출물의 화학적 조성 및 돌연변이원성

정 용, 신동천, 박성은, 황만식, 이 현  
연세대학교 예방의학교실 및 환경공해연구소  
(95. 8. 14 접수)

### Chemical Characteristics and Mutagenicities of Carcinogenic Extractable Organic Matters in Airborne Particulates

Yong Chung, Dongchun Shin, Seongeun Park, Mansik Hwang and Hyun Lee

The institute for Environmental Research, Yonsei University College of Medicine, C.P.O. Box 8044, Seoul, Korea

**ABSTRACT :** Air suspended particulates are the most serious factor among air pollutants in Seoul and their extracts have been revealed to be pulmonary carcinogens. Air particulates were collected at a site representative of the high traffic area of Seoul from December 1993 to May 1994. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and nitroarenes in organic extracts of air particulates were determined by gas chromatography and mutagenicity of particle extracts was evaluated by the pre-incubation procedure with *Salmonella typhimurium* TA98 and TA 98NR. The average concentration of total suspended particulates and inhalable (less than 10  $\mu\text{m}$ ) particulates were 169.63  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 141.92  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively. The relative contribution of organic matters was highest in neutral fraction and was lowest in basic fraction. Among identified 20 PAHs, the level of PAHs with 4-benzen ring i. e., pyrene, benzo(a)anthracene and chrysene were much higher than the PAHs with higher ring numbers. The mutagenicity of air particulates was much higher in the presence of rat liver microsomal fraction (S9 mixture) than that observed in its absence, which indicates that air particulates contained both direct and indirect mutagens. Nitroarenes in this study were not almost detected but mutagenicity of their fraction was higher. These results are represent to research for the identification of nitroarenes in the forward study.

**Key words :** Airborne particulates, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), nitroarenes, mutagenicity

## 서 론

도시 대기오염의 주된 오염원은 자동차 연료의 불완전 연소배출물이다(NAS, 1983; de Raat and Meijer, 1988; Cho *et al*, 1993). 우리나라의 경우 자동차의 차량대수가 날로 증가하고 연료 소비량도 늘고 있어 이로 인한 대기오염이 심각

한 상태에 있다.

대기분진의 유기추출물이 동물실험 결과, 피부암(Leiter *et al.*, 1942; Epstein *et al.*, 1979), 폐암(Carnow and Meier, 1973; Walker *et al.*, 1982) 등을 유발하는 것으로 알려져 있으며 이는 분진중에 함유되어 있는 다환방향족탄화수소류(polycyclic aromatic hydrocarbon, PAHs) 및 니트로 다환방향족탄화수소

류(nitro-PAHs, nitroarenes)에 의한 영향인 것으로 밝혀지고 있다(Möller and Alfheim, 1980; Hartlong *et al.*, 1984).

이러한 물질들은 동물실험수준에서 발암성이 인정되는 인체에 발암 가능한 물질(possible human carcinogen)이며 IARC(International Agency for Research on Cancer, 1983)의 분류에서도 충분한 발암증거(sufficient evidence)를 가진 물질로 분류되어 규제되고 있다.

현재 우리나라의 대기중에서도 benzo(a)pyrene을 비롯한 PAHs 물질들이 미량 검출되며 돌연변이 위해도도 갖고 있는 것으로 조사되어(Chung, 1987; Shin *et al.*, 1990; Park and Chung, 1992) 인체 피해가 우려되지만 아직까지 이에 대해서 관리가 제대로 이루어지지 않고 있으며 인체 피해정도도 평가되고 있지 않은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 대기 부유분진에 의한 인체 발암위해성을 평가하기 위해 진행되는 노출평가(exposure assessment) 연구의 일환으로써 서울의 교통혼잡지역에서 대기 분진을 채취하여 발암성 다환방향족 유기오염물질(polycyclic organic matters, POM)의 오염도를 조사하고 그 돌연변이원성을 조사하여 특성을 파악하여 보았다.

## 재료 및 방법

### 1. 분진의 채취 및 오염도 조사

분진은 서울의 중심적 교통혼잡지역인 신촌의 도로주변 6층 건물위에서, 7단계의 입경으로 구분하여 포집되는 하이볼륨 에어샘플러(Andersen Sierra-352, US)를 이용하여 1993년 12월부터 1994년 5월까지 매달 일주일씩 채취하였다.

사용한 포집용 여지는 유리섬유여지(glass fiber filter)로써 사용하기전 105°C에서 2시간여 동안 건조시켜 사용하였으며 이때 바탕시험용 여지로 포집 분진의 농도를 보정시켜 주었다. 포집이 끝난 여지는 무게를 잰 후 알루미늄 호일에 싸서 실험전까지 냉장(4°C) 보관하였다. 분진을 채취하여 조사된 내용은 Table 1과 같다.

