

## 하계 소백산 안개의 화학적 특성에 관한 연구 A Study on Chemical Features of Fog Sample in Summer at Mt. Sobaek

최재천 · 이민영 · 이선기 · 남재철  
기상청 기상연구소  
(1995년 11월 8일 접수, 1996년 8월 15일 채택)

Jae-Cheon Choi, Min-Young Lee, Sun-Ki Lee, Jae-Cheol Nam  
*Meteorological Research Institute, KMA*  
(Received 8 November 1995; accepted 15 August 1996)

### Abstract

Acidic fog is catastrophic to aviation and potentially affect materials, vegetation, crops and public health. This paper was carried out to investigate the chemical features of fog sample at Mt. Sobaek (mean sea level : 1,340 m) from June to August 1995. Each sample was analyzed for pH, electrical conductivity and major ions (anion :  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , cation :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) by ion chromatography. The quality analysis of fog sample data was performed based on ion balance and electrical conductivity method. The wind directions are subdivided into the northerly and southerly wind according to the wind direction data at the Sobaek-san meteorological observation station. Statistical analyses were performed on the complete set of results in order to obtain a description of fog sample. All the statistical treatment was carried out using the SPSS/PC+ software package.

The major ion concentration of fog samples was higher for the northwesterly wind cases than southeasterly wind cases. The pH of fog sample varied between 2.95 and 6.08. The average pH and electrical conductivity of total sample ( $n=210$ ) were 4.39 and  $113.0 \mu\text{S}/\text{cm}$ , respectively. It may be noted that in nearly all the cases, the dominant major ions in the fog sample at Mt. Sobaek were  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}^+$  and  $\text{NH}_4^+$ .

**Key words :** Mt. Sobaek, fog sample, anion, cation

### 1. 서 론

안개란 매우 작은 물방울이 대기 중에 떠 돌아다니는 현상으로서 수평 시정 1 km 미만인 경우를 말하며, 일반적으로 상대습도가 100%에 가깝다(김광식 등, 1992). 또한, 안개는 대기 중에 부유하는 오염물질이 응결핵으로 작용하여 응축되어 생성되는 것으로서 그 크기가

1~100  $\mu\text{m}$ 이며, 대기중에 보통 1 ml당 20~500개가 존재한다(村野, 1989).

김경익 등(1995)에 의하면 해발 고도 1 km 지점에서는 관측자의 위치에 따라 안개 또는 구름으로 취급한다. 그러므로 본 연구 대상 지점에서는 안개라고 볼 수 있지만 낮은 고도에 있는 관측자는 층운(stratus)으로 판단하므로 명확하게 안개 또는 구름으로 구분하기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 관측자의 입장에서 안개 또는

구름을 '안개'로 명기하였다.

산성 안개에 대한 국내의 연구 동향을 보면, 정용승 등(1992)이 충북 청원군에서의 안개, 이슬 서리의 산성도에 대한 연구결과를 보고하였으며, 김만구 등(1994a, 1994b)이 우리나라에서는 전형적인 내륙 지역인 춘천과 고산 지역인 소백산에서의 안개의 화학적 조성에 관한 연구 결과를 보고하였다. 그러나 국내에서의 산성 안개에 대한 연구는 아직까지는 미흡한 실정이다.

Patricia *et al.*(1986)에 의하면 도시 지역에서 안개의 pH는 2.85~4.06 사이의 강산성으로 보고한 바 있으며, Jeffrey *et al.*(1990)는 빗물, 이슬, 서리와 안개의 pH 차이는 수습내지 수백배 안개가 강산성을 띠는 것으로 보고한 바 있다. 또한, Isaac and Daum(1987)은 풍계에 따른 겨울철 구름의 pH는 강수보다도 수습 내지 수백배 강산성을 띠다고 보고하였다. 그러나 항상 안개가 강산성을 띠는 것은 아니다. Khemani *et al.*(1987)에 의하면 pH는 6.5~7.9사이의 높은 값을 보이는데 이는, 지역적인 특성으로 인근 지역의 칼슘 영향이 매우 크게 작용한 것으로 보고하였다. 그리고 안개는 강수보다도 수용성 이온 성분도 다량 함유되어 있는 것으로 보고되고 있으며(김만구, 1994a; Collett *et al.*, 1993; Zheng *et al.*, 1992; Makoto, 1990), pH도 지역의 특성에 따라 산도의 차이가 매우 큰 것으로 나타났다. 따라서 안개는 지역적인 특성이 매우 크게 작용한다는 것을 유념하여야 하나 대다수의 연구 결과를 보면, 안개의 산성도는 강수보다는 매우 강산성을 보인다. 또한, 안개는 인간의 생활환경 지역인 지표층에서 형성되는 것으로 산성 안개는 문화재, 건축물 등과 인간에 막대한 피해를 주며(Kapoor *et al.*, 1993), 특히, 고산 지대에서의 안개 및 구름의 산성화는 등산객이나 식생에 큰 영향을 미치므로(Falconer *et al.*, 1980), 그 연구의 필요성은 매우 크다. 따라서 본 연구에서는 안개 발생 일수가 년 평균 211일(이민영 등, 1992)인 소백산 정상 부근에서 1995년 하계(6, 7, 8월)를 대상으로 집중 관측하여 각 Case에 따른 pH와 전기전도도의 시간에 따른 변화 추이와 화학적 특성을 고찰하고, 풍계 구분에 의한 성분 특성 및 통계분석을 통하여 상관관계 및 요인분석도 실시하였다.

