

1996/1997년 겨울 우리 나라 배경측정소에서의 대기오염 물질 특성

Characteristics of Air Pollutants at Three Background Sites in Korea in the Winter of 1996/1997

김용표^{1,6)} · 이종훈^{1,2,5)} · 문길주¹⁾ · 김희강²⁾ · 정장표³⁾ · 이종범⁴⁾

¹⁾한국과학기술연구원 지구환경연구센터, ²⁾건국대학교 환경공학과,

³⁾경성대학교 환경공학과, ⁴⁾강원대학교 환경학과

⁵⁾미국 Rutgers대학 환경학과, ⁶⁾이화여자대학교 환경학과

(2000년 3월 2일 접수, 2000년 7월 13일 채택)

Yong Pyo Kim,^{1,6)} Jong Hoon Lee,^{1,2,5)} Kil-Choo Moon,¹⁾ Hui Kang Kim,²⁾
Jang Pyo Chung³⁾ and Chong Bum Lee⁴⁾

¹⁾Global Environmental Research Center, Korea Institute of Science and Technology

²⁾Department of Environmental Engineering, Konkuk University

³⁾Department of Environmental Engineering, Kyongsung University

⁴⁾Department of Environmental Science, Kangwon National University

⁵⁾Present address: Department of Environmental Sciences, Rutgers University, USA

⁶⁾Present address: Department of Environmental Science and
Engineering, Ewha Womans University

(Received 2 March 2000; accepted 13 July 2000)

Abstract

The daily mean concentrations of PM_{2.5} mass, ionic species, carbonaceous species, and HNO₃, HCl, and NH₃ were analyzed at three background sites in Korea; Kangwha, Kosan, and Dongbaik during two intensive field studies between December 1996 and January 1997. Four-day backward trajectory analysis was also carried out. The mean concentrations of anthropogenic species were higher at Kangwha and Dongbaik than Kosan. At these two sites, the mean concentrations of nitrate and ammonium/ammonia were higher than those of Kosan. It was suggested that these two sites be considered as the background sites of the Seoul Metropolitan Area and Pusan, respectively. Major chemical components in fine particles were sulfate, organic carbon, nitrate, and ammonium for all the sites. More than 90% of sulfate were non-sea-salt (nss) sulfates, and most of the nss sulfate in PM_{2.5} might be present as ammonium sulfates at all sites. Most of air parcels arriving at Kangwha and Dongbaik were from the northern China. At Kosan, during the measurement period, half of air parcels were from the northern China and the other half from the southern China. At Kosan, the concentrations of anthropogenic air pollutants originated from the southern China were higher than those typically observed from the northern China.

Key words : background stations, long-range transport, fine particles, backward trajectory analysis

1. 서 론

동북아시아 지역은 급속한 산업화와 생활수준의 향상 등으로 인해 대기오염 물질의 배출량이 급격하게 증가하고 있는 실정이다. 특히 중국의 영향은 가장 커서, 아시아 전체 이산화황과 질소산화물 배출량의 70~80% 이상을 차지하고 있다(김용표, 1999). 이 지역은 겨울철의 주풍향이 서풍과 북풍 계열이고, 우리 나라는 중국의 풍하측에 있기 때문에, 기상조건에 따라 중국으로부터 오염물질이 이동할 수도 있다(Kim *et al.*, 1998a).

우리 나라에서 수행된 대기오염 물질의 장거리이동에 대한 측정연구는 주로 상시측정이며(Carmichael *et al.*, 1997), 집중측정인 경우에도 봄, 여름에 측정된 것이 대부분이다(Kim *et al.*, 1998a, b; 김용표 등, 1996a, b, c). 따라서, 겨울철의 대기오염 물질의 장거리이동 특성에 대한 집중적인 연구결과가 상대적으로 부족한 실정이다. 또한, 대부분의 대기오염 물질의 장거리이동 연구는 주로 총입자상물질(TSP)을 대상으로 하였다. 그러나 TSP 중 입경이 큰 입자들은 이동 중 강하(deposition)에 의해 제거되고 결국에는 미세입자가 장거리를 이동한다. 따라서, 조대입자에 비해 측정소 주위의 국지적 효과가 상대적으로 작은 미세입자에 대한 연구가 필요하다.

