

대기중 부유분진에 함유된 유기물의 분획별 돌연변이원성

장재연·김박광·정 용*

서울대학교 약학대학, *연세대학교 환경공해연구소

(Received January 5, 1988)

Mutagenicity by Several Fractions of Organic Matter Extracted from Airborne Particulates Collected in atmosphere

Jae Yeon Jang, Bak-Kwang Kim and Yong Chung*

College of Pharmacy, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea and

*The Institute for Environmental Research, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

Abstract—The extractable organic matter was extracted from airborne particulates collected in Seoul during 1986. It was fractionated to several fractions and mutagenicities of them were tested in *Salmonella typhimurium* TA98 by Ames method. The neutral fraction showed the highest indirect acting mutagenicity while the highest direct acting mutagenicity was observed in the acidic fraction. Indirect acting mutagenicity of airborne particulate was attributed to its neutral fraction about 88% in average, to acidic about 10% in average and to basic fraction about 2% in average. Direct acting mutagenicity of airborne particulate was attributed to its neutral fraction about 70%, to acidic fraction about 29% and to basic fraction about 1%. Among five subfractions of neutral fraction, the proportion of mutagenicity of polynuclear aromatic hydrocarbon subfraction was 13.2% in indirect acting mutagenicity and 5.0% in direct acting mutagenicity.

대기중의 부유분진은 많은 오염물질의 복합체이며 강한 돌연변이원성 물질들을 함유하고 있다. Raat 는 대기중의 돌연변이원성이 발견되래 이 방면의 연구는 다음의 두 방향으로 발전하고 있다고 하였다. "그 하나는 돌연변이원성의 원인물질을 규명하기 위한 분석화학과 유전독성학의 결합이며 또 하나는 돌연변이원성을 대기오염 평가의 기준으로 사용하기 위한 연구방향이다. 2-6)

돌연변이원성 원인물질의 확인동정을 위한 연구들은 몇몇 연구자에 의한 연구들이 보고되고 있으나 부유분진의 구성성분의 종류가 매우 많고 각 성분들의 농도가 매우 낮기 때문에 지금까지 대부분의 연구들에서는 이들 성분들을 크게 몇개의 분획으로 나누어 각각의 돌연변이원성을 조사하였다. Teranishi는⁷⁾ 부유분진으로부터의 추출물을 liquid-liquid extraction 및 column chromatography를 이용하여 acidic, basic, aliphatic, polyaromatic, oxygenate fraction 등 5개 분획으로 나누어 ames

test를 행하고 aliphatic fraction은 돌연변이원성이 없고 basic fraction은 그 양이 적어 기여도가 적고 acidic, polyaromatic, oxygenate fraction이 중요한 역할을 한다고 보고하였다.

Wiest 등⁸⁾은 column chromatography를 이용하여 polyaromatic non-polar, aliphatic, polar fraction 등 3개 분획으로 나누어 polyaromatic non-polar fraction이 가장 활성이 크고 이것은 이 분획에 PAH류가 함유되어 있기 때문인 것으로 생각된다고 보고하였다. 그리고 polar fraction도 돌연변이원성을 가지나 aliphatic fraction은 돌연변이원성을 나타내지 않는다고 보고하였다. 그외에도 Raat,¹⁾ Moller 등도⁹⁾ 몇개의 분획으로 나누어 돌연변이원성을 조사한 결과를 보고하였다.

한편 대기중의 돌연변이원성에 관한 연구가 시작되기 이전부터 부유분진에 발암성이 높은 것으로 알려진 다핵 방향족 탄화수소류(PAH)가 존재함이 알려져 있고 이에 따라 PAH의 분석방법 및 대기중

에 존재하는 PAH의 동정, 대기중의 농도, 분포 등에 관해서 많은 연구가 이루어져 왔으며,¹⁰⁻¹⁵⁾ 또한 PAH류가 대기중의 부유분진의 돌연변이원성의 주요 원인일 것으로 생각되어져 왔다. 그러나 이들 대부분은 돌연변이원성 시험과는 별도로 진행된 것들이어서 부유분진의 돌연변이원성에 대한 PAH류의 기여도가 어느 정도인지도 알려져 있지 않다.

