

강화도 지역에서 겨울철 PM_{2.5}의 화학적 성분 특성 Characteristics of Chemical Species in PM_{2.5} during the Winter in Kangwha

여현구 · 조기철¹⁾ · 최민규 · 김희강
건국대학교 환경공학과, ¹⁾동남보건대학 환경관리과
(1999년 10월 25일 접수, 2000년 4월 24일 채택)

Hyun-Gu Yeo, Ki-Chul Cho,¹⁾ Min-Kyu Choi and Hui-Kang Kim
Department of Environmental Engineering, Konkuk University
¹⁾*Department of Environmental Science, Dongnam Health College*
(Received 25 October 1999; accepted 24 April 2000)

Abstract

Chemical compositions of air pollutants with fine particles (<2.5 μm, PM_{2.5}) were evaluated at background site, Kangwha, in Korea during the winter season. The data set was obtained for seventeen days with 24-hour sampling from December 11 to 16, 1996 and from January 9 to 19, 1997. The chemical species have been measured SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, OC and EC in the particulate phase, NH₃, HNO₃, HCl and SO₂ in the gas phase using three stage filter pack method.

Mean concentrations (μg/m³) of this study were : 35.42 for PM_{2.5}, 8.78 for organic carbon (OC), 7.25 for nss SO₄²⁻, 4.94 for NO₃⁻, 3.58 for NH₄⁺ and 1.48 for elemental carbon (EC) respectively. Contributive rates of major particulate components in PM_{2.5} were OC (25%), nss-SO₄²⁻ (20%), NO₃⁻ (14%), NH₄⁺ (10%) and EC (4%) respectively, and these components could be accounted for 73% of PM_{2.5} mass. Reactive forms of NH₄⁺ were considered as NH₄NO₃ and NH₄SO₄²⁻ during the sampling periods. NO₃⁻/(NO₃⁻+HNO₃) and SO₄²⁻/(SO₄²⁻+SO₂) were calculated 0.8 and 0.9 respectively. Most of these compounds might be formed in particulate phase in the air. Correlation coefficient between OC and EC was 0.866 which might have the same sources during the sampling periods.

Key words : PM_{2.5}, background site, winter season, reactive forms

1. 서 론

대기중에서 존재하는 입자상 물질은 매우 다양한 특성을 가지고 있다. 이러한 입자의 특성으로는 입자의 크기, 화학적 성분, 액적과의 친화력, 빛의 산란

및 흡수 특성 등이다. 입자상물질중 입자의 직경이 2.5 μm 보다 작은 입자는 연소과정에서 직접 배출되거나 배출된 후 대기중에서 응집, 휘발성물질의 응축, 가스에서 입자로의 전환 등에 의해서 생성되는 이차 입자상물질이 대부분이다. 이러한 이차 입자상물질은 시정의 악화, 재산상의 피해 및 동·식

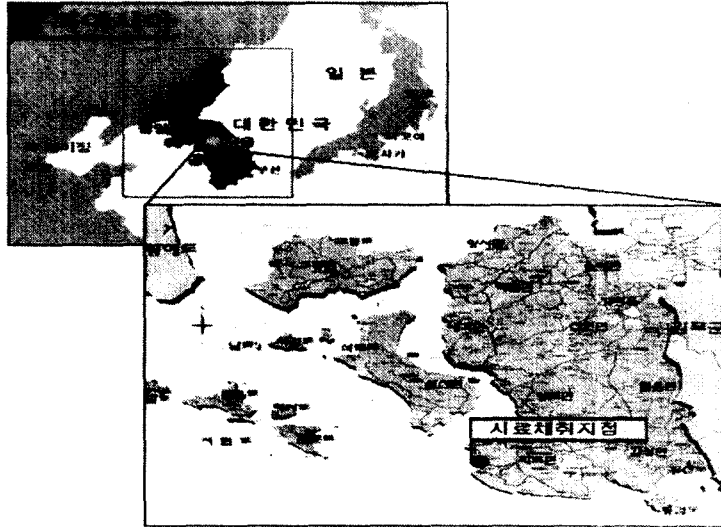


Fig. 1. Sampling site.

물에의 피해를 유발한다. 특히, 미세입자는 상당량이 이차 입자상물질이며 호흡기 계통의 질병을 일으킬 수 있는 확률이 일차 입자에 비해 높다고 알려져 있다 (Dockery *et al.*, 1998). 미세입자의 화학적 성분 분석에서 SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , OC (organic carbon), EC (elemental carbon) 및 Pb 등이 주로 발견되어왔다 (Seinfeld, 1986). 따라서 이차 입자상물질의 대부분은 산성오염물질인 황산화물과 질소산화물로서 이차 입자상물질의 특성을 파악하기 위해서는 이들의 전구물질인 산성가스상 물질에 대한 연구가 동시에 이루어져 할 것으로 생각된다. 또 최근들어 우리나라 청정지역에서 산성가스 및 입자상물질의 농도가 높게 나타나고 있어 이 지역들의 농도변화에 영향을 주는 오염물질을 파악하는 것 또한 매우 중요하리라 생각된다. 본 연구에서는 우리나라의 서해안에 위치한 청정지역인 강화도에서 미세입자의 전구물질이며 청정지역에서의 연구가 부족한 산성가스상 물질의 농도와 미세입자 중 주요 수용성이온 성분과 탄소성분의 존재형태를 파악하는 것을 목적으로 하였다.

