

Annular Denuder System을 이용한 부산시 대기 중 산성오염물질의 특성

Characteristics of Acidic Air Pollutants in Pusan Area Using an Annular Denuder System

정 장 표 · 정 창 용 · 이 학 성¹⁾

경성대학교 환경공학과

¹⁾서원대학교 환경과학과

(1997년 6월 28일 접수, 1997년 11월 15일 채택)

Jang-Pyo Cheong, Chang-Yong Cheong, Hak-Sung Lee¹⁾

Department of Environmental Engineering, KyungSung University, Pusan

¹⁾*Department of Environmental Science, Seowon University, Chongju*

(Received 28 June 1997; accepted 15 November 1997)

Abstract

An annular denuder filter pack sampling system (ADS) was used to collect acidic air pollutants in Pusan. During the study period (from June 1995 to November 1995), forty eight samples were collected every 12 hours starting from 6:00 in the morning. These samples were divided into two sets of data for day (6:00 a.m.-6:00 p.m.) and night (6:00 p.m.-6:00 a.m.). The chemical species were analyzed for HNO₃, HNO₂, SO₂ and NH₃ in the gas phase, and NO₃⁻, SO₄²⁻ and NH₄⁺ in the particulate phase.

The mean concentrations measured from this study were 0.24, 1.91, 30.07 and 4.24 μg/m³ for HNO₃, HNO₂, SO₂ and NH₃, respectively. The mean concentrations of NO₃⁻, SO₄²⁻ and NH₄⁺ were 1.95, 7.36 and 3.48 μg/m³, respectively. The mean concentrations of gaseous species except for HNO₂ were higher in daytime than in nighttime, but the reverse was true in the particulates except for NH₄⁺.

Key words : acidic air pollutants, annular denuder system (ADS), Pusan

1. 서 론

오늘날 산업의 발달과 인구집중현상에 의하여 한정된 특정지역에서의 대기오염현상이 날로 심각해지고 있다. 세계 각국에서는, 이러한 대기오염현상에 대한 적절한 통제 및 관리대책수립에 많은 노력과

투자를 해온 결과, 효율적인 연소방법의 강구, 효과적이고 강력한 배출규제 정책의 수립 및 시행, 그리고 대기오염물질의 확산성을 높이기 위한 보다 큰 연돌의 설치 의무화 등의 조치를 통해 일반적으로 대기환경기준 항목에 설정된 대기질은 향상되고 있는 추세이다. 그러나 산성비, 시정장애, 그리고 호흡기 계통의 질병에 악영향을 미치는 오염물질은 주

로 2차오염물질로 알려져 있어서 (Conner *et al.*, 1991; Spengler *et al.*, 1990), 대기환경기준의 항목들인 1차오염물질들의 현황만 가지고 정확한 대기질을 판단할 수 없다. 최근에 이르러 미국 등에서 행해진 대기오염물질이 인체에 미치는 영향에 대한 연구에서는 2차오염물질 중에서도 산성성분을 함유한 오염물질에 더욱 관심을 가지고 있는데, 이는 이와같은 오염물질들이 인체에 미치는 영향이 크기 때문이다. 예를들면, 호흡기 계통의 질병과 사망률은 1차오염물질인 SO₂ 보다 2차오염물질로서 에어로졸 상태로 존재하는 산성 오염물질 (SO₄²⁻ or H⁺)과 밀접한 관계가 있다고 하였다 (Spengler *et al.*, 1990). 그리고 대기 중의 SO₄²⁻와 H⁺는 유사한 입경분포를 가지고 있고, 대부분이 미세입자 크기로 존재한다고 보고된 바 있다 (Koutrakis *et al.*, 1989a).

대기 중으로 배출되는 오염물질 중 대기의 산성도에 영향을 미치는 물질은 주로 SO₂, NO_x, 염소화합물, 알카리성 물질로 대별해 볼 수 있으며 이러한 오염물질들은 가스상으로 HNO₃, HNO₂, SO₂, NO₂, NH₃ 등의 형태로 존재하며 입자상으로는 SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ 등의 형태로 존재한다.

기존의 필터팩 방식에 의하여 산성물질을 분석할 경우, 시료가 채취 및 분석되는 기간 동안 가스상물질이 입자상물질로 전환되는 등, 2차오염물질이 생성되기 때문에 정확한 분석과 평가가 어렵게 된다. 이러한 이유 등에 의하여 선진 외국의 경우 필터팩 방식의 단점을 보완하기 위하여 많은 연구가 이루어져 오고 있으며, 특히 미국의 경우 디누더 측정기 (annular denuder system, ADS)라는 특수한 시료채취장치를 개발하여 이 장치를 시카고 지역 및 보스턴 시 등 여러 곳에 설치 운영하여, 산성가스와 호흡성 분진에 속하는 PM_{2.5} 중의 산성 에어로졸 농도특성에 관한 측정 및 분석이 활발히 진행되고 있다.

ADS의 장점은 대기시료 중 가스상물질을 필터팩 전단에 설치된 몇 단의 디누더 (denuder)에서 선택적으로 흡착시켜 이차 입자상물질의 생성을 최대한 억제시킴으로서, 시료 채취시의 대기상태에 가장 근접한 조건에서 대기시료 중의 산성가스의 분석과 아울러 황산염 (SO₄²⁻)과 질산염 (NO₃⁻) 등과 같은 산성 에어로졸의 농도를 정확히 분석할 수 있다는 점이다.

부산지역의 경우 2차오염물질에 대한 집중적인

연구는 미미한 상태이고, 특히 가스상 물질과 입자상 물질을 분리, 포집하여 보다 정확한 가스상, 입자상 성분들의 농도를 측정할 수 있는 ADS를 이용한 연구 결과는 아직 보고된 바 없는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 ADS를 이용하여 부산지역의 대기 중 산성 오염물질을 채취·분석하여, 여름과 가을의 계절별 특성, 낮과 밤시간대에 따른 농도변화 특성을 고찰하고자 한다. 본 연구에서 측정된 가스상 성분들은 1차오염물질인 SO₂와 NH₃를 포함하여 HNO₃와 HNO₂이고, 미세입자 (d_p<2.5 μm)의 성분들 중 NO₃⁻, SO₄²⁻ 그리고 NH₄⁺ 등이다.

2. 실험방법

2.1 조사지점과 측정기간

본 실험의 시료 채취지점은 부산광역시 수영구 광안동 소재 보건환경연구원 옥상으로 지면에서 약 10m 정도 높이에 위치하고 있다. 전방 100m 앞에는 1995년을 기준으로 하루 약 52,000여대의 차량이 통행하고 있는 수영로가 위치하고 있는 지역으로서, 용도지역 구분은 주거지역으로 분류되어 있다. 인위적인 주 배출원은 차량과 주거 난방용 연료 사용에 기인하며 지리적으로는 남동쪽에 광안리 해수욕장이 있고, 서쪽에는 황령산이 위치하고 있는 곳으로 국지풍 (해륙풍, 산곡풍)에 의한 기류이동이 대체적으로 활발한 지역이다.

시료 채취기간은 1995년 6월 1일 부터 1995년 11월 24일이며, 채취시간은 하루를 낮 (06:00~18:00)과 밤 (18:00~06:00)으로 구분하여 각각 12시간씩 채취하였으며, 낮과 밤을 포함하여 총 48회의 시료를 채취하였다.

2.2 채취장치와 채취방법

본 실험에 사용한 ADS는 미국 URG (Universal Research Glassware)사의 제품으로 이 채취기구의 구성은 그림 1과 같다.

