

江華地域 降水의 汚染度 評價에 關한 研究

A Study on the Assessment of Pollution Level of Precipitation at Kangwha, 1992

강 공 언·강 병 옥·김 회 강

건국대학교 환경공학과

(1994년 9월 22일 접수, 1995년 1월 18일 채택)

Gong Unn Kang, Byung Wook Kang, Hui Kang Kim

Dept. of Environmental Engineering, Kon-Kuk University

Abstract

Precipitation samples were collected by a wet-only automatic acid precipitation sampler at Kangwha island on the western coast in Korea, through January until December 1992. pH, electric conductivity and the concentrations of major water-soluble ion components such as NH_4^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} and Cl^- were measured. From the result of checking the validity for assesment of pollution level of precipitation samples by pH using correlation analysis between pH and major components, and t-test of chemical composition between acid rain and non-acid rain, pH proved to be not satisfactory for its pollution level. A more comprehensive method is therefore required. In order to estimate the monthly analytical result of chemical composition of precipitation samples comprehensively, a cluster analysis was used among the various multivariate statistical analysis. As a result of making a cluster analysis for separating the monthly precipitation samples into homogeneous patterns by setting the concentrations of nine major water-soluble ion components as a variable, three homogeneous patterns were obtained. The first pattern was a group of months having average ion concentrations, the second a group of months having low ion concentration, and the third a group of months having high ion concentrations. Thus, it was indicated that the pollution level of precipitation was higher on February and lower on May, June, August and September than the other months. As a result, this analysis method could be estimated the chemical composition of precipitation regionally as well as monthly.

1. 서 론

최근의 대기오염문제는 국지적인 규모에서 오존층 파괴(ozone layer destruction), 온실효과(greenhouse effect), 산성우(acid rain) 등의 광역적인 규모의 오염 현상쪽으로 그 중요성이 옮겨지고 있다(玉置元則, 1991;

宗森 信, 1991). 특히 산성우 문제는 대기오염물질의 장 거리가동 현상으로 오염물질의 배출원 지역과 그 영향을 받는 지역이 서로 다르기 때문에 더욱 더 많은 관심의 대상이 되고 있다(Veerabhadra et al., 1990; William et al., 1990; Hitoshi et al., 1990; C. Samara et al., 1993). 지금까지 우리나라에서의 산성우에 관한 연구는 산성도 및 주요이온성분의 측정, 분석(손동원 등, 1985),

각 성분간의 통계적 해석(이민희 등, 1986), 원인물질 규명(신용배 등, 1986; 김주형 등, 1988; 박성배 등, 1989), 대기질-강우산성도의 관계(구자공 등, 1986), 우수채취기에 관한 연구(이민희 등, 1987), 식물생태계에 미치는 영향(김갑태, 1987; 정용문, 1991), 황사현상시 강수의 화학적 성분 연구(이민희 등, 1989), 산성비 모델의 개발(구자공 등, 1989; 홍민선 등, 1991), 발원지 추적(정용승 등, 1991), 지역에 따른 강수의 화학적 특성 연구(송기형 등, 1992; 강공언 등, 1992; 구자공 등, 1993) 등으로 최근에 그 연구범위는 더욱 넓어지고 있으나 이들 대부분의 연구가 강수의 화학적 성상을 규명하고 해석하는데 초점을 두고 있다. 그러나 산성우에 의한 대기질 개선과 그 대책방안을 마련하고 강수가 환경에 미치는 영향을 연구하는데 있어 무엇보다도 중요한 강수의 오염도 평가에 관해서는 단지 강수의 산성도를 나타내는 pH만을 가지고 이루어지고 있는 실정으로 이에 대한 타당성 문제는 전혀 검토가 되지 않고 있다. 더우기, 강수중에 존재하는 주요 수용성 이온성분의 농도에 따른 강수 오염도의 종합적인 평가는 전혀 이루어지고 있지 않다.

본 연구는 우리나라 서해안에 위치하고 있는 강화지역에서 1992년도에 1년간 걸쳐 강수를 측정, 분석하여 현재 우리나라에서 이루어지고 있는 pH에 의한 강수의 오염도 평가에 대한 타당성을 검토하였으며, 1992년도 강화지역 강수중 수용성 주요이온성분의 농도에 따른 강수의 월별 오염도에 대한 종합적인 평가를 시도하였다.