### 2. 유기물질의 추출 및 액성별 분류

조대 입자(coarse particulates, size >2.0 µm)와 미세 입자(fine particulates, size ≤2.0 µm)로 나눈 채취여지를 각각 잘게 자른 후, 추출용매인 diethylether/cyclohexane (8/2, v/v)을 가해, sonicator에서 20분 동안 3회 반복 추출하였다. 추출된 유기물(extractable organic matter, EOM)은 농축, 건조시켜 유기물의 무게를 측정하였고 용매추출법(Liquid-liquid extraction)으로 각각 산성(acidic), 염기성(basic), 중성(neutral)분획의 액성별 분획으로 나누었다. 이 중 중성분획을 박층크로마토그래피법(Thin layer chromatography, TLC)을 이용하여 PAHs, nitroarenes분획으로 분리하였다(Chung, 1987; Moriske and Ruden, 1988).

**Table 1.** Parameters obtained from analyses of filter samples.

Parameter(s)	Analytical technique	
Air mass	High volume air sampling	
size distribution		
Extractable organic matter(EOM)	Sonication extraction / Liquid-liquid extraction	
EOM, Neutral/Acidic/Basic fraction		
Polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs)	Gas Chromatography	
acenaphtylene, acenaphthene, fluorene, phenanthrene, anthracene, 9-methylantracene, fluoranthene, pyrene, benzo(b)fluorene, benzo(a)anthracene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(e)pyrene, benzo(a)pyrene, perylene, indeno(1,2,3-cd)pyrene, chrysene, dibenzo(a,c)+(a,h)anthracene benzo(g,h,i)perylene		
Nitroarenes		
1-nitroacenaphtylene, 2-nitronaphtalene, 3-nitro-9-fluorenone, 5-nitroacenaphthene, 9-nitroanthracene, 2-nitrofluorene, 1-nitropyrene, 2,7-dinitro-9-fluorenone, 2,7-dinitrofluorene		
Their mutagenicity		
Salmonella typhimurim TA 98 TA 98NR		Ames assay (pre-incubation)

### 3. 다환방향족 유기오염물질류의 정량 분석

TLC를 이용하여 얻은 PAHs 분석은 flame ionization detector(FID)가 달린 gas chromatography(Hewlett Packard 5890 plus, US)를 이용하여 benzo(a)pyrene을 비롯한 PAHs 20종을 정성분리하였고, nitroarenes 분석은 gas chromatography(Hewlett Packard 5890, US)의 nitrogen phosphorus detector(NPD)를 이용하여 nitroarenes 9종을 분리하였다.

정량분석의 자세한 방법은 이전의 연구(Park and Chung, 1992)에 기술되어 있다.

### 4. 돌연변이원성 실험

돌연변이원성 검사는 Ames의 방법을 변형한 Yahagi *et al.* (1977)의 방법(pre-incubation법)으로 실험하였으며 필요한 모든 시약 및 도구들은 Maron and Ames(1983)의 방법에 따랐다.

사용한 균주는 *Salmonella typhimurium* TA98, TA98NR(이하 각각, TA98, TA 98NR)로써 ampicillin trihydrate가 8mg/mL로 함유된 nutrient broth에 접종, 배양시켜 사용하였다. 실험을 하기 전에 반드시 confirm test를 실시하여 균주들의 his-

tidine 요구성, rfa 돌연변이와 R factor에 대한 유전형질을 확인하였다.

실험방법은 먼저 시험관에 시료를 0.1 mL, S-9 mixture(+S9) 또는 buffer(-S9) 0.5 mL, 균주 현탁액 0.1 mL를 각각 첨가하고 이 혼합액을 37°C의 water bath shaker에서 20분간 흔들어서 주었다. 그 다음 45°C로 유지시킨 top agar를 첨가하고 시험관 혼합기로 2-3초간 혼합을 한 후 MG plate에 부어 37°C의 incubator에서 배양시켰다. 48시간 후 복귀돌연변이(revertant colony)의 수를 측정하였다.

## 결 과

### 1. 분진 및 유기추출물의 농도

채취된 분진의 무게 및 입경별로 구분한 농도는 Table 2와 같다. 7단계의 입경으로 나누어 채취된 분진의 총농도(total suspended particulates, TSP)와 입경 10 µm 이하의 분진을 일컫는 호흡성 분진(inhalable particulates)의 분진농도는 각각 평균 169.63 µg/m<sup>3</sup>, 141.92 µg/m<sup>3</sup>으로 조사기간 대부분에서 각각의 우리나라 대기 환경기준인 150 µg/m<sup>3</sup>, 80 µg/m<sup>3</sup>을 초과하고 있

Table 2. The concentration of airborne particulates collected in a traffic area of Seoul : Weight values.