Wiest 등⁸⁾이 보고한 바와 같이 PAH에 의해 부유분진의 돌연변이원성이 설명되지 않자 그외에 PAH가 대기중에서 NO₂ 등과 반응해서 생성되는 것으로 알려진 nitro-PAH의 대기중의 존재확인에 관한 연구가 진행되고 있으나^{16,17)} cauwenberghe의 지적대로 대기중의 돌연변이원성의 상당부분이 설명이 불가능한 실정이다.¹⁸⁾

대기중의 부유분진의 인체에 대한 독성을 평가하고 이것과 대기오염에 의한 질병발생과의 관련성의 연구 및 그에 대한 저감대책을 수립하기 위해서는 돌연변이원성의 주요 원인물질이 규명되어야 하며 그 기여도가 평가되어야 한다.

지금까지의 연구들에서 부유분진에 함유되어 있는 유기물들을 몇개의 분획으로 나누어 상대적인 중요도를 평가하였으나 이들 연구들은 대부분 수회의 연구결과들로, 대기오염은 계절이나 기후조건 등에 따라 차이가 있다는 사실 등을 고려한 연구방법이나 고찰이 고려되어 있지 않고 각 분획의 상대적인 중요도 역시 정량화되어 있지 못하다. 서울시의 대기중에서도 돌연변이원성이 확인되었으며¹⁹⁻²¹⁾ 그 돌연변이원성이 1년중 계절에 따라 큰 차이를 보이고 있는 것으로 보고되었다.¹⁹⁾ 따라서 본 연구에서는 부유분진중에 함유된 유기물들을 몇개의 분획으로 나누어 각 분획의 농도 및 돌연변이원성을 월별로 조사하여 기여도를 정량화하고 또한 돌연변이원성의 주된 원인으로 생각되어 왔던 PAH류의 기여도를 평가하고자 한다.

실험방법

부유분진 시료의 채취—서울시 서대문구 신촌동의 한 지점에서 1986년 1월부터 12월까지 월 7회씩 각 24시간 동안 high volume cascade impactor (KIMOTO Model-130)를 사용하여 시료를 채취하였다. 우천 후 2일간은 대기중 부유분진의 세정효과

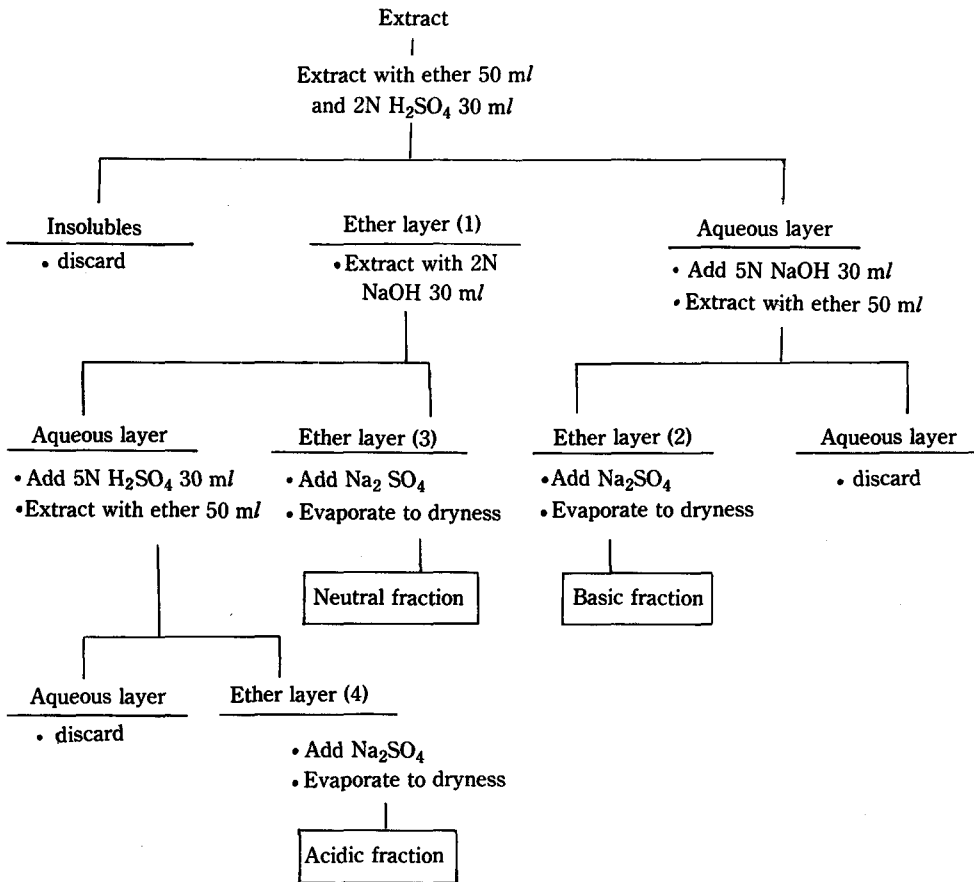
를 감안하여 시료채취를 하지 않았으며 8월중에는 잦은 우천으로 인하여 시료를 채취하지 않았다. 기타 상세한 방법은 앞서 보고한 저자 등의 방법대로 행하였다.¹⁹⁾