2. 시료채취 및 분석방법

2.1 시료채취

시료채취지점은 우리나라 서해안에 위치하고 있는 강화지역으로 그 위치는 그림 1과 같다. 시료채취는 경기도 강화군 화도면 장화리에 위치한 장화국민학교 앞 하천부지에 세운 지상 약 4m 높이의 철탑위에서 하였으며, 이곳은 해안가로부터 150m 정도 떨어져 있고 주위는 논과 밭으로 이루어져 있다. 시료는 강수만 채취하는 습성 자동 산성강하물 채취장치(wet-only automatic acid precipitation sampler Model MI-014, Metec Inc.)를 사용하였으며, 강수시 전량채취하여 그것을 하나의 분석시료로 하는 것을 원칙으로 하였으나 시료채취지점이 멀리 떨어져 바로 회수하여 분석할 수 없는 관리상의 어려움 때문에 1회 10일 간격으로 채취하여 그것을 하나의 분석시료로 하였다. 시료채취기간은 1992년 1월부터 1992년 12월까지의 1년 동안으로 하였다.

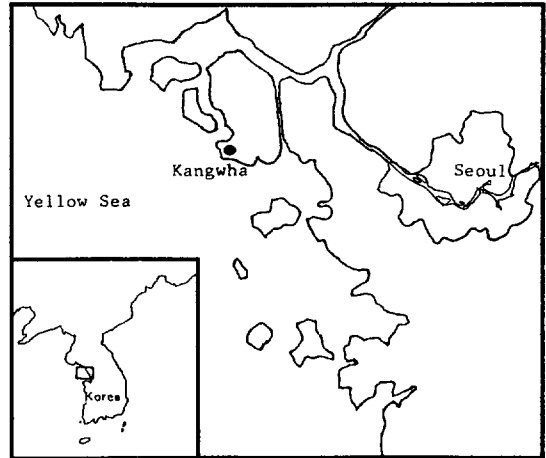


Fig. 1. A map of sampling site.

2.2 시료의 화학적 성상 분석

시료의 분석항목은 pH, 전기전도도 및 강수중 주요 이온성분으로 알려져 있는 SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ 으로 하였다. 채취지점에서 포집된 강수시료는 pH 전극(pH/ion analyser-250, Corning Inc.)과 전기전도도계(Model SC-17A, Suntex Inc.)를 사용하여 pH와 전기전도도를 측정 후 밀봉하여 실험실로 운반하였으며, 이곳에서 밀리포어여지(HAWP 04700, pore size 0.45 μm)로 여과하여 분석시까지 4°C의 냉장고에서 저장하였다. 분석시 수용성 음이온인 SO_4^{2-} , NO_3^- 및 Cl^- 의 농도는 각각 글리세롤알콜산법(glycerol alcohol acid method), 살리실산법(salicylic acid method) 및 티오시안산제이수은법(mercury(II) thiocyanate method)으로 측정하였으며 분석에는 흡광광도계(Model UV-240, Shimadzu Inc.)를 사용하였다. 수용성 양이온인 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ 및 Na^+ 는 원자흡광광도계(Model GBC-901, GBC Inc.)로 분석하였으며, NH_4^+ 는 인도페놀법(indophenol blue method)으로 발색시킨 후 흡광광도계를 사용하여 측정하였다(T. M. Florence, 1971; 環境廳酸性雨土壤植生影響研究會, 1990).

2.3 자료의 분석

강화지역에서 10일 간격으로 채취한 강수시료의 분석치에 대하여 신뢰성을 검토한 후 얻는 결과치를 본 연구의 분석자료로 하였으며, 자료의 분석에는 통계 소프트웨어인 SAS(statistical analysis system, version 2.0)를 이용하였다. 먼저 pH에 의한 강수 오염도 평