2. 실험 및 방법

측정기간중 사용된 포집장치는 절단입경이 2.5 μm

Table 1. Analytical conditions of Ion Chromatography (IC).

	SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-	Na^+ , NH_4^+
Instrument	DX-100(DIONEX)	DX-100(DIONEX)
Column	IonPac AS12A	IonPac CS12
Eluent	2.7 mM Sodium Carbonate/0.3 mM Sodium Bicarbonate	20mM Methane Sulfonic Acid
Flow rate	1.5 ml/min	1 ml/min
Suppressor	ASRS-1 4 mm P/N 43189	CSRS-1 4 mm P/N 43190

인 사이클론(URG社, 16.7 lpm)을 필터팩 및 진공펌프(Dayton社, Max, 100 lpm)에 연결하여 사용하였다. 시료채취지점은 인천 광역시 강화군 강화리 화도면으로 주변에 논밭을 제외하고는 특별한 인위적인 오염원이 없는 곳이다. 시료채취기간은 1996년 12월 11일~12월 16일(6개 시료)과 1997년 1월 9일~1월 19일(11개 시료)까지로서 2차례에 걸쳐 시료를 포집하였다. 분석 항목은 $PM_{2.5}$ 중 입자상(질량 농도, 음이온 및 양이온) 및 가스상 물질(NH_3 , HNO_3 , HCl , SO_2)이며, 질량분석 및 이온분석을 위한 입자의 채취에는 테플론필터(Gelman社, Zefluor, pore size 2.0 μm, 47φmm)를 사용하였다. 측정기간중 채취된 $PM_{2.5}$ 의 무게농도는 시료채취 전후의 무게

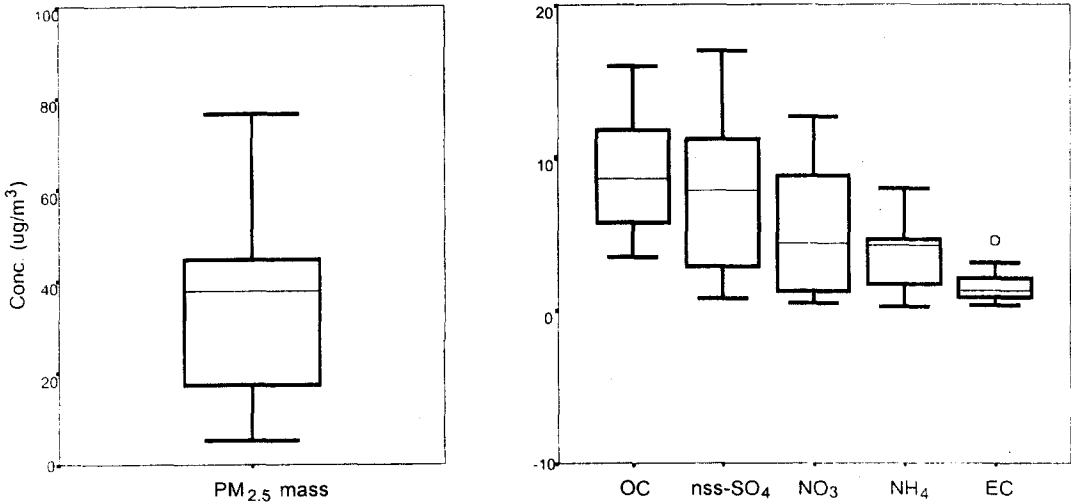


Fig. 2. Distribution of major components of PM_{2.5}.

차를 Chemical balance (SATORIUS社, R200D)를 이용하여 계산하였고, 수용성 이온성분은 시료에 초순수 10 ml를 넣은 후 sonicator에서 30분 동안 추출하여 pore size 0.2 μm를 가진 syringe filter (Gelman社 Acrodisc LC13 PVDF)를 사용하여 불용성입자를 거른 후, 이온크로마토그래프 (Dionex社, DX-100)를 이용하여 분석하였다. 탄소성분은 MnO₂를 이용한 선택성 열산화법 (selective thermal oxidation method)으로 미국 AtmAA사에서 분석하였으며, 검출기는 GC/FID를 이용하였다 (Fung, 1990). 표 1은 실험시 사용한 이온크로마토그래프의 분석조건을 나타낸 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 미세 입자 (PM_{2.5})의 성분 특성