## 2. 시료 포집 및 분석

안개 시료의 포집은 자연바람을 이용하여 포집하는 passive(부동)형과 전원을 공급하여 포집하는 active

(활동)형이 있으나 부동형은 전원 공급이 어려운 지역에서는 적절하나 포집량이 적기 때문에 성분 분석에 어려움이 있으므로 본 연구에서는 활동형 안개 포집기를 제작하여 시료를 포집하였다. 활동형 안개 포집기는 Bruce *et al.*(1987)이 제작한 포집기(전원: 12 volt 배터리, 포집량: 1.8 ml/min)를 보완하여 자체 제작하였다.

본 연구소에서 제작한 활동형 안개 포집기는 전원을 일정하게 하기 위하여 110/220 volt 전원을 사용하였으며, 외류 방지를 위하여 외류 방지용 칸막이(길이 10 cm, 직경 2.5 cm, 원통형관)도 설치하였다. 또한, 안개의 정도에 따라 흡인량을 조절하기 위하여 팬(fan)의 유속을 조절할 수 있는 장치를 설치하여 안개 시료를 포집하였다. 포집된 안개량은 평균 2.3 ml/min로 수용성 성분 분석용으로 충분한 양이었다. 그리고 산성 안개로 인하여 용출되는 이온 물질을 최대한 줄이기 위하여 teflon string을 사용하였으며, 포집 효율을 높이기 위하여 아크릴로 제작한 길이 85 cm의 장방형 관(30 cm × 30 cm)에 약 10~15°의 기울기로 screen impactor를 2개 설치하였다.

시료 포집은 소백산 국립공원내에 위치한 배경대기관 측소(해발 고도: 1,340 m)에서 하계(6, 7, 8월)를 대상으로 집중 관측하였으며, 포집 방법은 안개가 형성되기 시작하는 시점부터 소멸하기까지 30분 간격으로 포집하는 것을 원칙으로 하였고, 안개량이 적은 경우에는 1시간 또는 2시간 간격으로도 포집하였다. 그러나 대부분의 시료는 30분 간격으로 포집하였다.

시료 포집장소는 해발 1,340 m의 고산 지역으로서 안개도 형성될 수 있고, 기상 조건에 따라 하층운도 형성될 수 있으므로 명확히 안개 또는 구름으로 구분하여 시료를 포집할 수가 없었다. 따라서 안개 또는 구름을 본 연구에서는 '안개'라고 명기하였다.

포집된 시료는 포집 후, 즉시 pH와 전기전도도를 측정하였으며, 수용성 이온성분은 4°C 이하의 냉암소에 보관 후, 가급적 빠른 시일내에 분석하였다. 수용성 이온 성분은 이온 크로마토그래피(Dionex 4000i)로 분석하였다. 음이온 분석시 guard column은 AG-4A, separate column은 AS-4A 그리고 suppressor는 AMMS-1을 이용하였으며, eluant는 1.8 mM Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+1.7 mM NaHCO<sub>3</sub>, regenerant는 25 mM H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 사용하였다. 그리고 양이온 분석시에는 1, 2가 모두 guard column, separate column 그리고 suppressor를 각각 CG-3, CS-12 그리고 CMMS-2을 이용하였으며, eluant는 20 mM HCl, regene-

rant는 auto-regen. system을 이용하였으며, 사용된 시약은 100 mM-TBAOH (tetra-butyl ammonium hydroxide)이다. 또한, flow rate는 음이온의 경우 2.0 ml/min, 양이온의 경우 1.0 ml/min으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 신뢰성 검토

분석된 자료를 사용하기 전에 가장 먼저 선행되어야 하는 것은 자료의 정확도를 점검하는 것으로서 현재 널리 이용되는 방법은 음이온의 총합과 H<sup>+</sup>를 포함한 양이온의 총합의 비로 검토하는 이온 수지식과 전기전도도의 실측치와 계산치로 검토하는 방법이 있다. 본 연구에서는 두 가지 방법을 모두 적용하였다.

