

삼척지역 우수의 이온성분농도에 관한 연구

A Study on the Ionic Components of Rain Water in Samchok-City Area

이 승 일* · 김 승 호** · 조 기 철 · 김 희 강

* 경주전문대학 환경공업과

** 삼척산업대학교 환경공학과

건국대학교 환경공학과

(1995년 4월 21일 접수, 1995년 12월 20일 채택)

S. I. Lee, S. H. Kim, K. C. Cho, H. K. Kim

* Dept. of Environmental Technology, Kyung-Ju College

** Dept. of Environmental Engineering, Sam-chok Polytechnic University

Dept. of Environmental Engineering, Kun-Kuk University

Abstract

In order to investigate the chemical components of acid precipitation at Samchok City in Korea, the rainwater was collected according to 3mm rainfall from september 1994 to december 1994. pH, electric conductivity were measured and ionic components were analyzed by Ion chromatography.

As the analytical results, the average value were 6.27 for pH, 53.16 S/cm for E.C., the average concentration were 393.42 eq/l for Cl^- , 18.41 eq/l for NO_3^- , 91.44 eq/l for SO_4^{2-} , 335.92 eq/l for Na^+ , 65.66 eq/l for NH_4^+ , 18.12 eq/l for K^+ , 120.49 eq/l for Mg^{2+} and 147.04 eq/l for Ca^{2+} . pH value correlated negatively with rainfall amount and the component of Cl^- and Na^+ were transported to urban air by the seasalt

It showed that SO_4^{2-} and NO_3^- had influence on acidity of precipitation, 73% and 27%, respectively, in this area. Ion Concentration of NO_3^- was higher than SO_4^{2-} in the early rain, SO_4^{2-} was higher than NO_3^- in the succeeding rain by multi-regration analysis. The percentages of removal by precipitation were higher in NO_3^- than in SO_4^{2-} .

1. 서 론

강수는 지표면으로 강하하는 동안 대기중 가스상 및 입자상 오염물질을 세정하므로써 대기를 정화하는 자정 역할을 수행하는 반면, 대기 중의 오염물질을 토양, 수계 등에 유입시켜 환경에의 악영향을 끼치기도 한다. 특히 주로 인위적인 발생원인 화석연료의 연소배가스 중에 함유된 황산화물, 질소산화물 및 탄화수소가 강수중에서

황산, 질산 및 유기산으로 변환되거나 자연적인 발생원인 해염입자에 의해 기여된 염화물이 강수중에서 염산으로 변환되어 생성된 (Bette, 1981; 原宏, 1991) pH 5.6 이하의 산성우는 많은 연구의 대상이 되어 왔으며, 우리나라에서도 여러 방면으로 연구가 진행되고 있다 (임재현 등, 1995). 이러한 산성우 문제는 대기오염물질의 장거리 이동 현상으로 오염물질의 배출원 지역과 그 영향을 받는 지역이 서로 다르기 때문에 더욱더 많은 관심의 대상이 되고 있으며 (Hitoshi et al., 1990, 과학

기술처, 1989; 과학기술처, 1990) 지역마다 산성우의 특성이 다르게 나타나고 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 점을 감안하여 서쪽으로는 태백산맥, 남쪽으로는 시멘트 공장과 동쪽으로는 바다에 접해 있는 삼척시 지역에 대해 1994년 9월 16일부터 11월 13일 까지 총 8회 걸쳐 내린 강수를 포집하여 성분분석을 실시함으로써 이 지역에 있어서의 강우 특성에 대해서 살펴 보았다.

2. 시료채취 및 분석방법

2.1 시료채취

시료채취지점은 강원도 삼척시 소재, 삼척산업대학교 공과대학 건물옥상으로서 이 지점은 동해안으로부터 직선거리 약 500 m 떨어진 언덕위에 위치하고 있다.

채취기간은 1994년 9월 16일 부터 11월 13일 까지이며, 채취기간중 총 8회 걸쳐 내린 강수를 강수시마다 직접 제작한 반자동 산성우채취기를 이용하여 3 mm단위로 분리 채취하였으며 6 mm까지의 강우량을 초기강우로 하였고 7 mm 이상부터는 후속강우로 분리하였다.

