

황사시와 비황사시 대기 입자상 탄소성분의 농도 특성

황경철^{1*} · 조기철¹ · 신은상²

동남보건대학 바이오환경과¹

동남보건대학 환경보건과²

Concentration Characteristics of Elemental and Organic Carbons

During Asian Dust Episode and Non-Episode

Kyung-chul Hwang* · Ki-chul Cho¹ · Eun-sang Shin²

¹Department of Bio & Environmental Science, Dongnam Health University

²Department of Environmental Health, Dongnam Health University

Abstract

In this study, Particulate carbon were determined from 1990 to 1995. The annual variation were investigated. The sampling was carried out using high volume air sampler.

Average concentrations of EC and OC during the yellow sand event were $25.70\mu\text{g}/\text{m}^3$ and $13.91\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively, $22.10\mu\text{g}/\text{m}^3$ and $10.33\mu\text{g}/\text{m}^3$ during the non-yellow sand event. TC concentration of TSP were 10.7% during the yellow sand event and 20.6% during the non-yellow sand event. Average concentration rate of EC and OC of TC were 64.9% and 35.1%, respectively during the yellow sand event, 67.6% and 32.4% during the non-yellow sand event.

Key Words: Particulate, EC, OC, Yellow sand, Concentration

*Corresponding author E-mail: ckc@dongnam.ac.kr

I. 서론

황사현상(Yellow Sand Phenomena)은 자연계의 대규모 모래먼지가 기류를 타고 이동하면서 침강하는 자연현상으로서 중국 황하 상류지역의 황토지대(Loess region)와 동북부지방의 Ordos, Gobi, Alsshan, 그리고 Takla Makan사막 등이 그 발원지로 알려져 있다^{4,9,12)}.

봄이 되면 건조한 황토지역이 급속히 가열되면서 남부 몽고지방에서 발달한 한랭전선과 강풍에 의해 지표부근의 많은 미세토사가 쉽게 상승하게 되며, 난류확산에 의해 편서풍의 영향을 받는 우리나라에 까지 이동하게 되는데¹²⁾ 황사의 장거리 이동 중에 중국에서의 급속한 산업화과정에서 배출된 다량의 대기오염물질을 동반하거나 동반된 성분간의 화학반응을 통해 또 다른 오염물질이 생성되고 있어 그 심각성을 더해주고 있다^{2,3)}.

따라서 황사 발생시에 대기 Aerosol을 채취하여 구성성분의 특성을 파악하는 것은 대기 중에서의 물질순환이나 화학반응을 생각함에 있어 매우 중요한 의미를 갖는다고 할 수 있다. 그러나 황사시에 유입되는 대기 Aerosol 중의 수용성 이온성분이나 금속성분등에 관해서는 많은 연구가 이루어지고 있지만 화석연료의 사용증대에 따라 비산토사 중에 다량 함유되어 있을 것으로 보이는⁹⁾ 입자상 탄소성분(Particulate Carbon Components ; PCC)에 대한 연구사례는 그리 많지 않은 실정이다.

황경철과 김희강,⁸⁾ Chow,¹⁰⁾ Guo¹²⁾ 등의 많은 연구자들에 의하면 대기 중의 PCC는 Aerosol의 주요 구성성분이며, 탄소입자의 핵이 되는 탄소코어의 표면에 발암성이나 변이원성을 나타내는 다환방향족 탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ; PAH)

