

산성강하물의 침착량과 동태 해명에 관한 연구 - 춘천 지역 안개의 화학 조성 (1996 ~ 1997)

A Study on the Behavior and Deposition of Acid Precipitation - Chemical Composition of Fog Water at Chunchon (1996 ~ 1997)

김만구 · 임양석 · 박기준 · 황 훈¹⁾

¹⁾강원대학교 환경학과, 강원대학교 화학과

(1998년 6월 27일 접수, 1998년 9월 7일 채택)

Man-Goo Kim, Yang-Suck Lim, Ki-Jun Park and Hoon Hwang¹⁾

Department of Environment Science, ¹⁾Department of Chemistry, Kangwon National University

(Received 27 June 1998; accepted 7 September 1998)

Abstract

Fog water samples were collected at Chunchon, Korea, by using active fog sampler during foggy period in fall of 1996 and 1997. The average annual foggy days at Chunchon increased from 37 days, for the years 1963 ~ 1973, to 63 days, for the year 1974 ~ 1993 that followed the construction of Lake Soyang. Volume weighted mean pH of fog water was 5.5 with a range of 4.8 to 7.0 in 1996, and 5.0 with a range of 4.1 to 6.6 in 1997. These pH values were higher than those of rain water sampled in corresponding years. However the concentration of ionic species in fog water were 26 times higher than those of rain water. The major anions in fog water were in order of SO_4^{2-} , NO_3^- and Cl^- , and their average concentrations were 1770.6 $\mu\text{eq/ml}$, 346.2 $\mu\text{eq/ml}$, 216 $\mu\text{eq/ml}$ in 1996, and 901.8 $\mu\text{eq/ml}$, 269.6 $\mu\text{eq/ml}$, 141.0 $\mu\text{eq/ml}$ in 1997, respectively. The major cations were Ca^{2+} , NH_4^+ , Mg^{2+} and K^+ , and their average concentrations were 408.5 $\mu\text{eq/ml}$, 280.0 $\mu\text{eq/ml}$, 43.8 $\mu\text{eq/ml}$, 45.2 $\mu\text{eq/ml}$ in 1996, and 400.4 $\mu\text{eq/ml}$, 299.0 $\mu\text{eq/ml}$, 73.1 $\mu\text{eq/ml}$, 44.5 $\mu\text{eq/ml}$ in 1997, respectively. The fraction acidity of fog water was 0.006 and that of rain water was 0.2, which means fog water was much more neutralized than rain water.

Key words : fog, foggy days, chemical composition, Chunchon, Lake Soyang.

1. 서 론

안개는 무수히 많은 작은 물방울이 공기 중에 떠 있어 1 km 이상 떨어진 물체가 보이지 않는 현상을 말한다. 안개의 종류는 지표면의 복사냉각에 의해 지표와 접한 공기가 냉각되어 발생하는 복사무와

산으로 불어오는 공기가 산을 타고 올라가며 단열 팽창에 의한 냉각으로 생성되는 환승무가 내륙지방의 대표적인 것이며, 큰 인공호수가 많은 춘천지역은 겨울에 수면에서 발생하는 증기무가 대표적인 것이다. 안개의 입자크기는 1 ~ 100 μm 로, 0.1 ~ 3.0 mm인 빗물 입자보다 상당히 작고 수분량이 적으며 대기 중에 체제하는 시간이 길어 대기 중에서 오염

물질이 계속 유입되므로 비보다 오염물질의 농도가 매우 높다. 특히 산성비는 지속적으로 내리는 비에 의해 오염물질의 농도가 높은 초기강우가 씻겨버리지만, 안개는 식물의 잎 등에 부착되어 오랜 시간동안 접촉하고 있으므로 식물에 미치는 피해가 더욱 크다. 안개를 산성화시키는 것으로는 광화학반응 등에 의해 대기 중에 존재하고 있는 질산이나 황산 등이 안개 입자에 유입되는 것과 일차 배출된 SO₂ 등이 이차생성 오염물질인 과산화수소나 오존 등과 안개 물방울 속에서 액상반응을 일으켜 산성물질을 생성하는 것 등이 주요 원인이다(김만구 등, 1993; 김만구 등, 1994a, b; Munger *et al.*, 1983). 그러나 안개의 연구가 강우보다 활발하지 못한 것은 안개의 채취가 강우와 같이 간단하지 않고, 안개발생 횟수가 강우보다 많지 않으며, 안개채취기의 자동화가 용이하지 않기 때문이다.