2.2 분석방법

실험실로 운반된 강수시료는 pH와 전기전도도 (electric conductivity)를 즉시 측정된 후 Pore size 0.45 μm의 Glass fiber filter (Millipore사제 model 04700)로 여과한 후 4 °C의 냉장고에 보관하였으며, 보관 개시 후 2일 이내에 성분분석을 실시하였다.

성분분석은 Cl⁻, NO₃⁻ 및 SO₄²⁻의 음이온과 NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺ 및 Ca²⁺의 양이온 등 총 10가지의 항목에 걸쳐 실시하였다. 전 항목 모두 기기분석으로 실

시하였으며, 이때 사용된 분석방법 및 기기는 표 1에 나타내었다.

또한, Ion Chromatography법에 의한 분석조건은 음이온의 경우 표준용액과 시료 10 ml에 180 mM Na₂CO₃-170 mM NaHCO₃ 혼합액을 각각 100 μl씩 Microsyringe로 가하여 용리액과 같은 농도로 한 후 약 10 ml를 Filter를 통하여 IC에 직접 주입하였다.

측정조건은 분리컬럼 4 mm×250 mm (IonPac model AS4A-SC), Micromembrane Suppressor, 용리액 1.8 mM Na₂CO₃-1.7 mM NaHCO₃, 용리액 유량 2 ml/min으로 실시하였다.

양이온의 경우도 약 10 ml의 시료를 Filter를 통하여 IC에 직접 주입하였다. 측정조건은 분리컬럼 4 mm×250 mm (IonPac model CA12), Micromembrane Suppressor, 용리액 1.2 mM Methane Sulfonic Acid (MSA), 용리액유량은 1 ml의 조건하에서 실시하였다. 또한, Sample Loop용량은 음이온 및 양이온 모두 50 μl로 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 강우의 산성도 특성

조사기간 중 삼척시에서 강우량 1 mm를 넘는 강우는 8회 (초기강우의 시료수), 또 강우량 7 mm을 넘는 강우 (후속강우)는 총 5회 이었다. 본 연구기간 중에 채취한 강우중의 pH, E.C. 및 각 이온성분의 평균 농도를 초기 강우, 후속 강우, 전 강우로 나누어 표 2에 나타내었다.

삼척지역의 전 pH는 6.27로 임재현 (1994)이 조사한 강화 5.37, 양양 5.11, 서울 5.4보다 다소 높은 값을 나타내었는데 이는 채취지점 인근에 연간 1100만톤 규모의 시멘트 공장으로부터 배출되는 칼슘화합물 등 알칼리성분의 비산먼지에 의해 강우가 알칼리화 되는 가능성이 크기 때문인 것으로 사료된다. 또한 초기강우의 pH는 5.11~10.01 (평균 7.02)인데 반하여 후속강우는 4.84~6.89 (평균 6.04)로 전자보다도 편차가 작게 나타나 대기중의 산성물질 (H₂SO₄, HNO₃ 등)이나 알칼리성 물질 (CaCO₃ 등)은 초기강우에 의해 대부분 제거되고 있음을 알 수 있다.

초기강우의 평균 pH 7.02와 후속강우의 평균 pH 6.04와의 유의차를 확인하기 위한 t-검정결과, 초기강우와 후속강우의 pH의 평균치는 5%의 유의 수준에서 유의차는 확인되지 않았다. 이는 초기강우는 주로 NH₄⁺ 이온 ((NH₄)₂SO₄, NH₄NO₃)과 중성성분 (NaCl,

Table 1. Analytical method and instrument.

Parameter	Analytical method	Analytical instrument
pH	Electrode method.	pH Meter (model D-13, Horiba, Japan)
E.C.	Electrode method.	E.C. Meter (model E-12, Horiba, Japan)
Cl ⁻ , NO ₃ ⁻	Ionchromatography m.	Ionchromatography (model DX-300, Dionex, U.S.A.)
SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺		
Na ⁺ , K ⁺		
Mg ²⁺ , Ca ²⁺		