ADS의 제일 밑단에 부착된 사이클론은 테프론을 입힌 알루미늄으로 만들어졌으며 분진 중 조대입자 (d_p>2.5 μm)를 제거하는 역할을 하며, 디누더는 산성도에 영향을 미칠 수 있는 가스를 흡착하여 호흡성 분진 중 에어로졸과 가스를 분리하여 채취하게 되어 있다. 조대입자는 채취시 알칼리로 변화되

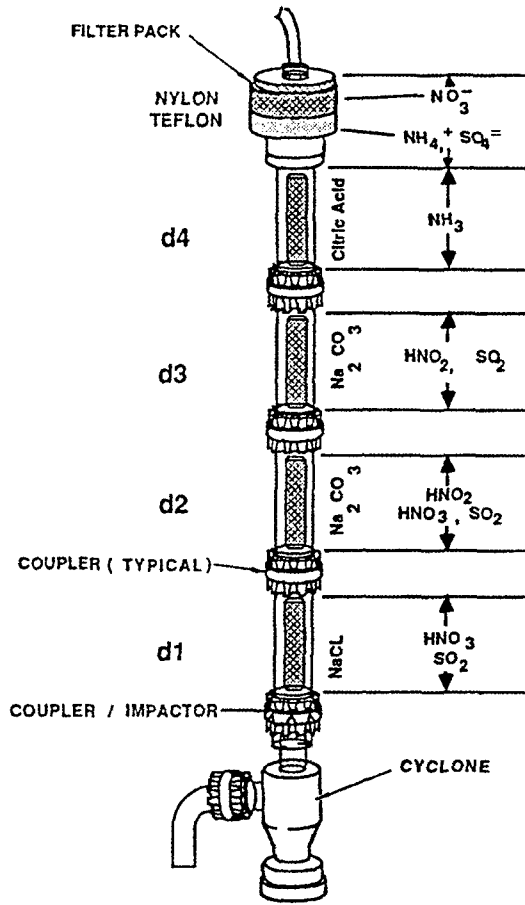


Fig. 1. Schematic view of annular denuder system.

어 가스상물질과 중화될 수 있다. 이러한 중화반응을 없애기 위하여 사이클론에서 조대입자를 먼저 제거하므로써 산성 에어로졸의 미세입자를 포집하게 된다. 이 사이클론은 포집공기가 층류상태에서 10 //min의 흡인 유량에 대하여 약 2.5 μ m의 평균 공기 동력학적 입경에 대하여 50%의 포집효율을 가진다 (U.S. EPA Manual, 1989). 그리고 4개로 연결된 디누더에서 첫번째, 두번째, 세번째 디누더는 NaCl과 Na₂CO₃을 입혀 SO₂, HNO₃, HNO₂의 가스를 채취하고, 네번째 디누더는 구연산(citric acid)을 입혀 NH₃을 포집한다.

채취방법은 디누더와 사이클론을 조립하여 보호상자에 넣고 여기에 진공펌프를 연결하였다. 이때, 진공펌프 앞단에 유량계를 부착하여 시료 채취시

흡인유량을 10 //min로 일정하게 유지하도록 조절하였으며, 이 장치에 연결되는 모든 튜브는 테프론으로 만들어진 것을 사용하였다. 시료 채취시 정확한 유량 보정을 위하여 습식가스메타(Shinagawa Seiki 사의 모델 : W-NK-1A)를 이용하여 유량계의 유량을 보정하였으며, 공급전원의 전압변동에 따른 유량 변동을 막기 위하여 정전압 트랜스를 사용하여 일정한 전원이 공급될 수 있도록 하였다. 그리고 시료 채취시간을 정확하게 조절하기 위하여 전원 공급 장치에 전자식 타이머를 부착하여 정확한 시간대가동 및 정지가 될 수 있도록 하여 정확한 채취시간대에 맞추어 낮과 밤시간대의 시료를 채취하였다.

2. 3 채취시료의 분석방법

2. 3. 1 디누더의 용출

먼저 ADS에 의해 채취된 디누더와 필터팩을 분해하여 실험실에서 아래와 같은 과정을 통해 실험을 행하였다. 첫번째와 두번째의 디누더는 초순수를 이용하여 5 ml씩 두번 반복하여 10 ml의 용출액을 만들었으며, 세번째 디누더는 5 ml 한번으로서 용출액을 만들었다. 네번째 디누더의 분석물질은 NH₃로서, 일반적으로 용출 실험시 실내공기 중의 암모니아의 영향을 받기 때문에 glove box를 이용하여 외부공기와 차단시킨 조건하에서 첫번째와 두번째 디누더 용출방법과 동일하게 실험을 하였다. 이렇게 용출된 시료는 Ion Chromatograph (Dionex DX-100)를 이용하여 음이온과 양이온을 분석하였다.

2. 3. 2 필터팩의 용출

디누더의 용출과정과 동일하게 먼저 ADS에 의해 채취된 디누더와 필터팩을 분해한 후, 다시 필터팩 부분을 테프론 필터와 Nylasorb 필터로 분리시켰다. 이와 같이 두 개로 분리된 필터의 용출절차는 그림 2에 도시된 순서도에 의해 IC로써 분석하였다. 모든 작업은 glove box를 사용하여 암모니아가 존재하지 않는 곳에서 하였으며 암모니아의 제거를 위하여 glove box 내에 Whatman NO.5 (24 cm) 필터에 구연산 코팅용액을 적서 넣고 약 10분 동안 깨끗한 공기(질소가스)를 불어넣어 환기를 시켰다.

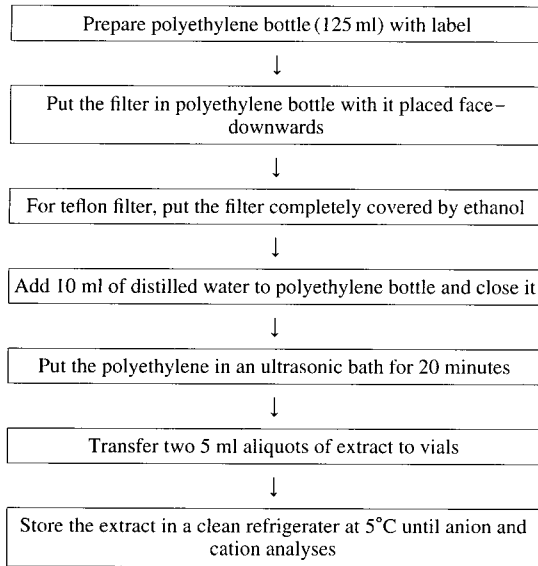


Fig. 2. Pretreatment procedure of filter.

3. 결과 및 고찰

3.1 대기 자동측정자료

ADS를 이용하여 대기시료를 채취한 동일 기간과 시간대의 자동측정시스템의 대기질 자료를 계절별(여름과 가을), 시간대별(낮과 밤)로 구분·정리하여 표 1에 나타내었다. 그리고 월별 농도변화를 파악하기 위해 표 2에 대기질 자료를 월별에 따른 낮과 밤시간대로 정리하였다. 이때 자동측정시스템의 대기질 자료는 ADS의 시료채취시간대에 속하는 5분 간격의 측정자료(각 144개)를 산술평균한 것을 사용하였다.

대기 자동측정 자료를 정리한 표 1과 표 2에 의하면 계절별 농도특성은 SO₂, NO, NO₂, CO의 경우 여름철(6, 7, 8월)에는 대체적으로 밤시간대의 농도가 낮시간대의 농도에 비해 높게 측정되었으며, 그 평균농도는 큰 차이를 보이지 않는 반면, 가을철(9, 10, 11월)의 경우는 낮시간대의 평균농도가 밤시간대의 평균농도보다 높게 나타났으며, 그 농도의 차이는 상대적으로 높게 측정되었다. 그러나 O₃의 경우는 계절에 관계없이 낮시간대의 평균농도가 밤시간대의 평균농도보다 높게 나타나고 있으며, 여름철의 경우가 가을철의 경우에 비하여, 이들간의 농도

Table 1. The day/night concentration data of continuous monitoring station by the season. (unit: µg/m³ at 0°C, 1atm)

Species	Season	Concentration				
		Time	Mean	SD ^a	Range	N ^b
SO ₂	Summer		31.10	20.17	8.37~90.34	24
		Day ^c	30.97	22.06	8.37~90.34	13
		Night ^d	31.25	17.69	11.14~66.64	11
	Fall		30.98	23.99	4.83~90.77	24
		Day	42.74	28.33	17.40~90.77	11
		Night	21.03	12.96	4.83~47.37	13
NO	Summer		12.02	9.57	1.71~38.02	24
		Day	12.78	9.10	3.74~38.02	13
		Night	11.13	10.03	1.71~27.90	11
	Fall		7.56	7.82	0.59~29.65	24
		Day	10.80	8.62	3.48~29.65	11
		Night	4.82	5.79	0.59~21.70	13
NO ₂	Summer		36.75	15.64	17.58~78.69	24
		Day	34.16	16.17	17.58~78.69	13
		Night	39.81	14.39	19.90~70.62	11
	Fall		37.19	19.04	10.72~76.19	24
		Day	42.43	18.55	20.15~76.19	11
		Night	32.76	18.31	10.72~71.90	13
CO	Summer		667.46	264.34	312.50~1215.66	24
		Day	667.03	278.48	312.50~1215.66	13
		Night	667.97	246.58	342.88~1174.30	11
	Fall		763.63	189.77	417.06~1160.20	24
		Day	830.51	152.60	560.15~1053.16	11
		Night	707.03	199.48	417.06~1160.20	13
O ₃	Summer		55.81	33.80	10.31~140.29	24
		Day	66.76	24.69	31.69~112.41	13
		Night	42.87	38.25	10.31~140.29	11
	Fall		66.70	17.95	15.96~99.86	24
		Day	71.78	12.51	42.64~88.99	13
		Night	62.41	20.55	15.96~99.86	11

^a: Standard deviation

^b: Number of samples

^c: 6:00 a.m. - 6:00 p.m.