수자원의 효율적인 활용을 위해 건설된 인공호수들은 국가의 경제발전에 기여한 역할은 인정되지만, 주변 지역의 여러 가지 환경변화를 초래하였다. 그 중 대표적인 것으로 안개발생의 증가를 들 수 있다. 춘천지역은 소양호, 춘천호와 의암호로 둘러싸여 타 지역에 비해 안개발생일수가 많다. 특히 그림 1에 나타낸 것과 같이 1974년 소양호 담수 이후 연평균 안개일수(1974~1997년: 63일)가 담수 이전(1966~1973년: 37일)에 비해 약 2배로 증가하였다. 이는 호수 수온변화의 지연현상과 소양호 방류수의 낮은 수온의 영향에 의한 것으로, 계절적으로는 봄에 비하여 여름, 가을, 겨울의 안개일수 증가폭이 크다(이중범, 1981; 이중범 등, 1990). 이와 같이 인공호수의 건설로 인해 주변지역에 피해가 나타나고 있어 이에 대한 적절한 조치가 필요하다고 생각된다.

산성안개에 관한 외국의 연구로는, Houghton(1955)이 산악지역에 발생한 안개의 pH가 3.0정도로 매우 낮다는 것을 보고하였다. 1978년에 뉴욕대학의 대기과학연구소(ASRC; Atmospheric Science Research Center)는, Adirondaks에 위치한 Whiteface 산에서 안개와 구름의 pH가 그 지역의 강우보다 10배 정도 산성인 것을 밝힌 이래(Topol, 1983), 1982년 Waldman *et al.*에 의해 산성안개의 화학적 조성에 관한 연구결과(Dana and Easter, 1987)가 발표되어, 산성비보다 생태계에 미치는 영향이 더욱

심각한 산성안개에 대해 관심이 높아지고 연구의 필요성이 절실히 요구되었다. 특히 로스앤젤레스의 광화학스모그 사건 이후, Hoffmann 등의 연구 그룹이 이 지역의 안개에 대하여 활발한 연구를 하고 있으며, 최근에는 Hering의 그룹에 의하여 로스앤젤레스만을 중심으로 한 Southern California Air Quality Study(SCAQS)가 수행되었다.

로스앤젤레스 분지에서 채취된 안개는 주성분이 NO₃⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺, H⁺이었고, 최저 pH는 2.2로 매우 강한 산성안개였다(Blanchard and Tonnessen, 1993). 이 이온들은 안개가 발생하기 시작하는 저녁 시간에 높은 농도를 나타내었으며, 수분의 양이 증가함에 따라 농도가 감소하였다. 그러나, 익일 일출에 따른 수분의 증발에 의해 안개입자 중 각 이온의 농도는 다시 증가하는 현상을 보고하였다.

일본의 연구상황은 1968년 Okita가 일본의 해발 3026m 산악지역에서 pH 3.4~5.9의 산성안개를 측정하였고, 일본 공중위생원의 Hara *et al.*(1990, 1991), 일본 국립환경연구소의 Murata(1984, 1989, 1991) 등이 산성안개에 관해 활발한 연구를 하고 있으며, 이들이 측정된 안개의 pH는 2.8에서 4.9 사이였다. 특히 1977년 7월 2일 동경에서 100km 떨어진 내륙지역의 산에서는 pH가 2.8인 강한 산성안개가 관측되었다. 관동지방의 내륙에서 pH 2.8의 강산성 안개가 관측된 것은, 동경부근의 공업지역과 자동차에서 배출되는 오염물질 중 가스상의 오염물질이 해풍을 타고 내륙으로 유입되면서 광화학반응에 의해 생성된 2차 오염물질이 안개의 핵으로 작용하는 것을 원인으로 지적하고 있다. 전술한 바와 같이 우리나라도 일본 관동지역의 산성안개 생성과정과 매우 유사한 지형학적 조건을 갖추고 있다. 즉 오염물질의 배출원이 밀집한 경인 공업지역과 서울의 자동차에서 배출되는 배기가스가 약 100km 떨어진 춘천으로 이동하는 과정에서 2차 오염물질(입자상 물질)이 생성되어 춘천지역 안개의 산성화에 기여할 것으로 생각된다. 국내에서는 춘천, 청원, 소백산에서의 연구가 전부인, 아주 미진한 실정이다.

본 논문에서는 춘천지역에서 1996년과 1997년에 발생한 안개를 채취하여 화학조성을 밝혔으며, 강우와의 차이를 비교하여 보고한다. 그리고 같은 기간의 강우와 필터팩을 이용한 건식침적에 관한 결과를 이어서 보고 한다(김만구 등, 1999a, b).