* E.C.: Electric conductivity

Table 2. The results of rain waters in Samchok-city

Code	pH	Cond ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	H $\mu\text{eq}/\text{l}$	Cl $\mu\text{eq}/\text{l}$	NO_3 $\mu\text{eq}/\text{l}$	SO_4 $\mu\text{eq}/\text{l}$
Tavg	6.27	53.16	0.54	393.42	18.41	91.44
Tmin	4.84	4.00	14.45	0.00	3.87	14.71
Tmax	10.01	239.00	0.00	1205.46	197.98	476.35
TEavg	7.02	83.00	0.85	506.64	38.54	155.03
TEmin	5.11	12.80	7.76	23.04	5.95	35.08
TEmax	10.01	239.00	0.00	1205.46	197.98	476.35
TSavg	6.04	42.91	1.64	357.40	12.00	72.65
TSmin	4.84	4.00	0.13	0.00	3.87	14.71
TSmax	6.89	191.30	14.45	932.87	39.45	205.98
Code	NH_4 $\mu\text{eq}/\text{l}$	Na $\mu\text{eq}/\text{l}$	K $\mu\text{eq}/\text{l}$	Mg $\mu\text{eq}/\text{l}$	Ca $\mu\text{eq}/\text{l}$	T-A $\mu\text{eq}/\text{l}$
Tavg	65.66	335.92	18.12	120.49	147.04	503.27
Tmin	1.83	0.48	3.86	0.00	8.08	18.58
Tmax	206.28	842.00	53.48	521.81	957.41	1879.80
TEavg	81.63	399.36	26.90	300.61	193.10	700.21
TEmin	21.28	44.04	7.72	0.00	8.08	64.08
TEmax	171.83	782.74	53.48	521.81	957.41	1879.80
TSavg	60.47	315.73	15.32	97.79	59.29	442.06
TSmin	1.83	0.48	3.86	17.96	13.47	18.58
TSmax	206.28	842.00	49.80	305.19	168.58	1178.20
Code	T-C $\mu\text{eq}/\text{l}$	TA/TC	nss- SO_4	nss- Ca	nss- SO_4/SO_4	nss- Ca/C
Tavg	687.77	0.73	50.80	131.93	0.56	0.90
Tmin	28.71	0.65	14.65	8.06	1.00	1.00
Tmax	2580.97	0.73	374.47	919.52	0.79	0.36
TEavg	1002.45	0.70	106.71	282.64	0.69	0.94
TEmin	88.89	0.72	29.75	6.10	0.85	0.75
TEmax	2487.27	0.76	381.64	922.18	0.80	0.96
TSavg	550.25	0.80	34.45	45.08	0.47	0.76
TSmin	37.71	0.49	14.65	13.44	1.00	1.00
TSmax	1586.29	0.74	103.99	130.69	0.51	0.78

CaSO_4 ; $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ 을 포함하고, pH는 NH_4^+ 와 SO_4^{2-} , NO_3^- 의 관계에 의해 결정되는 반면, 후속강우는 rainout에 의해 강우가 산성화되지만 대기 중의 NH_3 에 의해 중성화 되고 pH도 초기강우와 똑같이 NH_4^+ 와 SO_4^{2-} , NO_3^- 의 관계에 의해 결정되기 때문에 초기강우와 후속강우의 pH의 평균치의 차가 확인되지 않은 것으로 사료된다(松木光弘, 1985).

3.2 강우의 이온조성

강우중 이온성분의 당량조성을 초기강우, 후속강우 그리고 전강우로 나누어 그림 1에 나타내었다. 그림에서

초기강우의 총 양이온 농도(T-C)와 음이온 농도(T-A)가 1002.45 $\mu\text{eq}/\text{l}$ 와 700.21 $\mu\text{eq}/\text{l}$ 로 후속강우의 550.25 $\mu\text{eq}/\text{l}$ 과 442.06 $\mu\text{eq}/\text{l}$ 보다 높게 나타난 것으로 보아 대기중의 오염물질이 초기강우에 의해 제거되고 있음을 확인시켜 주고 있다.

