韓國大氣保全學會誌 第 4 卷 第 2 號
J KAPRA 4-2(1988) pp. 47 - 56

서울시 대기중 다핵방향족 탄화수소류의 분리 및 동정

Isolation and Identification of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in Seoul Atmosphere

장 재 연*, 김 박 광*, 정 용**, 조 성 준**
Jae-Youn Jang, Bag-Kwang Kim, Yong Chung, Seong-Joon Cho

ABSTRACT

Polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH_S) in Seoul atmosphere were isolated and identified. PAH fraction was isolated from airborne suspended particulates by solvent extraction, fractionation and thin layer chromatography. PAHs were identified by GC-MS, capillary GC, retention index and so on. About 70 major PAH_S were seperated in capillary GC and 41 PAH_S of those were identified.

1. 서 론

대기중의 입자상 물질은 각종 발암물질을 비롯한 유해물질들을 함유하고 있어 인체에 많은 악영향을 미칠 것으로 예상되어 왔다.[1] Lave 등은 도시지역에서 교외지역에 비해 폐암에 의한 사망률이 높고 이것은 대기오염, 그중에서도 입자상 물질에 흡착되어 있는 발암물질에 의한 것으로 추정하였다.[2] 이에 따라 입자상 물질에 함유된 유해물질들의 종류 및 그 오염도에 대한 많은 연구들이 발표되었다.

그중에서도 다핵방향족 탄화수소류(polynuclear aromatic hydrocarbons : 이하 PAH)는 강한 발암성을 가진 화합물들이 많고 자연중에 널리 분포하고 있어 가장 많은 연구가 이루어졌다.[3-6] PAH는 자연중에 박테리아, 조류, 식물등에 의해 생합성된다는 보고도 있으나[7], 대기중에 존재하는 PAH는 주로 유기물의 불완전 연소로부터 생성되는 것으로 화석연료의 연소, 폐기물의 소각, 자동차의 배기가스, 식품의 조리, 담배연기등에 의해 배출되는 것으로 알려져 있다.[6]

PAH는 많은 이성체가 존재하는데, benzo(a)pyrene은 매우 강력한 발암물질인데 반하여 benzo(e)pyrene은 약한 발암물질인것 같이 구조에 따라 생물학적 활성이 크게 다르다. 이와같은 이유 때문에 최근 10여년간 환경중의 PAH의 고분리분석이 급격히 발전되어 왔다. PAH의 확인, 분석은 주로 gas chromatography (GC), gas ch-

* 서울대학교 약학대학, (College of Pharmacy, Seoul National University.)
** 연세대학교 환경공해연구소, (The Institute for Environmental Research, Yonsei University.)

romatography-mass spectrometry (GC-MS) 및 liquid chromatography 등이 사용되는데 환경성 시료들은 특히 매우 많은 화합물들이 함유되어 있기 때문에 PAH의 각 이성체를 충분히 분리하고 각 물질들을 확인동정하기 위해서는 capillary GC-MS가 필수적이어서 대부분의 신빙성있는 연구들은 모두 이 방법을 사용하고 있다.[3-6] Lee 등은[4] 미국의 Indianapolis에서 120여종의 PAH를 확인하였고 Giger 등은[5] 스위스의 Dübendorf에서 22종의 PAH를 확인하였으며 Lao 등은[3] 카나다에서 70여종의 PAH를 확인하였다.

우리나라에서는 대기중의 PAH중 몇종류를 정량한 예가 있으나[8-9] 대기중에 존재하는 PAH를 확인, 동정한 연구가 없다. 따라서 본 연구에서는 서울시 대기를 대상으로 대기중에 존재하는 PAH의 종류를 capillary GC와 GC-MS 등을 이용하여 확인하였다.

2. 실험방법[10]

가. 시료의 채취

부유분진은 서울시 서대문구 신촌동에서 high volume air sampler를 사용하여 glass fiber filter (8×10 inches)에 채취하였다. 1986년에 연중 매월 1주일씩 채취한 시료중 계절별로 임의로 선택하여 합친 것을 대상으로 실험하였다.

나. 추 출

부유분진을 채취한 필터를 잘게 세분하고 diethyl ether와 cyclohexane의 혼합용매(8:2,v/v)를 추출용매로 하여 ultrasonicator로 15분씩 2회 추출하였다. 추출액을 합쳐 rotary vaccum evaporator를 농축하였다.

