

## 서울시 대기중 유기오염물질의 농도와 돌연변이원성에 대한 연구

연세대학교 의과대학 예방의학교실

신 동 천 · 정 용 · 문 영 한 · 노 재 훈

= Abstract =

### Atmospheric concentration and mutagenicity of organic pollutants of suspended particulate in Seoul

Dong chun Shin, Yong Chung, Young Hahn Moon, Jae hoon Roh

*Department of Preventive Medicine and Public Health  
College of Medicine, Yonsei University*

To evaluate the difference of concentration and mutagenicity of organic pollutants between residential and traffic area of Seoul, air samples were collected in Bulkwang (residential) and Shinchon (traffic) area.

Samples were analyzed to measure the concentration of extractable organic matters (EOM) and their subfractions and mutagenicities were tested using Salmonella typhimurium TA 98. The concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) were also measured by gas-chromatography and compared between two areas.

The results were as follows :

1. While the concentration of total suspended particulate (TSP) in residential area was below the environmental standard in annual average, the concentration in traffic area was above the standard and was up to its maximum  $256 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in November. The difference of TSP concentrations in both areas of each month was statistically significant ( $P < 0.05$ ).

2. The concentration of fine particle in traffic area was significantly higher compare to that in residential area and showed statistically significant monthly difference in both areas ( $P < 0.05$ ). The proportion of concentration of fine particle to TSP was 55–68%.

3. Mean concentrations of EOM in residential and traffic areas were  $4.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and  $5.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectively. The proportion of amount of EOM from fine particle to EOM from TSP was 70–88%.

4. While the percentage of polar neutral organic compounds (POCN) of fine particle in Bulkwang's sample was higher compare to Shinchon's sample, the percentage of aliphatic compounds of fine particle in Shinchon's sample was higher compare to Bulkwang's sample. The percentages of PAH fraction were as low as 6–10% in both areas.

\* 이 연구는 연세의대 교수연구비와 기초학 학술연구비의 보조로 이루어졌음

5. The mutagenic activity of unit concentration of organic matters extracted from fine particle was higher compare to that of coarse particle and was increased when metabolically activated with S9. Mutagenicities with metabolic activation calculated by unit air volume were significantly different between residential and traffic area, 17 revertants / m<sup>3</sup> and 22 revertants / m<sup>3</sup> respectively.

6. The concentrations of benzo(a)pyrene in fine particle of traffic and residential areas were 3.10 ng / m<sup>3</sup> and 2.02 ng / m<sup>3</sup> respectively. Sixteen PAHs were higher in samples of traffic area compare to residential area and also concentrations of PAHs in fine particle were higher compare to coarse particle.

**Key Word:** Concentration, Mutagenicity, Organic Pollutants, Air Particles.

## I. 서 론

도시의 인구 집중과 자동차의 증가는 대기오염을 야기시키고 있으며 대기오염 물질중 특히 발암물질에 의한 인체의 건강피해는 크게 우려되고 있다.

대기중에는 많은 돌연변이원성물질과 발암물질이 발견되었으며(Stern, 1977; Broddin 등, 1980; US DHHS, 1985) 지금까지의 많은 역학적 연구에서도 대기오염에 의한 폐암발생의 가능성을 충분히 알 수 있다. Buell(1967)은 Cohort 연구를 통하여 도시-농촌의 폐암사망률의 비가 흡연군에서 1.1-1.6이었고 비흡연군에서는 3.3이라고 보고하였다. 또한 대기오염과 폐암에 관한 연구를 종합해 보면 지난 30년간 폐암의 발생이 꾸준히 증가하였는데 이것은 폐암의 가장 큰 원인인 흡연만으로는 완전히 설명되지 않으며 도시 거주자에서 농촌 거주자에 비해 약 2배의 높은 폐암 발생율을 보인다고 하였다(Carnow와 Meier, 1973).

대기중 발암물질은 주로 부유분진(suspended particulate)에 존재하므로 최근 대기 오염 물질중 부유분진에 의한 인체피해가 관심의 대상이 되고 있다.

대기부유분진의 유기물질과 그 분획에 존재하는 화학물질은 이미 많이 밝혀져 유기물의 중성분획에 있는 다환방향족 탄화수소류(polycyclic aromatic hydrocarbons, 이하 PAHs)와 그 니트로 화합물이 발암성이 큰 것으로 알려져 있으며 산성 분획과 염기성 분획에도 돌연변이원성 물질이나 발암성 물질이 포함되어 있다(Stern 등, 1984). 그러나 부유분진중에 존재하는 물질을 개별적으로 유해도를 평가하는 것은 그 수가 너무 많아 대단히 어려울 뿐 아니라 물질간에 일어날 수 있는 상승작용이나 길항

작용을 측정하기가 곤란하다는 결점을 가지고 있다. 따라서 부유분진의 전체적인 유해성을 평가하는 것이 더 현실적이며 인체에 가능한 유해성을 타당성있게 평가할 수 있는 방법이 된다(Alink, 1983). 대기중 분진 시료는 양이 매우 적어서 실험 동물에 의한 발암성 평가가 어렵고 대신 Salmonella typhimurium strain을 이용하여 분진중에서 유기용매로 추출되는 물질의 돌연변이원성 검사가 많이 시행되어 왔으며(Dehnen 등, 1977; Tokiwa 등, 1977; Teranishi 등, 1978) 이러한 자료를 이용하여 실험결과와 시기별, 지역별 비교가 가능하다.

도시 대기오염의 큰 원인중에 하나인 자동차배기가스에는 PAHs를 성분으로 하는 탄소입자(carbonaceous particulates)가 다량 포함되어 있을 뿐 아니라 그 입자의 직경이 0.1 μm에서 0.3 μm로서 폐포에 도달할 수 있는 크기이다(Schenker, 1980). 디젤엔진은 같은 동력의 가솔린엔진보다 30내지 100배의 분진을 배출하여 분진의 입경도 더 작고 분진내에는 돌연변이원성물질이나 발암성물질이 더 많아서 벤즈피렌(benzo(a)pyrenē)의 경우 디젤엔진이 가솔린엔진보다 10배나 많은 양을 배출한다(Schenker, 1980; McClellan 등, 1985). 또한 디젤배기가스에는 1000종이 넘는 것으로 추정되는 수많은 화학물질이 존재하며 이중 100여가지가 이미 밝혀졌고 이 물질들은 주로 추출된 유기물(extractable organic matter, 이하 EOM)에 포함되어 있어서 디젤분진의 발암성은 일차적으로 유기 추출 물질과 관련이 있다고 볼 수 있다(McClellan 등, 1985). 여러종류의 Salmonella 균주를 이용한 디젤배기가스에 대한 돌연변이원성 실험에서 frame shift mutation이 일어나며 direct acting mutagenicity를 관찰할 수 있었다(Huisingh, 1978).