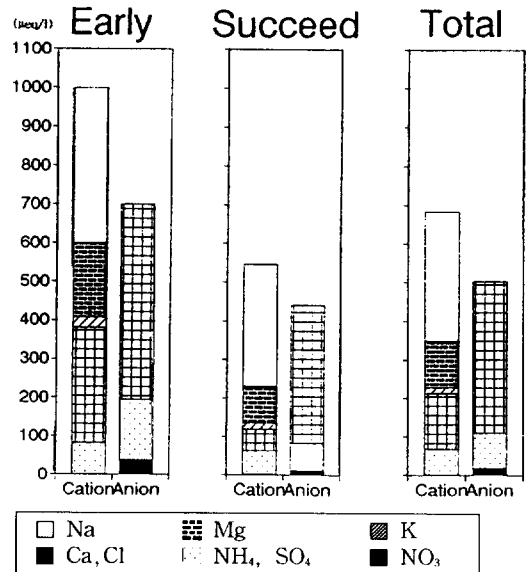


Fig. 1. Ionic composition of rain waters.

그림 1을 보면 음이온 성분과 양이온 성분과의 이온발란스가 잘 일치하지 않는데 이것을 통해 삼척지역에서 채취된 강우에는 본 실험에서 분석되지 않는 유기산, HCO_3 , Br, F 같은 물질들이 다량 함유되어 있으리라 사료된다. 또한 우수중의 Cl/Na^+ 비와 해수중의 (Cl/Na^+) ss의 비가 1.01로 나타나 인위적 영향으로 생성된 nss- SO_4^{2-} 나 nss- Ca^{2+} 의 평가가 타당하다고 할 수 있다.

인위적인 발생원에 의해 기인된 Ca^{2+} 의 농도(nss- Ca^{2+})는 131.93 $\mu\text{eq}/\text{l}$ (전체 Ca^{2+} 농도의 90%)로 임재현이 조사한 강화, 양양, 서울보다도 3~5배 정도 높게 나타났는데 이는 앞에서 설명한 것과 같이 시멘트 공장이 주원인인 것으로 생각된다.

강우의 산성도를 결정하는 중요한 산성물질로 여겨지는 질산염과 황산염이 pH에 어느 정도 기여하는지 조사하기 위해 $\text{nss-SO}_4^{2-}/(\text{nss-SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-)$ 의 값을 구하였다. 표 3에서와 같이 황산염이 강우의 산성도에 미치는 정도는 73%로 질산염(강우의 산성도에 미치는 정도 27%)보다 강우의 산성도에 더 큰 영향을 미치는 것

으로 나타났다. 강우의 산성도를 중화시키는 물질인 NH₄⁺와 Ca²⁺를 비교해 보면 Ca²⁺/(Ca²⁺+NH₄⁺)의 비가 0.69로 강화, 양양, 서울에서 나타난 바와는 달리 NH₄⁺보다는 Ca²⁺에 의해 강우의 중성화가 이루어짐을 알 수 있다.

Table 3. The ratio of ionic components.

Ratio	Total	Early	Succeed
(Cl ⁻ /Na ⁺)/(Cl ⁻ /Na ⁺) _{ss}	1.01	1.08	0.97
nss-Ca ²⁺ /Ca ²⁺	0.90	0.94	0.76
nss-SO ₄ ²⁻ /SO ₄ ²⁻	0.60	0.69	0.47
nss-SO ₄ ²⁻ /(nss-SO ₄ ²⁻ +NO ₃ ⁻)	0.73	0.74	0.74
Ca ²⁺ /(Ca ²⁺ +NH ₄ ⁺)	0.69	0.79	0.50
NH ₄ ⁺ /(NO ₃ ⁻ +nss-SO ₄ ²⁻)	0.95	0.56	1.3
Ca ²⁺ /(NO ₃ ⁻ +nss-SO ₄ ²⁻)	2.13	2.07	1.28

3.3 강우에 의한 각 성분의 제거율

초기강우와 후속강우의 평균농도에 의한 각 이온성분의 제거율의 결과를 표 4에 나타내었으며 아래의 식에 의해 제거율은 구하여 졌다.