다. PAH분획의 분리

농축액을 50㎖의 diethyl ether에 녹이고 2N H_2SO_4 30㎖를 가하여 5분간 흔들어 준 다음 방치하여 ether 층을 취하였다. 여기에 다시 2N NaOH 30㎖를 가하고 같은 방법으로 ether 층을취한 후 Na_2SO_4로 탈수시키고 증발건고하여 중성분획을 얻었다. 중성분획을 TLC를 이용하여 세분하여 PAH분획을 얻었다. 고정상으로 silica gel을 1㎜두께로 입힌 20㎝ × 20㎝ plate를 사용하였으며 전기용매는 benzene, toluene, cyclohexane, n-hexane의 혼합용매 (56:4:32:8, v/v)를 사용하였다. PAH표준물질과 rf치를 비교하여 fluorene 표준물질과 rf치가 일치하는 부분을 상단으로 하고 coronene과 일치하는 부분을 하단으로 하여 PAH분획을 얻었다. 이 부분은 uv빛에 의해 파란색 및 주황색의 형광을 나타내었으며 rf치는 0.52 ~ 0.60에 해당하였다. PAH분획에 해당하는 부분의 silica gel을 긁어 diethyl ether와 cyclohexane으로 추출하고 추출액을 여과하여 silica gel을 제거한 후 농축하였다.

라. GC-MS 및 GC

GC-MS는 Hewlett Packard Co의 5988A GC/MS system을 사용하였다. capillary column은 SE-30 (17 m length, 0.25 mm i.d., 0.33 μm thickness)을 사용하였으며 주입부와 검출기의 온도는 330℃로 하고 column의 온도는 초기온도를 140℃, 최종온도를 300℃로하여 분당 5℃씩 승온시켰다. mass spectrum은 NBS library searching을 하였으며 표준품이 있는 PAH들은 표준품의 mass spectrum과 비교하였다.

GC는 shimadzu GC-7AG에 CLH-702 capillary Solumn holder와 injection system을 부착하여 사용하였으며 capillary column은 CBP-5 (25 m length, 0.2㎜ i.d., 0.25 μm thickness)를 사용하였다. column의 온도는 90℃를 초기온도로 하고 분당 4℃씩 승온시켜 300℃에서 30분간 유지하였다. 검출기는 flame ionization detector를 사용하였다.

3. 결 과

그림 1은 PAH분획을 시료로 한 GC-MS의 TIC (total ion chromatogram)이다. 이 chromatogram에 나타난 피크중 번호로 표시한 71개 피크에 대해 mass spectrum을 얻었다. 대부분의 피크들의 spectrum에서 분자이온이 강하게 나타나 대부분의 경우 base peak이었으며 동시에 $(M+1)^+$, $(M-1)^+$, $(M-2)^+$ 이온들이 강하게 나타났으며 다음으로는 M^{++}, $(M-2)^{++}$ 이온등이 특징적으로 나타났다. 그 밖에 $(M-26)^+$, $(M-27)^+$ 이온들이 나타나는 비슷한 패턴의 spectrum을 보였다.

일반적으로 PAH의 electron - impact mass

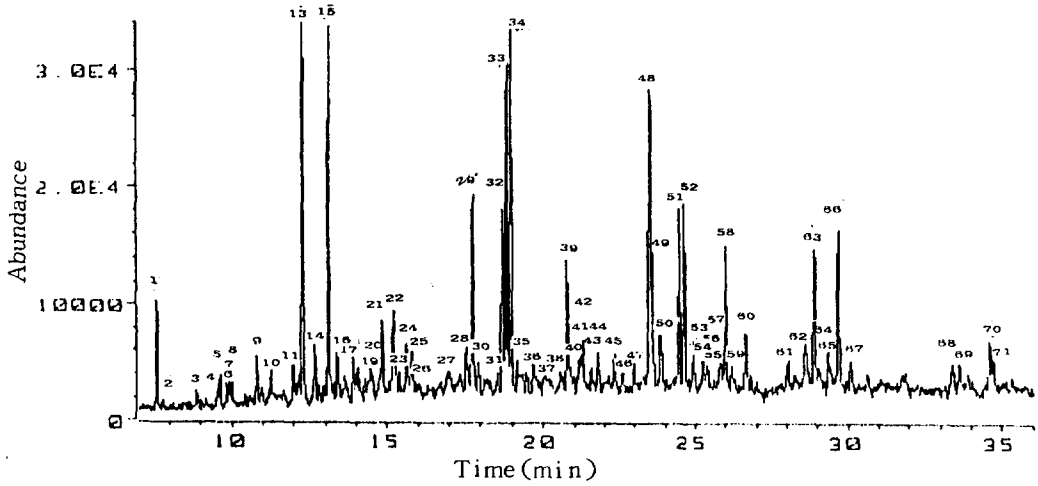

Fig.1 Total ion chromatogram of the PAH fraction extracted from airborne particulates collected in Seoul.
The capillary column of GC-MS was SE-30 (17*cm*× 0.25*mm* i.d.)

spectrum은 강한 분자이온과 1～4개의 수소원자를 잃음으로써 생성되는 이온에 의해 구성되는 매우 단순하고 특징적인 형태를 보인다고 알려져 있다. 이들 $(M-1)^+$, $(M-2)^+$, $(M-3)^+$, $(M-4)^+$ 이온의 양은 parent ion의 양은 약 0－50%를 차지한다.[11] 또한 분자이온의 2가 이온이 매우 특징적으로 일어나 분자이온의 20% 정도가 생성되는 것으로 보고되어 있다. 그밖에 분자내에 탄소원자의 양이 상대적으로 많아 탄소원자의 동위원소 $_{13}C$에 의한 $(M+1)^+$ 이온이 항상 뚜렷하게 나타난다. 본 실험에서의 PAH 분획의 피크들의 mass spectrum은 이와같은 PAH의 mass spectrum의 특징을 잘 나타나고 있었다.