한국과학기술연구원 지구환경연구센터에서는 건국대학교, 경성대학교, 강원대학교와 더불어 제주도 고산, 인천광역시 강화도, 부산광역시 동백섬 등에서 미세입자와 관련 기체상 물질의 배경농도를 측정하고, 역계적분석을 수행하였다. 이 논문에서는 1997년 12월과 1997년 1월 측정 결과를 바탕으로, 우리나라 청정지역의 미세입자(PM_{2.5}) 지역적 특성을 비교하고, 장거리이동의 영향에 대해 검토하였다.

2. 측정 및 분석

2.1 지상측정 및 분석

측정소는 인천광역시 강화도 서단, 부산광역시 동백섬, 제주도 고산에 있다. 세 측정소는 모두 한반도의 해안가에 있으며, 바로 부근에 큰 오염원이 없어서 인위적인 오염물질의 영향을 작게 받는 곳이다. 단 강화와 동백섬의 경우에는 국지오염원은 없지

만, 수도권과 부산이라는 대도시의 영향을 상당히 받을 것으로 예상되며, 이에 대한 검토를 3장에서 하였다. 강화와 고산은 중국대륙에 가까이 있어서, 서풍이나 북풍계열의 바람이 불 때 중국으로부터 장거리 이동하는 오염물질의 영향을 직접적으로 받을 수 있다. 따라서, 이 두 측정소는 중국대륙으로부터 우리 나라로 이동해 오는 오염물질의 영향을 연구하기에 적합할 것으로 예상된다. 동백섬 측정소는 서풍이나 북풍 계열의 바람이 불 때, 우리 나라에서 나가는 오염물질의 농도를 측정하기에 적당하다.

강화와 고산 측정소의 지리적 위치와 특징은 이종훈 등(1997b)에 실려 있다. 동백섬 측정소는 해운대 동백섬공원에 있는 부경대학교 부설 수산과학연구소 3층 옥상에 설치하였다(위도 35°09'N, 경도 129°09'E). 이 측정지점의 주변은 내륙 쪽이 산과 녹지지역으로 둘러싸여 있어서 내륙지방의 대기오염 영향을 직접적으로 크게 받지 않는 지형적 특성을 갖고 있다.

자세한 측정, 분석방법은 이종훈 등(1997b)에 실려 있다. 측정에 사용한 PM_{2.5} 채취장치는 사이클론과 필터팩, 오리피스 및 진공펌프로 구성되어 있다. 사이클론은 테플론으로 코팅한 알루미늄 사이클론(미국 URG사, URG-2000-30EH)으로 16.7 L/min에서 한계입자경(cut-size diameter)이 2.5 μm인 것이다. 필터팩은 테플론 삼단 필터팩(미국 Saville사, 6T-473-4N)을 사용하여 첫째 단에서 PM_{2.5} 입자를, 둘째와 셋째 단에서 각각 HNO₃, HCl 등 산성기체와 염기성 기체인 NH₃을 채취한다. 유량조절은 설제유량이 16.7 L/min 인 임계오리피스(critical orifice, 미국 BGI사 SO-10)로 하였다. 펌프는 강화와 고산은 3/4마력 진공펌프(미국 Dayton사, model 42339), 동백섬은 1/4마력 진공펌프(원창진공)를 사용하였다. 고산측정소와 강화측정소에서는 수용성 성분 분석용 입자 외에도 탄소성분 분석용 PM_{2.5} 채취장치를 덧붙여 설치하였다. 동백섬측정소에서는 수용성이온성분 분석용 PM_{2.5} 입자만을 채취하였다.

측정은 1996년 12월 9일부터 17일까지 9일간과 1997년 1월 7일부터 20일까지의 14일간의 2 차례에 걸쳐 수행하였다. 이 기간동안 매일 1회, 24시간씩 입자와 기체를 채취하였다. 측정시간은 원칙적으로 오전 9시부터 다음 날 오전 9시까지로 했다. 측정이 끝난 거름종이는 원래의 페트리디쉬에 넣고 테플론

테이프를 밀봉하였다. 탄소분석용 거름종이는 테플론 테이프를 밀봉 후, 유기성 기체의 흡착 또는 휘발을 막기 위해 알루미늄 호일로 싸서 보관하였다. 거름종이는 현장에서는 blue ice를 넣은 보온상자에 보관하였고, blue ice는 매일 새 것으로 교환해 주었다. 채취시의 오차를 줄이기 위해 현장 바탕 시험용 거름종이를 준비하였고, 분석 시에는 같이 분석하여 농도를 보정해 주었다.

