

미세입자(PM_{2.5})에 포함된 탄소농도 계절 특성

Seasonal Characteristics of Elemental and Organic Carbon Concentrations in Fine Particles (PM_{2.5})

이 학 성 · 강 병 옥¹⁾

서원대학교 환경과학과, ¹⁾국립청주과학대학 환경공학과
(1999년 10월 4일 접수, 2000년 3월 6일 채택)

Hak Sung Lee and Byung-Wook Kang¹⁾

Dept. of Environmental Science, Seowon University

¹⁾Dept. of Environmental Industry, Chongju National College of Science and Technology

(Received 4 October 1999; accepted 6 March 2000)

Abstract

Elemental carbon (EC) and organic carbon (OC) in fine particles (PM_{2.5}) were collected from October 1995 through August 1996 in the Chongju area. The annual mean concentrations of EC and OC were 4.44 and 4.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. EC showed seasonal variation ($p < 0.01$). The magnitude of the seasonal mean EC concentration progresses in the following manner: fall > winter > spring > summer. However, OC was not statistically seasonal difference ($p = 0.20$). The annual average OC/EC ratio was 1.12, suggesting that organic carbon measured may be emitted directly in particulate form (primary aerosol). The contribution of EC to the PM_{2.5} mass follows a general pattern in which fall (14.6%) > winter (9.8%) > spring (7.8%) = summer (7.8%), and the contribution of OC to the PM_{2.5} mass varies in order fall (13.8%) > winter (11.3%) > spring (10.5%) > summer (9.4%). Total carbonaceous particles (EC and OC) accounted for 17~28% of the PM_{2.5} mass.

Key words : elemental carbon (EC), organic carbon (OC), PM_{2.5}

1. 서 론

대기 중에서 에어로졸 상태로 존재하는 탄소는 크게 원소탄소(Elemental carbon, EC)와 유기 탄소(Organic carbon, OC)로 구분될 수 있다. EC는 주로 연소에 의하여 생성되는 1차 오염물질이고, OC는 1차 오염물질로서 연소에 의하여 입자상태로 직접 배출되거나, 광화학 반응에 의하여 2차 오염물질로서도 생성될 수 있다(Turpin *et al.*, 1991; Gray *et al.*,

1986; Seinfeld, 1986).

일반적으로 OC/EC 비율이 2.0을 초과하면 OC를 대기 중에서 광화학 반응으로 생성된 2차 오염 물질로 분류하고 있다(Chow *et al.*, 1996; Hildemann *et al.*, 1991; Gray *et al.*, 1986). Watson *et al.* (1994)은 도시 대기오염의 주 오염원인 자동차에 대한 EC와 OC의 배출원 구성물질 성분비(source fingerprint)를 조사하였는데, 휘발유를 사용하는 자동차는 미세입자(PM_{2.5}) 중에 $30 \pm 12\%$ OC, $14 \pm 8\%$ EC가 배출하고, 디젤을 사용하는 자동차는 $40 \pm 7\%$ OC, $33 \pm 8\%$

EC가 배출된다고 보고하여서 디젤자동차에서 탄소가 더 많이 배출되는 것을 알 수 있다. 탄소는 도시지역에서 미세입자에서 차지하는 비율이 26~60%으로 높은 것으로 알려졌다 (Gray and Cass, 1998; Chan *et al.*, 1997; Chow *et al.*, 1996; Pratsinis *et al.*, 1984). 대기 중에서 시정장애에 영향을 미치는 먼지는 주로 0.1~1.0 μm 의 입자크기를 가진 미세입자이고, 미세입자 성분 중에서 EC, SO_4^- , NO_3^- , NH_4^+ 와 OC가 주로 시정장애를 일으킨다고 알려졌다 (Conner *et al.*, 1991; Groblicki *et al.*, 1981; Countess *et al.*, 1980). 그리고 EC는 SO_4^{2-} 와 NO_3^- 가 이차오염물질로서 대기 중에서 생성되는데 기여할 수 있다고 알려졌다 (Venkataraman and Friedlander, 1994). 최근 독일에서는 EC를 환경기준물질로 정하였고, 미국 California에서는 디젤차에서 나오는 에어로졸을 유독성 대기 오염물질로 정하는지를 검토 중에 있다 (Gray and Cass, 1998). 그러므로 도시지역의 미세입자 저감대책을 세우기 위해서는 EC와 OC에 대한 연구가 필수적이라 할 수 있겠다.

최근 국내에서는 Kim *et al.* (1999)이 서울에서 1994년 6월, 이종훈 등(1997)이 제주도 고산에서 1994년 7월 20일~8월 9일과 1995년 7월 20일~8월 1일에 대한 연구가 발표되었지만, 도시지역에서 장기간(봄, 여름, 가을, 겨울)에 걸친 연구는 본 연구

가 처음이라고 생각된다. 본 연구에서는 도시지역에서 시정장애에 영향을 주고, 미세입자의 주된 성분으로 알려진 EC와 OC에 대한 계절별 농도 특성과 미세입자 대한 EC와 OC의 성분 비율을 고찰하고자 한다.