$$\text{제거율(\%)} = \frac{[Mi]_E - [Mi]_S}{[Mi]_E} \times 100$$

[Mi]_E ; 초기강우중의 i 성분 농도

[Mi]_S ; 후기강우중의 i 성분 농도

강우에 의한 각 성분의 제거율은 표 4에 나타난 것과 같이 Ca²⁺>NO₃⁻>SO₄²⁻>Mg²⁺>K⁺>Cl⁻>NH₄⁺>Na⁺의 순이고 강우의 pH의 변화에 영향을 주는 Ca²⁺, NO₃⁻, SO₄²⁻의 성분들은 제거율이 좋은 것을 알 수 있다. 또 SO₄²⁻보다도 NO₃⁻의 제거율이 좋은 것은 두 성분 모두 대부분 입자로서 존재하는데 SO₄²⁻가 미세 입자인 (NH₄)₂SO₄를 주체로 하는 반면 NO₃⁻는 이산형의 분포(S. Kadowaki, 1976)를 하고 있고 조대입자의 영역에 많이 존재하고 있기 때문으로 사료되며, 이러한 NO₃⁻와 조대입자영역에 많이 존재하고 있는 Ca²⁺(構畑郎, 1980)는 초기강우에, SO₄²⁻는 후속강우에 많이 제거되어 각각 H⁺농도에 영향을 미치는 것으로 생

각된다.

3.4 강우특성의 통계적 해석

3.4.1 강우성분의 중화귀분석 결과

강우의 pH를 저하시키는 원인물질을 추정하기 위한 방법으로서 H⁺와 다른 성분과의 상관계수를 이용하는 방법이 널리 사용되고 있는데 예를 들어 水上和子 등(1978)에 의하면 일본의 奇玉縣은 NO₃⁻와 SO₄²⁻가 H⁺와 높은 상관을 나타나는 것을 보고 NO₃⁻와 SO₄²⁻가 pH를 저하시키는 원인물질이라고 추정하고 있다. 본 조사에서 얻어진 초기우수 및 후속우수의 H⁺와 각 우수성분의 상관계수를 표 5에 나타내었다.

초기강우에서는 H⁺이 SO₄²⁻, NO₃⁻에 양의 상관을 나타내었으며 SO₄²⁻보다 NO₃⁻가 더 높은 상관을 나타내 초기강우시는 SO₄²⁻보다는 NO₃⁻가 H⁺의 농도를 증가시키는 데 더 큰 역할을 하는 것을 알 수 있으며, 또한 초기강우시 H⁺와 가장 강한 상관성을 갖는 것은 Ca²⁺로 H⁺농도를 저하시켜 초기강우의 pH가 높게 나타나게 됨을 알 수 있다. 후속강우에서는 NO₃⁻보다 SO₄²⁻가 H⁺와 더 높은 양의 상관을 나타내 초기 강우시와는 달리 H⁺의 농도 증가의 기여에 있어서 SO₄²⁻의 기여가 더 큰 것을 알 수 있고, 한편 Ca²⁺는 H⁺와 음의 상관이 높게 나타나 H⁺농도를 저하시키는 주요 성분임을 알 수 있다. H⁺와의 상관관계에서 음의 상관이 높게 나타난

Table 5. Correlation coefficient between H⁺ concentration and ionic concentration in rain waters.

	Correlation Coefficient	
	early	succeed
Cl ⁻	0.1952	0.2113
NO ₃ ⁻	0.1606	0.1678
SO ₄ ²⁻	0.1307	0.2058
NH ₄ ⁺	0.1152	-0.0230
Na ⁺	0.0853	0.2658
K ⁺	-0.2257	0.1263
Mg ²⁺	-0.1717	-0.0212
Ca ²⁺	-0.5335	-0.3985

Table 4. Percentage of removal of ionic components estimated by the early and succeeding rain waters.

	i-components							
	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
[Mi] _E	506.64	38.54	155.03	81.63	399.36	26.90	193.10	300.61
[Mi] _S	357.40	12.00	72.65	60.47	315.73	15.32	97.79	59.29
P.R. (%)	29.46	68.86	53.13	25.93	20.94	43.04	49.36	80.28

Ca²⁺의 경우를 초기와 후속성분으로 비교해 볼 때 후속 강우보다 초기강우시에 더 높은 음의 상관성이 나타난 것으로 보아 삼척지역의 pH를 높이는 Ca²⁺ 성분은 초기강우시 대부분 제거됨을 알 수 있다.