이들 피크들의 mass spectrum을 NBS library searching system을 이용하여 구조측정을 하였고 가능성이 높은 표준물질의 mass specErum을 측정하여 직접 비교하였다. PAH류는 이성체간의 mass spectrum이 동일한 경우가 많아 그 구분을 위해서 capillary GC를 이용하여 여러 조건하에서의 표준물질과 시료중의 미지물질과의 retention time을 비교하였다. 이와 같은 방법에 의해 동정된 물질들의 mass spectrum 중 대표적인 예를 그림 2－8에 나타내었고 capillary GC에서의 retention time 및 해당 화합물의 명칭을 표1에 나타내었다. 이상의 실험에서 mass sp-

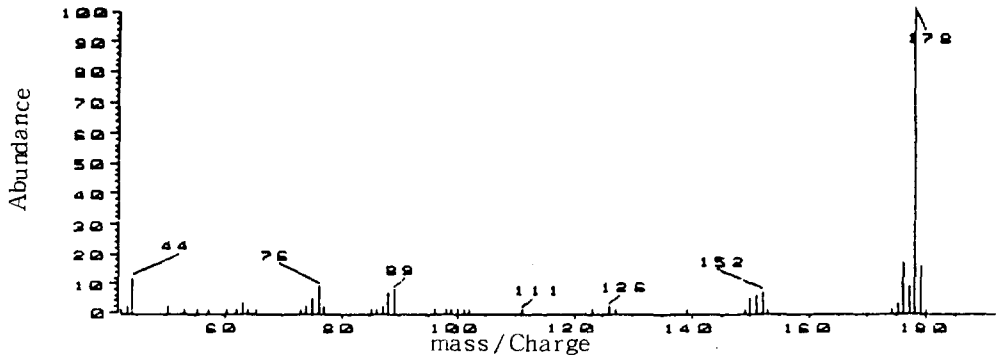

Fig.2 Mass spectrum of peak No.1 of PAH fraction which is corresponding to phenanthrene.
peak No.2 (anhracene) indicated the same mass spectrum.

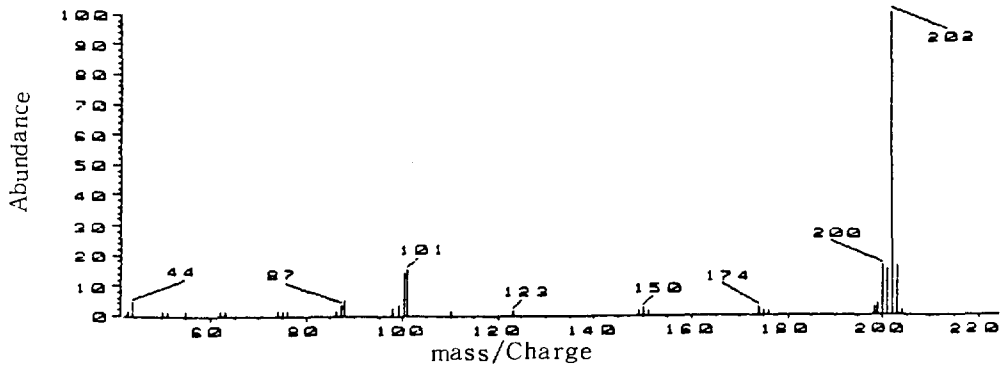

Fig.3 Mass spectrum of peak No.13 of PAH fraction which is corresponding to fluoranthene.
peak No.15 (pyrene) indicated the same mass spectrum.

