

서울지역 일부 대기중 부유먼지에 함유된 탄소 성분과 Benzo(a)pyrene 성분의 농도변동 양상에 관한 연구

황경철* · 김희강

*동남보건전문대학 환경관리과
건국대학교 환경공학과

A Study on the Variation of the Concentrations of Carbon Species and B(a)P Associated in Atmospheric Suspended Particles in an Urban Area of Seoul

Kyung-Chull Whoang* and Hui-Kang Kim

*Dept. of Environmental science, Dong-Nam Health College
Dept. of Environmental Engineering, Kon-Kuk University

ABSTRACT

In order to investigate the behavior of particulate carbon and benzo(a)pyrene(B(a)P) in the ambient air, suspended particle matters were collected from April, 1990 to February, 1992, and total carbon(TC), organic carbon(OC), elemental carbon(EC) and B(a)P were measured by an elemental analyzer and a HPLC. The results were as follows; the average concentration of TC was $38.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and its concentration was higher in winter($45.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) and fall($44.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) than in summer($36.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) and spring($28.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$). The monthly concentration trends both of EC and OC was similar, but seasonal variation of EC concentrations was larger than that of OC. The average concentration of B(a)P was $2.2 \text{ ng}/\text{m}^3$, and was higher in winter($4.1 \text{ ng}/\text{m}^3$) and fall($3.2 \text{ ng}/\text{m}^3$) than in spring($1.2 \text{ ng}/\text{m}^3$) and summer($0.6 \text{ ng}/\text{m}^3$). The seasonal behavior of carbon and B(a)P was to similar except for summer. The correlation coefficient(r) between EC and B(a)P was 0.71, and the correlation coefficient(r) between OC and B(a)P was 0.66.

Keywords : Total carbon, Organic carbon, Elemental carbon, Benzo(a)pyrene

I. 서 론

대기 중의 입자상 물질은 입경 $2 \mu\text{m}$ 를 전후로 하여 미세입자군과 조대입자군의 이산형 분포(Bimodal distribution)를 이룬다.^{1,2} 이중에서 입경 $2 \mu\text{m}$ 이하의 미세입자군은 인위적 활동에 수반하여 대기중에 입자로 직접 배출되거나 Gas 상태로 배출되어 입자화된 것이 대부분이며 탄소 성분(Elemental Carbon and Organic Carbon)과 Benzo(a)pyrene (이하 B(a)P로 칭함) 성분은 거의가 이 미세입자군에 포함되어 있다.^{2,3)}

대기중의 입자상 탄소성분은 시정감소의 주요 원

인 물질이며 대기중에서 화학반응의 촉매제로 작용하고 있고 대기의 가열 및 냉각에 관여하는 동시에 B(a)P 성분 등의 유해물질을 장거리 수송하고 인체 내로 운반하는 흡착제의 역할을 하고 있다.^{4,5)} 특히 원소상 탄소(Elemental Carbon, 이하 EC로 칭함)의 경우는 SO_2 의 SO_4^{2-} 로의 변환에 크게 관여하고 있으며 EC 표면에서의 SO_4^{2-} 흡착은 주요 태양광 흡수입자인 EC의 친수성을 증가시켜 습성침착에 의한 산성물질 강하에 기여함으로써 생태계에 악영향을 주고 있다.⁶⁾ 또, B(a)P 성분은 대표적인 발암물질로써 돌연변이원성이 강한 물질이다.^{7,8)}

이들 성분의 대부분은 다간이 화석연료의 불완전

연소과정에서 생성되고 있으며 각종 산업 및 난방시설과 자동차 등으로부터의 급격한 연료 사용량 증가에 따라 그 배출량이 증대되고 있고 대기 환경 및 인체에 미치는 영향이 지대하다는 공통점을 가지고 있다.¹⁻³⁾ 이와 같은 배출 특성과 물리·화학적 작용에 의한 악영향 등을 고려할 때 이를 성분에 대한 대기 중에서의 기동파악이 필연적이며 국내는 물론 전 세계적으로 환경문제를 해결한다는 차원에서도 시급히 이루어져야 할 과제이다.

본 연구에서는 탄소 성분과 B(a)P 성분 농도의 빈동 양상을 파악하고자 환경 대기에서 포집된 부유 입자상 물질중의 성분 농도를 측정하고 상관분석을 통한 상호 관련성을 검토하였기 그 결과를 보고한다.