^d: 6:00 p.m. - 6:00 a.m.

차(낮시간대 평균농도 : 66.76 µg/m³, 밤시간의 평균농도 : 42.87 µg/m³)가 크게 나타났다.

3.2 ADS의 성능 검증

ADS의 성능을 검증하기 위하여 같은 장소에서 설치 운영되고 있는 대기오염 자동측정기의 측정항목 중 ADS의 분석항목과 일치되는 SO₂ 농도자료에 대해 그 결과값을 서로 비교하였다. 이 때 1995년 6월부터 11월까지 낮과 밤시간대로 구분하고 ADS

Table 2. The day/night concentration data of continuous monitoring station by the month.
(unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ at 0°C , 1atm)

species	month	daytime ^a			nighttime ^b		
		Mean	SD ^c	N ^d	Mean	SD	N
SO ₂	6	23.34	3.47	4	27.20	7.68	4
	7	40.58	19.85	3	34.96	15.78	4
	8	31.25	27.65	6	31.69	24.84	3
	9	60.15	34.13	5	19.04	11.45	6
	10	33.50	3.17	3	22.65	15.90	5
	11	22.93	2.70	3	22.96	6.62	2
NO	6	6.32	2.23	4	8.05	10.00	4
	7	23.51	11.21	3	13.38	8.53	4
	8	11.71	5.17	6	12.23	11.08	3
	9	15.06	10.98	5	4.05	2.25	6
	10	7.36	3.02	3	5.12	8.29	5
	11	7.15	2.64	3	6.37	5.14	2
NO ₂	6	32.78	2.96	4	38.44	11.86	4
	7	45.78	24.73	3	46.18	13.36	4
	8	29.25	12.73	6	33.10	13.00	3
	9	47.32	22.61	5	30.55	14.90	6
	10	36.46	12.70	3	33.30	23.20	5
	11	40.22	12.95	3	38.01	11.09	2
CO	6	425.86	37.01	4	474.90	103.57	4
	7	654.79	220.66	3	633.57	181.84	4
	8	833.92	275.81	6	914.48	206.92	3
	9	812.68	159.57	5	628.64	77.57	6
	10	879.34	46.61	3	886.08	190.66	5
	11	807.88	164.51	3	494.60	77.54	2
O ₃	6	80.25	20.11	4	77.08	42.69	4
	7	60.30	13.94	3	23.16	19.89	4
	8	60.99	27.90	6	23.53	6.12	3
	9	67.43	14.02	5	53.52	19.22	6
	10	78.07	10.15	3	70.12	21.19	5
	11	72.74	8.40	3	69.76	8.67	2

^a: 6:00 a.m. - 6:00 p.m.
^b: 6:00 p.m. - 6:00 a.m.
^c: Standard deviation
^d: Number of samples

에 의해 채취 분석된 총 48개 아황산가스 농도자료의 측정시간대를 고려하여 재정리된 자동측정시스템의 아황산가스 농도자료를 대상으로 하였다. 이때, 동일한 비교조건을 만족시키기 위하여 디누더 및 자동측정기에 의한 아황산가스 농도자료는 0°C , 1atm의 표준상태조건에서의 질량농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)단위로 환산하였다. 사용한 SO₂ 자동측정기는 미국 Thermo Environmental Instruments Inc.의 Model-43A이며 측정방법은 형광법(pulsed fluorescent method)을 채택하고 있다. 그리고 ADS에 의한 SO₂의 농도값을

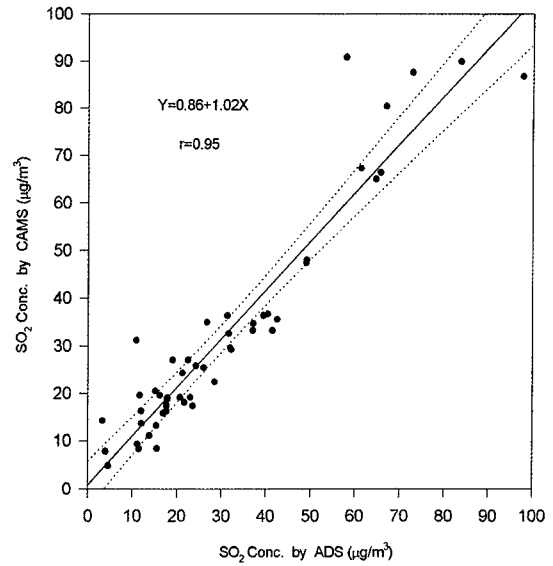


Fig. 3. Comparison of SO₂ concentrations measured using the ADS and fluorescent SO₂ analyzer (CAMS).

독립변수 X로, 자동측정기에 의한 SO₂ 농도값을 종속변수 Y로 두어 선형회귀분석을 행하였다. 그 결과 그림 3에서 도시한 바와 같이 결정계수 $r^2=0.9025$, 기울기의 값이 1.02, 절편이 0.86으로 산정되어 ADS에 의한 분석 결과값의 정확도를 확인할 수 있었다. Lee *et al.*(1993) 등에 의해 본 연구와 동일한 방법으로 ADS의 성능을 검증한 결과치(절편: 2.7, 기울기: 1.07, 결정계수: 0.9216)와 비교할때 거의 유사한 결과를 나타내었다.

3.3 산성오염물질의 농도특성

1995년 6월부터 11월까지의 낮시간대(오전 6시~오후 6시)와 밤시간대(오후 6시~오전 6시)로 구분하여 12시간씩 ADS를 이용하여 채취된 총 48개의 시료를 분석하여 얻어진 가스상물질(HNO₃, HNO₂, SO₂, NH₃)과 입자상물질(NO₃⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺)의 농도자료에 대하여 시료채취기간동안의 평균농도, 표준편차와 농도범위 등을 표 3에 정리하였으며, 이를 계절별로 구분하여 표 4에 나타내었다. 그리고 일별 농도변화를 낮시간대와 밤시간대로 구분하여 그림 4~6에 도시하였다.

그림 5와 6에 도시된 상자그래프에서 동근점으로

표시된 것은 최대 및 최소농도를 의미하며, 상자의 상·하한선은 각각 누적농도분포에서 75%, 25%순위에 해당하는 농도를 나타낸다. 그리고 상자에서 양쪽으로 뻗은 선의 양 끝단은 각각 5%, 95%의 순위농도에 해당된다.

