

대기부유분진중 nitroarenes 오염도와
그 돌연변이원성에 관한 조사연구
— 서울시 일부지역을 중심으로 —

조성준 · 최용욱 · 임영욱 · 신동천 · 정 용

연세대학교 환경공해연구소

Atomospheric Concentration and Mutagenicity of Nitroarenes
of Suspended Particulates in Seoul

Seongjoon Jo, Yongwook Choi, Youngwook Lim, Dongchun Shin, Yong Chung
The Institute for Environmental Research Yonsei University

ABSTRACT

Nitroarenes are ubiquitous environmental pollutants displaying potent mutagenicity in bacteria and carcinogenicity in mammal.

In this study, the concentration of nitroarenes in coarse and fine particles and mutagenicity of POC_N fraction was investigated in suspended particulates at the Shinchon and Bulkwang area of Seoul.

The suspended particulates were collected bimonthly by a high volume cascade impactor air sampler from July 1987 to May 1988. Extractable organic matter was obtained by ultrasonic extraction on diethyl ether/cyclohexane (8/2, v/v). Neutral fraction was obtained by liquid-liquid extraction. Polar neutral organic compounds (POC_N) was fractionated by thin-layer chromatography.

Finally, the concentrations of nitroarenes in POC_N fraction were measured and determined by capillary gas chromatography. Direct and indirect mutagenicity of POC_N fraction were measured using *Salmonella typhimurium* TA 98.

The result were as follows:

1) Major nitroarenes at the Shinchon area was 1-nitropyrene and at the Bulkwang area it was 2,7-dinitro-9-fluorenone during the year.

2) Average concentration of total nitroarenes measured was 67.26 ng/m³ in fine particles which was 1,3 folds higher that in coarse particle (52.30 ng/m³).

3) Annual pattern of nitroarenes concentrations revealed that concentration during heating season (Feb., Jan., Mar.) was 2.2 folds higher than that in non heating season (May, Jul., Sep.). Concentration of each season has 157.68 ng/m³ and 80.39 ng/m³.

4) The mutagenic activity of POC_N fraction from fine particles was higher compared to that of coarse particles and was increased when metabolically activated, with S9 mixture. Mutagenicities, Metabolically activated, were significantly different between Shinchon and Bulkwang area, 322.8 rev/250 μg/plate and 286.8 rev/250 μg/plate, respectively.

5) Annual pattern of mutagenicity of POC_N fraction revealed that mutagenicity during the heating season was 1.7 folds higher at Shinchon area and 1.2 folds higher at Bulkwang than during the non heating season.

The variable contents and levels of nitroarenes in suspended particulates may affect human health significantly. Further studies such as risk assessment should be conducted on the basis of these kind of studies.

서 론

도시의 인구집중과 차량의 증가로 인한 대기오염 물질은 각종 호흡기 질환은 물론 인체에 발암성을 나타낼 수 있어 큰 관심의 대상이 되고 있다.

대기중 발암성 물질은 주로 부유분진(suspended particles)에 존재하며, 호흡을 통하여 인체에 침투하게 된다. 폐조직에 부유분진이 침착되는 정도는 분진의 직경(diameter)과 호흡의 강도에 의하여 영향을 받게 된다¹⁾.

최근 많은 연구적 관심의 대상이 되고 있는 물질로서 대기중에 널리 분포되는 것으로 알려지고 있는 니트로 다환 방향족 탄화수소류(nitropolycyclic aromatic hydrocarbons; nitroarenes)는 PAHs(polycyclic aromatic hydrocarbons)에 HNO₃나 NO₂가 치환되어^{2,3)} PAHs보다 돌연변이원성이 높고, 또한 동물실험에서도 발암성이 인정되고 있다⁴⁻⁶⁾. nitroarenes는 주로 불완전연소과정²⁾에서 생기며, 특히 도시대기중의 부유분진^{7,8)}, 가솔린의 연소물⁹⁾ 등에서 많은 양이 검출되고 있다.

Xu 등(1981)은 디젤의 연소물에서 60종의 nitroarenes을 동정하였는데¹⁰⁾, 이들중 1-nitropyrene은 가장 많이 연구되어 있으며, 1,

8-dinitropyrene이 가장 강한 돌연변이원성을 나타내는 물질로 알려져 있다^{9,11~14)}.

nitroarenes는 대체로 친전자성(electrophilic)이기 때문에 DNA와 같은 거대분자의 친핵성 부분(nucleophilic site)에 잘 결합되므로 PAHs보다 더 높은 돌연변이원성을 나타낸다고 한다^{15,16)}.

이들 nitroarenes의 돌연변이원성은 PAHs에 nitro 치환기의 수와 치환순서에 따라 그 정도가 매우 다양하다^{15,17)}. PAHs에 하나 또는 그 이상의 nitro기가 탄소고리의 전자중 일부분에 공유결합에 의해 치환되어 있고 이 치환체 숫자의 증가와 돌연변이원성의 증가는 비례하지만 치환체의 숫자가 4개 이상이면 오히려 감소한다고 하였고, 또한 PAHs에 nitro기가 치환되는 부분에 따라서 돌연변이원성의 정도가 달라지게 된다고 하였다^{6,18~23)}. 또한 세포내의 nitro 분해효소(nitroreductase)에 의한 nitro 치환체의 환원¹⁷⁾, 시토크롬(cytochrome) P-450 효소에 의한 nitroarenes의 benzene ring과 side chain의 산화(oxidation)²⁴⁾ 혹은 에스테르화(esterification)에 따른 nitro의 환원²⁵⁾이 중요한 nitroarenes의 대사활성에 의한 독성기작으로 알려져 미생물뿐 아니라 인간의 세포에도 작용하여 암을 일으킬 수 있기 때문에²⁶⁾ 대기중의 nitroarenes 규제는 시급한 문제라 하겠다.

