

경기도 신갈지역 고속도로변 안개의 화학적 조성

김홍률¹ · 주영특² · 정동준¹

¹경희대학교 생명과학대학/생명자원과학연구원, ²강원대학교 산림과학대학
(2003년 1월 15일 접수; 2003년 2월 24일 수락)

Chemical Compositions of the Highway Side Fogwater in Shingal, Kyunggi-Province

Hong-Ryul Kim¹, Yeong-Teuk Joo² and Dong-Jun Chung¹

¹College of Life Science/Inst. of Life Science & Resources, Kyunghee Univ., Yongin 449-701, Korea

²College of Forest Science, Kangwon Nat'l Univ., Chunchon 220-701, Korea

(Received January 15, 2003; Accepted February 24, 2003)

ABSTRACT

pH value of sampled fogwater at source regions (above highway and road) in Yongin sites showed the lowest value and was increased after passing the forest stands. Changes of ion concentrations through the forest stands showed a lowering tendency at sampling sites. The fogwater passing the forest stands (*Quercus mongolica* and *Pinus rigida*) surrendered acid pollutants to crown and stem from the atmosphere. It was concluded that environmental moisture in the atmosphere is acidified in fogwater. The influence was extended to the pure zone, and the frequency of acid rain has increased. The forests are assumed to remove air pollutants because ion concentrations in fogwater decreased after passing the forests. The fogwater which functions as a local sink for pollutants (H_2SO_4 , HNO_3 etc.) falling on plant surfaces is considered to effectively remove acid pollutants. But if the deposition of pollutants exceeds the capacity of purification, it would damage the forest ecosystem. Further investigation is necessary to identify tree species tolerant to acid pollutants.

Key words : chemical composition, fogwater, highway

I. 서 론

안개란 매우 작은 물방울이 대기 중에 부유하며 이동하는 현상으로서 수평 시정거리가 1 km 미만인 경우를 말하며, 일반적으로 상대습도가 100%에 가깝다(김평식 등, 1992). 또한 안개는 대기 중에 부유하는 오염물질이 응결핵으로 작용하여 응축되어 생성되는 것으로서 그 크기가 1~100 μm 이며, 대기 중에 보통 1 ml 당 20~500개가 존재한다. 안개는 복사무와 황승무가 내륙지방에서 나타나는 대표적인 예이다. 안개는 0.1~0.3 mm 인 빗물 입자보다 상당히 작고, 수분량이

적으며, 지속시간이 길어 대기 중에서 오염물질이 계속 유입되므로 강우보다 오염물질의 농도가 매우 높다. 특히 산성우는 강우 초기에 오염물질을 씻어내리지만, 안개는 식물의 잎 등에 부착되어 오랜 시간동안 접촉하고 있으므로 식물에 미치는 피해를 우려하지 않을 수 없다. 안개를 산성화시키는 것으로는 광화학 반응 등에 의해 대기 중에 존재하고 있는 질산이나 황산 등이 안개 입자에 유입되는 것과 1차 배출된 SO_2 등이 2차 생성 오염물질인 과산화수소나 오존 등과 안개 물방울 속에서 액상반응을 일으켜 산성물질을 생성하는 것 등이 주요 원인으로 알려져 있다(김만구 등,

1993; 김만구 등, 1994a; 1994b; Munger *et al.*, 1983). 안개는 지역적인 특성이 매우 크게 작용하며, 빗물, 이슬, 서리 등과 비교해 발생 당시 환경조건에 따라서 그 특성을 달리하고 있다(Patricia *et al.*, 1986; Jeffrey *et al.*, 1990). 그리고 안개는 강수보다도 수용성 이온 성분이 다량 함유되어 있어서 pH의 경우도 지역에 따라 그 차이가 큰 것으로 보고 있다(김만구, 1994a; Collet *et al.*, 1993; Zheng *et al.*, 1992; Makoto, 1990). 또한 안개의 산성도는 강수보다는 강산성을 보이며, 인간의 생활환경 지역인 지표층에서 형성되는 것으로, 특히 산림지역에서의 안개 및 구름의 산성화는 등산객이나 식생에 큰 영향을 미치므로, 생태학적 측면에서 그 연구의 필요성이 강조되고 있다(Falconer *et al.*, 1980).