II. 실험 방법

1. 시료의 포집

본 실험에 사용된 시료는 서울특별시 광진구 보진동에 소재한 신국대학교 공과대학 5층 옥상에서 1990년 4월부터 1992년 2월까지 매월 1~2회, 총 24회에 걸쳐 High Volume Air Sampler(Model-120, Kimoto Inc.)와 석영섬유여지(QM-A, 8×10 in., Whatman Inc.)를 사용하여 포집하였고, 매회 24시간동안 1.2 m³/min의 유량으로 흡인하였다.

2. 탄소 성분의 분석

탄소 성분은 원소분석기(Model MT-3, 柳本製作所製)에 의한 열적방법으로 분석하였다.

Table 1. Analytical conditions of OC and EC

Division	Analytical conditions	
	OC	EC
Analysis Temp.	400°C	900°C
Analysis current	Heated inert	Heated activate
	He current	He+O ₂ current
Analysis time	5 min.	12 min.

Table 3. Fluorescence wavelengths used for the detection

NO.	PAHs	Time(min)	$\lambda_{\text{ex}}(\text{nm})$	$\lambda_{\text{em}}(\text{nm})$	NIST
1	PHEN	0	250	362	249/362
2	FL	17	285	450	284/(425-475)
3	CHRY	22	263	360	263/360
4	B(a)P	32	297	404	297/404
5	I ₁ -P	38	239	496	239/496

직경 1.20 cm의 펀치로 타출한 여지를 원소분석기에 도입한 후 가열 불활성 기류중에서 열분해 화산하여 가스화된 물질중의 탄소 성분을 유기성 탄소(Organic Carbon, 이하 OC로 칭함), OC를 추출한 후의 잔여분을 EC로 하여 동일 시료에 대한 이단분석을 하였고 그 합을 총 탄소(Total Carbon, 이하 TC로 칭함)로 하였다. 분석조건은 Table 1과 같다.

3. B(a)P 성분의 분석

High Volume Air Sampler로 포집된 여지를 직경 4.50 cm의 펀치로 2매 타출한 후 Dichloromethane (CH₂Cl₂, HPLC용)을 용매로하여 초음파 추출기(Model-8210, Branson Inc.)로 30분씩 3회에 걸쳐 반복 추출하고 추출액을 혼합하여 여과지(No. 42, Whatman Inc.)로 여과한 후 진공감압 농축기를 이용, 약 2~3 mL로 농축하였다. 농축액을 다시 Gelman사의 Nylon Acrodisc(0.2 μm)로 여과한 후 질소를 통과시켜 거의 선조되도록 한 다음 Acetonitrile (CH₃CN, HPLC용)을 사용하여 최종액량을 1 mL로 조정하고 형광검출기가 장착된 HPLC(Model-1050, Hewlett Packard Inc.)로 B(a)P 성분을 정량하였다.¹⁰⁾

Table 2에 이동상으로 사용된 CH₃CN:H₂O의 시간에 따른 혼합비를 나타내었다. 이 때의 유량은 1 mL/min 이었으며, Precolumn(Bondapack C18 Guard-Pak Preolumn, Waters Inc.)을 사용하였다. 본 연구에서 정량된 B(a)P 성분은 4종의 다른 PAHs 성분과 동시에 검출되었는데 시간에 따른 각 PAHs에 대한 검출파장은 Table 3과 같다.

Table 2. CH₃CN:H₂O ratio as mobile phase

Time(min)	CH ₃ CN/H ₂ O(%)
0	50
25	80
30	100
40	100
50	50

본 실험에서 사용된 추출방법의 타당성 여부를 조사하기 위하여 NIST(National Institute of Standard and Technology)사의 표준물질 SRM(Standard Reference Material) 1649를 위와 동일한 방법으로 100 mg 추출하여 B(a)P 성분을 분석한 결과, 5회평균으로 93.6%의 회수율과 0.85%의 변동계수를 보여 양호한 상태의 신뢰도를 나타내었으며 이같은 결과로 미루어 본 실험에서의 초음파 추출방법에 별 문제가 없는 것으로 확인되었다.

III. 결과 및 고찰

1. 총 먼지 농도

대기총의 총 먼지농도(이하 TSP로 칭함)는 포집전후의 여지 무게차로 구하였는데 시료 포집기간중의 최고농도는 1990년 4월 황사시의 $518 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 최저농도는 동년 9월의 $79.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 평균 농도는 $197.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로써 우리나라 연 평균 환경기준치인 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 상회하는 높은 수치를 나타내었으나 일 평균 환경기준치 $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 비교할 때는 현저히 낮은 수치였으며 일 평균 환경기준치를 초과한 경우는 총 24회의 포집횟수 중 황사시의 단 1회 뿐이었다.