지금까지의 대기중 돌연변이원성에 대한 국내외 연구

는 도시지역, 산업공단지역 또는 도시와 농촌을 비교한 것이었으며(Cha, 1983; Ohsawa, 1983; Chung, 1987) 도시지역에서 주거지역, 교통혼잡지역을 비교하여 그 요 인별로 분석된 연구는 없었다. 또한 분진의 큰 입자와 작은입자를 구분하여 연구된 경우도 적다. 그러므로 이 연구의 목적은 서울시 주거지역과 교통혼잡지역의 분진 오염도와 분진중 유기물질의 농도 및 돌연변이원성의 차이를 분석하여 자동차오염에 의하여 추가로 야기되는 돌연변이 위해도(mutagenic risk)를 파악하기 위한 것이며 연구내용은 다음과 같다.

첫째, 서울시 두지역(주거지역과 교통혼잡지역)의 분진중 작은입자와 큰입자의 농도를 측정하여 비교하고,

둘째, 두지역의 분진에서 추출되는 유기물질과 유기물질분획의 농도 및 돌연변이원성을 작은입자와 큰입자로 구분하여 측정, 비교하여 대기중 부유분진으로 인한 건강피해를 평가하는 것이다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 시료채취 및 분진농도 측정

서울시에서 주거지역(불광동)과 교통혼잡지역(신촌)을 시료채취지점으로 정하고 1987년 9월부터 1988년 7월까지 격월로 시료를 채취하였다.

High volume cascade impactor(Sierra-352, USA)를 사용하여 월 7일간 시료를 포집하여 실험하였고 7일동안에는 매일 24시간 채취기를 가동하여 시료를 채취하였다. 채취기의 유량은 분당  $0.57\text{ m}^3 \sim 1.13\text{ m}^3$ 로 조절하였고 여지로는 유리섬유여지를 사용하였으며 입경별로 6개와 1개의 back-up 필터를 채취기내에 장치하여 사용하였다.

시료채취기에 7단계로 구분되어 있는 분진의 입도를 입경이  $2.1\ \mu\text{m}$  이상인 큰입자(coarse particle)와  $2.1\ \mu\text{m}$  미만인 작은입자(fine particle)로 나누어 각각의 농도를 측정하고 입경분포를 구하였다(Stahlhofen 등, 1979).

### 2. 실험방법

채취된 분진시료를 이용하여 유기물질을 추출하여 그 농도를 측정된 후 돌연변이원성검사를 시행하고 다시 유기물질을 분획화(fractionation)하여 각 분획에 대하여 동일한 측정 및 검사를 하였다. 이러한 과정의 전체틀은

Fig. 1과 같다.

#### 가. 유기물의 추출

부유분진이 포집된 여지를 잘게 분할하여 diethyl ether (Junsei Chemical Co., Japan)와 cyclohexane(Yakuri Chemicals Co., Japan) 혼합용매(8:2, V/V)를 가한 후 초음파 추출과정을 20분씩 2회 거쳐 유기물을 추출하였다. 또한 Teranish 등(1978)이 사용한 방법을 이용하여 분획화하였다(Fig. 2).

#### 나. 중성분획의 세부분획화

중성분획을 박층크로마토그래피(thin layer chromatography, 이하 TLC)를 이용하여 3개의 분획으로 나누었다. 두께 0.5 mm의 silica gel 60(Merck, Germany)을 고정상으로 사용하였고 전계용매로 benzene, toluene, cyclohexane, n-hexane을 56:4:32:8의 비율로 혼합하여 사용하였다(Moriske 등, 1982).

#### 다. 다환 방향족 탄화수소류의 농도측정

다환방향족 탄화수소류의 미량 분석에는 길이 25m, 내경 0.2 mm의 CBP-5 capillary column(Shimadzu Co., Japan)이 장치된 gas chromatograph(Shimadzu GC-7AG)를 이용하였다.

Gas chromatography의 분석조건은 다음과 같다.

- Column : CBP-5 Capillary
- Detector : FID
- $\text{H}_2$  :  $0.5\text{ kg/cm}^3$ , Air :  $0.5\text{ kg/cm}^3$
- Range : 10, Attenuation : 1
- Carrier gas :  $\text{N}_2$  50 ml/min.
- Make-up gas :  $\text{N}_2$  100 ml/min.
- Temperature programing
  - initial temperature :  $140^\circ\text{C}$
  - $4^\circ\text{C/min}$ .
  - final temperature :  $300^\circ\text{C}$
- Injector temperature :  $330^\circ\text{C}$
- Detector temperature :  $330^\circ\text{C}$
- Chart speed : 5 mm/min.

#### 라. 돌연변이원성 검사

돌연변이원성실험에 사용한 균주는 Salmonella typhimurium TA 98이었다.

시험용액 0.1 ml, 균주현탁액 0.1 ml, S9 mixture(대사활성을 위하여 첨가) 또는 완충용액 0.5 ml를  $45^\circ\text{C}$ 로 유

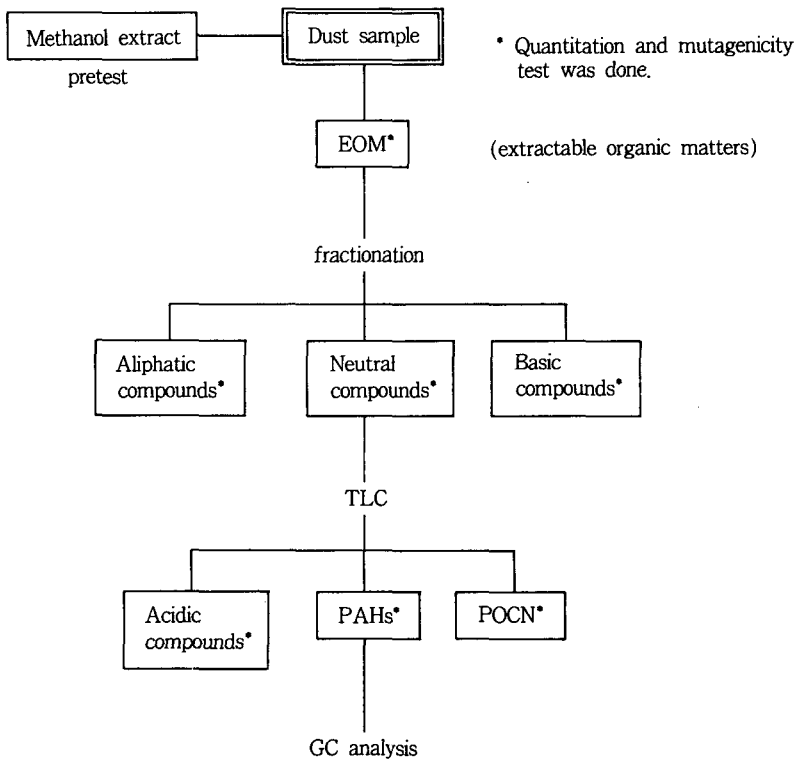


Fig. 1. Overall scheme of sample analysis and mutagenicity test

지시킨 top agar에 넣고 혼합한 후 minimal glucose agar plate에 부어 고루 퍼지게 한 다음 37°C에서 48시간 배양하여 revertant colony수를 관찰하였다. 음성대조군으로는 시험용액 대신에 시료가 없는 dimethylsulfoxide(spectrophotometric grade, Merck, Germany, 이하 DMSO)를 넣었고 양성대조군으로는 시험용액 대신 benzo(a)pyrene 2 µg / plate를 가하여 시험하였다.