2. 실험방법

2.1 안개의 채취

안개시료는 제작한 안개채취기(김만구 등, 1993)를 이용하여 강원대학교 자연과학대학 2호관 4층 옥상에서 채취하였다. 안개채취기의 본체는 아크릴로 제작되었고, 300 mm(H)×300 mm(W)×1200 mm(L)의 내부에는 네트부 및 채수부가 있고, 본체의 후반부에는 팬(1/4HP, 1600 rpm, 날개길이 280 mm, 날개수 4개)이 설치되어 있다. 팬의 속도를 3단계로 조절할 수 있고, 고속에서 3.7 m/s의 유속으로 공기를 흡입하며, 시간당 1188 m³의 공기를 흡입할 수 있다. 본체의 중심부에는 흡입된 공기의 흐름에 난류가 발생하는 것을 방지하기 위하여 와류방지판이 설치되어 있다. 와류방지판은 외경 10 mm, 내경 8 mm, 길이 200 mm의 관을 네트와 팬 사이에 쌓아 설치하였으나, 채취효율을 고려하여 사용하였다.

네트는 3 mm 두께의 알루미늄 판에 테프론 코팅을 한 골격과 직경 0.7 mm의 테프론 줄로 되어 있다. 네트의 골격은 길이 300 mm, 높이 486 mm의 오각형을 이루고 있다. 하단부는 118°의 V자형으로 제작하였다. 네트의 테프론 줄은 1 mm 간격으로 감았고, 네트 1개당 앞뒤로 2개의 스크린 층을 갖는다. 안개입자가 네트에 충돌할 확률은 네트에서 줄이 차지하고 있는 면적비로 계산하면 58%에 해당한다.

본체의 하단 덮개에 채수부가 설치되어 있는데, 네트의 V자형 하단부에서 떨어지는 물방울이 하단 덮개에 설치된 U자형 유로에 떨어지게 된다. 유로는 테프론 관으로, 외경 20 mm, 내경 17 mm의 관을 반으로 나누어 제작하였다. 유로는 5°의 기울기로 중심을 향하게 되고, 중앙에는 외부로 연결되는 통로가 있어 채취된 안개가 외부의 채취병에 모이게 된다.

안개채취는 1시간 간격으로 하였으며, 시간당 채수량이 20 ml 이하일 때는 연속하여 채취하였다. 1996년에는 31개의 안개시료로 총 1516 ml를 채취하였고, 1997년에는 15개의 안개시료로 총 549 ml를 채취하였다. 안개가 발생하였으나 채취하지 못한 날은 채취를 거르거나, 안개가 너무 열고 입자크기가 작아 현재 운용 중인 안개채취기로 채취하지 못한

경우 등이다.

2.2 분석방법

채취한 안개의 부피는 채취장소에서 측정하고, 공경 0.45 μm의 membrane filter를 사용하여 여과한 후, 전기전도도와 pH를 측정하였다. 이온성분 분석용 시료는 산과 증류수로 세척한 폴리에틸렌 용기에 담아 즉시 실험실로 운반하여 분석 전까지 냉장 보관하였다. 1보의 경우와 같이 음이온성분(SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻)과 양이온성분(NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺) 모두 이온 크로마토그래프(DX-100, Dionex)를 이용하여 분석하였다. 안개시료는 강우와는 달리 오염물질의 농도가 높기 때문에, 채취 직후 측정된 전기전도도의 값을 기준으로 100 μS/cm 정도가 되도록 초순수로 희석하여 분석용 시료로 사용하였다. 표 1에 이온 크로마토그래프의 분석 조건을 나타내었다.

Table 1. Analytical conditions of Ion Chromatograph.

	Cation	Anion
Separator Column	CS12	AS4A
Guard Column	CG12	AG4A
Eluent	20mM MSA	1.8 mM Na ₂ CO ₃ + 1.7 mM NaHCO ₃
Suppressor	SRS	25 mN H ₂ SO ₄
Eluent flow	1.0 ml/min	2.0 ml/min

3. 결과 및 고찰

3.1 춘천지역 안개발생의 특징

춘천은 주변이 200 m에서 500 m 정도의 산으로 둘러싸인 분지지형이며 춘천시에서 북동쪽으로는 소양호(1973년 7월 완공)가 위치하고, 북서쪽으로는 춘천호(1965년 2월 완공), 그리고 남서쪽으로는 의암호(1967년 7월 완공)가 위치한다. 소양호는 총 저수량이 29억 톤이고 유역면적이 2,703 km²으로 국내 최대의 다목적 댐이다. 춘천호는 총 저수량이 1억 3백만 톤이고 유역면적이 150 km²이다. 의암호는 총 저수량이 7,150만 톤이고 유역면적은 80 km²이다(환경부, 1994). 춘천호와 소양호에서 방류된 방류수는 춘천시 북쪽에서 합류하면서 춘천시 서쪽의 유로를 통해 남서쪽으로 흘러 의암호에 유입된다.