연구 방법

1. 조사기간 및 시료채취

서울시에서 신촌지역과 불광지역의 1개 지점을 선정하여 1987년 7월부터 1988년 5월까지 적월로 시료를 채취하였다.

high volume cascade impactor air sampler (Sierra-352, USA)를 이용 분진을 포집하였다.

분진의 입자크기 2.1 μm를 중심으로 그 이상의 조대입자(coarse particle)와 미만의 미세입자(fine particle)로 구분하여 실험하였다.

시료채취 조건은 평균 유량은 약 0.9 m³/min으로 48~72시간을 주기로 2~3회 채취 후 1주일간의 시료를 모았다.

2. 실험 방법

채취된 분진시료로부터 diethyl ether와 cyclohexane(8/2)으로 유기물(Extractable Organic Matter; EOM)을 초음파 추출법(ultrasonic extraction method)에 의해 얻었다.

EOM을 H₂SO₄(2N과 5N), NaOH(2N과 5N) 그리고 diethyl ether와 cyclohexane을 이용 액성에 따라 나누어 중성분획을 얻었다(Fig. 1).

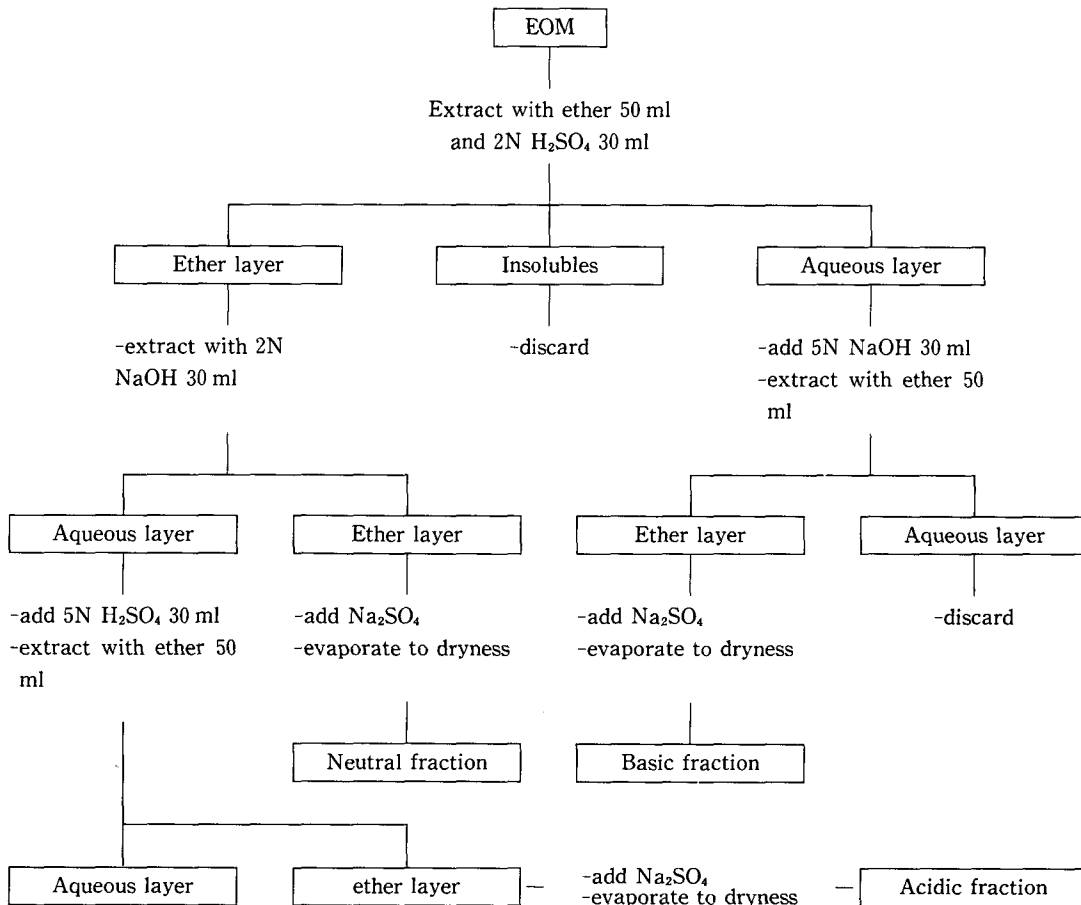


Fig. 1. Separation Scheme of Neutral Fraction from Extractable Organic Matter (EOM).

중성분획으로부터 박층 크로마토그래피(thin layer chromatography; TLC)를 이용 POC_N

(polar neutral organic compounds)을 얻었으며, 이때 고정상은 0.5 mm 두께의 silica gel 60 (Merck, Germany)을 사용하였고, 이동상은 benzene, toluene, cyclohexane, n-hexane을 56 : 4 : 32 : 8(v/v)으로 혼합하여 사용하였다^{27,28}.