강화 측정소의 시료는 건국대학교에서 분석하였다. 양이온, 음이온을 이온크로마토그래피(Dionex DX-100)로 분석하였다. 음이온은 IonPacAS12A, 양이온은 IonPac CS12 컬럼을 사용하여 분석하였다. 한국과학기술연구원은 음이온은 I.C.(Dionex 2000 i/sp)로, 암모늄이온을 제외한 양이온은 A.A.S.(Hitachi ZR8200)로, 암모늄이온은 인도페놀법으로 발색시킨 후 UV/Visible spectrophotometer(HACH DR-3000)로 흡광도를 측정하여 분석하였다. 검출한도는 음이온은 0.1 ppm, 암모늄이온은 0.025 ppm, 다른 양이온은 0.005~0.01 ppm이었다. 탄소성분은 강화, 고산 모두 thermal MnO₂ oxidation method에 의해 미국 AtmAA사에서 분석하였으며, 검출기로는 GC/FID를 이용하였다(Fung, 1990). 탄소 성분의 검출한도는 유기탄소, 원소상탄소 모두 0.03 µg이었다.

2.2 공기 이동경로 분석

강원대학교에서 미국 해양대기국(NOAA)에서 개발한 Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectories(HY-SPLIT) version 3.0을 이용하여 각 측정소에 도달한 공기괴의 역궤적분석을 수행하였다. 이 모델은 등온위면 궤적 모델(isentropic trajectory model)로서, 원하는 시각에 원하는 지점의 공기가 지나온 경로를 시간을 거슬러 가면서 역추적하는 방식으로 분석할 수 있다. 역궤적을 구하기 위해서는 3차원 공간내의 각 위치에서의 풍향과 풍속자료가 필요하며, 이는 일본기상청의 상층기상자료인 GPV(Grid Point Value) 자료를 이용하였다. 자료의 변환을 위해 3차원 공간의 격자점에서의 풍향 풍속을 내삽에 의해 구하고 시간변화도 각 격자점별로 시간에 대해 내삽하는 전처리 프로그램(WT2GRID.FOR)을 이용하였다. 대상기간은 집중측정기간 전체이며, 각 측정지점에서 공기의 역추적출발시점의 고도는 1000과 2000 m으로 하였다. 이온 분석을 맡은

KIST와 건국대에서 각각 제조한 표준 시료를 교차 분석하였으며, 대부분의 이온에 대해 그 차이가 5% 이내였다. KIST는 국제기상기구의 국제산성비 측정, 분석의 정도관리 프로그램에 참가하여, 이온 성분 분석의 정확도를 검증하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 지역별 측정결과

PM_{2.5} 입자의 질량 및 성분농도와 관련 기체농도의 일평균값을 표 1에 나타내었다. 입자의 질량농도는 강화와 동백이 각각 35.4, 32.6 µg/m³으로 비슷하고, 고산이 17.8 µg/m³으로 세 지역 중에서 가장 낮았다. 비해염 SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, 유기성탄소(OC), 원소상탄소(EC) 등과 같은 인위적 기원 물질의 농도는 강화가 제일 높고, 동백, 고산의 순이었다. 이러한 입자 성분 및 질량 평균농도의 차이가 통계적으로 유의한 지를 확인하기 위해, 두 측정소 결과에 대해 각각 독립 paired t-테스트를 수행하였다(표 2). 세 측정소에서 측정된 황산염의 평균농도는 95% 신뢰도 내에서 통계적으로 차이가 없었다. 그러나 고산에서의 다른 인위적 오염물질(질산염, 암모늄, OC, EC)의 농도는 강화나 동백에 비해 낮은 쪽으로 차이가 발생하였다. 고산과 강화는 다른 토양 성분이나 해염성분의 농도도 차이가 있으나, 고산과 동백은 통계적으로 차이가 없었다. 강화와 동백의 경우 토양성분인 K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺의 평균농도는 강화가 높았다. 인위적 기원물질과 질량 평균농도는 강화가 동백에 비해 약간 높았으나, 통계적으로는 차이가 없는 것으로 나타났다. 요약하면, 강화와 동백의 인위적 기원물질의 농도는 비슷하다. 고산의 경우 황산염은 이 두 측정소와 비슷하나, 다른 인위적 기원물질의 농도는 낮게 나타났다.