유기물의 추출 및 분획—서울시 조사지점의 부유분진중의 돌연변이원성은 거의 대부분이 입경 2.5 μm 이하의 미세입자에 함유되어 있는 것으로 밝혀졌기 때문에 미세입자만을 대상으로 하여 ether와 cyclohexane의 혼합용매(8:2, v/v)를 사용하여 초음파 추출하였다.

부유분진으로부터 추출된 유기물(extractable organic matter: EOM)을 Scheme 1에 표시한 방법에⁷⁾ 의해 3개 분획으로 나누었다. EOM을 50ml의 ether에 녹이고 분획깔대기로 옮겨 30ml의 2N H₂SO₄로 산성화시킨 다음 5분간 격렬하게 흔들어 주었다. 수층은 다른 분획깔대기에 옮기고 5N NaOH 30ml를 가한 후 중화반응에 의해 생성되는 열을 식힌 다음 ether 50ml를 가하고 5분간 흔들어 주었다. Ether층(2)을 취하여 Na₂SO₄ column을 통과시켜 탈수하고 증발 건조시켜 염기성 분획을 얻었다.

앞의 ether층(1)에는 2N NaOH 30ml를 가하고 5분간 흔들어 주었다. 수층은 다른 분획깔대기에 옮기고 ether층은 Na₂SO₄ column을 통과시켜 탈수하고 증발 건조시켜 중성분획을 얻었다. 수층에는 5N H₂SO₄ 50ml를 가하여 산성화시킨 다음 ether 50ml를 가하여 5분간 흔들어 주었다. 수층을 버리고 ether층을 Na₂SO₄ column을 통과시킨 다음 증발 건조시켜 산성분획을 얻었다.

중성분획의 세분분획—중성분획은 preparative TLC에 의해 더 세분하였다. 고정상으로 silica gel을 1mm 두께로 입힌 20cm×20cm plate를 사용하였다. 전개용매는 1차로 benzene, toluene, cyclohexane, n-hexane(56:4:32:8)의 혼합용매를 사용하여 5개 분획으로 나누었다. 1번분획은 uv광에 의해 형광을 나타내지 않는 부분 및 약한 파란색 형광을 나타낸 부분으로 각종 포화, 불포화 지방족 화합물 및 저분자 방향족 화합물들이 존재하는 분획이다. 2번분획은 PAH 표준물질들과 R_f치가 일치하는 부분으로 fluorene과 일치하는 부분을 상단으로 하고, coronene과 일치하는 부분을 하단으로 한 것으로 uv빛에 의해 파란색, 주황색 등의 형



Scheme 1—Separation scheme of the extractable organic mater from suspended particulates.

광을 나타내는 부분이다. 3, 4, 5번 분획들은 PAH 류에 비해 극성이 큰 물질들이 존재하는 분획들로, TLC상에서 band가 뚜렷이 나타나는 몇부분을 기준으로 하여 나누는 것이다. 각 분획에 해당하는 고정상을 끊어 diethylether, cyclohexane으로 추출하였다. 추출액을 원심분리시키고 여과하여 silica gel을 제거한 후 농축하였다.

돌연변이원성 측정—돌연변이원성은 ames test를 사용하였으며 균주는 *salmonella typhimurium* TA 98을 사용하였으며 기타 상세한 방법은 ames가 제시한 방법²²⁾에 근거하여 앞서 보고한 저자 등의 방법¹⁹⁾에 의하여 행하였다. 시료는 DMSO에 녹여 시험용액을 0.1ml 취했을 때 plate당 EOM, 산성분획, 염기성분획, 중성분획의 경우 250 µg이 되도록 농도를 조절하였고 이들 분획을 TLC를 이

용하여 더 세분한 분획은 100 µg이 되도록 조절하였다. 이 용량은 예비실험의 결과 이 용량 전후에서 linear한 dose-response 관계를 나타내는 것을 확인한 용량이다. 시험용액은 실험전 4°C 암소에서 보관하였다.

결과 및 고찰

월별로 입경 2.5 µm 이하의 미세입자에서 추출된 유기물을 산성분획, 염기성분획, 중성분획으로 나눈 결과를 각 분획에 해당하는 유기물의 대기중 농도로 나타낸 것과 3개 분획으로 나누어진 유기물의 총량에 대한 각 분획의 비율을 Table I에 나타내었다.