Month/Year	Item	Air volume filtered (m <sup>3</sup> )	Particulate collected (g)	TSP* (µg/m <sup>3</sup> )	Inhalable particulates (µg/m <sup>3</sup> )	Fine particulates (µg/m <sup>3</sup> )	Coarse particulates (µg/m <sup>3</sup> )
Dec. 93	1 (1205-1208)	2735.38	0.64	232.87	189.14	129.03	103.84
	2 (1208-1210)	3059.04	0.65	212.02	165.42	113.31	98.71
	3 (1219-1221)	2764.60	0.32	114.76	98.57	70.68	44.08
Jan. 94	1 (0124-0126)	2961.35	0.43	143.59	122.53	89.59	54.00
	2 (0126-0128)	2587.23	0.41	159.47	140.86	108.29	51.18
	3 (0128-0131)	3678.46	0.51	138.33	114.49	77.48	60.85
Feb. 94	1 (0214-0216)	2736.51	0.47	171.49	140.18	98.27	73.22
	2 (0216-0218)	2167.92	0.46	210.20	175.54	121.01	89.19
	3 (0218-0221)	2937.56	0.56	190.27	171.71	125.35	64.92
Mar. 94	1 (0314-0316)	2420.02	0.45	187.25	154.59	104.21	83.04
	2 (0316-0318)	3982.73	0.47	118.35	96.73	63.70	94.65
	3 (0318-0321)	4527.40	0.65	152.57	124.96	83.96	68.61
Apr. 94	1 (0406-0408)	2332.15	0.39	191.41	168.91	109.98	81.43
	2 (0415-0418)	3814.24	0.78	203.62	162.02	94.40	109.22
	3 (0418-0420)	2459.44	0.58	234.34	198.63	121.85	112.49
May. 94	1 (0518-0520)	2436.70	0.54	128.48	112.13	83.06	45.42
	2 (0523-0524)	1911.37	0.22	112.64	93.81	62.63	50.01
	3 (0527-0530)	3539.06	0.31	151.62	124.29	76.58	75.04
Mean ± S.D.		2947.29 ± 698.99	0.49 ± 0.14	169.63 ± 39.82	141.92 ± 32.69	96.30 ± 21.47	73.33 ± 22.30

\*TSP: Total suspended particulates

었다. 또한, 미세분진의 오염도는 조사기간 평균 90.85  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 4월을 제외하고는 모두 조대분진의 농도에 비해 높았다.

매달 3번에 걸쳐 채취된 분진을 모두 합하여 추출한 EOM은 분진무게의 약 10% 내외로써 미세분진의 경우 조대분진에 비해 2-3배 이상 높았다. EOM을 액성별로 구분한 경우 중성분획의 무게가 산성, 염기성분획에 비해 높았으며(Table 3), 조대·미세입자간의 액성별 분포는 Fig. 1과 같이 미세입자에서 중성, 산성분획이 차지하는 중량비율이 조대입자에서보다 높다는 것을 알 수 있었다.

2. 분진중 PAHs 및 nitroarenes 함량

유기추출물의 중성분획에서 정성 분리된 PAHs 및 nitroarenes 농도는 각각 Table 4, 5와 같다.

PAHs의 경우 연구대상 20종 가운데 dibenzo(a,c)anthracene과 dibenzo(a,h)anthracene은 크로마토그래피상 분리할 수 없었는데 이 두 물질 모두 모든 시료에서 검출되지 않았으므로 표에서 제외하였다.

미세입자에서는 조대입자에서보다 대부분의 PAHs 농도가 높았으며 조대입자의 농도는 모든 달에서 비슷한 오염도를 보였으나 미세입자는 총 PAHs의 농도가 12월에서 5월달로 갈수록 농도가 적어짐을 알 수 있다.

Nitroarenes은 모든 시료에서 1-nitroacenaphthylene, 5-nitroacenaphthene, 9-nitroanthracene, 2,7-dinitro-9-fluorenone, 2,

7-dinitrofluoren이 검출되지 않았으며, 검출된 nitroarenes류도 대부분이 시료에서 검출되지 않거나 미량 검출되었다.