이 POC_N 분획으로부터 gas chromatography (GC)를 사용 nitroarenes 6종(2-nitronaphthalene, 2-nitrofluorene, 3-nitro-9-fluorenone, 9-nitroanthracene, 1-nitropyrene 및 2,7-dinitro-9-fluorenone)을 내부표준물질 첨가법(internal standard method)에 의해 동정 및 정량하였다.

Salmonella typhimurium TA 98 균주를 사용하여 Maron과 Ames(1983)가 제시한 방법에 의해 돌연변이원성을 측정하였다^{29,30}.

음성 대조군은 DMSO를 사용하였고, 양성 대조군은 DMSO에 benzo(a)pyrene을 2 µg/plate가 되도록 조제하여 각각 실험하였다(Fig. 2).

POC_N은 plate 당 250 µg의 용량을 투여하였으며, 예비실험 결과 이 용량 전, 후에서 직선적인 용량 반응 관계를 나타내었다.

연구 결과

1. 유기물질의 오염도 및 nitroarenes의 오염도

조사기간인 1987년 7월부터 1988년 5월까지 측정된 신촌지역과 불광지역 유기물질의 오염도는 Table 1과 같다.

유기물질의 농도는 신촌지역이 7.86 µg/m³으로 불광지역의 5.20 µg/m³보다 약 1.5배 높았으며, 각 지역의 미세입자가 조대입자에 비하여 높게 나타났다.

전체 조사기간중 신촌지역과 불광지역에서 미세 및 조대입자의 대기중 nitroarenes의 오염도는 2,7-dinitro-9-fluorenone이 가장 높은 농도를 나타냈으며, 2-nitronaphthalene은 가장 낮은 농도를 나타내었다. 나머지 4종의 nitroarenes는 신촌지역에서 총부유분진중 1-nitropyrene이 가장 높아 그 농도가 23.78 ng/m³(1.47~26.24 ng/m³)이었으며, 그 다음으로 3-nitro-9-fluorenone이 3.85 ng/m³(ND~3.35 ng/m³), 2-nitrofluorene이 1.99 ng/m³(ND~2.52 ng/m³) 및 9-nitroanthracene이 1.70 ng/m³(0.33~1.88 ng/m³)의 농도 순으로 나타났다. 또한 불광지역의 총부유분진에서 1-nitropyrene이 17.83 ng/m³(3.14~20.67 ng/m³), 2-nitrofluorene이 3.88 ng/m³(ND~8.13 ng/m³), 3-nitro-9-fluorenone이 2.82 ng/m³(0.07~5.07 ng/m³) 및 9-nitroanthracene이 2.27 ng/m³(ND~3.07 ng/m³)의 농도 순으로 나타났다(Table 2).

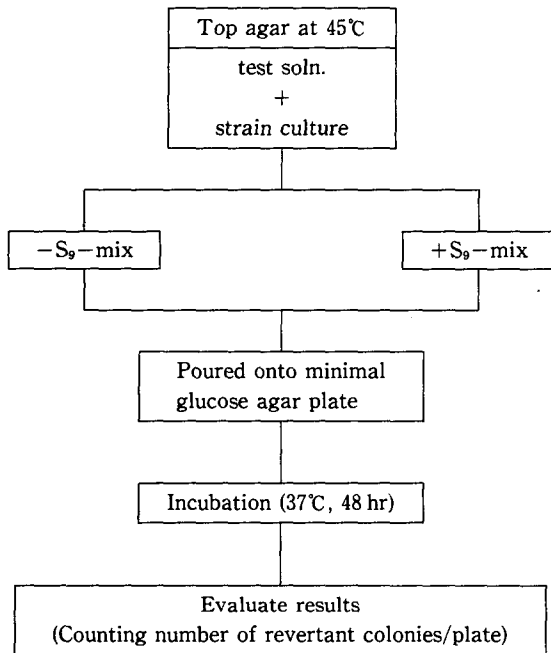


Fig. 2. Procedure for the Mutagenicity Test Using Ames Method.

GC 분석은 Shimadzu GC-7AG에 CLH-702 capillary column holder와 injection system을 부착하여 사용하였으며, capillary column은 길이 25 m, 내경 0.25 mm의 CBP-1(OV-1 혹은 SE-30과 같음, Shimadzu Co.)을 사용하였다.

TLC 분획화에서 얻은 POC_N 분획을 시료로

Table 1. The Extractable Organic Matters (EOM) of Air Suspended Particulates Collected in Shinchon and Bulkwang Areas, Seoul. (unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$, () : %)