측정기간동안의 PM_{2.5}중 주요성분의 농도분포를 그림 2에 나타내었다. PM_{2.5}의 평균 질량농도 (μg/m³)는 35.42 (5.26~76.60)이었고, 이 값은 중부지역의 태안에서 98년 겨울철에 측정된 28.41 μg/m³보다 1.3배 높았으며 청주에서 1996년 겨울철에 측정된 44.22 μg/m³보다는 1.3배 낮은 농도를 나타내었다 (강병욱, 1998; 국립환경연구원, 1998). PM_{2.5} 크기의 입자에 많이 포함된 것으로 알려져 있는 SO₄²⁻, NO₃⁻ 및 NH₄⁺ (Seinfeld, 1986)의 평균농도 (μg/m³)

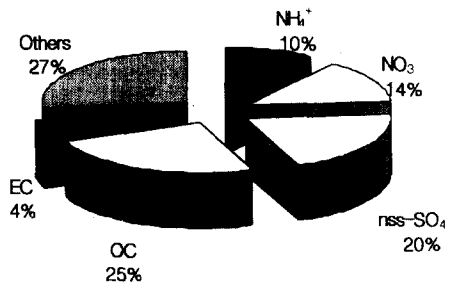


Fig. 3. Composition of components in PM_{2.5}.

는 각각 7.50 (0.44~17.28), 4.94 (0.15~12.69) 및 3.58 (0.15~7.36)로 각 이온성분의 최대, 최소값의 차이는 SO₄²⁻가 39배, NO₃⁻가 84배, NH₄⁺가 49배로 각각의 이온성분의 농도변화가 동일 계절에서도 크게 나타났다. 특히 본 연구에서 조사된 PM_{2.5} 질량농도는 EPA PM_{2.5} 일평균 기준농도인 65 μg/m³ (Schaefer *et al.*, 1997)을 상회하는 날이 '96년 12월 14일 (76.60 μg/m³)과 16일 (76.49 μg/m³)로 EPA의 PM_{2.5} 일평균 기준보다 2.2배 높은 농도였다. 이처럼 PM_{2.5}의 질량농도가 증가한 원인은 PM_{2.5}의 주요 성분인 SO₄²⁻ (2.2배), NO₃⁻ (2.5배), NH₄⁺ (2.1배) 및 OC (1.8배), EC (2.5배)의 증가에 의해 나타난 결과로 판단된다.

그림 3은 PM_{2.5}에 대한 주요 성분의 기여율을 나

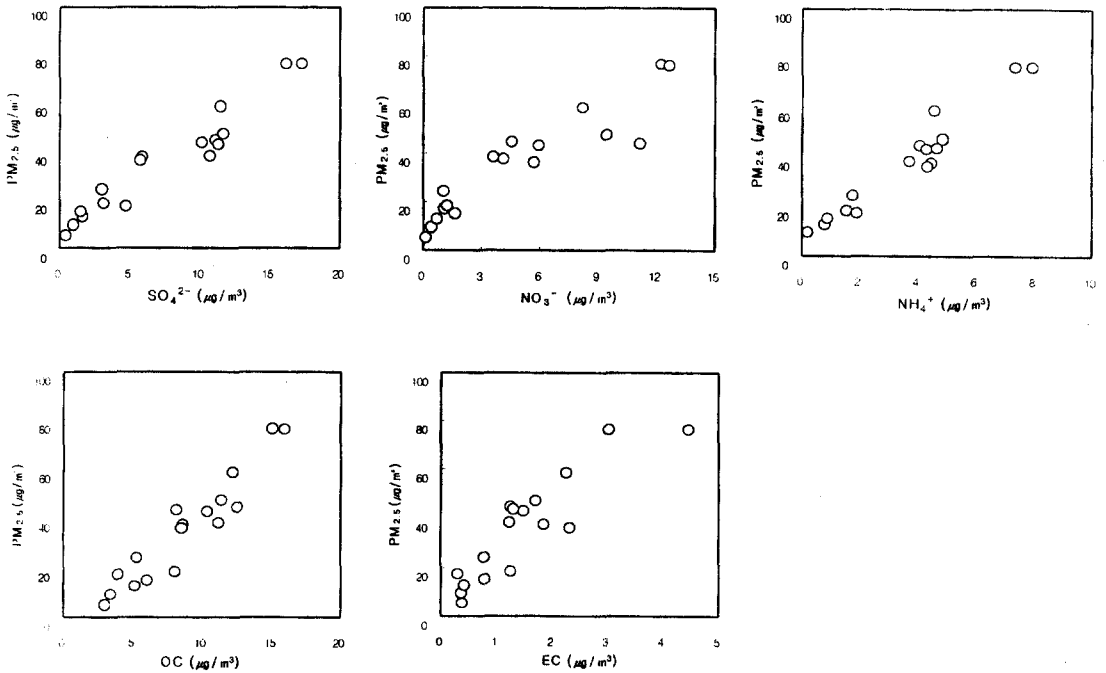


Fig. 4. Correlation coefficients between PM_{2.5} with aerosol components.