2. 측정 및 분석

본 연구는 1995년 10월부터 1996년 8월까지 1년간 수행하였으며, 기상조건을 고려하여 각 계절의 대표적인 기간을 선택하였다. 측정은 가을(1995년 10월 9일~11월 18일), 겨울(1996년 1월 6일~2월 14일), 봄(1996년 4월 1일~5월 22일)과 여름(1996년 7월 24일~8월 25일)까지 총 58회 실시하였으며, 가을, 겨울과 봄에는 각각 15회씩, 여름에는 잦은 강우관계로 13회 측정하였다. 미세입자 중의 탄소(EC, OC)를 측정하기 위하여 입자크기가 2.5 μm 이상을 제거할 수 있는 Teflon으로 코팅된 cyclone과 여과지를 넣을 수 있는 필터팩으로 구성된 디누더 측정기(Annular denuder system, University Research Glassware)를 이용하였다. 측정은 측정 당일 오전 8시부터 다음날 8시까지 24시간 동안 10 L/min으로 포집하였고, 측정장소는 주위에 장애물이 없고, 청주시 중심에 위치한 청주과학대학 옥상(지

Table 1. Specifications of the TOR carbon analyser^a.

Subjects	Specification
Sample requirements	Quartz fiber filter: pre-fired at 900°C for at least 3 h (before sampling) Sample size: 0.5 cm ² punch (uniform deposit) Sample storage: store below 4°C
Analysis time	15~82 min
Measurement range	0.2~750 $\mu\text{g carbon/cm}^2$
Detection limit	0.2 $\mu\text{g carbon/cm}^2$
FID precision	0.1% of full scale
Reflectance signal precision	0.2% of full scale
Sample oven temperature precision	$\pm 10^\circ\text{C}$ at temperatures $< 450^\circ\text{C}$ $\pm 3^\circ\text{C}$ at temperatures $\geq 450^\circ\text{C}$
Oxidation oven temperature	912 $\pm 5^\circ\text{C}$
Methanator oven temperature	550 $\pm 5^\circ\text{C}$
Lower quantifiable limits	Organic carbon: 0.5~1.0 $\mu\text{g carbon/cm}^2$ Elemental carbon: 0.0~0.2 $\mu\text{g carbon/cm}^2$
Total carbon accuracy	$\pm 5\%$
Total carbon precision	For sample loading $< 10 \mu\text{g carbon/cm}^2$: $\pm 0.5 \mu\text{g carbon/cm}^2$ For sample loading $\geq 10 \mu\text{g carbon/cm}^2$: $\pm 3\%$

^a from Chow *et al.* (1993)

상에서 약 15 m 높이)에 측정기를 설치하였다. 사용된 여과지는 여과지 자체의 EC와 OC의 농도 함량을 낮추기 위하여 사전에 고온(650°C)에서 가열한 pre-fired quartz fiber filter(47 mm diameter, University Research Glassware)를 사용하였다. 여과지 사용 전·후에는 항상 밀봉하였고, 포집된 시료는 분석할 때까지 약 5°C로 유지된 냉장고에 보관하였다.

포집된 시료는 전문적으로 탄소성분을 분석하는 미국 Desert Research Institute (DRI)로 보내져서 Thermal/optical reflectance (TOR) 방법으로 분석하였는데, 현재 이 방법은 미국에서 EC와 OC의 농도분석에 많이 이용되고 있다(Chow *et al.*, 1997; Chow *et al.*, 1996; Watson *et al.*, 1994; Chow *et al.*, 1993; Huntzicker *et al.*, 1982). TOR방법은 포집된 quartz fiber filter로부터 일정면적(0.5 cm²)을 편지한 시료를 단계별로 온도를 올리면서 탄소성분을 휘발, 연소시켜 OC와 EC를 구별하는 것으로서, 각 온도에서 탄소가 메탄(CH₄)으로 전환되는데, 전환된 양을 정량할 수 있는 FID(Flame ionization detector)를 이용하여 탄소의 양을 분석하는 방법이다. OC는 100% He하에서 120, 250, 450과 550°C 단계별로 온도를 올리면서 휘발된 탄소를 말하며, EC는 OC가 550°C 이하에서 제거된 후에 2% 산소, 98% He하에서 온도를 550, 700과 800°C 단계별로 올리면서 연소된 탄소를 말한다(Chow *et al.*, 1993). 표 1은 TOR방법