가시 이에 대한 문제점을 알아보기 위하여 강수의 pH와 수용성 주요이온성분의 농도와의 관계를 파악하기 위하여 상관분석(correlation analysis)을 실시하였으며, 또한 시료의 화학성분 분석자료를 pH 5.6 이하인 산성우와 pH 5.6보다 큰 비산성우의 두 그룹으로 분류한 후 주요이온성분의 평균농도를 각각 산출하여 이들의 평균농도가 서로 유의한 차이를 나타내는지 통계적 검정방법중 모수적 통계방식인 T-검정(T-test)을 실시하여 조사하였다. 그리고 강수의 오염도를 pH만으로 단적으로 평가할 수 없을 때 새로운 평가방법이 요구되는데 본 연구에서는 강화지역에서 '92년 1년 동안에 측정된 강수의 화학성상에 대한 월별 분석결과를 토대로 하여 강수 오염도의 종합적인 평가를 시도하였다. 강수중의 주요이온성분에 의한 강수의 월별 오염도를 종합적으로 평가하기 위하여 먼저 월별 강수의 화학성상에 대한 분석자료를 다변량통계분석법인 군집분석(cluster analysis)을 사용하여 몇개의 유사한 특성을 갖는 그룹으로 분류하였으며, 각 그룹별 강수중의 주요 수용성 이온성분의 평균농도를 산출한 후 강수의 공통된 화학적 특성을 조사하였다. 즉, 강수의 화학성상에 대한 월별 분석자료를 입력변수로 하여 몇개의 유사한 특성을 갖는 월집단으로 나누어 각각 공통적인 화학적 특성을 갖는 유형(patterns)으로 분류하고 각 유형별 강수의 화학적 특성을 분석함으로써 강수의 오염도에 대한 종합적인 평가를 시도하였다.

군집분석법은 생물분류학, 의학, 심리학, 인류학 등 여러분야에서 널리 사용되고 있는 응용통계분석법으로서 환경과학분야에서도 보편적으로 이용되어지고 있다(김기영 등, 1991). Hopke 등은 보스턴 지역의 도시분진을 분류하는데 19개의 원소농도를 변수로 하여 군집분석을 사용하였다(Hopke P.K. et al., 1976). 우리나라에서는 서울시내 지하상가 및 지하통로에서 대기오염물질의 농도를 측정하여 군집분석과 다른 응용통계를 이용하여 유형분류를 시도하였다(김동술 등, 1990).

3. 결과 및 고찰

3.1 강수의 화학성상 분석결과에 대한 신뢰성 검토

표 1은 강화지역에서 1991년 12월 31일부터 1993년 1월 4일까지 약 1년 동안에 걸쳐 내린 비를 10일 간격으로 채수하여 분석한 총 26개 강수시료의 pH, 전기전도도(electric conductivity EC; 이하 전도도), 수용성 이온성분 및 강우량을 나타낸 것이다. 그리고 각 시료의 수용성 이온성분중 총양이온(T-C)과 총음이온(T-A)의

당량농도(meq/L)를 계산하여 채수일자별로 나타내었다. 먼저 강수의 오염도 분석에 앞서 강수시료의 화학적 성상의 분석결과에 대한 신뢰성 검토가 이루어져야 하는데 여기에서는 이온수지(ion balance)와 전도도수지(electric conductivity balance)의 두 가지 방법을 사용하여 검토하였다(Howard et. al., 1981; 原 宏, 1991; 宗森 信, 1993).

그림 2는 이온수지를 검토하기 위하여 표 1에 산출되어 있는 총양이온과 총음이온의 당량농도를 직선좌표에 나타낸 것으로 대부분의 시료가 양이온과 음이온의 비가 같게 되므로서 이온수지가 성립하는 실선을 중심으로 하여 분포하는 것으로 나타났으며, 단지 7월에 채취한 두번째 시료(7월 11일-21일)와 세번째 시료(7월 21일-31일)의 두 시료만이 다른 시료에 비해 상대적으로 실선으로부터 멀리 벗어나 있는 것을 알 수 있었다. 이들 두 시료의 음이온에 대한 양이온의 비($\Sigma \text{cation} / \Sigma \text{anion}$)는 각각 1.67과 3.21로 나타나 이온수지가 전혀 맞지 않는 것을 확인할 수 있었다.

그림 3은 전도도의 실측치(EC_{obs})와 계산치(EC_{cal})의 관계를 나타낸 것으로 전도도의 계산치는 다음과 같이 강수중의 이온성분 농도로부터 산출하였다(原宏, 1991).

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

여기에서 전도도의 단위는 $\mu S/cm$ 이고, []는 각 이온성분의 당량농도($\mu eq/L$)이다.