타낸 것이다. PM_{2.5}에 대한 OC, nss-SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ 및 EC의 평균 기여율은 각각 25, 20, 14, 10 및 4%로 PM_{2.5} 총량에 대한 위 성분의 기여율은 73% 정도였다. 강(1998)이 청주에서 겨울철에 조사한 분율 SO₄²⁻(13%)>OC(11%)>NO₃⁻(11%)>EC(10%)>NH₄⁺(7%)로 PM_{2.5} 질량농도의 51%를, Chow 등(1993)은 San Nicolas Island에서 조사한 분율은 각각 SO₄²⁻(29%)>OC(8%)>NH₄⁺(7%)>NO₃⁻(5%)>EC(1%)로 PM_{2.5} 질량농도의 50%를 설명하여 본 연구에 비해 오염물질별 및 전체 분율의 차이는 다소 나타났지만 위 성분들이 미세입자 영역에 존재하는 주요 구성성분임을 확인하였다(Chow *et al.*, 1993, 1996).

PM_{2.5} 농도와 주요 성분농도와의 상관성을 보면, PM_{2.5}와 SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ 및 OC, EC와의 상관계수(correlation coefficient)가 각각 0.96, 0.93, 0.97 및 0.95, 0.89로 유의수준 p<0.01를 만족하고 있다(그림 3). 즉 그림 4에서 보듯이 PM_{2.5}의 농도가 증가함에 따라 이 영역에 존재하는 위의 성분들이 같이 증가 하는 것을 알 수 있다. 위의 성분들 중 PM_{2.5}

질량농도의 변화에 가장 큰 영향인자를 파악하기 위해 SPSS 통계 패키지의 다중 회귀분석을 행한 결과 식(1)과 같은 회귀식을 얻었다.

$$[PM_{2.5} \text{ Mass}] = 6.225[NH_4^+] + 1.826[OC] \quad (1)$$

위의 식에서 보듯이 상수항과 SO₄²⁻, NO₃⁻, EC는 유의한 결과를 얻지 못해 제외되었고, NH₄⁺과 OC의 회귀계수는 유의한 결과를 얻었다(p<0.05). 즉, PM_{2.5} 질량농도 변화에 있어서 NH₄⁺과 OC는 SO₄²⁻, NO₃⁻ 및 EC에 비해 큰 영향을 준 것으로 판단된다. 또한 PM_{2.5}의 주요 구성성분으로 알려진 SO₄²⁻, NO₃⁻ OC 및 EC 보다 NH₄⁺의 기여율이 높게 나타난 것은 측정지점이 농업지역으로 비료 및 분뇨에 의한 기여가 타 지역보다 많았기 때문으로 판단된다.

3.2 가스상 성분 농도 특성

그림 5는 가스상물질들의 측정기간 중 농도분포를 나타낸 것으로 각 성분은 평균을 중심으로 안정된 정규분포를 보인다. HNO₃는 광화학작용이 활발한 여름철에 OH 라디칼과 NO₂의 반응을 통해 주로

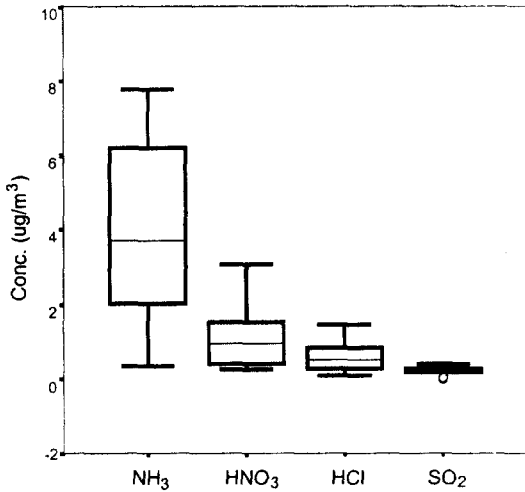


Fig. 5. Distribution of gas phase components.

