

3個 山林地域의 이슬의 酸性度 및 化學的 特性的 比較 (서울, 龍仁, 平昌 地域을 中心으로)

金英彩 · 鄭東浚 · 金洪律
慶熙大學校 生命資源科學研究院/林學科
(2000년 2월 18일 접수)

Comparison with Acidity and Chemical Properties of Dew at Three Forest Stands (Mt. Nam in Seoul; Shingal, Yongin; Hangdong, Pyungchang)

Young Chai Kim, Dong Jun Chung and Hong Ryul Kim

*Institute of Life Science of Resources/Dept. of Forestry
Kyunghee Univ., Yongin, 449-701 Korea
(Manuscript received 18 February 2000)*

ABSTRACT

This study was carried out to compare pH and chemical properties of dew in three forest stands(Mt. Nam-Seoul, Shingal-Yongin, Hangdong-Pyungchang)from May, 1998 to September, 1999. The results of this study were as follows; The acidity of dew in Seoul, which has a metropolitan environment, measured $pH5.57 \pm 0.41$. The highest acidity was measured in Yongin($pH5.50 \pm 0.96$), while pH in Pyungchang was 6.36 ± 0.57 . Ion concentration in Pyungchang was lower than in other two regions, with a similar tendency of seasonal cation changes to those in Seoul and Yongin. Anion changes in Pyungchang, however, was inconsistent with those in other two regions. Although analyses of correlation coefficients showed that there was no significant correlation between overall ion concentrations and pH of dew, there was highly significant correlations between some cations and anions in Seoul and Yongin, leading a suggestion that those ions were coupled from one source.

Key words : Ion concentrations, Acidity of dew, Forest regions

I. 서 론

우리 나라에서는 1960년대 국가 기간산업의 확대를 통한 공업화로 인하여 인구의 도시 집중화, 공업단지의 대면적·집약화가 이루어졌으며, 그 결과로 화석연료의 대량 연소, 소비를 통해 대기오염의 원인 물질인 SO_x , NO_x , CO 등의 배출량이 크게 증가하였고, 그 피해가 오염물질 배출 지역은 물론 점차 넓은 지역으로 확대되어 가고 있다. 이러한 대기오염물질의 증가는 대기의 자정 용량을 초과하여 강수와 함께 지표로

강하되고 있다.

최근 조사에 의하면 이미 국내 연강우량의 대부분이 산성우임이 밝혀졌고(李壽煜과 閔一植, 1989), 이로 인한 생태계 피해 가운데 가장 심각하고 광범위한 피해는 산림지역에서 나타난다고 하였다(金甲泰와 嚴泰元, 1996). 대도시나 공업단지 지역에서 나타나는 가시적 피해현상 등은 흔히 볼 수 있는 것이며, 대규모 면적의 산림이 고사하면서 그 파급효과로 산림 수자원의 영향을 받는 하천과 호수들이 서서히 고유의 성질을 잃고 있다(李壽煜과 閔一植, 1989). 현재 강우에 대한

연구는 활발히 진행되고 있으나, 이슬 등과 관련한 연구는 미진한 실정에 있다.

그러나, 외국의 연구 사례를 보면, 산업활동으로 인한 황산화물과 질소산화물의 배출증대는 대기 중에 존재하는 수분의 산성화를 초래할 수 있으며, 이 중 강수가 수 백 km~수 천 km의 광역적인 오염원에 의해 발생하는 반면 이슬, 서리, 안개는 SO₂와 NO_x의 지역적인 오염원 주변 수 십 km 이내에서 산성물질(H₂SO₄, HNO₃)의 효과적인 sink 역할을 할 수 있으며, 자연적인 식물표면은 산성물질들의 건조 침전에 의해 오염된다는 연구(Lindberg and Lovett, 1985)와 식물표면에 건조 침전된 산성물질의 습윤제거에 이슬, 서리, 안개가 효과적인 역할을 한다는 보고도 있다(Brimblecombe, 1978; Wisniewski, 1982; Mulawa *et al.*, 1986; Chameides, 1987; Foster *et al.*, 1990). 이슬 등의 산성화는 지표부근의 대기 중에서 SO₂의 산화 등의 요인으로 작용할 수 있으며, 산성전조물(precursor)들의 산화 환경을 제공하여 산성 수분이 지표물의 습윤 침전 및 건조 침전환경을 동시에 제공할 수 있다.

이슬의 경우는 강우에 비하여 그 양은 많지 않으나, 발생빈도는 높아 식물체의 엽면에 흡착되어 지속되는 시간이 길어 식물에 미치는 영향이 강우에 못지 않을

것으로 추정된다. 따라서 본 연구에서는 식물체에서 수집한 이슬의 산성도 조사와 그 화학적 특성을 알아보고자 하였다. 그리고 이를 통하여 이슬이 지표에 건조침전된 산성 에어로졸의 습윤제거의 역할과 대기중 수적에서 제거된 산성전조물의 습윤침전의 역할에 대한 연구를 수행하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 調査地 概況

조사지는 서울의 중심부에 위치한 대표적인 산림지대인 남산(용산구 후암동, 위도 37° 22', 경도 126° 73')을 산업시설 및 인간활동의 복합적인 영향을 받는 지역으로 선정하였으며, 산업시설 및 인간의 활동을 인한 영향이 적은 산림지역으로 강원도 평창군(행동리, 위도 37° 22', 경도 128° 22')을 선정하였다. 또한 산업시설과 농경지, 산림이 존재하는 경기도 용인시(신갈리, 위도 37° 14', 경도 127° 05')로 정하였다. 각 조사지의 위치는 Fig. 1에 나타내었으며, 조사지 내 산림의 개황은 Table 1과 같다.