산성분획은 12월에 2.56 µg/m³로 가장 높았고 7월에 0.12 µg/m³로 가장 낮았다. 염기성 분획은

Table I—Atmospheric concentrations of three organic fractions of extractable organic matters collected in Seoul, 1986.

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

Fraction Month	Acidic		Basic		Neutral	
	+S9*	-S9**	+S9*	-S9**	+S9*	-S9**
Jan.	1.56 (17.7)	0.24 (2.7)	7.01 (79.6)			
Feb.	1.50 (19.4)	0.12 (1.5)	6.13 (79.1)			
Mar.	0.72 (9.8)	0.17 (2.3)	6.47 (87.9)			
Apr.	0.66 (11.6)	0.10 (1.7)	4.95 (86.7)			
May	0.55 (17.9)	0.09 (2.9)	2.43 (79.2)			
Jun.	0.28 (11.7)	0.39 (16.2)	1.73 (72.1)			
Jul.	0.12 (7.9)	0.19 (12.4)	1.22 (79.7)			
Sep.	0.28 (16.7)	0.05 (3.0)	1.35 (80.3)			
Oct.	0.59 (24.1)	0.08 (3.3)	1.78 (72.6)			
Nov.	1.55 (19.3)	0.22 (2.7)	6.26 (78.0)			
Dec.	2.56 (31.6)	0.07 (0.8)	5.48 (67.6)			
M*	0.94	0.16	4.07			
\pm SD	± 0.75	± 0.10	± 2.35			

*: mean \pm standard deviation

6월에 $0.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고 12월에 $0.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮았다. 중성분획은 1월에 $7.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최고값을, 7월에 $1.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최저값을 나타내었다.

산성분획과 중성분획은 겨울철이 매우 높았으며 여름철로 갈수록 급격히 감소하고 다시 겨울철로 가면서 증가하는 계절에 따른 주기적인 변화를 보였다. 반면에 염기성분획은 그 양도 산성분획이나 중성분획에 비해 매우 적었고 계절적인 변화도 뚜렷하지 않았다.

각 분획이 전체 합에서 차지하는 비율을 보면 중성분획 유기물이 월별로 최저 67.6%에서 최고 87.9%로 가장 높은 비율을 보였다. 산성분획은 7.9-31.6%이었으며 염기성분획은 0.8-16.2%로 가장 낮은 비율을 차지하였다. 각 분획이 전체에서 차지하는 비율은 월별로 다소 차이가 있으나 큰 차이는 보이지 않았으며 계절적인 특징도 보이지 않았다.

Table II는 각 분획의 일정 중량당 돌연변이원성의 강도를 나타낸 것으로 plate당 $250 \mu\text{g}$ 을 시험한 결과를 revertant 수로 나타낸 것이다. 염기성분획과 중성분획은 조사기간중 모든 달에서 indirect acting mutagenicity(I. M.)가 direct acting

Table II—Mutagenic activities of three organic fractions of extractable organic matters collected in Seoul, 1986.

unit: revertant/250 μg /plate

Fraction Month	Acidic		Basic		Neutral	
	+S9*	-S9**	+S9*	-S9**	+S9*	-S9**
Jan.	1078	812	1308	182	1200	369
Feb.	778	549	1142	138	1301	306
Mar.	530	558	936	136	986	226
Apr.	585	522	684	117	678	194
May	726	606	294	142	1337	375
Jun.	492	553	88	53	647	216
Jul.	61	95	105	63	593	224
Sep.	565	505	737	322	1203	222
Oct.	510	390	783	233	920	287
Nov.	561	477	784	139	878	264
Dec.	436	457	2570	337	1208	341
M***	575	502	857	169	996	275
\pm SD	± 248	± 172	± 690	± 93	± 273	± 65

*: with S9 (indirect acting mutagenicity)

** : without S9 (direct acting mutagenicity)

***: mean \pm standard deviation

mutagenicity (D. M.)보다 훨씬 강한 것으로 나타났다. 염기성분획은 I. M.의 평균값이 857로 D. M.의 평균값 169에 비해 약 5.1배 높았으며 중성분획도 I. M.의 평균값이 996로 D. M.의 평균값 275에 비해 약 3.6배이었다. 반면에 산성분획은 I. M.의 평균값이 575로 D. M.의 502와 비슷한 값을 보였으며 paired t-test를 행한 결과 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 각 분획들의 I. M.은 중성분획, 염기성분획, 산성분획의 순이었으나 통계적으로 중성분획과 산성분획의 차이만이 유의하였고 (p=0) 중성분획과 염기성분획, 염기성분획과 산성분획의 차이는 통계적인 유의도가 낮았다 (p=0.46, p=0.19). D. M.은 산성분획이 가장 높았고 중성분획, 염기성분획의 순이었으며 각각의 차이는 통계적으로도 모두 유의하였다.