3. 돌연변이원성

미세입자의 EOM과 액성별 분획(acidic, basic, neutral frac-

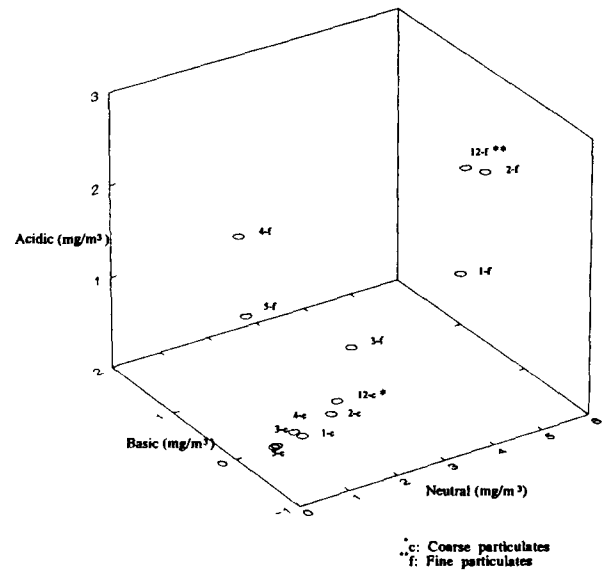


Fig. 1. Three dimension distribution of subfractions of extractable organic matter in airborne particulates.

Table 3. The concentration of extractable organic matter in airborne particulates.

Month/Year	Item	*Air particulates ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Organic matter ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	% Organic fraction	Neutral fraction (mg)	Acidic fraction (mg)	Basic fraction (mg)
Dec. 93	C	82.21	2.32	2.82	14.34	0.15	1.41
	F	104.34	7.97	7.64	39.50	5.84	0.54
Jan. 94	C	55.34	1.75	3.16	8.02	0.78	0.02
	F	91.79	6.70	7.30	33.54	2.97	0.43
Feb. 94	C	75.78	2.31	3.05	12.67	1.48	0.42
	F	114.88	9.19	8.00	32.28	5.30	0.11
Mar. 94	C	68.77	0.89	1.29	6.47	0.12	0.01
	F	84.00	5.17	6.15	27.83	2.52	0.08
Apr. 94	C	101.05	1.26	1.25	8.76	0.15	0.16
	F	108.74	4.96	4.56	19.12	2.11	0.26
May. 95	C	56.82	0.81	1.43	4.51	0.06	0.00
	F	74.09	2.76	3.73	12.79	0.84	0.88
Mean $\pm$ S.D.		84.82 $\pm$ 19.73	3.84 $\pm$ 2.89	4.20 $\pm$ 2.51	18.32 $\pm$ 11.96	1.86 $\pm$ 2.00	0.36 $\pm$ 0.42

C: Coarse particulates/ F: Fine particulates

\*Air particulates: monthly mean (n=3)

**Table 4.** Polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) contents in extractable organic matter of airborne particulates.

PAHs	unit: ng/m <sup>3</sup>													
	Month/Year		Dec. 93		Jan. 94		Feb. 94		Mar. 94		Apr. 94		May. 94	
	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F
Acenaphthylene	2.11	9.15	1.91	4.62	2.73	3.65	1.89	3.24	N.D.	2.40	1.13	N.D.		
Acenaphthene	1.99	0.76	0.71	0.99	0.88	0.61	0.59	0.86	N.D.	1.18	N.D.	0.68		
Fluorene	1.06	1.92	0.61	0.86	0.87	0.75	0.62	0.61	0.50	0.78	0.59	0.68		
Phenanthrene	0.87	3.22	0.56	1.92	0.84	1.46	0.72	1.04	0.51	0.94	0.45	0.57		
Anthracene	2.38	0.48	1.47	0.32	2.38	2.36	1.23	0.30	0.82	1.03	0.85	1.01		
9-Methylanthracene	0.78	2.14	0.77	1.96	0.93	1.69	0.72	0.79	0.67	0.79	0.74	1.10		
Fluoranthene	1.72	9.76	1.40	8.14	1.60	6.43	0.48	1.97	0.49	0.93	N.D.	0.70		
Pyrene	1.56	10.23	1.18	8.59	1.48	6.83	0.45	2.63	2.74	0.76	2.52	0.70		
Benzo(b)fluorene	1.43	9.32	1.06	8.54	0.73	6.69	0.96	4.14	0.86	0.51	0.71	0.44		
Benzo(a)anthracene	2.12	19.12	1.33	6.49	1.52	11.48	1.36	9.18	1.20	3.05	0.45	1.13		
Chrysene	0.76	13.63	0.81	13.30	0.87	12.64	0.20	2.75	0.46	2.16	N.D.	1.63		
Benzo(b)fluoranthene	0.72	4.06	0.61	8.13	0.74	9.89	0.91	0.64	0.66	0.60	N.D.	1.04		
Benzo(k)fluoranthene	0.75	1.44	0.57	3.88	0.76	4.01	3.81	0.82	0.97	0.74	N.D.	0.68		
Benzo(e)pyrene	2.04	4.36	4.27	7.00	7.53	6.88	3.50	1.42	4.70	1.69	4.33	1.50		
Benzo(a)pyrene	1.31	4.48	0.73	6.43	1.24	3.82	0.93	1.15	N.D.	2.21	N.D.	1.63		
Perylene	N.D.	2.18	N.D.	5.25	N.D.	3.65	0.96	0.91	N.D.	1.94	N.D.	1.33		
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	3.43	3.53	3.75	2.85	4.65	2.92	3.35	4.85	3.77	5.55	4.13	1.88		
Benzo(g, h, i)perylene	1.68	1.94	N.D.	1.68	1.92	1.71	N.D.	1.45	1.80	1.62	N.D.	2.24		
Total	26.71	101.72	21.74	90.95	31.67	86.47	22.68	38.75	20.15	28.88	15.90	18.94		