그림 1은 1965년부터 1997년까지의 춘천과 서울

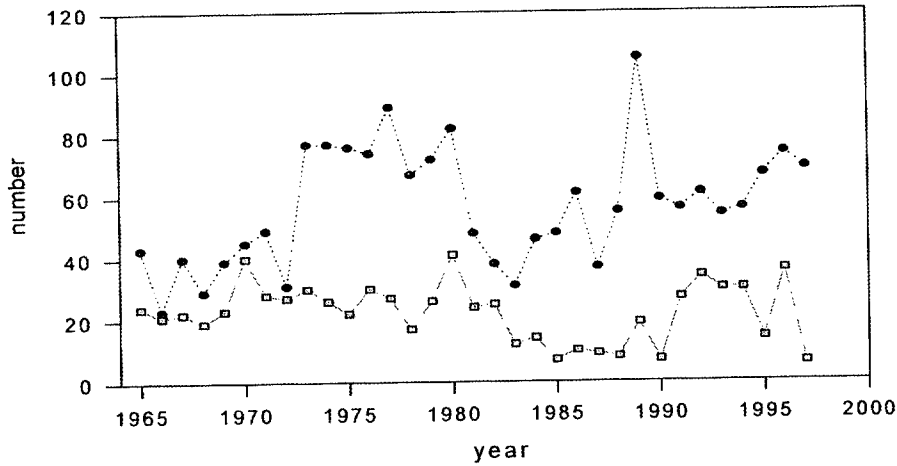


Fig. 1. Number of foggy days observed Chuncheon (●) and Seoul (■) meteorological stations during 1965-1997.

의 안개일수 변화를 비교한 것이다. 우리나라의 안개 발생 경향이 서쪽이 많고 동쪽으로 갈수록 발생 일수가 감소하는 것이 일반적(민경덕, 1971)인데 비해 서울보다 동쪽에 위치한 춘천의 경우 안개 발생일이 1974년 이후부터 많아졌다. 이 시기는 1973년 7월 소양호의 완공 이후 1974년부터 소양호의 담수를 시작한 때이다. 그러므로 춘천지역에서 발생하는 안개는 소양호에 의한 영향이 큰 것으로 생각된다. 이와 같이 호수의 온도와 기온의 차이에 의해 발생된 이류안개나 증기안개가 춘천시내로 이동되는 것으로 생각된다. 또한 춘천지역은 내륙에 위치하므로 복사안개가 발생하지만 주로 기온과 호수의 수온 차에 의한 이류안개나 증기안개인 것으로 생각된다.

그리고 1981년부터 1983년까지 춘천의 안개일수가 현저히 줄어든 것은 이 기간에 소양호 하류에 위치한 의암호를 완전히 방류했기 때문이다. 이로 인해 소양호에서 방류된 차가운 물이 춘천에 머무르는 시간이 짧아져서 안개발생에 미치는 영향이 줄어들 것으로 설명된다.

3.2 춘천지역 안개의 화학적 특성

그림 2는 안개시료를 채취하여 측정된 전기전도도와 안개시료 중의 수용성 이온들을 분석하여 계산한 전기전도도와의 관계를 나타내고 있다. 두 값 사이의 r값은 0.958로 분석결과의 이온 당량농도로

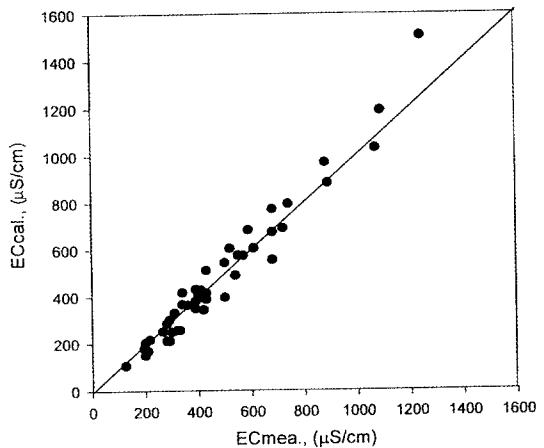


Fig. 2. Comparison of calculated E.C. and measured E.C. of fog water collected at Chuncheon during 1996 and 1997.

부터 구한 전기전도도와 좋은 상관성을 나타내고 있다.

여기서 전기전도도는 아래 식으로 계산하였다.

$$EC_{cal} = 349.81 * [H^+] + 73.55 * [NH_4^+] + 59.50 * [Ca^{2+}] + 50.10 * [Na^+] + 73.50 * [K^+] + 53.05 * [Mg^{2+}] + 80.02 * [SO_4^{2-}] + 71.46 * [NO_3^-] + 76.35 * [Cl^-]$$

전기전도도가 1000 μS/cm 이하인 시료들은 매우

좋은 결과를 나타낸 반면, 그 이상인 시료들은 다소의 오차를 나타냈다. 그러나 이들 값들도 일반적인 허용오차 범위인 20% 이내의 차이로 매우 양호한 분석결과이다.

