

고산지역 강수의 화학 성분 특성에 관한 연구

A Study on the Chemical Features of Precipitation at High Mountain Area

최재천·이민영·이선기

기상청 기상연구소
(원고접수: 1994. 3. 23)

Jae-Cheon Choi, Min-Young Lee and Sun-Ki Lee

Meteorological Research Institute, KMA
(Received 23 March 1994)

Abstract

Recently, the acid precipitation, composed primarily of dilute H_2SO_4 , HNO_3 and originating from the burning of fossil fuels, has become one of the major environmental problems.

This study was carried out to investigate the chemical features of precipitation at Sobaek-san Meteorological Observation Station (mean sea level; 1,340m, $36^\circ 56' N$, $128^\circ 27' E$) from May 1991 to December 1993. The major point in this study divided the whole wind directions into two parts. And, the two parts are the north-westerly wind case and south-easterly wind case. The concentration of anions and cations in precipitation were measured by ion chromatography (Dionex 4000i). The volume weighted mean pH and conductivity values of the whole precipitation period were 5.26, $14.3 \mu S/cm$, respectively. The order and frequency rate of the major anions concentration in the north-westerly and south-easterly wind case were SO_4^{2-} (49.3%) > NO_3^- (23.9%) > Cl^- (14.8%) > F^- (12.0%) and SO_4^{2-} (61.1%) > NO_3^- (21.5%) > Cl^- (13.5%) > F^- (4.0%), respectively. The order and frequency rate of the major cations concentration in the north-westerly and south-easterly wind case were Ca^{2+} (49.3%) > NH_4^+ (24.2%) > Na^+ (22.4%) > Mg^{2+} (14.9%) > K^+ (3.8%) and NH_4^+ (43.8%) > Ca^{2+} (28.6%) > Na^+ (16.8%) > K^+ (6.3%) > Mg^{2+} (4.5%), respectively. The larger anions and cations concentration values than others were SO_4^{2-} , NO_3^- and Ca^{2+} , NH_4^+ , respectively. The correlation coefficient between pH value and ion concentrations for the north-westerly and south-easterly wind case was shown less than 0.5 except for Ca^{2+} in the statistical analysis, SPSS. But the correlation coefficient for the all wind case between sulfate and cations was shown high correlation above 0.6.

1. 서 론

산성우에 대한 관심은 1970년대 초부터 유럽 지역으로 부터 시작되어 현재는 전 세계적으로 연구가 활발히 진행중이다. 산성비는 황산염 또는 질산

염 등의 오염물질이 다량 배출되어 대기중에서 수증기나 구름과 결합하여 부유하다가 눈이나 비의 형태로 지표에 도달하면서 인간의 건강, 동·식물, 건축물 등에 막대한 피해를 미치고 있다(WMO, 1978).

최근의 산성우에 대한 국내 연구 동향을 보면, 인위적인 오염이 큰 지역(손동현 외, 1985; 신웅배 외, 1986; 박성배 외, 1989; 구자공 외, 1993), 인위적인 오염이 적은 시골지역(송기형 외, 1992), 해안지역(강공언 외, 1992)에서의 강수의 화학적 성상에 대해 연구된 바 있다. 그러나 국내 연구의 대부분은 특히, 도시지역을 대상으로 하였으며, 고산지역에서 연구한 사례는 없다. 국외의 경우는 프랑스와 스페인의 국경에 있는 Pyrenees 산맥에서의 강수의 화학적 성분 특성(Camarero et al., 1993)과 이스라엘에 있는 Camel산에서의 강수와 강하분진의 성분 특성(Singer et al., 1993) 등 다수 있다. 또한 Rocky 산 국립공원내의 동쪽 경사면상의 두 지점의 다른 고도에서 강수 화학성분의 계절적인 특성(Baron et al., 1993)을 연구한 바 있다.

인위적인 오염원이 적은 고산지역에서의 강수 화학 성분 분석은 지리적인 기준이 될 뿐만 아니라 중·대규모의 인위적인 오염원을 어느정도 판단할 수 있기 때문에 연구의 관심 대상이 된다(Camarero et al., 1993).

따라서 본 연구는 인위적 오염원이 적은 지역이라 판단되는 고산지역에서의 전반적인 강수 화학 특성 파악과 강수시 북서풍 계열의 바람이 분 경우와 남동풍 계열의 바람이 분 경우로 풍계를 구분하여 각각의 경우에 대한 강수 화학 특성 파악 및 지역적인 기초 자료 제시를 목적으로 하였다.

2. 자 료

2.1 연구대상지역

강수 시료는 충북 단양군내의 소백산 정상 부근(해발 1,340m)에 위치한 소백산기상관측소(36° 56' N, 128° 27' E; 이하, '관측소'라 함)에서 채수하였다. 관측소는 세계기상기구(World Meteorological Organization; WMO)의 목적에 따라 설립된 우리나라에서는 유일한 배경 대기오염 관측소(Regional Background Air Pollution Monitoring Network; BAPMoN station)로서 그림 1과 같이 충청북도와 경상북도의 도계가 되는 중부내륙지방에 위치하고 있다. 또한 북서쪽 약 15km 지점에는 대규모 시멘트공장과 석회암지대가 다수 산재하고 있다. 그러나 인근지역의 대부분은 산림으로 우거져 있고 죽령 고개를 가로지르는 국도위는 차량의 통행량은 없다.