그림 1은 총 210개의 시료에 대하여 음이온과 양이온의 총합을 그린 것으로 전반적으로 음이온보다는 양이온의 총합이 많은 것으로 나타났다. 또한,  $y=0.93x+0.177$ 의 일차 회귀식이 계산되었으며, 상관관계 (R<sup>2</sup>)는 0.90로 매우 양호하게 나타났다. 일본 환경청(1989)에 의하면, total cation (이하 'T.C.'이라 함) > total anion (이하 'T.A.'이라 함)인 경우에 (T.A. - T.C.)/T.A. 와 (T.C. - T.A.)/T.C.의 값이 1보다 크면 측정 오차가 주요인이라 보고한 바 있다. 본 연구에서는 숫자의 부호가 0 보다 항상 크게 하기 위하여 심상규 등(1994)이 이용한 T.C. < T.A.인 경우에 횡축을 T.A., 종축을 (T.A. - T.C.)/T.A.로 한 것과 T.C. > T.A.인 경우에 횡축을 T.C., 종축을 (T.C. -

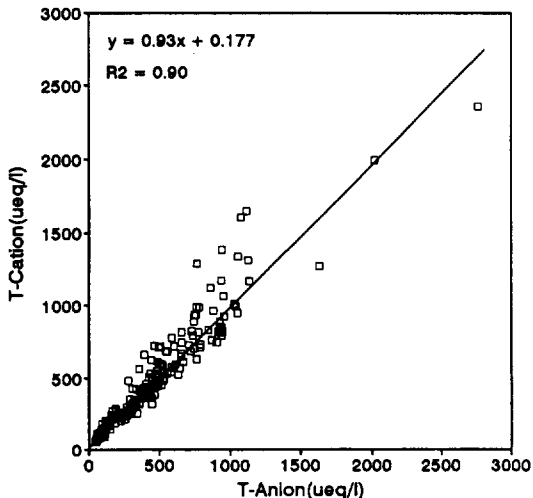


Fig. 1. Scattergram of total cation versus total anion.

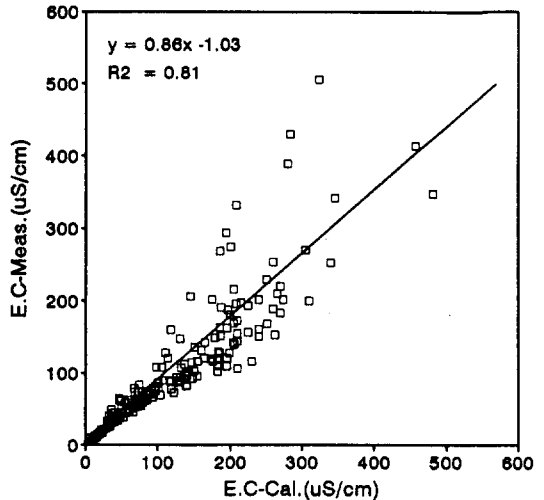


Fig. 2. Scattergram of calculated conductivity versus measured.

T.A.)/T.C.로 계산한 두 가지 방법을 모두 적용하여 그려본 결과, 두 경우 모두 0.5 이상의 값을 보인 시료는 단 1개도 없게 나타나 자료의 신뢰성은 매우 양호한 것으로 나타났다. 또한, 세계기상기구(WMO; World Meteorological Organization)산하의 지구 대기 감시(GAW; Global Atmosphere Watch)에서 제시한 전기전도도의 계산식(WMO GAW, 1994)을 적용하여 구한 결과  $y=0.86x-1.03$ 의 일차 회귀식이 계산되었으며, 상관관계 (R<sup>2</sup>)는 0.81로 나타났으며(그림 2), 전기전도도의 계산치/측정치 비는 1.13으로 비교적 신뢰성은 좋은 것으로 판명되었다.

3.2 pH와 전기전도도의 시간별 변화

대부분의 국외 연구 결과에 의하면 안개의 pH는 강수보다도 수십내지 수백배 이상의 강산성을 띠고 있는 것은 잘 알려진 사실이다(Eliezer *et al.*, 1993; Isaac and Daum, 1987).

반면에, 국내에서의 산성 안개에 대한 연구는 매우 미비하며, 특히, 시간별 변화 추세를 거의 알려져 있지 않으므로 본 절에서는 pH와 전기전도도의 범위별 빈도 분포 및 각 Case에 대한 시간별 변화 추세를 고찰하였다.

그림 3은 안개의 pH 범위별 빈도 분포를 보인 것이다. 강수에서는 거의 관측되지 않는 pH 3.50 이하가 총 210개의 시료 중 18개 (8.6%)이며, pH 3.51~4.00사이의 값이 60개 (28.6%)로 가장 높은 빈도수를 보였다. 또한, pH 3.51~5.00 사이의 시료는 145개

(69.1%)로 안개의 pH를 대표한다고 볼 수 있다. 또한, 전 시료의 평균 pH는 4.39로 동일 지점에서 1991년부터 1993년까지 풍계를 구분하여 계산한 강수의 평균 pH 5.24~5.40 (최재천, 1994) 보다 약 pH 1의 차이가 나타나 전반적으로 안개가 강수보다는 매우 산성도가 강한 것을 잘 알 수 있다. 그러나 안개의 pH가 항상 강산성을 띠는 것은 아니다. 그림에서도 나타났듯이 pH 5.01 이상이 47개 (22.4%)로 나타나, 한반도 중부 지방 강수의 pH와 비슷하거나 (정순화 등, 1993), 높은 값을 보인 경우도 다수 나타났다.