및 니트로아렌류(nitroarenes)를 흡착하여 인체 폐포로의 운반체 역할을 하면서 여러 가지 건강장애를 일으키기도 한다. 특히 흑색의 원소탄소(Elemental Carbon ; EC)입자는 광 산란과 함께 광 흡수작용을 동시에 하기 때문에 대기의 가열 및 냉각에 관여하여 하층기류의 열평형 파괴와 기후변화를 야기하며, 온실효과(green house effect)등에 영향을 주고 있고, 이산화황(sulfur dioxide ; SO₂)의 SO₄²⁻ 변환에 촉매제로 작용하는 것으로 알려져 있다.¹⁵⁾ 한편, EC 표면에서의 SO₂ 산화는 산성물질의 강화와 관련하여서도 지대한 관심을 모으고 있는데 그 표면에서의 SO₄²⁻ 흡착은 주요 태양광 흡수입자인 EC의 친수성을 증가시켜 EC의 습성침착을 용이하게 하므로 대기 중에서의 체류시간을 단축시킴과 동시에 하층대기의 온도상승에 대한 EC의 기여를 감소시키는 역할도 하고 있기 때문이다.¹¹⁾

대기 중의 PCC는 이러한 여러 가지 이유로 인해 대기 질을 평가함에 있어 빠져서는 안 될 중요한 분석항목으로 지목되고 있는데 황사와 동반하여 우리나라로 장거리 이동된다는 점을 고려하여 이 성분의 대기농도에 대한 면밀한 검토가 우선되어야 할 것으로 여겨진다.

본 연구는 황사시와 비황사시 대기 PCC의 농도특성을 파악하는 데에 목적을 두었다. 이와 같은 연구를 통하여 복잡한 시정 감소현상의 원인규명에 기여할 수 있고, 악화된 대기질의 개선은 물론 합리적 관리방안들을 모색하기 위한 기초 자료로 제공될 수 있을 것으로 기대된다. 또한, PCC의 흡착제 역할로 인한 발암물질의 인체흡입과 관련하여 역학적 차원의 예방대책에 일조할 수 있을 것으로 보이며, 예술품이나 문화재, 건축자재 등에 대한 피해의 저감방안 강구에도 유용할 수 있을 것으로 사료된다.

II. 연구 방법

2.1 시료의 채취

본 실험에서는 1990년부터 1995년까지의 황사가 관측된 Table 1의 기간 중에 서울특별시 광진구 모진동에 위치한 건국대학교 공과대학 옥상(지상으로부터 약 17m높이)

에서 High Volume Air Sampler(Kimoto Inc., Model-120)에 Quartz Fiber Filter(Whatman Inc., QM-A, 8×10 in.)를 장착하고 매회 24hr동안 1,200L/min의 유량으로 대기 Aerosol을 포집하여 시료로 사용하였다. 평상시의 시료 또한 위와 같은 방법으로 채취하였으며, 황사가 관측되었던 당해년도에 매월 1~3회씩 총 77회에 걸쳐 포집하였다.

Table 1. The occurrence and duration number of days which the yellow sand was observed at Seoul during the period of 1990~1995

Year	Month				Total
	Apr.	May	Nov.	Dec.	
1990	1(3) [8~10]	-	-	-	1(3)
1991	-	2(7) [1~2, 8~12]	1(1) [30]	1(3) [1~2, 3]	4(11)
1992	4(8) [12, 19~20, 22~23, 24~26]	-	-	-	4(8)
1993	5(10) [1~4, 7~8, 22, 23~24, 27]	1(4) [8~11]	-	-	6(14)
1994	-	-	-	-	-
1995	4(11) [7~9, 18, 23~26, 28~30]	1(2) [1~2]	-	-	5(13)
Total	14(32)	4(13)	1(1)	1(3)	20(49)

-: Not Occurrence

[]: Occurrence Days of Yellow Sand

(): Number of Duration Days

2.2 TSP의 측정

TSP는 시료 포집전후의 Filter무게차로 구하였다. Filter를 포집전과 포집후에 각각 24hr동안 Desicator에 방치하여 항량이 되게 한 다음 0.001mg의 감도를 갖는 Chemical Balance(Sartorius Inc., Model-2434)로 침량하였다.