Area	Period		Fine particulate	Coarse particulate	TSP
Shinchon	1987	Jul.	10.84(68.6)	4.97(31.4)	15.81(100.0)
		Sep.	2.97(70.9)	1.22(29.1)	4.19(100.0)
		Nov.	7.18(70.0)	3.07(30.0)	10.25(100.0)
	1988	Jan.	5.01(72.5)	1.90(27.5)	6.91(100.0)
		Mar.	6.23(76.3)	1.93(23.7)	8.16(100.0)
		May	1.39(75.5)	0.45(24.5)	1.84(100.0)
	X \pm SD	5.60+3.33(72.3)	2.26 \pm 1.59(27.7)	7.86 \pm 4.89(100.0)	
Bulkwang	1987	Jul.	4.59(73.3)	1.67(26.7)	6.26(100.0)
		Sep.	4.04(70.0)	1.73(30.0)	5.77(100.0)
		Nov.	3.93(69.4)	1.73(30.6)	5.66(100.0)
	1988	Jan.	4.67(71.2)	1.89(28.8)	6.56(100.0)
		Mar.	4.11(77.1)	1.22(22.9)	5.33(100.0)
		May	1.27(77.9)	0.36(22.1)	1.63(100.0)
	X \pm SD	3.77 \pm 1.26(73.2)	1.43 \pm 0.57(26.9)	5.20 \pm 1.80(100.0)	

TSP : total suspended particulate

Table 2. The Nitroarenes of Fine and Coarse Particles Collected (87. 7~88. 5) in Shinchon and Bulkwang Areas, Seoul. (unit : ng/m^3 , () : range)

Nitroarenes	Shinchon			Bulkwang		
	Fine	Coarse	Total	Fine	Coarse	Total
2-nitronaphthalene*	0.09 \pm 0.05 (ND~0.17)	0.12 \pm 0.10 (ND~0.28)	0.21	0.14 \pm 0.08 (0.05~0.29)	0.08 \pm 0.09 (ND~0.25)	0.22
2-nitrofluorene*	1.44 \pm 0.74 (0.37~2.52)	0.55 \pm 0.32 (ND~0.92)	1.99	2.07 \pm 2.72 (0.51~8.13)	1.81 \pm 2.58 (ND~7.52)	3.88
3-nitro-9-fluorenone*	2.02 \pm 0.99 (0.52~3.35)	1.81 \pm 0.91 (ND~2.82)	3.83	1.63 \pm 1.71 (0.71~5.07)	1.19 \pm 0.88 (0.07~2.33)	2.82
9-nitro-anthracene**	1.24 \pm 0.43 (0.73~1.88)	0.46 \pm 0.13 (0.33~0.73)	1.70	1.48 \pm 1.23 (0.56~1.88)	0.79 \pm 1.04 (ND~3.07)	2.27
1-nitropyrene*	14.70 \pm 8.40 (1.47~26.24)	9.08 \pm 6.25 (1.71~17.24)	23.78	11.44 \pm 5.56 (3.14~20.67)	6.39 \pm 3.41 (3.15~12.75)	17.83
2,7-dinitro-9-fluorenone*	10.56 \pm 5.80 (ND~19.21)	10.49 \pm 1.20 (9.11~12.71)	21.05	21.45 \pm 19.27 (ND~61.99)	19.53 \pm 15.41 (8.75~52.51)	40.90

ND : 0.001>, * : p<0.01, ** : p<0.05(Shinchon vs Bulkwang), n=12

월별 nitroarenes의 오염도는 신촌지역에서 1-nitropyrene이 1월중 미세입자에서 26.24 ng/m^3 으로 가장 높았으며, 연평균도 14.70 ng/m^3 으로 분석대상 nitroarenes중 가장 높았다(Table 3, 4).

2-nitronaphthalene은 미세 및 조대입자에서 각각 연평균 0.09 ng/m^3 , 0.12 ng/m^3 으로 분석대상

nitroarenes 중 가장 낮은 값을 나타내었다.

각 nitroarenes는 미세입자가 조대입자에 비하여 평균 최고 5.62 ng/m^3 (1-nitropyrene)에서 최저 0.20 ng/m^3 (2,7-dinitro-9-fluorenone)의 차이를 보였으며, 2-nitronaphthalene은 조대입자가 미세입자보다 평균농도가 0.03 ng/m^3 높았다.

Table 3. Concentration of Nitroarenes of Fine Particle in Shinchon and Bulkwang Areas, Seoul.
(unit : ng/m³)

Period	2-nitro-naphthalene*		2-nitro-fluorene*		3-nitro-9-fluorenone*	
	SA	BA	SA	BA	SA	BA
1987 Jul.	ND	0.09	2.16	8.13	2.74	0.73
Sep.	0.10	0.13	0.79	0.62	0.52	1.19
Nov.	0.11	0.29	2.52	0.71	0.98	1.31
1988 Jan.	0.17	0.20	0.37	1.15	3.35	5.07
Mar.	0.09	0.09	1.55	1.31	2.52	0.75
May	0.09	0.05	1.23	0.51	2.01	0.71
X±	0.09±	0.14±	1.44±	2.07±	2.02±	1.63±
SD	0.05	0.08	0.74	2.72	0.99	1.71
Period	9-nitro-anthracene*		1-nitro-pyrene*		2,7-dinitro-9-fluorenone*	
	SA	BA	SA	BA	SA	BA
1987 Jul.	1.60	4.50	1.47	3.14	19.21	61.99
Sep.	0.73	0.67	22.43	11.25	9.11	ND
Nov.	0.89	0.84	17.02	12.78	ND	16.90
1988 Jan.	1.45	1.88	26.24	20.67	14.16	18.55
Mar.	1.88	0.85	13.23	14.08	10.50	19.30
May	0.89	0.56	7.80	6.70	11.10	11.93
X±	1.24±	1.48±	14.70±	11.44±	10.68±	21.45±
SD	0.43	1.23	8.40	5.56	5.80	19.27

ND : 0.001>, * : F<5.32($\alpha=0.05$), heating season vs non-heating season SA : Shinchon area, BA : Bulkwang area

난방 여부에 따라서 난방기인 11월, 1월, 3월이 비난방기인 7월, 9월, 5월에 비하여 전체 nitroarenes에서 높은 경향을 보였다.