강수시료의 전도도수지는 이온수지와 마찬가지로 7

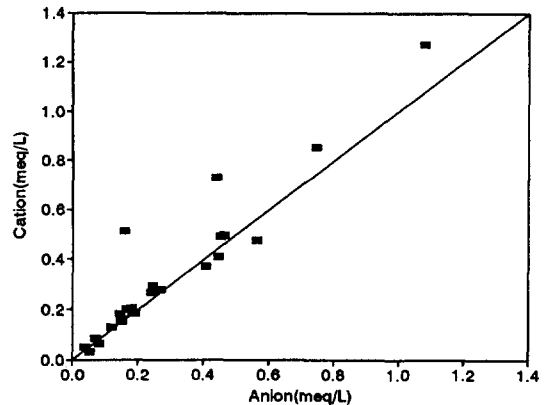


Fig. 2. Ion balance of precipitation samples at Ka-nghwa.

Table 1. Chemical analytical results of precipitation samples at Kangwha.

Sampling period	pH	ECobs	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁺	NO ₃ ⁻	RF	T-C	T-A
		μS/cm					mg/L				mm	meq/L	
12.31- 1.11	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
1.11- 1.21	4.31	40.9	1.64	0.45	0.51	0.14	0.28	0.52	4.87	3.12	4.0	0.20	0.17
1.21- 2.01	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
2.01- 2.11	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
2.11- 2.21	5.98	141.1	3.04	3.74	3.19	1.95	15.49	23.22	15.33	6.66	6.5	1.27	1.08
2.21- 3.01	3.98	80.8	1.70	1.42	0.58	0.61	3.75	6.51	9.99	4.50	8.0	0.50	0.46
3.01- 3.11	5.80	16.8	0.94	0.39	0.49	0.07	0.80	0.74	3.65	1.37	7.0	0.13	0.12
3.11- 3.21	4.19	44.6	1.82	1.42	0.34	0.18	0.78	1.29	7.07	3.74	9.7	0.29	0.24
3.21- 4.01	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
4.01- 4.11	5.01	22.3	1.41	0.39	0.24	0.14	0.62	1.16	4.28	1.68	20.5	0.15	0.15
4.11- 4.21	6.25	60.9	1.49	2.97	0.49	0.73	4.25	6.59	9.61	4.02	6.0	0.49	0.45
4.21- 4.30	6.73	125.9	3.18	7.35	0.97	1.10	4.45	5.66	21.17	9.04	6.0	0.85	0.75
4.30- 5.11	4.58	13.6	0.50	0.12	0.12	0.05	0.40	0.55	1.99	0.80	99.0	0.08	0.07
5.11- 5.21	4.25	36.3	1.25	0.76	0.25	0.13	0.54	0.75	5.83	2.20	16.0	0.20	0.18
5.21- 6.01	5.91	40.5	2.38	1.39	0.45	0.34	0.88	1.21	8.47	3.60	9.0	0.28	0.27
6.01- 6.11	5.85	22.4	1.34	0.50	1.11	0.16	0.86	1.49	3.91	1.40	129.5	0.18	0.15
6.11- 6.21	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
6.21- 7.01	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
7.01- 7.11	4.35	41.6	2.60	0.44	0.57	0.12	0.79	1.22	7.79	2.74	57.0	0.27	0.24
7.11- 7.21	7.47	203.0	6.91	0.26	3.83	0.50	4.46	7.99	9.60	0.81	17.5	0.73	0.44
7.21- 7.31	7.22	91.8	6.63	0.22	1.44	0.31	1.57	2.29	2.80	2.22	34.5	0.51	0.16
7.31- 8.11	5.20	5.7	0.04	0.01	0.10	0.02	0.39	0.74	1.13	0.49	96.5	0.03	0.05
8.11- 8.20	5.34	12.0	0.45	0.18	0.14	0.04	0.39	0.47	2.24	1.36	14.0	0.06	0.08
8.20- 8.29	4.49	19.3	0.26	0.20	0.14	0.04	0.49	0.58	1.82	1.05	59.5	0.08	0.07
8.29- 9.13	4.44	25.3	0.92	0.33	0.30	0.09	0.84	1.58	3.84	1.38	47.5	0.16	0.15
9.13- 9.21	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
9.21- 9.30	5.01	4.9	0.19	0.20	0.21	0.00	0.30	0.63	0.79	0.30	145.5	0.05	0.04
9.30-10.11	5.84	20.7	1.97	0.35	0.37	0.04	0.40	0.67	4.42	2.36	9.5	0.16	0.15
10.11-10.21	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
10.21-11.02	5.89	71.3	2.50	1.55	0.87	0.65	4.23	8.46	11.36	5.21	7.5	0.48	0.56
11.02-11.12	4.69	52.8	1.31	0.87	0.60	0.59	3.92	7.91	6.99	2.27	12.5	0.37	0.41
11.12-11.21	4.41	31.1	0.86	0.51	0.39	0.15	1.26	2.29	4.11	1.94	36.5	0.19	0.18
11.21-12.01	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
12. 1-12.12	4.29	40.3	0.84	0.49	0.39	0.10	0.96	1.79	5.19	1.86	43.0	0.18	0.19
12.12-12.21	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
12.21- 1. 4	4.21	72.1	1.51	0.83	0.81	0.52	3.65	7.02	8.95	3.74	18.5	0.41	0.44