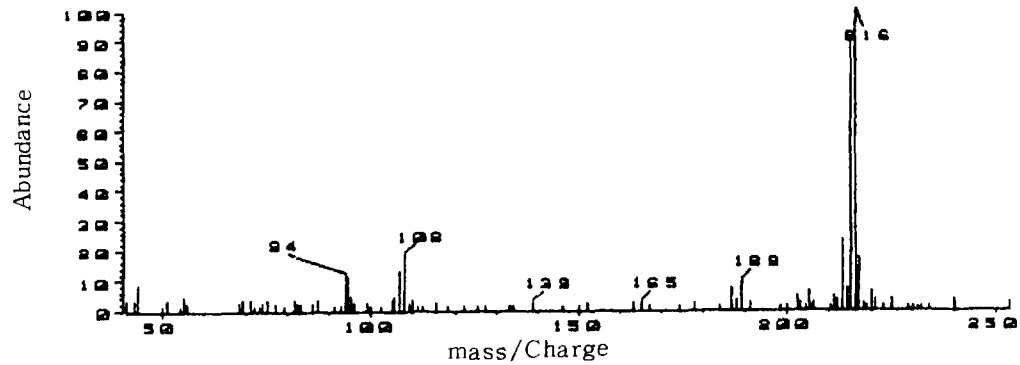

Fig.4 Mass spectrum of peak No.22 of PAH fraction which is corresponding to benzo (b) fluorene.

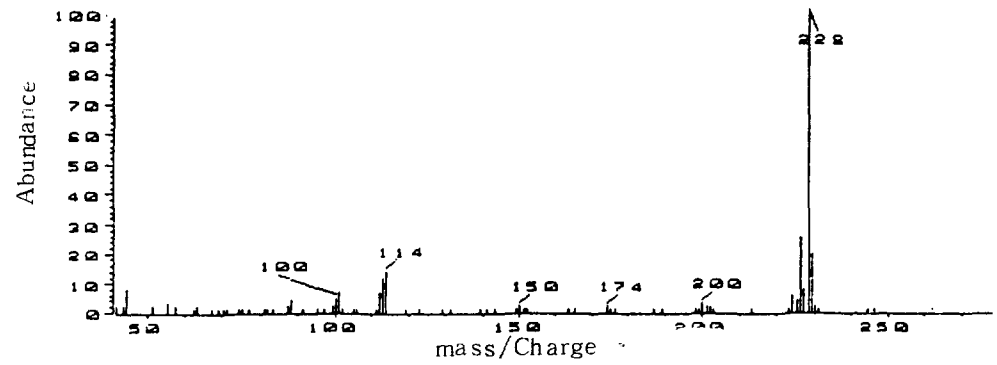

Fig.5 Mass spectrum of peak No.32 of PAH fraction which is corresponding to benzo (a) anthracene.
peak No.33. (chrysene) indicated the same mass spectrum.

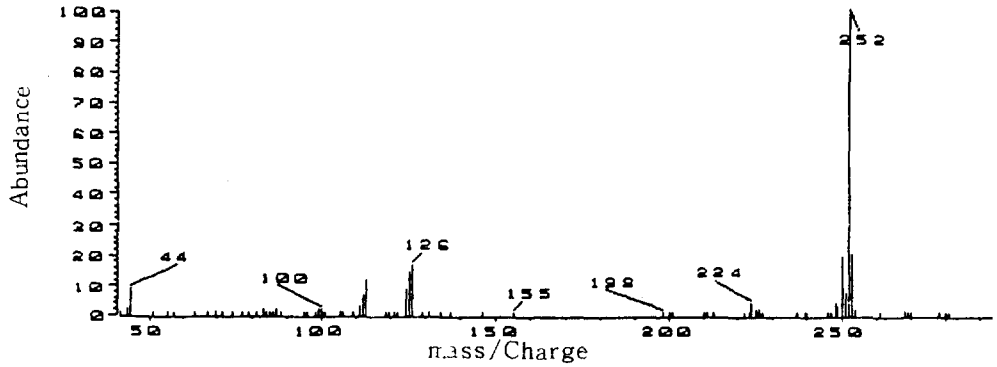

Fig.6 Mass spectrum of peak No.52 of PAH fraction which is correspondhng to benzo (b) pyrene.

peak No.49. (benzo (b) fluoranthene), No.51 (benzo (b) pyrene), No.53 (perylen indicated the same mass spectrum.

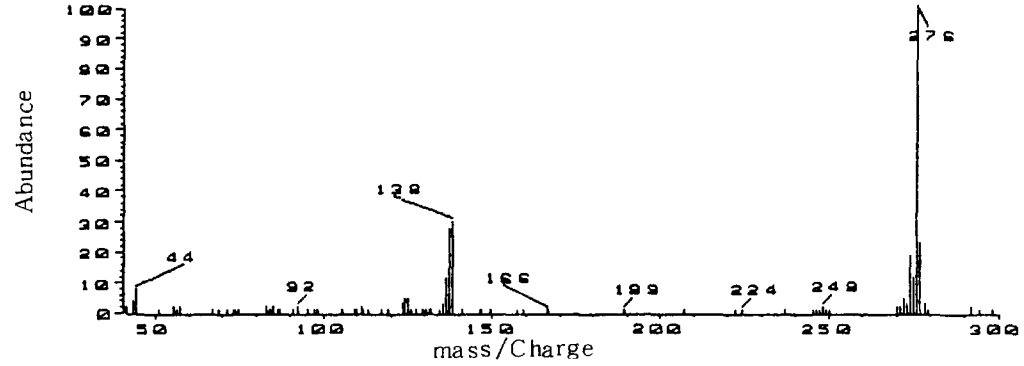

Fig.7 Mass spectrum of peak No.63 of PAH fraction which is corresponding to indeno(1,2,3-cd) pyrene.

peak No.66. (benzo (ghi) fluprene) indicated the same mass spectrum.

