

## 대기-8           바람의 강도에 따른 강하먼지와 불용성 성분의                           조성특성

김유근<sup>1</sup> · 박종길<sup>2</sup> · 문덕환<sup>3</sup> · 황용식<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 대기과학과

<sup>2</sup>인제대학교 환경시스템학부

<sup>3</sup>인제대학교 의과대학 산업의학교실 및 산업의학연구소

### 1. 서론

산업화·도시화에 따라 인구 증가, 교통량 증가 및 도시 구조물의 증가 등의 요인과 기상변화 등의 문제로 인하여 도시의 대기오염과 열섬 현상 등이 날로 심각한 사회문제로 제기되고 있다. 일반적으로 대기 중에 부유하는 오염물질들은 광화학 반응을 통하여 2차 오염물질이 생성되기도 하고, 기상인자에 의하여 확산 또는 수송되어 대기오염도가 감소하거나, 중력에 의하여 지표 부근에 침적되어 제거된다. 특히, 건성 및 습성 침적되는 강하먼지는 단위 지역의 대기오염을 파악하거나, 타 지역과의 비교에 지표로 활용되고 있다. 강하먼지를 측정한다는 것은 일반적으로 특정한 오염원을 대상으로 하기보다는 일정한 지역에서 침강하는 대기침적물질의 평균적인 침적량을 측정하는 것으로서 그 지역의 대기오염도를 파악하는 간접적인 평가 인자로서 활용될 수 있는 비교적 간편한 방법이며, 건성과 습성 침적물을 동시에 포집할 수 있는 장점이 있다(최재천 등, 1995). 강하먼지의 침적량은 지형적인 특성과 기상학적인 특성에 따라 지역별 차이가 존재한다. 김기현과 이강용(1998)은 해수성 기원의 무기이온들의 시간적 변화 추이를 풍향, 풍속, 온도와 같은 기상인자들과 밀접한 관련성이 있음을 지적하였다. 특히, De Miguel(1997)은 도시형 오염원을 교통과 건축물의 건축, 풍화 그리고 부식에서 1차적으로 발생하고, 도시의 특성에 따라 먼지의 패턴이 다르다고 지적하였다.

따라서 선박건조 및 수리업을 중심으로 기계기구, 도금업 등의 소규모 제조업 사업장으로 형성된 공업과 도로를 중심으로 상업이 발달한 연안도시인 동시에 도시 외곽으로 농업지역이 형성된 부산지역에서 강하먼지의 조성 특성을 파악하기 위하여 지각농축계수(Enrichment factor, EF), 비토양 성분의 기여율 및 토양입자의 기여율을 조사하고, 바람에 의한 미량 원소들의 기원을 추정하기 위하여 강하먼지 중 불용성 금속 성분들 사이의 상호 관계를 이용하여 유사한 변수들끼리 분류시키기 위하여 풍향과 풍속변수 외 13개의 변수를 사용하였으며, 주성분 분석법과 Varimax 회전법을 이용하여 요인분석을 실시하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 측정지점 및 기간

측정지점은 부산지역내 4개 지점을 선정하였으며, 1999년 3월부터 2000년 2월까지 월별로 1년간 실시하였다. 또한 신평·장림 공단에 위치한 신평동 지점을 공업지역, 도로변에 위치한 개금동 지점을 상업지역, 바다에 인접한 용호동 지점을 해안지역, 그리고 기장읍 지점을 농업지역으로 하여 4개 지역으로 구분하여 실시하였다(Fig. 1).