에서 사용된 조건들을 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 결과

표 2에서는 EC, OC와 TC(Total carbon)에 대한 사계절 결과를 나타내었고, 그림 1은 각각에 대한 계절별 농도를 Box plot으로 나타내었다. TC는 EC와 OC의 합으로 계산된 값이다. 표 2에 의하면 EC에 대하여 가을, 겨울, 봄 그리고 여름에 대한 평균농도는 각각 6.35, 4.32, 3.59, 3.37 µg/m³이고, OC에 대하여 가을, 겨울, 봄 그리고 여름에 대한 평균농도는 각각 6.00, 4.99, 4.83, 4.04 µg/m³이었다. EC와 OC에 대한 사계절 평균농도는 각각 4.44와 4.99 µg/m³이었다. EC와 OC를 합친 TC의 가을, 겨울, 봄 그리고 여름에 대한 평균농도는 각각 12.3, 9.31, 8.41, 7.40 µg/m³이었고, 사계절 평균농도는 9.43 µg/m³이었다. 계절에 따른 농도변화를 통계분석(one-way analysis of variance)한 결과 EC는 계절별 농도 차이를 나타내었고(p<0.01), OC는 계절별 차이를 보이지 않았다(p=0.20). 표 3에서는 세계 다른 지역에서 미세입자(PM_{2.1} 또는 PM_{2.5})에서 측정된 EC와 OC에 대한 연구 결과들을 본 연구와 비교하였다. 표 4에서는 각 오염물질간의 상관관계를 계절별로 나타내었다. 각 성분들 사이의 높은 상관계수는 각

Table 2. Summary of data.

Species	Season	Concentration (µg/m ³)			
		Mean	SD ^a	Range	N ^b
Elemental carbon (EC)	Fall	6.35	3.59	2.19~12.5	15
	Winter	4.32	2.56	1.70~9.92	15
	Spring	3.59	1.07	1.96~5.88	15
	Summer	3.37	1.66	0.44~6.39	13
	Annual	4.44	2.65	0.44~12.5	58
Organic carbon (OC)	Fall	6.00	3.12	2.41~12.7	15
	Winter	4.99	2.59	2.01~9.70	15
	Spring	4.83	1.51	2.76~8.07	15
	Summer	4.04	1.95	1.11~7.44	13
	Annual	4.99	2.42	1.11~12.7	58
Total carbon (TC)	Fall	12.3	6.64	4.60~25.3	15
	Winter	9.31	5.05	3.84~20.0	15
	Spring	8.41	2.41	4.71~13.0	15
	Summer	7.40	3.53	1.55~13.8	13
	Annual	9.43	4.96	1.55~25.3	58

^a Standard deviation

^b Number of samples

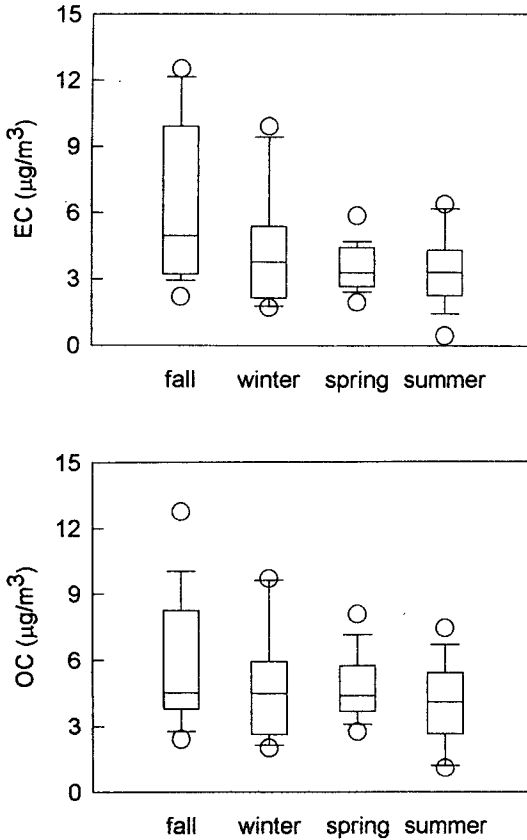


Fig. 1. Box plots of seasonal EC and OC concentrations. (the box plots indicate the mean concentration and the 10th, 25th, 75th and 90th percentiles)

Table 4. Pearson correlation coefficients between particulate species^a.

Species	Season	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PM _{2.5}	EC
EC	Fall	0.63	0.74	0.50	0.82	
	Winter	0.75	0.79	0.88	0.92	
	Spring	-0.02	-0.21	-0.14	0.00	
	Summer	0.66	0.77	0.69	0.82	
	Annual	0.33	0.65	0.45	0.64	
OC	Fall	0.54	0.64	0.44	0.76	0.96
	Winter	0.63	0.80	0.82	0.86	0.92
	Spring	-0.37	-0.45	-0.47	-0.09	0.74
	Summer	0.62	0.63	0.62	0.75	0.91
	Annual	0.26	0.58	0.41	0.63	0.91

^a The data of SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ and PM_{2.5} were from Kang *et al.* (1997).