2.2 자료수집기간

자료수집기간은 1991년 5월부터 1993년 12월까지

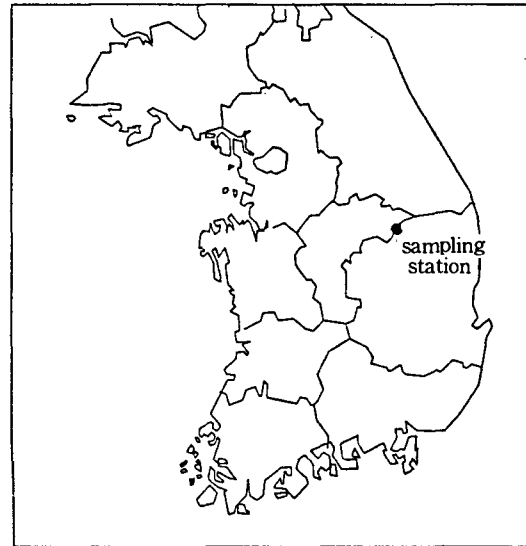


Fig. 1. Location of sampling station.

지 실시하였으며, 시료채수지점의 지리적 여건으로 강수시의 모든 시료를 수거하여 분석하기는 매우 곤란하였다. 또한, 분석된 자료 중에서도 신뢰성 검토를 통한 후, 실제 분석에 이용된 자료는 총 70개이며, 풍계 구분에 의한 강수 화학 특성 고찰시에는 기상자료의 결측으로 7개의 자료를 제외한 총 63개의 자료만을 이용하였다.

2.3 강수채수방법

강수채수기는 수동형으로서 비가 올 경우에만 뚜껑을 열어 시료를 채수하였으며, 채수기(폴리에틸렌 재질, 내경 28.8cm, 높이 34.0cm)는 원통형으로 지면으로부터 약 1.2m 지점에 설치하였다. 또한 강수시료는 강수 초기부터 말기까지 지속적으로 하였으며, 24시간 이상 지속 또는 단속적으로 내릴 경우에는 당일 09시부터 익일 09시까지를 당일 시료로 하였다.

2.4 기상관측

기상자료는 시료채수지점에서 자동기상관측장비(Automatic Weather System; AWS)로 강수량, 풍향, 풍속, 기온등을 측정하였으며, 목적으로 운형, 안개, 황사현상등을 관측하였다. 주로 이용된 기상자료는 풍계 구분을 위한 바람자료와 각 이온의 가중평균값을 구하기 위한 강수량자료이다. 또한 황사현상을 조사하기 위하여 남동쪽 방향으로 직선상 약 7km 지점에 있는 영주기상관측소 자료도 이용하였다.

3. 분석방법

강수채수기에 의해 채수된 시료는 화학반응 등에 의한 성분의 변화 가능성을 고려하여 가급적 신속히 운반하여 분석을 실시하였으며, 당일 분석이 어려운 경우에는 밀봉하여 4°C 이하의 냉장소에 보관 후 분석을 실시하였다. 대기중에 장시간 노출되면 변하기 쉬운 pH와 전기전도도는 현지에서 시료 채수 후 즉시 측정하였으며, 성분 분석을 위한 시료는 125ml 폴리에틸렌병에 보관 후 분석하였다. 분석 항목은 pH, 전기전도도, 음이온과 양이온이며, 분석

에 사용된 기기 및 측정 방법으로 pH는 pH메타(Hach One™ Laboratory pH meter, HACH Company)로 표준용액으로 보정 후 측정하였다. 전기 전도도는 전도도메타(Conductivity/TDS meter, HACH Company)로 측정하였다. 또한 강수 시료중의 이온 성분들은 시료를 멤브레인 필터(pore size 0.2 μm)로 여과 시킨 후, 주입된 액체 시료가 용리액과 함께 이동되어 분리 컬럼에서 시료 성분들의 이동속도 차이에 따라 분리되어 검출되어지는 이온 크로마토그래피(Ion Chromatography, Dionex 4000i)로 분석하였다. 분석 조건은 표 1과 같다.

Table 1. The analysis conditions of ion chromatography.

Items	Anion	Cation	
		1	2
Ion chromatography	Dionex 4000i	Dionex 4000i	Dionex 4000i
Guard column	AG-4A	CG-3	CG-3
Seperate column	AS-4A	CS-3	CS-3
Suppressor	AMMS-1	CMMS-2	CMMS-2
Eluant	1.8mM Na ₂ CO ₃ + 1.7mM NaHCO ₃	0.25mM DAPHCl + 24.2mM HCl	6.0mM DAPHCl + 24.2mM HCl
Regenerant	H ₂ SO ₄	TBAOH	TBAOH
Flow rate	2.0ml min ⁻¹	1.0 ml min ⁻¹	1.0 ml min ⁻¹

4. 결과 및 고찰

4.1 강수 시료의 분석 결과

시료채수지점의 전반적인 기상특성을 보면, 1992년 1월부터 1993년 12월까지(2년간)의 연 평균 풍속이 5.9m/sec이며, 여름에는 남풍 계열, 겨울에는 북풍 계열의 바람이 우세하였으며, 연평균 안개 일수는 229일이다. 또한 시료채수지점이 고산지대로 하층운도 자주 발생하였다. 이러한 기상 특성을 지닌 지역에서 1991년 5월 부터 1993년 12월까지 채수된 강수시료의 분석 결과를 표 2에 제시하였다. 여기에서, 각 이온의 당량농도값은 강수량을 고려한 가중평균값(Baron et al.,1993)이다. 전 강수 시료의 평균 pH는 5.26으로서 배경지역이라는 관점에서는 장백산(백두산)지역의 평균 pH 5.38보다는 다소 낮게 나타났으며(Yoon.S.H.,1991), 전기전도도는 14.3 μS/cm이다. pH와 전기전도도의 값을 계절별로 보면, 겨울에 5.27, 13.2 μS/cm, 봄에 5.23, 20.8 μS/cm, 여름에 5.41, 14.3 μS/cm, 가을에 4.90, 10.9 μS/cm로서 가을에 pH와 전기전도도 값이 가장 낮게 측정된 반면, 강우량이 많은 여름에 pH는 가장 높게 측정되었다.