3. 4. 2 강우성분의 주인자분석 결과

여러개의 변수들을 동질적인 몇 개의 요인으로 묶어줌으로써 변수들내에 존재하는 상호 독립적인 특성을 발견하기 위해 삼척시에서 포집한 우수를 초기우수와 후속우수로 나누어 주인자분석을 실시하였으며, 분석한 9종의 이온성분농도를 변량으로 상관행렬에 의해 얻어진 고유치, 고유벡터 및 인자부하량을 표 6에 나타내었다. 각 우수의 고유치는 제1주성분 F1이 5.81, 제2주성분 F2가 1.66으로 F1이 전체분포에 64.6%, F2가 18.5%의 기여율을 나타내 총 83.1%의 누적기여율이 얻어졌기 때문에 본 실험에서 분석한 9종의 변량은 거의 2개의 주성분으로 지표화 할 수 있는 것으로 생각된다.

Table 6. Principal component analysis relating to dissolved ionic concentration in rain waters.

	Eigen vector		Factor loading	
	F1	F2	F _{1j}	F _{2j}
H ⁺	0.08863	0.81102	-0.02911	0.79815
Cl ⁻	0.97363	0.19136	0.94585	0.05001
NO ₃ ⁻	0.63372	-0.48880	0.70468	-0.58081
SO ₄ ²⁻	0.87878	-0.30209	0.92264	-0.42967
NH ₄ ⁺	0.85560	0.50507	0.78228	0.38086
Na ⁺	0.94627	0.17183	0.92132	0.03445
K ⁺	0.82215	-0.22867	0.85534	-0.34803
Mg ²⁺	0.90401	-0.10597	0.91939	-0.23721
Ca ²⁺	0.56332	-0.65319	0.65815	-0.73497
Eigen value	5.81	1.66		
C.C.R. (%)	64.6	83.1		

주인자분석법에 의해 얻어진 제1주성분 F1의 인자부하량 (Factor loading)은 H⁺ 이온만을 제외하고는 모두 양의 부호를 가지고 있어서 F1의 값은 어느 하나의 변량이 커지게 되어도 전체 F1의 값이 커지게 되기 때문에 F1은 강우의 종합적인 오염을 나타내는 인자로 사료되며 따라서 F1의 값이 커지게 되는 경우 강우는 오염도가 크다고 말할 수 있다. 제2주성분 F2의 인자부하량은 H⁺, Cl⁻, NH₄⁺ 및 Na⁺의 성분은 양의 부호를 나타낸 반면, NO₃⁻, SO₄²⁻, K⁺, Mg²⁺ 및 Ca²⁺ 성분은 음의 부호를 나타내었다. 이로 인해 양의 부호는 주로 해양기원의 성분으로 구성되어 있고, 음의 부호에는 비해양기원의 성분으로 구성되어 있어 F2는 강우의 이온성분의

발생원을 나타내는 인자로 사료된다. 즉 F2의 양의 값이 커지게 되면 해양기원의 성분에 의해 영향을 받고 음의 값이 커지게 되면 비해양기원의 성분에 의해 강우가 영향을 많이 받는 것으로 사료된다. 이렇게 강우가 2개의 주성분으로 지표화되고 F1이 강우의 종합적인 기여를 나타내는 인자로, F2가 강우의 이온성분의 발생원기여를 나타내는 인자로 한 경우는 松木光弘 등 (1985)의 연구에서도 확인 되어졌다.

위의 9개의 변량이 제1, 제2주성분에 대하여 어느정도 기여하고 있는가를 알기 위해 제1주성분 F1의 인자부하량을 횡축에, 제2주성분 F2의 인자부하량을 종축에 놓고 각 변량을 회전시킨 결과를 그림 2에 나타내었다. 그림에 의하면 삼척시의 강우는 NH₄⁺, Cl⁻, Na⁺와 SO₄²⁻, K⁺, NO₃⁻로 크게 나누어졌으며 하나의 무리는 해양기원의 물질로, 다른 하나의 무리는 비해양기원의 물질로 강우의 산성도를 높이는 무리로 나타났다.

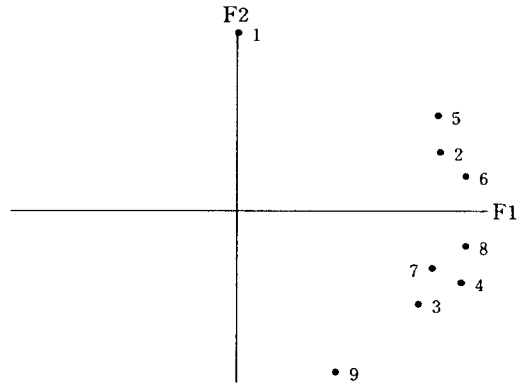


Fig. 2. Factor loading of each component in the rain waters.