월의 두번째 시료와 3번째 시료 이외에 모두 전도도수치가 성립하는 실선을 중심으로 하여 분포하는 것으로 나타났다. 따라서 7월의 2번째 시료와 3번째 시료를 분석결과에 대한 이상치(outliers)로서 제거한 후 강수의 화학성상을 해석하였다. 이와같이 이온수지와 전도도수지의 두 가지 방법으로 분석자료의 신뢰성을 검토한 결과 총 26개의 시료중 2개 시료를 제외한 24개 시료의

분석자료만이 비교적 신뢰성을 갖는 것으로 판단되며, 또한 여기에서 분석한 수용성 이온성분이 강화지역 강수시료중에 존재하는 주요이온성분인 것을 확인할 수 있었다.

강수시료의 분석자료에 대한 신뢰성 검토시 이온수지와 전도도수치가 성립하지 않는 것은 시료의 화학성상 분석시 분석상에 문제가 있거나 시료중에 분석되지

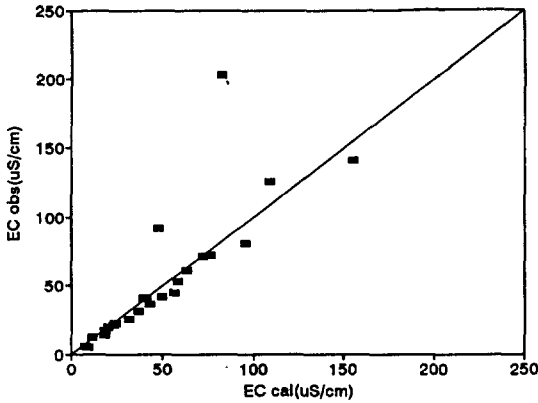


Fig. 3. Electric conductivity(EC) balance of precipitation samples.(Here, EC_{obs} is the EC value measured by electric conductivity meter and EC_{cal} is the value calculated from the ion components in precipitation samples)

많은 이온성분이 존재한다는 것을 의미한다. 그런데 신뢰성에 문제가 있는 것으로 추정되는 두 시료의 경우 시료채취기간동안 채취지점 주변에 가축의 분뇨가 버려져 있는 것으로 보아 이것에 의한 영향을 강하게 받아 본 연구에서 분석한 이외의 다른 성분이 다량 존재하기 때문인 것으로 생각된다. 특히, 두 시료의 화학성상에 대한 분석자료에서 모두 음이온에 비해 양이온이 상대적으로 많고 전도도의 계산치에 비해 실측치가 상대적으로 큰 것으로 보아 여기에서 분석한 이외의 음이온 성분이 다량 존재한 것으로 추정된다.

3.2 pH에 의한 강수의 오염도 평가

일반적으로 강수의 오염도 평가는 pH를 기준으로 하여 이루어지고 있는 실정으로 pH 5.6 이하인 비를 산성우라고 하여 관심의 대상이 되고 있다. 이는 석탄이나 석유와 같은 화석연료의 연소시 발생하는 SO_x , NO_x , 염화물 및 탄화수소화합물 등의 오염물질이 대기중에 배출되어 여러가지 물리, 화학적 및 광화학적 반응메카니즘을 거쳐 황산, 질산, 염산 및 유기산 등으로 변환되어 강수의 산성도를 증가시켜 pH를 낮아지게 하므로 이러한 산성원인물질의 지표로 생각할 수 있기 때문이다.

강수의 pH와 산성원인물질과의 관계를 파악하기 위하여 강화지역에서 1992년 1년간에 걸쳐 실측한 분석자료의 신뢰성 검토결과 얻은 24개 자료에 대한 상관분석(correlation analysis)을 실시하여 그 결과를 표 2에 나타내었다.