강화 측정소는 1996년 봄 측정결과에서 국지오염원의 영향이 있는 것으로 보고되었다(이종훈 등, 1997b). 이번 측정기간의 결과에서도 질산염, OC, EC의 농도 등 인위적 오염물질이 고산에 비해 매우 높아, 국지오염원의 영향을 받는 것으로 보인다. 동백섬의 경우에도 강화와 비슷한 농도 수준이어서, 주위 국지오염원의 영향을 받을 것으로 보인다. 이는 강화와 동백이 각각 수도권과 부산광역시의 배경지역이라는 것을 보여주는 것이다.

Table 1. Chemical composition of PM_{2.5} particles measured between December 1996 and January 1997 at Kangwha, Kosan, and Dongbaek (unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Species	Kangwha		Kosan		Dongbaek	
	Mean \pm SE ¹⁾	Range	Mean \pm SE	Range	Mean \pm SE	Range
Mass	35.4 \pm 5.33	5.26 ~ 76.6	17.8 \pm 2.69	4.84 ~ 38.3	32.6 \pm 2.02	14.38 ~ 43.5
SO ₄ ²⁻	7.50 \pm 1.31	0.44 ~ 17.28	5.31 \pm 0.97	0.83 ~ 12.93	6.09 \pm 0.65	2.11 ~ 11.06
NO ₃ ⁻	4.94 \pm 1.05	0.15 ~ 12.69	0.48 \pm 0.19	< DL ~ 1.83	2.70 \pm 0.45	0.79 ~ 6.59
Cl ⁻	0.65 \pm 0.10	< DL ³⁾ ~ 1.29	0.13 \pm 0.03	< DL ~ 0.34	1.28 \pm 0.29	0.12 ~ 4.23
K ⁺	0.89 \pm 0.19	< DL ~ 2.63	0.26 \pm 0.06	0.04 ~ 0.82	0.33 \pm 0.03	0.14 ~ 0.73
NH ₄ ⁺	3.37 \pm 0.57	< DL ~ 7.96	1.41 \pm 0.25	0.21 ~ 2.81	2.98 \pm 0.26	0.95 ~ 4.90
Na ⁺	0.76 \pm 0.05	0.42 ~ 1.15	0.43 \pm 0.06	0.15 ~ 0.86	0.62 \pm 0.10	0.19 ~ 1.23
Mg ²⁺	0.10 \pm 0.03	< DL ~ 0.37	0.03 \pm 0.01	< DL ~ 0.07	0.03 \pm 0.01	0.01 ~ 0.08
Ca ²⁺	0.68 \pm 0.22	< DL ~ 3.85	0.12 \pm 0.04	0.01 ~ 0.51	0.16 \pm 0.03	0.05 ~ 0.47
OC ²⁾	8.78 \pm 0.96	2.99 ~ 15.99	3.65 \pm 0.45	1.31 ~ 6.20	—	—
EC ²⁾	1.48 \pm 0.26	0.30 ~ 4.47	0.29 \pm 0.05	0.03 ~ 0.65	—	—
Nss SO ₄ ²⁻	7.31 \pm 1.30	0.28 ~ 17.04	5.20 \pm 0.96	0.79 ~ 12.72	5.65 \pm 0.61	2.06 ~ 9.45
Nss Cl ⁻	-0.70 \pm 0.12	-1.41 ~ 0.18	-0.58 \pm 0.12	-1.56 ~ 0.00	0.29 \pm 0.39	-1.72 ~ 3.75
Nss K ⁺	0.86 \pm 0.19	0.01 ~ 2.61	0.25 \pm 0.06	0.03 ~ 0.79	0.28 \pm 0.03	0.13 ~ 0.49
Nss Mg ²⁺	0.01 \pm 0.02	-0.11 ~ 0.26	-0.02 \pm 0.00	-0.05 ~ 0.00	-0.04 \pm 0.01	-0.10 ~ 0.02
Nss Ca ²⁺	0.65 \pm 0.22	< DL ~ 3.81	0.11 \pm 0.03	-0.01 ~ 0.48	0.14 \pm 0.02	0.05 ~ 0.43
HNO ₃	1.11 \pm 0.20	0.24 ~ 3.07	0.74 \pm 0.12	0.17 ~ 1.53	0.49 \pm 0.04	0.14 ~ 0.79
HCl	0.59 \pm 0.11	0.10 ~ 1.47	0.49 \pm 0.09	0.27 ~ 1.44	0.47 \pm 0.05	0.15 ~ 0.80
NH ₃	3.96 \pm 0.61	0.33 ~ 7.77	1.20 \pm 0.53	0.02 ~ 5.21	4.23 \pm 0.43	0.26 ~ 6.81
No. of samples	17		13		18	