불광지역에서 가장 높은 농도를 나타낸 곳은 7월 중 미세입자의 2,7-dinitro-9-fluorenone으로 61.99 ng/m³을 나타냈으며, 연평균 21.45 ng/m³으로 분석 대상 nitroarenes중 가장 높았다.

불광지역의 미세입자와 조대입자의 nitroarenes 농도 차이는 평균 최고 8.09 ng/m³(1-nitropyrene)에서 최저 0.06 ng/m³(2-nitronaphthalene)의 차이를 보여 미세입자가 조대입자에 비하여 높았다.

신촌지역과 불광지역의 대기 부유분진 단위 중량당 nitroarenes의 농도는 1-nitropyrene이 5월의 조

Table 4. Concentration of Nitroarenes of Coarse Particle in Shinchon and Bulkwang Areas, Seoul.
(unit : ng/m³)

Period	2-nitro-naphthalene**		2-nitro-fluorene*		3-nitro-9-fluorenone*	
	SA	BA	SA	BA	SA	BA
1987 Jul.	ND	ND	0.92	7.52	2.28	1.47
Sep.	ND	ND	ND	0.94	ND	2.09
Nov.	0.15	0.14	0.40	0.50	1.82	1.21
1988 Jan.	0.28	0.25	0.76	ND	2.11	2.33
Mar.	0.13	0.03	0.85	1.16	2.54	0.09
May	0.14	0.08	0.36	0.72	1.57	0.06
X±	0.12±	0.08±	0.55±	1.81±	1.81±	1.19±
SD	0.10	0.09	0.32	2.58	0.91	0.88
Period	9-nitro-anthracene*		1-nitro-pyrene*		2,7-dinitro-9-fluorenone*	
	SA	BA	SA	BA	SA	BA
1987 Jul.	0.50	3.07	2.30	4.51	9.21	52.51
Sep.	0.44	0.64	1.71	8.35	10.49	22.38
Nov.	0.40	0.47	6.15	3.26	12.72	10.39
1988 Jan.	0.38	0.37	17.24	12.75	10.94	12.51
Mar.	0.72	ND	10.44	6.68	10.44	10.62
May	0.33	0.21	16.65	3.15	9.11	8.75
X±	0.46±	0.79±	9.08±	3.39±	10.49±	19.53±
SD	0.13	-1.04	6.25	3.41	1.20	15.41

ND : 0.001>, * : F<5.32($\alpha=0.05$), ** : F<11.26($\alpha=0.01$), heating season vs non-heating season, SA : Shinchon area

대입자에서 372.91 ng/g으로 가장 높았으나, 연평균은 161.00 ng/g으로 1-nitropyrene의 미세입자에서 대상 nitroarenes중 가장 높았다.

또한 2-nitronaphthalene은 미세 및 조대입자에서 각각 연평균 1.24 ng/g과 2.69 ng/g으로 가장 낮았다.

2. POC_N의 돌연변이원성

Table 5는 nitroarenes가 포함되어 있는 POC_N 분획의 돌연변이원성을 나타낸 것으로 각 plate당 250 μ g의 용량을 투여하였다.

전체적으로 신촌지역의 미세입자에서 대사활성화 돌연변이원성(이하 indirect acting mutagenicity)

Table 5. Comparison of Direct and Indirect Mutagenic Activities of POC_N Fraction Extracted from Neutral Fraction Using TA 98 between in Shinchon and Bulkwang Areas, Seoul. (rev/250 μg/plate)

Area	Period	Fine		Coarse	
		+S ₉	-S ₉	+S ₉	-S ₉
Shin- chon	1987 Jul.	304	84	57	49
	Sep.	100	66	276	104
	Nov.	476	159	112	47
	1988 Jan.	566	259	198	59
	Mar.	368	193	82	64
	May	123	78	NT	NT
	X± SD	322.8± 186.9	139.8± 77.2	145.0± 90.5	64.6± 23.1
Bul- kwang	1987 Jul.	695	113	105	35
	Sep.	169	60	118	30
	Nov.	452	130	106	43
	1988 Jan.	428	136	106	43
	Mar.	154	108	88	NT
	May	123	96	NT	NT
	X± SD	286.8± 153.2	107.2± 27.3	101.8± 12.0	40.8± 10.9

*B(a)p : +S₉-526 DMSO : +S₉-30
 (2 μg/plate)-S₉-22 -S₉-22
 NT : not test

연평균 322.8 rev/250 μg/plate로 가장 높았으며, 연평균 가장 낮은 돌연변이원성을 나타낸 곳은 불광지역의 조대입자중 미대사활성화 돌연변이원성(이하 direct acting mutagenicity)이 40.8 rev/250 μg/plate로 가장 낮았다.