2.2. 시료의 채취 및 분석방법

이슬의 채취는 조사기간(1998년 3월~1999년 10월)



Fig. 1. Location of sampling sites in Seoul, Yongin and Pyungchang.

Table 1. General description of research sites

Location	Species	Age (yr)	DBH* (cm)	Height (m)	Density (trees/ha)	Aspect
Mt. Nam, Seoul		69~83	48.3 ± 9.6	8.37 ± 2.18	165	NW
Shingalri, Yonginsi, Kyunggido	<i>Pinus densiflora</i>	24~36	22.7 ± 2.9	6.52 ± 1.61	195	SW
Hangdonri, Pyungchanggun, Kangwondo		43~49	31.4 ± 3.5	7.37 ± 1.44	249	SW

* DBH : Diameter at breast height

동안 매주 화요일 새벽(02:00~05:00, 일출전)에 조사 지내 임목 및 식물체에서 응결된 이슬과 대조구로 사용하기 위해 화학적으로 비활성인 teflon을 설치하여 표면에 응결하는 이슬을 의료용 거즈로 흡수하여 100 ml polyethylene 용기에 담아 실험실로 운반하여 부유물질의 제거를 위하여 filter paper(Toyo Roshi Kaisha, No. 5C-110 mm)로 2회 여과 전처리한 후 pH meter(Bench top pH meter, HANNA Instrument)를 이용하여 3회 반복 측정된 후, 이들을 산술평균하여 pH 값으로 취하였다.

이슬의 수용성 양이온과 음이온의 측정은 1998년 3월부터 1999년 10월까지의 기간에 서울 남산과 경기도 용인시 신갈리, 강원도 평창군 행동리 지역에서 채취한 이슬 21개를 사용하였다. 분석직전 시료를 0.45 µm filter(Whatman)로 재여과한 후 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} , Al^{3+} 등의 양이온은 원자흡광법과 NO_3^{-} , SO_4^{2-} , Cl^{-} 등의 음이온은 이온크로마토그래프법을 이용하여 측정 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 각 지역별 pH의 비교

측정된 pH의 값은 지금까지 조사, 연구된 강우의 pH 연구 결과(구자공과 박경렬, 1993; 장공언 등, 1995)와는 달리 비교적 높은 수치를 보였으며, 과거 연구된 이슬에 관한 연구결과와의 부족으로 인하여 측정된 pH의 기준을 잡기 힘들었으며, pH 5.6이하의 강우를 산성우로 하는 기준(Bache, 1980)을 가지고 판단하였다.

각 조사지에서 수집한 이슬의 월별 평균 산성도를 Fig. 2에 나타내었다. 측정 결과를 보면 공업시설 인근 산림지역으로 선정된 경기도 용인시 신갈리가 조사 전기간의 평균 산성도가 pH 5.50으로 가장 높게 나타났으며, 서울 남산의 경우 평균 pH 5.57로 2개 지역의 평균 산성도는 산성우의 정의 기준인 pH 5.60 이하로 나타났다. 그러나 평창군 행동리는 pH 6.36으로 산성도가 낮게 측정되었으며, 다른 2개 조사지역보

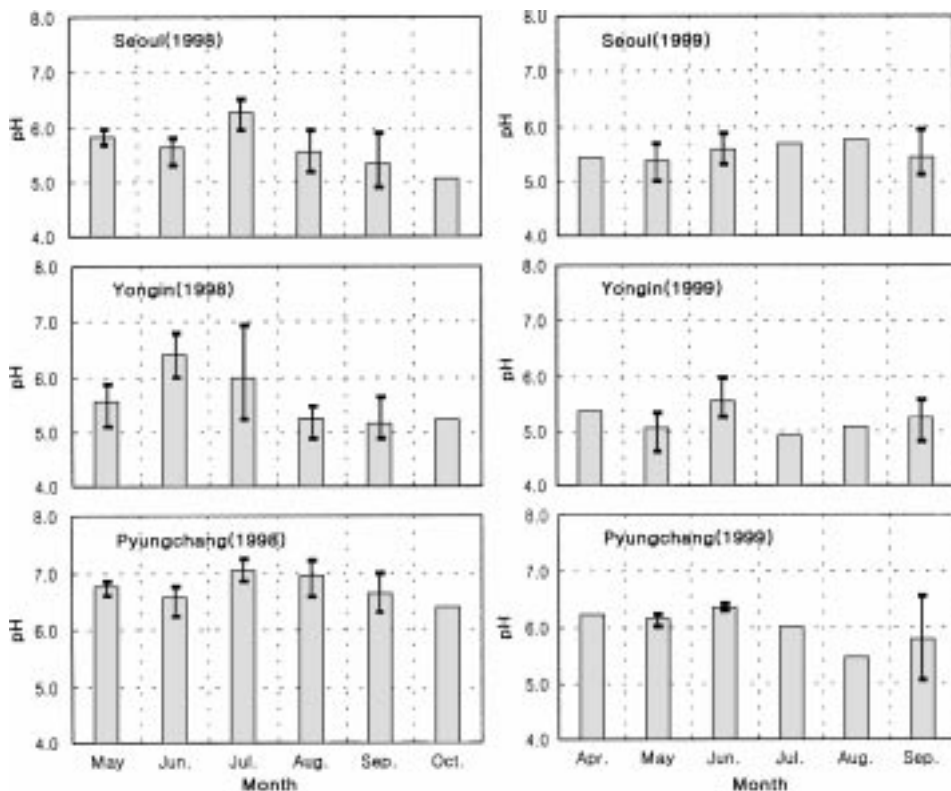


Fig. 2. Monthly variation of pH of dew samples in research sites(Bar indicate value of highest and lowest).