계절적으로는 봄철(3, 4, 5월)에 가장 높은 $262.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도를 보였고 겨울철(12, 1, 2월) $198.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 가을철(9, 10, 11월) $176.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 여름철(6, 7, 8월) $150.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 순으로 나타났으며 계절에 따른 변동이 심한 편이었다(Table 4). 겨울철에 높은 농도를 보인 것은 난방을 위한 화석연료의 사용량 증가때문인 것으로 보여지며 봄철에의 고농도 현상은 중국으로부터의 황사에 기인된 것으로 생각된다. 또한, 여름철에 농도가 낮게 나타난 것은 잦은 강우에 의한 rain out과 wash out 효과에 의한 것으로 판단된다.

2. 탄소 성분 농도

원소분석기에 의하여 탄소 성분을 분석한 결과, TC는 평균 $38.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 대기 Aerosol을 구성하고 있는 주요 화학적 성분들의 일반적인 농도 수준을 상회하는 높은 농도치를 보았으며 겨울철($45.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$)과 가을철($44.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$)에 높고 봄철($28.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$)에 낮은 경향을 나타내었다. 또, 여름철의 농도가 봄철보다도 높은 $36.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되어 계절에 따른 농도차이가 그다지 크지 않은 것으로 분석되었으며 년중 일정량 이상의 농도로 항존함을 알 수 있었다(Table 4).

이같은 현상은 각종 발생원에서의 탄소 성분 발생량이 년중으로 큰 차이가 없다는 것을 의미하는 것이며 자동차 교통량의 년중 무변화가 그같은 현상에 크게 기여하는 것으로 판단된다. 또한, 탄소 성분 입자의 대부분이 미세입자로 존재하는 까닭에 대기중에서의 체류시간이 길다는 것도 이같은 현상을 가져오게 하는 주요 원인중의 하나라고 생각되어진다.

EC와 OC는 $27.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $10.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 평균농도를 각각 보였는데 중국 북경¹¹⁾에서의 측정치 $45.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $14.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 비교할 때 상당히 낮은 수치라고 할 수 있지만 미국의 뉴욕¹²⁾과 일본의 가와사키¹³⁾에서의 측정치 $13.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $19.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $18.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $9.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해서는 월등히 높은 수치이다.

계절적으로는 EC와 OC가 서로 비슷한 변화 양상을 보이고 있으나 EC의 경우 계절적 변화의 폭($13.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ~ $44.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$)이 큰 반면 OC는 그 폭($7.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ~ $18.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$)이 작은 것으로 나타났다(Fig. 1).

특기 할 만한 것은 난방연료의 사용량 감소로 저농도의 EC가 예상되었던 1990년의 여름철에 겨울철보다도 높은 농도를 보이고 있다는 점이다. 이같은 결과는 탄소 성분의 배출이 난방시설에 의한 것보다는 자동차로부터의 영향이 더 크기 때문에 나타난 현상으로 해석할 수 있으며 그만큼 운행하는 자

Table 4. Concentration of TSP and TC, EC, OC and B(a)P in the ambient air

Season	TSP($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TC($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	EC($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	OC($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	B(a)P(ng/m^3)
Spring	262.7 ± 132.0	28.9 ± 6.4	19.9 ± 5.0	9.0 ± 2.1	1.2 ± 0.5
Summer	150.5 ± 26.9	36.8 ± 9.7	26.7 ± 8.5	10.1 ± 1.6	0.6 ± 0.3
Fall	176.5 ± 59.4	44.3 ± 13.0	30.9 ± 9.8	13.5 ± 4.0	3.2 ± 2.4
Winter	198.0 ± 30.6	45.4 ± 5.2	34.3 ± 3.6	11.2 ± 1.7	4.1 ± 1.0
Max.	518.0	62.6	44.2	18.6	6.8
Min.	79.0	22.4	13.2	7.1	0.3
Total Ave.	196.9 ± 80.0	38.6 ± 10.9	27.6 ± 8.5	10.9 ± 2.9	2.2 ± 1.9

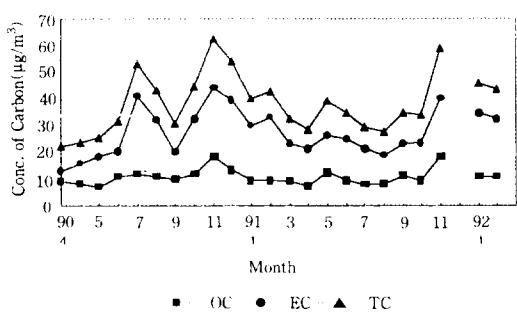


Fig. 1. Monthly variation of Carbon.