강수의 pH를 저하시키는 주 이온이라 보고된 바 있는 NO₃⁻와 SO₄²⁻의 자료만을 백분율로 환산해 보면, 겨울(12,1,2월)에 37.8:62.2, 봄(3,4,5월)에 22.4:77.6, 여름(6,7,8월)에 28.3:71.7, 가을(9,10,11월)에 25.3:74.7로 나타나 비교적 비슷한 경향을 보이는데, 특이한 점은 타 계절에 비해 겨울에 상대적으로 NO₃⁻가 높은 경향을 보여주었다. 그러나 전년을 볼때에는 NO₃⁻와 SO₄²⁻ 비는 27.5:72.5로 국내의 연구 결과(구자공 외, 1993)와 비교해 볼때 거의 비슷한 경향을 보였다. 따라서 NO₃⁻와 SO₄²⁻의 구성비는 본 연구대상지역인 고산지역(소백산)이나 대도시(대전)가 NO₃⁻ 보다 SO₄²⁻가 높게 나타난 점을 볼때, 산업 활동이 활발한 우리나라의 전반적인 오염 추세를 잘 나타내 주었으며, 또한 강수의 pH를 저하시키는데 SO₄²⁻의 기여도가 약 2-3 배 크게 작용된 것으로 보인다.

채수된 전 시료의 분석 결과에 대한 신뢰성 검토를 위하여 수소이온농도를 포함한 양이온의 총합과 F⁻를 제외한 음이온의 총합비로 계산해 본 결과 1.02로 비교적 신뢰성이 높은 것으로 판단되었다.

그림 2는 표 2를 근거로 음이온의 월 평균 변화 추세를 보인것이다. F⁻는 1월과 10월에는 전혀 검

Table 2. Monthly and seasonal mean values of precipitation components.

Month	pH	Conductivity ($\mu\text{S/cm}$)	Anion ($\mu\text{eq/l}$)				Cation ($\mu\text{eq/l}$)				
			F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
1	4.57	13.8	0.0	71.2	37.2	73.3	44.9	34.5	13.8	4.6	28.7
2	4.99	12.2	10.8	20.3	56.6	131.0	38.7	86.6	11.2	5.5	78.6
3	4.98	7.1	158.4	45.1	22.9	197.3	51.3	61.7	17.7	23.0	84.0
4	6.03	21.1	44.0	89.3	201.4	760.4	142.4	338.4	46.9	71.8	742.9
5	4.99	21.2	21.1	45.3	137.9	452.4	70.4	125.6	15.3	19.5	83.6
6	6.14	13.3	36.4	56.9	126.1	275.2	77.3	274.4	36.2	39.3	86.6
7	5.18	12.4	25.8	47.1	92.7	199.4	99.1	126.0	13.3	37.2	75.6
8	5.25	16.4	46.2	65.6	49.9	178.1	40.8	116.2	15.2	5.7	61.4
9	5.00	10.0	18.6	37.4	65.2	213.2	44.0	26.0	9.3	38.4	66.9
10	4.01	12.4	0.0	154.9	111.5	200.6	158.7	125.6	24.1	41.0	126.5
11	4.58	21.1	54.9	107.1	140.4	294.9	146.7	101.6	45.1	42.0	109.5
12	5.38	13.3	71.4	50.5	158.9	253.7	63.1	145.5	35.6	20.8	138.1
Winter	5.27	13.2	58.6	47.6	137.2	225.5	58.6	130.4	30.9	17.7	123.0
Spring	5.23	20.8	30.4	55.7	149.7	517.9	86.9	174.0	22.8	32.0	239.2
Summer	5.41	14.3	36.7	57.0	81.6	206.3	69.9	153.0	18.9	24.3	71.9
Autumn	4.90	10.9	19.9	50.6	73.8	218.1	59.4	38.4	12.9	38.8	74.1

출되지 않은 반면 3월에 158.4 $\mu\text{eq/l}$ 로 매우 높게 나타났는데, 이는 정확한 규명을 할 수는 없으나 3월의 시료가 적은 점을 볼때 강수량을 고려한 가중 평균 과정에서 타 월에 비해 다소 높게 나타난 것으로 보인다. Cl⁻는 비교적 고른 추세를 보이나 10월과 11월에 높게 나타났다. NO₃⁻는 4월에 201.4 $\mu\text{eq/l}$ 로 가장 높은 값을 보였으며, 3월에 22.9 $\mu\text{eq/l}$ 로 가장 낮게 나타났다. 또한 SO₄²⁻는 4월에 760.4 $\mu\text{eq/l}$ 로 가장 높았으며, 1월에 73.3 $\mu\text{eq/l}$ 로 가장 낮게 나타났다. 음이온의 월 변화 추세를 보면 4