다 pH 측정치의 편차가 적게 나타나는 양상을 보였다. 각 조사지역의 월 평균 pH의 변화는 평창군 행동리의 경우가 98년과 99년 여름-가을철에 산성도가 높아지는 경향을 보였으며, 용인시 신갈리와 서울 남산의 경우 98년 여름-가을철에는 평창군 행동리와 유사한 경향을 보였다. 그러나 99년 여름-가을철은 7월 pH 측정치가 일시적으로 증가한 후, 산성도가 높아지는 변화 양상을 보였다. 이는 강우의 산성도가 봄철에 높고, 이에 비하여 여름철에는 낮게 나타난다는 결과(李憲浩, 1997)와 상반되는 것이었으나, 여름철에 수집된 안개와 이슬의 산성도가 봄철에 수집된 것에 비해 다소 높게 나타났다는 연구결과(정용승과 김태군, 1992)와는 일치되는 경향을 보인다. 각 조사지역의 이슬의 pH는 서울 지역이 4.89~6.51의 분포를 보였으며, 용인은 pH 4.87~6.94, 평창은 pH 6.22~7.23의 분포를 보였다. pH 변화의 폭은 용인 지역의 이슬이 가장 컸으며, 서울과 평창 지역의 순이었다. 또한 조사기간동안 연평균 이슬의 산성도는 1차 년도와 2차 년도의 전 조사 기간에서 모두 용인>서울>평창의 순으로 나타났으며, 1차 년도인 1998년의 평균값이 평창 pH 6.67, 용인 pH 5.63 그리고 서울은 pH 5.67이었던 반면, 2차 년도에는 pH 6.05, pH 5.21 그리고 pH 5.48로 나타났는데 전체적으로 1차 년도와 비교해 2차 년도의 산성도가 높아지는 경향을 보이고 있다. 이는 이슬의 생성 후 식물체에 흡착되어 있는 침착물의 영향을 크게 받는 것으로 판단되었다.

3.2. 이슬의 화학적 성분의 평형

채취된 이슬 시료의 화학적 성분을 분석하고 비교하기 위해 먼저 이온 수지를 검토하였다. 최근에 이온수

지를 점검하기 위한 방법으로는 전기적으로 중성 여부에 의한 확인과 EC_{mea}과 EC_{cal}의 비교에 의한 확인 등 2가지가 이용되고 있다. 전기적 중성 즉, 이온수지에 의한 확인은 채취된 강수의 수용성 이온성분 중 양이온의 총합(Total cations)과 음이온의 총합(Total anions)이 같아야 한다는 것이다. 본 연구에서는 조사 대상지인 3개 지역의 이온수지를 Fig. 3에 직선좌표로 나타내었다. 그 결과 평창을 제외한 2개 지역에서 채취한 시료들은 이온 평형을 나타내는 Y=X의 직선에 정확하게 일치하지는 않았으나, 비교적 이온평형의 경향을 나타내었다. 또한 서울과 용인의 2개 지역은 양이온 총량보다 음이온 총량이 많아 NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ 이온이 산성도에 영향한다는 연구(김선태 등, 1998)와 유사한 경향을 보였다. 그러나, 이온수지가 정확하게 평형을 이루지 않는다는 것은 시료 중에 분석되지 않은 이온성분이 존재한다(강공언 등, 1995)는 것이며, 서울과 용인지역의 이슬에서도 정확한 이온 평형이 이루어지지 않은 것은 이와 같은 이유로 판단하였다. 반면에 평창지역의 이온수지는 일부 적은 수의 시료만이 직선좌표를 벗어나 있으며, 대부분의 시료가 이온수지가 평형을 보였다. 즉 대기의 청정도 상태가 지표부근에서 생성되는 이슬에도 영향한다는 것으로 사료되었으며, 강우에 의한 세정효과와 함께 이슬이 지표 부근의 대기에 대한 습윤제거(wet removal)의 sink tank의 역할을 수행할 수 있다는 결과에 일치되었다(정용승과 김태군, 1992).

3.3. 이슬의 화학적 성분의 변화

조사기간 동안 수용성 이온의 농도는 원소별로 차이가 많이 나타났다. 채취한 이슬의 조사기간 중의 양이

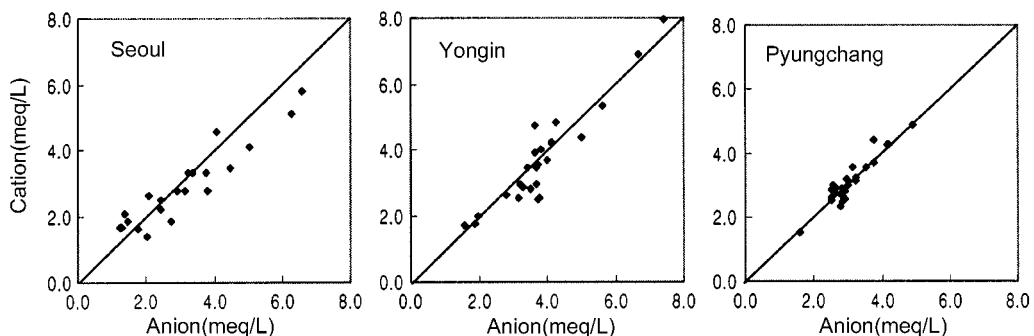


Fig. 3. Ion balance of dew samples in research sites.