그림 4는 전기전도도의 범위별 빈도분포를 보인 것이

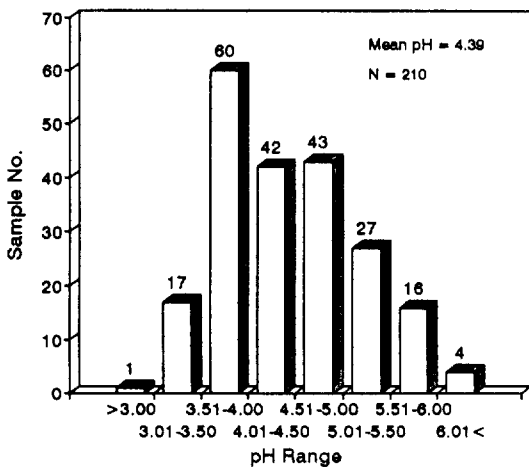


Fig. 3. The frequency distribution of pH range.

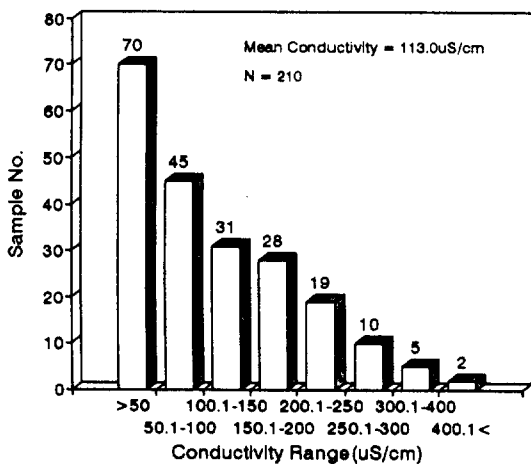


Fig. 4. The frequency distribution of electrical conductivity range.

다. 오염 물질이 함유되어 있는 정도를 판단할 수 있는 전기전도도는 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  이하가 총 210개의 시료 중 70개 (33.3%)로 가장 많은 빈도수를 보였다. 그러나 이러한 값은 강수에서 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  이하가 95.4% 차지하는 것 (최재천, 1994)보다는 매우 낮은 구성비이다. 따라서 대부분 안개 시료의 전기전도도는 강수보다는 매우 높은 것으로 나타났다. 특히, 평균 전기전도도는 113.0  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로서 동일 지점에서 1991년부터 1993년까지의 강수의 평균 전기전도도 14.3~15.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (최재천, 1994) 보다 약 7배 더 높게 나타나, 강수보다는 오염물질이 매우 많이 함유된 것으로 나타났다.

그림 5는 총 210개의 시료 중 연속적으로 측정된 경우의 자료 (n=188)만을 이용하여 pH와 전기전도도의 시간별 변화 추세를 보인 것으로, 모든 Case는 초기 안개 형성시부터 안개가 소멸하는 시점까지의 시료 측정값이다. Case 1은 6월 18일 7시부터 6월 19일 11시까지의 자료로서 6월 18일 14시부터 15시까지 1시간 간격으로 측정된 것을 제외하고는 30분 간격으로 27시간 연속 측정하였다 (n=55). Case 1의 경우에 전기전도도는 안개가 형성되기 시작한 일출 직후인 아침 시간에 196  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 가장 높게 나타났으며, 시간이 경과함에 따라 점점 낮아지다가 10시부터 24시까지는 큰 변화폭을 보이지 않았다. 그러나 밤 1시를 정점으로 점차 상승하다가 다시 아침 시간대에 가장 높게 나타났다. 그리고 pH는 쌍봉의 형태로서 8~9시와 18~20시 사이에 낮은 값을 보인 반면에 14~16시와 24~1시 사이에 높은 값을 보였다. Case 2는 7월 8일 9시부터 7월 9일 8시까지 시료의 양에 따라 23시간 연속 측정된 것으로 (n=33), 전기전도도는 Case 1과 마찬가지로 아침 시간에 가장 높았으며, 낮보다는 밤에 높은 값을 보여 주었다. 그러나 pH는 안개 형성 초기에 낮은 값을 보이다가 시간이 경과함에 따라 점점 높아지는 추세를 보였다. Case 3은 7월 9일 22시부터 7월 10일 7시까지 30분 간격으로 9시간 연속 측정된 것으로 (n=19), 5개의 Case 중 평균 pH가 3.65로 산성도가 가장 강했으며, 평균 전기전도도는 240.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 으로 가장 높게 나타났다. 또한, 시간이 경과함에 따라 pH는 점점 낮아지는 추세를 보인 반면에 전기전도도는 점점 높아지는 추세를 보였다. Case 4는 7월 19일 9시 30분부터 7월 20일 9시까지 30분 간격으로 24시간 연속 측정된 것으로 (n=48), 본 Case는 타 Case에 비하여 pH와 전기전도도의 관계가 역상관을 가장 잘 보이고 있으며, Case 1과 같이 24시를 정점으로 전기전도도는 점점 상승하는 경향을 보이다가 7시에는 최대값을 보였다. 반면에 pH는 전기전도도

