

# MA1) 한반도 강수의 화학적 특성 및 습성강하량 추정

## Chemical Characteristics and Wet Deposition of Acid Precipitation in Korea, 1999.

노혜란 · 김소영 · 정일웅 · 조창래 · 박철진 · 한진석  
국립환경연구원 대기연구부

### 1. 서론

80년대 초기 연구에서는 강수의 산성화 문제가 산업활동이 집중된 서울이나 도시지역에서 대부분 수행되었고 인력과 연구비등의 제한으로 인하여 관측지점이 한정적이어서 산성강하물의 전체적인 특성을 파악할 수 있는 전국적인 감시망을 구성하지 못하고 각 연구기관들의 관심이나 여건에 따라 특정지역에 편중되어 있었다(이보경, 1999).

최근 우리 나라를 비롯한 동아시아 지역은 높은 인구밀도와 급속한 산업발전으로 인해 대기오염 문제가 심각한 지역으로 주목받고 있으며, 대기오염물질 장거리 이동과 관련하여 한반도 강수 산성화 현상 및 추세파악, 원인 규명 및 대책 수립을 위한 지속적인 정밀관측이 요구되고 있다.

본 연구에서는 한반도 습성강하물의 강하량을 파악하기 위하여 1999년 새로이 개편 구축된 환경부 산성강하물 측정망(24개 측정소)에서 강수시료를 채취, 분석하여 한반도 강수의 화학적 특성을 살펴보았으며, 전국적인 습성강하물의 강하량을 추정하였다.

### 2. 연구내용

습성강하물 측정을 위하여 측정소를 측정소의 위치에 따라 원경(4), 교외(9), 도시(11)지점으로 나누어 구분하였고 대부분 하루마다 또는 매 강수시 시료를 동일시간에 채취(예 : 매일 오전 10시)하였고 혹은 주 1회를 기준으로 해서 채취하였다. 각 지역에서 채취한 시료는 정기적으로 실험실로 운반하여 먼저 pH와 전도도를 측정하였고 화학분석시까지 냉장고에 보관하였다.

강수의 pH는 pHmeter, 전기 전도도는 전도도meter로 측정하였고 음이온과 양이온 분석은 먼저 강수시료를 여과한 다음 이온크로마토그래피(Dionex DX-500, USA)를 사용하여 수행하였다. 분석방법의 비교를 위한 금속이온의 정량에는 원자흡광광도기(Varian Spectra AA-800)이용하여  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  항목을 측정하였으며  $\text{NH}_4^+$ 은 자외-가시선 분광광도계(Perkin Elmer, Lambda 20)을 이용하여 640nm 파장에서 발색시키는 인도페놀법으로 분석하였다. 또한 시료강수분석자료에 대한 해석에 앞서 신뢰성을 검토한 결과 양이온과 음이온간의 이온균형은 기술품이  $1 \pm 0.05$ ,  $R^2$ 가 0.93으로 양호하였고, 전기전도도의 실측치 및 계산치의 관계를 비교·분석한 결과 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

### 3. 결과 및 고찰

조사기간동안의 한반도 강수량의 분포를 보면 남부지방이 많고 영서지역이 영동지역에 비하여 많았으며, 거제도 지역이 3,400mm 내외로 가장 많았다. 강수의 pH와 각 이온성분의 농도분포를 보면 먼저 pH는 경인지역과 남해지역이 낮고 내륙지역이 높았으며 총 양이온과 음이온의 농도는 중부지방이 남부지방에 비하여 높게 나타났다.

한반도 강수의 강수량 가중평균 pH는 5.2로 약 산성이었으며 등급별 pH는 5.0~5.5에서 가장 많은 분포로 나타났다. 또한 pH5.6이하 강수의 발생빈도가 전체강수의 60%, pH 5.0 이하의 강수가 약 23%, pH 7.0 이상도 약 4%로 나타났다.

음이온 성분의 평균 농도는  $\text{SO}_4^{2-}$  29  $\mu\text{eq}/\ell$ ,  $\text{NO}_3^-$  13  $\mu\text{eq}/\ell$ ,  $\text{Cl}^-$  49  $\mu\text{eq}/\ell$  이었고, 양이온 성분은  $\text{NH}_4^+$  28  $\mu\text{eq}/\ell$ ,  $\text{Na}^+$  35  $\mu\text{eq}/\ell$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  19  $\mu\text{eq}/\ell$ ,  $\text{K}^+$  11  $\mu\text{eq}/\ell$ 로 나타났다. 지역별 이온성분을 살펴보면 음이온 중  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  와 양이온 성분 중  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  이 교외지역에서,  $\text{NH}_4^+$ 은 도시지역에서 가장 높았다(그림1).