그러나, 대기 중 수분의 산성화에 관한 연구를 보면, 일반적으로 강수에 한정되어 있는 실정이며, 이것에 비해 지표대기에 인접하여 발생되고 그 지속시간이 임외우에 비해 상대적으로 긴 안개나 이슬 등에 관해서는 연구가 아직 미진한 실정에 있다.

이에 본 연구에서는 대도시 지역과, 이에 비해 오염

원이 비교적 적어 오염도가 낮은 중소규모의 공업시설 및 고속도로변에 인접한 산림지역을 대상으로 조사지를 선정하여 안개의 산성도와 화학적 조성을 분석 비교하고자 하였다.

따라서 본 연구에서는 대기 수분의 산성도와 대기 수분이 갖고 있는 산성화의 가능성을 예측하고 안개가 산림을 통과하면서 나타나는 산성도 및 화학적 조성의 농도 변화를 규명하고자 하였다. 이를 통해 본 연구에서 나타난 결과는 오염원-대기-산림으로 연계되는 대기 오염물질의 이동특성에 대한 기초자료를 제공함으로써, 이와 관련한 연구와 산림의 식생 보전 영역에 크게 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

II. 재료 및 방법

2.1. 시험지 개황

안개를 포집하기 위해 경기도 신갈지역을 선정하였고, 조사지역의 위치는 Fig. 1과 같으며, 산림개황은 Table 1에 나타내었다.

신갈지역은 중소규모의 공업시설과 차량의 대규모

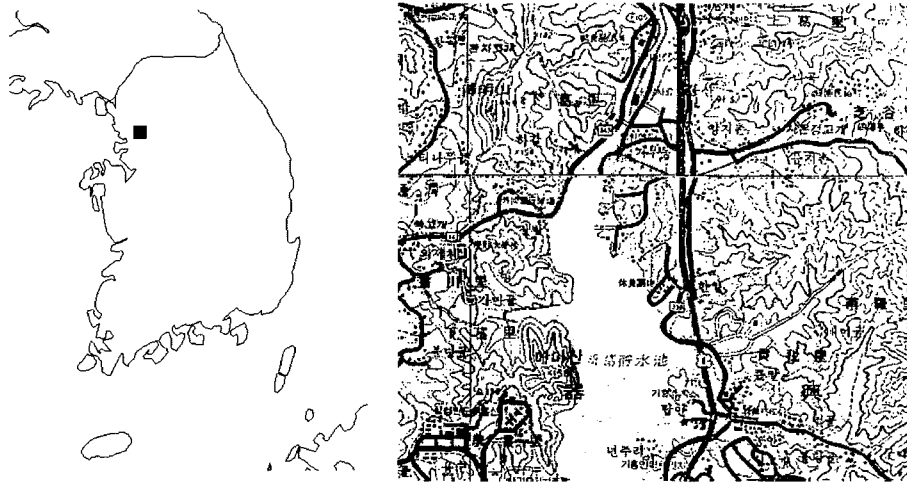


Fig. 1. Location map of the research sites in Shingal.

Table 1. Description of research site for fogwater sampling

Location	Species	Age (yr)	DBH (cm)	Height (m)	Density (trees/ha)	Altitude (m)	Slope	Aspect
Shingal, Yongin, Kyunggido	<i>Quercus mongolica</i>	30~35	24.0 ± 8.2	12.8 ± 2.6	255	70	10°	SE
	<i>Pinus rigida</i>	31~33	21.6 ± 5.8	9.1 ± 3.4	957	80	13°	SE