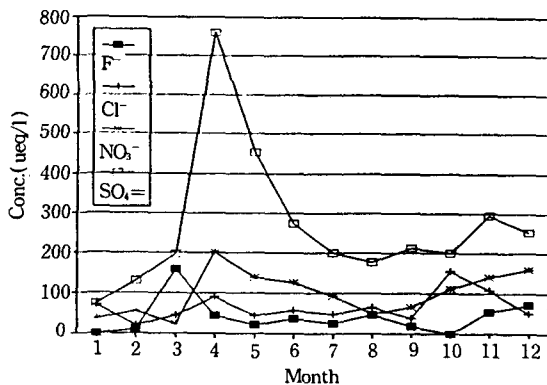


Fig. 2. Monthly mean variation of anions concentration.

월에 NO₃⁻와 SO₄²⁻가 높은 값을 보였는데, 이는 시료채수지점과 영주기상관측소의 기상현상을 볼 때 황사현상이 4월에 집중된 점으로 보아 인근 지역의 오염원이 아닌 중국이나 대도시에서 수송되어 온 것으로 생각된다.

그럼 3은 양이온의 월 평균 변화 추세를 보인 것이다. Na⁺는 4월, 10월, 11월에 각각 142.4 $\mu\text{eq/l}$, 158.7 $\mu\text{eq/l}$, 146.7 $\mu\text{eq/l}$ 로 타 월에 비해 2-4배 높은 값을 보였다. NH₄⁺는 4월에 338.4 $\mu\text{eq/l}$ 로 높은 값을 보였으며 9월에 26.0 $\mu\text{eq/l}$ 로 변화 폭이 매우 크게 나타났다. K⁺는 월 변화폭은 거의 나타나지

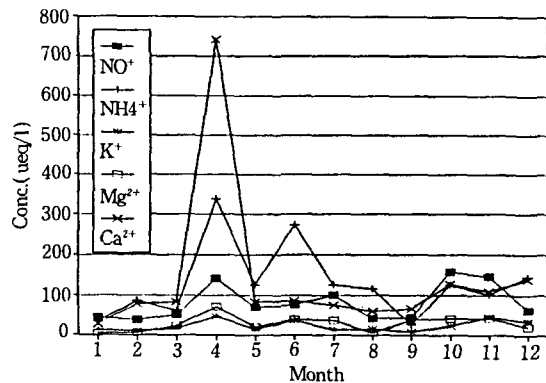


Fig. 3. Monthly mean variation of cations concentration.

않았으며, Mg^{2+} 도 월 변화 폭은 크게 나타나지 않았다. Ca^{2+} 는 4월에 $742.9\mu eq/l$ 로 매우 높은 값을 보인 반면 1월에 $28.7\mu eq/l$ 로 다른 양이온에 비해 현저한 변화폭을 보여 주었다.

그림 4는 계절에 따른 음이온의 농도 값을 보인 것이다. F^- 와 Cl^- 는 전반적으로 계절적인 특징은 나타나지 않았고 NO_3^- 는 봄과 겨울에 비슷한 추세를 보이며, 여름과 겨울에 낮은 추세를 보였다. SO_4^{2-} 는 현저한 차이를 볼 수 있는데 특히, 타 계절에 비해 봄에 2배 이상 높게 나타났다. 이는 인근지역에 인위적인 오염원이 없는 점으로 보아 기상자료의 고찰에서 알 수 있듯이 봄철에 황사현상이 집중되어 있기 때문에 중국의 영향이 있었던 것으로 생각된다.

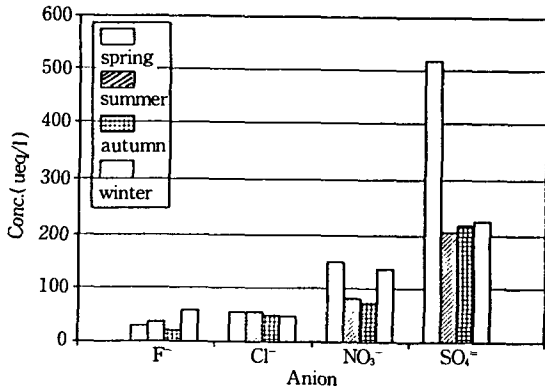


Fig. 4. Seasonal concentration variation for each anions.

그림 5는 계절에 따른 양이온의 농도값을 보인 것이다. Na^+ 는 계절에 따른 변화는 거의 없으며, NH_4^+ 는 타 계절에 비해 가을에 낮은 농도값을 보인 반면 토지의 경작이 활발한 봄에 가장 높게 나타났다. K^+ 와 Mg^{2+} 는 사 계절이 낮은 농도로 거의 비슷한 추세를 보이는데 이는 주로 지역적인 영향으로 생각된다. Ca^{2+} 는 봄 > 겨울 > 가을 > 여름 순으로 타 계절에 비해 봄에 현저히 높게 나타났다. 이는 음이온의 경우와 마찬가지로 황사현상으로 인한 것이거나 인근지역이 대부분이 석회석지역인 점으로 보아 지역적인 영향을 크게 받은 것으로 생각된다.