¹⁾ SE : standard error²⁾ OC : organic carbon; EC : elemental carbon³⁾ < DL: Below detection limit**Table 2. Results of independent t-test using the concentration data determined from three background measurement sites in Korea in the winter of 1996/1997.**

Species	Kangwha-Kosan	Kosan-Dongbaek	Dongbaek-Kangwha
Mass	Y	Y	N
SO ₄ ²⁻	N	N	N
NO ₃ ⁻	Y	Y	N
Cl ⁻	Y	Y	N
K ⁺	Y	N	Y
NH ₄ ⁺	Y	Y	N
Na ⁺	Y	N	N
Mg ²⁺	Y	N	Y
Ca ²⁺	Y	N	Y
OC	Y	—	—
EC	Y	—	—

Y means the differences in two mean values are significant at 95% confidence level, N means the differences in two mean values are not significant at 95% confidence level

표 1에 Na⁺를 기준으로 하여 해염성분의 농도를 구하여 환산한 입자중의 비해염성분 농도를 보였다. 비해염 황산염의 전체 황산염의 비율은 강화와 고산은 98%, 동백은 93%로 모두 90% 이상이었다. 비해염 Ca²⁺와 비해염 K⁺ 역시 강화와 고산은 92~97%이었으며, 동백은 각각 85와 88%이었다. 이는 우리 나라 해안 지역의 지금까지의 연구결과와 일치하는 경향으로 (Kim *et al.*, 1998b; 이종훈 등, 1997b), 이 연구에서 사용된 측정소가 해안에 있지만, 측정된 입자의 대부분이 비해염성분임을 보여주고 있다. 한편 비해염 Mg²⁺과 비해염 Cl⁻은 고산과 동백, 그리고 강화와 고산에서 음의 값을 보였다. Mg²⁺의 경우, 대기 중 농도가 미량이어서 측정시 오차에 의한 결과인 것으로 생각되고, 비해염 Cl⁻가 음의 값을 갖는 것은 소위 'chlorine loss'라고 부르는 현상 때문으로 보인다 (이종훈 등, 1997b; Keene *et al.*, 1986).

새 측정소 모두 산성기체인 HNO_3 , HCl 과 염기성 기체인 NH_3 을 채취하였으며 그 결과를 표 1에 같이 보였다. 이 때 주의할 것은 삼단 filter pack의 측정효율 관계로, 실제 농도는 여기에 제시된 농도보다 높다는 점이다(김용표 등, 1995). NH_3 의 경우 강화와 동백의 농도가 고산에 비해 3배 이상 높은 것으로 나타났다. 이는 강화와 동백측정소가 국지적인 오염원의 영향을 받았기 때문이다.

3.2 다른 결과와의 비교

강화의 경우 1996년 봄에 측정한 결과(이종훈 등, 1997b)에 비해 전반적으로 대기오염 물질의 농도가 높았다. 1996년 봄의 미세입자의 질량 평균농도는 $25.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 이번 두 기간동안의 평균농도 $35.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 크게 낮았다. 이와 같은 결과는 비해염 황산염도 마찬가지이다(1996년 봄 $5.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 이번 결과 $7.31 \mu\text{g}/\text{m}^3$). 그러나 암모늄이온은 1996년 봄은 $3.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 이번 결과인 $3.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 비슷하였다.

고산의 경우에는 1996년 봄과 이번 1996/1997년 겨울의 결과가 비슷하였다. 그러나 1992~1995년에 고산에서 TSP를 측정한 결과에 의하면(Carmichael et al., 1997) 봄철의 대기오염 물질이 겨울철보다 높은 것으로 나타났다. 따라서, 이러한 계절별 변화가 어떤 의미를 갖는지를 밝히기 위해서는 앞으로의 연구가 필요하다. OC, EC의 농도는 1996년 3월과는 비슷하지만, 1994~1995년 여름에 측정한 농도(이종훈 등, 1997a)보다는 높았다. 이는 여름철에는 난방에 의한 영향이 적기 때문으로 보인다.