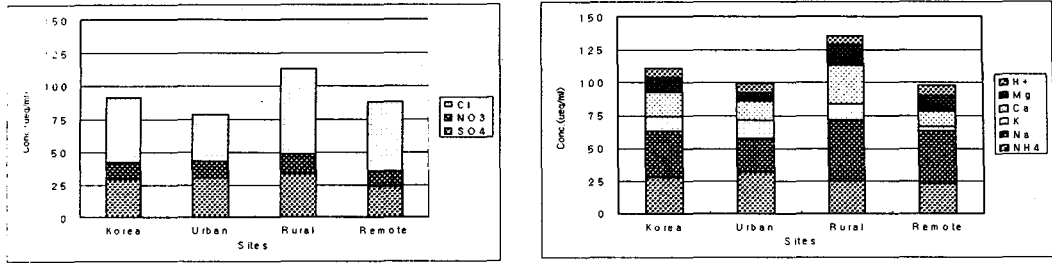


Fig. 1. Volume-weighted mean concentration of major ions in Korea, 1999

이온성분들간의 단순상관성을 분석한 결과  $H^+$ 는 산성원인물질인  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$  와 직접적인 상관성을 갖지 않는 것으로 나타났으며, 도시와 교외지역보다는 해안가에 위치한 원격지역에서의  $SO_4^{2-}$ 가 양이온들  $NH_4^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ 와 높은 상관성을 보여주었다.

한반도 강수의 pH 등급별 각 이온 성분농도의 분포는 전반적으로 유사한 경향으로 나타났으며 pH 5.0 ~ 5.5에서 이온 성분농도가 가장 낮았고 pH가 낮아지거나 높아짐에 따라 이온성분 농도가 상승하는 양상으로 나타났다. 음이온 성분 중  $SO_4^{2-}$  경우가 pH 변화에 따른 농도변화가 가장 뚜렷한 양상으로 나타났고, 양이온 성분 중  $NH_4^+$ ,  $Na^+$ 과  $Ca^{2+}$ 도 유사한 농도변화를 보여주었다(그림2).

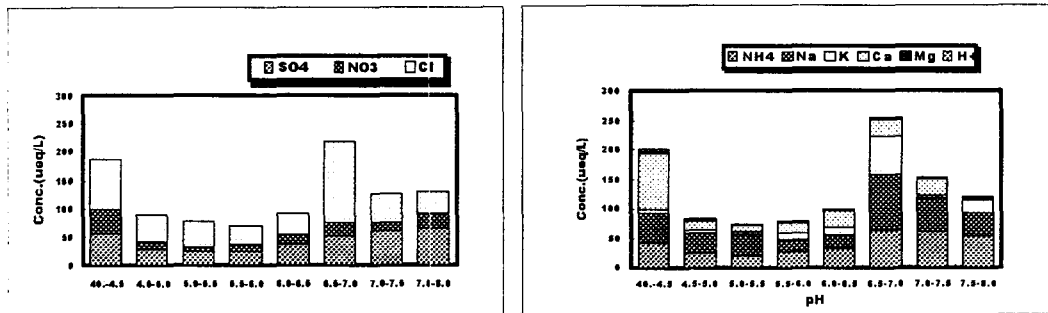


Fig. 2. Variation of ion equivalent concentration on pH value in Korea, 1999

강수중의  $Cl^-$ 와  $Mg^{2+}$ 의  $Na^+$ 에 대한 비는 해수와 유사한 비율을 보여 상당한 양이 해양기원임을 알 수 있었고, 강수중의  $SO_4^{2-}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ 는 해수보다 훨씬 큰 농도비를 보여 해양 이외의 다른 발생원의 영향이 크다는 것을 추정케 하였다.

한반도 연간 습성강하량은 음이온 중  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$ 가 각각  $2.63 \text{ gm}^{-2}\text{year}^{-1}$ ,  $1.78 \text{ gm}^{-2}\text{year}^{-1}$ ,  $2.69 \text{ gm}^{-2}\text{year}^{-1}$ 로 나타났으며  $NH_4^+$ 과  $Na^+$  이 각각  $0.93 \text{ gm}^{-2}\text{year}^{-1}$ ,  $1.23 \text{ gm}^{-2}\text{year}^{-1}$  로서 양이온 성분 중 강하량이 가장 많은 것으로 나타났고  $H^+$ 는  $0.014 \text{ gm}^{-2}\text{year}^{-1}$ 를 보여주었다. 한반도 습성강하량의 공간분포를 보면  $H^+$ 는 경인지역과 남해안지역이 높았고, 동해안지역과 남서 해안지역은 낮게 나타났다.  $Na^+$ 와  $Cl^-$ 은 해안지역이 많았으며  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$  그리고  $NH_4^+$ 는 경인지역이 많은 것으로 나타났다.

#### 4. 참고문헌

1. 환경부, 과학기술처, G7사업보고서. 산성비 감시 및 예측 기술 개발, 1993~1998.
2. 국립환경연구원, 대기오염과 산성비에 의한 피해조사 및 평가에 관한 연구, 1991~1993.
3. 이보경, 연세대 박사논문, 한반도 강수의 화학조성과 주요이온성분의 습성강하량, 1999.
4. Dikaiakos, J.G. et al. (1990) Rainwater composition in Athens, Greece, Atmos. Environ., 24(1), 171-176.