2.3 탄소성분의 분석

환경 대기중의 PCC를 분석하기 위하여 원소분석기(Fisons Inc., Model-EA 1108)를 사용하였다. 이 분석기는 시료도입 이외의 각 조작

이 자동화되어 있으며, 분석 대상물질을 연소생성물로 전환시키는 'Flash Combustion'에 기본을 두고 있다. 1,020°C에 보전된 연소로에 시료를 도입하여 분석된 탄소성분을 총 탄소(Total Carbon: TC)로 하였으며, 350°C로 가열된 전기로(Sybron Inc., Model-48000)내에 시료를 5분간 방치, 유기탄소(Organic Carbon: OC)를 제거한 후 TC와 같은 방법으로 분석된 결과치를 원소탄소(Elemental Carbon: EC)로 하였고, OC는 TC와 EC의 차로 구하였다. 또, 탄산염탄소(CO_3 Carbon: CC)는 EC의 분석치에 포함된 것으로 간주하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1 TSP의 농도특성

황사시와 비황사시를 구분하여 각각의 TSP농도를 Table 2에 표시하였다. 표에서 보는 바와 같이 황사시의 TSP농도는 1990년에 $518\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 1991년과 1995년에 각각 $317\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮았으며, 황사가 관측되지 않았던 1994년을 제외한 5년간의 평균치는 $399\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 이것은 동기간 중의 비황사시 평균농도인 $159\mu\text{g}$

$/\text{m}^3$ 보다 2.5배 이상 높은 값이며, 1987년과 1988년의 황사기간 중에 일본의 서남부 5개 지역에서 측정된 평균치($213\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 1.9배나 높은 값이어서 평상시는 물론 근거리의 일본에 비해 황사에 의한 오염정도가 심각하다는 西川雅高 등⁹의 연구결과를 확인할 수 있었다. 특히, 1990년과 1993년의 황사시 평균농도는 비황사시의 3.0배와 3.5배로 측정되어 그 오염정도가 매우 높았던 것으로 나타났는데 경년에 따른 특이한 증감경향은 발견할 수 없었다.

Table 2. Average concentrations of TSP during yellow sand periods and normal periods in Seoul
(unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Year	Yellow Sand Periods		Normal Periods	
	Mean	Range	Mean	Range
1990	518	340 ~ 753	170	79 ~ 255
1991	317	260 ~ 379	174	83 ~ 260
1992	381	367 ~ 389	166	53 ~ 279
1993	459	134 ~ 795	130	38 ~ 263
1994	- ^a	-	= ^b	=
1995	317	216 ~ 421	154	60 ~ 249
Total Mean	399 ± 78.80	134 ~ 795	157 ± 14.91	38 ~ 279

* ^a Not Occurred, ^b Non Analysed

3.2 탄소성분의 농도 특성

황사시 및 비황사시의 PCC를 분석하여 Table 3과 Fig. 1에 나타내었는데 1991년부터 1996년까지의 황사시 PCC농도가 비황사시보다 높은 측정치를 보이고 있음을 알 수 있다. 즉, 1991년의 EC 및 OC농도가 $43.95\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 $23.21\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 비황사시의 $21.95\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $12.85\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높게 나타났고, 1992년의 황사시 농도 $43.13\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 $21.85\mu\text{g}/\text{m}^3$ 역시 비황사시 농도 $24.94\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 $12.42\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높

은 수치를 보였으며, 1993년과 1995년에도 이와 비슷한 경향을 나타내었다. 따라서 중국 대륙에서 발생된 자연 및 인공기원의 PCC가 황사의 이동과 함께 우리나라로 유입되고 있다고 해석할 수 있으며, 그 양은 황사의 발원지나 이동경로, 이동거리 등에 따라 달라진다고 볼 수 있다. 다만, 황사현상의 관측횟수가 1회뿐인 1990년의 경우에만 이와 상반되는 결과를 보였는데 이것은 황사의 발원지가 비 공업지역이고 황사의 이동경로에 공업지역이 포함되지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