그리고 지금까지 외국에서 ADS를 이용하여 대기 에어로졸의 농도를 분석한 사례를 본 연구의 결과와 연관시켜 정리하여 표 5에 나타내었다. 표 3에 정리된 바와 같이 가스상물질의 경우 HNO₂를 제외하고 낮시간대의 농도가 밤시간대의 농도보다 높게 나타났으며, 입자상의 경우는 모두 밤시간대의 농도가 높게 나타났다. 그리고 표 4에서 보는 바와 같이, 모든 분석항목들에 대하여 여름철의 평균농도가 가을철의 평균농도보다 특징적으로 높게 산정되었으나, SO₂의 경우는 미소한 농도차이를 보이고 있다. 가스상물질의 경우, 본 연구에 의해 분석된

Table 3. The day/night concentration data of acidic air pollutants for total samples measured with ADS.
(unit: µg/m³ at 0°C, 1atm)

Species	Time	Concentration			
		Mean	SD ^a	Range	N ^b
HNO ₃	All	0.24	0.31	0.00~1.24	48
	Day ^c	0.31	0.33	0.00~1.24	24
	Night ^d	0.17	0.27	0.00~1.12	24
HNO ₂	All	1.91	1.91	0.00~9.10	48
	Day	1.71	1.43	0.36~6.48	24
	Night	2.11	2.31	0.00~9.10	24
SO ₂	All	30.07	21.20	3.97~97.77	48
	Day	34.72	23.33	11.64~97.77	24
	Night	25.42	18.15	3.97~65.73	24
NH ₃	All	4.24	2.17	0.27~12.58	48
	Day	4.49	2.64	0.61~12.58	24
	Night	3.99	1.59	0.27~7.37	24
NO ₃ ⁻	All	1.95	2.72	0.07~15.65	48
	Day	1.78	1.88	0.14~9.43	24
	Night	2.12	3.39	0.07~15.65	24
SO ₄ ²⁻	All	7.36	5.51	0.86~25.37	48
	Day	7.21	5.13	0.98~21.79	24
	Night	7.52	5.98	0.86~25.37	24
NH ₄ ⁺	All	3.48	2.51	0.16~11.56	48
	Day	3.48	2.23	0.36~8.30	24
	Night	3.48	2.81	0.16~11.56	24

^a : Standard deviation
^b : Number of samples
^c : 6:00 a.m. - 6:00 p.m.
^d : 6:00 p.m. - 6:00 a.m.

Table 4. The seasonal averaged day/night concentration data of acidic air pollutants measured with ADS.
(unit: µg/m³ at 0°C, 1atm)

Species	Time	Concentration			
		Mean	SD ^a	Range	N ^b
HNO ₃	Summer	0.34	0.36	0.00~1.24	24
	Day ^c	0.42	0.37	0.00~1.24	13
	Night ^d	0.24	0.34	0.00~1.12	11
	Fall	0.13	0.17	0.00~0.56	24
	Day	0.17	0.18	0.00~0.56	11
	Night	0.10	0.16	0.00~0.48	13
HNO ₂	Summer	2.90	2.18	0.53~9.10	24
	Day	2.20	1.60	0.53~6.48	13
	Night	3.72	2.47	0.97~9.10	11
	Fall	0.93	0.70	0.00~2.69	24
	Day	1.14	0.80	0.36~2.69	11
	Night	0.75	0.54	0.00~1.90	13
SO ₂	Summer	30.73	19.60	11.64~83.69	24
	Day	29.69	20.20	11.64~83.69	13
	Night	31.95	18.79	13.82~65.73	11
	Fall	29.41	22.26	3.97~97.77	24
	Day	40.66	24.30	17.64~97.77	11
	Night	19.89	14.74	3.97~49.04	13
NH ₃	Summer	4.87	2.50	0.61~12.58	24
	Day	5.33	3.11	0.61~12.58	13
	Night	4.32	1.46	2.14~7.37	11
	Fall	3.61	1.61	0.27~6.30	24
	Day	3.49	1.57	1.07~6.30	11
	Night	3.71	1.71	0.27~6.22	13
NO ₃ ⁻	Summer	3.11	3.35	0.33~15.65	24
	Day	2.38	2.20	0.33~9.43	13
	Night	3.96	4.18	1.29~15.65	11
	Fall	0.80	0.74	0.07~2.66	24
	Day	1.08	0.86	0.14~2.66	11
	Night	0.56	0.52	0.07~1.86	13
SO ₄ ²⁻	Summer	9.20	6.47	1.83~25.37	24
	Day	7.71	6.03	1.83~21.79	13
	Night	10.95	6.53	5.04~25.37	11
	Fall	5.53	3.31	0.86~12.18	24
	Day	6.62	3.37	0.98~12.18	11
	Night	4.61	2.95	0.86~11.69	13
NH ₄ ⁺	Summer	3.74	2.87	0.38~11.56	24
	Day	2.80	2.05	0.38~6.61	13
	Night	4.86	3.38	1.46~11.56	11
	Fall	3.22	2.11	0.16~8.30	24
	Day	4.28	2.25	0.36~8.30	11
	Night	2.31	1.56	0.16~4.96	13

^a : Standard deviation
^b : Number of samples
^c : 6:00 a.m. - 6:00 p.m.
^d : 6:00 p.m. - 6:00 a.m.

Table 5. A summary of studies using ADS.

Study	Location	Mean Concentration (Min. ~ Max.) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)							
		HNO ₃	HNO ₂	SO ₂	NH ₃	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	H ⁺ (nmole/m ³)
Vossler <i>et al.</i> (1988)	RTP, NC	1.4 (0.9~2.0)	1.0 (0.6~1.6)	19.7 (12.6~32.2)	0.3 (0.1~0.6)	1.1 (0.4~2.1)	3.0 (2.4~4.7)		
Sickles <i>et al.</i> (1988)	Claremont, CA	4.8 (0.2~32.0)	3.4 (1.0~9.0)	3.2 (0.6~10)		3.3 (0.0~19)	2.4 (0.8~7.0)	1.0 (0.3~5.0)	
Stevens <i>et al.</i> (1988)	Boise, ID	0.2 (0.0~0.3)	4.1 (1.4~7.5)	8.1 (2.6~12)		3.3 (1.5~4.7)	2.0 (1.2~2.9)	8.1 (2.6~12)	
Dasch <i>et al.</i> (1989)	Warren, MI	1.2±0.8	2.7±1.9	16.8±11.5		3.7±2.8	3.9±2.0		
Scheff and Valiozis (1990)	Athens	6.1 (0.0~20.8)		83.3 (19.1~189)		2.0 (0.5~5.1)	10.4 (4.1~24)		
Perrino <i>et al.</i> (1990)	Rome, Italy	1.2 (0.9~1.8)	1.3 (1.0~1.6)						
Sickles and Hodson (1990)	RTP, NC	1.5±0.4		8.5±3.3	0.7±0.2				
Barbiaux (1990)	Mexico City	7.1 (0.5~28)		52 (29~85)		5.3 (1.0~23)	12.0 (5~30)		
Brauer <i>et al.</i> (1991)	Boston, MA	2.7 (0.8~7.8)	1.46 (0.~3.54)	10.6 (1.6~36.3)	1.1 (0.2~8.2)	0.54 (0.0~2.4)	16.9 (0~108)		
Waldman <i>et al.</i> (1991)	Atlanta, GA	5.4	7.97	15.2	1.43	0.96	12.3		
Koutrakis <i>et al.</i> (1988)	Portage, WI								8(0~78)
Spengler <i>et al.</i> (1989)	St. Louis, MO						5.9(0~40)		10(0~122)
Spengler <i>et al.</i> (1990)	Steubenville, OH Kingston, TN						7.1(0~28)		28(0~371) 36(0~290)
Lee <i>et al.</i> (1993)	Chicago, IL	0.81 (0.~4.85)	0.99 (0.16~2.57)	21.2 (1.37~81.2)	1.63 (0.11~8.2)	4.21 (0.~19.1)	5.55 (0.26~34.8)	2.74 (0.17~12.6)	7.7 (0~78.0)

HNO₃, HNO₂, SO₂의 총평균농도는 각각 0.24, 1.91 및 30.07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 산정되었으며, 이는 분석자료수와 채취기간에 따른 차이를 감안하더라도 대체적으로 선행연구에서 분석된 평균농도범위인 0.2~1.1, 0.99~4.1, 3.2~83.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 속하고 있다.

그러나, NH₃의 경우는, 그 평균농도가 4.87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 산정되어 타지역의 평균농도수준인 0.3~1.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비하여 3~16배 정도의 높은 농도값을 나타내고 있었다.

입자상물질의 경우를 살펴보면, NO₃⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺의 총평균농도는 각각 1.95, 7.36, 3.60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로써, 선행연구결과들의 평균농도범위인, 0.54~4.21, 2.0~16.9, 1.0~8.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 해당되고 있었다.

그리고 ADS를 이용하여 조사 분석된 연구 중, 멕시코시와 아테네시를 대상으로 한 연구에서 분석된 HNO₃, SO₂, NO₃⁻, SO₄²⁻의 농도수준은 모든 항목에 대해 본 연구의 결과보다 높은 수준을 나타내고 있었다.