표 2는 1996년과 1997년에 채취한 안개의 주요 이온성분의 분석결과이다. 1996년 안개는, 음이온 성분 중에서는 SO_4^{2-} 가 1770.6 $\mu\text{eq/ml}$, NO_3^- 가 346.2 $\mu\text{eq/ml}$, Cl^- 가 216.0 $\mu\text{eq/ml}$, 양이온 성분 중에서는 NH_4^+ 이 280.0 $\mu\text{eq/ml}$, Ca^{2+} 이 408.5 $\mu\text{eq/ml}$ 로 대부분을 차지하고 있다. 그리고 전기전도도는 195.0~1243.0 $\mu\text{S/cm}$ 로 넓은 범위에 걸친 값을 나타냈으며, 평균 410.0 $\mu\text{S/cm}$ 로 나타났다. 이것은 1996년에 채수된 58회의 강우의 전기전도도 4.3~530.0 $\mu\text{S/cm}$, 평균 15.8 $\mu\text{S/cm}$ 인 것과 비교하면 매우 큰 차이를 보이고 있다. 1996년에 채수한 안개의 평균 전도도는 강우보다 26배 높은 값을 나타냈다. 이는 일반적으로 안개에 황산염, 질산염을 비롯한 수용성 이온이 비보다 그만큼 많이 포함되어 있다고 말할 수 있다. 그리고 옅은 안개의 전기전도도가 더 높게 나타나므로, 채취하지 못한 옅은 안개를 고려하면 이보다 더 큰 차이가 있다고 말할 수 있다. 일반적으로 안개는 그 지역의 비보다 10배에서 100배 정도 많은 이온성 오염물질을 포함하고 있다고 알려져 있다. 이와 같이 춘천의 경우도 비보다 수십 배 높은 이온농도의 안개가 나타나는 것이 확인되었다. 안개는 활동형 채취기를 사용하므로 채취 중 수분이 휘발되거나 입자들이 추가로 유입될 가능성이 있으나, Hering *et al.* (1987)의 연구결과에 의하면 무시할 수 있는 정도이다. 1997년에는 채취한 안개의 시료수가 부족하여 1996년과 일대일 비교가 곤란하지만 채취한 안개 시료 내에서는 1996년보다 이온농도가 낮은 안개가 관측되었다. 이는 1997년

에 채취한 46회의 강우의 가중평균농도의 비교와 동일한 경향을 보이는 결과이다.

채취한 안개의 pH는 동일 기간의 강우의 pH와 비교할 때 낮은 값을 나타내지는 않았다. 1보에 나타난 춘천의 1996년과 1997년의 강수량 가중평균 pH는 각각 4.67과 4.86으로 안개의 평균 pH인 5.5, 5.0과 단순 비교해 보면 강우가 더 강한 산성을 나타냈다. 그림 3에 1996년과 1997년에 관측한 안개의 pH 빈도분포를 나타냈다. 1997년의 안개가 더 넓은 pH 분포를 나타냈다. 이는 1997년 시료수가 매우 제한적이어서 다른 기상요인과 관련하여 해석하기가 어렵다. 1993년에 관측된 안개의 경우는 9·10월의 평균 pH가 5.66이고 11·12월의 평균 pH는 4.84로, 겨울철 난방으로 인한 연료 소비의 증가에 의한 계절별 pH의 변화도 관측되었다(김만구 등, 1994a).

1996과 1997년에 관측된 안개시료의 pH와 전기전도도와와의 관계를 그림 4에서 보여주고 있다. pH 5.0과 6.0 사이에서 높은 전기전도도를 나타내는 시료들이 많았고, pH가 높아지거나 낮은 안개시료의 경우 안개의 평균 전기전도도를 나타내는 시료가 많이 분포하고 있다. 이는 1보에서 강우에서의 pH와 전기전도도와와의 관계와는 반대현상으로 나타났다. 강우의 경우, 강우량이 많을수록 pH 5.0과 6.0 사이로 수렴하는 경향을 나타낸다. 이러한 차이는 강우는 높은 고도에서 생성되어 지표면으로 떨어지므로 대기오염물질들의 농도가 높은 지표면 부근의 공기와 접촉하는 시간이 매우 짧고, 안개는 지표면 부근에서 발생하여 대기오염물질들의 농도가 높은 공기 중에 오랫동안 체류하기 때문에 나타나는 차이점이라고 해석할 수 있다. 안개가 지표면 부근에 부유하고 있는 동안 대기중의 가스상 및 입자상 물

Table 2. The pH, E.C. and ionic concentrations of fog water collected at Chuncheon on 1996 and 1997.