- ① H⁺ ② Cl⁻ ③ NO₃⁻ ④ SO₄²⁻ ⑤ NH₄⁺
- ⑥ Na⁺ ⑦ K⁺ ⑧ Mg²⁺ ⑨ Ca²⁺

4. 결 론

1994년 9월 16일 부터 11월 13일 까지 삼척지역에서 초기와 후속으로 나누어 채취한 강우의 조사결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 삼척지역의 pH는 6.27로 타 지역보다 비교적 높게 나타났으며 이는 인근지역에 위치하고 있는 시멘트 공장에 의한 영향으로 사료된다.
- 2) 초기강우의 pH의 편차 (pH 5.11~10.01)가 후속강우의 pH의 편차 (pH 4.84~6.89)보다 크

게 나타나 대기중의 대부분의 오염물질은 초기강우시 제거됨을 알 수 있었다.

- 3) 본 조사지역의 강우의 산성도에 미치는 정도는 황산염이 73%, 질산염이 27%로 황산염이 더 큰 기여를 하고 있는 것으로 나타났다.
- 4) 강우에 의한 각 성분의 제거율은 $Ca^{2+} > NO_3^- > SO_4^{2-} > Mg^{2+} > K^+ > Cl^- > NH_4^+ > Na^+$ 의 순으로 나타났으며 이산분포를 하고 있는 NO_3^- 의 제거율이 대부분 미세입자를 주체로 하여 존재하고 있는 SO_4^{2-} 의 제거율보다 높게 나타났다.
- 5) 강우에 대한 중회귀분석 결과 본 조사지역의 강우의 산성도는 초기강우시 $NO_3^- > SO_4^{2-}$, 후속 강우시는 $SO_4^{2-} > NO_3^-$ 에 의해 더 크게 영향을 받는 것으로 나타났으며, 강우의 알칼리도를 높이는 Ca^{2+} 성분은 초기강우시에 대부분 제거되는 것으로 나타났다.
- 6) 주인자 분석결과 2개의 주성분으로 지표화 되었으며 제1 주성분 F1은 강우의 종합적인 오염도를 나타내는 인자, 제2 주성분 F2는 강우의 이온성분의 발생원을 나타내는 인자인 것으로 사료된다. 또한 강우중 각 이온성분은 NH_4^+ , Cl^- , Na^+ 와 SO_4^{2-} , K^+ , NO_3^- 의 2개의 무리로 나뉘어졌으며 전자는 해염기원에 의한 물질, 후자는 비해염기원의 물질 중 산성도를 높이는 물질로 생각된다.

참 고 문 헌

과학기술처 (1989) 대기오염물질의 장거리이동과 산성우강하에 관한 연구 (I).

과학기술처 (1990) 대기오염물질의 장거리이동과 산성우강하에 관한 연구 (II).

임재현 (1995) 도시지역과 해안지역의 강수중 수용성 이온성분에 관한 연구, 건국대학교 대학원 석사논문.

構畑郎, 眞室哲雄 (1980) 堺における大氣浮遊粒子狀物質中の諸元素の發生源の同定 (I). J. Japan Soc. Air Pol., 15(5), 198-206.

松木光弘, 板野龍光 (1985) 雨水成分の統計的解析, J. Japan Soc. Air Pol., 20(1), 12-22.

水上和子, 金子安夫 (1978) 雨水成分調査について(第3報), 埼玉縣公害センター年報, 5, 60-65.

原 宏 (1991) 酸性雨(酸性雨とその生成メカニズム), 大氣汚染學會誌, 26(2), A33-A40.

Bette Hileman (1981) Acid Precipitation. Environ. Sci. Technol., Vol.15, No.10, 1119-1121.

Hitoshi H. et al. (1990) Long-term variation of chemical composition of atmospheric aerosol the Oki islands in the sea of Japan. Atmos. Environ., 24(6), 1379-1390.

S. Kadowaki (1976) Size Distribution of Atmospheric Total Aerosols, sulfate, Ammonium and Nitrate Particulates in the Nagoya Area. Atmos. Environ., 10, 39-43.