미세입자가 조대입자에 비하여 전체적으로 높았으며, 신촌지역이 불광지역에 비하여 미세입자의 indirect acting mutagenicity는 1.1배 높았고, direct acting mutagenicity도 신촌지역이 불광지역에 비하여 조대입자에서 1.6배, 미세입자에서 1.3배가 높았다.

월별 돌연변이원성은 신촌지역에서 난방기가 2425 rev/250 μg/plate, 비난방기의 1402 rev/250 μg/plate에 비하여 1.7배 높았으며, 불광지역은 1812 rev/250 μg/plate, 1544 rev/250 μg/plate로

1.2배 높았다.

고 찰

Nitroarenes는 교통기관 및 난방에 의해 직접 대기로 방출되기도 하지만, 대부분이 PAHs와 NO₂, HNO₃가 연소과정의 높은 열과 자동차 엔진 등의 스파크 점화(spark ignition)에 의해 생성된다. 또한 대기중 nitroarenes는 태양열과 자외선에 의한 광화학반응(photochemical reaction)으로 생성 혹은 소멸되는 것으로 알려져 있다³¹⁻³³).

최근 서울시에서도 급격한 자동차의 증가와 더불어 차량 통행의 정체, 차량의 노후화, 높은 디젤 차량의 비율뿐 아니라 난방에서도 해마다 연료 사용량이 많아져 서울시의 nitroarenes의 오염도는 매우 클 것으로 예상된다.

본 연구에서 6종의 nitroarenes만을 조사대상으로 하여 신촌지역은 1-nitropyrene이, 불광지역은 2,7-dinitro-9-fluorenone이 가장 높은 오염도를 보여 해당지역의 차량통행수 및 상주인구 등 환경요인에 따라 주 발생 물질이 달라 차후 배출원에 대한 연구가 된다면 우선 순위에 따라 적절한 배출원 관리 방안이 제시될 것으로 생각된다.

입도별 nitroarenes의 오염도는 미세입자에서 높게 나타났으며, 조대입자에 비해 폐포 깊숙히 들어가 폐조직에 침착되므로³⁴) 인체에 더욱 유해할 것이다. 또한 11월, 1월 및 3월이 5월, 7월 및 9월에 비해 nitroarenes의 오염도가 높아 연료 사용량의 증가가 nitroarenes의 농도 증감에 큰 영향을 미친다는 것을 보여 주었다.

현재 대기중 발암물질을 평가하기 위한 방법으로 돌연변이원성을 측정하므로써 발암성과 관련짓고 있으며, 돌연변이원성을 갖고 있는 물질이 동물실험에서 발암성을 나타낼 가능성이 약 40%이며 역으로 발암성물질이 돌연변이를 일으킬 확률은 90% 이상 되는 것으로 알려져^{5,30,34}) 돌연변이원성은 발암성의 정도를 판단하는데 중요한 의미를 내포하고 있다.

Nitroarenes의 발암성 실험결과는 많은 편은

아니지만, 몇가지 물질에 대한 동물실험 결과 2-nitronaphthalene은 개와 원숭이에서 방광(bladder)에 증양을 발생시켰으며³⁵⁾ 2-nitrofluorene은 토끼에서 말단종양(distal tumor)를 일으켰고³⁶⁾ 1-nitropyrene은 토끼에서 피부종양(sarcomas)을 일으키는 것으로 보고되었다³⁷⁾.

앞의 mutagenicity의 전, 후 용량이 직선적인 용량 반응 곡선을 나타낸다고 가정하여 여기에 분자량을 곱하고 단위 중량당 돌연변이원성을 구한 후 신촌지역과 불광지역의 미세입자중 nitroarenes의 농도를 곱하여 대기중 nitroarenes의 돌연변이원성을 구하여 보면, 2,7-dinitro-9-fluorenone은 신촌과 불광지역에서 각각 37.10×10^5 rev/m³, 73.88×10^5 rev/m³의 돌연변이원성을 나타내며, 1-nitropyrene은 17.58×10^5 rev/m³, 13.89×10^5 rev/m³의 돌연변이원성을 나타내었다. 또한 2-nitronaphthalene은 8.42 rev/m³, 13.09 rev/m³으로 대기중 가장 낮은 돌연변이원성을 나타낸다.

대기중의 nitroarenes와 더불어 각종 대기오염물질의 배출원은 매우 다양하고 대기중 농도는 기상, 지형, 계절, 배출 시설의 규모 등 많은 영향 인자를 갖고 있다. 이 연구는 서울시 일부지역만을 대상으로 하였으나, 지역에 따른 측정 지점 등을 확대하여 지역별 오염실태와 난방연료 사용의 증가에 따른 오염도 변화량 등의 보다 자세한 장기적인 감시망(monitoring)을 설치함으로써 nitroarenes의 배출원 및 인체에 미치는 영향에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다. 이보다 선행되어야 할 것은 nitroarenes의 대기중 오염도를 파악해야 하며, 미생물뿐 아니라 동물실험에 까지 이르는 광범위한 독성평가가 내려져 적절한 수준에서 감시하고 규제할 수 있어야 하겠다.