S9의 조제는 polychlorinated biphenyl 500 mg / kg 용량을 복강내 주사한 흰쥐에서 적출된 간조직을 균질화(homogenization)하여 저온 원심분리기에서 4°C로 유지하면서 9000G에서 10분간 원심분리후 상등액을 취해 항저온 microtube에 1~2 ml씩 분주하였다.

S9과 S9 cofactor를 혼합하여 plate당 S9 혼합액(mixture) 0.5 ml당 S9이 50 µ, MgCl<sub>2</sub> 8 µmol, KCl 33 µmol, glucose-6-phosphate 5 µmol, NADPH 4 µmol, NADP 4 µmol, phosphate buffer 100 µmol이 되도록 조제하여 사용하였다.

마. 통계분석

총부유분진 및 분진의 작은입자의 농도가 지역별, 월별 차이가 있는지를 보기위하여 two-way ANOVA(analysis of variance)를 하였고 주거지역과 교통혼잡지역의 분진, EOM, 분획의 양을 비교하고 그들의 돌연변이원성을 비교하기 위하여 비모수 검정방법인 Wilcoxon Matched-pairs Signed-ranks test를 이용하였다.

## II. 연구 결과

### 1. 대기중 부유분진의 농도

조사기간인 1987년 9월부터 1988년 7월까지의 주거지역인 불광동과 교통혼잡지역인 신촌에서의 대기중 부유분진의 농도는 Table 1과 2와 같다. 총부유분진(total suspended particulate, 이하 TSP)의 우리나라 연간 기준치인 150 µg / m<sup>3</sup>와 비교할 때 주거지역은 전반적으로 기준치 이하이지만 교통혼잡지역은 1년간의 평균치가 기준치보다 높

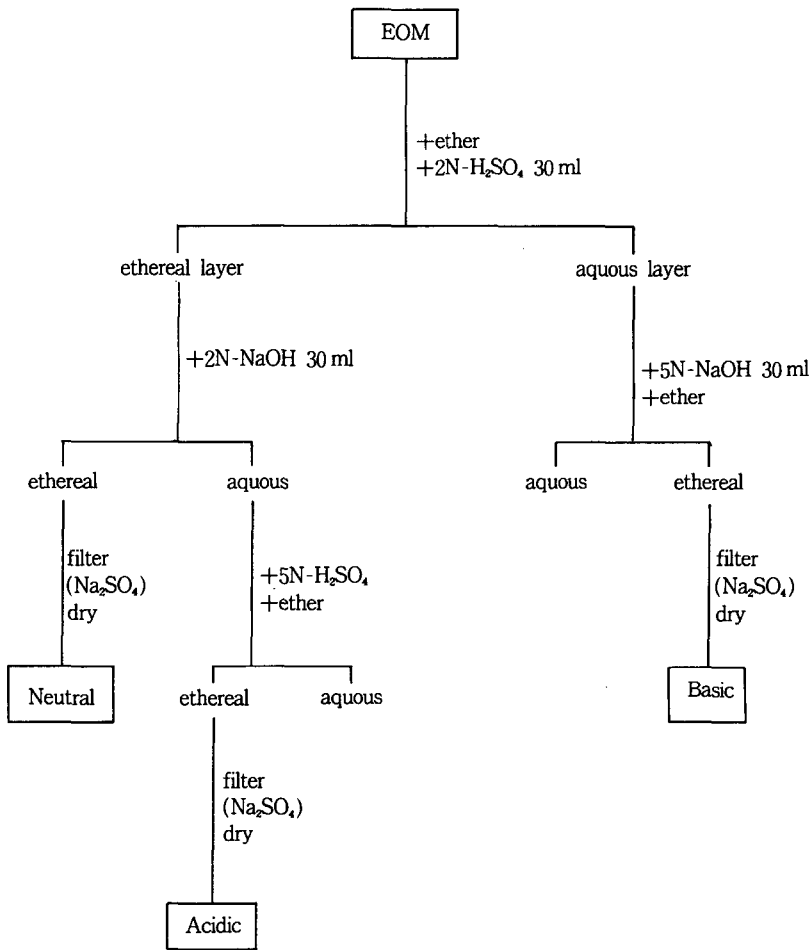


Fig. 2. Fractionation process of the extractable organic matter.

았으며, 신촌지역의 11월, 1월, 3월의 오염도는 연간기준치보다 높았다. 신촌지역은 11월 총부유분진의 농도가  $256 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고 7월이  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮았으며 통계분석 결과 지역 및 월별총부유분진의 농도가 유의한 차이를 보였다( $P < 0.05$ ).

부유분진중 작은입자의 농도는 주거지역과 교통혼잡지역 각각 평균치로  $73.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $98.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며 두 지역 모두 11월, 1월, 3월의 오염도가 높았고 지역 및 월별 농도는 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $P < 0.05$ ). 총부유분진에 대한 작은입자의 농도비율은 두지역의 차이가 없었으며 55~68%에 속하였다.

## 2. EOM의 농도 및 분획의 비율

부유분진시료중의 유기물질을 ether로 추출하여 농축한 EOM의 농도를 대기단위체적당 농도로 환산하면 Table 3과 같다. 신촌지역이 불광지역보다 대기중 EOM의 농도가 약 1.2배로 약간 높았으며 조사기간중 평균치로 각각  $5.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와  $4.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 월별, 지역별로는 신촌지역에서 11월, 1월, 3월이 다른 기간에 비하여 EOM의 농도가 높았고 불광지역도 9월, 11월, 1월, 3월의 농도가 높았다. 11월에는 신촌지역의 EOM농도가  $10.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높아 불광지역의 1.8배 이었다(Fig. 3). EOM은 주로 분진의 작은입자에 존재하였으며 7월 이외에는 작은입자와 큰입자를 합친 전체의 70~88%에 해당되었다.

**Table 1.** Comparison of the average atmospheric concentrations of suspended particulates between residential and traffic areas of Seoul.

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

Period / Area	Residential (Bulkwang)		Traffic (Shinchon)	
	1987 Sep.	130.4 ± 93.8 ( 84.6–158.1)	119.0 ± 9.5 (112.2–125.8)	
Nov.	123.2 ± 35.3 ( 77.9–159.7)	255.8 ± 86.1 (175.0–386.5)		
1988 Jan.	150.6 ± 22.9 (123.3–179.1)	161.6 ± 61.7 ( 77.3–215.5)		
Mar.	146.9 ± 47.5 ( 96.2–190.4)	183.0 ± 60.7 (128.8–269.6)		
May	122.8 ± 40.3 ( 95.6–169.1)	122.2 ± 66.0 ( 65.5–194.7)		
Jul.	19.4 ± 8.2 ( 9.9– 24.8)	72.4 ± 20.3 ( 49.3– 87.4)		
X ± SD	117.7 ± 52.7	165.7 ± 83.5		

전체 EOM 중에서 각 분획이 차지하는 비율에는 두 지역의 큰 차이가 없었으며 중성분획의 비율이 가장 커서 두지역을 합쳐 80~86%에 해당되었다. 산성분획은 큰입자에서의 비율이 약간 높아 불광지역은 큰입자와 작은입자 각각 평균 16.7%, 12.6%이었고 신촌지역에서는 17.7%와 13.1%이었다. 염기성분획은 그 비율이 매우 작아서 전체로 보아 1~4%이었다(Table 4, 5).