Table 3. Average concentration of carbon in aerosol at yellow sand and non-yellow sand
(unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Year	Event	TSP	TC	OC	EC	TC/OC	TC/EC	EC/OC	TC/TSP
Avg.	Ys	398.6	48.2	16.0	32.2	3.01	1.50	2.01	0.12
	N- Ys	158.7	35.9	11.8	24.1	3.04	1.49	2.04	0.23
1990	Ys	518.0	22.4	9.2	13.2	2.43	1.70	1.43	0.04
	N- Ys	169.6	41.1	11.6	29.5	3.54	1.39	2.54	0.24
1991	Ys	317.5	67.2	23.2	44.0	2.90	1.53	1.90	0.21
	N- Ys	174.3	34.2	12.9	21.3	2.65	1.61	1.65	0.20
1992	Ys	381.3	66.0	21.9	44.1	3.01	1.50	2.01	0.17
	N- Ys	166.0	37.3	12.4	24.9	3.01	1.50	2.01	0.22
1993	Ys	459.4	38.4	11.1	27.3	3.46	1.41	2.46	0.08
	N- Ys	130.0	31.9	10.6	21.3	3.01	1.50	2.01	0.25
1995	Ys	317.0	47.4	14.8	32.6	3.20	1.45	2.20	0.15
	N- Ys	153.9	34.0	10.6	23.4	3.21	1.45	2.21	0.22

* Ys: Yellow Sand, N- Ys: Non-Yellow Sand

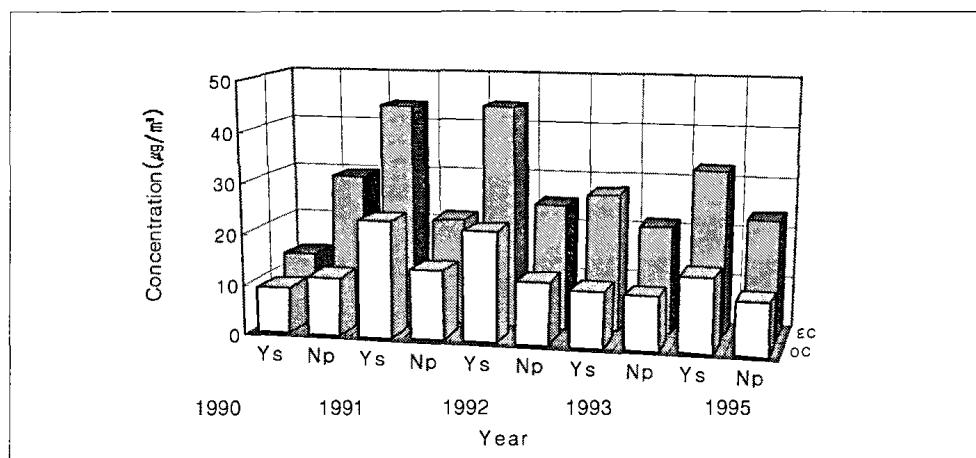


Fig. 1. Yearly variations of mean carbon concentration during

*Ys: Yellow Sand Periods, Np: Normal Periods yellow sand and normal periods

5년간의 평균농도는 황사시의 EC와 OC가 각각 $32.23\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $16.04\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 비황사시의 $24.08\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $11.60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높은 상태를 나타내었다. 이것은 일본에서 측정($n=16$)된 황사시의 EC와 OC의 평균농도 $5.60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $5.11\mu\text{g}/\text{m}^3$, 평상시의 $4.65\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $3.53\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 5.8배와 3.1배 및

5.2배와 3.3배가 각각 높은 수치지만 황사시와 비황사시의 농도차이에서는 같은 정도의 수준이다.⁹⁾ 또한, EC농도는 황사시나 비황사시를 불문하고 OC농도보다 2배정도의 높은 농도로 분석되었지만 황사 에어로솔 중 EC의 30% 정도와 비황사시 에어로솔 중 EC의 1.2% 이하가 토양으로부터 유래

되는 자연기원의 탄산염 탄소(CC)임을 고려할 때⁹⁾ 연소기원의 EC농도는 이보다 낮은 수치가 될 것으로 추정된다.