통행량이 많아 대기 중에 부유하는 분진 및 오염물질이 다량 분포할 것으로 추정되는 경부고속도로변(경기도 용인시 기흥읍 신갈리)과 그 곳에 인접한 산림지역을 대상으로 하였다. 조사지는 서울-부산 간 경부고속도로 중 두 번째로 안개 빈도가 높은 지역(Min, 1971)으로서, 이 지역은 고속도로가 남북으로 통과하며, 인접한 지역에 대규모의 호소와 완만한 구릉형태의 지형을 가지고 있는 지역 특성을 보이고 있다. 이 지역은 해발 40~160 m의 완만한 구릉형태의 지형을 가진 분지형 지역으로 주간에는 편서풍의 영향을 받으나, 야간에는 풍향이 바뀌는 국지적 기상 영향을 받는 곳이다. 안개의 포집시간은 새벽(02:00~05:00)이었으며, 고속도로를 원점(0 km)으로 정하여, 서쪽으로 0 km, 1 km, 2 km, 4 km의 거리별 선정을 한 후, 풍향에 직각 방향으로 안개 포집장치를 설치하였다. 산림의 개황은 신갈나무와 리기다 소나무 인공림으로 구성되어 강우 채취 장소와 큰 차이가 없었고, 평균흉고직경은 신갈나무림이 24.0±8.2(cm), 리기다 소나무림은 21.6±5.8(cm)으로 측정되었다. 수고는 신갈나무림은 12.8±2.6(m), 리기다 소나무림이 9.1±3.4(m)로 나타났다. 안개포집기는 고속도로를 원점으로 고속도로변 입연부(0 km)와 신갈나무림(1 km), 리기다소나무림(2 km)과 4 km 떨어진 나지를 선정하였다.

2.2. 시료 채취

안개의 채취는 조사지역에 동력공급이 힘들어, 산성비 조사법(산성우조사법연구회, 1996)의 안개포집법의 안내에 따라 무동력의 세선포집기를 자체 제작하여 이용하였다. 포집장치의 설치는 대기의 흐름에 따라 이동하는 안개에 직각으로 세선포집기를 설치하고, 시간의 경과에 따라 선을 따라 유하하는 안개수분을 포집기 하단에서 채취할 수 있도록 수집병을 부착하여 모으는 방법을 택하였다. 안개포집기 설치 장소는 고속도로를 상행 횡단하는 육교(0 km), 신갈나무림(1 km), 리기다 소나무림(2 km) 그리고 나지(4 km)에 각 3개 지점씩을 정하여 설치한 후 안개 소멸시까지 채취하였다.

2.3. 시료 분석

2.3.1. 화학적 성분의 평형

채취된 시료의 화학적 성분을 분석하고 비교하기 위하여 이온농도를 정량분석한 자료에 대하여 음이온 총

량에 대한 양이온 총량의 수지분포를 계산하여 비교하였다. 시료의 화학적 성상의 분석결과에 대한 신뢰성 검토(Howard and James, 1981)가 이루어져야 하는데 본 연구에서는 이온수지(ion balance)와 전도도수지(electric conductivity balance)의 두 가지 방법을 사용하여 3개 조사지에 대한 강우와 수관통과우를 검토하였다. 그리고, 전기전도도의 실측치(EC_{meas.})와 계산치(EC_{cal.})의 관계를 비교하였다. 전기전도도의 계산치의 산출은 다음의 식을 이용하였다.

$$EC_{cal.}=[349.81(H^+)+59.50(Ca^{2+})+53.05(Mg^{2+})+73.50(K^+)+50.10(Na^+)+73.55(NH_4^+)+76.35(Cl^-)+71.46(NO_3^-)+80.02(SO_4^{2-})] \times 10^{-3}$$