성분들의 입자크기가 같은 그룹에 속할 수 있고, 서로의 성분들이 비슷한 배출원에서 배출되는 것으로 해석할 수 있다. 표 4에서 이용한 SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺와 PM_{2.5}의 자료들은 같은 측정기간에 탄소성분을 측정하는 측정기 바로 옆에 입자크기가 2.5 µm 이상을 제거할 수 있는 cyclone을 가진 같은 측정기(Annular denuder system, ADS)를 사용한 측정 결과이다(강병욱 등, 1997).

3. 2 EC와 OC의 농도 특성

표 2에 의하면, 미세입자에 포함된 EC와 OC의 연 평균농도는 각각 4.44, 4.99 µg/m³으로 거의 비슷

Table 3. Comparison of EC and OC studies for fine particles.

Study	Location	Concentration (µg/m ³)			Particle size
		EC	OC	OC/EC	
Gray <i>et al.</i> (1986) ^a	Los Angeles, USA	4.30	7.29	1.70	PM _{2.1}
Scheff and Valiozis (1990) ^b	Athens, Greece	4.2	16.9	4.02	PM _{2.5}
Kim <i>et al.</i> (1999) ^c	Seoul, Korea	7.57	9.97	1.32	PM _{2.5}
Chow <i>et al.</i> (1996) ^d	Central California, USA	3.33	7.39	2.22	PM _{2.5}
Vega <i>et al.</i> (1997) ^e	Mexico City, Mexico	5.2	12.8	2.46	PM _{2.5}
Lee <i>et al.</i> (1997) ^f	Cheju, Korea	0.27	3.74	13.9	PM _{2.5}
Ohta <i>et al.</i> (1998) ^g	Sapporo, Japan	4.25	3.74	0.88	PM _{2.5}
This study	Chongju, Korea	4.44	4.99	1.12	PM _{2.5}

^a Sixty-one samples during 1982 in Los Angeles, USA.
^b Twenty-seven samples in the spring of 1987 in Athens, Greece.
^c Seven samples during June 1994 in Seoul, Korea.
^d Fourteen samples during the summer of 1990 at Caliente in central California, USA.
^e Thirty-three samples in the winter of 1990 in Mexico city, Mexico.
^f Twenty-one samples in the summer of 1994 in Cheju Island, Korea.
^g Twenty-four samples from November 1991 to October 1992 in Sapporo, Japan.

한 농도를 나타내었다. EC의 농도는 통계학적으로 계절변화를 나타냈는데 ($p < 0.01$), 가을철의 평균농도 ($6.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$)가 가장 높았고, 여름철의 평균농도 ($3.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$)가 가장 낮게 나타났다. 일반적으로 EC의 농도 변화는 연료사용량이 많은 가을, 겨울철의 농도가 높았고, 연료사용량이 적은 봄과 여름철에는 낮은 농도를 보였다. 반면에, OC의 경우에는 통계학적으로 계절의 농도변화를 보이지 않았지만 ($p = 0.20$), 숫자상으로만 비교하였을 때 EC의 계절변화와 유사하였다. Gray *et al.* (1986)이 1982년 미국 대도시인 Los Angeles 지역에서 미세입자(PM_{2.1})에 포함된 EC와 OC를 측정하였는데, EC와 OC는 연료소비량이 많은 겨울철에 높은 농도를 나타냈고, 연료소비량이 적은 여름철에 낮은 농도를 나타냈다. Day *et al.* (1997)이 1988년에서 1994년까지 인위적인 오염원이 전혀 없고 청정지역으로 알려진 Great Smoky Mountains National Park에서 미세입자(PM_{2.5})의 OC를 측정한 결과 여름철에 가장 높은 농도 ($2.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$)를 겨울철에 가장 낮은 농도 ($1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$)를 나타냈다. 본 연구와 미국 두 지역의 연구결과를 보면, 도시지역에서의 OC는 겨울철에 농도가 높아서 연료 사용량과 관계가 있고, 청정지역에서의 OC의 농도는 여름철에 높아서 연료 사용량보다는 대기 중에서 일어나는 광화학 반응과 관계가 있다고 사료된다.

여러 논문에서는 OC/EC 비율이 2.0을 초과하면 OC를 대기 중에서 광화학 반응으로 생성된 2차 오염물질로 분류하고 있다 (Chow *et al.*, 1996; Hildemann *et al.*, 1991; Gray *et al.*, 1986). 본 연구에서의 년 평균농도에 대한 OC/EC 비율이 1.12이고, 봄, 여름, 가을, 겨울에 대한 OC/EC 비율은 각각 1.35, 1.20, 0.94, 1.12으로 OC/EC 비율이 2.0 이하이므로 청정지역 1995년~1996년 동안 OC는 주로 1차 오염물질로서 연소에 의하여 입자상태로 직접 배출된 것으로 사료된다. 다른 지역의 미세입자(PM_{2.1} 또는 PM_{2.5})에서 측정된 EC와 OC의 농도와 OC/EC 비율을 표 3에 나타내었는데, Kim *et al.* (1999)이 1994년 6월에 서울에서 측정된 EC와 OC의 농도는 각각 $7.57, 9.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되어서 청정지역과 유사하게 OC/EC 비율이 1.32로 나타났다. Gray *et al.* (1986)이 1982년 미국 대도시인 Los Angeles 지역에서의 EC와 OC의 평균농도는 각각 $4.30, 7.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$

