

SM17) 춘천지역 산성강하물의 실태(1998년-1999년) Acid deposition in Chuncheon : 1998-1999

강미희 · 박기준 · 김만구

강원대학교 자연과학대학 환경학과

1. 서 론

산성물질들은 구름이나 안개가 생성될 때 내부로 녹아 들어가거나, 비가 내릴 때 녹아 들어가 구름, 안개, 비 중에 많은 양이 존재하며, 이 과정이 기체상 물질들이 대기 중에서 제거되는 주요한 과정이다. 구름이나 안개, 비 중에서 직접 산성오염물질이 생성되는 액상반응도 있고, 주로 아황산가스의 산화반응이 기여하고 있다고 알려져 있다(Hegg and Hobbs, 1978). 이렇게 생성된 대기 중 산성물질들은 대기에서 지표면으로 내려와 식물, 하천수, 호수, 토양, 건축물 등에 영향을 준다.

우리 나라에서는 아직 산성비로 인한 생태계나 인체에 대한 심각한 피해는 조사되지 않았으나, 중국, 일본 등 주변국가들의 대기오염물질 배출량 증가가 예상되므로 장래 산성강하물에 의한 피해가 우려되며 향후 국제적인 산성비 문제에 대처해야 하므로 산성비에 대한 연구는 중요하다. 그리고 토양, 호수, 대기 등 우리를 둘러싸고 있는 환경의 산성화에 대한 이해를 위해서는 강우나 안개 등의 습성강하뿐 아니라 분진이나 가스상 물질에 의한 건성 강하에 대한 연구가 병행되어야 한다. 특히 산성강하물은 전구물질이 배출원에서 방출되어 풍하측으로 이동하며 광화학 반응에 의해 생성되므로 지역적인 특성을 가지고 있다. 건성 강하물은 총 강하물 중에서 많은 부분을 차지하고, 이들 기체상 및 입자상 산성물질들이 산성비의 형성 및 빗물의 화학조성과 밀접하게 관련되어 있고, 산성비의 형성 및 pH 강도 그리고 빗물의 화학조성과 연관이 있다. 대기중의 기체 및 입자상의 산성물질의 농도는 또한 지역 배출원 자료와 매우 밀접한 연관을 갖고 있으며, 이러한 배경농도 자료는 그 지역의 배출원 자료와 함께 지역규모 산성 침적량 예측모형 및 광화학 산화물 추정 모형의 입력 자료로서도 유용하게 이용된다.

본 연구에서는 춘천 지역의 강우를 채취, 분석하여 습성 강하물의 농도를 측정하고 강하량을 추정하였다. 그리고, 필터팩 방법을 이용하여 대기 중 기체상 물질(HNO_3 , SO_2 , NH_3)과 입자상 물질(SO_4^{2-} , NO_3^-)의 농도를 측정하고 문헌상의 건성 강하속도를 이용하여 건성 강하량을 추정하였다. 이로써, 춘천 지역의 산성강하물의 실태를 파악해 보고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 강우의 채취와 분석

시료의 채취에는 반자동식 습성강하물 채취기를 사용하였다. 채취부는 내경 26cm의 플라스틱 버킷을 사용하였으며, 버킷의 채취 가능량은 일일 강우량으로 약 200mm 정도이다. 채취와 운반을 쉽게 하기 위하여 빗물을 버킷에 직접 채취하지 않고 버킷 위에 40l 용량의 비닐백을 씌워 채취하였다. 채취기에 부착된 강우감지기에 의하여 뚜껑이 열리고 단힘으로써 자동적으로 강우를 채취하였고, 비강우시 버킷 안으로 유입될 가능성이 있는 건성 강하물을 최소화하였다.

강우는 일 강우를 기본으로 하였고, 연일 비가 오는 경우는 오전 10시부터 다음날 오전 10시까지 24시간 단위로 수거하였다. 강우 시료는 강원대학교 자연과학대학 2호관 옥상(북위 37° 54', 동경 127° 44', 해발고도 74.0 m)에서, 1998년 1월부터 1999년 6월까지 매 강우별로 채취하였다.