동백섬에서 측정한 결과는 부산의 주거지역에 있는 보건환경연구원에서 1995년 여름, 가을에 수행한 $\text{PM}_{2.5}$ 측정결과(정장표 등, 1997)에 비해 황산염 농도는 약간 낮으나 다른 이온 농도는 비슷한 것으로 나타났다. 그러나 이 연구와 같은 기간에 보건환경연구원에서 $\text{PM}_{2.5}$ 를 측정한 결과 질량농도가 $61.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 동백섬의 2배 정도로 매우 높았다. 또 같은 기간에 부산시내의 자동측정망에서 측정한 PM_{10} 의 질량농도는 동백섬에서 측정한 $\text{PM}_{2.5}$ 의 질량농도의 3배가 넘는 것으로 나타났다(문길주 등, 1997). 따라서, 동백섬이 부산지역에서는 지역적 배경농도를 대표할 수 있는 곳임을 알 수 있다.

각 측정소의 양이온과 음이온 성분의 당량 농도

를 구하였다. 강화와 동백섬의 경우에는 양이온의 농도가 각각 $309, 221 \text{ neq}/\text{m}^3$ 으로 음이온 농도인 $251, 204 \text{ neq}/\text{m}^3$ 에 비해 10~20% 높고, 고산은 양이온($119 \text{ neq}/\text{m}^3$)과 음이온($120 \text{ neq}/\text{m}^3$)의 값이 거의 같은 것으로 나타났다. 강화와 동백섬의 입자가 염기성을 띠고 있는 것은 암모늄 이온의 농도가 황산염을 완전히 중화시키고도 남을 정도로 높은 것 때문이다. 따라서, 이 두 측정소에서 측정한 황산염은 모두 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 의 형태로 존재할 것으로 보인다. 한편 고산에서는 황산염 이온이 암모늄 이온을 중화시키고 남는 것으로 나타났다. 1996년 봄철에도 강화와 고산에서는 이번 연구와 비슷한 현상이 관찰되었다(이종훈 등, 1997b).

3.3 역학적 분석

집중측정기간 중 각 지상측정소에 도달한 공기를 4일 전까지 역추적하는 방식으로 공기의 이동학적

Table 3. Air pollutant concentrations at three sites according to their trajectories (unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

	Kangwha	Kosan	Dongbaik	Trajectory of air mass
Mass	27.6 (11)*	9.81 (6)	32.76 (9)	Northern China
	47.5 (2)	26.6 (5)	31.7 (4)	Southern China
SO_4^{2-}	5.63	2.66	6.18	
	8.66	8.30	5.36	
NO_3^-	3.46	0.23	2.60	
	6.95	0.61	2.67	
Cl^-	0.61	0.20	1.28	
	0.63	0.04	1.30	
K^+	0.58	0.11	0.36	
	1.56	0.44	0.29	
NH_4^+	2.55	0.64	3.00	
	4.45	2.17	2.60	
Na^+	0.73	0.37	0.58	
	1.12	0.56	0.69	
Mg^{2+}	0.07	0.02	0.04	
	0.15	0.05	0.03	
Ca^{2+}	0.76	0.06	0.16	
	0.99	0.22	0.19	
OC	7.33	2.21	-	
	10.38	4.97	-	
EC	1.25	0.19	-	
	2.29	0.44	-	

* The values given in the parenthesis mean the number of total observations.

을 구하였다. 중국의 경우 35°N를 기준으로 남부와 북부를 구분하였다. 세 측정소 모두 중국에서 공기가 이동한 경우가 대부분이었다(강화 77%, 고산 85%, 동백 72%). 강화에 도달한 공기는 주로 중국 북부 지역에서 발원하는 것으로 나타났고, 고산에 도달한 공기의 궤적은 중국 북부와 남부가 반반씩이었다. 동백은 중국북부에서 이동한 경우가 남부에서 이동한 경우보다 2배 정도 많았다. 표 3에 각 측정소에서 측정된 성분의 농도를 중국북부와 남부로 구분하여 평균값을 보였다. 지금까지의 연구 결과는 인위적 대기오염 물질의 농도는 중국 남부에서 공기가 이동하였을 경우가 북부에서 이동한 경우에 비해 높은 것으로 나타났다(Kim *et al.*, 1998a; 이종훈 등, 1997b; 김용표 1996a).