2.3.2. pH 및 이온농도의 측정

신갈지역에서 채취된 강우, 안개 그리고 이슬은 채취 즉시 실험실로 운반하여 산성도를 측정하였다. 이때 산성도를 측정하기 전 불순물질을 제거하기 위하여 2회 여과한 후 pH meter(Bench top pH meter, HANNA Instrument Inc.)를 이용하여 3회 반복 측정하고 이를 산술평균하여 pH 값으로 취하였다. 서울과 평창지역에서 채취된 시료는 채취 후 현장에서 pH를 측정 후 실험실로 운반하였다. pH를 측정 후 1개월 단위로 수용성 이온을 분석하였으며, 분석 직전 시료를 0.45 μm filter(Whatman)로 재 여과한 후 Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Al³⁺ 등의 양이온은 원자흡광광도계로, NO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻ 등의 음이온은 Ion Chromatography를 이용하여 측정 분석하였다. 이와 같이 측정 조사된 자료에 대하여 통계분석을 한 후, 각 지역별, 조사기간별로 pH와 이온농도 등의 화학적 조성을 비교 검토하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 안개의 화학적 특성

3.1.1. 화학적 성분의 평형

안개의 화학적 특성을 파악하기 위해 경기도 신갈지역에서 포집된 안개를 분석하여 얻어진 자료에 대한 정확도를 점검(Choi et al., 1996)하기 위하여 신갈지역 안개의 이온수지와 전기전도도 수지를 Fig. 2에 나타내었다. 그 결과 고속도로 위에서 포집한 안개시료는 음이온 총량이 양이온 총량보다 많았으며, 고속도로로부터 1 km와 4 km 떨어진 신갈나무림과 나지의

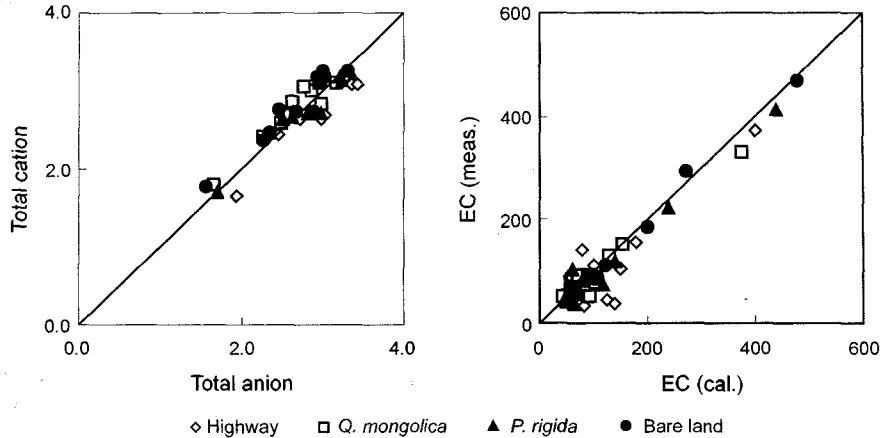


Fig. 2. Ion and electric conductivity balance of fogwater in Shingal (ECmeas. is the EC value measured by EC meter and ECcal. is the value calculated from the ion components in fogwater).

안개는 반대의 양상을 보였다. 그러나, 고속도로에서 2 km 떨어진 리기다소나무림의 안개 시료는 음이온 총량 > 양이온 총량의 값을 보였다. 이는 안개가 고속도로를 지나 안개포집점인 4 km 지점으로 부유 이동하면서 입분 내의 대기와 수목체와의 접촉을 통해 이온 농도의 변화가 있었던 것으로 추정할 수 있었다. 즉, 임외우의 산림 통과 중 나타나는 이온 농도의 변화에 대한 특성(Park and Woo, 1998; Park *et al.*, 1999; Joo *et al.*, 1999)과 비교할 때, 결과는 다르지만 같은 현상으로 생각하였다.

안개의 전기전도도 수치의 관계는 모든 시료에서 $1,000 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ 이하로 측정 계산되었다. 이는 $1,000 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ 이하일 경우 오차가 적다는 연구 결과(김만구 등, 1998)와 일치하고 있어서 자료의 신뢰성 인정이 가능하였다. 이는 안개가 소개된 상태의 대기를 통과할 경우는 이온농도 총량이나 전기전도도 등이 발생 초기의 특성을 가지고 이동하지만, 산림지역의 수관 등의 장애물을 통과하는 상태에서는 화학적 성분이 변화함을 의미하는 것으로 판단하였다.