이상의 결과에서 산성분획은 D. M.을 나타내는 물질들이 많이 함유되어 있고 염기성분획은 강한 I. M.을 나타내는 물질들이 주를 이루고 있고 중성분획도 I. M.을 나타내는 물질들의 돌연변이원성이 상대적으로 큰 것으로 생각된다.

Table III과 IV는 각 분획의 일정 중량당 돌연변이원성의 강도와 Table I의 각 분획의 대기중 농도

Table III—Indirect acting mutagenicities of three organic fractions of extractable organic matter collected in Seoul, 1986.

Fraction Month	unit: revertant/m ³ (%)		
	Acidic	Basic	Neutral
Jan.	6.34 (16.0)	1.18 (3.0)	32.07 (81.0)
Feb.	4.33 (12.2)	0.55 (1.6)	30.51 (86.2)
Mar.	1.36 (5.2)	0.60 (2.3)	24.10 (92.5)
Apr.	1.40 (10.0)	0.25 (1.8)	12.33 (88.2)
May	1.48 (10.5)	0.09 (0.6)	12.43 (88.8)
Jun.	0.48 (10.4)	0.05 (1.0)	4.09 (88.6)
Jul.	0.002 (0.1)	0.04 (1.5)	2.62 (98.4)
Sep.	0.57 (8.3)	0.13 (1.9)	6.18 (89.8)
Oct.	1.08 (14.4)	0.24 (3.2)	6.16 (82.3)
Nov.	3.13 (12.9)	0.65 (2.7)	20.59 (84.5)
Dec.	3.91 (13.1)	0.70 (2.3)	25.24 (84.6)
M*	2.19	0.41	16.30
±SD	±1.98	±0.36	±10.90

*: mean ± standard deviation

Table IV—Direct acting mutagenicities of three organic fractions of extractable organic matter collected in Seoul, 1986.

Fraction Month	unit: revertant/m ³ (%)		
	Acidic	Basic	Neutral
Jan.	4.78 (34.3)	0.13 (0.9)	9.03 (64.8)
Feb.	3.01 (31.9)	0.04 (0.5)	6.98 (67.6)
Mar.	1.47 (23.9)	0.06 (0.9)	4.66 (75.2)
Apr.	1.26 (30.0)	0.03 (0.6)	2.91 (69.4)
May	1.23 (27.6)	0.04 (0.9)	3.18 (71.5)
Jun.	0.55 (31.8)	0.01 (0.6)	1.17 (67.6)
Jul.	0.02 (2.2)	0.01 (1.1)	0.86 (96.7)
Sep.	0.51 (34.3)	0.05 (3.7)	0.94 (62.0)
Oct.	0.82 (31.7)	0.06 (2.3)	1.71 (66.0)
Nov.	2.66 (32.5)	0.08 (1.0)	5.44 (66.5)
Dec.	4.21 (39.3)	0.08 (0.7)	6.44 (60.0)
M*	1.87	0.05	3.94
±SD	±1.58	±0.03	±2.82

*: mean ± standard deviation

로부터 얻은 대기 일정 부피에 존재하는 각 분획에 의한 돌연변이원성을 표시한 것이다.

산성분획 유기물에 의한 I.M.은 1월에 6.34

revertant/m³로 가장 높은 값을 보였으며 7월에 0.002 revertant/m³로 가장 낮은 값을 보였다. 염기성분획 유기물에 의한 I.M.은 1월에 1.18 revertant/m³로 가장 높았으며 7월에 0.04 revertant/m³로 가장 낮은 값을 나타내었다. 중성분획 유기물에 의한 I.M.도 1월에 가장 높은 값을 보여 32.07 revertant/m³의 값을 나타내었으며 7월에 2.62 revertant/m³로 가장 낮은 값을 나타내었다.

각 분획의 I.M.의 계절적인 변화는 3개 분획 모두 겨울철에 높고 여름철로 갈수록 현저히 낮아지는 뚜렷한 계절에 따른 차이를 보였다.