생성된다(Calvert, 1983). 본 연구에서 HNO₃의 평균 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)는 1.11 (0.24~3.07)로 강(1998)이 청주시에서 측정된 겨울철 평균농도인 0.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 6배 정도 높은 농도를, Solomon 등(1992)이 LA 지역에서 동일계절에 측정된 평균농도인 5.00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비하면 4.5배 낮은 농도를 나타내었다. SO₂는 화석연료의 연소에 의해서 배출되는 대표적인 성분으로서 본 연구에서 측정된 평균농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)는 0.22 (0.02~0.39)로 강(1998)의 청주시에서 측정된 겨울철 평균농도인 30.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 136배 정도 낮은 농도를 나타내었고, 미국 Chicago의 겨울철 평균농도인 21.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 96배 낮은 농도를 나타내었다. 중부지역의 배경농도로 볼수 있는 태안 지역의 겨울철 평균농도인 1.43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 6.5배 정도 낮은 농도를 나타내 본 측정지점이 타 측정지점에 비해 화석연료의 사용량이 상대적으로 적은 것을 알 수 있었다. NH₃는 유기물질의 분해와 비료 등과 같은 농업활동이나 가축의 분뇨 등에서 주로 배출된다. 본 연구에서 측정된 NH₃의 평균농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)는 3.96 (0.33~7.77)로 강(1998)이 조사한 농도 1.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 3배 정도 높은 농도를 나타내었고, 제주도 고산지역의 0.69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다도 5배 정도 높은 농도를 나타내었다. 측정지점의 NH₃ 농도가 타 지역에 비해 높게 나타난 것은 농업활동이나 가축의 분뇨에서 배출된 농도의 기여도가 타 지역보다

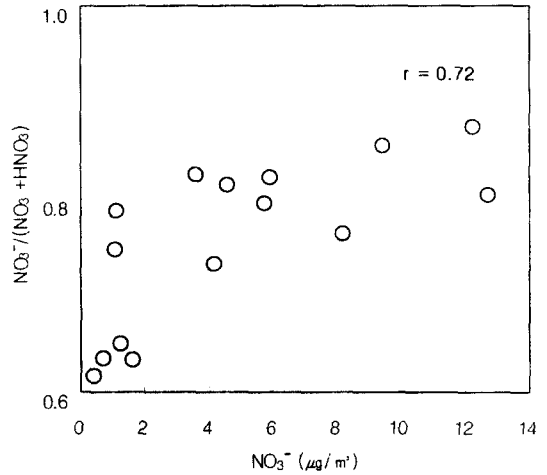


Fig. 6. Aerosol fraction of particulate nitrate.

높게 나타났기 때문으로 판단된다. 이와 같이 가스상물질들은 대기중에서 입자상으로 전환되어 미세 입자의 주요성분인 이차 입자를 생성하는 것으로 알려져 있다. 따라서 가스상물질과 PM_{2.5} 농도와의 상관관계를 분석한 결과, HNO₃, HCl, NH₃ 및 SO₂의 상관관계수가 각각 0.835 ($p < 0.01$), 0.871 ($p < 0.01$), 0.835 ($p < 0.01$) 및 0.349로 SO₂를 제외한 나머지 가스상물질들과 PM_{2.5} 농도가 양호한 상관관계를 나타내었다. 즉, 가스상물질들이 입자로의 전환을 통하여 PM_{2.5} 농도의 증가를 초래한 것으로 판단된다.

3. 2 입자상 NO₃⁻와 가스상 HNO₃

그림 6은 기체상 HNO₃와 입자상 NO₃⁻를 합한 총 질산염(HNO₃+NO₃⁻) 중 입자상 NO₃⁻의 분율(이하 에어로졸 분율)과 입자상 NO₃⁻의 농도 변화를 나타낸 것이다. HNO₃는 총 질산염중 19%를 설명한 반면 NO₃⁻는 총질산염중 81%를 설명하였다. 에어로졸 분율과 입자상 NO₃⁻의 상관관계수(r)은 0.72로 강한 양의 상관성을 나타내었다. 즉 총 질산염의 농도변화는 입자상 NO₃⁻의 영향을 크게 받는 것을 알 수 있고, 이는 아래 식(2)와 같은 NH₃-HNO₃-NH₄NO₃의 반응식으로 설명할 수 있다. 평형 조건에서 온도가 높은 여름철에는 가스상으로 이동하여 NH₃와 HNO₃의 농도가 높아지고, 온도가 낮은 겨울철에는 역반응으로 진행되어 고체상태인 NH₄

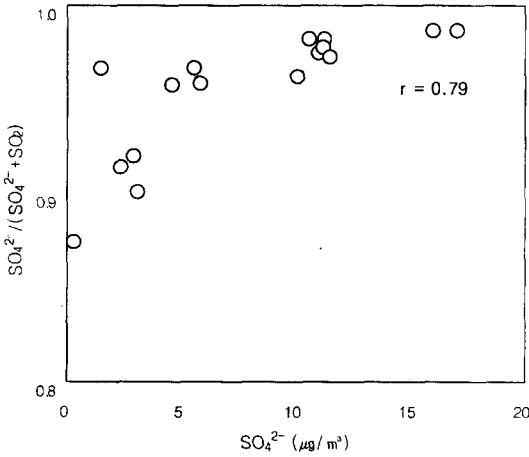
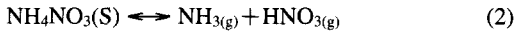


Fig. 7. Aerosol fraction of particulate sulfate vs corresponding of particulate sulfate.