채취된 시료는 실험실로 운반하여 채취부피를 측정한 뒤 공경 0.45 μm 의 멤브레인 필터를 사용하여 여과하였다. 여과한 시료는 각각 pH(290A, Orion)와 전기전도도(B-173, Horiba)를 측정하였다. 나머지 이온성분 분석용 시료는 분석 전까지 고밀도 폴리에틸렌 용기(Nalgene)에 담아 4°C 이하에서 냉장 보관하였다. 이온 크로마토그래프(DX-100, Dionex)를 이용하여 음이온 성분(SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-)과 양이온 성분(NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+)을 분석하였다.

2.2 건성 강하물의 채취와 분석

필터팩 방법은 일반적으로 채취 공기 중에서 입자상 물질을 채취하기 위한 테플론 필터와 질산

(HNO₃)을 채취하는 나일론 필터, 그 뒤에 셀룰로오즈 필터에 흡수시약을 함침시켜 아황산가스(SO₂)나 암모니아(NH₃)를 채취하는 3단 필터가 일반적이다. 이렇게 3단 필터팩이 널리 사용되고 있는 것은 필터팩 방법이 입자상·기체상 산성물질을 측정할 때 다루기가 매우 편리하고 경제적이기 때문이다.

시료 채취는 강우와 동일하게, 강원대학교 자연과학대학 옥상에서 실시하였다. 춘천은 수도권 지역에서 약 90km 떨어진 풍하측에 위치하고 사방이 500m 높이의 산으로 둘러싸인 분지지형이며 3개의 큰 호수(소양호, 춘천호, 의암호)가 있다. 그래서 수도권으로부터 오염물질의 유입이 예상되며, 자체에서 발생한 오염물질도 쉽게 확산되기 힘든 지형이다.

대기시료는 47mm 직경의 필터팩을 이용하여 유속 10 l/min으로, 매주 수요일 오전 10시부터 목요일 오전 10시까지 24시간 동안 채취하였고, 아황산가스(SO₂)와 암모니아(NH₃)를 모두 채취하기 위하여 4단 필터팩을 사용하였다. 채취한 시료필터는 2등분하여 한쪽은 마개가 있는 원심분리관에 넣고 10ml 초순수를 가하여 상온에서 10분간 초음파 세척기로 추출한 후 분석 전까지 냉장보관 하였고 다른 부분은 47mm 페트리디쉬에 넣어 데시케이터에 보관하였다. 분석은 이온크로마토그래프를 사용하였으며, 분석 전 0.2µm PTFE 실린지 필터로 여과하였다.

3. 결과 및 고찰

표 1에 1998년 1월부터 1999년 6월까지 춘천 지역에서 채취한 강우의 이온성분의 농도를 나타내었다. 1998년과 1999년에 춘천에서 채취한 강우의 가중평균 pH는 모두 4.9 정도로 나타났고, 1996년과 1997년에는 각각 평균 4.7, 4.9 정도로 나타났다(김만구 등, 1998). 1년 6개월 전체 강우 중 pH 5.6 이하의 강우는 73.8%, 실질적인 산성비라고 할 수 있는 pH 5.0 이하의 강우도 41.7%에 달했다. 전기전도도는 1998년과 1999년에 각각 평균 12.3, 20.2 µS/cm로 나타났고, 1996년과 1997년에는 각각 평균 19.1, 14.1 µS/cm로 측정되었다.