온과 음이온의 월별 평균치를 각 지역별로 구분하여 표로 나타내었다(Table 2, 3, 4). 먼저 서울 남산에서 채취한 이슬의 각 원소별 이온 농도의 변화를 보면 (Table 2), 조사 1차 년도인 1998년 봄철인 5월에 그 농도가 가장 높게 나타났으며, 6월과 7월로 갈수록 점차 감소하는 경향을 보인 후, 8월과 9월은 5월만큼의 수준은 아니나, 비교적 증가하는 추세를 보였다. 그러나 양이온 중 Ca^{2+} 의 경우는 다른 이온이 측정기간 중 최소값을 보인 7월 평균 농도가 가장 높게 나타나는 형태를 보였다. 2차 년도인 1999년의 조사결과도 1차 년도와 유사한 경향을 보였으나, K^+ 과 Na^+ 등이 1차 년도의 Ca^{2+} 과 유사한 변화 양상으로 나타났다. 그러나 전체적으로는 봄철에 증가한 이온농도가 여름철로 갈수록 감소하다, 가을이 되면서 약간씩 증가하는 형태였다. 이는 강우의 월별 이온 변화에 관련된 다른 연구결과(朴聖培 等, 1989; 강공언 등, 1992;

李憲浩, 1997)와 유사하게 나타났다. 그리고, 각 이온 농도의 월별 변화의 편차는 조사기간 중 1998년 6월과 1999년 8월에 가장 크게 나타났으며, 특히 양이온 중 NH_4^+ 는 월별 농도에 비하여 그 편차의 비율이 높은 28.5%를, 음이온 중에서는 NO_3^- 이 34.7%로 가장 높았다. 반면에 Cl^- 은 비교적 안정적인 편차의 값을 보였다. 용인시 신갈 지역의 이온의 월별 변화(Table 3)는 서울지역과 비교할 때 유사한 경향으로 감소와 증가의 형태를 보였다. 그러나 서울지역의 Ca^{2+} 의 변화 경향과는 달리 용인지역에서는 Na^+ 의 농도가 상대적으로 높았으며, 그 변화의 편차도 크게 나타났다. 이는 강우에서 Na^+ 을 해염기원(산성우조사법연구회, 1996)으로 추정하나, 이슬에서는 명확한 판단을 할 수 없었다. 또한 각 이온 농도의 표준편차는 조사 1차 년도 5월, 9월과 2차 년도의 4월, 7월, 8월에는 이슬 채취가 1회만 이루어져 정확하게 판단할 수는 없었다.

Table 2. Chemical analytical results of dew samples at Mt. Nam, Seoul(monthly variation)

Month-Year	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	NH_4^+	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}
Standard deviation(SD)								
May-'98	0.649	0.105	0.780	0.589	0.152	0.613	0.396	1.443
SD	-	-	-	-	-	-	-	-
Jun.-'98	0.338	0.074	0.620	0.326	0.037	0.577	0.241	0.921
SD	-	-	-	-	-	-	-	-
Jul.-'98	0.864	0.059	0.483	0.352	0.040	0.464	0.140	0.662
SD	0.068	0.011	0.053	0.169	0.002	0.025	0.038	0.024
Aug.-'98	0.532	0.059	0.587	0.357	0.078	0.390	0.242	0.637
SD	0.115	0.017	0.098	0.030	0.030	0.008	0.105	0.207
Sep.-'98	0.776	0.065	0.619	0.257	0.022	0.427	0.294	0.744
SD	-	-	-	-	-	-	-	-
Apr.-'99	0.431	0.112	0.530	0.320	0.158	0.428	0.105	1.204
SD	-	-	-	-	-	-	-	-
May-'99	0.665	0.109	0.629	0.494	0.114	0.560	0.464	1.349
SD	0.080	0.019	0.151	0.109	0.040	0.100	0.086	0.224
Jun.-'99	0.445	0.084	0.413	0.429	0.091	0.465	0.416	1.020
SD	0.130	0.011	0.077	0.137	0.030	0.061	0.219	0.188
Jul.-'99	0.592	0.054	0.520	0.498	0.094	0.402	0.446	0.898
SD	-	-	-	-	-	-	-	-
Aug.-'99	0.514	0.046	0.483	0.406	0.085	0.394	0.368	0.791
SD	-	-	-	-	-	-	-	-
Sep.-'99	0.591	0.058	0.425	0.389	0.088	0.391	0.443	0.872
SD	0.169	0.023	0.084	0.009	0.027	0.046	0.141	0.190

Table 3. Chemical analytical results of dew samples at Shingal, Yongin

Month-Year Standard deviation(SD)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
May-'98	1.200	0.035	1.058	2.971	0.117	1.201	1.036	2.314
SD	-	-	-	-	-	-	-	-
Jun.-'98	0.963	0.049	0.901	1.099	0.100	1.201	0.799	1.660
SD	0.068	0.009	0.067	0.338	0.032	0.062	0.230	0.296
Jul.-'98	0.671	0.093	0.748	0.635	0.196	0.675	0.398	0.809
SD	0.121	0.020	0.131	0.347	0.068	0.123	0.233	0.097
Aug.-'98	0.686	0.063	0.809	0.569	0.189	0.772	0.285	0.871
SD	0.028	0.018	0.006	0.465	0.189	0.171	0.074	0.145
Sep.-'98	0.879	0.172	0.902	0.922	0.246	1.387	0.961	1.525
SD	-	-	-	-	-	-	-	-
Apr.-'99	0.851	0.121	0.901	1.018	0.181	0.833	0.323	0.921
SD	-	-	-	-	-	-	-	-
May-'99	0.887	0.087	0.889	1.251	0.144	0.984	0.559	1.229
SD	0.200	0.035	0.121	1.021	0.075	0.334	0.321	0.643
Jun.-'99	0.963	0.049	0.901	1.099	0.123	1.404	0.799	1.660
SD	0.068	0.009	0.067	0.338	0.112	0.207	0.230	0.296
Jul.-'99	0.532	0.063	0.610	0.381	0.108	0.654	0.298	0.796
SD	-	-	-	-	-	-	-	-
Aug.-'99	0.706	0.051	0.813	0.897	0.323	0.873	0.233	0.973
SD	-	-	-	-	-	-	-	-
Sep.-'99	1.081	0.247	0.759	0.854	0.246	1.144	0.706	1.222
SD	0.527	0.197	0.126	0.117	0.001	0.485	0.441	0.459