4.2 풍계 구분에 의한 강수 화학 특성

고산지역에서의 풍계 구분에 의한 자료 분석을 위하여 시료채수지점을 중심으로 북동(NE)과 남서(SW)를 축으로 하여 북풍 계열의 바람과 남풍

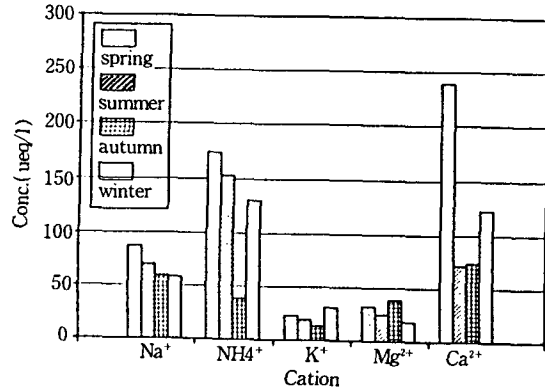


Fig. 5. Seasonal concentration variation for each cations.

계열의 바람으로 나누었다. 또한 강수시 북풍 계열의 주 풍향은 북서(NW) 또는 북북서(NNW)이며, 남풍 계열의 경우는 남동(SE) 또는 남남동(SSE)이었다. 따라서, 본 연구에서는 북풍 계열의 바람을 '북서풍(NW)', 남풍 계열의 바람을 '남동풍(SE)'으로 명기하였다.

그림 6은 풍계 구분에 의한 Na^+/Cl^- 비를 보인 것이다. 북서풍인 경우 Na^+/Cl^- 비는 1.34로 Na^+ 이 높게 나타난 반면에 남동풍인 경우는 0.99로 거의 일치하게 나타났다. 이는 바닷물에서의 비가 0.86(Brewer, 1975)보다 훨씬 높은 것으로 시료채수지점이 지리적으로 우리나라의 중부 내륙 지점에 위치하므로 거의 바다의 영향을 받지 않은 것으로 생각된다. 따라서 Na^+ 가 높은 이유는 인근 지역의 토양에서 비산된 Na_2SO_4 나 Na_2CO_3 등이 아닌가 생각된다.

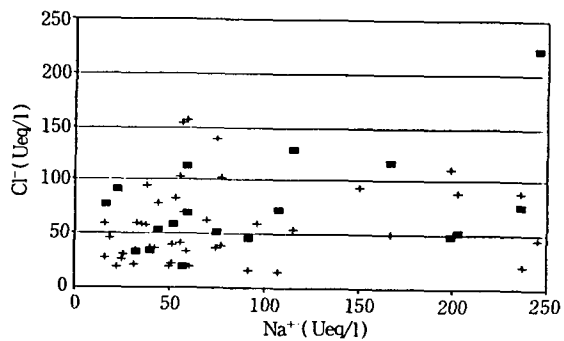


Fig. 6. Relationship between Na^+ and Cl^- concentration in rain water for north-westerly wind case (■) and south-easterly wind case(+).

그림 7은 pH와 강수량의 관계를 보인 것이다. 북

서풍인 경우나 남동풍인 경우 모두 강수량이 40mm 보다 적을때는 pH 값이 3.5-7.5로 넓은 분포를 볼 수 있으나 강수량이 증가함에 따라 pH는 4.5-5.5 사이에서 어느정도 일정한 값에 수렴하는 경향을 볼 수 있다. 이는 강수 초기에 강수 입자가 낙하하면서 대기중에 존재하는 황산염 또는 질산염과 같은 산성 오염 물질이 다량 wash out되어 pH가 낮게 측정되지만 강수가 지속되면서 대기는 점차 세정되어 강수 말기에는 pH가 높아진 것으로 생각된다. 또한 구름내에 존재하는 산성 오염 물질이 핵이 되어 우적의 성장 과정을 통해 rain out 작용으로 산성의 강수가 내리는데 강수 초기에는 인근 지역

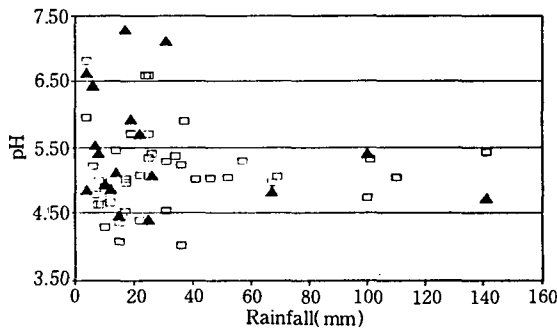


Fig. 7. Relationship between the rain water pH and the rainfall amount for north-westerly wind case(▲) and south-easterly wind case(□).

이 석회암지대인 점을 볼때 알칼리성 물질과 반응하여 pH가 높아지지만 점차 대기가 세정되어 일정한 pH를 유지한 것으로 보인다.