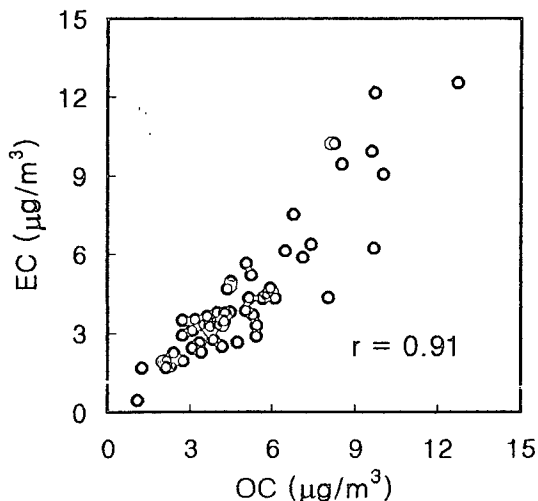


Fig. 2. Elemental carbon vs organic carbon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

으로 OC/EC 비율이 1.70이었다. Kaneyasu *et al.* (1995)이 일본 사포로에서 1987년 6월부터 1988년 12월까지 PM₁₀에 포함된 EC, OC 평균농도는 각각 $3.3, 3.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되어서 OC/EC 비율은 1.03이었고, Ohta *et al.* (1998)이 역시 일본 사포로에서 1991년 11월부터 1992년 10월까지 PM_{2.5}에 포함된 EC, OC 평균농도는 각각 $4.25, 3.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 OC의 농도가 낮게 측정되어 OC/EC 비율은 0.88이었다. Scheff와 Valiozis (1990)이 1987년 봄 그리스 아테네시의 EC, OC 평균농도는 각각 $4.2, 16.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되어서 OC/EC 비율은 4.02이었고, Chow *et al.* (1996)이 1990년 여름 미국 중앙 California Caliente 지역에서 측정한 EC, OC 평균농도는 각각 $3.33, 7.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 OC/EC 비율은 2.22이다. 그리고 이종훈 등 (1997)이 1994년 여름 청정지역인 제주도 고산에서 측정한 EC, OC 평균농도는 각각 $0.27, 3.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 OC/EC 비율은 13.9이고, Vega *et al.* (1997)이 대기오염이 세계적으로 심한 것으로 알려진 멕시코의 멕시코시에서 1990년 겨울철에 측정한 EC, OC 평균농도는 각각 $5.2, 12.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 OC/EC 비율은 2.46이었다. OC가 1차 또는 2차 오염물질 분류는 단순히 OC/EC 비율만 가지고 판단하지 않고, 측정당시의 측정지역 연료소비 경향, 배출원 특성, 지형적 특성, 계절변화, 기후 등의 복합적 요인들에 의하여 OC에 대한 2차 오염물질여부를 판단

하는 것이 옳다고 사료된다.

PM_{2.5}와 EC, OC의 상관계수는 봄철을 제외하곤 높게 측정되었는데, 이는 EC와 OC의 농도는 PM_{2.5} 농도와 관계가 있다고 해석할 수 있다(표 4). EC와 OC의 상관계수는 봄철($r=0.74$)을 제외하면 여름($r=0.91$), 가을($r=0.96$), 겨울($r=0.92$)철에 높은 관

측되어서 EC와 OC는 유사한 배출원에서 생성된 것으로 사료된다(표 4, 그림 2). 봄철에 상관관계가 낮은 것은 봄철에 한국에서 나타나는 황사(yellow sand)현상 때문으로 사료된다. Chung and Yoon (1996)에 의하면 황사는 몽고와 중국 북서쪽에 있는 고비사막과 Taklamakan에서 생기는 먼지구름인