그러나 1차 년도의 6월, 7월, 8월 그리고 2차년도 5월, 6월, 9월의 6개월간을 비교하면, Na⁺, NH₄⁺, NO₃⁻가 그 편차가 크게 나타났음을 알 수 있다. 강원도 평창지역의 조사기간 중 나타난 이온의 월별 변화의 양상을 보면(Table 4) 다른 2개 지역의 결과에 비하여 이온농도가 낮게 나타났으며, 양이온의 경우는 다른 2개 지역과 마찬가지로 감소와 증가의 유사한 경향을 보였다. 그러나, 음이온은 서울 남산과 용인 신갈지역의 월별변화와 달리 이온농도의 증가, 감소의 경향이 상반되는 결과를 보이고 있었다. 특히, 여름철인 7, 8월의 Cl⁻, SO₄²⁻의 변화가 뚜렷하였으며, 농도 변화의 편차가 20%이하인 것을 고려할 때, 내륙지역의 경우 중 음이온의 농도가 여름철에 감소한다는 연구결과(구자공과 박경렬, 1993; 박국태 등, 1998)와는 반대였다. 그러나, 절대치에서는 남산지역의 음이온 농도가 높아 도시 및 오염지역이 농촌과 내륙, 비오염지

역 보다 음이온 농도가 높다는 결과(박국태 등, 1995; 김동엽 등, 1996; 김종갑 등, 1998; 이충규와 김종갑, 1998)와는 일치하였다.

이상의 결과를 종합하여 3개 조사지역의 연도별 평균이온농도의 변화와 최저치, 최고치를 Fig. 4에 나타내었다. 그림을 보면, 전체적인 화학적 조성의 비율은 모든 지역에서 동일한 경향을 보였으며, 평창지역을 제외한 서울과 용인에서 1차 년도 보다 2차 년도의 이온 농도가 조금 증가하는 경향이었으며, 서울의 경우 SO₄²⁻와 NO₃⁻가 다른 이온보다 더 증가하였다. 서울에서 채취한 이슬 중 양이온은 Ca²⁺>K⁺>Na⁺>NH₄⁺>Mg²⁺의 순으로 나타났으며, 음이온은 SO₄²⁻>Cl⁻>NO₃⁻의 순이었다. 그 중 SO₄²⁻이 가장 높은 농도를 보였다. 이는 1990년대 중반 우리 나라 중부지방 강수에 관한 연구 결과(조하만 등, 1998)와는 다른 경향을 보인 것으로, 강우와 이슬의 화학적 조성에 차이가

Table 4. Chemical analytical results of dew samples at Hangdong, Pyungchang

Month-Year	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
Standard deviation(SD)								
May.-98	0.572	0.170	0.841	0.922	0.131	0.866	0.412	0.867
SD	0.130	0.061	0.163	0.406	0.013	0.229	0.167	0.266
Jun.-98	0.669	0.141	0.766	0.776	0.124	0.906	0.340	0.793
SD	0.147	0.021	0.236	0.199	0.062	0.181	0.084	0.197
Jul.-98	0.602	0.156	0.875	0.818	0.208	0.784	0.417	0.679
SD	0.303	0.027	0.047	0.033	0.085	0.108	0.034	0.114
Aug.-98	0.705	0.268	1.003	0.622	0.232	1.278	0.649	1.226
SD	0.020	0.067	0.168	0.004	0.056	0.209	0.088	0.219
Sep.-98	0.649	0.162	0.987	0.871	0.198	0.829	0.428	0.731
SD	0.100	0.004	0.085	0.045	0.067	0.040	0.030	0.046
Oct.-99	1.057	0.195	0.867	0.700	0.196	0.981	0.546	0.930
SD	0.098	0.143	0.043	0.119	0.048	0.495	0.217	0.532
Apr.-99	0.426	0.095	0.823	0.639	0.142	0.603	0.263	0.516
SD	-	-	-	-	-	-	-	-
May.-99	0.687	0.195	0.719	0.850	0.117	1.035	0.508	0.987
SD	0.112	0.017	0.134	0.153	0.034	0.043	0.068	0.056
Jun.-99	0.504	0.107	0.563	0.628	0.164	0.648	0.292	0.634
SD	0.146	0.004	0.131	0.087	0.068	0.027	0.008	0.056
Jul.-99	0.591	0.225	0.511	0.652	0.083	1.100	0.688	1.178
SD	-	-	-	-	-	-	-	-
Aug.-99	0.702	0.109	0.647	0.930	0.105	0.630	0.283	0.536
SD	-	-	-	-	-	-	-	-
Sep.-99	0.756	0.160	0.898	0.961	0.161	0.754	0.423	0.796
SD	0.215	0.079	0.106	0.172	0.039	0.326	0.240	0.397

있다고 판단하였다. 용인지역은 모든 이온의 년평균 농도가 다른 2개 지역보다 높게 나타났으며, 최저치와 최고치 사이의 변화가 뚜렷하게 보였다. 이는 조사 지역 인근의 공업시설과 지형적인 영향인 편서풍과 이슬의 생성시 기상조건의 영향을 받은 것으로 사료되며, Na⁺의 값이 큰 폭으로 변화하는 것은 해염기원으로서 강우에 의한 지역별 특징을 나타내지 않는다는 것(박국태 등, 1995)과는 다르게 나타났다. 또한 일반적인 해수의 Cl⁻ 이온 농도에 대한 Na⁺ 이온 농도의 비(Na⁺/Cl⁻)가 0.86으로 보는 결과(Brewer, 1975; 송기형 등, 1992)를 기초로 용인지역의 Na⁺/Cl⁻ 비는 1998년 1.04, 1999년은 0.97로 높게 나타났다. 이 값은 강우보다 이슬의 Na⁺/Cl⁻ 비가 낮다는 것(송기형 등, 1992)과는 상이한 결과로, 대기