NO₃(S)의 증가를 초래한다(Stelson과 Seinfeld, 1982). 그 결과 겨울철의 입자상 NO₃⁻의 농도는 가스상 HNO₃의 농도에 비해 높게 나타난 것으로 판단된다.



3.3 입자상 SO₄²⁻와 가스상 SO₂의 관계

SO₂의 SO₄²⁻로의 전환율은 겨울과 여름철에 다르게 나타나는데 여름은 대개 OH 라디칼에 의한 광화학 반응에 의해 SO₂가 SO₄²⁻로의 전환율이 증가하는 반면 겨울철은 광화학 반응이 상대적으로 약하여 SO₂가 액적중의 산화반응을 통해서 SO₄²⁻로 전환이 일어난다. SO₂와 SO₄²⁻의 가스-입자사이의 전환율을 알아보기 위해 전체 황에 대한 SO₄²⁻의 비율 아래 식(3)에 나타내었다.

$$S \text{ ratio} = \frac{[\text{SO}_4^{2-}]}{[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{SO}_2]} \quad (3)$$

S ratio가 높다는 것은 황산화물이 주로 입자상으로 대기중에 존재한다는 것을 의미하고, 이 비가 낮다는 것은 SO₂의 형태로 대기중에 존재한다는 것을 의미한다. 본 연구에서 조사된 S ratio는 0.96으로 측정기간중 황산화물이 대부분 입자상으로 대기중에 존재하였고, 총 질산염과 마찬가지로 입자상

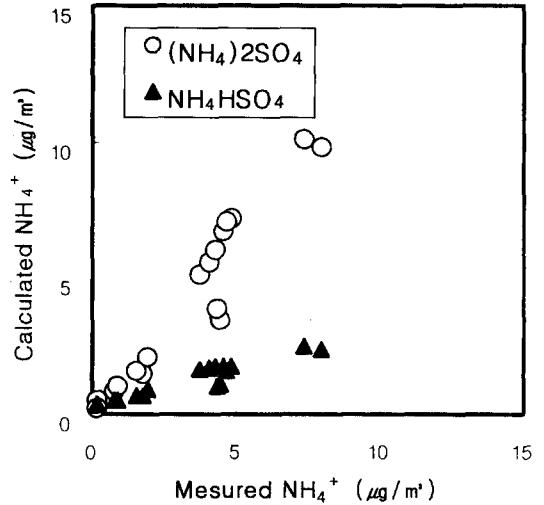


Fig. 8. Comparison between calculated and measured NH₄⁺ (○ : r=0.96, ▲ : r=0.94).

SO₄²⁻이 총 황산화물 농도에 영향을 준 것으로 판단된다(그림 7). 그러나 강(1998)이 청주지역에서 겨울철에 조사한 S ratio인 0.15와 북미지역에서 같은 계절에 조사한 0.25와 비교해 볼 때 본 연구에서 조사된 것과는 상당한 차이를 보였다. 즉, 도시에 비해 강화도 지역은 인위적으로 배출된 SO₂의 농도가 상당히 적다는 것을 감안할 때 이차적으로 생성된 SO₄²⁻의 기여가 큰 것은 오염물질의 외부 유입에 의한 영향을 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다.

3.4 NH₄⁺의 결합 형태

Appel 등(1978)의 보고에 의하면 SO₄²⁻와 NO₃⁻는 주로 NH₄⁺의 결합 형태로 존재한다는 것을 밝힌바 있고, Kadowaki (1976)는 나고야에서 측정된 결과, NO₃⁻은 미세입자에서 주로 NH₄nNO₃ 형태이고, 조대입자에서는 NaNO₃형태로 대기중에 존재한다고 보고하고 있다. Chow 등(1996)은 미세입자중에서 발견되는 SO₄²⁻와 NO₃⁻는 주로 암모늄과 반응하여 NH₄NO₃, (NH₄)₂SO₄ 및 (NH₄)HSO₄ 등을 생성하는 반면 조대입자의 경우는 질소산화물과 황산화물이 주로 Na과 반응하여 NaNO₃ 및 Na₂SO₄의 형태로 결합한다고 보고하였다. 즉, 미세입자에서 SO₄²⁻, NO₃⁻와 NH₄⁺간의 주요 결합형태는 NH₄NO₃, (NH₄)₂SO₄ 및 (NH₄)HSO₄ 동일 가능성이 큼을 알