3.1.2. pH와 이온농도의 변화

경기도 용인시 신갈지역에서 포집한 안개의 pH 변화에 대한 통계분석의 결과를 Table 2에 나타내었다. 신갈지역 안개의 pH는 조사기간별 조사지점에 대하여 통계적 유의차가 인정되지 않았다. 각 조사지점별 pH는 오염물질의 다량 배출이 예상되는 고속도로가 가장 낮은 값을 보였으며, 4 km 거리의 나지에서 포집한 안개가 가장 높은 pH를 보였다. 또한, 안개가 부유 이

Table 2. Average pH of fogwater for each sampling sites

Samling site (distance from the highway)	Apr.-Jun.	Jul.-Sep.	Mean
Above highway (0 km)	5.04 ± 0.41	5.30 ± 0.48	5.14 ± 0.43
<i>Quercus mongolica</i> (1 km)	5.40 ± 0.22	5.59 ± 0.57	5.47 ± 0.38
<i>Pinus rigida</i> (2 km)	5.39 ± 0.25	5.37 ± 0.46	5.38 ± 0.33
Bare land(4 km)	5.50 ± 0.25	5.55 ± 0.40	5.52 ± 0.30
F-values	2.83 ^{NS}	0.34 ^{NS}	2.10 ^{NS}

N.S means not significant at 5% significances level

동하는 과정에서 산림지역을 통과하면서 고속도로의 측정치보다 pH가 증가하였다. 그러나, 리기다소나무림에서는 반대로 신갈나무보다 낮은 pH를 보였다. 이와 같은 결과로 보면 그 원인이 안개의 부유 이동 과정에서 최초 접촉하는 수관층에 의해 pH의 완화가 있고, 이후에는 pH가 유지되는 것으로 생각되었다. 또한 고속도로로부터 동일한 거리와 입분별 조사가 이루어지지 못한 것도 또 다른 원인일 것으로 판단하였다. 조사 전기간 동안 1회를 제외하고는 고속도로상의 안개가 다른 3개 지점 보다 높은 산성도를 나타내었다.

각 포집지점별 안개의 양이온 농도를 분석한 결과, 안개의 전체 평균농도 중 양이온은 $\text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$, 음이온은 $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ 의 순으로 나타났다. 양이온 중에서 NH_4^+ 의 평균이온농도는 1.42 meq/L , Ca^{2+} 은 1.25 meq/L 였으며, 이는 전체 양

Table 3. Ion concentrations of fogwater for each sampling sites in Shingal

Sites	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
AH	1.50(0.36) ^a	0.55(0.11) ^a	0.21(0.03) ^a	0.84(0.36) ^a	1.53(0.45) ^a	0.48(0.06) ^a	1.12(0.12) ^a	2.65(0.45) ^a
Q	1.22(0.23) ^b	0.39(0.05) ^b	0.06(0.02) ^b	0.72(0.10) ^b	1.31(0.41) ^b	0.35(0.03) ^b	0.94(0.09) ^b	2.13(0.23) ^b
Pr	0.94(0.25) ^a	0.31(0.05) ^a	0.12(0.02) ^a	0.61(0.18) ^a	1.51(0.75) ^a	0.38(0.05) ^a	0.89(0.10) ^a	2.20(0.25) ^a
BL	1.33(0.31) ^a	0.49(0.12) ^a	0.19(0.02) ^a	0.67(0.23) ^a	1.31(0.56) ^a	0.44(0.02) ^a	1.04(0.11) ^a	2.40(0.36) ^a
F-value	7.60**	4.33*	70.96**	5.21**	4.21*	28.12**	12.86**	60.56**

AH : above highway, Q : fogwater in *Quercus mongolica* stand, Pr : fogwater in *Pinus rigida* stand, BL : fogwater on the bare land () : standard deviation.

* and ** indicates significances at 5% and 1% level and N.S means not significant at 5% significances level.