C: Coarse particulates/ F: Fine particulates

N.D.: Not Detected

**Table 5.** Nitroarenes contents in extractable organic matter of airborne particulates.

Nitroarenes	unit: ng/m <sup>3</sup>													
	Month/Year		Dec. 93		Jan. 94		Feb. 94		Mar. 94		Apr. 94		May. 94	
	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F
2-Nitronaphthalene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.12	0.12	
3-Nitro-9-fluorenone	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.05	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
2-Nitrofluorene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.29	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
1-Nitropyrene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.09	0.37	N.D.	0.17	N.D.	0.17	N.D.	N.D.	N.D.	
Total	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.09	0.71	N.D.	0.93	N.D.	0.17	0.12	0.12		

C: Coarse particulates/ F: Fine particulates

N.D.: Not Detected

tion)의 돌연변이도 결과를 Table 6, 7에 나타내었다. 각 시료들의 용량은 직선적인 용량-반응결과에 의해 plate당 100  $\mu$ L를 취했을때 150  $\mu$ g의 농도가 되도록 동일하게 맞추어 실험한 것이며 각 시험물질당 독립적으로 duplicate로 실험하여 평균값을 나타내었다. 돌연변이도 결과는 음성대조물질인 DMSO에 의한 자연 돌연변이수(spontaneous revertant)를 제외한 net revertant로써 표현하였다.

먼저 대조물질의 돌연변이도를 살펴보면 direct mutagen인 2-nitrofluorene(2-NF)은 TA 98의 경우 -S9에서, indirect mu-

tagen인 benzo(a)pyren(BaP)은 +S9에서 높은 반응을 보였다. TA 98NR은 nitro-reductase가 불충분한 균주로서 -S9시에 2-nitrofluorene에 대해 반응력이 떨어지는 것을 확인하였다.

전체적으로 각 유기추출물들의 돌연변이도는 대사활성화 물질을 첨가하였을때(+S9) 높은 돌연변이도를 보였으며 자연 돌연이수에 비해 높은 돌연변이수를 나타내었다. 돌연변이원성 실험에 가장 일반적으로 사용되는 TA 98균주에 대한 EOM의 월별 돌연변이도의 차이를 살펴보면 1월에 가장 높고 5월에 가장 낮았으며 PAHs 분획의 경우 5월에 비특이적으로

**Table 6.** Mutagenicity of organic fractions extracted from fine particulates by *Salmonella typhimurium* TA98.

		(Net revertants/150 µg/plate)					
Items	Month/year	Dec. 93	Jan. 94	Feb. 94	Mar. 94	Apr. 94	May. 94
EOM	+S9	705	853	513	407	590	135
	-S9	401	45	275	173	423	150
PAHs	+S9	137	290	279	36	98	840
	-S9	134	106	90	N.D.	52	69
Nitroarenes	+S9	757	-	437	>1500	865	141
	-S9	150	-	260	264	178	73

N.D.: Not Detected, - : Not tested

DMSO: +S9; 51 rev/plate, -S9; 49 rev/plate

B(a)P (2µg): +S9; 154 rev/plate, -S9; 72 rev/plate

2-NF (1ng): +S9; 573 rev/plate, -S9; 690 rev/plate

**Table 7.** Mutagenicity of organic fractions extracted from fine particulates by *Salmonella typhimurium* TA98NR.

		(Net revertants/150 µg/plate)					
Items	Month/year	Dec. 93	Jan. 94	Feb. 94	Mar. 94	Apr. 94	May. 94
EOM	+S9	434	291	266	255	819	305
	-S9	277	N.D.	23	N.D.	20	N.D.
PAHs	+S9	210	350	186	21	45	50
	-S9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Nitro-arenes	+S9	420	-	563	771	>1500	210
	-S9	123	-	112	81	66	N.D.

N.D.: Not Detected, - : Not tested

DMSO: +S9; 29 rev/plate, -S9; 27 rev/plate

B(a)P(2 µg): +S9; 93 rev/plate, -S9; 37 rev/plate

2-NF (1 µg): +S9; 2318 rev/plate, -S9; 80 rev/plate

높았다. 이는 실제의 돌연변이도인지 실험오류에 의한 것인지는 알 수 없었다. Nitroarenes 분획의 경우 5월을 제외하고 대부분의 시료에서 PAHs 분획에 비해 높은 돌연변이도를 보였다.