각 분획의 유기물에 의한 I.M.이 세 분획 유기물에 의한 I.M.의 합에서 차지하는 비율은 중성분획이 가장 높아 평균 87.7% (81.0-98.4%)를 차지하였으며 산성분획이 평균 10.3% (0.1-16.0%)로 다음으로 높았고 염기성분획은 평균 2.0% (0.6-3.2%)로 가장 낮았다. 각 분획이 차지하는 비율은 월별로 다소 차이는 있으나 큰 차이는 아니었으며 계절에 따른 특징적인 차이는 보이지 않았다.

D.M.은 산성분획에 의한 것이 1월에 4.78 revertant/m³로 가장 높았고 7월에 0.02 revertant/m³로 가장 낮았으며 염기성분획에 의한 것은 1월에 가장 높아 0.13 revertant/m³이었으며 6, 7월에 0.01 revertant/m³로 가장 낮았다. 중성분획에 의한 것도 1월에 가장 높아 9.03 revertant/m³이었으며 7월에 0.86 revertant/m³로 가장 낮았다.

중성분획과 염기성분획의 경우는 D.M.의 평균값이 3.94, 0.05 revertant/m³로 I.M.의 평균값 16.03, 0.41 revertant/m³에 비해 현저히 낮은 반면에 산성분획은 D.M.의 평균값이 1.87 revertant/m³으로 I.M.의 2.19 revertant/m³와 비슷한 값을 보였다.

세 분획에 의한 D.M. 모두 I.M.과 같은 계절에 따른 변화를 보여 겨울철에 높고 여름철로 갈수록 현저히 낮아지는 경향을 보였다. 각각의 분획에 의한 D.M.이 전체의 D.M.의 합에 대해서 차지하는 비율은 중성분획에 의한 것이 7월에 96.7%로 크게 높은 것을 제외하고는 60.0-75.2%를 차지하였다. 반면에 산성분획에 의한 것이 7월에 2.2%로 매우 낮은 것을 제외하고는 모든 달에서 27.6-39.3%를 차지하여 I.M.의 경우와는 달리 그 비중이 상대적으로 높았다. 염기성분획에 의한 것은 0.5-3.7%를

차지하여 I. M.의 0.6-3.2%를 차지하는 것과 큰 차이를 보이지 않았다. 각 분획이 전체에서 차지하는 비율은 7월 이외에는 비슷한 값을 보였다.

앞의 연구결과에서 대기중 부유분진에 포함된 돌연변이원성 물질들은 상당부분이 중성분획에 함유되어 있었다. 중성분획에는 포화탄화수소류, 불포화탄화수소류, benzene 및 naphthalene과 그 유도체, PAH류, O-hetero hydrocarbon, epoxide, epoxide ester, quinone, aldehyde, ketone 등 많은 종류의 화합물들이 포함되어 있는 것으로 알려져 있는데,²³⁾ 지금까지는 PAH류가 중성분획의 돌연변이원성이 주요 원인물질인 것으로 예상해왔다. 본 연구에서는 중성분획을 PAH를 비롯한 5개의 분획으로 세분하여 이들이 중성분획의 돌연변이원성에서 차지하는 비율을 알아보았다. Table V는 중성분획의 TLC에 의한 세분 분획들의 중량비, 일정량에 의한 돌연변이원성 강도 및 중성분획 전체에 대한 기여도 등을 실험한 결과이다.

양적으로 가장 많은 것은 R_f치 0.60-1.00에 해당하는 1번분획으로 전체 중성분획의 49.1%를 차지하였고 R_f치 0.30-0.52에 해당하는 3번분획이 3.4%로 가장 적었다.

각 분획의 단위량(100 μg)에 의한 돌연변이원성의 강도는 D. M.과 I. M. 모두 3번분획이 가장 높았고 aliphatic compound들이 위치하는 1번분획은 지금까지 보고된 다른 연구들과^{7,8)} 같이 돌연변이원성이 거의 없었다. 2번분획은 I. M.가 286 rever-

tant/plate로 D. M.의 39 revertant/plate에 비해 7.3배로 나타나 I. M.이 주를 이루고 있는 분획으로 생각된다. 이것은 이 분획에 함유된 물질들이 I. M.의 대표적인 PAH류가 포함되어 있는 것으로 확인된 사실과 일치하였다. 반면에 4번분획은 I. M.이 402 revertant/plate로 D. M.의 244 revertant/plate에 비해 1.6배로 둘간의 비가 가장 낮은 분획으로, D. M.이가 큰 비중을 차지하는 분획으로 여겨진다. 이분획은 9-fluorene, anthraquinone, benzanthrone 등의 oxygenated compound, dibutylphthalate 등을 비롯한 phthalate 화합물 및 1-nitropyrene, 2-nitrofluorene 등의 니트로 화합물 등이 함유된 것으로 확인된 분획이다.