중성분획의 세부분획이 차지하는 비율은 aliphatic com-

pounds 와 POCN분획에서 두지역간에 차이를 보였다. 신촌지역에서는 aliphatic compounds의 비율이 작은입자에서 평균 36.3%, 큰입자에서 28.5%이었고 불광지역에서는 각각 23.5%와 23.2%이었다. 반면 POCN분획의 비율은 불광지역이 높았다. 두지역 모두 PAH분획이 차지하는 비율이 가장 적어 6~10%에 불과하였다(Table 6, 7).

### 3. EOM과 각 분획의 단위 농도당 돌연변이 원성

Table 8과 9는 EOM과 EOM의 분획 그리고 중성세 부분획(subneutral fraction)에 대하여 S9혼합액을 첨가한 경우와 첨가하지 않은 경우(indirect and direct acting mutagenicity)에 Salmonella typhimurium에 대한 돌연변이 균락수를 두지역을 비교하여 나타낸 것이다.

단위 plate당 250  $\mu\text{g}$ 의 시료로 모두 실험하였을 때 전체적으로 보아 EOM의 돌연변이원성이 가장 높았고 aliphatic 분획이 가장 낮았다. 또한 작은입자에 포함된 유기물질의 돌연변이원성이 큰입자에 있는 유기물질의 돌연변이원성에 비하여 전반적으로 높았고 indirect acting mutagenicity가 direct acting mutagenicity에 비하여 높음을 알 수 있었다.

작은입자의 indirect acting mutagenicity를 보면 EOM의 돌연변이활성도는 두지역간에 큰 차이를 보이지 않았지만 PAH분획의 돌연변이 활성도는 신촌지역에서 채취한 시료에서 더 높았으며 산성분획과 염기성분획은 불광지역의 시료에서 더 높았다(Table 8). 작은입자에 포함된 direct acting mutagenicity는 EOM에서 불광과 신촌

**Table 2.** Comparison of the average atmospheric concentrations of fine particles and their percentages to the total suspended particulate in residential and traffic areas

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

Period / Area	Fine particle concentrations		Percentage of fine particle to TSP	
	Residential	Traffic	Residential	Traffic
1987 Sep.	72.2 ± 17.3	67.9 ± 5.9	55.4	57.1
Nov.	76.1 ± 14.3	149.5 ± 44.6	61.8	58.4
1988 Jan.	99.7 ± 25.4	99.3 ± 33.7	66.2	61.4
Mar.	88.3 ± 23.3	106.9 ± 26.0	60.1	58.4
May	83.4 ± 39.4	72.0 ± 29.6	67.9	58.9
Jul.	12.5 ± 5.5	47.5 ± 12.2	64.4	65.6
X ± SD	73.6 ± 34.2	98.4 ± 45.0	62.6 ± 4.5	60.0 ± 3.1

**Table 3.** Atmospheric concentrations of extractable organic matters in suspended particulates collected in both areas

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

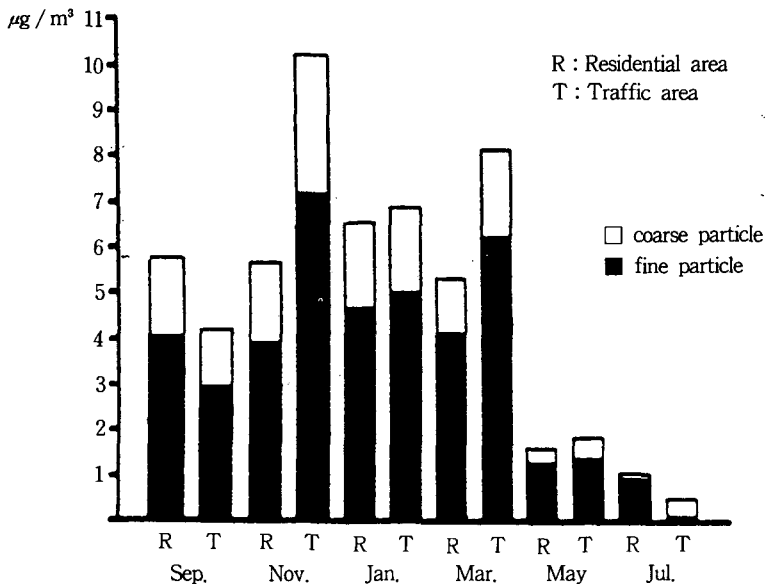
Area	Particle size	Sep	Nov.	Jan.	Mar.	May	Jul.	X $\pm$ SD
Residential (Bulkwang)	FP	4.04( 70.0)	3.93( 69.4)	4.67( 71.2)	4.11( 77.1)	1.27( 77.9)	0.93( 87.7)	3.2 $\pm$ 1.6( 75.0)
	CP	1.73( 30.0)	1.73( 30.6)	1.89( 28.8)	1.22( 22.9)	0.36( 22.1)	0.13( 12.3)	1.2 $\pm$ 0.7( 25.0)
	TSP	5.77(100.0)	5.66(100.0)	6.56(100.0)	5.33(100.0)	1.63(100.0)	1.06(100.0)	4.3 $\pm$ 2.3(100.0)
Traffic (Shinchon)	FP	2.97( 70.9)	7.18( 70.0)	5.01( 72.5)	6.23( 76.3)	1.39( 75.5)	0.39( 75.0)	3.3 $\pm$ 2.8( 73.4)
	CP	1.22( 29.1)	3.07( 30.0)	1.90( 27.5)	1.93( 23.7)	0.45( 24.5)	0.13( 25.0)	1.5 $\pm$ 1.0( 26.6)
	TSP	4.19(100.0)	10.25(100.0)	6.91(100.0)	8.16(100.2)	1.84(100.0)	0.52(100.0)	5.3 $\pm$ 3.7(100.0)

FP : Fine particle CP : Coarse particle TSP : Total Suspended particulate

**Table 4.** Percentages of organic fractions to total extractable organic matter sampled in residential area of Seoul (Bulkwang)

Particle size	Fraction	1987		1988		May	Jul.	X $\pm$ SD
		Sep.	Nov.	Jan.	Mar.			
FP	Acidic	13.9	13.4	12.7	11.1	12.6	12.0	12.6 $\pm$ 0.9
	Basic	1.0	0.8	0.9	3.2	2.3	2.1	1.7 $\pm$ 0.9
	Neutral	85.1	85.8	86.4	85.7	85.1	85.9	85.7 $\pm$ 0.5
CP	Acidic	16.8	24.9	14.8	10.4	.	.	16.7 $\pm$ 6.0
	Basic	0.1	1.0	1.2	2.3	.	.	1.2 $\pm$ 0.9
	Neutral	83.1	74.1	84.0	87.3	.	.	82.1 $\pm$ 5.6

FP : Fine particle CP : Coarse particle



**Fig. 3.** Atmospheric concentration of extractable organic matters in suspended particulates collected in residential and traffic areas.