TA 98NR을 이용한 돌연변이 실험결과로는 -S9시 특이하게 감소하였으며 이러한 현상은 EOM에서 뿐만 아니라 모든 시료에서도 동일한 경향을 나타내었다.

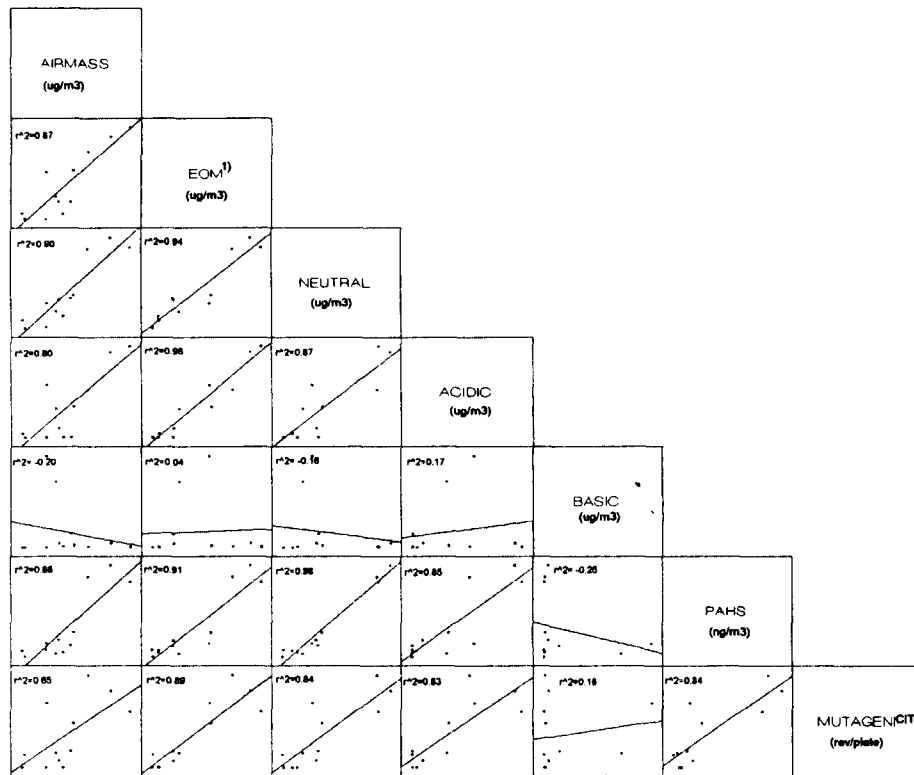
#### 4. 분진 추출물과 PAHs의 상관관계

총부유분진과 각 세부유기추출물들, 총 PAHs의 농도, EOM의 돌연변이원성간의 상관관계를 살펴보면 Fig. 2와 같다. 다른요인들과 액성별 조성가운데 중성, 산성분획간에는 상관계수( $r^2$ ) 0.8-0.9이상의 높은 상관관계를 보였으나 염기성 분획은 모든 분획들과는 상관관계가 존재하지 않았다. 또한, EOM의 돌연변이도(+S9시)는 다른 요인과 상관관계가 높은 것으로 조사되었으며 그림에는 나타내지 않았으나 PAHs, ni-

troarenes분획과는 유의한 상관관계가 존재하지 않았다.

## 고 찰

이 연구에서 분진을 채취한 지역은 상가, 학교 및 주택지로 구성된 인구 밀집 지역이면서도 서울의 중심지와 인근 외각지역으로 이어지는 도로가 관통하는 지역으로 매일 약 20만대 이상의 차량이 통행하는 곳이다. 따라서 이 지역 대기 분진의 주된 오염원은 차량 배출물이라고 볼 수 있는데 디젤 또는 가솔린 엔진의 연소배출물에는 PAHs를 비롯한 POM들이 다량 함유되어 있으며 이러한 성분들은 대부분이 genotoxic한 물질이다(Möller and Löfroth, 1982; Krishina, 1986). 디젤 엔진은 가솔린 엔진보다 30~100배 많은 PAHs를 방출하는데 현재 1993년도 한해의 우리나라의 전체 자동차 오염물질 배출량이 약 184만톤으로 전체 대기오염물질 배출량의 37.8%를 점유하고 있으며 더우기 디젤 차량의 의존도가 61%를 차지하고 있는 실정이다.



1) EOM: extractable organic matters

Fig. 2. Correlation between air mass, organic fractions, total PAHs concentration and mutagenicity.