그러나 본 연구의 결과와 미국지역을 대상으로 하고 있는 대부분의 연구 결과와 비교할 때, 본 연구에 의해 분석된 SO₂와 NH₃의 농도는 상당히 높은 수준을 나타내고 있으나, 그외의 분석항목들은 비슷한 농도 수준을 나타내고 있었다.

전반적으로 본 연구에 의해 분석된 HNO₃, NO₃⁻ 등의 농도는 대체적으로 낮은 수준을 나타낸 반면, SO₂, NH₃, SO₄²⁻ 등의 농도는 상대적으로 높은 농도 수준을 나타내고 있었다.

3.3.1 가스상물질의 농도특성

표 4와 그림 4~5에서 가스상물질들의 낮·밤시간대 구분에 따른 일변화 경향을 살펴보면, HNO₃, HNO₂의 경우, 여름철이 가을철에 비해 낮과 밤시간대의 농도차이가 상대적으로 크게 나타나고 있으며, 또한 그농도의 절대치도 큰 값을 나타내는 등 대체적으로 비슷한 농도변화경향을 나타내었다. SO₂의 경우는, 여름철에는 낮·밤시간대의 농도차가 거의 없는 반면에 가을철에는 낮의 농도가 밤의

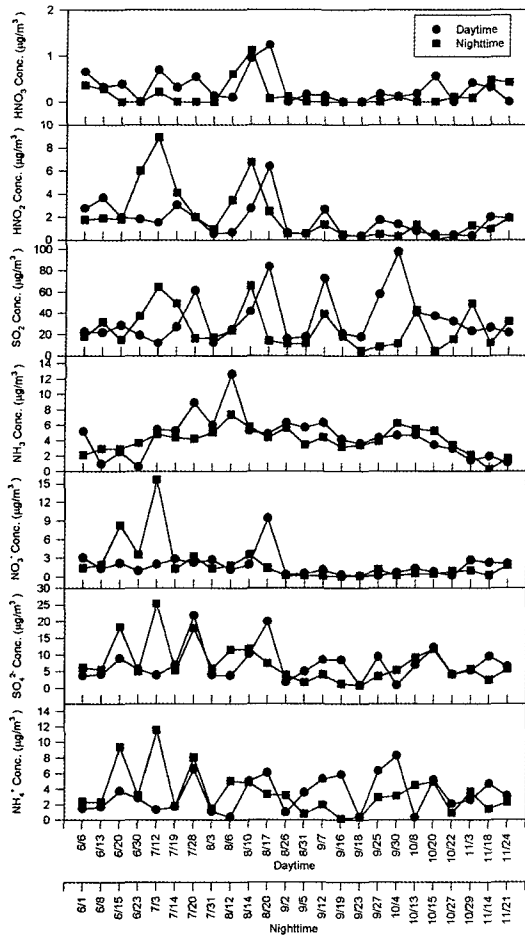


Fig. 4. The daily variations in concentrations of pollutants during daytime and nighttime.

농도에 비하여 약 2배를 나타내어, 전 시료채취기간에 걸쳐 그 절대농도치는 가장 높은 수준을 나타내었다.

표 3에서 HNO₃의 농도특성을 보면, 낮시간대의 전체 평균농도가 0.31 µg/m³이었으며, 밤시간대의 전체 평균농도는 0.17 µg/m³으로서 낮시간대의 평균농도가 밤시간대의 평균농도보다 높게 산정되었다. 표 4와 그림 5에 도시된 바와 같이 계절적인 변화 경향은 여름철의 평균농도가 0.34 µg/m³, 가을철의 평균농도가 0.13 µg/m³으로 여름철의 평균농도가 상대적으로 높게 나타났으며, 낮과 밤시간대의 평균농도는 두 계절 모두 낮시간대의 평균농도(0.42, 0.17

µg/m³)가 밤시간대의 평균농도(0.24, 0.10 µg/m³)보다 높게 산정되었다. 낮시간의 경우 질산(HNO₃)의 생성메카니즘은 광화학반응 등에 의해 대기중의 NO₂와 OH라디칼기가 반응하여 질산을 형성하는 반면, 밤시간대의 경우 대기중에 NO₂와 NO₃의 농도가 충분히 존재하면 이들의 반응에 의해 N₂O₅를 생성시키며, 이는 다시 가수분해반응을 거쳐 질산을 형성하며, 최종적으로 질산암모늄 혹은 알칼리성 토양입자와 결합된 형태의 질산염으로 존재한다. 특히 미세입자의 경우 대부분이 질산암모늄의 형태로 존재하고 있음이 밝혀져 있다.

본 연구에서 ADS에 의해 채취된 분진의 동역학적 입경은 2.5 µm 이하의 미세입자 영역이므로 낮 시간 동안 광화학반응 등 기상반응에 의해 생성된 질산은 주로 염의 형태로서 질산암모늄의 상태로 존재할 것이다. 기온이 상대적으로 높은 낮시간대의 경우가 밤시간대의 경우보다 대기 중의 질산농도를 상대적으로 높게 유지시키게 됨과 동시에 자동차 등의 질소산화물의 주배출원이 또한 낮에 편중되어 있기때문에, 여름 및 가을철 모두 밤시간대에 비해 낮시간대의 질산의 농도가 높게 산정된 것으로 판단된다.

표 3에서 도시된 HNO₂의 농도변화특성을 살펴보면, 낮·밤시간대의 전체평균농도는 각각 1.71, 2.11 µg/m³로 산정되어, HNO₃의 경우와 정반대로 낮시간대보다 밤시간대의 농도가 높은 것으로 나타났다. 그리고 표 4에 의하여 계절적인 농도변화특성을 살펴보면, 여름철 및 가을철의 평균농도는 각각 2.90, 0.93 µg/m³으로 산정되어 여름철의 평균농도가 높게 나타났다. 특히 여름철의 경우, 낮시간대의 평균농도가 2.20 µg/m³으로 산정되어 밤시간대의 평균농도인 3.72 µg/m³보다 낮게 나타난 반면, 가을철에는 낮시간대의 평균농도가 1.14 µg/m³로 산정되어 밤시간대의 평균농도인 0.75 µg/m³보다 높게 나타났다.

대기 중 아질산(HNO₂)의 주생성메카니즘은, 낮 시간대의 경우 OH라디칼기와 아질산간의 기상반응(광화학반응)에 의해 주로 생성되며, 또한 낮·밤시간대에 걸쳐 상대습도가 높은 조건하에서 잘 일어나는 NO₂와 H₂O의 기상반응에 의해서도 생성된다. 또한 낮시간동안에는 광해리 반응에 의해 대기 중의 농도는 상당히 감소되는 경향을 나타내는 것은