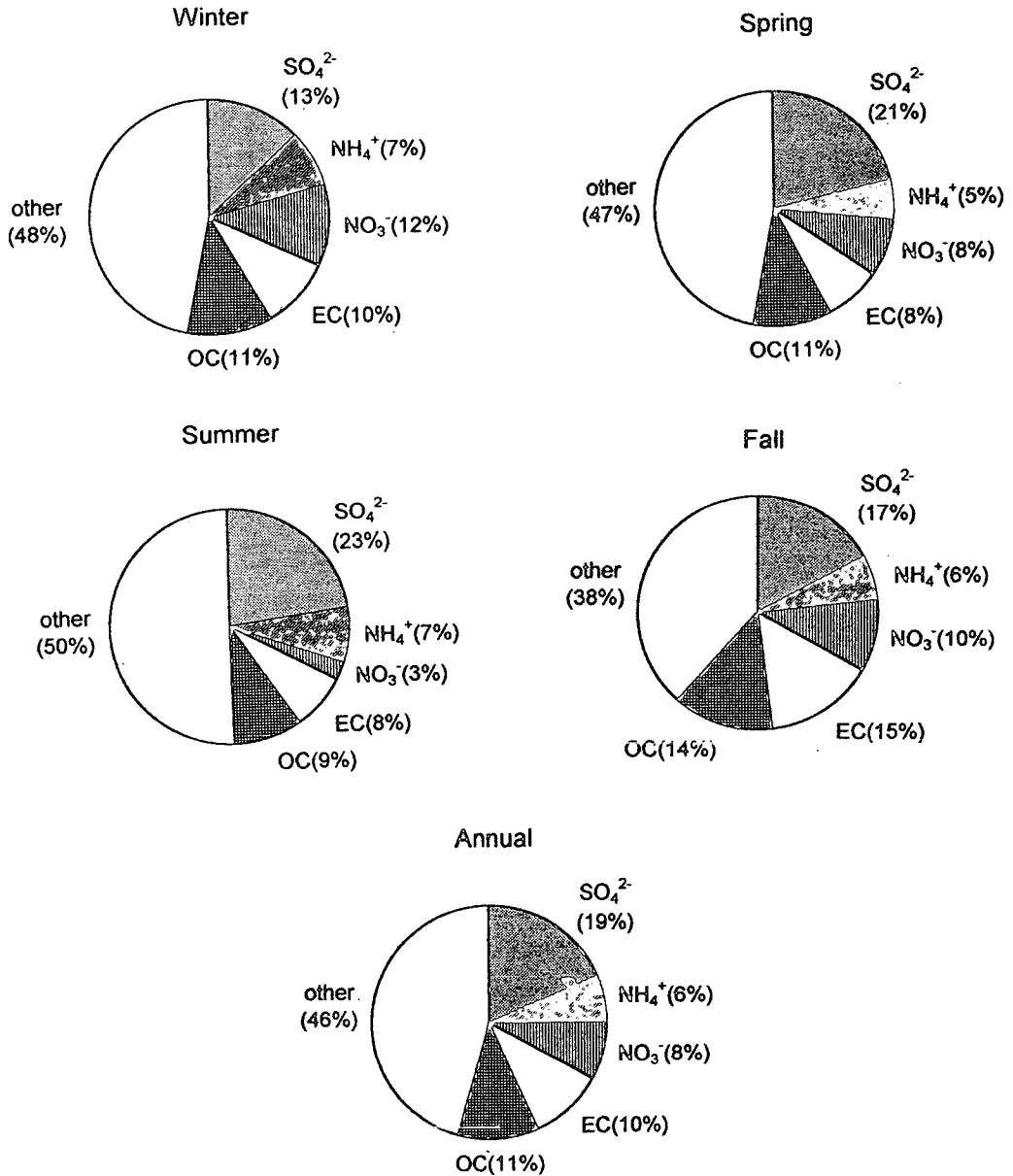


Fig. 3. Seasonal contributions by chemical species on fine particle concentrations.

Table 5. Components as a percentage of PM_{2.5}^a.

Species	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	EC	OC	All ^b
Fall	17.3	10.0	6.1	14.6	13.8	61.7
Winter	13.2	11.5	7.3	9.8	11.3	53.0
Spring	21.5	8.0	5.3	7.8	10.5	53.0
Summer	22.9	2.6	7.3	7.8	9.4	49.9
Annual	18.6	8.2	6.4	10.0	11.3	54.6

^a The data of SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ and PM_{2.5} were from Kang *et al.* (1997).

^b Sum of SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, EC and OC.

데, 850~500hPa로 동쪽과 남동쪽으로 이동하고, 예측된 먼지의 양은 1.5 Mton으로 조사되었다. 황사는 주로 조대입자로 구성되어 있어서 한국에서 봄철의 미세입자를 해석하는데 많은 어려움을 줄 수 있다고 생각된다. 그리고 청주의곽은 농촌지역이라 봄철의 농업활동도 영향을 줄 수 있다고 생각된다.