### 2.2 시료의 채취 및 분석방법

강하먼지의 포집을 위하여 사방이 개방된 3층 건물 옥상에 높이 1.5m인 철재 구조물에 증발과 재비산을 고려한 미국식 광구병형 dust jar를 설치하여 지상의 영향을 받지 않도록 하였으며(Lodge, 1989; Vallack and Shillito, 1998) 건성과 습성 강하물이 동시에 포집될 수 있도록 직경 10cm인 3.6ℓ 들이 폴리에틸렌 병에 탈이온수 2.0ℓ를 넣어 포집에 이용하였다. 채취된 시료는 Whatman(No.42) 여지를 105℃에서 2시간 건조(강병욱 등, 1992)하고 감도가 0.01 mg인 전자저울(Saritorius microbalance, Germany)로 무게를 칭량한 후 여과하였다. 분리된 여액은 100 ml 폴리에틸렌 병에 담아 4℃의 냉암소에 보관한 후 수용성 성분을 분석하였다. 또한 여지는 필터전 조건과 동일하게 하여 여과 전·후의 증량차로서 강하먼지의 농도를 측정하였으며, 불용성 성분을 정량하기 위하여 표준 시험법(Lodge, 1989; Franson, 1992)에 의거하여 습식 탄화법으로 전처리하였다.

강하먼지 중의 불용성 성분을 정량하기 위하여 ICP/AES(ICP-IRIS, Thermo Jarrell Ash Co., USA)를 이용하여 Al, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Si 그리고 Zn을 분석하였으며, AAS(Perkin Elmer 4100ZL, Flameless method)를 이용하여 Cd, Cr, Mn, Ni 그리고 Pb를 분석하였다.

### 2.3 기상관측 및 자료 처리 방법

기상관측은 각 시료채취 지점에 설치된 AWS에서 연구기간 동안 지속적으로 수행하였다. 관측된 기상요소는 기온, 상대습도, 기압, 일사, 풍향과 풍속으로 매 10분 간격으로 저장하였으며, 바람의 강도를 파악하기 위하여 풍향은 N, NE, E, SE, S, SW, W 그리고 NW의 8 풍계로 구분하고, 풍속은 Sylvain 등(1996)이 제시한 very low(< 1 m/s), low(1~3 m/s), medium(3~8 m/s) 그리고 high(>8 m/s)의 4 등급으로 구분하여 월별 빈도율을 구하여 자료 분석에 이용하였다.

### 2.4 계산 방법

지각농축계수를 구하기 위하여 식 (1)과 같으며,

$$E.F. = \frac{(X_i/AI)_{sample}}{(X_i/AI)_{crust}} \quad (1)$$

$(X_i/AI)$ 는 시료(강하먼지 또는 부유먼지)에 대한 지각 중의 AI 농도에 대한 농도비를 의미한다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 풍향·풍속의 빈도분포

부산기상대 자료를 이용한 부산지역의 풍향의 빈도 분포는 북풍, 동풍, 북동풍 그리고 서풍 순으로 각각 21.0 %, 18.5 %, 14.2 % 및 12.2 %로 관측되어 북풍내지 동풍 계열의 바람이 우세하였으며, 남동풍이 가장 낮게 조사되었다. 또한 풍속의 빈도분포는 3~8 %, 1~3 %, 1 %이하 그리고 8 %이상의 바람 순으로 각각 56.8 %, 32.1 %, 6.9 % 그리고 4.3 %로 조사되었다.

연안도시인 부산에서 지역별 기상관측 자료에서 상업지역을 제외하면, 모든 지역에서 북풍계열의 바람이 우세하였으며, 풍속의 빈도분포는 1~3 %에서 상업지역, 공단지역, 해안지역 그리고 농업지역 순으로 높은 빈도를 보였으나, 부산 지방기상대 자료에서는 3~8 %의 바람이 가장 높은 빈도를 보여 측정 지점에서의 바람자료와는 차이를 보였는데, 이는 지형적·공간적인 편차인 것으로 생각된다. 또한 지역별 평균풍속과 최대풍속은 해안지역, 상업지역, 농업지역 그리고 공업지역 순으로 관측되었다.