중성분획 돌연변이원성에 대한 각 분획의 비율은 4번분획이 가장 높아 I. M.의 경우 32.4%, D. M.의 경우 54.1%를 차지하는 것으로 나타났다. 반면에 PAH류가 함유되어 있는 2번분획은 indirect mutagenicity의 13.2% D. M.의 5.0%를 차지하는 것으로 나타났고 3번, 5번분획은 비슷한 값을 나타내 각기 I. M.의 26.8%와 27.6%, D. M.의 20.9%, 20.0%를 차지하였다.

지금까지 중성분획의 돌연변이원성의 주요 원인이 PAH류인 것으로 알려져 있었으나 본 연구결과에 의하면 PAH류 및 방향족 탄화수소류보다 oxygenated compound 및 nitro PAH 등이 위치하는 4번분획이 중성분획의 돌연변이원성의 큰 부분을 차지하였다.

결 론

1986년 1년 동안 매월 7일씩 서울시 한지점에서 대기중의 부유분진을 채취하여 그중에 함유되어 있는 유기물을 추출하고 몇개의 분획으로 나누어 그 농도 및 각각의 돌연변이원성을 시험하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 부유분진의 총 유기추출물에 대한 3개 분획의 비율은 중성분획이 67.6-87.9%로 가장 높았고 산성분획이 7.9-31.6%이었으며 염기성분획이 0.8-16.2%로 가장 낮았다. 각 분획 유기물의 대기중 농도는 산성분획이 0.12-2.56 μg/m³, 염기성분획이 0.07-0.39 μg/m³, 중성분획이 1.22-7.01 μg/m³이었으며 모두 겨울철이 높고 여름철로 갈수록

Table V—The mutagen activity of subfraction of neutral fraction organic in suspended particulates.**

fraction no.	R _f value	weight percentage (%)	net revertant colonies activity per plate per 100ug percentage (%)			
			+S9	-S9	+S9	-S9
1	0.60-1.00	49.1	0	0	0.0	0.0
2	0.52-0.60	9.6	286	39	13.2	5.0
3	0.30-0.52	3.4	1624	466	26.8	20.9
4	0.04-0.30	16.8	402	244	32.4	54.1
5	0.00-0.04	21.1	273	72	27.6	20.0

* values for individual fractions are expressed as the percentage activity of the mutagenicity of the whole neutral fraction.

** average of three experiment: three plate per one experiment.

낮아지는 양상을 보였다.

2. 각 분획 유기물의 돌연변이원성의 indirect acting mutagenicity는 중성분획이 평균 996 revertant/250 μ g으로 가장 높았으며 direct acting mutagenicity는 산성분획이 평균 502 revertant/250 μ g로 가장 높았다.

3. 미세입자의 돌연변이원성은 indirect acting mutagenicity의 경우 중성분획에 평균 87.7% (81.0-98.4%)로 대부분 포함되어 있고 산성분획에 평균 10.3% (0.1-16.0%), 염기성분획에 평균 2.0% (0.6-3.2%)가 포함되어 있었다. Direct acting mutagenicity는 중성분획에 평균 69.8% (60.0-96.7%), 산성분획에 평균 29.0% (2.2-39.3%), 염기성분획에 평균 1.2% (0.5-3.7%) 정도 포함되어 있었다. 세 분획 유기물에 의한 돌연변이원성은 계절에 따른 변화가 큰 반면 각각의 비율은 대부분 비슷하였다.

4. 중성분획을 5개 분획으로 세분하여 돌연변이원성을 조사한 결과 aliphatic compound들이 위치하는 분획은 돌연변이원성을 나타내지 않았고 PAH 화합물들이 위치하는 분획은 각 분획의 indirect acting mutagenicity합의 13.2%, direct acting mutagenicity합의 5.0%를 차지하였고 그보다 극성이 큰 3번, 4번, 5번분획이 중성분획의 돌연변이원성에 대한 비중이 높았다.