표 3은 풍계 구분에 의한 pH와 전기전도도의 범위별 빈도 분포를 보인 것이다. pH는 북서풍인 경우와 남동풍인 경우, 각각 강수량을 고려한 가중 평균 값이 각각 5.40, 5.24로 비교적 북서풍인 경우에 다소 높게 나타났다. 이는 남동쪽 방향에는 강수의 산성도를 중화시키는 Ca²⁺의 오염원이 거의 없는 반면 북서쪽 지점에는 시멘트공장이나 석회암 지대에서 비산된 것에 의해 강수를 중화 시켜다소 높아진 것으로 생각된다. 또한 남동쪽 방향에는 Ca²⁺의 배출원이 없음에도 불구하고 큰 차이가 없는 것은 표 4에 제시했듯이 NH₄⁺에 의한 것이 크게 작용된 것으로 보인다.

pH의 범위별 빈도 분포는 북서풍인 경우 pH 4.51-5.00 범위가 27.8%로서 가장 많은 빈도를 보인 반면, 남동풍인 경우는 pH 5.01-5.50이 37.8%로 가장 많은 빈도를 보였다. 그러나 전반적으로 볼 때 거의 비슷한 경향을 보였다. 전기전도도의 경우는 북서풍인 경우 40 μS/cm 이상이 1회도 측정된 바 없으나 강수시료수의 차이는 있으나 남동풍인 경우는 4회 측정되었다. 또한 평균 전기 전도도는 북서풍인 경우와 남동풍인 경우, 각각 15.9 μS/cm, 14.3 μS/cm로 거의 비슷하였다.

Table 3. Frequency number and rate of pH and conductivity range each other according to the wind case.

pH range	North-westerly wind case		South-easterly wind case		Conductivity range	North-westerly wind case		South-easterly wind case	
	N	%	N	%		N	%	N	%
> 4.00	0	0.0	0	0.0	> 10.0	5	27.8	16	35.6
4.00-4.50	2	11.1	6	13.3	10.0-20.0	6	33.3	15	33.3
4.51-5.00	5	27.8	13	28.9	20.1-30.0	3	16.7	6	13.3
5.01-5.50	4	22.2	17	37.8	30.1-40.0	4	22.2	4	8.9
5.51-6.00	3	16.7	5	11.1	40.1-50.0	0	0.0	2	4.4
6.01-6.50	1	5.6	0	0.0	50.1-60.0	0	0.0	1	2.2
6.51 <	3	16.7	4	8.9	60.1 <	0	0.0	1	2.2
Sum	18	100.1	45	100.0	Sum	18	100.0	45	99.9
Mean	5.40		5.24		Mean	15.9		14.3	

표 4는 풍계 구분에 의한 강수 시료중의 각 이온의 평균 농도값을 보인 것이다. 음이온의 경우, F⁻는 북서풍인 경우가 남동풍인 경우보다 약 3.5배 높게 나타났는데 이의 정확한 규명은 할 수 없으나 대도시인 서울이나 중국으로부터 장거리 수송된 것으로 보인다. Cl⁻와 SO₄²⁻는 두 경우 모두 비슷한

값을 유지하였으며, NO₃⁻는 북서풍인 경우에 23.6 μeq/l 더 높게 나타났다. 전반적으로 음이온은 북서풍인 경우 SO₄²⁻(49.3%)>NO₃⁻(23.9%)>Cl⁻(14.8%)>F⁻(12.0%)이며, 남동풍인 경우 SO₄²⁻(61.1%)>NO₃⁻(21.5%)>Cl⁻(13.5%)>F⁻(4.0%)로서 빈도수의 차이는 있으나 두 경우 모두 같

은 경향을 보였다. 또한 NO_3^- 와 SO_4^{2-} 의 자료만을 백분율로 환산해 보면 북서풍인 경우는 32.7 : 67.3이며, 남동풍인 경우는 26.0 : 74.0로서 남동풍인 경우보다 북서풍인 경우에 상대적으로 NO_3^- 가 높은 경향을 보이는데, 이는 강수 시료채수지점으로 부터 북서쪽으로 인천, 서울과 같은 대도시의 산업지역이나 자동차에서 배출된 오염물질이 남동쪽보다는 훨씬 많기 때문에 이 영향을 받은 것으로 생각된다. 양이온의 경우, Na^+ 는 북서풍인 경우가 $110.8 \mu\text{eq/l}$ 로 남동풍인 경우 보다 약 2배 높게 나타난 반면, NH_4^+ 는 남동풍인 경우가 다소 높게 나타났다. K^+

는 풍계 구분에 의한 차이가 거의 없으며, Mg^{2+} 는 $73.9 \mu\text{eq/l}$ 로 남동풍인 경우보다 약 5배 이상 높게 나타났다. 또한 Ca^{2+} 는 북서풍인 경우와 남동풍인 경우에 각각 $171.1 \mu\text{eq/l}$, $91.5 \mu\text{eq/l}$ 로 현저한 농도 차이를 볼 수 있다. 양이온의 전반적인 추세를 보면 북서풍인 경우에 $\text{Ca}^{2+}(34.6\%) > \text{NH}_4^+(24.2\%) > \text{Na}^+(22.4\%) > \text{Mg}^{2+}(14.9\%) > \text{K}^+(3.8\%)$ 순이며, 남동풍인 경우는 $\text{NH}_4^+(43.8\%) > \text{Ca}^{2+}(28.6\%) > \text{Na}^+(16.8\%) > \text{K}^+(6.3\%) > \text{Mg}^{2+}(4.5\%)$ 순으로 나타났다.

Table 4. The concentration and content percentage of anions and cations according to the wind case.

