

## PA25) 1997-2005년 제주시 지역 강수의 산성화 및 중화 특성 연구

### Study on Acidification and Neutralization Characteristics of Precipitation in Jeju City during 1997 ~ 2005

고희철 · 강창희 · 김원형 · 이순봉 · 송정민 · 고희철 · 홍상범<sup>1)</sup>  
제주대학교 화학과, <sup>1)</sup>광주과학기술원 환경공학과

#### 1. 서 론

강수의 산성화에는 대체로 황산화물과 질소산화물의 기여도가 크고, 이외에 유기산, MSA 등이 어느 정도 기여하고 있다. 동북아시아에서 배출되는 인위적 대기오염물질 역시 이들 성분들이 주류를 이루고 있다. 2002년을 기준으로 중국, 일본, 한국의 배출량을 비교해 보면, 황산화물의 경우 각각 19,266,000톤, 585,506톤, 501,753톤이며, 질소산화물의 경우 일본과 한국이 각각 869,113톤, 1,106,260톤을 배출하고 중국은 이보다 훨씬 더 많은 양을 배출하는 것으로 조사되고 있다. 또 중국의 경우 석탄 사용에 기인한 아황산가스 배출이 가장 큰 비중을 차지하고 있는 반면에 상대적으로 한국과 일본은 질소산화물이 많이 배출되는 특성을 나타낸다. 그리고 아황산가스 배출량이 질소산화물에 비해 배출량 규모면에서 10배 이상 많은 것으로 나타나고 있다. 제주시 지역의 경우 큰 산업시설이 없고 인구 밀도가 낮아서 국내 도시 지역 중에는 비교적 청정한 상태를 유지하는 것으로 보인다. 그러나 자체적 오염 보다는 주변 국가로부터 이동하는 월경성 오염물질의 영향을 많이 받고 있는 것으로 추정된다. 본 연구는 9년간 제주시 지역 강수의 산성화도를 지속적으로 관찰한 결과로, 산성화 경향은 물론 주요 강수 성분의 산성화 및 중화 기여도를 조사한 결과이다.

#### 2. 연구 방법

강수시료는 해발 330 m에 위치한 제주시내 제주대학교 건물 옥상에서 1997년 3월부터 2005년 12월까지 약 9년간, 자동강우채취기(신일상사 Model SL-4-001)를 사용하여 채취하였다. 시료는 각 강수 이벤트별로 채취하였고, 이 기간의 총 시료수는 438개이다. 채취된 시료는 분취 후 먼저 pH(ORION, 720A 및 81-02 electrode)와 전기전도도(TOA, CM-11P)를 측정하였고, IC(Dionex, DX-500)로 주요 이온성분을 분석하였다. 분석 전까지 시료는 -20 °C 냉동고에 보관하였다.

#### 3. 결과 및 고찰

##### 3.1 강수 분석 결과

연구기간 중 제주시 지역 강수의 pH는 4.67 ~ 5.00의 범위를 보여 대체적으로 약한 산성을 나타내었으며, 뚜렷한 연별 경향성을 보이지는 않았고, 연 강수량에 따라 약간의 차이를 나타내는 것으로 조사되었다. 또한 부피가중 연평균 전기전도도는 13.3 ~ 34.4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 연 강수량이 적은 2005년에 다소 높게 측정되었다. 주요 이온성분들의 당량농도는  $\text{nss-SO}_4^{2-} > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{Mg}^{2+} > \text{nss-Ca}^{2+} > \text{K}^+$ 의 순으로 이 중  $\text{nss-SO}_4^{2-}$ 이 16.0 ~ 51.5  $\mu\text{eq}/\text{L}$ 로 가장 높은 농도를 나타내었다(표 1 참조). 표 2에 보인 바와 같이 강수의 산성화는 주로 무기산 음이온인  $\text{nss-SO}_4^{2-}$ 와  $\text{NO}_3^-$  두 성분 에 의해 일어나는 것으로 추정되며, 그 기여율은 각각 57.2%와 36.4%로 두 성분 에 의한 기여율이 93.6% 정도를 차지하는 것으로 나타났다. 또한 중화인자를 측정하여 강수의 중화 정도를 조사해 본 결과,  $\text{NH}_4^+$ ( $\text{NH}_3$ )과  $\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{CaCO}_3$ )이 각각 70%, 22%로 이들 두 성분이 주로 중화작용을 하는 것으로 평가되었다. 그리고 순수한 산성도를 나타내는 자유산도는 약 29% 정도인 것으로 나타났다. 또 제주시의 강수에서 주요 산성 음이온인  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ 의 합은 85.5  $\mu\text{eq}/\text{L}$ 이었고,  $\text{H}^+$ 과 주요 염기성 양이온인  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{nss-Ca}^{2+}$ 의 합은 84.5  $\mu\text{eq}/\text{L}$ 로 서로