Differences in letters in vertical columns indicate significance difference at 5% level for DMRT

이온 농도의 67.4%를 차지하는 것이었다. 이러한 결과는 여름철에 소백산에서 포집한 안개 중 NH₄⁺ 이온농도가 가장 높았다는 것(Choi *et al.*, 1996)과 비슷한 결과였다. 음이온에서는 SO₄²⁻ 이온농도가 2.35 meq/L로, 분석된 3개 음이온 농도 총량의 62%를 차지하는 높은 비율을 보였다. 이는 일반적으로 안개에 황산염, 질산염을 비롯한 수용성 이온이 강우보다 그만큼 많이 포함되어 있다는 것(김만구 등, 1998)을 알 수 있다. 이러한 결과는 본 연구의 시험지인 신갈지역 강우의 평균 이온농도와 차이가 있는 것으로 안개와 강우간에는 화학적 조성의 차이가 있음을 알 수 있었다. 일반적으로 안개는 그 지역의 비보다 10배에서 100배 정도 많은 이온성 물질을 포함하고 있다고 알려져 있는데(김만구 등, 1998), 이와 같이 신갈지역에서도 강우에 비해 약 10배 이상 이온농도가 높은 안개의 발생을 확인할 수 있었다. 이러한 강우와 안개의 이온농도의 차이가 나타나는 것은 두 기상현상의 형성과 발생의 차이로 해석하였다. 즉, 강우는 높은 고도에서 생성되어 지표면으로 빠른 속도로 강하하여 대기 오염물질의 농도가 높은 지표면 부근의 대기와 충분한 접촉시간이 없는 반면, 안개는 수증기가 응결되면서 발생하여 지표면 부근의 기층에 부유하며 지속된다(김만구 등, 1998)는 점에서 각각의 화학적 조성에 차이가 있다고 생각되었다.

조사기간 중 Ca²⁺과 NH₄⁺ 이온농도의 변이가 컸으며, 고속도로상에서 포집한 시료의 농도 변화에 따라 유사한 증감현상을 반복하는 양상이었다. 음이온의 경우 조사지점별 이온농도의 변화가 현저하게 나타난 것은 SO₄²⁻로 다른 Cl⁻과 NO₃⁻의 농도변화는 뚜렷하게 나타나는 것이 아니었다. 하지만, 이온농도의 변화가 적다고 해서 대기 중의 NO₃⁻가 안정화되어 있는 것

은 아니며, 안개의 이온농도가 동일지역의 강우보다 10배 이상 높은 것으로 판단될 때, 이는 자동차, 공장 등에서 배출되는 인위적인 대기오염물질의 배출이 지속적으로 영향을 미치는 것(Cho *et al.*, 1998)으로 생각할 수 있다.

안개가 부유 이동하면서 산림식생에 의한 이온농도의 변화량을 고속도로상에서 포집한 안개의 이온농도와 비교한 결과, 안개의 이온농도는 Ca²⁺과 Cl⁻를 비롯한 모든 양·음이온의 평균농도가 감소하는 형태를 보였다(Table 3). 이 가운데 산림 내에서 가장 큰 차이로 감소한 이온은 Ca²⁺과 SO₄²⁻로 나타났다. 산림 지역 안개의 음이온 농도 변화량의 크기는 신갈나무림과 리기다소나무림 모두 SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻의 순으로 나타났다. 이는 안개가 강우와 달리 산림을 통과하면서 수관층과 수피부분에 접촉하여 이온농도의 변화를 일으키는 것으로 생각된다. 즉, 안개의 이온농도 변화가 나지보다 산림지역에서 크게 나타나는 것을 통해 알 수 있었다. 또한 신갈나무림을 1차 통과한 안개가 리기다소나무림을 통과하면서 Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ 그리고 NO₃⁻ 등이 다시 감소한 결과를 보면, 침엽수종인 리기다소나무림에서 안개의 이온성 오염물질을 효과적으로 자연 제거할 수 있으리라 생각된다.