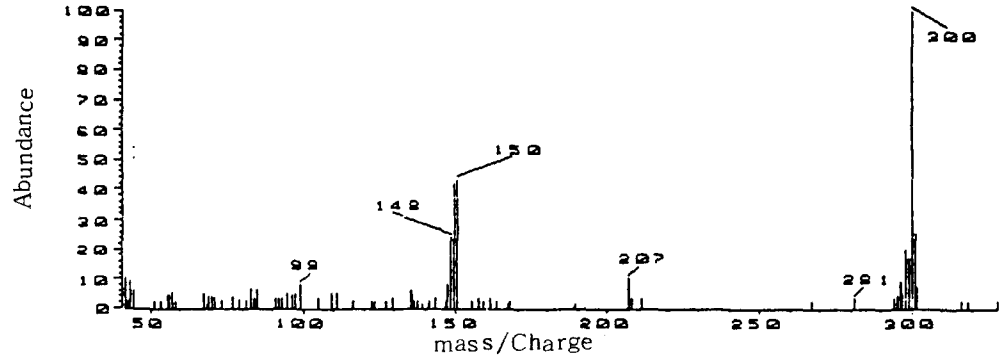

Fig.8 Mass spectrum of peak No.70 of PAH fraction which is corresponding to coronene.

Table 1. Major PAHs identified in Seoul atmosphere and retention times of those in capillary gas chromatography.

(unit: min)

Peak Number	Column SE-30*	CBP-5 (1)	CPB-5 (2)	Corresponding Compound
1	7.58	26.24	17.95	phenanthrene
2	7.79	26.49	18.19	anthracene
13	12.27	33.28	24.65	fluoranthene
15	13.10	34.52	25.90	pyrene
22	15.17	37.13	28.36	benzo (b) fluorene
32	18.69	41.81	33.03	benzo (a) anthracene
33	18.83	42.04	33.27	chrysene
49	23.49	47.89	39.07	benzo (b) fluoranthene
51	24.45	49.24	40.45	benzo (e) pyrene
52	24.63	49.48	40.71	benzo (a) pyrene
53	24.94	49.92	41.16	perylene
63	28.89	53.22	47.87	indeno (1,2,3-cd) pyrene
66	29.67	56.37	49.79	benzo (ghi) perylene
70	34.60	67.94	66.47	coronene

(1) 90°C → 300°C, 4°C/min
(2) 140°C → 300°C, 4°C/min
* 140°C → 300°C, 5°C/min

ectrum, 그로부터 확인된 분자량, 각 capillary GC 조건하에서의 retention time 등을 표준물질과 비교확인하여 1, 2, 13, 15, 22, 32, 49, 51, 52, 53,63, 66, 70 번 피크들이 각각 phenoathrene, anthracene, fluoranthene, pyrene, benzo(b) fluorene, benzo(a)anthracene, chrysene, benzo(b)fluoranthene, benzo(e)pyrene, benzo (a)pyrene, perylenene, indeno(1,2,3 - (d) pyrene, benzo(ghi)perylene, coronene 등 임을 확인하였다.

그밖에 14 번 피크의 mass spectrum은 분자이온이 m/z 202로서 fluoronthene, pyrene과 동일한 spectrum을 나타내었으며 48 번, 50 번 피크는 분자이온이 m/z 252 이었고 benzo(b)fluoranthene, benzo(e)pyrene, benzo(a)pyrene, perylene 등과 동일한 spectrum을 나타내었다. 62 번, 67 번 피크는 indeno(1,2,3-(d) pyrene, benzo(ghi)perylene 등과 동일한 mass spectrum을 보였다. 이들 물질들은 표 1 에서 동정한 PAH 들과 이성체인것으로 생각된다. 58 번 피크는 분자이온이 m/z 306, 64 번, 65 번 피크는 분자이온이 m/z 278, 68, 69, 71 번 피크들은 분자이온이 m/z 302 이면서 PAH 의 전형적인 mass spectrum 의 특징을 보였다.