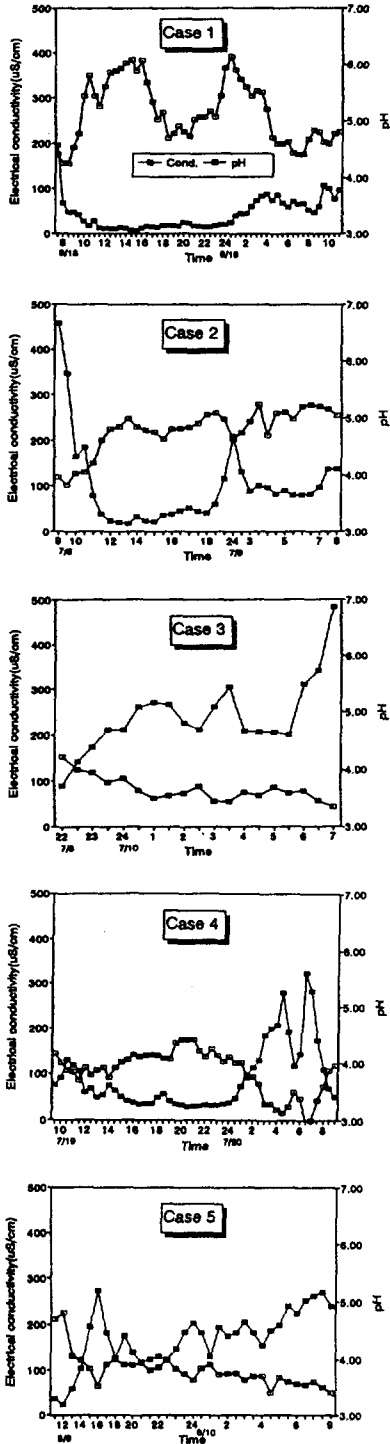


Fig. 5. Time variation of pH and conductivity (Case 1~Case 5).

가 최대값을 보인 7시에 가장 강산성을 보였다.

Case 5는 8월 9일 11시부터 8월 10일 9시까지 시료의 양에 따라 22시간 연속 측정된 것으로 ( $n=33$ ), Case 3과 마찬가지로 시간이 경과함에 따라 전기전도도는 높아지는 반면에 pH는 점점 강산성을 띠는 경향을 보였다. 그림 5의 Case 1~5의 결과를 종합해 보면, Case에 따라 pH와 전기전도도의 관계는 정상관 또는 역상관으로 결과의 일관성은 없는 것으로 나타났다. 이러한 관계는 국지적인 영향 즉, 인근 지역 오염원의 강도, 기상 요소, 고도 등에 의하여 Case에 따라 대기 중에 우점하는 이온물질의 함유 정도가 다르기 때문으로 사료된다. 또한, 소백산의 산성 안개는 전반적으로 안개가 형성되기 시작한 일출 전·후에 비교적 강산성을 보이며, 낮시간 보다는 밤시간에 강산성을 보였는데, 이는 일출 전·후의 대기 역전층에 의한 것과 주간보다는 야간에 대기가 안정하므로 대기오염물질의 혼합이 잘 이루어지지 않기 때문으로 사료된다.

### 3.3 사례별 이온 농도

안개는 국지적인 기상 현상으로 형성되는 것으로 그 종류로는 이류, 복사, 역전, 증발, 전선, 활승, 습윤 안개 등이 있다 (Ahrens *et al.*, 1985). 이러한 안개는 지리적인 요인, 고도, 주변 환경, 기상 특성 등에 따라 다르며 (김경익 등, 1995), 또한, 안개 중에 함유되어 있는 수용성 이온들의 농도 값도 다르게 나타난다.

표 1은 각 Case별 이온 성분의 평균 농도 ( $\mu\text{eq/l}$ )이다. 표 1에서도 볼 수 있듯이 Case에 따라 농도값의 변화 폭이 매우 큰 것으로 나타났다. 특히, 음이온의 대부분을 차지하는  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{SO}_4^{2-}$ , 양이온에서 가장 높은 농도값을 보이는  $\text{NH}_4^+$ 에 대하여 각 Case별 특성을 보면, 7월에 관측된 Case 2에서  $\text{NO}_3^-$ 는 171.6  $\mu\text{eq/l}$ 로 6월과 8월에 관측된 Case 1과 5보다 각각 3.0배, 1.9배 더 높은 값을 보였으며, 월 평균값은 7월 > 8월 > 6월 순으로 나타났다.  $\text{SO}_4^{2-}$ 는 음이온 중 가장 높은 농도값을 보였으며, 특히 Case 3의 664.5  $\mu\text{eq/l}$ 는 타 경우에 비해 적게는 2.2배, 많게는 4.8배로 매우 큰 변화폭을 보였고,  $\text{NH}_4^+$ 도 469.1  $\mu\text{eq/l}$ 로 타 Case에 비하여 가장 높은 값을 보였다.