동차에서의 불완전 연소가 많다는 것을 의미한다. 하지만 이 때의 강우량과 대기안정도, 풍속 및 풍향 등의 기상인자와도 관계가 있을 것으로 사료되며, EC의 국지적 배출원 및 장거리 이송에 따른 외부유입과도 관계가 있을 것으로 추정된다.

한편, TSP 중 TC가 차지하는 비율은 평균 19.6%로서 탄소 성분이 대기 중 Aersol의 주요 구성성분임을 확인할 수 있었으며 TSP 중 EC와 OC의 평균 함유율이 각각 14.0%와 5.5%로 나타나 EC가 OC보다 2배이상 높게 함유하는 것으로 밝혀졌다.

3. B(a)P 성분 농도

대기 입자상 물질중의 B(a)P 성분은 Goulden 등¹⁰에 의하여 반암물질로 보고된 이후 말암성과 변이 원성이 강한 오염물질로써 많은 연구의 대상이 되어왔다.

본 연구에서도 대기 중 B(a)P 성분의 거동을 파악하기 위하여 그 농도를 조사하였으며 측정결과는 Table 4에 나타내었다.

B(a)P 성분 농도는 1991년 8월에 $0.3 \text{ ng}/\text{m}^3$ 의 최저치를 보인 반면 동년 11월에 $6.8 \text{ ng}/\text{m}^3$ 의 최고치를 나타내었으며 평균농도는 $2.2 \text{ ng}/\text{m}^3$ 이었다. 이같은 결과는 같은 기간에 측정된 중국 북경에서의 측정치 $12.8 \text{ ng}/\text{m}^3$ 에 비해서 대단히 낮은 수치이며 노르웨이 Birkenes¹¹에서 측정된 $2.3 \text{ ng}/\text{m}^3$ 과 비슷한 값이다.

계절적으로는 9월부터 이듬해 2월까지의 가을철 ($3.2 \text{ ng}/\text{m}^3$)과 겨울철 ($4.1 \text{ ng}/\text{m}^3$)에 측정된 농도치가 3월부터 8월까지 이르는 봄철 ($1.2 \text{ ng}/\text{m}^3$)과 여름철 ($0.6 \text{ ng}/\text{m}^3$)의 측정치에 비하여 현격히 높은 상태를 유지하였으며 겨울철과 여름철의 농도차가 무려 6.8배나 되는 심한 격차를 보였다. 이와 같은 큰 폭의 농도변화는 B(a)P 성분이 주로 화석 연료의 사용으로부터 발생되고 있다는데 있어서 그 이유를 찾을

수 있겠지만 기온 및 일사량과 같은 기상요인과도 매우 밀접한 관련이 있을 것으로 사료된다.

4. 탄소 성분과 B(a)P 성분 농도의 상관성

전술한 바와 같이 탄소 성분과 B(a)P 성분은 대부분 화석 연료의 불완전 연소과정에서 배출되고 있으며 그 사용량과 연소상태에 따라 대기중에서의 농도 분포가 달라질 수 있다.

Fig. 2는 본 실험에서 분석된 탄소 성분을 EC와 OC로 구분하여 B(a)P 성분과의 월별 농도경향을 비교한 것인데 대체적으로 화석 연료의 사용량이 많은 11월에서 다음해 2월사이에 높고 우기인 6월과 8월 사이에 낮은 농도치를 보였으며 계절적으로 매우 유사한 변화 양상을 나타내었다. 이같은 사실은 대기중에서 이를 두 성분의 거동이 같다는 것을 시사하는 것이다. 특히 여름철의 경우 탄소 성분과 B(a)P 성분 모두 낮은 농도분포를 보이고 있지만 두 성분간의 변화양태가 서로 상반되는 경향을 나타내었으며 B(a)P 성분은 탄소 성분과 달리 월별·계절별 변동의 폭이 대단히 큰 것으로 분석되었다. 이같은 현상은 화석 연료의 사용량 감소와 강우효과에 의한 농도저하 이외에 여름철의 높은 기온과 많은 일사량에 의하여 광분해되는 B(a)P 성분의 기상학적 영향^{12,13}때문인 것으로 판단된다.