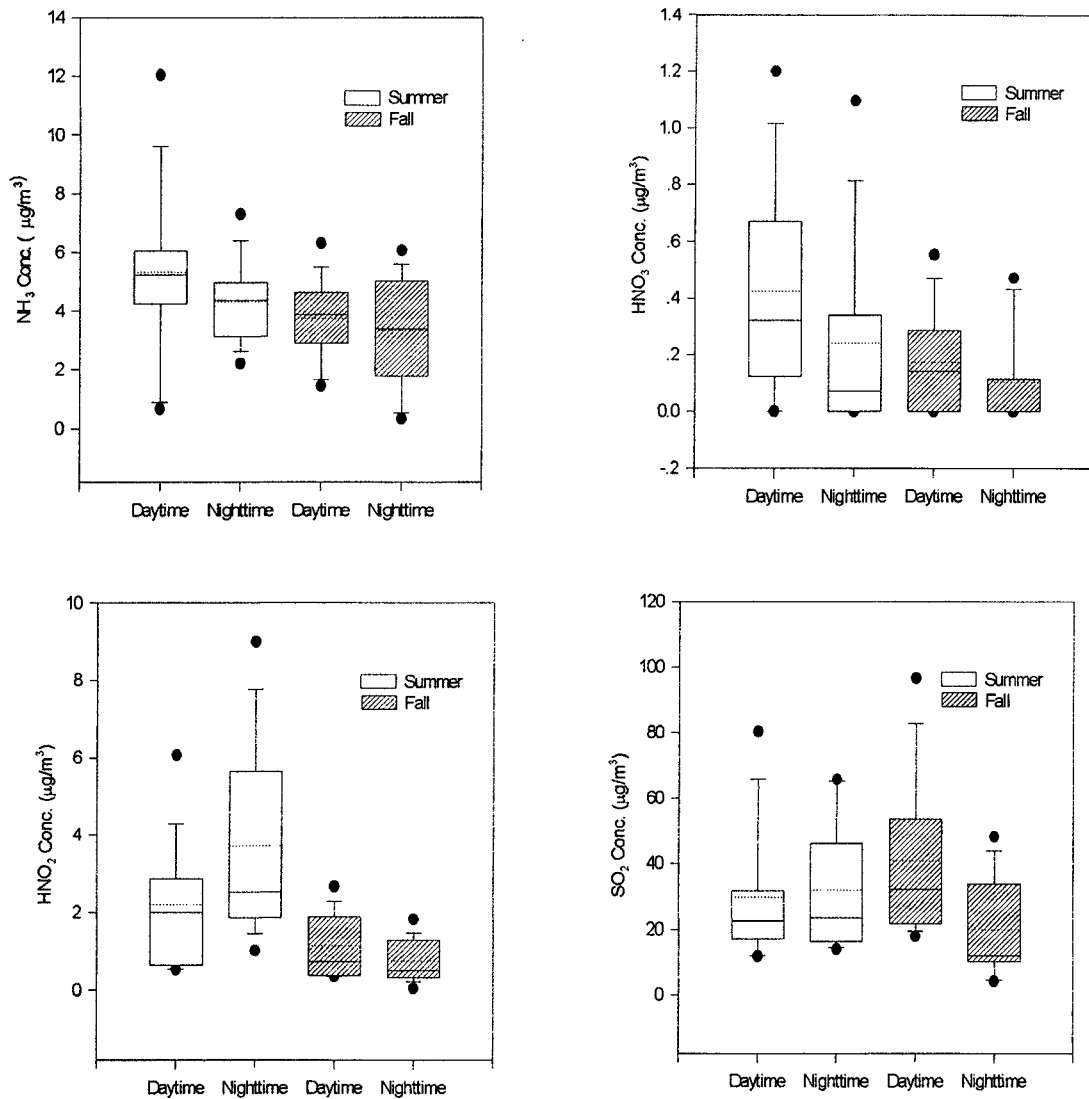


Fig. 5. Seasonal variations in concentrations of acidic gaseous pollutants for daytime and nighttime periods.

로 보고되고 있다(Koutrakis and Mueller, 1989). 따라서 전체자료 및 여름철 자료에 대하여 밤평균농도가 낮평균농도에 비해 높게 산정된 이유는 낮시간대의 경우 광화학반응에 의해서 이미 생성된 HNO_2 가 광해리반응($\text{HONO} + \text{hv} [< 400 \text{ nm}] \rightarrow \text{OH} \cdot + \text{NO}$)에 의해 OH기와 NO로 광분해 됨으로써, 결과적으로 대기 중의 HNO_2 의 농도저하를 야기시키는 점과, $\text{HO}_2 \cdot$ 와 NO_2 의 기상반응에 의해 생성되는 HNO_2 ($\text{NO}_2 + \text{HO}_2 \rightarrow \text{HNO}_2 + \text{O}_2$)의 농도가 대기

중의 HNO_2 농도에 상당부분 기여하고 있기 때문으로 판단된다. 그러나 가을철의 경우 낮평균농도가 밤평균농도보다 높게 산정된 경향을 보이고 있는데, 이는 가을철로 접어들면서 상대습도가 크게 낮아져 NO_2 와 H_2O 간의 기상반응에 의한 HNO_2 의 생성농도가 크게 저하됨과 동시에 낮시간대에 광해리반응에 의한 농도감소도 여름철에 비해 상대적으로 줄어들었기 때문으로 사료된다. 이러한 경향은 선행연구자의 결과와도 일치하는 경향을 보인다(Koutrakis *et*

al., 1989; Lee et al., 1993). 그리고 여름철이 가을철에 비하여 HNO_2 의 평균농도가 높게 산정된 이유는, 여름철의 경우 그 평균 상대습도가 약 86%로 가을철의 62%보다 훨씬 높은 값을 나타내어 가을철보다 여름철에 NO_2 와 H_2O 의 기상반응이 상대적으로 더욱 활발히 진행되었기 때문으로 판단된다.

SO_2 의 계절별 낮과 밤시간대의 농도특성을 정리한 표 4과 그림 4에서 낮·밤시간대의 전체 평균농도는 각각 34.72와 25.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었다. 그리고 표 4에 의하면 여름철의 평균농도 및 낮·밤시간대의 평균농도는 각각 30.73, 29.69, 그리고 31.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정된 반면, 가을철의 경우는 각각 29.41, 40.66, 그리고 19.89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되어, 각 계절별 평균농도 및 여름철의 낮·밤시간대의 평균농도는 거의 비슷한 수준을 보이고 있는 반면, 가을철의 경우 낮시간대의 평균농도가 밤시간대의 평균농도보다 약 20.77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 높은 수치를 보이고 있다. 대기 중 SO_2 의 농도는 주로 화석연료의 연소에 의해 기여되는 것으로 알려져 있는데, 본 연구의 시료채취 지점은 주거지역으로써 주변에 별다른 SO_2 기여오염원이 존재하지 않는 지리·지형적 특성을 가지고 있다. 따라서 여름철에 비하여 가을철에는 가정연료 사용량의 증가에 의해 대기 중에 배출되는 SO_2 이 많아지게 된다. 그러므로 가을철 SO_2 농도가 여름철보다 높은 값을 나타내고 있는 것으로 사료된다.

표 4에 정리된 바와 같이 NH_3 의 여름철의 평균농도는 낮시간대가 5.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 밤시간대가 4.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되어, 낮시간대의 농도가 밤시간대보다 다소 높게 산정되었으며, 표 4에 의하면 낮시간대의 NH_3 농도의 변화폭이 밤시간대보다 다소 크게 나타났다. 이러한 이유는, 낮시간대의 경우 대기 중의 암모니아 농도는 질산염의 광해리반응에 의해 영향을 크게 받은 이유와, 해풍의 변동(풍속 및 풍향변화)에 의해 NH_3 의 주요발생원인 해양오염원에 의한 영향정도가 달라지기 때문으로 사료된다.

3.3.2 입자상물질의 농도특성

표 3를 보면 NO_3^- 의 총 평균농도는 1.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었으며, 낮·밤시간대의 평균농도는 각각 1.78 및 2.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되어 낮시간대에 비해 밤시간대의 평균농도가 높게 나타났다. 표 4에서 계절별 특성을 살펴보면 여름철의 경우, 낮·밤시간대

의 평균농도는 각각 2.38과 3.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었으며, 가을철은 각각 1.08과 0.56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되어 여름철은 밤시간대의 평균농도가 높았고, 가을철에는 낮시간대의 평균농도가 밤시간대보다 상대적으로 높게 측정되었다. 이는 낮시간대에 광화학반응 등에 의해 형성된 질산염의 농도가 밤시간대에 생성되는 농도보다 훨씬 더 지배적이며, 가을철이 되면서 여름철보다 평균온도가 저하되어 낮동안 생성되어진 질산암모늄의 역반응이 여름철에 비해 크게 감소되어 일어나기 때문으로 판단된다.

SO_4^{2-} 의 전체 평균농도는 7.36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었으며, 낮·밤 시간대의 SO_4^{2-} 의 평균 농도값은 각각 7.21와 7.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었다(표 3). 표 4에서 계절별에 따른 황산염의 평균농도의 경우, 여름철의 낮·밤 시간대의 평균농도는 각각 7.71와 10.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었으며, 가을철의 경우 각각 6.62와 4.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 여름철이 가을철에 비해 낮·밤 시간대의 황산염농도가 모두 높게 산정되었다. 황산염은 대부분이 대기 중 화학반응에 의해서 가스상에서 입자상으로 변환되는 과정에서 생성되는 2차입자로 밝혀져 있으며, 주로 일사량 및 온도가 상대적으로 높은 여름철에 광화학반응이 활발한 낮시간대에 빠르게 생성되며, 또한 미세입자군에 의한 기여가 높은 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 채취된 분진의 동역학적 입경이 2.5 μm 이하의 미세입자영역에 속하는 점과 여름철이 가을철에 비해 광화학반응이 상대적으로 더 활발히 일어나기 때문에, 여름철의 황산염의 낮·밤 평균농도가 모두 가을철의 농도보다 높게 측정된 것으로 추정된다. 그리고 여름철의 경우, 밤 평균농도가 낮 평균농도보다 높게 산정된 반면, 가을철의 경우 그 반대경향을 보였다. 그리고 SO_2 가 높은 상대습도(평균 78~85%)조건하에서 잘 일어나는 접촉산화반응이 낮, 밤시간대에 걸쳐 일어나지만, 낮의 경우 광화학반응 등에 의한 황산염 농도기여에 비해 훨씬 낮기 때문에 그 효과는 무시될 수 있는 반면, 밤시간대의 경우, 이 반응에 의한 기여가 클 것으로 판단된다. 본 연구의 시료채취기간 중, 여름철의 밤평균 상대습도가 90.12%인데 비해 가을철의 밤 평균 상대습도는 67.68%로 측정된 사실로부터 여름철의 경우 접촉산화반응에 의한 황산염농도기여의 효과가 크게 작용한데 비하여 가을철은 그 효과가 다소 낮을 것으로 사료된다.