문 헌

- Raat, K.W.: Genotoxicity of aerosol extracts. Some methodological aspects and the contribution of urban and industrial locations. *Mutat. Res.* **116**, 47 (1983).
- Tokiwa, H., Marita, K., Takeyoshi, H., Takahashi, K. and Ohnishi, Y.: Detection of mutagenic activity in particulate air pollutants. *Mutat. Res.* **48**, 237 (1977).
- Pitts, N.J., Harger, W., Lokensgard, M.D., Pstz, R.D., Scorziell, M.G. and Mejia, V.: Diurnal variations in the mutagenicity of airborne particulate organic matter in California's south coast air basin. *Mutat. Res.* **104**, 35 (1982).
- Alink, M.G., Smit, A.H., van Houdt, J.J., Kolkman, R.J. and Boleij, J.S.M.: Mutagenic activity of airborne particulates at non-industrial location. *Mutat. Res.* **116**, 21 (1983).
- Daisey, M.J., Kneip, J.T., Hawryluk, I. and Mukai, F.: Seasonal variations in the bacterial mutagenicity of airborne particulate organic matter in New York City. *Environ. Sci. Technol.* **14**, 1487 (1980).
- Pitts, N.J., Jr. Sweetman, A.J., Harger W., Fitz, R.D., Paur, H. and Winer, M.: Diurnal mutagenicity of airborne particulate organic matter adjacent to heavily traveled west Los Angeles freeway. *J. Air Pollut. Contr. Assoc.* **35**, 638 (1985).
- Teranish, K., Hamada, K. and Watanabe, H.: Mutagenicity in *Salmonella typhimurium* mutants of the benzene-soluble organic matter derived from airborne particulate matter and its five fractions. *Mutat. Res.* **56**, 273 (1978).
- Wiest, F., Rondia, D., Winkler, G. and Gielen, J.: Mutagenic activity of non-volatile organic matter associated with suspended matter in urban air. *Mutat. Res.* **104**, 201 (1982).
- Moller, M. Aifheim, I., Larssen, S. and Mlkaalsen, A.: Mutagenicity of airborne particles in relation to traffic and air pollution parameters. *Environ. Sci. Technol.* **16**, 221 (1982).
- Naikwadi, P.K., Charbonneau, M.G. and Karasek, W.F.: Separation and identification of organic compounds in air particulate extracts by HPLC and gas chromatography-mass spectrometry. *J. of Chromatography* **398**, 227 (1987).
- Lee, L.M. and Novotny, M.: Gas chromatography/mass spectrometric and nuclear magnetic resonance determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in airborne particulates. *Anal. Chem.* **48**, 1556 (1976).
- Choudhury, R.D. and Bush, B.: Chromatographic-Spectrometric identification polynuclear aromatic hydrocarbons. *Anal. Chem.* **53**, 1351 (1981).
- M. Dong M. and Locke, C.D.: High pressure liquid chromatographic method for routine analysis of major parent polynuclear aromatic hydrocarbons in suspended particulate matter. *Anal. Chem.* **48**, 368 (1976).
- Lao, C.R., Thomas, S.R., Oja, H. and Dubois, L.: Application of gas chromatograph-mass spectrometer-data processor combination to the analysis of the polycyclic aromatic hydrocarbon content of air

- borne pollens. *Anal. Chem.* **45**, 908 (1973).
- 15) 장재연, 김박광, 정 용, 조성준: 서울시 대기중 다핵방향족 탄화수소류의 분리 및 동정. *한국대기보전학회지* **4**, 47(1988).
 - 16) Jager, J.: Detection and characterization of nitro derivatives of some polycyclic aromatic hydrocarbons by fluorescence quenching after thin-layer chromatography: application to air pollution analysis. *J. of Chromatography* **152**, 575 (1978).
 - 17) Ramdahl, T., Becher, G. and Bjorseth A.: Nitrated polycyclic aromatic hydrocarbons in urban air particles. *Environ. Sci. Technol.* **16**, 861 (1982).
 - 18) Cauwenberghe, V.K. and Vaeck, V.L.: Toxicological implications of the organic fraction of aerosols: a chemist's view. *Mutat. Res.* **116**, 1 (1983).
 - 19) 장재연, 김박광, 조성준, 정 용: 서울시 대기중 부유분진의 입도별 돌연변이원성의 월변화. *약학회지* **32**, 362(1988).
 - 20) 차철환, 김영환, 김재성: 서울시 대기오염물질의 돌연변이원성에 관한 연구. *환경보전협회지* **4**, 167(1983).
 - 21) Chung, Y.: Physio-chemical nature and mutagenic activity of ambient dust in Seoul. *Yonsei Medical Journal* **28**, 52 (1987).
 - 22) A.C. Stern C.A., Boubel, W.R., Turner, B.D. and Fox, L.D.: *Fundamentals of air pollution*, New York, p. 368 (1984).
 - 23) Maron, D.M. and Ames, N.B.: Revised methods for the *Salmonella* mutagenicity test. *Mutat. Res.* **113**, 173 (1983).