Fig. 2와 3은 TSP농도에 따라 EC 및 OC농도가 어떻게 변화하는지 그 변동상태를 살펴본 것이다. 여기에서 보면, 비황사시

의 TSP가 EC와 OC의 경년변화와 유사함을 보이고 있는데 반하여 황사시의 TSP와 EC, OC농도는 연도별로 다른 변화양상을 나타내어 1991년과 1992년, 1995년에 비슷하고 1990년과 1993년은 서로 상이하였다.

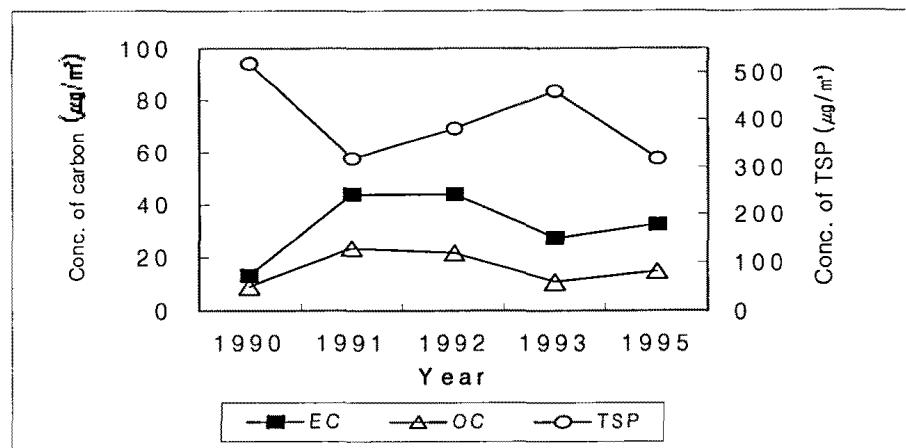


Fig. 2. Yearly patterns of EC, OC and TSP during yellow sand periods.

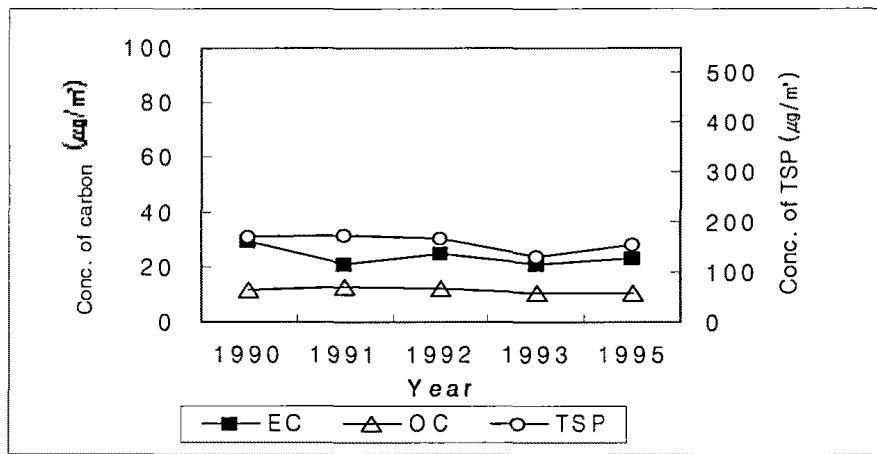


Fig. 3. Yearly patterns of EC, OC and TSP during normal periods.

이와 같은 현상은 PCC가 황사의 발원지나 이동경로, 저 탄소함유 황사 에어로솔과 고 탄소함유 비 황사 에어로솔의 혼합비율 등에 따라 그 농도가 변할 수 있다는 것을 의미하는 것으로 해석된다.