Year	Vol. (ml)	pH	E.C. ($\mu\text{S/cm}$)	Ionic concentrations ($\mu\text{eq/l}$)										
				Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	H^+		
'96 n=31	Avg.	48.9	5.5	410.0	216.0	346.2	1770.6	280.0	408.5	43.8	45.2	43.1	3.5	
	Max.	150.6	7.0	1234.0	2458.7	911.5	5442.8	818.0	3351.9	253.8	150.7	258.4	17.4	
	Min.	13.6	4.8	195.0	16.2	165.3	259.0	138.0	52.8	10.0	8.6	7.1	0.1	
'97 n=15	Avg.	36.6	5.0	398.7	141.0	269.6	901.8	299.0	400.4	44.5	73.1	48.6	10.8	
	Max.	98.4	6.6	890.0	816.5	845.7	3547.2	742.0	1780.1	197.5	183.8	212.9	81.3	
	Min.	7.8	4.1	125.0	30.0	85.6	208.6	90.0	48.7	8.3	21.2	12.9	0.2	

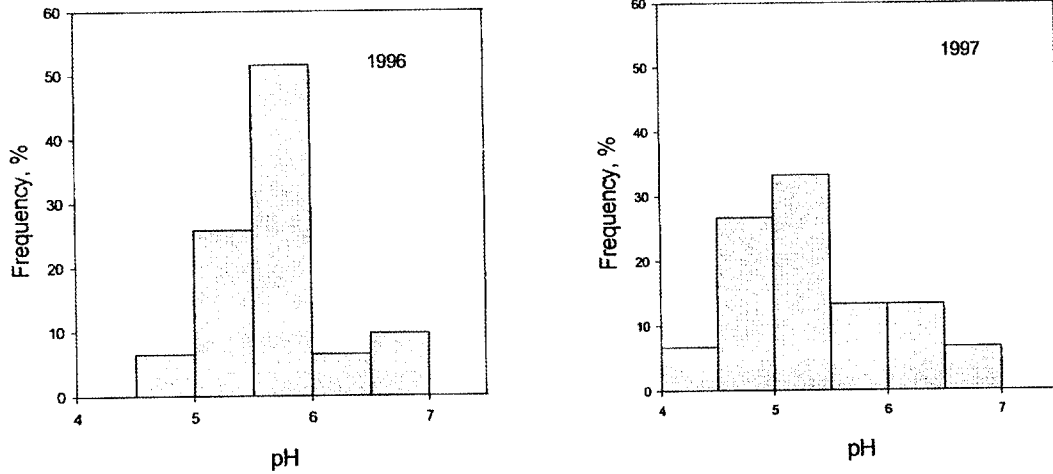


Fig. 3. Frequency of pH for fog water collected at Chunchon on 1996 and 1997.

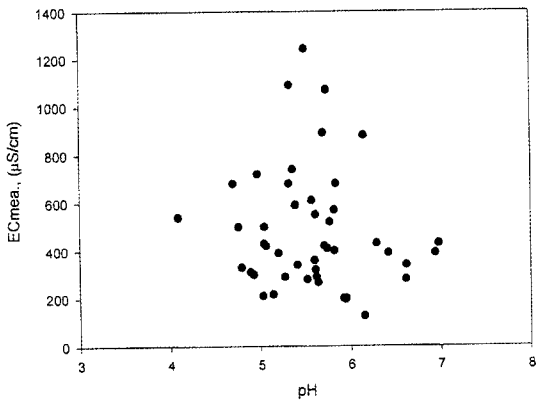


Fig. 4. Relationship between pH and measured E.C. for fog water collected at Chunchon during 1996-1997.

질들이 안개 물방울 속으로 녹아 들어가서 대부분의 산성물질들이 중화되기 때문에 pH 5.0과 6.0 사이에 많은 빈도를 나타낸다. 이는 Daumet *et al.* (1984)이 제안한 부분산도(fractional acidity), $[H^+]/([nss-SO_4^{2-}] + [NO_3^-])$, H^+/Ai 의 관계로 설명할 수 있다. 1995년 춘천에서 채취된 안개의 최대 H^+/Ai 는 0.006 정도로 안개 속의 황산염과 질산염은 수소와 결합한 산성인 형태인 황산이나 질산으로 존재하는 것은 거의 없고 모두 암모니아나 칼슘과 중화된 형

태의 것으로 존재하고 있는데, 강우의 H^+/Ai 는 0.2 이하로 춘천의 강우 중 황산염과 질산염도 많이 중화된 형태로 존재하지만 안개에 비하면 많은 부분이 황산이나 질산의 형태로 존재하고 있다. 그래서 안개의 경우, pH와 전기전도도와의 관계가 pH 4.0에서 7.0에 걸친 분포를 나타내었고, 강우보다 안개의 pH가 넓은 분포를 나타냈다.