유사한 수치를 나타내었으며, 이들 5개 상분들이 강수의 산성화 및 중화에 주로 관여하고 있음을 확인할 수 있었다.

Table 1. pH, conductivity( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) and volume-weighted mean concentrations ( $\mu\text{eq}/\text{L}$ ) of major precipitation components in Jeju city

Year	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
pH	4.79	4.90	5.00	4.83	4.67	4.68	4.79	4.91	4.75
Conductivity	18.3	23.4	13.3	20.5	28.9	27.5	17.9	21.2	34.4
H <sup>+</sup>	12.6	12.6	10.0	14.7	21.2	20.8	16.1	12.4	17.7
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	18.7	18.6	14.2	16.3	22.5	20.2	28.0	50.6	60.5
Na <sup>+</sup>	39.6	87.4	38.4	46.7	76.2	135.2	48.7	66.2	96.1
K <sup>+</sup>	4.0	10.1	3.1	2.1	3.4	2.0	1.1	1.4	6.1
nss-Ca <sup>2+</sup>	8.8	2.0	4.4	9.7	14.2	9.7	7.0	2.2	12.9
Mg <sup>2+</sup>	6.9	17.2	11.6	12.2	17.8	22.6	12.2	11.6	28.4
nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	31.3	29.0	16.0	27.5	39.1	22.4	20.2	19.0	51.5
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	16.6	16.1	10.5	16.2	23.8	19.2	14.1	17.6	28.8
Cl <sup>-</sup>	39.6	88.3	40.7	53.8	76.5	120.0	44.3	70.1	88.3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.3	0.4	0.5	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3

Table 2. Concentrations( $\mu\text{eq}/\text{L}$ ) of protons, possible proton donors and neutralizing substances, and neutralization factors by NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and Ca<sup>2+</sup>

Cations		Anions		Neutralization factor(NF)	
H <sup>+</sup>	22.5	nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	51.8	NF <sub>NH4+</sub>	0.65
nss-Ca <sup>2+</sup>	20.3	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	32.7	NF <sub>Ca2+</sub>	0.21
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	42.7			Free	29
Total	85.5	Total	84.5	acidity(%)	

### 3.2 강수의 오염원 특성

인자분석(factor analysis)을 실시하여 강수에 유입된 오염물질의 발생기원을 조사해 본 결과 제주시 지역 강수 성분은 첫째 인자에 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, H<sup>+</sup> 성분이 큰 적재값을 나타내었고, 46.4%의 설명력을 보였다. 둘째 인자는 17.2%의 설명력을 보였고, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Mg<sup>2+</sup> 성분이 큰 적재치를 보였고, 셋째 인자에서는 nss-Ca<sup>2+</sup>과 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>이 큰 값으로 적재되었고, 15.7%의 설명력을 나타내었다. 이러한 결과로부터 제주시 강수는 인위적 오염원의 영향을 가장 많이 받고 있고, 다음으로 해염 영향, 그 다음으로 토양의 영향을 받고 있는 것으로 평가되었다.

## 사 사

이 논문은 2005년도 제주대학교 학술연구비의 지원에 의해 연구되었습니다.

## 참 고 문 헌

- Kang C.H. and W.H. Kim (2002) Studies on Pollution Characteristics and Sources of Precipitation in Jeju Island, J. Korean Society for Atmospheric Environment, 18(E4), 191-201.
- Kang C.H., W.H. Kim, and W. Lee (2003) Chemical Composition Characteristics of Precipitation at Two Sites in Jeju Island, Bull. Korean Chem. Soc., 24(3), 363-368.