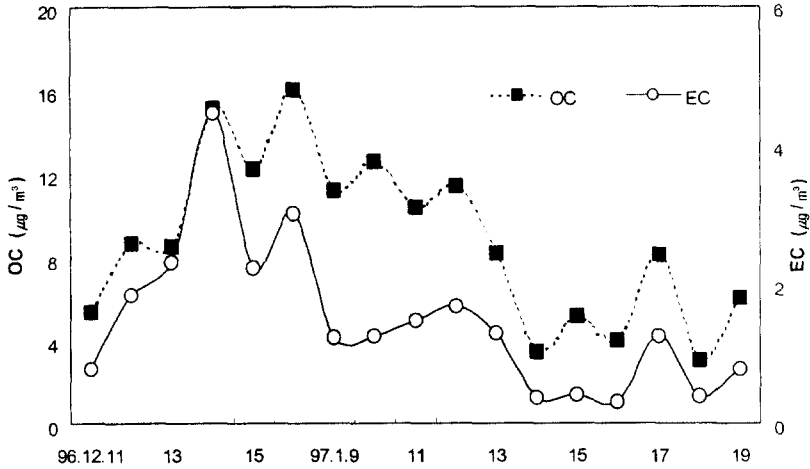


Fig. 9. Daily variations between OC and EC.

수 있다. 따라서 위의 결합형태를 가지고 다음과 같이 두가지 가정을 세울 수 있다. NH₄⁺의 결합형태는 첫째 NH₄NO₃과 (NH₄)₂SO₄일 경우, 두 번째 NH₄NO₃과 NH₄HSO₄일 경우로 나누어 이론치와 실측된 농도와의 관계를 비교하였다(그림 8). 그 결과 측정지점에서 NH₄⁺의 결합형태는 NH₄HSO₄ (r = 0.94)와 (NH₄)₂SO₄ (r = 0.96)이 유사하게 나타나 대기중 NH₄⁺은 위의 두 결합형태로 공존하고 있음을 확인하였다.

3.5 OC와 EC의 관계

그림 9는 측정기간중 OC와 EC의 일별 농도변화를 나타낸 것이다 오염된 도시 대기에서 OC와 EC은 입자상성분을 구성하는 주요성분으로, 미세 입자 질량농도의 약 40%를 차지한다고 보고한 바 있다(백남준 등, 1996). OC/EC의 비는 측정지역에 따라 차이가 있는데, 도시지역에서는 탄소성분의 배출원이 많기 때문에 OC/EC의 비가 유사하게 나타날 수 있으나 이 비는 해당지역의 배출원 특성과 계절성 및 기상 요인에 의해서 좌우된다고 할 수 있다(이종훈 등, 1997a). OC/EC의 비가 2 이상이면 대기중에서 이동하는 동안 이차 OC가 생성될 가능성이 클 것으로 생각된다(Chow et al., 1993). 그러나 청정 지역에서는 OC/EC의 비율이 도시지역의 비율보다 높게 나타나는 경우가 종종 있는데, 이는 화석연료의 연소에서 발생하는 EC보다는 식물체로부터 배

출되는 OC의 분율이 크게 작용하기 때문이다. 측정기간중 OC와 EC의 평균농도(µg/m³)는 각각 8.78, 1.48로 OC의 농도가 EC에 비해 5.9배 높게 나타났다. 일반적으로 EC는 주로 연소과정에서 직접 배출되는 것이 대부분인 반면 OC는 연소과정 등에서 직접 배출되는 일차입자 이외에 대기중에서 광화학 반응에 의해 생성되는 이차입자로 나눌 수 있다. Turpin과 Huntzicker (1995)은 OC와 EC가 동일한 배출원에서 배출된 일차 입자인 경우, 이 두성분은 대기중에서 비슷한 거동을 하여 높은 상관관계를 나타낼 것이고, 또한 OC가 기체상 물질이라고 하여도 이동되는 동안 대기중에서 2차 입자화 되어 EC와 같은 변동을 보일 수 있을 것으로 추정하였다. 측정기간동안 OC와 EC의 상관계수(r)는 0.866 (p < 0.01)로 매우 양호하여 대기중에서 유사한 거동을 보였고 측정기간이 겨울철(평균온도 -0.7°C)임을 감안할때 광화학작용에 의해 생성되는 2차 OC 입자의 기여와 식물체에서 직접 배출되는 1차 OC 입자의 기여가 상대적으로 낮다고 한다면 대기중에서 오염물질의 이동에 의해 생성된 2차 OC 입자의 유입이 크게 작용한 것으로 판단된다.

3. 결 론

서해안의 청정지역인 강화도지역에서 PM_{2.5}의 입자상 및 가스상 오염물질의 화학적특성을 파악하기

위해 1996년 12월 11일~12월 16일과 1997년 1월 10일~1월 19일의 겨울기간동안 총 17개 시료의 일별농도를 파악함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 측정기간중 OC, nss-SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ 및 EC가 차지하는 평균분율은 각각 25, 20, 14, 10 및 4%로 PM_{2.5} 질량농도의 73%를 차지하여 이들이 PM_{2.5}를 구성하는 주요 화학종임을 확인하였다.