TSP중 탄소성분의 평균 함유율은 Fig. 4와 같이 황사시의 EC와 OC가 각각 8.1%

와 4.0%, 비황사시는 각각 15.1%와 7.3%로서 비황사시가 황사시보다 약 2배 정도의 높은 비율로 분석되었다. Fig. 1에서 살펴본 바와 같이, 황사시가 비황사시에 비해 높은 탄소농도를 보이고는 있지만 황사시에는 TSP의 농도가 높았기 때문에 상대적으로 탄소성분의 함유율이 낮아진 것으로 해

석된다.

Fig. 5는 EC와 OC가 TC중에 차지하는 함유율을 나타낸 것인데 황사시나 비황사시 모두 EC의 함유율이 높고 OC가 낮은 현상을 나타내고 있다. EC는 황사시와 비황사시에 각각 59~71% 및 62~72%의 범위를 각각 보였으며, 평균 함유율은 각각 66.8%와 67.5%였고, OC는 각각 29~41%와 28~38%의 범위로 평균 함유율은 34%와

33%이었다. 이와 같이 비황사시 TC중의 EC함유율이 황사시 TC중의 EC보다 높고 OC는 이와 상반되는 결과를 보였으나 그 차이는 크지 않았으며, EC와 OC는 황사시와 비황사시를 불문하고 경년에 따른 큰 폭의 변화 없이 일정비율로 대기 중에 존재하는 것으로 분석되었다.

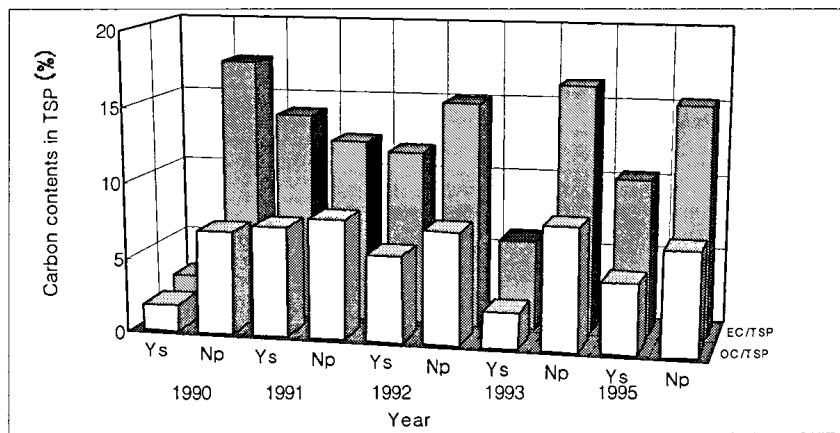


Fig. 4. Yearly variation of carbon ratio to TSP at yellow sand and normal periods.