6개월간 조사된 분진의 평균농도는 연평균 환경기준을 초과하고 있었는데 이 연구의 시료채취 시기가 봄, 겨울로 우리나라의 겨울철의 난방, 봄철의 황사 현상등으로 인해 보통 이 시기의 분진농도가 높기 때문에 1년을 대표할 수는 없을 것 같다. 그러나, 폐 기관지 깊숙히 스며들 수 있는 호흡성 분진 (inhalable particulates) 및 미세입자 (fine particulates)의 농도가 매우 높아 이에 대한 규제와 관리가 시급히 이루어져야 할 것이다.

미세입자에는 조대입자보다 PAHs가 더 많이 함유되어 있으며 독성도 강한 것으로 알려져 있는데 (Chang et al., 1988) 이 연구에서도 같은 결과를 보였다. PAHs 정량 결과 벤젠고리가 4개이하인 독성이 비교적 약한 fluoranthene, pyrene, benzo (a)anthracene, chrysene 등이 매우 높은 농도로 검출되었으며 대표적인 발암물질인 benzo(a)pyrene은 미세입자에서 평균 3.29ng/m<sup>3</sup>으로 조사되어 이전의 연구 (Park and Chung, 1992)에 비해 다소 높은 수준이었다. 이는 마찬가지로 시기적인 영향인 것으로 생각된다.

한편, Pitts et al (1979)에 의해 처음으로 생성과정이 밝혀진 nitroarenes는 대기중 PAHs가 NO<sub>x</sub>와 반응하여 생성되며 현재 까지 약 200여종이 동정되었다. 이들 물질의 독성에 대해서는

Rozenkranz and Mermerstein (1983)에 의해 종합적으로 검토되었는데 이 보고에 따르면 1-nitropyrene과 2-nitrofluorene이 가장 대표적인 물질이며 dinitropyrene류가 가장 독성이 높은 것으로 밝혀졌다. 이 연구에서는 nitroarenes류의 오염도가 매우 낮은 것으로 조사되었지만 nitroarenes분획이 돌연변이원성 평가에서 높은 돌연변이도를 보이는 것을 감안하여 불 때에 분리 동정되지 않은 이성체가 많은 것으로 판단된다. 분진중의 nitroarenes는 PAHs보다도 독성이 더 강하고 시료 채취 과정중에서도 변환되기 때문에 추후 연구가 요구된다.

PAHs는 분진의 중성성분에 주로 포함되어 있는데 분진 및 중성유기추출물의 농도와 총 PAHs농도간에 상관관계가 매우 높은 것으로 조사되어 PAHs를 정량하기 위한 유의한 실험방법이었다고 판단된다. 그러나 분진의 유기추출물은 POM을 포함한 많은 발암성 성분이 혼합되어 존재하는 complex mixture로써 최근에는 PAHs 뿐만이 아닌 이런 복합성분에 의한 인체 위해를 평가하고자 하는 노력이 진행되고 있다 (IARC, 1990; Lewtas et al., 1993). 이 연구에서는 Salmonella를 이용한 돌연변이원성 실험을 통하여 complex mixture의 독성을 확인하여 보았으며 앞으로 분진에 의한 정량적인 의미로의 위해

도(risk)를 산출하는것이 과제가 될 것이다.

## 요 약

서울의 일부 교통혼잡지역에서 1993년 12월부터 1994년 5월까지 대기중 부유분진을 채취하여 오염도를 조사하고 다환방향족 탄화수소류(Polycyclic aromatic hydrocarbons)와 그 질소화합물류(nitroarenes)로 대표되는 발암성 유기추출물질의 오염도를 조사하였다. 또한, 발암성평가의 1차적 검증방법인 Salmonella를 이용한 Ames의 방법으로 분진의 돌연변이원성을 조사하였다. 그 결과 분진의 오염도는 우리나라의 대기 환경기준을 크게 넘어서는 수준이었으며 특히 미세입자의 오염도가 높았다. 미세입자에는 benzo(a)pyrene을 비롯한 18종의 PAHs가 높은 농도로 함유되어 있었으며 돌연변이도도 자연 돌연변이수보다 몇배 높은 수치를 보였다. 연구대상으로 삼은 9종의 nitroarenes는 대부분이 검출되지 않았으나 nitroarenes 추출 분획이 돌연변이원성이 높은 것으로 조사되어 이를 분리 동정하는 연구가 더욱 진행되어야 함을 시사하였다. 또한, 분진 및 증성, 산성성분의 유기추출물과 총 PAHs의 오염도간에는  $r^2=0.8$  이상의 높은 상관관계를 보였으며 돌연변이도도와도 상관관계가 높았다. 이번 노출 연구결과를 토대로 하여 대기 분진에 의한 정량적 위해성평가(Quantitative health risk assessment)가 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