환경 대기 중 탄소 성분과 B(a)P 성분 사이에 어떠한 관계가 존재하는지 그 정도를 알아보기 위하여 Pearson의 적률 상관계수 방식으로 상관관계 분석 (Correlation Analysis)을 실시하였다.

먼저 EC와 B(a)P 성분 사이의 상관관계 분석에서는 상관계수(r)가 0.71로서 비교적 높은 상관도를 보이고 있으며 (Fig. 3), OC와 B(a)P 성분간에도 0.66의 상관계수값을 보여 비교적 높은 정(+)의 상관관계가 있는 것으로 파악되었다(Fig. 4). 하지만

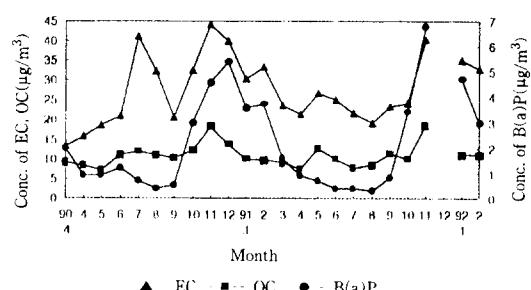


Fig. 2. Monthly variation of EC, OC and B(a)P.

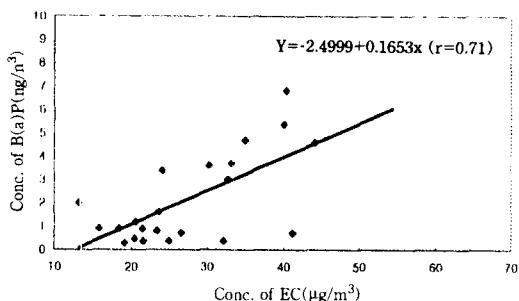


Fig. 3. The correlation between EC and B(a)P.

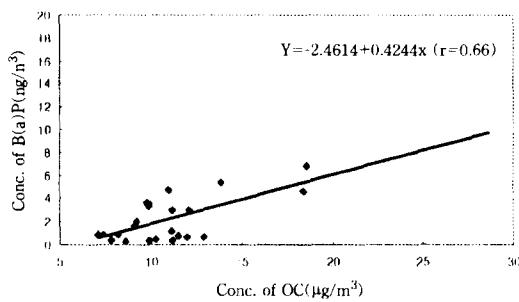


Fig. 4. The correlation between OC and B(a)P.

광분해되어 저농도 현상을 보였을 것으로 추측되어지는 여름철의 B(a)P 성분 농도를 감안한다면 그 상관계수값은 더 높을 것으로 판단되어진다.

따라서, 환경대기중의 입자상 탄소 농도가 높으면 B(a)P 성분 역시 고농도로 나타난다는 것을 유추해석할 수 있으며 이들 두 성분간에는 유의도가 $P < 0.001$ 로써 통계적으로 의미있는 상관관계가 존재한다고 볼 수 있다.

이같이 두 성분간에 비교적 양호한 상관성을 보이고 있는 것은 화석 연료의 불완전 연소과정에서 생성된다는 동질적 배출특성을 가지고 있고 대부분의 함량이 미세입자군에 포함되어 있어 대기중에서의 체류시간이 길기 때문인 것으로 사료된다.^{5), 10)}

4. 결 론

환경대기중의 입자상 탄소 성분과 B(a)P 성분 농도의 변동 양상 및 상호 관련성을 파악하기 위하여 1990년 4월부터 1992년 2월까지 서울시 전국대학교 공과대학 옥상에서 고용량공기포집법(High Volume Air Sampler Method)으로 채취한 부유먼지를 원소 분석기와 HPLC로 분석검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. TC농도는 평균 $38.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 높게 나타났으며 겨울철($45.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$)과 가을철($44.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$)에 높고 여름철($36.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$)과 봄철($28.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$)에 낮은 계절적 특성을 보였으나 그 차이는 크지 않았으며 년중 일정농도 이상으로 항존하는 것을 알 수 있었다. EC와 OC는 계절에 따라 서로 비슷한 변화 양상을 보였지만 EC의 경우 계절적 변화의 폭이 큰 반면 OC는 그 폭이 작은 것으로 분석되었다.