중의 Na₂SO₄나 Na₂CO₃ 등의 먼지 또는 부유 분진의 영향으로 추정하였으며, 조사지역 인근에 위치한 고속도로 통행 차량에서 배출되는 오염물질에 대한 조사가 필요한 것으로 판단하였다. 평창지역 이슬의 이온 농도의 변화는 용인보다 적었으며, 조사기간 중 2차 년도가 1차 년도보다 낮았다. 평창지역은 다른 지역과 달리 음이온 중 Cl⁻ 이온 농도가 SO₄²⁻ 이온보다 높았다. Cl⁻ 이온의 농도가 높다는 것은 해염입자의 영향으로도 볼 수 있으나, CaCl₂, MgCl₂, KCl, NH₄Cl 등과 같은 토양구성 성분에 의한 영향일 것이라는 연구결과(박국태 등, 1998)와 유사한 것으로 판단하였다. 평창지역의 양이온 농도는 Na⁺>K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺>NH₄⁺의 순이었고, 음이온은 Cl⁻>SO₄²⁻>NO₃⁻으로 나타났다.

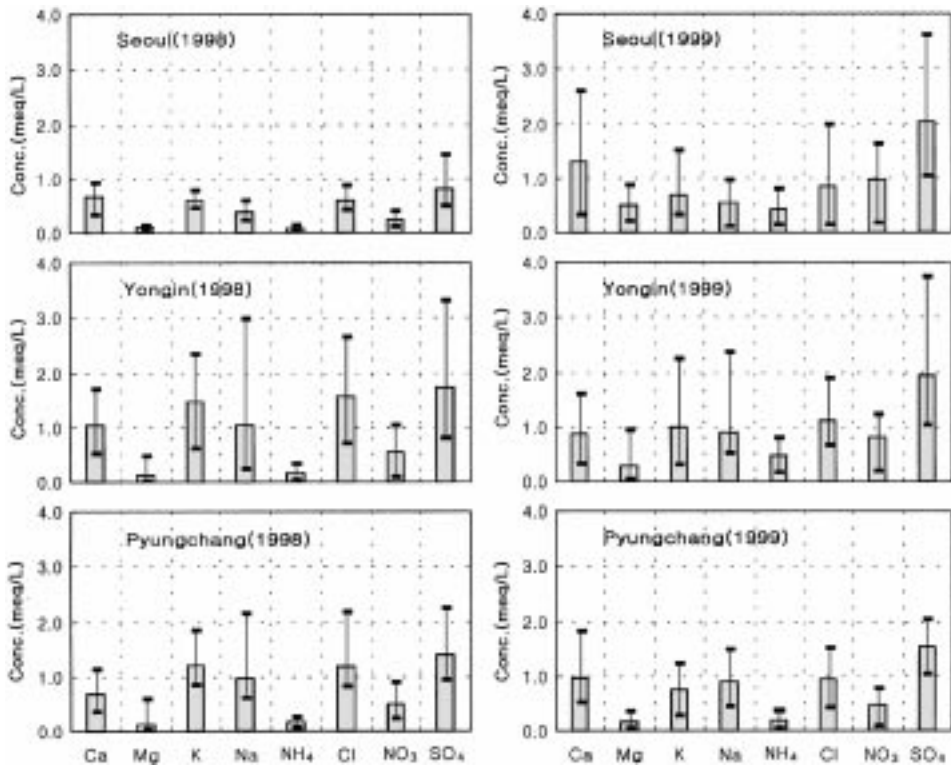


Fig. 4. Annual variation of ion concentrations of dew samples in research sites(Bar indicate value of highest and lowest).

3.4. 이온농도들간의 상관관계

이슬의 pH와 이온 농도와의 관계를 파악하기 위하여 3개 지역에서 채취한 자료에 대한 상관분석을 실시하여 그 결과를 나타내었다(Table 5). 상관분석결과 이슬의 pH와 이온들간의 관계는 서울을 제외한 용인과 평창 지역에서는 상관이 인정되지 않았다. 이는 이슬의 산성도는 한 두 가지의 이온에 의해서 결정되는 것이 아니라 여러 가지 이온들의 복합적인 작용으로 결정된다(박국태 등, 1995)는 것으로 판단하였으며, 서울지역의 경우, 양이온과 음이온 농도간에 비교적 높은 상관관계가 인정되었으며, 이는 도시지역의 경우에서 대부분의 이온 농도 사이에 높은 상관이 있다는 결과(Hiraki *et al.*, 1985)와 유사한 경향을 보였다. 용인지역의 이온 농도들간의 상관관계는 대부분 상호간에 양의 상관관계를 보이고 있으며, 이러한 결과는 동일한 발생원으로부터 유입된 물질들에 기인된다는 것을 나타낸 것이다(Brewer, 1975; Tanaka *et al.*, 1989). 특히, Na^+ 이온 농도가 Cl^- 이온보다 SO_4^{2-} 와 더 높은 상관을 보인 것은 신갈지역 이슬이 NaSO_4 나