*Ys: Yellow Sand Periods, Np: Normal Periods

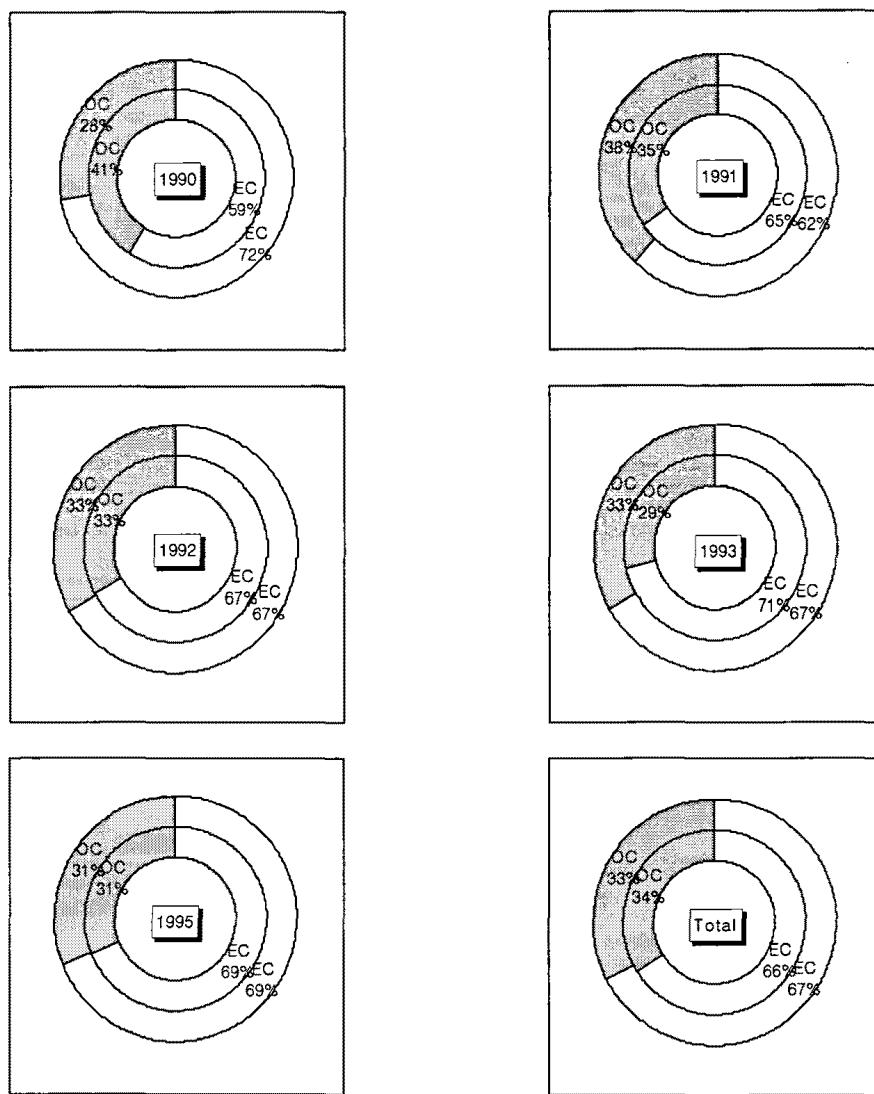


Fig. 5. Yearly variations of EC and OC ratio to TC
at yellow sand and normal periods.

* Inner Circle: Yellow Sand Periods, Outer Circle: Normal Periods

IV. 결 론

황사현상시 대기 중에 부유하는 입자상 탄소성분의 농도를 측정하고 특성을 분석하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. EC와 OC농도는 황사시 $25.70\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 $13.91\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고, 비황사시 $22.10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 $10.33\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 황사시 농도가 약간 높게 나

타났다. 그러나 1990년을 제외한 4년간의 농도는 비황사시보다 황사시에 상당히 높게 나타나 중국대륙에서 발생된 자연 및 인공기원의 탄소성분이 황사와 함께 우리나라에 유입되고 있음을 알 수 있었다.

2. EC나 OC는 황사시와 비황사시 경년변화 양상이 유사하며, 비황사시 TSP농도와 동일한 경향을 나타내었다. 그러나 황사시 TSP는 연도별로 EC 및 OC와 변화유형이 다르며, 황사시 TSP중의 탄소성분 농도는 황사의

발원지나 이동경로, 저탄소 함유 황사 aerosol과 고탄소 함유 비황사 aerosol의 혼합비율 등의 영향을 받는 것으로 파악되었다.

3. TSP중의 TC는 황사 및 비황사시에 각각 10.7%와 20.6%로서, 비황사시 점유율이 2배 정도 높게 나타났다. 따라서 입자상 탄소성분의 대기 중 농도는 황사시 우위를 점하고 있지만 TSP중의 함유율은 비황사시에 높은 것으로 파악되었다.

4. TC중 EC와 OC의 함유율은 황사시 64.9%와 35.1%이고, 비황사시 67.6%와 32.4%로서 황사시와 비황사시 모두 EC점유율이 높고 OC가 낮은 경향을 보였다. 또한 비황사시 TC중의 EC 함유율은 황사시 TC중의 EC보다 높게 나타났고, OC는 이와 상반되는 결과를 보였으나 그 차이는 크지 않았으며, 경년변화는 큰 차이가 없이 일정비율로 대기 중에 존재함을 알 수 있었다.