**Table 5.** Percentages of organic fractions to total extractable organic matter sampled in traffic area of Seoul (Shinchon)

Particle size	Fraction	1987		1988				X±SD
		Sep.	Nov.	Jan.	Mar.	May	Jul.	
FP	Acidic	12.3	9.2	13.6	16.5	13.5	13.3	13.1±2.3
	Basic	4.7	0.3	2.5	9.3	5.5	1.0	3.9±3.3
	Neutral	83.0	90.5	83.9	74.2	81.0	85.7	83.1±5.4
CP	Acidic	23.3	16.4	14.3	16.6	·	·	17.7±3.9
	Basic	7.7	0.1	0.1	2.1	·	·	2.5±3.5
	Neutral	69.0	83.5	85.6	81.3	·	·	79.9±7.4

FP : Fine particle CP : Coarse particle

**Table 6.** Percentages of subneutral fractions to neutral fraction sampled in residential area of Seoul (Bulkwang)

Particle size	Subfraction	1987		1988				X±SD
		Sep.	Nov.	Jan.	Mar.	May	Jul.	
FP	Aliphatic	17.6	22.6	27.3	26.3	25.6	21.3	23.5±3.6
	PAH	2.8	10.8	6.1	5.5	7.1	7.2	6.6±2.6
	POCN	79.6	66.6	66.6	68.2	67.3	71.5	70.0±5.0
CP	Aliphatic	15.7	24.2	21.5	31.4			23.2±6.5
	PAH	5.0	6.3	7.2	5.8			6.1±0.9
	POCN	79.3	69.5	71.3	62.8			70.7±6.7

FP : Fine particle CP : Coarse particle

**Table 7.** Percentages of subneutral fractions to neutral fraction sampled in traffic area of Seoul (Shinchon)

Particle size	Subfraction	1987		1988				X±SD
		Sep.	Nov.	Jan.	Mar.	May	Jul.	
FP	Aliphatic	28.9	33.9	30.2	17.4	43.6	63.6	36.3±15.8
	PAH	12.0	6.0	13.3	13.3	6.6	8.4	9.9± 3.3
	POCN	59.1	60.1	56.5	69.3	49.8	28.0	53.8±14.1
CP	Aliphatic	23.3	30.3	31.0	29.5			28.5± 3.5
	PAH	6.7	7.7	5.9	5.2			4.4± 1.0
	POCN	70.0	62.0	63.1	65.3			65.1± 3.5

FP : Fine particle CP : Coarse particle

이 각각 198 revertants / 250  $\mu$ g, 215 revertants / 250  $\mu$ g 으로 유의한 차이를 보였다( $P < 0.1$ ). 산성분획, 염기성분획 그리고 PAH분획의 단위 농도당 돌연변이원성은 불광지역의 시료에서 더 높았고 POCN분획의 돌연변이원성은 신촌지역에서 채취한 시료에서 더 높았다(Table 9).

#### 4. EOM의 대기 단위체적당 돌연변이원성

단위농도당 EOM의 돌연변이 활성도를 대기중 부유분진의 농도와 부유분진 중 EOM의 양과 함께 계산하면 대기 단위체적에 대한 돌연변이 활성도(revertants의 수로 표시)를 구할 수 있다. 이 값은 공기중에 존재하는



**Table 8.** Comparison of indirect acting mutagenic activities of organic fractions extracted from fine particles between residential and traffic area of Seoul

Area	Period	EOM	Acidic	Basic	Aliphatic	PAH	POCN
Residential (Bulkwang)	1987 Sep.	515	489	405	30	300	169
	Nov.	748	555	278	28	253	452
	1988 Jan.	795	598	548	35	693	428
	Mar.	701	308	573	71	510	154
	May	754	182	303	85	368	123
	Jul.	579	254	368	91	220	473
	X±SD	682.0±110.6	397.7±172.2	412.5±123.4	56.7±28.9	390.7±180.2	299.8±166.8
Traffic (Shinchon)	1987 Sep.	635	309	285	146	343	100
	Nov.	711	422	223	79	535	476
	1988 Jan.	842	332	630	84	613	566
	Mar.	663	254	220	e90	728	368
	May	801	213	513	96	583	123
	Jul.	613	258	120	49	293	310
	X±SD	710.8± 92.6	298.0± 74.0	331.8±196.5	90.7±31.6	515.8±166.6	323.8±186.7

B(a)P : 526 revertants / plate DMSO : 30 revertants / plate

**Table 9.** Comparison of indirect acting mutagenic activities of organic fractions extracted from fine particles between residential and traffic area of Seoul

Area	Period	EOM**	Acidic	Basic	Aliphatic	PAH	POCN
Residential (Bulkwang)	1987 Sep.	164	233	100	14	47	60
	Nov.	208	188	87	22	210	130
	1988 Jan.	208	229	137	19	157	136
	Mar.	195	225	355	70	200	108
	May	228	177	230	64	132	96
	Jul.	182	78	57	50	55	118
	X±SD	197.5±22.4	188.3±58.8	161.0±112.2	39.8±24.5	133.5±69.9	108.0±27.6
Traffic (Shinchon)	1987 Sep.	200	140	167	48	42	66
	Nov.	195	129	57	36	70	159
	1988 Jan.	209	185	110	49	117	295
	Mar.	220	127	122	52	85	193
	May	243	192	200	69	142	78
	Jul.	221	177	50	24	35	92
	X±SD	214.7±17.3	158.3±29.5	117.7± 59.2	46.3±59.2	81.8±41.9	147.2±87.7

\*\* P<0.1 B(a)P : 22 revertants / plate DMSO : 22 revertants / plate

**Table 10.** Mutagenicities of extractable organic matters of suspended particulates collected in residential and traffic area of Seoul  
unit : revertants / m<sup>3</sup>

Area	Particle size	1987		1988				X±SD
		Sep.	Nov.	Jan.	Mar.	May	Jul.	
FP								
Residential (Bulkwang)	+S9*	15.7	22.6	28.6	22.0	7.4	4.1	16.7± 9.4
	-S9**	4.6	5.8	7.0	5.7	2.1	1.9	4.5± 2.0
CP								
	+S9	5.0	4.9	6.2	3.7	1.3	0.4	3.6± 2.2
	-S9	1.3	1.4	1.6	0.9	0.4	0.1	0.9± 0.5
FP								
Traffic (Shinchon)	+S9*	14.4	39.1	32.5	31.6	8.6	6.2	22.0±14.0
	-S9**	4.2	9.9	7.5	9.9	2.5	2.1	6.0± 3.5
CP								
	+S9	3.8	9.6	6.4	6.0	1.9	1.2	4.8± 3.1
	-S9	1.1	3.0	1.8	1.8	0.5	0.3	1.4± 1.0

\* P<0.05 : BK, FP, +S9 versus SC, FP, +S9

\*\* P<0.1 : BK, FP, -S9 versus SC, FP, -S9

부유분진에 의한 돌연변이원성의 크기를 실제로 가리키는 것으로 두지역의 비교에 매우 유용하다.