#### 3.2 지역별 지각농축계수

강하먼지 중 불용성 성분의 기원을 추정하기 위하여 Mason(1966)의 지각 평균 농도를 이용하여 (1)식으로 지역별 지각농축 계수를 구하였다. EF 값이 클수록 인위적인 기원으로부터 기인한 정도가 높다는 것을 의미하며, EF 값이 1.0보다 크면 지각 이외의 오염원을 가지며, 10보다 적은 값일 때는 지역별 토양과 Mason's compilation간의 화학적 구성사이의 차이가 존재하므로 그 기원을 필연적으로 나타내지는 못한다(Kaya and Tuncel, 1997). 본 연구에서는 Al을 기준물질로 이용하였다. 토양기원인 Ca, K, Si는 1.0 이하의 분포를 보였으나, Cd, Cu, Pb 그리고 Zn은 10 이상의 높은 값을 나타냈다. 특히 Pb는 공업지역, 해안지역, 상업지역 그리고 농업지역 순으로 조사되었으며, 유류 연소에 의한 인위적인 배출원에 기인한 것으로 추정된다. 1.0 이상이고 10이하의 분포를 보인 성분은 Cr, Fe, Mg, Mn 그리고 Ni로 나타났다.

### 4. 요약

연안도시인 부산에서 상업지역을 제외하면, 모든 지역에서 북풍계열의 바람이 우세하였으며, 풍속의 빈도분포는 1~3 %에서 상업지역, 공업지역, 해안지역 그리고 농업지역 순으로 높은 빈도를 보였으나, 또한 지역별 평균풍속과 최대풍속은 해안지역, 상업지역, 농업지역 그리고 공업지역 순으로 관측되어 공업지역의 경우 국지적인 영향이 높을 것으로 생각된다.

지각농축계수는 토양기원인 Ca, K, Si는 1.0 이하의 분포를 보였으나, Cd, Cu, Pb 그리고 Zn은 10 이상의 높은 값을 나타냈으며, Pb는 공업지역, 해안지역, 상업지역 그리고 농업지역 순으로 조사되었다.

## 참고문헌

- 강병욱, 강공언, 김민영, 1992, 서울시 강하분진 중 수용성 성분의 강하량, 한국대기보전학회지, 8(4), 240~246.
- 김기현, 이강웅, 1998, 해양환경의 에어로졸 화학 - 농도와 함량비를 이용한 이온성분간의 관계에 대한 추론, 한국대기보전학회지, 14(2), 143~152.
- 최재천, 김 산, 이민영, 이선기, 1995, 제주도와 울릉도의 강하분진 중 수용성 성분에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 11(4), 331~337.
- De Miguel, E. *et al.*, 1997, Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust; Unleaded petrol and urban lead, *Atmos. Env.*, 31(17), 2733~2740.
- Franson, M.A. *et al.*, 1992, Standard methods for the examination of water and wastewater "Preliminary treatment of samples, 3030 E. Nitric acid digestion", 18th ed., American Public Health Association, Washington.
- Kaya, G. and G. Tuncel, 1997, Trace element and major ion composition of wet and dry deposition in Ankara, Turkey, *Atmos. Env.* 31(23), 3985~3998.
- Lodge, J.P., 1989, *Methods of Air Sampling and Analysis*, 3rd ed., Lewis Publishers, New York, 440~445.
- Mason, B., 1966, *Principle of Geochemistry*, 3rd ed., Wiley, New York, 21~24.
- Vallack, H.W. and D.E. Shillito, 1998, Suggested guidelines for deposited ambient dust, *Atmos. Env.*, 32(16), 2737~2744.
- Sylvain L., Martin T., Gregory K. and Joseph Z., 1996, Manganese and other trace elements in urban snow near an expressway, *Environmental Pollution*, 2, 203~211.

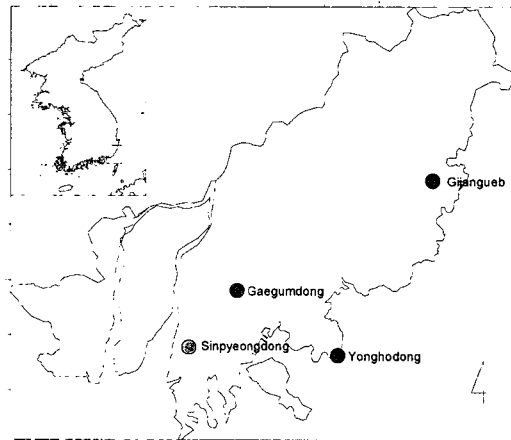


Fig. 1. Map of Pusan area. The dustfall monitoring sites are marked as Sinpyeongdong, Gaegumdong, Yonghodong, and Gijangueb.