Case		North-westerly wind case		South-easterly wind case	
		Conc. ($\mu\text{eq/l}$)	Percent (%)	Conc. ($\mu\text{eq/l}$)	Percent (%)
Anion	F^-	54.8	12.0	16.0	4.0
	Cl^-	67.3	14.8	53.9	13.5
	NO_3^-	109.3	23.9	85.7	21.5
	SO_4^{2-}	224.8	49.3	243.5	61.0
Cation	Na^+	110.8	22.4	53.6	16.8
	NH_4^+	119.8	24.2	140.2	43.8
	K^+	18.9	3.8	20.1	6.3
	Mg^{2+}	73.9	14.9	14.4	4.5
	Ca^{2+}	171.1	34.6	91.5	28.6
N		18		45	

표 5는 통계 프로그램(SPSS)을 이용하여 북서풍일 경우에 pH, 전기전도도 및 이온 성분간의 상관성을 보인 것이다. pH와 각 이온간의 상관 관계는 대부분 정상관 관계를 보였으나 Ca^{2+} 를 제외하고 상관성은 0.5이하로 낮게 나타났으며, F^- 와는 역상관 관계를 보였다. 특히 pH를 좌우하는 것으로 보고된 바 있는 H_2SO_4 나 HNO_3 와 같은 산의 존재중 SO_4^{2-} 및 NO_3^- 가 극히 일부이며(신응배 외, 1986), 이들 이온들은 여러가지 염의 형태로 존재하기 때문에 뚜렷한 경향을 보이지 않은 것으로 생각된다. 음이온 중 NO_3^- 는 양이온 $\text{Na}^+(0.65)$, $\text{K}^+(0.90)$, $\text{NH}_4^+(0.64)$, $\text{Mg}^{2+}(0.61)$, $\text{Ca}^{2+}(0.77)$ 와 SO_4^{2-} 는 양이온 $\text{Na}^+(0.62)$, $\text{K}^+(0.91)$, $\text{NH}_4^+(0.81)$, $\text{Mg}^{2+}(0.64)$, $\text{Ca}^{2+}(0.95)$ 와 비교적 상관성이 높게 나타났다. 또한 NO_3^- 와 Na^+ 의 상관성을 제외하고는 SO_4^{2-} 와 양이온의 상관성이 다소 높은 것으로 나타났다.

표 6은 남동풍일 경우에 상관성을 보인 것으로

북서풍일 경우와 마찬가지로 pH와 각 이온간의 상관성은 거의 없는 것으로 나타났다. 음이온 중 SO_4^{2-} 는 양이온 $\text{Na}^+(0.62)$, $\text{K}^+(0.65)$, $\text{NH}_4^+(0.57)$, $\text{Mg}^{2+}(0.47)$, $\text{Ca}^{2+}(0.60)$ 와 비교적 상관성이 낮게 나타났다. 또한 몇몇 경우를 제외하고는 남동풍인 경우 보다는 북서풍인 경우에 모든 이온간의 상관성이 높게 나타났다.

대기중 각종 오염 물질은 매우 다양하고 강수중의 농도에 직접적으로 영향을 미치며 시료 채수 기간 동안 풍향, 풍속 등의 기상 요소와 시료 채수 지점의 주변 환경 등도 강수 농도의 큰 변화 요인으로 작용하기 때문에 단순히 상관 관계로 모든 사실을 규명하기는 어려우나 보다 많은 자료가 축적되면 많은 현상이 설명이 가능하리라 생각된다. 또한 현 시료채수지점이 해발 1,340m의 고산지역으로 안개가 년 평균 229일이고, 강수시 빈번하게 하층운이 생기므로 안개나 구름의 화학적인 분석을 실시하면 보다 좋은 결과를 얻으리라 생각된다.

Table 5. Matrix of correlation coefficients for each items according to north-westerly wind case.

	pH	Cond.	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
pH	1.0000										
Cond.	.1744	1.0000									
F ⁻	-.2856	-.1238	1.0000								
Cl ⁻	.2103	.3992	.1204	1.0000							
NO ₃ ⁻	.3276	.5518*	-.1277	.4724	1.0000						
SO ₄ ²⁻	.4835	.5625	-.1605	.6505*	.9034**	1.0000					
Na ⁺	.4579	.2810	-.0867	.4622	.6456*	.6169*	1.0000				
K ⁺	.1990	.4270	-.1203	.4877	.9014**	.9108*	.5135	1.0000			
NH ₄ ⁺	.2006	.4195	.1076	.5982*	.6412*	.8068**	.3586	.7595**	1.0000		
Mg ²⁺	.3175	.6139*	-.1930	.4604	.6092*	.6403*	.6944**	.5205	.4438	1.0000	
Ca ²⁺	.5704*	.5835*	-.1470	.5975*	.7731**	.9465**	.5955*	.8074**	.8070**	.6815**	1.0000

/ tailed significant : * -.01, ** -.001

Table 6. Matrix of correlation coefficients for each items according to south-easterly wind case.

	pH	Cond.	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
pH	1.0000										
Cond.	.0848	1.0000									
F ⁻	-.1492	-.1142	1.0000								
Cl ⁻	-.1260	.1996	.3155	1.0000							
NO ₃ ⁻	.0175	.4750**	.0747	.4703**	1.0000						
SO ₄ ²⁻	.0548	.4500**	.2399	.5783**	.7672**	1.0000					
Na ⁺	.1499	.2939	.3561*	.6751**	.3084	.6147**	1.0000				
K ⁺	.0376	.4018*	.1420	.3095	.8738**	.6493**	.1974	1.0000			
NH ₄ ⁺	.0390	.2380	.3227	.6519**	.4962**	.5710**	.6282**	.4623**	1.0000		
Mg ²⁺	.2112	.3484*	.1465	.2636	.2328	.4683**	.7457**	.2170	.4053*	1.0000	
Ca ²⁺	.4197*	.5131**	-.0324	.2745*	.3127	.5958**	.7011**	.2372	.3916**	.7660**	1.0000