황사시 대기 입자상 탄소성분의 농도 상승에 따른 인체, 생태계 및 대기환경에 미치는 악영향이 우려되므로, 이에 대한 적절한 대책이 강구되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 동남보건대학 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참고문헌

1. 김남진, 안경수, 한선규, 이광식, 이승천, 정권, 김주형: 2008년도 서울지역발생 황사의 입자상 오염물질 특성, 한국대기환경학회 2009 춘계학술대회 논문집, pp.628~630, 2009. 2008 춘계학술대회 논문집, pp.372~374, 2008.
2. 김종원, 박순웅: 서울대학교에서 관측된 2006년 황사/비황사 기간의 에어로솔의 물리/화학적 특성, 한국대기환경학회 2006 추계학술대회 논문집, pp.261~262, 2006.
3. 김현선, 허종배, 최보라, 김계선, 이승묵: 서울시 봄철 황사기간 동안의 PM 및 화학적 구성성분의 특성 파악, 한국대기환경학회 2007 추계학술대회 논문집, pp.203~204, 2007.
4. 박일수, 이석조, 김종춘, 김상균, 이동원, 이정영, 이재범, 김록호, 송형도: 황사와 비황사시 미세먼지 농도 특성 분석, 한국대기환경학회 2005 춘계학술대회 논문집, pp.93~94, 2005.
5. 신혜정, 한진석, 이민도, 김현재, 이종길, 심재형, 임용재, 이상욱, 서민정: 자동연속 모니터링을 이용한 입자상 물질 중 수용성이온 및 탄소성분 측정, 한국대기환경학회 2007 추계 학술대회 논문집, pp.303~304, 2007.
6. 정진상, 이철규, 이한림, 박정은, 김영준: 2005년 봄철 황사기간 동안의 서울시 대기중 탄소성분의 특성분석, 한국대기환경학회 2005 추계학술대회 논문집, pp.410~411, 2005.
7. 황경철: 대기중 입자상 탄소성분의 거동에 관한 연구, 건국대학교 대학원 박사학위논문, 1999.
8. 황경철, 김희강: 서울지역 일부대기중 부유먼지에 함유된 탄소성분과 Benzo(a)pyrene 성분의 농도변동양상에 관한 연구, 한국환경생학회지, 23(4), pp.91~96, 1997.
9. 西川雅高, 金森悟, 溝口次夫: 黃砂エアロツルに關する調査研究, 黃砂エアロツルの元素組成 昭和 63年度 環境廳報告書, pp.35~44, 1989.
10. Chow, J.C., Watson, E.M. Fujuta, Z. Lu, and D.R. Lawson: Temporal and Spatial Variations of $PM_{2.5}$ and PM_{10} Aerosol in the Southern California Air Quality Study, Atmospheric Environment,, 28, 2061~2080, 1994.
11. Gimeno, L., M. Sanchez, E. Hernandez,

- and L. Cana: Time Trends and Seasonal Variation of the Rainwater Chemical Composition in Spain, *J. Air & Waste Management Association*, 47, 811~837, 1997.
12. Guo, Z.G., J.L. Feng, M. Fang, H.Y. Chen and K.H. Lau: The elemental and organic characteristics of PM_{2.5} in Asian dust episodes in Qingdao, China, 2002. *Atmospheric Environment*, 38, pp.909~919, 2004.
13. Kyung-Chul Hwang, Chang-Jin Ma, The Distribution Characteristics and Long-term Trend of Carbonaceous Species in Airborne Particulate in Seoul between 1986 and 1996, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 19(E1), 2003.
14. Kyung-Chul Hwang, Chang-Jin Ma, Ki-Chul Cho: Scavenging Properties of Atmospheric Carbon by Precipitation, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 20(E2), pp.77~85, 2004.
15. National Research Council: Protecting Visibility in National Parks and Wilderness Area, *National Academy Press*, 1994.