3.3 EC와 OC가 PM_{2.5}에 대한 성분 비율

미세입자의 주된 성분으로는 EC, OC, SO₄²⁻, NO₃⁻와 NH₄⁺으로 알려져 있다 (Chow *et al.*, 1996; Seinfeld 1986; Countess *et al.*, 1980). Chan *et al.* (1997) 이 1993년 9월에서 1994년 8월까지 호주 Brisbane에서 측정된 EC는 13%, OC는 40%가 미세입자(PM_{2.5})의 성분이고, Chow *et al.* (1996)이 1990년 여름 미국 중앙 California Caliente 지역에서 측정된 EC, OC가 PM_{2.5}에 차지하는 비율은 각각 17, 37%이었고, Pratsinis *et al.* (1984)가 1980년 7월에서 1981년 5월까지 미국 Los Angeles에서 측정된 EC는 9%, OC는 20%가 미세입자(PM_{3.5})의 성분으로 조사되었다. 그리스의 아테네에서 1987년 여름에 측정된 EC, OC는 각각 5, 21%가 PM_{2.5}의 성분으로 조사되었고 (Scheff and Valiozis, 1990), 멕시코의 멕시코시에서 1990년 겨울에 측정된 EC, OC는 각각 14, 36%가 PM_{2.5}의 성분으로 조사되었다 (Vega *et al.*, 1997).

그림 3은 강병욱 등(1997)의 논문에서 보여준 PM_{2.5}, SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺의 자료와 EC, OC의 자료를 이용하여 미세입자에 포함된 각 성분에 대한 계절별 분포율을 나타냈는데, PM_{2.5}에 대한 EC의 비율은 가을(14.6%)>겨울(9.8%)>봄(7.8%)=여름(7.8%) 순서로 사계절에 대한 평균은 10.0%으로 나타났고, OC의 비율은 가을(13.8%)>겨울(11.3%)>봄(10.5%)>여름(9.4%) 순서로 사계절에 대한 평균

은 11.30%으로 EC보다 조금 높게 조사되었다. TC (EC와 OC의 합)에 대한 PM_{2.5}에서 차지하는 비율은 17~28%이었다. 년 평균에 대한 PM_{2.5}에 포함된 분포율은 SO₄²⁻ (18.6)>OC (11.3%)>EC (10.0%)>NO₃⁻ (8.2%)>NH₄⁺ (6.4%) 순서로 나타났고, 5가지 성분(SO₄²⁻, OC, EC, NO₃⁻, NH₄⁺)들이 PM_{2.5}의 농도에 차지하는 비율은 50~62%으로 조사되었다.

4. 결 론

청주에서 1995년 10월부터 1996년 8월까지 1년 동안 총 58회 동안 미세입자에 포함된 EC와 OC 농도 특성에 대한 결과들은 다음과 같다.

1) 미세입자에 포함된 EC와 OC의 년 평균농도는 각각 4.44, 4.99 μg/m³으로 거의 비슷한 농도를 나타내었다. EC의 농도는 통계학적으로 계절변화를 나타냈는데 (p<0.01), 가을철의 평균농도(6.35 μg/m³)가 가장 높았고, 여름철의 평균농도(3.37 μg/m³)가 가장 낮게 나타났다. OC의 경우에는 통계학적으로 계절의 농도변화를 보이지 않았다 (p=0.20).

2) 년평균농도에 대한 OC/EC 비율이 1.12이고, 봄, 여름, 가을, 겨울에 대한 OC/EC 비율은 각각 1.35, 1.20, 0.94, 1.12으로 OC/EC 비율이 2.0 이하이므로 청주지역 1995년~1996년 동안 OC는 주로 1차 오염물질로서 연소에 의하여 입자상태로 직접 배출된 것으로 사료된다.

3) PM_{2.5}에 대한 EC의 비율은 가을(14.6%)>겨울(9.8%)>봄(7.8%)=여름(7.8%) 순서로 사계절에 대한 평균은 10.0%으로 나타났고, OC의 비율은 가을(13.8%)>겨울(11.3%)>봄(10.5%)>여름(9.4%) 순서로 사계절에 대한 평균은 11.30%이었다. 그리고 SO₄²⁻, OC, EC, NO₃⁻, NH₄⁺들이 PM_{2.5}의 농도에 차지하는 비율은 50~62%이었다

참 고 문 헌

강병욱, 이학성, 김희강 (1997) 청주지역 산성 가스상물질과 미세입자의 계절 변동 특성, 한국대기보전학회지, 13(5), 333-343.
 이종훈, 백남준, 심상규, 김용표 (1997) 제주도 고산에서의 1994~1995년 여름 입자상 탄소농도 측정, 한국대기보전학회지, 13(3), 179-191.