그러나, 음이온의 경우 조사지점별 이온농도의 변화가 현저하게 나타난 것은 SO₄²⁻와 NO₃⁻였으며, 나머지 Cl⁻과의 농도변화는 뚜렷하게 나타나지 않았다. 음이온 중 Cl⁻ 이온농도의 변화는 조사기간 동안 큰 변화 없이 일정 수준을 유지하였다. 이는 Na⁺과 Cl⁻이 해양기원으로서 특별한 원인이 없을 경우 지역적인 편차가 크지 않다는 결과(Park *et al.*, 1995)와 비슷하였다. 또한 대기 중의 음이온의 구성비는 SO₄²⁻ : NO₃⁻ : Cl⁻의 비가 61:31:8로 존재한다고 한 것(Koo and

Park, 1993)에 의하면 평창지역 안개의 음이온간의 구성비는 63:27:10으로 나타나 비슷한 비율을 보였다.

이상에서 보는 바와 같이 각 조사지점 중 고속도로의 이온농도가 가장 높게 나타났으며, 산림내에서 포집한 안개의 농도는 상대적으로 낮은 결과를 보였다. 이러한 결과는 산림 등의 장애물을 통과하는 과정에서 안개 속에 존재하는 이온이 감소하는 것으로 생각하였다.

안개가 산림을 통과하면서 발생하는 평균 이온농도의 변화량은 각 조사지점별 모든 이온에 대하여 감소하였으며, 신갈나무림>소나무림>나지의 순이었다. 또한 가장 변화가 심했던 이온은 NH_4^+ 이었고, 음이온에서는 SO_4^{2-} 로 나타났다.

IV. 적 요

최초 포집되어 측정된 안개의 pH는 낮았으나, 산림을 통과하면서 임의외와 수관통과우보다 높은 결과를 보였다. 즉, 강우는 지표면 부근의 대기와 접촉하는 시간이 짧아, 국지적인 규모의 오염도에 대해서는 정확한 설명을 할 수 없는 반면, 안개의 경우는 그 발생이 지표면 부근의 대기라는 점에서 강우보다 소규모 면적의 대기오염에 대하여 효율적인 설명이 가능할 것(김만구 등, 1998)으로 보인다. 또한 최초 포집한 안개의 pH가 산림을 통과하면서 강우와 달리 높아진다는 것은 대기 오염 및 안개의 산성화에 대한 예방수단으로서 산림이 가지는 기능과 중요성을 극대화해야 할 것으로 판단된다.

안개의 이온농도 변화는 최초 포집한 원점보다 산림 지역에서 감소하였다. 그 중에서 Ca^{2+} , SO_4^{2-} 의 감소가 현저하였다. 대부분의 이온농도는 산림을 통과하는 과정에서 많이 감소하였으며, 원점과 나지에서 나타나는 변화는 작은 것으로 보였다. 그러나 산림지역에서 나타나는 이온농도의 변화는 대체적으로 활엽수인 신갈나무에 비해 침엽수인 리기다소나무에서 큰 것으로 나타났다. 이와 같이 산림지역에서 나타나는 변화 중에 안개가 산림을 통과하면서 산성화 물질을 비롯한 여러 오염물질 등을 임목에 직접 제공하는 역할을 하는 것으로 판단하였다. 이것은 임외우가 산림에 강하여 수관과 수간에 의해 산성화되고, 임목과 토양에 영향을 미친다(Baker et al., 1977; Cronan and Reiners, 1983)는 것과는 다른 것으로 생각하였다. 이러한 이유

로 해서 수관은 공해물질을 포함한 대기 강하물을 집적하는 여과기와 같이 산업화된 환경에 대하여 생태학적으로 중요한 의미(Amezaga et al., 1997; Park et al., 1999)를 갖는 것으로 판단하였다.