Table 1. The concentration of ionic species in rainwater collected at Chunchon from Jan. 1998 to Jun. 1999.

| | Rainfall mm | pH | E.C. µS/cm | Cl | NO ₃ | SO ₄ ²⁻ | H ⁺ | µ eq/l | | | | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ |
|------|----------------|-------|---------------|-------|-----------------|-------------------------------|----------------|-----------------|------------------------------|-------|------|------------------|------------------|
| | | | | | | | | Na ⁺ | NH ₄ ⁺ | K | | | |
| 1998 | Mean | 23.9 | 4.93 | 12.3 | 5.7 | 16.4 | 31.4 | 11.7 | 6.2 | 32.5 | 2.7 | 2.0 | 13.5 |
| | Min. | 0.5 | 4.07 | 3.5 | 0.0 | 1.6 | 2.5 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 2.1 |
| | Max. | 200.0 | 6.43 | 158.0 | 170.0 | 407.1 | 623.3 | 85.7 | 91.4 | 533.7 | 64.8 | 49.7 | 428.7 |
| 1999 | Mean | 15.8 | 4.95 | 20.2 | 10.4 | 22.6 | 53.4 | 11.3 | 9.8 | 44.0 | 3.4 | 5.8 | 59.7 |
| | Min. | 0.7 | 4.39 | 4.2 | 0.1 | 5.0 | 10.4 | 0.0 | 0.4 | 7.1 | 0.0 | 0.6 | 9.1 |
| | Max. | 35.2 | 7.74 | 110.0 | 71.9 | 284.2 | 340.4 | 41.0 | 81.0 | 576.5 | 25.4 | 39.4 | 401.5 |

Table 2. The concentration of gaseous and particulate matters at Chunchon from Jan. 1998 to Jun. 1999.

| | | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ | HNO ₃ | SO ₂ | NH ₃ |
|------|------|-------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | | µg/m ³ | | ppb | | |
| 1998 | Mean | 6.27 | 5.09 | 0.57 | 2.09 | 8.07 |
| | Max. | 31.13 | 31.22 | 2.82 | 9.40 | 57.27 |
| | Min. | 0.18 | 0.21 | 0.03 | 0.06 | 0.20 |
| 1999 | Mean | 6.20 | 6.68 | 0.39 | 1.75 | 7.04 |
| | Max. | 16.11 | 22.37 | 1.50 | 2.88 | 16.17 |
| | Min. | 0.87 | 0.27 | 0.04 | 0.76 | 2.36 |

표 2에는 필터팩 방법으로 채취하여 분석한 건성강하물의 농도를 나타내었다. 1998년 춘천지역에서 채취한 건성 강하물 중 입자상 SO₄²⁻와 NO₃의 농도는 각각 평균 6.27, 5.09 µg/m³이었고, 1999년에는 각각 평균 6.20, 6.68 µg/m³이었다. 1997년의 측정값(평균 6.95, 3.91 µg/m³)과 비교하면 SO₄²⁻ 농도는 감

소하고 NO₃ 농도는 증가하였다. 서울과 안면도 등 다른 지역과 비교해 보면, 안면도 지역에서 봄철인 3월과 5월에 입자상 물질의 농도가 높게 나타나는데 이것은 공단 등 주위환경 이외에 중국의 영향을 받았을 가능성이 높다. 그리고 춘천지역은 수도권지역으로부터 오염물질이 유입되어 높게 나타나는 것으로 생각된다.

가스상 HNO₃와 SO₂, NH₃의 농도는, 1998년에 각각 평균 0.57, 2.09, 8.07ppb이었고, 1999년에는 각각 평균 0.39, 1.75, 7.04ppb이었다. 1997년에는 각각 평균 0.44, 4.00, 4.66 ppb로, SO₂가 해마다 감소하였음을 알 수 있다. NH₃는 각종 배출업소, 일반가정 등 고정오염원과 자동차 등의 이동오염원 등이 많은 서울과 춘천지역에서 높게 측정되었다.

