

AD5) 황해상 덕적도 대기 분진오염원의 기여도 추정 Estimation of Source Contribution for Ambient Aerosol Mass at Tokchok Island on the Yellow Sea

윤용석·김동술·배귀남¹⁾·이승복¹⁾·문길주¹⁾

경희대학교 환경학과 대기오염연구실 및 환경연구 센터,

¹⁾한국과학기술연구원 지구환경연구센터

1. 서 론

서쪽으로 중국대륙과 동쪽으로 한반도로 둘러싸여 있는 황해는 수심이 얇은 대륙붕 구조를 하고 있어 각종 오염에 취약하다. 황해변의 중국 동부쪽 대규모 공업단지들과 한국의 군장, 대불단지, 시화단지 등 대규모 공단에서 배출된 오염물질이 황해를 오염시키고 있다. 한국과학기술연구원에서는 황해오염을 조사하기 위하여 황해를 대표할 수 있는 도서로 인천에서 남서쪽으로 약 49 km 떨어져 있는 덕적도에 측정소를 구축하여 1999년부터 대기오염물질을 측정하고 있다 (Lee *et al.*, 2001).

본 연구에서는 덕적도 대기 중 에어로졸의 농도 특성을 살펴보고 그 오염원을 추정하기 위해 1999년 4월부터 2001년 4월까지 측정기간 동안 채취한 53 개의 PM_{2.5} 및 기체상 이온성분의 자료를 사용하였다. 먼저 농도의 특성을 분석한 후 주인자 분석 (principle component analysis)을 이용하여 오염원을 정성적으로 추정하였으며 화학질량수지법 (chemical mass balance: CMB)을 이용하여 오염원의 기여도를 정량적으로 추정하였다.

2. 시료 채취 및 분석방법

시료의 채취는 분리 입경이 2.5 μm 인 싸이클론 (URG-2000-30EH), 3단 테플론 필터팩 (Savillex 6T-473), 플로우트 유량계, 차압계 및 진공펌프로 구성된 채취장비를 이용하여 PM_{2.5}를 채취하였다. 분석항목은 수용성 이온성분인 SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, NH₄⁺과 기체상 오염물질인 HNO₃, HCl, NH₃ 등 총 11개 항목이다. 시료의 채취 및 분석방법에 관한 자세한 내용은 문길주 등 (1994)이 제시한 방법을 참고하였다. 기상자료는 측정장비 3 m 옆에 있는 기상청의 자동기상관측장비 (AWS)의 온도, 풍속, 강수량 자료를 이용하였다.

3. 연구 방법

인자분석법은 모든 시료에 내제된 변화인자를 검토하고 공통인자를 추출하여 이 추출된 공통인자와 이미 알고 있는 오염원과 유사도를 비교함으로써 오염원을 정성적으로 추정하는 방법이다 (Hopke, 1985). 본 연구에서는 정보의 손실을 최소화하면서 보다 적은 수의 인자를 구할 때 널리 이용되는 주인자분석법을 이용하여 기상인자를 포함한 15개의 측정변수를 측정항목 사이의 상호관계를 이용하여 유사한 변수들끼리 분류하였다. 인자의 회전 (rotation)에는 인자패턴의 각 열을 중심으로 각 열에서 각 계수의 제곱의 분산들의 합계가 최소가 되는 varimax 회전방법을 사용하였고, 인자의 수는 고유값 (eigenvalue)이 1보다 큰 경우만을 주요 인자로 결정하였다.

화학질량수지법은 질량수지와 질량보존의 법칙을 기본원리로 오염원의 질량기여도 (mass contribution)를 추정하는 방법이다. 이 방법론을 사용하기 위해서는 오염원 분류표 (source profile)를 필요로 하는데 국내에서는 오염원에 대한 충분한 자료가 없기 때문에 응용할 때 어려움이 따른다. 오염원 자료가 없을 때에는 미국 환경청의 오염원 자료를 이용하기도 하는데 많은 주의가 요망된다. 본 연구에서는 주성분 분석을 통해 추출된 이차 입자 (secondary aerosol), 토양 관련 오염원과 해양 관련 오염원으로 구성된 오염원 자료를 바탕으로 미국 환경청의 오염 배출원자료를 이용하여 오염원의 기여도를 정량적으로 추정하였다.

4. 결과 및 고찰

PM_{2.5} 시료는 1999년에 23개, 2000년에 23개, 2001년에 7개를 채취하였으며, 계절적으로 봄 (3, 4, 5월)에 11개, 여름 (6, 7, 8월)에 12개, 가을 (9, 10, 11월)에 7개, 겨울에 (12, 1, 2월)에 14개 채취하였다. 질량 농도는 평균 20.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 최고 63.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 최저 5.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 나타내었으며, 총질량농도 중 이온성분이 차지하는 비율은 46.5 %였다. 이온성분은 $\text{SO}_4^{2-} > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Cl}^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ 순으로 나타났으며, 가스상 이온성분은 $\text{HNO}_3 > \text{NH}_3 > \text{HCl}$ 순으로 조사되었다.

Table 1. Ionic species in PM-2.5 and gaseous matters measured at Tokchok Island.

(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Mean	S.D.	Min.	Max.
Mass	20.821	11.521	5.700	63.200
SO_4^{2-}	5.679	3.850	0.680	18.620
NH_4^+	1.811	1.254	0.147	6.214
NO_3^-	1.305	1.511	N.D.	6.880
K^+	0.276	0.312	0.016	1.947
Na^+	0.262	0.243	N.D.	1.277
Cl^-	0.205	0.366	N.D.	1.610
Ca^{2+}	0.106	0.141	N.D.	0.790
Mg^{2+}	0.034	0.036	0.002	0.223
HNO_3	1.436	1.473	0.110	6.440
NH_3	0.578	0.526	N.D.	1.910
HCl	0.321	0.194	0.040	1.080

참고 문헌

- 문길주, 심상규, 김용표, 백남준, 박세옥, 송철환, 김진영, 이종훈, 김성주, 진현철(1994) 서울지방의 스모그 현상연구 (III), 한국과학기술연구원.
- Hopke, P.K. (1985) *Receptor Modeling in Environmental Chemistry*, John Willy & Sons, New York, 267-314pp.
- Seung-Bok Lee, Gwi-Nam Bae, Yong-Pyo Kim and Kil-Choo Moon (2001) Characteristics of PM_{2.5} Measured at Tokchok Island in the Yellow Sea, 2nd Asian Aerosol Conference, 187-188pp.