2. PM_{2.5}의 질량농도와 HNO₃, HCl, NH₃ 및 SO₂의 상관계수가 각각 0.835 (p<0.01), 0.871 (p<0.01), 0.835 (p<0.01) 및 0.349로 나타나 가스상물질들이 입자로의 전환을 통하여 PM_{2.5} 농도의 증가를 초래한 것으로 판단된다.

3. 다중회귀분석을 행한 결과 회귀식은 [PM_{2.5} Mass]=6.225[NH₄⁺]+1.826[OC]로 나타나 PM_{2.5} 질량농도의 형성에 있어서 NH₄⁺과 OC에 의한 영향이 크게 나타났는데 이는 측정지점이 농업 지역이라는 특징을 반영한 결과로 판단된다.

4. PM_{2.5}중 총질산염과 총황산염의 존재 형태를 확인한 결과 측정기간중 위 화합물은 입자상 형태로 대기중에 존재하고 이는 광화학 반응에 의한 것 보다는 온도의 감소에 따라 액적중에서 입자로의 전환율의 증가로 인한 결과라 판단된다.

5. 측정기간중 NH₄⁺의 대기중 결합형태를 확인한 결과 NH₄NO₃와 NH₄SO₄로 존재할 가능성이 NH₄NO₃과 NH₄HSO₄에 비해 다소 높게 나타났으나 그 차이가 크지 않아 NH₄⁺은 위의 두 형태의 결합으로 대기중에 존재함을 확인하였다.

6. OC와 EC의 상관계수(r)는 0.866로 양호한 양의 상관성을 나타내 유사한 배출원에서 기여를 시사하였고, 특히 OC의 경우 대기중에서 이동에 의해 생성된 2차 입자일 가능성이 높게 나타났다.

참 고 문 헌

강병욱 (1998), 수용모델을 이용한 PM_{2.5}의 배출원 추정 - 청주지역을 중심으로 -, 건국대학교 박사학위 논문.
 국립환경연구원 (1998), 동북아 대기오염장거리 이동과 환경보전 협력에 관한 조사(1).
 백남준, 이종훈, 김용표, 문길주 (1996) 1994년 6월 서울지역 시정장애의 측정 및 분석, 한국대기보전학회지, 12(4), 407-419.
 이종훈, 백남준, 심상규, 김용표 (1997a) 제주도 고산에서의 1994~1995년 여름 입자상 탄소농도 측정, 한국

대기보전학회지, 13(3), 179-191.
 Appel, B.R., E.L. Kothny, E.M. Hoffer, G.M. Hiddy, and J.J. Wesolowski (1978) Sulfate and Nitrate data from the California aerosol characterization experiment (ACHEX), Environ. Sci. Technol., 12, 4581-4525.
 Calvert, J.G. (1983) Acid generation in the troposphere by gas phase chemistry, Environ. Sci. Technol., 17, 428A-443A.
 Chow, J.C., J.G. Watson, D.H. Lowenthal, P.A. Solomon, K.L. Magliano, S.D. Ziman, and L.W. Richards (1993) PM₁₀ and PM_{2.5} compositions in California's Valley, Aerosol Sci. Technol., 18, 105-128.
 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 PM₁₀ at regionally representative during STVAQS/AUSPEX, Atmos. Environ., 30(12), 2079-2112.
 Dockery, T.G., R.K. Stevens, G.E. Gorden, I. Olmez, A.E. Sheffield, and W.J. Conutney (1998) A composite receptor method applied to Philadelphia aerosol, Environ. Sci. Technol., 22(1), 46-52.
 Fung, K. (1990) Particulate carbon speciation by MnO₂ oxidation, Aerosol Sci. Technol., 12, 122-127.
 Kadowaki, S. (1976) Size distribution of atmospheric total aerosols, sulfate, ammonium and nitrate in the Nagoya area, Atmos. Environ., 10, 39-43.
 Schaefer, G., W. Hamilton, and C.V. Mathai (1997) Implementing the revised NAAQS and the FACA subcommittee for ozone, particulate matter, and regional haze, Air & Waste Management Association's Magazine for Environmental Manager, October, 22-28.
 Seinfeld, J.H. (1986) Atmospheric chemistry and physics of air pollution, John Wiley and Sons.
 Stelson, A.W. and J.H. Seinfeld (1982) Relative humidity and temperature dependence of the ammonium nitrate dissociation constant, Atmos. Environ., 16, 983-992.
 Solomon, P.A., L.G. Salmon, T. Fall, and G.R. Cass (1992) Spatial and temporal distribution of atmospheric nitric acid and particulate nitrate concentration in Los Angeles area. Environ. Sci. Technol., 26, 1594-1601.
 Turpin, B.J. and J.J. Huntzicker (1995) Identification of secondary organic aerosol episodes and quantitation of primary and secondary organic aerosol concentration during SCAQS, Atmos. Environ., 29, 3527-3544.