

1996년~1997년 겨울에 측정 한 제주도 고산지역의
미세입자농도 특성
Characteristics of fine particles measured during
wintertimes of 1996 and 1997 at Kosan,
Cheju Island

이종훈, 김용표, 문길주, 이종범¹⁾

한국과학기술연구원 지구환경연구센터

¹⁾강원대학교 환경학과

1. 서 론

우리 나라의 제주도는 동북아시아 대기오염물질의 장거리이동을 측정하기에 좋은 지리적, 기상학적 조건을 갖추고 있어서, 최근 이 지역에서는 장거리이동과 관련하여 오염물질의 대기 중 농도를 측정하는 연구들이 진행되어 왔다 (Kim *et al.*, 1997abc; Carmichael *et al.*, 1997). 과거에 이 지역에서 수행한 연구결과로부터 가깝게는 한반도와 일본 등지로부터 대기오염물질이 이동하여 왔고, 멀리 중국대륙으로부터 오염된 공기가 이동해 오는 것이 밝혀졌다 (Kim *et al.*, 1997b; 이종훈 등, 1997). 이 경우 청정지역의 대기오염물질은 오염된 공기의 영향으로 다른 청정지역에서 측정된 농도 보다 높은 농도가 얻어진다. 계절적으로는 북태평양 해양을 통과하는 깨끗한 공기의 영향으로 해양 배경농도가 측정되기도 한다. 이처럼 한 지역의 대기오염물질의 농도는 포집된 공기의 이동경로와 밀접한 관계가 있어서 측정지역에 도달한 공기의 발원지 및 통과지역에 따라 오염성분의 농도에 차이가 나게 된다. 이 연구에서는 제주도 고산지역에 도달한 공기가 이동하여 온 지역에 따라 오염성분의 농도가 다르게 나타난 측정사례에 대해, 서로 다른 이동경로를 가지는 공기 중 미세입자상 (PM_{2.5}) 대기오염물질의 농도차이에 대해 고찰하였다.

2. 연구방법

측정장소인 고산측정소는 우리 나라의 청정지역인 제주도 북제주군 한경면 고산리 수월봉에 있다. 제주도 서단에 자리잡고 있는 이 측정소는 해발 70 m의 높이에 바다와 인접해 있고, 주변은 풀밭이며, 차량통행 등 국소오염원의 영향이 적다. 제주고층레이다기상대가 가까이 있어 지상 및 고층 기상자료를 쉽게 얻을 수 있다. 측정기간은 1996년 2월 28일부터 3월 9일까지 (이하 3월측정)와 같은 해 12월 12일부터 16일까지 (이하 12월측정), 그리고 1997년 1월 11일부터 19일까지 (이하 1월측정)로서, 세 기간에 대해 각각 7개, 4개, 9개의 시료가 얻어졌다. 미세입자의 포집에는 3단 필터팩을 이용한 저유량 입자포집기를 사용하여 분당 16.7 L의 유속으로 PM_{2.5} 입자를 포집할 수 있다. 포집항목은 입자무게를 비롯하여 주요 수용성 이온성분과 탄소성분, 금속원소 및 기체성분 등이다.

오염성분의 분석은 SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻는 I. C.로 하였으며, NH₄⁺은 인도페놀법으로, 알칼리 토금속류인 Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺은 A. A. S.로 하였다. 탄소성분은 MnO₂를 이용한 선택적 열산화법으로 분석하였다 (Fung, 1990). 금속원소 (Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn)는 산처리 후 A. A. S.로 분석하였다. 포집 및 분석에 관한 자세한 내용은 문길주 등 (1997)에 나와 있다.

고산에 도달한 공기의 이동경로를 측정일로부터 4~6일 전까지 추적하는 역궤적분석방법을 이용하여 구하였다. 분석을 위해 일본기상청에서 입수한 GPV (Grid Point Value)자료를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

1996년 3월, 1996년 12월, 1997년 1월에 측정 한 PM_{2.5} 입자의 평균무게농도는 각각 18.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 23.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 15.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였다. 각 측정기간 중 비해염 SO₄²⁻은 5.14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4.81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 5.37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 무게농도