그림 9 는 4 번 피크의 mass spectrum 으로 PAH 의 특징을 나타내면서도 표 1 의 PAH 들의 mass spectrum 과 비교해 볼때 $(M-1)^+$ 이온의 상대적 양 (relative abundance) 이 46 %로 높고 $(M-27)^+$ 이온들의 상대적 양이 15 %로 높은 값을 보이는 특징을 보였다. 이와 같은 특징을 나타낸 피크들은 5, 7, 8, 25, 26, 55, 56 번 피크등으로 $(M-1)^+$ 이온의 상대적 양이 46 - 89 %

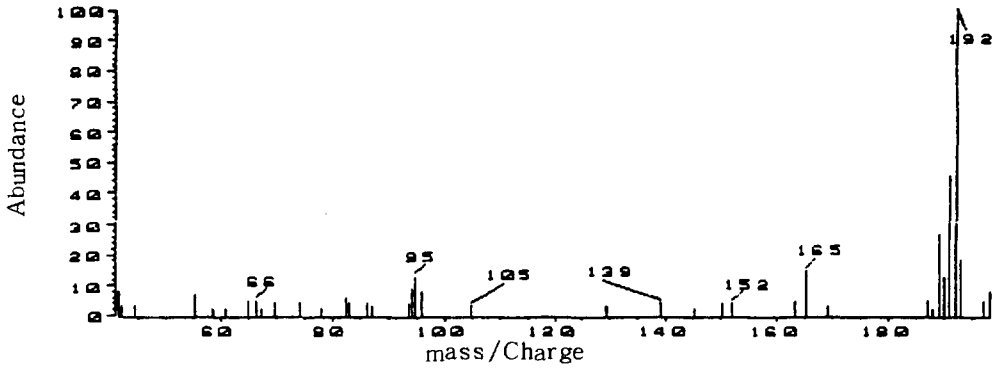

Fig.9 Mass spectrum of peak No.4 of PAH fraction which is corresponding to methylanthracene or methylphenanthrene.

로 매우 높았고 $(M-27)^+$ 이온도 표 1의 PAH들의 경우 1～8%로 낮은 값을 보인반면 11～19%로 높은 값을 보였다. 이와 같은 특징은 methyl기가 치환한 PAH의 특징으로 그림 10에 표시한 것과 같이 환확장에 의해 tropylium 이온을 형성하며 $(M-1)^+$ 이온이 나타나고 여기서 acethylene이 떨어져 나가 $(M-27)^+$ 이온이 생성된 것이다.[12] 그외에 이와 같은 특징을 보인 피크들은, NBS library searching의 결과 및 문헌상의 spectrum과 비교해 본 결과 methylanthracene이나 methylphenanthrene으로 추정되는 5, 7, 8번 피크, 분자이온이 m/z 216 이었으며 methylpyrene으로 추정되는 25번, 26번 피크, 분자이온이 m/z 266이었으며 methylbenzopyrene이나 methylbenzofluoranthene 으로 추정되는 55번, 56번 피크들이었다.

그외에 6, 20, 21, 60번 피크들은 mass spectrum에서의 분자이온으로부터 알 수 있는 분자량으로 보아 methyl기가 치환되어 있지 않은 것으로 추정되면서 $(M-1)^+$ 이온이 특징적으로 매우 강하게 나타났다. 이들은 benzo(b)fluorene과 같이 포화탄소가 함유되어 있는 PAH로 추정되는데 이들은 포화탄소에서 proton이 매우 쉽게 떨어져 나가 매우 강한 $(M-1)^+$ 이온이 형성되는 것으로 알려져 있다.[11]

PAH는 그 종류가 많고 이성체간에 mass에 의한 구분이 어렵다. 이성체간의 구분은 NMR에 의해 가능하나 환경성 시료는 그 양이 제한요소가 되어 대부분의 경우 응용이 불가능하다. 반면에 PAH는 분자내의 구조적인 작은 변화, 예를 들면 alkyl기의 위치의 변화에 따라서도 capillary GC상에서의 retention time이 뚜렷이 구별되는 것이 알려져 있다. Lee 등은[13] 200여종의 PAH들을 capillary GC에서의 retention time을 적절한 표준물질의 retention time을 기준으로 지수화 하였다. 환경중의 PAH를 확인할 때 수많은 종류의 PAH의 표준물질을 구하기가 어렵기 때문에 이와 같은 capillary GC에서의 retention time을 이용한 지수는 어느정도 사용의 제한점이 있으나 GC-MS에 보조적으로 사용할 경우 매우 유용하다.

표준물질과의 비교를 통해 확인 동정하여 표 1에 나타낸 PAH들의, 본 capillary GC를 이용한 실험에서의 retention time에 의해 구한 retention index 값과 Lee가 제시한 값과의 일치도를 구해본 결과 상관계수(r)가 0.999로 매우 양호한 일치도를 나타내었다. 따라서 mass spectrum에 의해 구조를 추정하였으나 표준물질에 의해 확인하지 못한 물질들에 대해서 이 retention index를 응용하여 구조동정에 이용하였다.