4. 요약

동북아시아지역 대기오염 물질의 장거리이동연구와 배경농도측정을 위해 우리 나라의 청정지역에 속하는 강화, 고산, 동백섬에서 PM_{2.5} 입자와 기체상 오염물질을 측정하였다. 채취한 PM_{2.5} 입자를 구성하는 주요 성분은 SO₄²⁻, OC, NO₃⁻, NH₄⁺ 등이었다. 강화와 동백섬의 경우 질산염과 암모늄/암모니아 성분의 농도가 고산에 비해 매우 높았으며, 이는 수도권과 부산의 배경농도로 보인다.

공기의 이동경로를 등온위면 역궤적분석을 통해 구한 결과 측정기간 중 강화, 고산, 동백에 도달한 공기는 대부분 중국대륙으로부터 발원한 것으로 나타났다. 하지만, 강화에 도달한 공기는 중국 북부에서 발원한 공기가 많았고, 고산은 북부와 남부에서 비슷하게 발원한 것으로 추정된다. 고산에서 발원지가 중국남부인 공기 중에 포함된 인위적 기원물질의 농도가 북부에서 이동한 공기 중에서도 높았다.

사 사

이 연구는 국립환경연구원의 지원으로 이루어졌습니다. 측정을 도와 준 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

김용표(1999) 동북아시아 대기오염 현황: 중국을 중심으로

로, 한국대기환경학회지, 15, 211-217.
 김용표, 심상규, 문길주, 백남준, 김성주, 허철구, 강창희 (1995) 제주도 고산지역 입자특성: 1994년 3월 11일~17일 측정결과, 한국대기보전학회지, 11, 263-272.
 김용표, 박세욱, 김진영, 심상규, 문길주, 이호근, 장광미, 박경윤, 강창희 (1996a) 고산에서의 1996년 3월~4월 측정연구: (I) 입자상 오염물질의 이동, 한국대기보전학회지, 12, 79-90.
 김용표, 김진영, 박세욱, 김성주, 심상규, 문길주, 박경윤, 허철구 (1996b) 고산에서의 1994년 3월~4월 측정연구: (II) 기체상 대기오염물질의 특성, 한국대기보전학회지, 12, 91-100.
 김용표, 김성주, 진현철, 백남준, 이종훈, 김진영, 심상규, 강창희, 허철구 (1996c) 제주도 고산에서의 1994년 여름 측정: (I) 입자 이온 조성, 한국대기보전학회지, 12, 297-306.
 문길주 등(1997) 동북아 대기오염 장거리이동과 환경보전 협력방안에 관한 조사(II), 한국과학기술연구원, 서울.
 이종훈, 백남준, 심상규, 김용표, 문길주 (1997a) 제주도 고산에서의 1994~1995년 여름 입자상 탄소농도 측정, 한국대기보전학회지, 13, 179-191.
 이종훈, 김용표, 문길주, 김희강, 정용승, 이종범 (1997b) 우리나라 청정지역에서 측정된 PM_{2.5} 입자의 특성, 한국대기보전학회지, 13, 439-450.
 정장표, 정창용, 이학성 (1997) Annular Denuder System을 이용한 부산시 대기 중 산성오염물질의 특성, 한국대기보전학회지, 13, 397-410.
 Carmichael, G.R., M.S. Hong, H. Ueda, L.-L. Chen, K. Murano, J.K. Park, H.G. Lee, Y. Kim, C. Kang, and S. Shim (1997) Aerosol composition at Cheju Island, Korea. J. Geophys. Res., 102, 6047-6062.
 Fung, K. (1990) Particulate carbon speciation by MnO₂ oxidation, Aerosol Sci. and Technol., 12, 122-127.
 Keene, W.C., A.A.P. Pszenny, J.N. Galloway, and M.E. Hawley (1986) Sea-salt corrections and interpretation of constituent ratios in marine precipitation, J. Geophys. Res., 91, 6647-6658.
 Kim, Y.P., S.-G. Shim, K.C. Moon, C.-G. Hu, C.H. Kang, and K.Y. Park (1998a) Monitoring of air pollutants at Kosan, Cheju Island, Korea during March-April, 1994. J. Appl. Meteor., 37, 1117-1126.
 Kim, Y.P., J.H. Lee, N.J. Baik, J.Y. Kim, S.-G. Shim, and C.-H. Kang (1998b) Summertime characteristics of aerosol composition at Cheju Island, Korea. Atmos. Environ., 32, 3905-3915.