그림 5에 1996년 11월 11일 오후 11시 30분부터 12일 오전 8시 30분까지, 1시간 간격으로 채취한 안개시료 중 이온성분의 농도변화를 나타냈다. 여기서 오전 5시 시료는 12일 오전 3시 30분부터 5시 30분까지 연속하여 채취한 시료이다. 각 시료 중 이온들의 당량농도는 춘천에서 발생하는 안개의 전형적인 농도 조성을 나타내고 있다. 그러나 안개가 발생해서 걷힐 때까지 안개 중 이온 농도 변화는 강우와 매우 다른 양상을 보이고 있다. 초기 안개는 안개입자의 수분량이 작아 비교적 높은 농도를 나타내다가, 진한 안개로 변하는 중간에는 안개의 입자가 커지고 입자 하나가 가지고 있는 수분의 양이 많아져 이온 농도가 낮아진다. 그러나 일출과 함께 안개 입자의 수분이 증발하여 다시 안개의 이온 농도가 높아지는 U자형 농도변화를 나타내고 있다. 안개가 걷히면서 이온종의 농도가 높아지는 것은, 수분의 증발로 인한 안개입자의 농축효과와 더불어, 아침에 사람들의 활동이 시작되면서 자동차의

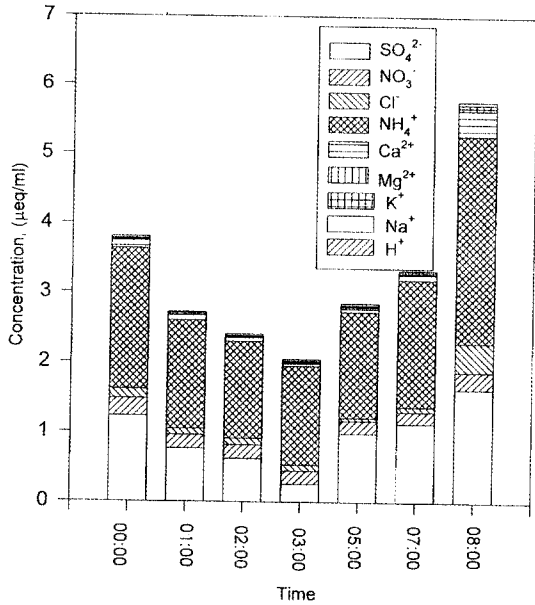


Fig. 5. Concentrations of major ions in fog water collected at Chunchon on Nov. 11-12 1996.

운행증가 등으로 인한 토양입자의 유입을 생각할 수 있다. 이러한 현상은 안개가 걷히는 시간인 12일 오전 8시 시료의 Ca²⁺ 농도가 다른 시료보다 높게 나타난 것으로 설명된다. 이러한 현상이 강우와는 달리 안개가 식물에 직접적인 피해를 입힐 수 있는 가능성이 큰 점이다. 초기강우는 높은 이온농도를 가지고 있지만, 오염물질의 농도가 낮은 후속 강우로 인해 식물의 표면에서 씻겨 토양으로 유입되기 때문에 산성강우로 인한 식물의 직접 피해보다는 토양의 변화로 인한 영향이 더욱 주목되고 있다. 반면에 높은 농도의 오염물질을 포함한 안개는 식물 표면에 부착되어 있다가 아침에 식물 표면에서 증발되기 때문에 산성안개가 자주 발생하는 지역에서는 안개로 인한 식물의 직접피해 가능성이 더욱 높다.

4. 결 론

춘천지역의 안개 발생일수는 소양호 건설 이후 37일에서 63일로 약 2배 정도 증가하였으며, 이는 여름철의 차가운 방류수와 겨울철 호수의 수온과

기온의 차이에 의한 이류무와 증기무가 그 원인이다. 안개 중의 주요 이온성분은, 음이온은 황산염, 질산염, 염소이온으로 1996년에 각각 1,770 µeq/ml, 346 µeq/ml, 216 µeq/ml의 순서였으며, 양이온은 칼슘이온, 암모늄, 칼륨이온으로 각각 408 µeq/ml, 280 µeq/ml, 45 µeq/ml의 순서였다.

2년간 채취된 안개의 pH는 4.1부터 7.0까지 다양했으며 pH 5.0에서 6.0사이에 가장 많은 분포를 나타냈다. 그러나 전기전도도를 기준으로 비교한 수용성 오염물질은 강우보다 26배 높은 농도를 나타냈으며, 이들의 대부분은 강우보다 훨씬 더 중화된 상태였다. 안개발생 기간 중 안개 속의 오염물질의 농도는 초기에는 높다가 낮아져 안개가 걷힐 때 다시 높아지는 형태를 나타냈다. 안개는 강하물의 총량으로 보면 강우에 뒤지지만, 이러한 현상은 식물에게 직접적인 영향을 끼칠 가능성이 매우 높은 기작으로 산성비와 함께 지속적인 모니터링과 연구가 필요하다.