NaNO_3 등에 기인된 것임을 보이는 것이다. 이는 이 지역의 (Na^+/Cl^-)의 평균비가 1.00으로 일반적인 해수의 비율인 0.86보다 커서 이슬 중의 Na^+ 이 해수 이외의 물질들에 기인되었을 것이라 추정할 수 있다(박국태 등, 1995). 평창지역 이슬의 이온 농도 간의 상관관계는 다른 지역에서 나타난 각 이온 농도들 간의 양호한 상관인 것과는 달리 이온 간의 상관은 적게 나타났다. 그 중에서 Ca^{2+} 은 NO_3^- 와 양호한 상관을 보였으며, Mg^{2+} 은 음이온인 Cl^- , NO_3^- 그리고 SO_4^{2-} 와 고도의 유의성이 인정되는 높은 상관관계를 보였고, Cl^- 은 NO_3^- , SO_4^{2-} 의 음이온과 양호한 상관을 보였다. 이와 같이 이온 농도 간의 높은 양의 상관을 보인 것들은 동일한 발생원을 갖는 것으로 판단되었다. Na^+ 의 경우에는 K^+ 을 제외한 모든 이온에서 상관을 보이지 않았는데, 이는 Na^+ 이온이 주로 자연 발생원인 해양 기원의 해염입자에 의한 것으로 한정되어 있다는 이유로 해석하였다(강공언 등, 1995). 이상의 3개 지역의 이슬 내 용존하는 이온 간의 상관분석을 실시한 결과, 도시 내의 산림지역인 서울 남산과 공업시설 및 집단

Table 5. Correlation coefficient between the ion concentrations in dew of the forest region of research sites from 4/1998 to 10/1999

(Regions)	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
(Seoul)								(N=21)
Ca ²⁺	0.209							
Mg ²⁺	-0.396	0.066						
K ⁺	0.118	0.181	0.595**					
Na ⁺	-0.084	0.138	0.551**	0.546				
NH ₄ ⁺	-0.362	-0.103	0.641**	0.387	0.611**			
Cl ⁻	-0.057	0.273	0.787**	0.676**	0.600**	0.370		
NO ₃ ⁻	-0.504	0.059	0.381	0.160	0.586**	0.288	0.359	
SO ₄ ²⁻	-0.482*	0.060	0.921**	0.522*	0.639**	0.639**	0.784**	0.586**
(Shingal)								(N=25)
Ca ²⁺	-0.082							
Mg ²⁺	-0.144	0.554**						
K ⁺	-0.128	0.346	-0.336					
Na ⁺	-0.106	0.582**	-0.157	0.669**				
NH ₄ ⁺	0.067	0.028	0.353	-0.271	-0.103			
Cl ⁻	-0.080	0.686**	0.169	0.581**	0.540**	-0.168		
NO ₃ ⁻	-0.125	0.669**	0.179	0.619**	0.587**	-0.339	0.888**	
SO ₄ ²⁻	-0.056	0.654**	-0.083	0.679**	0.804**	-0.324	0.876**	0.883**
(Pyungchang)								(N=29)
Ca ²⁺	-0.263							
Mg ²⁺	-0.075	0.336						
K ⁺	0.310	0.229	0.347					
Na ⁺	-0.075	0.068	0.043	0.417*				
NH ₄ ⁺	0.366	-0.172	0.271	0.320	-0.191			
Cl ⁻	-0.101	0.307	0.931**	0.319	0.116	0.166		
NO ₃ ⁻	-0.162	0.419*	0.945**	0.288	-0.052	0.197	0.871**	
SO ₄ ²⁻	-0.196	0.328	0.959**	0.260	0.053	0.122	0.957**	0.934**

* : Significant at 5% level, ** : Significant at 1% level

주거지의 산림지역인 용인 신갈은 각 이온 농도 사이에 고도의 유의성을 인정할 수 있는 양의 상관관계를 보였으나 내륙산간 산림지역인 평창은 일부 양이온과 음이온 그리고 음이온 간에서만 상관관계를 보였다.

IV. 적 요

산림 지역 내에 형성되는 이슬의 pH와 화학적 특성과 용존원소량을 파악하기 위하여 서울의 남산, 경기도 신갈, 강원도 평창의 3개 산림 지역을 대상으로

이슬을 채취하여 분석한 결과는 다음과 같다.

도시 지역 내의 산림지역으로 선정한 서울 남산의 경우 평균 pH 5.57(4.89~6.51)이었으며, 공업시설 인근 산림지역으로 선정한 경기도 용인시 신갈의 평균 산성도가 pH 5.50(4.61~6.94)으로 가장 높게 나타났다. 그러나 강원도 평창 지역은 pH 6.36(5.07~7.41)으로 산성도가 낮게 측정되었다. 서울 남산과 용인 신갈에서 채취한 이슬의 각 원소별 이온 농도의 변화는 봄철인 5월에 그 농도가 가장 높게 나타났으며, 6월과 7월로 갈수록 점차 감소하는 경향을 보인 후, 8월과

9월은 5월만큼의 수준은 아니나, 비교적 증가하는 추세를 보였다. 강원도 평창 지역의 조사기간 중 나타난 이온의 월별 변화는 다른 2개 지역의 결과에 비하여 이온농도가 낮게 나타났으며, 양이온의 경우는 다른 2개 지역과 마찬가지로 감소와 증가의 유사한 경향을 보였다. 그러나, 음이온은 서울과 용인지역의 월별변화와 달리 이온농도의 증가, 감소의 경향이 상반되는 결과를 보이고 있었다. 각 이온 농도 간의 상관분석 결과, 남산지역은 양이온(Mg^{2+} , K^+ , Na^+)과 음이온(Cl^- , SO_4^{2-}) 농도 간에 비교적 높은 상관관계가 인정되었으며, 용인지역도 Ca^{2+} , K^+ , Na^+ 등의 양이온과 Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} 등의 음이온 상호 간에 양의 상관관계를 보이고 있으며, 이러한 결과는 동일한 발생원으로부터 유입된 물질들에 기인되는 것으로 판단하였다. 평창지역 이슬의 이온 농도 간의 상관관계는 양이온 중 Mg^{2+} 이 음이온(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-})과, 음이온 상호 간의 상관이 있을 뿐 다른 지역과 달리 낮은 상관을 보였다.