불광과 신촌지역의 대기 단위체적당 분진중 작은입자의 indirect acting mutagenicity를 평균값으로 비교하면 신촌이 22 revertants / m<sup>3</sup>로서 돌연변이원성이 통계적으로 유의하게 높았다. 또한 작은입자의 direct acting mutagenicity 도 평균값으로 신촌과 불광이 각각 6.0 revertants / m<sup>3</sup>, 4.5 revertants / m<sup>3</sup>로 신촌이 불광에 비하여 유의하게 높았다. 신촌과 불광지역 모두 평균값으로 작은입자의 indirect acting mutagenicity는 direct acting mutagenicity의 3.7배이었다. 월별로는 11월, 1월, 3월이 5월, 7월, 9월보다 단위 체적당 돌연변이원성이 높았고 신촌지역의 11월이 가장 높아 39.1 revertants / m<sup>3</sup>이었다.

큰입자의 돌연변이원성도 indirect acting mutagenicity와 direct acting mutagenicity 모두 신촌지역이 높았으나 통계적으로 유의한 정도는 아니었다. 큰입자의 indirect acting mutagenicity는 신촌과 불광지역에서 모두 평균값으로 direct acting mutagenicity의 4배이었다(Table 10).

## 5. 다환 방향족 탄화수소류의 농도

대기중 다환 방향족 탄화수소류의 농도는 Table 11과 같다. 신촌시료에서 불광시료에 비하여 전반적으로 그 농도가 높으며 작은입자에서 큰입자보다 농도가 높았다.

Benzo(a)pyrene의 작은입자내 농도는 신촌이 3.10 ng / m<sup>3</sup>, 불광이 2.02 ng / m<sup>3</sup>의 농도였고 실험동물에서 발암성이 크다고 알려져 있는(Sontag, 1981) benzo(b)fluoranthene, dibenzo(a, h) anthracene, indeno(1, 2, 3-cd) pyrene의 작은입자내의 농도를 보면 불광과 신촌시료에서 각각 benzo(b)fluoranthene이 0.26 ng / m<sup>3</sup>와 0.47 ng / m<sup>3</sup>, dibenzo(a, h) anthracene이 0.21 ng / m<sup>3</sup>와 0.50 ng / m<sup>3</sup>, 그리고 indeno(1, 2, 3-cd)pyrene이 1.68 ng / m<sup>3</sup>와 2.23 ng / m<sup>3</sup>로 신촌시료에서 1.3~2.4배 높았다.

## IV. 고 찰

도시 대기중 입자상물질은 화석연료의 연소와 자동차 배기로부터 주로 발생하며 특히 디젤 차량에서 배출되는 검은 연기에는 많은 양의 입자상물질이 존재한다. 또

**Table 11.** Mean atmospheric concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons in fine and coarse particles collected in residential and traffic areas of Seoulunit : ng / m<sup>3</sup>

PAHs / Area	Residential (Bulkwang)		Traffic (Shinchon)	
	FP	CP	FP	CP
	phenanthrene	0.24	0.03	0.63
anthracene	0.08	0.01	0.13	0.01
9-methyl anthracene	0.27	0.12	0.54	0.09
fluoranthene	1.87	0.46	2.82	0.95
pyrene	2.27	0.47	3.23	1.06
benzo(b)fluorene	0.26	0.11	0.47	0.13
1,2-benzanthracene	3.31	0.47	3.31	0.55
chrysene	3.40	0.45	4.10	0.89
benzo(b)fluoranthene	1.76	0.41	1.68	0.38
benzo(e)pyrene	1.02	0.13	1.23	0.18
benzo(a)pyrene	2.02	0.48	3.10	0.36
perylene	0.26	0.05	0.41	0.06
indeno(1,2,3 cd)pyrene	1.68	0.19	2.23	0.25
dibenzo(ah)anthracene	0.21	0.05	0.50	0.05
benzo(ghi)perylene	1.50	0.23	2.76	0.27
coronene	1.83	0.08	2.09	0.31

FP : fine particle CP : coarse particle

한 생활폐기물이나 산업폐기물을 부적절하게 연소처리하는 경우에도 입자상물질이 많이 발생하게 된다(WHO, 1979). 자동차에서 배출되는 입자상물질은 어느 도시내의 전체배출량으로 보면 주거용 난방이나 공장의 배출량에 비하여 적은 부분이지만 자동차 배기가스는 사람이 호흡하는 가까운 위치에서 발생하므로 거리에 따라 특별한 주의를 기울여야 하며 교통이 혼잡한 지역에서는 디젤차량의 연기가 사실상 입자상 물질의 커다란 부분을 차지하게 된다(Waller 등, 1965).

서울시에서도 최근 자동차의 급격한 증가로 입자상물질에 의한 대기의 악화를 크게 우려하고 있으나 이에 대한 대책은 아직 미흡하다. 1989년초 현재 서울시의 차량대수는 80만여대로서 외국도시에 비하여 숫자상으로는 많지 않으나 도로면적이 협소하여 차량통행의 정체가 많고 노후한 차량이 많으며 디젤차량의 비율이 매우

높아 실제 오염정도는 클 것으로 예상된다. 서울시에서 차량에 의하여 배출되는 입자상물질중 디젤차량에 의한 비율이 79%에 이르고 있다(조강래, 1987).

입자상물질 오염의 기여도가 큰 디젤 배기가스와 도시의 입자상물질에 의한 돌연변이원성을 검사하기 위하여 사용한 균주는 Salmonella typhimurium TA 98이었다. Lioy와 Daisey(1983)는 공기중 돌연변이물질 검사에는 TA 98이 가장 민감하여 실험에 사용한 5종의 균주중에서 돌연변이를 가장 잘 일으켰다고 하였다. 또한 디젤배기 입자상물질의 추출물(diesel exhaust particle extracts, 이하 DEPE)을 사용하여 여러 균주로 검사해 본 결과 DEPE중의 돌연변이원성물질은 base substitution을 일으키지 않고 frame shift mutation을 일으키는 것을 알게 되었다(Huisingh 등, 1978). 따라서 이 실험에서는 대기중 입자상물질의 돌연변이원성과 차량에 의한 돌연변이원성 위험도를 알아보기 위하여 Salmonella typhimurium TA 98균주를 실험에 사용하였다.

분진중의 유기물질은 ether와 cyclohexane으로 거의 대부분 추출이 된다. 이 연구에서는 추출된 유기물을 액성에 따라 ether를 이용하여 분획으로 나누기 위하여 ether에 의해 추출이 가능한 유기물을 대상으로 실험하였다. Methanol을 사용하여 ether와 cyclohexane으로 추출되지 않는 극성이 비교적 강한 유기물을 추출한 후 이 추출물로 돌연변이원성 검사를 실시하여 methanol에 의한 추출물의 돌연변이원성을 예비실험에서 살펴보았다. 그 결과 indirect acting mutagenicity는 ether 추출물에 비하여 매우 낮았고 direct acting mutagenicity는 methanol 추출물의 돌연변이원성이 indirect acting mutagenicity의 경우와 같이 낮지는 않았으나 ether 추출물의 돌연변이원성의 28~35%에 해당되어 ether 추출물이 돌연변이원성에 큰 영향을 준다고 볼 수 있으며 분진중의 유기물질은 대부분 ether와 cyclohexane의 혼합용매로 추출된다고 생각된다. 또한 이 예비실험에서 ether와 cyclohexane 추출물, 그리고 methanol 추출물의 indirect acting mutagenicity 와 direct acting mutagenicity 모두 직선적인 용량-반응 관계를 보여주었다.