이상에서 mass spectrum에서 분자이온으로부터 얻은 분자량과 mass spectrum의 NBS libary searching, 표준물질과의 capillary GC에 의한 확인, retention index등에 의해 각 피크들의 구조를 동정하여 그 결과를 표2에 retention index와 동정방법을 중심으로 나타내었다.

Table 2. PAHs identified in organic extract from suspended particulates collected in Seoul atmosphere.

Peak No.	Compound	M.W.	Retention Time (min)	Retention Index	Reported Retention Index	Identification Method *
1	phenanthrene	178	7.58	300.54	300.00	a,b,c,d,e
2	anthracene	178	7.79	302.41	301.69	a,b,c,d,e
4	methylanthracene or methylphenanthrene	192	9.53	317.91	319.46	a,b,c
5	methylanthracene or methylphenanthrene	192	9.60	318.54	319.46	a,b,c
6	4H-cyclopenta (def) - phenanthrene	190	9.81	320.41	322.08	a,b,c
7	methylphenanthrene	192	9.91	321.30	323.06	a,b,c
8	methylphenanthrene	192	9.99	322.01	323.17	a,b,c
11	ethylphenanthrene ** or ethyl anthracene	206	11.95	339.47	337.50	a,b,c
12	ethylphenanthrene ** or ethylanthracene	206	12.13	341.08	337.50	a,b,c
13	fluoranthene	202	12.27	342.33	344.01	a,b,c,d,e
14	benzacenaphthylene	202	12.64	345.62	—	a,b
15	pyrene	202	13.10	349.72	351.22	a,b,c,d,e
16	ethyl 4H-cyclo (def)- phenanthrene	218	13.37	352.13	–	a,b
19	ethyl 4H-cyclo (def)- phenanthrene	218	14.26	360.56	–	a,b
20	benzofluorene	216	14.42	360.06	–	a,b
21	benzo (a) fluorene	216	14.82	361.48	366.74	a,b,c
22	benzo (b) fluorene	216	15.17	365.05	369.39	a,b,c,d,e
23	ethylmethyl- *** phenanthrene or ethylmethylanthracene	220	15.35	368.17	–	a,b,
25	methylpyrene	216	17.75	373.33	369.54	a,b,c
26	methylpyrene	216	17.77	373.51	373.55	a,b,c
29	benzo (ghi) fluoranhene	226	17.72	390.89	389.60	a,b,c
32	benzo (a) anthracene	228	18.69	399.53	398.50	a,b,c,d,e
33	chrysene	228	18.83	400.78	400.00	a,b,c,d,e

Peak No.	Compound	M.W.	Retention Time (min)	Retention Index	Reported Retention Index	Identification Method *
48	benzo (j) fluoranthene	252	23.50	442.38	440.92	a,b,c
49	benzo (b) fluoranthene	252	23.83	445.33	442.56	a,b,c
50	benzofluoranthene	252	23.83	445.33	442.56	a,b,c
51	benzo (e) pyrene	252	24.45	450.85	450.73	a,b,c,d,e
52	benzo (a) pyrene	252	24.63	452.45	453.44	a,b,c,d,e
53	perylene	252	24.94	455.45	456.44	a,b,c,d,e
55	methylbenzopyrene or methylbenzofluorene	266	25.38	455.21	--	a,b
56	methylbenzopyrene or methylbenzofluorene	266	25.79	459.14	--	a,b
58	querterphenyl	306	25.98	462.79	472.81	a,b,c
63	indeno (1,2,3-cd)-pyrene	276	28.89	487.65	481.87	a,b,c,d,e
64	dibenzanthracene	278	29,32	490.41	495.01	a,b,c
65	dibenzanthracene	278	29.41	494.24	495.45	a,b,c
66	benzo (ghi) perylene	276	29.67	495.04	501.32	a,b,c,d,e
67	anthanthrene	276	30.06	497.36	–	a,b
68	dibenzopyrene	302	33.39	500.84	–	a,b
69	dibenzopyrene	302	33.39	530.16	–	a,b
70	coronene	300	34.60	532.55	–	a,b,c,d,e
71	dibenzopyrene	302	34.72	542.36	–	a,b

* a) Molecular weight from mass spectrum
b) GC-Mass spectrum of NBS library searching and literature
c) Retention index
d) GC-Mass specRum of standard material
e) Capillary GC or standard material

** Could also be dimethyl

*** Could also be trimethyl

4. 고 찰

서울시 대기중의 입자상 물질에 함유되어 있는 PAH 71종을 분리하여 그중 41종의 구조를 동정하였다. 그중 상대적으로 양이 많은 PAH들은 fluoranthene, pyrene, benzo(ghi)fluoranthene, benzo(a)anthracene, chrysene, benzo(j)fluoranthene, benzo(e)pyrene, benzo(a)pyrene, quarterphenyl, indeno (1, 2, 3-cd) pyrene, benzo(ghi)perylene 및 coronene 등이었다. 이와같은 사실은 Lee 등이 [4] Indianapolis에서 확인한 내용과 매우 비슷하였다. 이들 중에서 benzo(ghi)fluoranthene, benzo(a)pyrene은 특히 발암성이 강한 PAH들이며 상대적으로 양은 적지만 발암성이 매우 강한 dibenzopyrene들과 dibenzanthracene 등도 검출되었다. 그밖에도 발암성이 강한 종류들로 알려진 benzofluoranthene 이성체들도 많은 양으로 검출되었다.