그리고 Case 3은 타 경우에 비해 모든 이온 농도값이 높게 나타나 현지에서 관측된 기상 자료로 풍계를 조사해 본 결과, 시료 포집기간 동안은 풍향의 변동이 거의 없이 북서풍 계열의 바람이 지속적으로 불었다. 따라서 Case 3인 경우에는 장거리 이동된 대기오염물질 또는 인근 지역에 산재되어 있는 국내 최대의 시멘트 공장,

비료 공장, 광상 및 농공단지 등에서 배출된 오염물질의 영향을 크게 받은 것으로 사료된다. 그러나 다른 Case는 남동풍 계열의 바람이 우세 (Case 1과 Case 4)하거나 남동풍과 북서풍 계열의 바람이 공존 (Case 2와 Case 5)하였다. 따라서 북서풍 계열의 바람이 불 때 농도가 높음을 알 수 있으며, 이에 대한 해석은 3.4절에 다시 논의 되었다.

**3.4 풍계 구분에 의한 농도 특성**

안개 시료를 포집한 장소는 소백산 정상 부근으로 산맥이 북동 (NE)에서 남서 (SW)방향으로 가로 질러 있다 (이선기 등, 1995). 따라서 풍계 구분이 매우 용이하므로 최재천 등 (1994)이 동일 지점에서 적용한 동일한 방법으로 산맥의 왼쪽에서 불어오는 바람을 북풍 계열의 바람, 오른쪽에서 불어오는 바람을 남풍 계열의 바람으로 구분하였다.

표 2는 풍계 구분에 따른 평균 농도값으로 북풍 계열의 시료 수는 126개이며, 남풍 계열의 시료 수는 84개이다. 모든 이온들은 남풍 계열의 바람이 불 때보다 북풍 계열의 바람이 불 때 농도값이 높게 나타났으며, 특

히, 공장이 주 오염원인  $SO_4^{2-}$ 는 남풍 계열보다 북풍 계열이 약 2.2배 높은 값을 보였는데, 이는 북서쪽 방향으로 도시 (제천시 등) 및 공장 (시멘트 공장, 비료 공장, 제련소 등)이 많이 형성되어 있는 반면에, 남동쪽 방향으로는 대부분이 농경지로서 배출원의 강도가 큰 오염원이 거의 없으므로 이로 인한 영향이 크게 작용한 것으로 보인다. 이러한 사실은 동일 지점에서 풍계를 고려한 강수 성분 특성 (최재천, 1994)과 동일한 경향을 보이며, 소백산을 중심으로 풍상, 풍하측에서의 강수 화학성분에 관한 연구 (최재천, 1995)에서도 잘 규명되어 있다. 또한, 음이온 중  $SO_4^{2-}$ 의 구성비는 남풍 계열과 북풍 계열이 각각 55.9%, 68.1%이며,  $H^+$ 를 제외한 양이온 중  $NH_4^+$ 는 각각 76.4%, 79.4%로 대부분의 구성비를 차지하였다.

**3.5 통계 분석**

각 이온간의 상관관계 및 요인분석 (factor analysis)은 통계 프로그램인 SPSS/PC를 이용하여 구하였다. 표 3은 각 이온간의 상관관계를 보인 것으로 상관관계가 0.9 이상의 높은 상관성을 보인 것은 전기전도도와

Table 1. The equivalent concentration of fog sample at Mt. Sobaek.

Case	Month Date	Sample Number	Mean		Anion ( $\mu eq/l$ )		
			pH	E.C ( $\mu S/cm$ )	$Cl^-$	$NO_3^-$	$SO_4^{2-}$
Case 1	6/18~19	55	5.15	42.7	11.9	56.5	138.3
Case 2	7/ 8~ 9	33	4.78	98.5	54.1	171.6	265.8
Case 3	7/ 9~10	19	3.65	240.5	49.9	144.6	664.5
Case 4	7/19~20	48	3.84	91.7	18.0	66.4	203.7
Case 5	8/ 9~10	33	3.81	170.7	37.3	90.1	308.4

Case	Cation ( $\mu eq/l$ )						Sum		Ratio
	$Na^+$	$NH_4^+$	$K^+$	$Mg^{2+}$	$Ca^{2+}$	$H^+$	Anion	Cation	C/A
Case 1	13.9	151.5	4.8	8.7	26.9	13.5	206.7	219.4	1.06
Case 2	54.5	389.7	17.3	8.3	7.9	26.7	491.5	504.3	1.03
Case 3	39.8	469.1	15.8	16.7	16.7	246.1	858.9	804.2	0.94
Case 4	15.9	138.0	6.9	1.1	3.8	219.9	288.0	385.7	1.34
Case 5	24.3	202.0	11.6	9.1	17.8	184.2	435.8	449.0	1.03

Table 2. The equivalent concentration of major ions according to the wind case.