- Carnow, B.W. and P. Meier, (1973): Air pollution and pulmonary cancer, *Arch. Environ. Health* **27**: 207-218.
- Chang, J.Y., B.K. Kim, Y. Chung, and S. J. Cho, (1988): Isolation and identification of polynuclear aromatic hydrocarbons in Seoul atmosphere, *J. KAPRA*. **4**(2): 47-56.
- Cho, K.R., M.D. Eom, C.C. Kim, Y.D. Hong, C.K. Kim, and Y.C. Han, (1993): A study on the estimation of emission factors and emission rates for motor vehicles, *J. KAPRA*. **9**(1): 69-77.
- Chung, Y., (1987): Physico-chemical nature and mutagenic activity of ambient dust in Seoul, *Yonsei Medical J.* **28**(1): 52-59.
- Epstein, S.S., K. Fiyi, and S. Asahina, (1979): Carcinogenicity of a composite organic extract of urban particulate atmospheric pollutants following subcutaneous injection in infant mice, *Environ. Res.* **19**: 163-176.
- Hartlong, A., J. Kraft, J. Schuzle, H. Kiess, and K. H. Lies, (1984): The identification of nitrated polycyclic aromatic hydrocarbons in diesel particulate extracts and their potential formation as artifacts during particulate collection, *Chromatographia* **19**: 269-273.
- IARC, (1983): International Agency for Research on Cancer Benzo(a)pyrene, IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risk. Chem. Hum. **32**: 211-224.
- IARC, (1990): International Agency for Research on Cancer Complex mixtures and cancer risk. IARC Scientific publications, **104**.
- Krishina, G., J. Nath, L. Soler, and T. Ong, (1986): Comparative *in vivo* and *in vitro* genotoxicity studies of airborne particle extracts in mice, *Mutat. Res.* **171**: 157-163.
- Leiter, J., M.B. Shimkin, and M.J. Shear, (1942): Production of subcutaneous sarcomas in mice with tars extracted from atmospheric dusts, *J. Natl. Cancer Inst.* **3**: 155-165.
- Lewtas, J., (1993): Complex mixtures of air pollutants: Characterizing the cancer risk of polycyclic organic matter, *Environ. Health Perspect.* **100**: 211-214.
- Maron, D. M. and B. N. Ames, (1983): Revised methods for the Salmonella mutagenicity test, *Mutat. Res.* **113**: 173-215.
- Moriske, H. J. and H. Ruden, (1988): Polar organic components in emission and immission samples from urban suspended particulates and then mutagenicity in the Ames-bioassay, *Chemosphere* **17**(6):1167-1181.
- Möller, M. and J. Alfheim, (1980): Mutagenicity and PAH-analysis of airborne particulate matter, *Atmosph. Environ.* **14**: 83-88.
- Möller, M. and G. Löfroth, (1982): Genotoxic components in polluted air. Mutagens in our environment, 221-234, New York.
- National Academy of Sciences, (1983): Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; Evaluation of sources and effects. National Academy press, Washington D.C.
- Park, S.E. and Y. Chung, (1992): Airborne suspended particulate concentration and cancer risk assessment of polycyclic organic matter in Seoul, *J. KAPRA*. **84**: 247-256.
- Pitts, J.N.Jr., K.A. Canwenberghe, D. Grosjean, J.P. Schmid, D.R. Fitz, W.L. Belser, G.B. Krudson Jr., and P. M. Hunds, (1979): Atmospheric reaction of polycyclic aromatic hydrocarbons; Facile formation of mutagenic nitroderivatives, *Science* **202**: 515-519.
- de Raat, W.K. and F.A. de Meijere, (1988): The mutagenicity of ambient air particulates from local traffic and distant sources during episodes with moderate photochemical air pollution, *Sci. Total. Environ.* **73**: 159-179.
- Rosenkranz, H.S. and R. Mermelstein, (1983): Mutagenicity and genotoxicity of nitroarenes; All nitro-containing chemicals were not created equal, *Mutat. Research* **114**: 217-267.
- Shin, D.C., Y. Chung, Y.H. Moon, and J.H. Roh, (1990): Atmospheric concentration and mutagenicity of organic pollutants of suspended particulate in Seoul, *Korean J. of Preventive Medicine* **23**(1): 43-56.



- Preventive Medicine* 23(1); 43-56.
22. Walker R.D., (1982): Correlation of mutagenic assessment of Houston air particulate extracts in relation to lung cancer mortality rates, *Env. Res.* 28: 308-312.
23. Yahagi, T., M. Nagao, Y. Seino, T. Matsushima, T. Sugumura, and M. Okada, (1977): Mutagenicities of N-nitrosamines of salmonella, *Mutat. Res.* 48: 121-130.