대기중의 PAH들은 많은 이성체들이 같이 존재한다. 각 이성체들은 그 구조의 작은 변화에 의해서도

독성이나 발암성등의 차이가 있어 각 이성체를 구분하여 확인하거나 정량할 필요가 있다.각 물질들을 확인 동정하기 위해서는 GC-MS가 필요하나 본 연구결과에서도 나타난 것처럼 mass spectrum으로는 분자량이 다른 PAH의 구분에는 매우 유용하였으나 이성체간의 구분은 capillary GC에서는 retention time의 차이를 이용하는 것이 적절하였다.또한 본 연구에서도 알 수 있듯이 환경중에는 매우 많은 종류의 물질들이 포함되어 있어 Chromatography 를 이용한 환경오염물질의 확인의 경우 분석대상 물질과 매우 유사한 retention time을 갖는 방해물질과의 구분을 위해 mass spectrum 같은 확인이 필수적인 것으로 생각된다.

5. 결 론

서울시 대기중에 존재하는 다핵방향족 탄화수소류를 확인하기 위하여 부유분진을 채취하여 유기용매추출, 분획, TLC를 이용하여 PAH분획을 얻었고 그 성분을 GC-MS, Capillary GC등을 이용하여 분리확인하여 다음의 결과를 얻었다.

1. PAH분획으로부터 71종의 PAH를 분리하였으며 그 중 41종의 구조를 확인 동정하였다.

2. 상대적인 양이 많은 주요PAH들은 fluoranthene, pyrene, benzo(ghi)fluoranthene benzo(a)anthracene, chrysene, benzo(j) fluoranthene, benzo(e)pyrene, benzo(a) pyrene, quaterphenyl, indeno(1,2,3-cd) pyrene, benzo(ghi)perylene, coronene 등이었다.

3. 강한 발암성의 PAH들인 benzofluoranthene의 이성체들과 benzo(a)pyrene, dibenzopyrene, dibenzanthracene등이 확인 동정되었다.

(原稿接受 '88.10. 6)

참 고 문 헌

1. Well B.G.: Symposium on the physico-chemical transformation of sulfur compounds in the atmosphere and formation of acid smogs., Mainz, Germany, 1967.
2. Lave B.L. and Seskin P.E., Air Pollution and Human Health Science 169, 723, 1970.
3. Lao C.R., Thomas S.R. and Dubois L.: Application of Gas Chromatograph-Mass Spectrometer-Data Processor Combination to the Analysis of the Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Content of Airborne Pollutants, Anal. Chem. 45 (6), 908-915, 1973.
4. Lee L.M., Novotny M., Gas Chromatography/ Mass Spectrometric and Nuclear Magnetic Resonance Determination of Polynuclear Aromatic Hudrocarbons in Airborne Particulates, Anal. Chem. 48(11), 1566-1572, 1976.
5. Giger W. and Schaffner C.: Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Environment by Capillary Gas Chromatography Anal. Chem. 50(2), 243-249, 1978.
6. D.R. Choudhury R.D., Bush B.: Chromatographic-Spectrometric Identification of Airborne Polynuclear Aromatic Hydrocarbons., Anal. Chem. 53(9), 1351-1356, 1981.
7. Lee L.M., Novotny V.M. and Bartle D.K.: Analytical chemistry of polyclic aromatic compound, Academic press, New York, p.17, 1983.
8. 권숙표, 정용, 임동구 : 서울시 대기중 유해 부유분진의 성분에 관한 조사, 예방의학회지 11, 65-75, 1978.
9. 손동헌, 이규식, 허문영 : 부유분진중 다환방향족 탄화수소에 관한 연구, 약학회지 30, 323-328, 1986.
10. 장재연, 대기중 부유분진의 돌연변이원성 및 미량유기오염성분에 관한 분석적 연구, 서울대학교 약학대학 박사학위논문, 1988.
11. Lee L.M., Novotny V.M. and Bartle D.K.: Analytical chemistry of polyclic aromatic compound, Academic press, New York, pp.242-243, 1983.
12. Stenhagen E., Abrahamsson S. and Mclaffery W.F.: Registry of Mass spectra data, Wiley, New York, 1974.
13. Lee L.M., Novotny V.M. and Bartle D.K.: Analytical chemistry of polyclic aromatic compound, Academic press, New York, p.246, 1983.