Case	Items	Sample Number	Anion ( $\mu eq/l$ )			Cation ( $\mu eq/l$ )					
			$Cl^-$	$NO_3^-$	$SO_4^{2-}$	$Na^+$	$NH_4^+$	$K^+$	$Mg^{2+}$	$Ca^{2+}$	$H^+$
North-Westerly Wind Case		84	41.9	120.5	345.9	40.1	314.5	11.1	12.0	18.5	156.6
South-Easterly Wind Case		126	26.3	98.2	158.1	27.3	195.1	9.0	6.4	17.5	48.3

Table 3. Correlation matrix between each chemical components of fog sample.

	E.C	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
Cl <sup>-</sup>	.52								
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.67	.57							
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	.93	.47	.73						
Na <sup>+</sup>	.32	.91	.41	.25					
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.70	.54	.94	.80	.36				
K <sup>+</sup>	.68	.54	.78	.72	.40	.77			
Mg <sup>2+</sup>	.27	.70	.32	.16	.81	.21	.26		
Ca <sup>2+</sup>	.20	.36	.30	.15	.43	.22	.24	.70	
H <sup>+</sup>	.63	.03	.16	.56	-.09	.15	.21	-.09	-.11

Table 4. Results of varimax factor matrix for fog data.

	Factor 1	Factor 2	Factor 3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	.95345		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	.91486		
K <sup>+</sup>	.84359		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	.76452		.57588
Mg <sup>2+</sup>		.95672	
Na <sup>+</sup>		.88607	
Cl <sup>-</sup>		.76930	
Ca <sup>2+</sup>		.71551	
H <sup>+</sup>			.95947
E.C	.64913		.68334
E.V.	5.26	2.26	1.00
P.V.	52.6	22.6	10.0
C.P.	52.6	75.3	85.3

Remark: E.V. = Eigenvalue  
 P.V. = Percentage of variance  
 C.P. = Cumulative percentage

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> 과 Na<sup>+</sup> 그리고 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 와 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>이며, 상관성이 0.8 이상은 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 와 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> 와 Mg<sup>2+</sup>로 나타난 반면에 pH와 각 이온간의 상관성은 거의 없는 것으로 나타났다.

표 4는 요인분석 결과를 보인 것으로 고유값(eigenvalue)으로 3개의 요인을 선택하였으며, 선택된 3개의 요인은 총 분산의 85.3%를 설명할 수 있었다. 첫 번째 요인은 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 그리고 K<sup>+</sup>가 총 분산의 52.6%로 높은 설명력을 가지며, 인자 부하량(factor loading)도 0.76~0.95로 대기 중에 배출된 1차 오염물질이 화학 반응을 통해 형성되는 입자상 물질과 관련지을 수 있으며, 두번째 요인은 Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> 그리고 Ca<sup>2+</sup>로 총 분산의 22.6%의 설명력을 가지며, 인자 부하량도 0.72~0.96으로서 샘플링 지점이 거의 해염입자의 영향을 받지 않는 지역이므로(최재천

등, 1994) 토양에 기원을 두고 있는 입자의 영향으로 관련되었다. 또한, 세번째 요인은 H<sup>+</sup>와 전기전도도로써 총 분산의 10.0% 설명력을 가지며, 고유값도 각각 0.96, 0.68로 나타났다. 따라서 요인분석 결과 소백산에서 발생하는 안개는 토양입자의 영향보다는 산업 활동에 의한 부산물의 영향이 가장 큰 요인으로 작용한다고 볼 수 있다.