유기물의 산성, 중성 및 염기성 분획의 비율은 주거지역과 교통혼잡지역, 분진의 작은입자와 큰입자에서 모두 대체로 일관성이 있었으며 중성이 가장 높았고 산성분획이 다음으로 높았다. 중성세부분획의 비율도 대체로 일관성이 있어서 POCN분획이 가장 크고 aliphatic compounds,

PAH분획의 순이었다. 디젤이나 가솔린 등의 석유계 연료의 연소에서 발생하는 aliphatic compounds는 도시에서 지역에 따라 증성분획의 20~65% 비율로 존재한다고 하였으며(Stern, 1977) 이 연구에서도 aliphatic compounds의 비율이 이 범위에 속하였다. 신촌시료에서 aliphatic compounds의 비율이 불광시료보다 작은입자와 큰 입자 모두에서 높은 것은 차량배기에 의한 유기물이 신촌시료에 더 많기 때문인 것으로 생각된다.

작은입자의 EOM 단위농도당 돌연변이원성이 indirect acting mutagenicity에서는 불광과 신촌시료간에 큰 차이가 없었으나 direct acting mutagenicity에서는 신촌시료에서 유의하게 높았고 큰입자에서는 indirect와 direct acting mutagenicity 모두 두지역간에 차이가 있어서 신촌시료에서 높았다. DEPE를 이용한 돌연변이원성 실험에서 direct mutagenicity가 높아서 디젤 입자상물질내 발암물질의 활성을 위하여 외부인자의 개입이 불필요하다고 하였다(Lewtas, 1982; Claxton, 1983; Pederson과 Siak, 1981). 디젤 입자상물질은 대부분 작은입자이며 작은입자에 돌연변이원성물질이 큰입자보다 더 많이 존재한다는 점이 이 연구결과와 같이 교통혼잡 지역에서 작은입자의 direct acting mutagenicity가 주거지역보다 높았다는 사실을 뒷받침해 주고 있다.

대기 단위체적당 돌연변이원성이 두지역간에 작은입자에서 유의한 차이가 있었다는 사실은 교통혼잡지역의 돌연변이 위험도가 주거지역보다 높다는 것을 나타내 주고 있으며 이러한 돌연변이원성물질의 증가는 차량배기와 주변의 인구밀집과 상업화로 인한 입자상 오염물질 배출증가로 우선 설명될 수 있으며 자세한 원인 및 원인물질의 파악은 후후 과제라고 생각된다.

교통혼잡지역인 신촌지역이 차량배기에 의하여 돌연변이원성 위험도가 높을 것이라는 하나의 제안은 앞에서 설명한 몇가지 연구결과 즉, 첫째, 신촌시료의 aliphatic compounds의 비율이 불광시료보다 높은 것은 자동차 연료연소에 의하여 aliphatic compounds가 많이 배출되었기 때문이라는 점과 둘째, 신촌시료의 단위농도당 direct acting mutagenicity가 불광의 그것보다 높은 것은 디젤배기로 인한 돌연변이원성물질의 증가일 것이라는 점 그리고 셋째는 대기 단위체적당 작은입자의 돌연변이원성이 두지역간에 차이가 있었다는 점을 들어 설명이 가능하다.

Lewtas(1985)는 coke oven emission, roofing tar, cigarette

smoking 등의 돌연변이원성 및 발암성물질과 디젤배기 추출물의 돌연변이원성과 동물의 피부종양 유발정도를 비교하여 디젤배기 추출물의 돌연변이원성과 발암성의 위험도를 산출하였다. Salmonella typhimurium TA 98을 이용한 돌연변이원성 검사에서부터 인간에게 암을 유발하는 여러 단계의 검사과정중 mammalian cell transformation 과 mouse skin tumor initiation검사의 결과를 포함하여 종합하여 보면 상기한 네가지 발암성 물질의 각 단계실험결과간의 상관성이 높아서 상대적 위험도 평가가 가능하다고 하였다. 이러한 연구결과를 근거로 돌연변이원성이 상대적으로 높으면 동물에서의 발암성 혹은 인체에서의 발암성이 높아진다고 볼 수 있다.

대기중 PAHs를 분석한 결과 benzo(a)pyrene의 농도가 분진의 작은입자에서 신촌지역이 불광지역에 비해 평균 1.08 ng/m<sup>3</sup> 높았다. Cuddihy 등(1984)은 디젤 추출물에 의한 폐암의 위험도를 제시하였고 Carnow와 Meier(1973)는 benzo(a)pyrene을 중심으로 한 위해도평가(risk assessment)에서 benzo(a)pyrene 1 ng/m<sup>3</sup>의 증가가 폐암사망율 5%의 증가를 가져올 것이라는 조금은 대담한 결론을 내렸다. 여기에 적용을 해 본다면 신촌지역 정도의 교통혼잡지역 주민에서 불광지역 정도의 주거지역 주민보다 약 5% 폐암사망율이 높을 것이라고 위험도를 예측해 볼 수 있다.

미국의 40개 도시에서 1976년 측정된 benzo(a)pyrene의 농도를 보면 대부분 1 ng/m<sup>3</sup>이하이었고 1~2 ng/m<sup>3</sup>인 도시가 넷이었으며 2~3 ng/m<sup>3</sup>의 도시가 들어있다. 캐나다 온타리오주에서 1975년 4월부터 1976년 3월까지 1년간 측정된 결과 benzo(a)pyrene이 Hamilton시는 1.4~3.5 ng/m<sup>3</sup>이었고 같은 주의 Southern Sarnia는 0.1~0.6 ng/m<sup>3</sup>이었다(Santodonato emd, 1979).

앞으로의 연구에서는 POCN내에 존재하는 물질을 밝히고 원인을 추구하는 것이 필요하리라 생각된다. 또한 이미 많은 부분 밝혀져 있는 PAHs에 관해서도 발암성에 영향을 주는 PAHs 물질들간의 상호작용이 있으므로(Pfeiffer, 1977) 이를 고려한 돌연변이원성이나 발암성 위험도 평가가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

## V. 결 론

서울시 대기중 부유분진에 포함되어 있는 유기오염물질의 농도와 돌연변이원성을 측정하여 주거지역과 교통

혼잡지역의 유기물 오염정도와 돌연변이원성의 차이를 평가하기 위하여 주거지역인 불광동과 교통혼잡지역인 신촌에서 대기중 분진 시료를 채취하여 분석하였다.