표 3에 강우의 강하량을 나타내었고, SO₄²⁻에 기인한 S와 NO₃⁻, NH₄⁺에 기인한 N의 강하량을 별도로 나타내었다. 그리고 문헌상의 건성강하 속도를 이용하여 추정된 건성강하량을 표 4에 나타내었다. SO₂, SO₄²⁻, HNO₃의 강하속도는 Clarke 등(1993)의 자료를 사용하였고, 춘천지역의 강하 표면은 도시-농작 형태로 간주하였다. NO₃와 NH₃의 강하속도는 우리나라와 위도와 경도가 비슷하고 환경조건이 비슷한 일본의 Oishi 등(1994)의 데이터를 사용하여 건성강하량을 추정하였다.

1998년, 춘천지역의 건성 강하에 기인하는 황의 양은 366kg/km²로, 습성 강하에 기인하는 황의 양은 782kg/km²로 추정되어 황의 총강하량 중 건성 강하가 차지하는 비율은 32%로 나타나, 1997년의 52%에 비해 감소하였다. 또한 건성 강하에 기인하는 질소의 양은 1871kg/km², 습성 강하에 기인하는 질소의 양은 1066kg/km²로 추정되어 총강하량 중 건성 강하가 차지하는 비율은 64%로, 1997년의 62%와 비슷하게 나타났다. 춘천지역의 S/N 비는 0.39로 황보다 질소의 강하량이 더 높게 나타났다. 1999년에는 총강하량 중 건성 강하가 차지하는 비율이, 황은 17%, 질소는 53%를 나타냈다.

Table 3. Amount of wet deposition at Chunchon from Jan. 1998 to Jun. 1999.

| Year | Rainfall | Cl | NO ₃ | NO ₃ ⁻ -N | SO ₄ ²⁻ | SO ₄ ²⁻ -S | H ⁺ | Na ⁺ | NH ₄ ⁺ | NH ₄ ⁺ -N | K | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ |
|-------|----------|---------------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------|-----------------|------------------------------|---------------------------------|-------|------------------|------------------|
| | mm | kg/km ² · year | | | | | | | | | | | |
| 1998 | 1555.7 | 312.0 | 1580.6 | 356.9 | 2346.4 | 782.1 | 18.2 | 220.8 | 911.4 | 708.9 | 169.2 | 38.5 | 420.3 |
| 1999* | 300.0 | 110.4 | 419.6 | 94.8 | 769.3 | 256.4 | 3.4 | 67.7 | 238.2 | 185.3 | 40.4 | 21.2 | 358.8 |

* : 6개월(1999년 1월 ~ 6월)

Table 4. The dry deposition flux at Chunchon from Jan. 1998 to Jun. 1999.

| Year | SO ₄ ²⁻ | SO ₄ ²⁻ -S | NO ₃ | NO ₃ ⁻ -N | HNO ₃ | HNO ₃ ⁻ -N | SO ₂ | SO ₂ ⁻ -S | NH ₃ | NH ₃ ⁻ -N |
|-------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------------------|--------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|
| | kg/km ² /year | | | | kg/km ² /year | | | | | |
| 1998 | 292.4 | 97.5 | 316.8 | 71.5 | 1041.6 | 231.5 | 538.4 | 269.2 | 1904.2 | 1568.1 |
| 1999* | 146.7 | 33.1 | 210.8 | 47.6 | 356.1 | 80.4 | 80.1 | 18.1 | 842.8 | 190.3 |

* : 6개월(1999년 1월 ~ 6월)

참 고 문 헌

- 김만구, 강미희, 임양석, 박기준, 황 훈, 이보경, 홍승희, 이동수 (1999) 산성강하물의 침착량과 동태 해명에 관한 연구 - 춘천과 서울 강우의 화학조성 비교, 한국대기환경학회지, 15(2), pp. 89-100.
- Clarke J.F. and E.S. Edgerton (1993) Dry Deposition Flux Calculations for the National Dry Deposition Network, U.S. EPA Report EPA/600/R-93/065 (PB93-178242).
- Hegg, D.A. and P.V. Hobbs (1978) Oxidation of sulfur dioxide in aqueous systems with particular reference to the atmosphere, Atmos. Environ., 12, 241-254.
- Oishi et al. (1995) 일본 대기오염학회 강연요지집, 235.