- Chan, Y.C., R.W. Simpson, G.H. Mctainsh, and P.D. Vowles (1997) Characterisation of chemical species in PM_{2.5} and PM₁₀ aerosols in Brisbane, Australia, *Atmos. Environ.*, 31(22), 3773-3785.
- Chow, J.C., J.G. Watson, Z. Lu, D.H. Lowenthal, C.A. Frazier, P.A. Solomon, R.H. Thuillier, and K. Magliano (1996) Descriptive analysis of PM_{2.5} and PM₁₀ at regionally representative locations during SIVAQS/AUSPEX, *Atmos. Environ.*, 30(12), 2079-2112.
- Chow, J.C., J.G. Watson, L.C. Pritchett, W.R. pierson, C.A. Frazier, and R.G. Purcell (1993) The DRI thermal/optical reflectance carbon analysis system: description, evaluation and applications in U.S. air quality studies, *Atmos. Environ.*, 27A(8), 1185-1201.
- Chung, Y.S. and M.B. Yoon (1996) On the occurrence of yellow sand and atmospheric loadings, *Atmos. Environ.*, 30(13), 2387-2397.
- Conner, W.D., R.L. Bennett, W.S. Weathers, and W.E. Wilson (1991) Particulate characteristics and visual effects of the atmosphere at Research Trangle Park, *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 41(2), 154-160.
- Countess, R.J., G.T. Wolff, and S.H. Cadle (1980) The Denver winter aerosol: a comprehensive chemical characterization, *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 30(11), 1194-1200.
- Day, D.E., W.C. Malm, and S.M. Kreidenweis (1997) Seasonal variations in aerosol composition and acidity at Shenandoah and Great Smoky mountain national parks, *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 47, 411-418.
- Gray, H.A. and G.R. Cass (1998) Source contributions to atmospheric fine carbon particle concentrations, *Atmos. Environ.*, 32(22), 3805-3825.
- Gray, H.A., G.R. Cass, J.J. Huntzicker, E.K. Heyerdahl, and J.A. Rau (1986) Characteristics of atmospheric organic and elemental carbon particle concentrations in Los Angeles, *Environ. Sci. Technol.*, 20(6), 580-589.
- Groblicki, P.J., G.T. Wolff, and R.J. Countess (1981) Visibility-reducing species in the Denver "Brown cloud" -I. Relationships between extinction and chemical composition, *Atmos. Environ.*, 15(12), 2473-2484.
- Hildemann, L.M., G.R. Markowski, and G.R. Cass (1991) Chemical composition of emissions from urban sources of fine organic aerosol, *Environ. Sci. Technol.*, 25, 744-759.
- Huntzicker, J.J., R.L. Johnson, J.J. Shah, and R.A. Cary (1982) Analysis of organic and elemental carbon in ambient aerosol by a thermal-optical method, In *Particulate Carbon: Atmospheric Life Cycle* (edited by Wolff G.T. and Klimisch R.L.), pp. 79-88. Plenum Press, New York.
- Kaneyasu, N., S. Ohta, and N. Murao (1995) Seasonal variation in the chemical composition of atmospheric aerosols and gaseous species in Sapporo, Japan, *Atmos. Environ.*, 29(13), 1559-1568.
- Kang, B.-W, H.S. Lee, and H.-K. Kim (1997) A seasonal variation of acidic gases and fine particle species in Chongju area, *J. Korea Air Poll. Res. Assoc.*, 13(5), 333-343.
- Kim, Y.P., K.-C. Moon, J.H. Lee, and N.J. Baik (1999) Concentrations of carbonaceous species in particles at Seoul and Cheju in Korea, *Atmos. Environ.*, 33(17), 2751-2758.
- Lee, J.H., N.J. Baik, S.G. Shim, and Y.P. Kim (1997) Measurement of carbonaceous species in fine particles at Kosan, Cheju Island during the two summer seasons of 1994 and 1995, *J. Korea Air Pollu. Res. Assoc.*, 13(3), 179-191.
- Ohta, S., M. Hori, S. Yamagata, and N. Murao (1998) Chemical characterization of atmospheric fine particles in Sapporo with determination of water content, *Atmos. Environ.*, 32(6), 1021-1025.
- Pratsinis, S., E.C. Ellis, T. Novakov, and S.K. Friedlander (1984) The carbon containing component of the Los Angeles aerosol : Source apportionment and contributions to the visibility budget, *J. Air Pollut. Control Assoc.*, 34(6), 643-650.
- Scheff, P.A. and C. Valiozis (1990) Characterization, and source identification of respirable particulate matter in Athens, Greece, *Atmos. Environ.*, 24A(1), 203-211.
- Seinfeld, J.H. (1986) *Atmospheric chemistry, and physics of air pollution*, Wiley Interscience, New York, NY.
- Turpin, B.J., J.J. Huntzicker, S.M. Larson, and G.R. Cass (1991) Los Angeles summer midday particulate carbon: primary and secondary aerosol, *Environ. Sci. Technol.*, 25(10), 1788-1793.
- Vega, E., I. Garcia, D. Apam, M.E. Ruiz, and M. Barbiaux (1997) Application of a chemical mass balance receptor model to respirable particulate matter in Mexico city, *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 47, 524-529.
- Venkataraman, C. and S.K. Friedlander (1994) Source resolution of fine particulate polycyclic aromatic hydro-

carbons using a receptor model modified for reactivity, *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 44, 1103-1108.
Watson, J.G., J.C. Chow, D.H. Lowenthal, L.C. Pritchett, and C.A. Frazier (1994) Differences in the carbon com-

position of source profiles for diesel- and gasoline-powered vehicles, *Atmos. Environ.*, 28(15), 2493-2505.