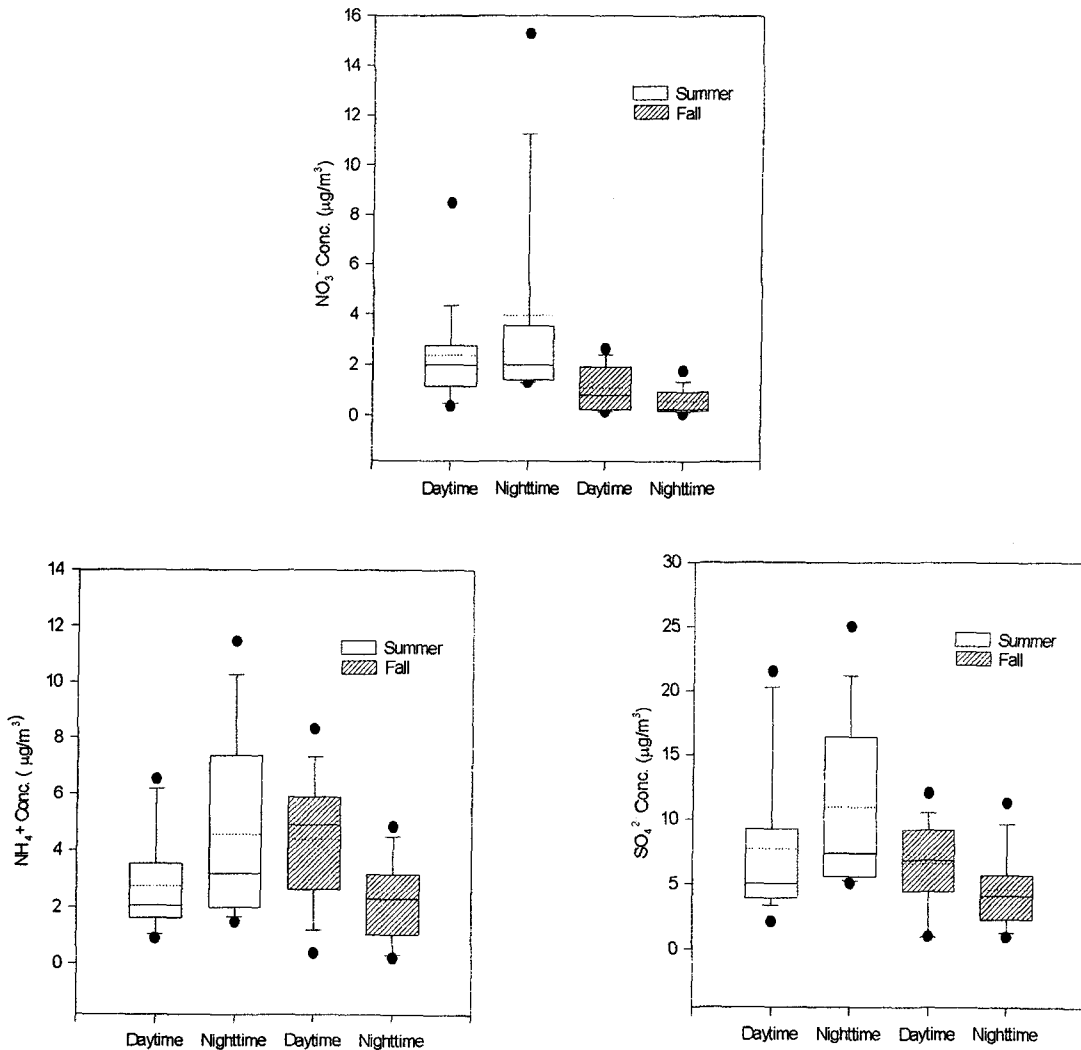


Fig 6. Seasonal variations in concentrations of acidic particulate pollutants for daytime and nighttime periods.

이러한 이유로 인해 여름철의 낮 평균농도보다 밤의 평균농도가 높게 측정되었으며, 가을철의 경우 그 반대 경향을 나타낸 것으로 사료된다.

3. 4 대기오염물질 중 질소화합물의 구성비 특성

대기오염물질들 중에서 질소화합물 HNO₃, HNO₂, NH₃, NO, NO₂ 등의 가스상물질과 NO₃⁻, NH₄⁺의 입자상물질을 계절별로 낮과 밤시간대로 구분하여 평균농도의 합과 그 구성비율을 표 6에 나타내었다.

질소화합물의 여름철 낮시간대의 총합이 60.03 µg/m³, 밤시간대의 총합이 67.77 µg/m³으로써, 밤시간대가 다소 높게 산정된 반면, 가을철의 경우는 낮시간대의 총합이 55.65 µg/m³, 밤시간대가 38.99 µg/m³으로써 그 반대의 경향을 나타내었다. 질소화합물의 구성백분율(농도절대치)의 특성을 살펴보면 여름철 낮시간대의 경우 NO₃⁻>NO>NH₃>NH₄⁺>NO₂>HNO₂>HNO₃의 순으로 구성백분율이 높게 나타났으며, 여름철 밤시간대의 경우는 NH₄⁺와 NH₃의 순서만 바뀔 뿐 다른 순위변동은 보이지 않

Table 6. The day/night concentration composition of nitrogen compounds by the season.

species	Summer				Fall			
	Ave. daytime conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Composition percentage (%)	Ave. nighttime conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Composition percentage (%)	Ave. daytime conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Composition percentage (%)	Ave. nighttime conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Composition percentage (%)
HNO ₃	0.42	0.69	0.24	0.35	0.17	0.28	0.10	0.21
HNO ₂	2.20	3.66	3.72	5.48	1.14	1.86	0.75	1.60
NH ₃	5.33	8.87	4.32	6.37	3.49	5.68	3.71	7.90
NO ₃ ⁻	2.38	3.96	3.96	5.84	1.08	1.76	0.56	1.19
NH ₄ ⁺	2.76	4.59	4.59	6.77	2.31	3.76	4.28	9.11
NO	12.78	21.28	11.13	16.42	10.80	17.58	4.82	10.26
NO ₂	34.16	56.90	39.81	58.74	42.43	69.08	32.76	69.73
Σ	60.03	100.00	67.77	100.00	61.42	100.00	46.98	100.00

았다. 여름철의 경우, 낮시간대에 비해 밤시간대의 구성백분율이 높게 산정된 항목은 HNO₂, NO₃⁻, NH₄⁺, NO₂ 등인 반면, 낮게 산정된 항목은 HNO₃, NH₃, NH₄⁺, NO 등으로 분석되었다. 여름철의 경우 대체적으로 NO와 NO₂의 구성백분율의 합은 약 70% 이상을 차지하고 있으며, 두번째로 많이 차지하는 물질은 NH₃와 NH₄⁺로 약 8%를 차지하고 있으며, 가장 낮은 구성백분율을 보이고 있는 HNO₃의 경우는 1% 미만의 값을 나타내었다. 가을철의 경우, 낮·밤시간대 모두 질소화합물의 구성백분율의 순서는 NO₂>NO>HNO₂>NO₃⁻>HNO₃의 순서로 나타났다. 특히, 가을철 NO₂의 경우는 낮시간대에 비해 밤시간대의 평균농도(절대치)가 낮은 값을 보인데 비해, 밤시간대의 구성 백분율은 여름철보다 오히려 높은 값을 나타내는 특징을 보이고 있었다. 또한 가을철의 경우, NO와 NO₂의 구성백분율은 여름철의 경우보다 다소 높은 95% 이상의 값을 나타내었다. 본 연구에서 NO₂와 NO의 구성백분율이 높게 산정된 이유는 주변에 간선도로(수영로 등)를 끼고 있어 교통오염원에 의해 큰영향을 받고 있기 때문으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 부산광역시 주거지역 중 대기오염 자동측정기가 운영되고 있는 광안동을 선정하여 ADS를 이용하여 채취분석된 총 48개 시료에 대하여 가스상 물질의 경우 HNO₃, HNO₂, SO₂ 그리고 NH₃와 입자상물질의 경우 NO₃⁻, SO₄²⁻ 그리고 NH₄⁺

에 대하여 농도특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

먼저 ADS의 성능을 검토하기 위하여, ADS에 의해 분석된 SO₂농도값을 독립변수(X)로 두고, 자동측정시스템에서 측정된 SO₂농도값을 종속변수(Y)로 취하여 선형회귀분석을 한 결과 결정계수값이 $r^2=0.9025$ 로 산정되었으며 절편 및 기울기가 0.86, 1.02로 산정되어 ADS의 성능을 확인할 수 있었다.