감 사

이 논문은 1995년도 학술진흥재단의 대학부설연구 소 연구과제 연구비에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김만구, 정일권, 임양석, 박춘옥(1993) 춘천지역 안개의 화학적 조성 (제1보), '93 추계환경 종합학술대회 요지집, 448-451.
- 김만구, 임양석, 강미희, 장덕수 (1994a) 춘천지역 안개의 화학적 조성 (제2보), 제18회 대기보전 학술연구 발표회 요지집, 49-53.
- 김만구, 임양석, 강미희, 이선기, 최재천, 이민영 (1994b) 소백산 안개의 화학적 조성, 제19회 추계대기보전 학술대회, 84-85.
- 김만구, 임양석, 박기준, 강미희, 황 훈, 이보경, 홍승희, 이동수 (1999a) 산성강하물의 침착량과 동태해빙에 관한 연구-춘천과 서울 강우의 화학조성 비교, 한국대기보전학회지, 투고중.
- 김만구, 박기준, 강미희, 황 훈, 이보경, 이동수 (1999b) 산성강하물의 침착량과 동태해빙에 관한 연구-필터팩을 이용한 춘천과 서울의 건식 침착 측정, 한국대기보전학회지, 투고중.

- 민경덕 (1971) 경부고속도로상의 안개 구역에서의 안개발생에 관한 연구, 한국기상학회, 12(1), 14-24.
- 이종범 (1981) 춘천지방의 인공호에 의한 안개 및 운량의 변화, 한국기상학회, 17(1), 18-26.
- 이종범, 봉종현, 조하만 (1990) 댐 건설에 따른 국지기후의 변화 실태, 기상연구소 논문집, 7(1) 75-81.
- 환경부 (1994) 전국호소환경 현황조사 및 주요호소 영향권 역설정용역 최종보고서, 29-30.
- 村野 健太郎 (1984) 環境科學研究報告 B-196-R-11-8, 7.
- 村野 健太郎 (1989) 酸性霧 公害と對策, 25, 725.
- 村野 健太郎 (1991) 酸性霧汚染の實態, 公害と對策, 27, 229-234.
- Blanchard, C.L. and K.A. Tonnessen (1993) Precipitation-Chemistry Measurements from the California Acid Deposition Monitoring Program, 1985-1990. Atmos. Environ., 27A, 1755-1763.
- Dana, M.T. and R.C. Easter (1987) Statistical Summary and Analyses of Event Precipitation Chemistry from the MAP3S Network, 1976-1983. Atmos. Environ., 21, 113-128.
- Daum, P.H., T.J. Kelly, S.E. Schwartz and L. Newman (1984) Measurements of the Chemical Composition of Stratiform Clouds. Atmos. Environ., 18, 2671-2684.
- Hara, H., E. Ito, T. Katou, Y. Kitamura, T. Komeiji, M. Oohara, T. Okita, K. Sekiguchi, K. Taguchi, M. Tamaki, Y. Yamanaka and K. Yoshimura (1990) Analysis of Two-Year Results of Acid Precipitation Survey within Japan. Bull. Chem. Soc. Jpn., 63, 2691-2697.
- Hara, H. (1991) Acid Precipitation Chemistry of Japan. Jpn. J. Limnol., 52, 125-126.
- Hering, S.V., D.L. Blumenthal, R.L. Brewer, A. Gertler, M. Hoffmann, J.A. Kadlecek and K. Pettus (1987) Field Intercomparison of Five-Types of Fogwater Collectors. Environ. Sci. Technol., 21, 654-663.
- Houghton, H.G. (1955) On the Chemical Composition of Fog and Cloud Water. J. Meteorol., 12, 355-357.
- Munger, J.W., D.J. Jacob, J.M. Waldman and M.R. Hoffmann (1983) Fogwater Chemistry in an Urban Atmosphere. J. Geophys. Res., 88, 5109-5121.
- Okita, T. (1968) Concentration of Sulfate and Other Inorganic Materials in Fog and Cloud Water and in Aerosol. J. Meteor. Soc. Japan, 46, 120-126.
- The Atmospheric Science Research Center State University of New York (1981) Cloud Chemistry and Meteorological Research at White face Mountain : Summer 1980.
- Topol, L.E. (1983) UAPSP precipitation data displays for January 1, 1979~June 30, 1982. Vol. 1, Electric Power Plant Research Institute, Palo Alto, CA.
- Waldman, J.M., J.W. Munger, D.J. Jacob, R.C. Flagan, J.J. Morgan and M.R. Hoffmann (1982) Chemical Composition of Acid Fog. Science, 218, 677-680.