V. 인용문헌

- 강공언, 강병욱, 김희강. 1992: 해안지역과 도시지역 강수의 화학적 성상에 관한 연구. *韓國大氣保全學會誌*, **8**(3), 191-197.
- 강공언, 강병욱, 김희강. 1995: 江華地域 降水的 汚染度 評價에 關한 研究. *韓國大氣保全學會誌*, **11**(1), 57-68.
- 구자공, 박경렬. 1993: 대전지역 산성강우의 화학적 특성에 관한 연구. *韓國大氣保全學會誌*, **9**(2), 147-153.
- 金甲泰, 嚴泰元. 1996: 人工酸性煙霧의 處理가 및 潤葉樹種의 葉被害와 葉表面의 親水性에 미치는 影響. *韓國林學會誌*, **85**(4), 577-585.
- 김동엽, 유정환, 채지석, 차순형. 1996: 大氣汚染物質의 山林生態系內 流入과 土壤의 化學的 特性 變化. *韓國林學會誌*, **85**(1), 84-95.
- 김선태, 임봉빈, 野喜夫, 前田泰昭. 1998: 동북아시아 지역 강수의 화학적 성분 비교에 관한 연구. *한국환경과학회지*, **7**(4), 523-529.
- 김종갑, 田中淳一, 福岡義隆. 1998: 대기오염지역과 비오염 지역 강우의 이온특성. *한국생태학회지*, **21**(3), 195-201.
- 박국태, 문경연, 허정구, 홍현복. 1995: 경기도 성남시, 인천시, 강원도 강릉시, 충북 청원군 강수의 화학적 성분에 관한 비교 연구. *韓國環境科學會誌*, **4**(3), 285-294.
- 박국태, 김창호, 홍현복, 류오현, 양일호, 임광수, 민덕식. 1998: 비무장지대에 인접한 경기도 농촌지역 강수의 화학적 성분에 관한 기초연구. *한국환경과학회지*, **7**(2), 157-164.
- 朴聖培, 朴相賢, 金旻永, 姜熙坤. 1989: 서울地域의 酸性降雨現象에 關한 研究. *韓國大氣保全學會誌*, **5**(2), 42-54.
- 酸性雨調査法研究會. 1996: 산성비 조사법(권우택 등 공역). 圖書出版 東和技術, p. 511
- 송기형, 박용남, 정요승, 박국태. 1992: 충청북도 농촌지역의 강수 산성도에 관한 기초연구. *韓國大氣保全學會誌*, **8**(1), 38-44.
- 李壽煜, 閔一植. 1989: 大氣汚染 및 酸性雨が 山林生態系의 土壤酸度 및 養料分布에 미치는 影響. *韓國林學會誌*, **78**(1), 11-25.
- 이충규, 김종갑. 1998: 산림내 강우에 의한 산성강하물의 영향 평가. *한국생태학회지*, **21**(5-1), 449-456.
- 李憲浩. 1997: 山地 물循環 素過程에 있어서 水質變化의 追跡分析에 의한 山林의 環境的 淨化機能의 計量化 研究. *韓國林學會誌*, **86**(1), 56-68.
- 조하만, 최재천, 김지영, 전영신, 김산. 1998: 1994~1997년 중부지방에 내린 강수의 화학적 특성에 관한 연구. *韓國大氣保全學會誌*, **14**(6), 598-598.
- 정용승, 김태균. 1992: 충북 청원군의 안개, 이슬, 서리의 산성도 연구. *韓國大氣保全學會誌*, **8**(1), 45-51.
- Bache, B. W. 1980: The acidification of soils. In "Effects of acid rain precipitation on terrestrial ecosystems," Plenum Press, New York, 183-202.
- Brewer, P. G. 1975: Minor elements in sea water. In *Chemical Oceanography*, Vol. 1. p. 417. Academic Press, New York.
- Brimblecombe, P. 1978: "DEW" as a sink for sulfur dioxide. *Tellus*, **30**, 151-157.
- Chameides, W. L. 1987: Acid dew and the role of chemistry in the dry deposition of reactive gases to wetted surfaces. *J. Geophys. Res.*, **92**, 11895-11908.
- Foster, J. R., R. A. Pribush and B. H. Carter. 1990: The chemistry of dews and frosts in Indianapolis, Indiana. *Atmos. Environ.*, **24**, 2229-2236.
- Hiraki, T., M. Tamaki, H. Mitsugi and H. Watanabe. 1985: Estimation of Air Pollution by Rainwater Components. *Bull. of Hyogo Prefectural Pollution Station*, **17**, 6-11.
- Lindberg, S. E. and G. M. Lovett. 1985: Field measurements of particle dry deposition to foliage and inert surfaces in a forest canopy. *Environ. Sci. Technol.*, **19**, 238-244.
- Mulawa, P. A., S. H. Cadle, F. Liperi, C. C. Ang and R. T. Vandervennet. 1986: Urban dew; its composition and influence on dry deposition rates. *Atmos. Environ.*, **20**, 1389-1396.
- Tanaka, S., T. Onoue, Y. Hashimoto and T. Otoshi. 1989: The influence of the soil dust transported from Asian continent by kosa phenomenon on the atmosphere in Japan by using the results of NASN(National Air Surveillance Network) data for 10 years. *Journal of Japan Society Air Pollute*, **24**, 119-129.
- Wisniewski, J. 1982: The potential acidity associated with dews, frosts and fogs. *Wat. Air Soil Pollut.*, **17**, 361-377.