인용문헌

- 김만구, 임양석, 강미희, 장덕수, 1994a: 춘천지역 안개의 화학적 조성(제2보). 제18회 대기보전 학술연구 발표회 요지집. p. 49-53.
- 김만구, 임양석, 강미희, 이선기, 최재천, 이민영, 1994b: 소백산 안개의 화학적 조성. 제19회 추계 대기보전 학술대회. p. 84-85.
- 김만구, 임양석, 박기준, 황 훈, 1998: 산성강하물의 침착량과 동태 해명에 관한 연구-춘천 지역 안개의 화학조성(1996~1997)-. 한국대기보전학회지. 14(5), 491-498.
- 김만구, 정일권, 임양석, 박춘옥, 1993: 춘천지역 안개의 화학적 조성(제1보). '93 추계 환경 종합학술대회 요지집. p. 448-451.
- 산성우조사법연구회, 1996: 산성비 조사법. 도서출판 동화기술. pp.511.
- Cho, H. M., J. C. Choi, J. Y. Kim, Y. S. Shin and S. Kim, 1998: A study on chemical characterization of precipitation in the central part of Korea from 1994 to 1997. *Journal of Korea Air Pollution Research Association*, 14(6), 589-598.
- Choi, J. C., M. Y. Lee, S. K. Lee and J. C. Nam, 1996: A study on chemical features of fog sample in summer at Mt. Sobaek. *Journal of Korea Air Pollution Research Association*, 12(4), 399-406.
- Collet, J. J., B. Oberholzer and J. Staehelin, 1993: Cloud chemistry at Mt. Rigi, Switzerland : Dependence on drop size and relationship to precipitation chemistry. *Atmospheric Environment*, 27A(1), 33-42.
- Falconer, R. E. and P. D. Falconer, 1990: Determination of cloud water acidity at a mountain observatory in the Adirondak Mountain of New York State. *Journal of Geophysical Research*, 85, 7465-7470.
- Howard, M. L. and J. M. James, 1981: Spatial variations of acid precipitation in southern California. *Environmental Science & Technology*, 15(3), 333-334.
- Jeffrey, R. F., A. P. Robert and B. H. Carter, 1990: The chemistry of dew and frosts in Indianapolis, Indiana. *Atmospheric Environment*, 24A(8), 2229-2236.
- Joo, Y. T., H. O. Jin, Y. H. Son, J. M. Oh and D. Y. Jung, 1999: The effects of the interaction between precipitation and tree species on the chemical properties of throughfall and stemflow. *Journal of Korean Forestry Society*, 88(2), 149-156.
- Koo, J. K. and K. L. Park, 1993: A study on the chemical characteristics of acid rain in Taejon city. *Journal of Korea Air Pollution Research Association*, 9(2), 147-

- 153.
- 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. *Atmospheric Environment*, **24A**(6), 1493-1500.
- Min. K. D., 1971: A study on the occurrences of fog along the Seoul-Busan express way. *Journal of Korean Meteorology Society*, **12**(1), 13-24.
- Munger, J. W., D. J. Jacob, J. M. Waldman and M. R. Hoffmann, 1983: Fogwater Chemistry in an Urban Atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, **88**, 5109-5121.
- Park, J. H. and B. M. Woo, 1998: Chemical characteristics of water quality of rainfall, throughfall, soil and stream water in small forested watershed. *Journal of Korean Forestry Society*, **87**(1), 61-73.
- Park, K. T., G. E. Moon, J. G. Heo and H. B. Hong, 1995: A comparative study on the chemical compositions of precipitations in Sungnam city of Kyunggi Province, Incheon city, Kangneung city of Kangwon Province, and Chongwon-gun of Chungbuk Province. *Journal of Korean Environmental Sciences Society*, **4**(3), 285-294.
- Park, Y. D., D. K. Lee and D. Y. Kim, 1999: Nutrient dynamics in the throughfall, stemflow and soil solution of Korean Pine, Japanese Larch and hardwood stands at Kwangju-gun, Kyunggi-do. *Journal of Korean Forestry Society*, **88**(4), 541-554.
- Patricia, S. M., A. W. Kimberly, H. C. Bradley, V. A. Thomas and R. A. Pribush, 1986: Fog chemistry at urban midwestern site. *J. A. P. C. A.* **36**(12), 1359-1361.
- Zheng, L. and V. P. Aneja, 1992: Regional analysis of cloud chemistry at high elevations in the Eastern United States. *Atmospheric Environment*, **26A**(11), 2001-2017.