2. TSP중 TC가 차지하는 비율은 평균 19.6%로서 탄소 성분이 대기중 입자상 물질의 주요 구성 성분임을 알 수 있었으며 EC(14.0%)가 OC(5.5%)보다 2배이상 높게 함유하는 것으로 파악되었다.

3. B(a)P 성분은 $2.2 \text{ ng}/\text{m}^3$ 의 평균 농도를 보였으며 최고치($6.8 \text{ ng}/\text{m}^3$)와 최저치($0.3 \text{ ng}/\text{m}^3$)간에는 상당한 격차를 나타내었다. 또, 계절적으로는 겨울철($4.1 \text{ ng}/\text{m}^3$)과 가을철($3.2 \text{ ng}/\text{m}^3$)에 높고 봄철($1.2 \text{ ng}/\text{m}^3$)과 여름철($0.6 \text{ ng}/\text{m}^3$)에 낮은 농도를 보임으로써 월별·계절별 변동이 심한 것으로 파악되었다.

4. 탄소 성분과 B(a)P 성분은 여름철을 제외하고는 대체로 유사한 계절적 변화 양상을 보였으며 두 성분간의 상관관계 분석결과 EC와 B(a)P 성분, OC와 B(a)P 성분간의 상관계수가 각각 0.71과 0.66으로 비교적 높은 상관성을 보였다.

참고문헌

- Paul, F.: Primary and Secondary Particulate as Particulate. JAPCA, 25, 699~704, 1975.
- Cronn, D.R., Charlson, R.J., Knights, R.L., Crittenden, A.L. and Appel, B.R.: A Survey of the Molecular Nature of Primary and Secondary Components of Particles in Urban Air by High-Resolution Mass Spectroscopy. Atmos. Environ., 11, 929~937, 1977.
- Cadle, S.H., Groblicki, P.J. and Mulawa P.A.: Problems in the Sampling and Analysis of Carbon Particulate. Atmos. Environ., 17, 593~600, 1983.
- Bjorseth, A. and Lunde, G.: Long-Range Transport of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Atmos. Environ., 13, 45~53, 1979.
- Wolff, G.T., Stroup, C.M. and Stroup, D.P.: Particulate Carbon at Various Locations in the United States. Particulate Carbon : Atmospheric Life Cycle. Wolff, G.T. and Klimisch, R.L.(Eds), Plenum Press, New York, 297~315, 1982.
- Kobayashi, N.: Production of Respiratory Tract Tumors in Hamsters by Benzo(a)pyrene. Gann,

- 66, 311~315, 1977.
- 7) Golden, C. and Sawicki, E. : Determination of Benzo(a)pyrene and Other Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in Airborne Particulate Material by Ultrasonic Extraction and Reverse Phase High Pressure Liquid Chromatography. *Anal. Letters*, A11(12), 1051 ~ 1062, 1978.
 - 8) Cadle, S.H. and Groblicki, P.J. : An Evaluation of Methods for the Determination of Organic and Elemental Carbon in Particulate Samples. *Particulate Carbon: Atmospheric Life Cycle*, Wolff G.T. and Klimisch R.L.(Eds), Plenum Press, New York, 89~109, 1982.
 - 9) 조기철, 김희강 : 도시 대기 분유분진 중 다환방향족 탄화수소의 용도 및 임경분포특성, 한국대기보전학회지, 10(1), 57~63, 1994.
 - 10) Back Sung-ok : Evaluation of Sampling and Analytical Methods for Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Ambient Atmosphere. *J. KAPRA*, 7(1), 1~16, 1991.
 - 11) 橋本芳一, 山田辰雄, 中國環境研究, 第1版, 劍草書房, 東京, 1995.
 - 12) Hayashi, H., Inoue, Y. and Hayasaka, T. : Analysis of Particulate Carbon and Other Elements Using Elemental Analyzer. *J. Japan Soc. Air Pollut.*, 20, 349~361, 1985.
 - 13) Goulden, F. and Tipler, M. : Experiments on the Identification of 3,4-Benzopyrene in Domestic Soot by Means of the Fluorescence Spectrum. *Br. J. Cancer.*, 3, 157~ 160, 1949.
 - 14) Yamasaki, H., Tsujino, Y. and Kuwata, K. : Factor Analysis on Pollution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Ambient Air. *J. Japan Soc. Air Pollut.*, 19(4), 300~ 307, 1983.
 - 15) Bruce A., Benner J. and Glen E.G. : Mobile Sources of Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: A Roadway Tunnel Study. *Environ. Sci. Technol.*, 23, 1269~1278, 1989.
 - 16) 황성철, 김희강 : 대기 무유 입자상 물질중 Elemental Carbon과 Benzo(a)pyrene의 거동에 관한 연구, 1995년도 한국 대기보전학회 추계 학술대회, 광주, 1995년 11월.