채취된 시료는 유기용매로 유기물을 추출한 후 역성에 따라 산성, 중성 및 염기성 분획으로 분리하였다. 중성분획은 다시 박층크로마토그래피를 하여 aliphatic compounds, PAH, POCN분획으로 분리하였다. 추출된 유기물과 각 분획은 무게를 측정하여 농도를 계산하였고 Salmonella typhimurium TA 98 균주를 사용하여 돌연변이원성을 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 총부유분진은 연간 평균치로 보아 주거지역은 기준치 이하였고 교통혼잡지역은 기준치보다 높았으며 11월에는  $256 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 달하였다. 총부유분진의 지역 및 월별 오염도는 유의한 차이를 보여주었다.

2. 작은입자의 농도 역시 교통혼잡지역이 주거지역보다 통계적으로 유의하게 높았고 월별로도 유의한 차이를 보였으며 총부유분진중에 작은입자가 차지하는 비율은 55~68%이었다.

3. EOM농도의 평균값은 불광, 신촌 각각  $4.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $5.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 EOM은 작은입자에 대부분 존재하여 전체의 70~88%에 해당되었다.

4. 신촌시료에서 작은입자내 aliphatic compounds분획의 비율이 높았고 POCN분획의 비율은 불광시료에서 높았으며 PAH분획은 두지역에서 모두 비율이 가장 적어 6~1%이었다.

5. 작은입자에 포함된 유기물의 돌연변이원성이 큰입자에 비하여 전반적으로 높았고 대사활성을 시킨 경우가 그렇지 않은 것보다 더 높았다. 대기 단위체적당 작은입자의 대사활성 돌연변이원성은 불광이 17 revertants/ $\text{m}^3$ , 신촌이 22 revertants/ $\text{m}^3$ 으로 신촌이 통계적으로 유의하게 높았다.

6. 대기중 benzo(a)pyrene의 작은입자내 농도는 신촌이  $3.10 \text{ ng}/\text{m}^3$ , 불광이  $2.02 \text{ ng}/\text{m}^3$ 이었다. 이외에도 15종의 다환 방향족 탄화수소가 검출되었으며 신촌시료에서 불광시료에 비하여 농도가 더 높았고 큰입자 보다는 작은입자에서의 농도가 더 높았다.

## 참 고 문 헌

Alink GM, Smit HA, Houdt JJ, Kolkman JR, Boleij JSM. *Mutagenic activity of airborne particulates at non-industrial*

*locations. Mutation Res 1983; 116: 21-34*

Broddin G, Cautreels W, Cauwenbergh K. *On the aliphatic and polyaromatic hydrocarbon levels in the urban and background aerosols from Belgium and the Netherlands. Atmosph Environ 1980; 14: 895-910*

Buell P. *Relative impact of smoking and air pollution on lung cancer. Arch Environ Health 1967; 291-297*

Carnow BW, Meier P. *Air pollution and pulmonary cancer. Arch Environ Health 1973; 27: 207-218*

차철환, 김영환, 김제성. 서울시 대기오염물질의 돌연변이원성에 관한 조사. *환경보전 1983; 4: 1-13*

조강래, 자동차에 의한 오염물질 배출량 산출 및 방지대책. 제1회 한미환경심포지움, 1987

Chung Y. *Physicochemical nature and mutagenic activity of ambient dust in Seoul. Yonsei Med J 1987; 28(1): 52-59*

Claxton LD. *Characterization of automotive emissions by bacterial mutagenesis bioassay. Environ Mutagen 1983; 5: 609-631*

Cuddihy RG, Griffith WC, McClellan RO. *Health risks from light-duty diesel vehicles. Environ Sci Technol 1984; 18(1): 14-21*

Dehnen W, Pitz N, Tomingas R. *The mutagenicity of airborne particulate pollutants. Cancer Lett 1977; 4: 5-12*  
*Evaluation of exposure to airborne particles in the work environment. WHO, 1984*

*Fourth annual report on carcinogens, U.S. Department of health and human services, 1985*

Huisinigh J, Bradow R, Jungers R, Claxton L, Zweidinger R, Tejada S, Bumgarner J, Duffield F, Waters M, Simmon VF, Hare C, Rodriquiz C, Snow L. *Application of short-term bioassay in the fractionation and analysis of complex environmental mixtures. Plenum Press, New York, 1978*

Stahlhofen W, Eckard B, Gethard J, Heyder J, Stuck B. *Measurement of the exhalathoracic, tracheobronchial and alveolar deposition of aerosol particles in human respiratory tract. 7. Knof. d. Gesellsch. f. Aerosol-forschung, KongreBbericht, Dusseldorf, 1979*

Stern AC. *Air Pollution. 3rd Ed. Academic Press, 1977*

Stern AC, Boubel RW, Turner DB, Fox DL. *Fundamentals of air pollution. New York, 1984*

*Sulfur dioxide and suspended particulate matter. Environmental health criteria 8. WHO, 1979*

Teranish K, Hamada K, Watanabe H. *Mutagenicity in Salmonella typhimurium mutants of the benzene soluble organic matter derived from airborne particulate matter and its five fractions. Mutation Res 1978; 56: 273-280*

Tokiwa H, Morita K, Taeyoshi H, Takahashi K, Ohnishi Y. *Detection of mutagenic activity in particulate air pollutants. Mutation Res 1977; 48: 237-248*

- Waller RE, Commins BT, Lawther PJ. *Air pollution in a city street. Br J and Med* 1965; 22: 128-138
- Lewtas J. *Toxicological effects of emissions from diesel engines. Elsevier Biomedical New York*, 1982
- Lewtas J. *Development of a comparative potency method for cancer risk assessment of complex mixtures using short-term in vivo and in vitro bioassays. Toxicology and Industrial Health* 1985; 1(4): 193-212
- Lioy PJ, Daisey JM. *The New Jersey project on airborne toxic elements and organic substances. J. Air Poll Control Assoc* 1983; 33(7): 649-657
- McClellan RO, Mauderly JL, Jones RK, Cuddihy RG. *Health effects of diesel exhaust. Postgraduate Medicine* 1985; 78(6): 199-207
- Moriske HJ, Wullenweber M, Ketszeridis G, Ruden H. *Untersuchungen Kohlenwasserstoffen (PAH) und polaren organischen Verbindungen (POCN) in Stadtaerosol. Zbl Bakt Hyg I Abt Orig B* 1982; 176: 508-518
- Ohsawa M, Ochi T, Hayashi H. *Mutagenicity in Salmonella typhimurium mutants of serum extracts from airborne particulates. Mutation Res* 1983; 116: 83-90
- Pederson TC, Siak JS. *The activation of mutagens in diesel particle extract with rat liver S-9 enzymes. J Appl Toxicol* 1981; 1: 61-66
- Pfeiffer EH. *Oncogenic interaction of carcinogenic and non-carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons. Proceedings of the second Hanover international carcinogenesis meeting held in Hanover, 1977: 69-77*
- Santodonato J, Howard P, Basu D. *Multimedia health assessment document for polycyclic organic matter. Syracuse Research Corporation, 1979*
- Schenker MB. *Diesel exhaust-an occupational carcinogen? JOM* 1980; 22(1): 41-46