#. tailed significant : * -.01, ** -.001

5. 결 론

오염원이 비교적 없는 고산지역에서 1991년 5월부터 1993년 12월까지 채수된 70개의 강수 시료와 풍계를 구분하여 강수 특성을 분석·고찰해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 전 강수 시료의 평균 pH는 5.26, 전기전도도는 14.3 μS/cm이며, pH와 전기전도도의 값을 계절별로 보면 겨울에 5.27, 13.2 μS/cm, 봄에 5.23, 20.8 μS/cm, 여름에 5.41, 14.3 μS/cm⁻¹, 가을에 4.90, 10.9 μS/cm로서 가을에 pH와 전기전도도 값이 가장 낮게 측정된 반면, 강우량이 많은 여름에 pH는 가장 높게 측정되었다.

2) 풍계 구분에 의한 Na⁺/Cl⁻비는 북서풍인 경우 1.34로 Na⁺ 이온이 높게 나타난 반면에 남동풍인 경우는 0.99로 나타났다. 이는 바다물에서의 비

가 0.86(Brewer,1975)보다 훨씬 높은 것으로 시료 채수 지점이 지리적으로 우리나라의 중부 내륙 지점에 위치하므로 거의 바다의 영향을 받지 않은 것으로 생각된다.

3) 풍계 구분에 의한 pH는 북서풍인 경우와 남동풍인 경우, 각각 5.40, 5.24로 비교적 북서풍인 경우에 다소 높게 나타났다. 이는 남동쪽 방향에는 강수의 산성도를 중화시키는 Ca²⁺의 오염원이 거의 없는 반면, 북서쪽 지점에는 시멘트 공장이나 석회암 지대에서 비산된 것에 의해 강수를 중화시켜 다소 높아진 것으로 생각된다.

4) 풍계 구분에 의한 음이온의 전반적인 경향은 북서풍일 경우 SO₄²⁻(49.3%)>NO₃⁻(23.9%)>Cl⁻(14.8%)>F⁻(12.0%)이며, 남동풍일 경우는 SO₄²⁻(61.1%)>NO₃⁻(21.5%)>Cl⁻(13.5%)>F⁻(4.0%)로서 빈도 수의 차이는 있으나 두 경우 모

두 같은 경향을 보였다.

5) 풍계 구분에 의한 양이온의 전반적인 경향은 북서풍일 경우는 Ca^{2+} (34.6%)> NH_4^+ (24.2%)> Na^+ (22.4%)> Mg^{2+} (14.9%)> K^+ (3.8%) 순이며, 남동풍일 경우는 NH_4^+ (43.8%)> Ca^{2+} (28.6%)> Na^+ (16.8%)> K^+ (6.3%)> Mg^{2+} (4.5%) 순으로 나타났다.

6) 통계 프로그램(SPSS)를 이용하여 이온 성분 간의 상관성을 본 결과 pH와 각 이온 간의 상관 관계는 Ca^{2+} 를 제외하고는 0.5이하로 낮게 나타났으며, SO_4^{2-} 는 Na^+ (0.62), K^+ (0.91), NH_4^+ (0.81), Mg^{2+} (0.64), Ca^{2+} (0.95)와 비교적 상관성이 높게 나타났다. 또한 몇몇 경우를 제외하고는 남동풍일 경우 보다는 북서풍일 경우에 모든 이온 간의 상관성이 높게 나타났다.

현재, 소백산기상관측소에서는 안개/구름 포집기를 제작하여 시험 가동중으로 안개 및 구름 성분 자료가 축적되면 좀 더 좋은 결과를 얻을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 강공언, 강병욱, 김희강(1992) 해안지역과 도시지역 강수의 화학적 성상에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 8(3) 191-197.
- 구자공, 박경렬(1993) 대전지역 산성 강우의 화학적 특성에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 9(2) 147-153.
- 박성배 외 5인(1989) 서울지역의 산성 강우 현상에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 5(2) 42-54.
- 손동현, 양성철(1985) 서울시의 산성 물질 강하 현상에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 1(1) 33-41.
- 송기형, 박용남, 정용승(1992) 충청북도 농촌 지역의 강수의 산성도에 대한 기초 조사, 한국대기보전학회지, 8(1) 38-44.
- 신웅배, 이상권, 안규홍(1986) 서울시 산성비의 원인 물질에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 2(2) 66-74.
- Baron J. and Scott Denning(1993) The influence of mountain meteorology on precipitation chemistry at low and high elevations of the Colorado Front Range, Atmos. Environ., 27A(15), 2337-2349.
- Brewer P.G(1975) Minor elements in sea water, In Chemical Oceanography, Vol.1 417 Academic Press, New York.
- Camarero L. and Jordi Catalan(1993) Chemistry of bulk precipitation in the central and eastern Pyrenees North Spain, Atmos. Environ., 27A(1), 83-94.
- Singer A. et al.(1993) Acid rain on Mt Carmel Israel, Atmos. Environ., 27A(15), 2287-2293.
- World Meteorological Organization(1978) International observation handbook for measurement of background atmospheric pollution. No. 491, 1-5. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- Yoon S.H(1991) Study of acid rain in the Changbaishan area(Bakdoo Mountain), Emerging issue in Asia. Proceedings of the 2nd IUAPPA regional conference on air pollution, Vol. 2.