의 21~35 %를 차지하는 주요한 성분이다. SO_4^{2-} 은 96 % 이상이 해염이 아닌 다른 발생원으로부터 배출된 것이다. 이온성분들 중에서 NO_3^- 은 3월 및 12월 측정이 $1.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 비교적 높았지만, 1월 측정에서는 $0.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 낮게 나타났다. NH_4^+ 은 12월 측정에서 $1.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 다른 기간 보다 높은 농도를 보였다. Na^+ 은 3월 측정이 $0.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 다른 기간 보다 2배 이상 높은 농도였다. Ca^{2+} 도 3월 측정에서 더 높게 나타났다. 유기탄소와 원소성탄소농도는 12월 측정시 각각 $4.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 $0.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 1월 및 3월 측정 보다 높았다. 기체상 오염물질은 NH_3 가 12월에 $3.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 매우 높게 나타났다. HNO_3 도 12월 측정에서 높은 농도를 보였다. HCl 의 농도는 세 기간이 차이를 보였지만, NH_3 나 HNO_3 처럼 크지는 않았다. 금속원소는 3월 측정에서는 대부분 검출한계 이하로써 나타났으나, 12월 측정에서는 Cr $2.8 \text{ ng}/\text{m}^3$, Cu $15.1 \text{ ng}/\text{m}^3$, Fe $541 \text{ ng}/\text{m}^3$, Ni $27.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Pb $232 \text{ ng}/\text{m}^3$, Zn $556 \text{ ng}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 1월 측정에서도 Cr $3.1 \text{ ng}/\text{m}^3$, Cu $15.5 \text{ ng}/\text{m}^3$, Fe $249 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Ni $8.67 \text{ ng}/\text{m}^3$, Pb $54.7 \text{ ng}/\text{m}^3$, Zn $500 \text{ ng}/\text{m}^3$ 로 비교적 높은 농도를 보였다.

공기의 역궤적분석결과 3월, 12월 측정과 1월 측정에서 고산지역에 도달한 공기는 산동반도를 기준으로 했을 때, 중국 북부 또는 남부를 지나고 있음이 관측되었다. 3월 측정에서 비해염 SO_4^{2-} 의 농도는 중국 남부지방을 지나는 공기에서 더 높게 나타나고 있었다. 1월 측정에서는 무계농도를 비롯하여 비해염 SO_4^{2-} 과 NH_4^+ , 비해염 K^+ , 비해염 Ca^{2+} 및 유기탄소, 그리고 원소성탄소 등 대부분의 성분들이 남부지방을 지나는 공기에서 높은 것으로 나타났다. 12월 측정기간 중 포집된 공기는 모두 남부로부터 발원하였다. 이처럼 공기의 발생지역적 특성을 고려하여, 전체 측정기간 동안 고산지역에 도달한 공기를 중국 남부와 북부를 지나는 공기로 구분하고 각 경우의 오염성분의 농도를 구하였다. 전체 측정일수는 20일이며, 이 중 고산에 도달한 공기가 북부를 지나는 경우 (case 1)가 10회, 남부를 지나는 경우 (case 2)가 10회로 나타났다. Case 2일 때 비해염 SO_4^{2-} 의 농도는 $6.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 case 1에서의 $3.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높았다. NH_4^+ 과 비해염 K^+ 도 case 2에서 조금 더 높았다. 또한, 유기탄소와 원소성탄소는 case 2일 때가 더 높았다. NO_3^- 은 case 1에서 조금 높게 나타났고, 나머지 성분들은 차이를 보이지 않았다. 금속원소들 중에서는 Fe , Pb 의 농도가 case 2에서 비교적 높게 나타났다.

참고문헌

- 문길주 등 (1997) 동북아 대기오염 장거리이동과 환경보전협력방안에 관한 연구 (II), 한국과학기술연구원.
- 이종훈, 김용표, 문길주, 이종범 (1997) 제주도 고산지역의 1996년 3월 중 $\text{PM}_{2.5}$ 입자 특성, 1997년도 한국대기보전학회 춘계학술대회 요지집, p.117.
- Carmichael, G.R., M.-S. Hong, H. Ueda, L.-L. Chen, K. Murano, J.K. Park, H. Lee, Y. Kim, C. Kang, and S. Shim (1997) Aerosol composition at Cheju Island, Korea, *J. Geophys. Res.*, 102, 6047-6061.
- Fung, K. (1990) Particulate carbon speciation by MnO_2 oxidation, *Aerosol Sci. Technol.*, 12, 122-127.
- Kim, Y.P., S.-G. Shim, K.C. Moon, C.-G. Hu, C.H. Kang, and K.Y. Park (1997a) Monitoring of air pollutants at Kosan, Cheju Island, Korea during March-April, 1994, *J. Appl. Meteor.*, accepted for publication.
- Kim, Y.P., J.H. Lee, S.-G. Shim, K.C. Moon, and N.J. Baik (1997b) Measurements of carbonaceous species in fine particles at Cheju Island, Korea between 1994 and 1996, Presented at AWMA 90th Annual Meeting, Paper No. 97-WP68B.03.
- Kim, Y.P., J.H. Lee, N.J. Baik, J.Y. Kim, S.-G. Shim, C.-H. Kang (1997c) Summertime characteristics of aerosol composition at Cheju Island, Korea, *Atmos. Environ.*, submitted.