그리고 선행 연구자들의 연구 결과값과 비교한 결과 가스상물질의 경우, 전체 평균농도가 측정범위에 속하였으며, 특히 NH₃의 평균농도는 다른 지역에 비해 높게 산정되었다. 질산염과 황산염 농도는 선행연구에 의해 보고된 농도범위에 속하며, 타지역에 비해 낮은 농도 수준을 보이고 있었다.

또한 전체 농도자료에 의하면, 가스상물질의 경우 HNO₂를 제외하고 낮시간대의 농도가 밤시간대의 농도보다 높게 나타났으며, 입자상의 경우는 모두 밤시간대의 농도가 높게 나타났다. 그러나 계절구분에 따른 가스상산성오염물질별 낮과 밤의 평균농도 특징은 이들 물질의 생성기전에 의하여 계절에 관계없이 낮의 농도가 더높은 물질(HNO₃)과 계절에 따라서 밤·낮에 대한 평균농도가 달라지는 물질(HNO₂, SO₂, NH₃) 등으로 구분되어졌다.

입자상 산성오염물질의 경우는 계절에 따라서 낮과 밤의 농도대소가 정반대로 달라지는 경향을 뚜렷이 나타내고 있었다. 그리고 모든 분석항목들에 대하여 여름철의 평균농도가 가을철의 평균농도보다 특징적으로 높게 측정되었으나, SO₂의 경우는 미소한 농도차이를 보이고 있었다. 가스상물질의 경

우, 본 연구에 의해 분석된 HNO_3 , HNO_2 , SO_2 , 그리고 NH_3 의 총평균농도는 각각 0.24, 1.91, 30.07, 4.24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었고, 입자상물질의 경우에는 NO_3^- , SO_4^{2-} , 그리고 NH_4^+ 의 총평균농도는 각각 1.95, 7.36, 3.48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 분석되었다.

대기오염물질 중 질소산화물의 경우가, 여름철 낮·밤시간대의 총합이 각각 60.63와 67.77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, 가을철 낮·밤시간대의 총합은 각각 55.65와 38.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었으며, 질소화합물의 구성 백분율은 여름철에는 $\text{NO}_2 > \text{NO} > \text{NH}_3 > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_3 > \text{HNO}_2 > \text{HNO}_3$ 의 순으로 나타났으며, 가을철의 경우 $\text{NO}_2 > \text{NO} > \text{HNO}_2 > \text{NO}_3^- > \text{HNO}_3$ 의 순서로 나타났다. 그리고 본 연구에 의해 분석된 대기 중 산성오염물질의 농도는 광화학반응에 의한 생성메카니즘과 광해리에 의한 역반응 등에 의해 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있었다.

감 사

본 논문은 1995년도 경성대학교 학술지원연구비의 일부 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Barbiaux, M. (1990) Characterization of respirable particulate matter in Mexico City, Mexico. Master Thesis, Univ. of Ill. at Chicago.
- Brauer, M., P. Koutrakis, G.J. Keeler, and J.D. Spengler (1991) Indoor and outdoor concentration of inorganic acidic aerosols and gases, *J. Air Waste Manage. Assoc.* 41(2), 171-181.
- Dasch, J.M., S.H. Cadle, K.G. Kennedy, and P.A. Mulawa (1989) Comparison of annular denuders and filter packs for atmospheric sampling. *Atmos. Environ.* 23(12), 2775-2782.
- Conner, W.D., R.L. Bennett, W.S. Weathers, and W.E. Wilson (1991) Particulate characteristics and visual effects of the atmosphere at Research Triangle Park, AWMA, 41(2), 154-160.
- US. EPA manual (1989) Determination of reactive acidic and basic gases and particulate matter in indoor air, U.S. EPA.
- Lee, H.S., A.R. Wadden, and A.P. Scheff (1993) Measurement and evaluation of acid air pollutants in Chicago using an annular denuder system, *Atmos. Environ.*, 27A(4), 543-553.
- Helen, H.S., A.A. George, A.B. Benedict, and P. Koutrakis (1994) Field method comparison for the characterization of acid aerosols and gases, *Atmos. Environ.*, 28(18), 2981-1989.
- Koutrakis, P., J.M. Wolfson, J.L. Slater, M. Brauer, J.D. Spengler (1988a) An improved method for measuring aerosol strong acidity: Results from a nine-month study in St. Louis, Missouri and Kingston, Tennessee. *Atmos. Environ.*, 22, 157-162.
- Koutrakis, P. and P.K. Mueller (1989a) Atmospheric acidity: Chemical and physical factors, Presentation at the 82nd Annual Meeting & Exhibition, AWMA.
- Koutrakis, P., J.M. Wolfson, J.D. Spengler, B. Stern, and C. Franklin (1989b) Equilibrium size of atmospheric aerosol sulfates as a function of the relative humidity, *J. Geophys. Res.*, 94, 6442-6448.
- Koutrakis, P., J.M. Wolfson, and J.D. Spengler (1988) An improved method for measuring aerosol strong acidity: results from a nine month study in St. Louis, Missouri and Kingdom, Tennessee, *Atmos. Environ.*, 22, 157-162.
- Perrino, C., F.D. Santis, and A. Febo (1990) Criteria for the choice of a denuder sampling technique devoted to the measurement of atmospheric nitrous and nitric acids, *Atmos. Environ.*, 24, 617-626.
- Scheff, A.P. and C. Valiozis (1990) Characterization and source identification of respirable particulate matter in Athens, Greece. *Atmos. Environ.* 24(1), 203-211.
- Sickles, J.E., C. Perrino, I. Allegrini, A. Fero, M. Possanzini, and R.J. Paur (1988) Sampling and analysis of ambient air near Los Angeles using an annular denuder system. *Atmos. Environ.* 22(8), 1619-1625.
- Sickles, J.E. and L.L. Hodson (1990) Field comparison of methods for the measurement of gaseous and particulate contributors to acidic dry deposition. *Atmos. Environ.* 24(1), 155-165.
- Spengler, J.D., G.J. Keeler, P. Koutrakis, P.B. Ryan, M. Raizenne, and C.A. Franklin (1989) Exposures to acidic aerosols. *Environ. Health Perspect.* 79, 43-51.
- Spengler, J.D., M. Brauer, and P. Koutrakis (1990) Acid air and health, *Environ. Sci. Technol.*, 24(7), 946-956.

- Stevens, A.K., F. King, J. Bell, and J. Whitfield (1988) Measurement of the chemical species that contribute to urban haze. Presentation at the 81st Annual Meeting of APCA, Dallas, Texas, June.
- Vossler, T.L., R.K. Stevens, R.L. Paur, R.E. Baumgardner, and J.P. Bell (1988) Evaluation of improved inlets and ann-ular denuder systems to measure inorganic air poll-utants. *Atmos. Environ.*, 22, 1729–1736.
- Waldman, J.M., C.S-K. Liang, R.K. Stevens, T. Vossler, J. Baugh, and W.E. Wilson (1991) Summertime patterns of atmospheric acidity in metropolitan Atlanta. Presentation at the 84th Annual Meeting of AWMA, Vancouver, B.C., June.