결 론

본 연구는 대기부유분진중 돌연변이원성 물질인 nitroarenes 6종을 신촌지역과 불광지역에서 1987년 7월부터 1988년 5월까지 분진의 입경에 따라 동정, 정량하였으며, POC_N 분획의 돌연변이원성을

조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 조사기간중 신촌지역과 불광지역에서 미세입자 및 조대입자의 대기중 nitroarenes 6종의 오염도는 신촌지역에서 1-nitropyrene이 불광지역에서는 2,7-dinitro-9-fluorenone이 가장 높았다.

2. 입도별 nitroarenes 농도는 미세입자가 조대입자에 비하여 각각 68.26 ng/m³, 52.30 ng/m³으로 약 1.3배 높았다.

3. 연중 nitroarenes의 오염도는 난방 및 연료사용량이 증가하는 11월, 1월, 3월이 5월, 7월, 9월에 비하여 신촌의 경우 157.68 ng/m³, 80.39 ng/m³으로 약 2.2 정도 높았다.

4. POC_N 분획의 돌연변이원성에서는 신촌지역이 불광지역에 비하여 indirect acting mutagenicity에서 조대입자의 경우 145.0 rev/250 μg/plate, 101.8 rev/250 μg/plate로 약 1.4배 높았으며, 미세입자는 322.8 rev/250 μg/plate, 286.8 rev/250 μg/plate로 1.1배 높았다. 또한 direct acting mutagenicity도 신촌지역이 조대입자에서 1.6배, 미세입자에서 1.3배가 불광지역에 비하여 높았다.

5. POC_N 분획의 돌연변이원성의 월별로는 난방기인 11월, 1월, 3월이 2425 rev/250 μg/plate로 비난방기인 5월, 7월, 9월의 1402 rev/250 μg/plate에 비하여 신촌지역에서는 1.7배 높았으며, 불광지역은 각각 1812 rev/250 μg/plate, 1544 rev/250 μg/plate로 1.2배 높았다.

참 고 문 헌

1. Stern A.C.; Air pollution 3rd edit. (1977)
2. Pitts, J.N. Jr., Canwenberghe K.A., Grosjean D., Schmid J.P., Fitz D.R., Belser W.L., Krudson G. B. Jr., Hunds P.M.; Atmospheric reaction of polycyclic aromatic hydrocarbons: Facile formation of mutagenic nitro derivatives, Science, **202**, 515~519 (1979)
3. Hirayama T.; Mutagenicity of coal-pyrolyzed products and their photochemical reaction

- products with nitrogen oxides in *Salmonella typhimurium* TA 98 and TA 100, *Mut. Res.*, **149**, 25~32 (1983)
4. McCann J., Choi E., Yamasaki E., Ames B.N.; Detection of carcinogen as mutagens in *Salmonella* microsome test assay of 300 chemicals, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **72**, 5135~5139 (1975)
 5. Rinkus S.J., Legator M.S.; Chemical characterization of 465 known or suspected carcinogens and their correlation with mutagenic activity in *Salmonella typhimurium* system, *Cancer Res.*, **66**, 520~525 (1979)
 6. Rosenkranz H.S., Mermelstein R.; Mutagenicity and genotoxicity of nitroarenes: All nitro-containing chemicals were not created equal, *Mut. Res.*, **114**, 217~267 (1983)
 7. Fukino H.S., Mimura K.I., Yamane Y.; Mutagenicity of airborne particles, *Mut. Res.*, **102**, 237~247 (1982)
 8. Teranish K., Hamada K., Watanabe H.; Mutagenicity in *Salmonella typhimurium* mutants of the benzen soluble organic matter derived from airborne particulate matter and its five fractions, *Mut. Res.*, **56**, 273~280 (1978)
 9. Salmeen I., Durisin A.A.M., Prater T.J., Riley T., Schuetzle D.; Contribution of 1-nitropyrene to direct acting Ames assay mutagenicities of diesel particulate extracts, *Mut. Res.*, **104**, 17~23 (1981)
 10. Xu X.B., Arey J., Atkinson R., McEroy P.A.; Identification of 2-nitrofluorene in diesel exhaust particulates, *J. Appl. Toxicol.*, **1**, 196~198 (1981)
 11. Campbell J., Crumplin G.C., Garner J.V., Garner R.C., Martin C.N., Rutter A.; Nitrated polycyclic aromatic hydrocarbons: potent bacterial mutagens and stimulators of DNA repair synthesis in cultured human cells carcinogenesis, **2**, 559~565 (1981)
 12. Pederson T.C., Siak J.S.; The role of nitroaromatic compounds in the direct acting mutagenicity of diesel particle extracts, *J. Appl. Toxicol.*, **1**, 54~60 (1981a)
 13. Pederson T.C., Siak J.S.; The activation of mutagens in diesel particle extract with rat liver S₉ enzymes, *J. Appl. Toxicol.*, **1**, 61~66 (1981b)
 14. Pitts J.N. Jr., Lokengard D.M., Hanger W., Fisher T.S., Majia V., Schuler J.J., Scorziell G. M., Katzenstein T.A.; Mutagens in diesel exhaust particulate: Identification and direct activities of 6-nitro-benzo(a)pyrene, 9-nitroanthracene, 1-nitropyrene and 5H-phenanthro (4,5-bod) pyran-5-one, *Mut. Res.*, **103**, 241~349 (1982b)
 15. Klopman G, Rosenkranz H.S.; Structural requirements for the mutagenicity of environmental nitroarenes, *Mut. Res.*, **126**, 227~238 (1984)
 16. Hodgson E., Levi P.E.; A textbook of modern toxicology, Elsevier Science Publishin. Co. (1987)
 17. Howard P.C., Heflich R.H., Beland F.A.; Formation of DNA adducts in vitro and in *Salmonella typhimurium* upon metabolic reduction of the environmental mutagen 1-nitropyrene, *Cancer Res.*, **43**, 2052~2058 (1983)
 18. Rosenkranz H.S., Klopman G.; Structural basis of carcinogenicity in rodents of non-genotoxicants, *Mut. Res.*, **228**, 105~124 (1990)
 19. Hirayama T., Watanabe T., Akita M., Shimomura S., Fujioka Y., Ozasa S., Fukui S.; Relationships between structure of nitrated arenes and their mutagenicity in *Salmonella typhimurium*: 2-and 2,7-nitro substituted fluorene, phenanthrene and pyrene, *Mut. Res.*, **209**, 67~74 (1988)
 20. Peter, P.F., Ni Y.C., Zhang Y.M., Heflich R.H., Wang Y.K., Lai J.S.; Effect of the orientation of nitro substituent on the bacterial mutagenicity