4. 결 론

소백산에서 하계(6, 7, 8월)에 집중 관측한 안개의 화학적 성분률 고찰해 본 결과 다음과 같은 결론을 알 수 있었다. 안개의 평균 pH는 4.39로 1991년부터 1993년까지 동일 지점에서 관측된 강수보다도 약 pH 1 정도가 낮은 강산성을 보였으며, 평균 전기전도도는 113.0 μS/cm로 약 7배 더 높은 값을 유지하였다. 특히, pH 값은 안개가 형성시부터 소멸하기 전까지의 시간별 특성은 낮 시간 보다는 밤에 강산성을 보였으며, 밤보다는 일출 전·후에 가장 강산성을 띠었다. 이러한 이유는 일출 직전에는 지표 역전(surface inversion)이 가장 심하여 오염물질이 거의 확산되지 않고, 일출 후에도 어느 정도 시간까지는 혼합층(mixing layer)이 낮아 확산이 잘 이루어지지 않기 때문으로 판단된다. 또한, 지리적인 요인, 주변 환경, 기상 조건 등의 요인으로 인해 Case에 따른 농도 차이는 매우 크게 나타났다. 그리고 풍계 구분에 의한 농도 특성은 남풍 계열의 바람이 불 때보다 북풍 계열의 바람이 불 때 모든 이온의 농도가 높게 나타났다. 그리고 이온간의 상관성은 Cl<sup>-</sup>과 Na<sup>+</sup> 그리고 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>가 0.9 이상의 높은 상관성을 보인 반면에 pH와 각 이온간의 상관성은 매우 낮은 값을 보였으며, 요인분석 결과, 선택된 3개의 요인은 총 분산의 85.3%를 설명할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- 김광식 등 (1992) 기상학사전, 향문사, 341-342pp.
- 김경익, 민경덕, 윤일희, 박상군 (1995) 보현산 천문대의 안개 발생 빈도 분석, 한국기상학회지, 31(1), 35-44.
- 김만구, 임양석, 강미희, 장덕수 (1994a) 춘천 지역 안개의 화학적 조성 (제2보) : 1993년, 제18회 대기보전학술연구발표회 요지집, 49-53.
- 김만구, 임양석, 강미희, 이선기, 최재천, 이민영 (1994b) 소백산 안개의 화학적 조성, 제 19회 추계 대기보전학술대회 요지집, 84-85.
- 심상규, 강창희, 김용표 (1994) 제주도에서의 빗물 이온농도 분석, 한국대기보전학회지, 10(2), 98-104.
- 이민영, 이선기, 최재천 (1992) 소백산 지역에서 배경대기오염 관측의 적합성에 관한 조사, 기상연구논문집, 9(1), 127-134.
- 이선기, 최재천, 이민영, 최만식 (1995) 소백산 대기중 입자상 물질의 화학적 특성에 관한 연구 (I) : 이온 성분의 분포와 거동을 중심으로, 한국대기보전학회지, 11(2), 179-184.
- 정순화, 남재철, 최병철, 이선기, 최재천, 이민영 (1993) 한반도 중부지방의 1992년 하계 산성비 분포, 기상연구논문집, 10(1), 75-92.
- 정용승, 김태군 (1992) 충북 청원군의 안개, 이슬, 서리의 산성도 연구, 한국대기보전학회지, 8(1), 45-51.
- 최재천, 이민영, 이선기 (1994) 고산 지역 강수의 화학 성분 특성에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 10(1), 64-72.
- 최재천, 이민영, 이선기 (1995) 소백산을 중심으로 풍상, 풍하측에서의 강수중 수용성 이온 성분 특성에 관한 연구, 한국기상학회지, 31(4), 353-361.
- 최재천, 김산, 이민영 (1995) 무안 지역 빗물의 화학적 특성, 기상연구논문집, 12(1), 23-29.
- 日本 環境廳 (1989) 酸性雨 등 測定 메뉴얼, 37pp.
- 村野 健太郎 (1989) 酸性霧, 公害と對策, 25, 725-731.
- Ahrens and C. Dnald (1985) *Meteorology today*, 2nd ed., Westing Publishing Co., 523pp.
- Bruce D.J., D.K. Kenneth, A.L. Peter, and C.W. Kathleen (1987) Two new ground-level cloud water sampler designs which reduce rain contamination, *Atmos. Environ.*, 21(4), 893-900.
- Collett J.J., B. Oberholzer, and J. Staehelin (1993) Cloud chemistry at Mt Rigi, Switzerland : Dependence on drop size and relationship to precipitation chemistry, *Atmos. Environ.*, 27A(1), 33-42.
- Eliezer G., Z. Levin, and P. Doron (1993) Determining the acidity and chemical composition of fog, haze and cloud droplets in Israel, *Atmos. Environ.*, 27A(12), 1821-1832.
- Falconer R.E. and P.D. Falconer (1990) Determination of cloud water acidity at a mountain observatory in the Adirondack Mountain of New York State, *J. Geophys. Res.*, 85, 7465-7470.
- Jeffrey R.F., A.P. Robert, and B.H. Carter (1990) The chemistry of dews and frosts in Indianapolis, Indiana, *Atmos. Environ.*, 24A(8), 2229-2236.
- Kapoor R.K., S. Tiwari, K. Ali, and G. Singh (1993) Chemical analysis of fogwater at Delhi, North India, *Atmos. Environ.*, 27A(15), 2453-2455.
- Khemani L.T., G.A. Momin, S.N. Medha, R. Prakasa, P.D. Safai, and A.S.R. Murty (1987) Influence of alkaline particulates on pH of cloud rain water in India, *Atmos. Environ.*, 21(5), 1137-1145.
- Isaac G.A. and P.H. Daum (1987) A winter study air, cloud and precipitation chemistry in Ontario, Canada, *Atmos. Environ.*, 21(7), 1587-1600.
- Makoto T., T. Akira, and M. Ichikuni (1990) Origin of soluble chemical species in bulk precipitation collected in Tokyo, Japan : Statistical evaluation of source materials, *Atmos. Environ.*, 24A(6), 1493-1500.
- Patricia S.M., A.W. Kimberly, H.C. Bradley, V.A. Thomas, and R.A. Pribush (1986) Fog chemistry at urban midwestern site, *JAPCA*, 36(12), 1359-1361.
- WMO GAW (1994) Chemical analysis of precipitation for GAW : Laboratory analytical methods and sample collection standard, 85, 25-26.
- Zheng L. and V.P. Aneja (1992) Regional analysis of cloud chemistry at high elevations in the eastern united states, *Atmos. Environ.*, 26A(11), 2001-2017.