- of dinitrobenzo(e)pyrene, *Mut. Res.*, **225**, 121~125 (1989)
21. Rodriguez H., Murison G.L.; Genotoxicity of 1-nitropyrene and 2,4,7-trinitro-9-fluorenone to mammalian cells, *Mut. Res.*, **240**, 73~81 (1990)
22. Sayama M., Mori M., Shinoda H., Kozuka H.; Comparison of mutagenicity and theoretical reactivity of 2,4-dinitrobenzaldehyde and 2,6-dinitrobenzaldehyde in bacterial mutation assay and molecular orbital method, *Mut. Res.*, **243**, 47~52 (1990)
23. Klopman G., Frierson M.R., Rosenkranz H.S.; The structural basis of the mutagenicity of chemicals in *Salmonella typhimurium*: The Gen-Tox Data Base, *Mut. Res.*, **228**, 1~50 (1990)
24. El-Bayoumy K., Hecht S.S.; Identification of trans-1,2-dihydro-1,2-dihydroxy-6-nitrochrysene as a major mutagenic metabolite of 6-nitrochrysene, *Cancer Res.*, **44**, 3408~3413 (1984)
25. Djuric Z., Fifer E.K., Beland F.A.; Acetyl coenzyme A-dependent binding of carcinogenic and mutagenic dinitropyrenes to DNA, *Carcinogenesis*, **6**, 941~944 (1985)
26. Peter P.F., Heflich R.H., Tungeln L.S.V., Yang D.T.C., Fifer E.K., Beland F.A.; Effect of nitro group conformation on the rat liver microsomal metabolism and bacterial mutagenicity of 2- and 9-nitroanthracene, *Carcinogenesis*, **7**(11), 1819~1827 (1986)
27. Ketseridis G., Hahn J.; Bestimmung der organischen Bestandteile von aerosolpartikeln aus reinluft, *Analy Chem.*, **273**, 257~261 (1975)
28. Moriske H.J., Wullenweber M., Ketseridis, Ruden H.; Untersuchungen zur mutagenen Wirksamkeit von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) und polaren organischen Verbindungen (POC_N) in Stadtaerosol, *Zbl. Bakt. Hyg., I Abt. Orig. B*, **176**, 508~518 (1982)
29. Maron D.M., Ames B.N.; Revised methods for the *Salmonella* mutagenicity test, *Mut. Res.*, **113**, 173~215 (1983)
30. Ames B.N., McCann J.; Validation of the *Salmonella* test: a reply to Rinkus and Legator, *Cancer Res.*, **41**, 4192~4196 (1981)
31. Yu M.L., Hites R.A.; Identification of organic compounds in diesel engine soot, *Anal. Chem.*, **53**, 951~954 (1981)
32. Henderson T.R., Sun J.D., Royer R.E., Clark C.R., Li A.P., Harvey W.R., Hunt D.H., Fulford J.E.; Triple-quadrupole mass spectrometry studied of nitroaromatic emission of different diesel engines, *Environ. Sci. Technol.*, **17**, 443~449 (1983)
33. Tokiwa H., Kitamori S., Nakagawa R., Horikawa K., Matamala L.; Demonstration of a powerful mutagenic dinitropyrene in airborne particulate matter, *Mut. Res.*, 107~116 (1983)
34. Rinkus S.J., Legaor M.S.; *Salmonella* revisited: a reply Ames and McCann, *Cancer Res.*, **41**, 4196~4203 (1981)
35. Poirier L.A., Weisburger E.K.; Selection of carcinogens and related compound tested for mutagenic activity, *J. Natl. Cancer Inst.*, **62**, 833~840 (1979)
36. Weisburger E.K., Weisburger J.H. Cheistry; Carcinogenicity and metabolism of 2-fluorenamine and related compounds, *Adv. Cancer Res.*, **5**, 331~431 (1958)
37. Ohgaki H., Matsukara N., Morino K., Kawachi T., Sugimura T., Morita K., Tokiwa H., Hirota T.; Carcinogenicity in rat of the mutagenic compounds 1-nitropyrene and 3-nitrofluoranthene, *Cancer Lett*, **15**, 1~7 (1982)