강수의 pH와 산성원인물질과의 상관성 분석을 위한 통계처리시 1년간에 걸쳐 측정된 강수자료의 수가 24개로 적어 표 2에서와 같이 높은 상관계수값에서 유의성을 갖게 되는 제약이 있다. 여기에서는 두개의 유의수준에서 그 상관성을 검정하였는데 유의수준이 $\alpha < 0.01$ 이면 상관계수에 한개의 별표(*)를 나타내었으며, 유의수준이 $\alpha < 0.001$ 이면 두개의 별표(**)로 나타내었다. 상관분석결과 강수의 pH는 이온성분 중 단지 Ca^{2+} 성분만이 유의수준 0.01에서 유의한 정적 상관관계를 보이는 반면, 다른 이온성분과는 정적 상관성을 보이나 유의적이지 못함을 알 수 있었다. 여기에서 특이할만한 사실은 강수의 pH가 황산, 질산 및 염산 등과 같은 산성물질의 양이

Table 2. Matrix of pearson correlation coefficients for analytical parameters of precipitation samples at Kangwha(N=24).

	pH	NH_4^+	Ca^{2+}	K^+	Mg^{2+}	Na^+	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-
pH	1.0000								
EC	0.3016								
NH_4^+	0.4039	1.0000							
Ca^{2+}	0.5769*	0.6850**	1.0000						
K^+	0.3800	0.6235*	0.5238*	1.0000					
Mg^{2+}	0.4407	0.6845**	0.7729**	0.8771**	1.0000				
Na^+	0.3458	0.5636*	0.5959*	0.9245**	0.9620**	1.0000			
Cl^-	0.2954	0.5473*	0.5409*	0.9009**	0.9455**	0.9900**	1.0000		
SO_4^{2-}	0.4361	0.8652**	0.9134**	0.6313**	0.8427**	0.6892**	0.6693**	1.0000	
NO_3^-	0.4275	0.8638**	0.9034**	0.6175*	0.8252**	0.6713**	0.6484**	0.9815**	1.0000

* $\alpha < 0.01$, ** $\alpha < 0.001$

많을수록 낮아짐으로서 부의 상관성을 나타낼 것으로 예상되는 SO_4^{2-} , NO_3^- 및 Cl^- 가 오히려 pH와 유의할만한 상관관계를 나타내지는 않지만 정의 상관성을 갖는다는 점이다. 이것은 강화지역 강수중에 존재하는 산성 원인물질의 SO_4^{2-} , NO_3^- 및 Cl^- 가 H_2SO_4 , HNO_3 및 HCl 등의 형태가 아닌 H^+ 이외의 다른 양이온에 의해 중화된 다른 형태로 존재할 수 있다는 것을 의미한다. 그런데 상관분석결과 SO_4^{2-} , NO_3^- 및 Cl^- 가 NH_4^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ 의 양이온과 대부분 고도로 유의한 정의 상관성을 갖는 것으로 나타나 이러한 양이온과 결합함으로써 강수의 산성도가 중화되어 pH와 유의한 상관성을 갖지 않는 것으로 추정된다. 이와같이 강화지역에서 채취한 강수의 경우 SO_4^{2-} , NO_3^- 및 Cl^- 의 산성원인물질이 산성도를 나타내는 pH와 유의할만한 상관성이 인정되지 않아 강수의 오염도를 pH만으로 단정지어 평가한다는 것은 타당하지 않은 것으로 생각된다. 국외의 경우도 pH를 나타내는 H^+ 와 강수중 SO_4^{2-} , NO_3^- 및 Cl^- 의 산성원인물질 사이에 유의할만한 상관성이 인정되지 않는 것으로 일부 보고되고 있다(Dikaiakos J.G. et al., 1990; William H.M. et al., 1990).

또한 본 연구에서는 산성우와 비산성우의 화학성상에 대한 실제적인 차이를 알아보기 위하여 강화지역에서 실측한 강수시료중 신뢰성에 문제가 없는 24개 시료를 산성우와 비산성의 두 그룹으로 분류하여 통계적 검정방법중 모수적 통계방식인 T-검정을 실시하여 표 3과 같이 두 그룹별 주요이온성분의 평균농도를 각각 산출하였으며, 이것이 서로 유의한 차이를 나타내는지 검정하였다. 신뢰성이 인정되는 24개 강수시료중 산성우와 비산성우에 해당하는 시료수는 각각 16개와 8개였으며, 평균 pH는 4.55와 6.03으로서 고도로 유의한 차이를 갖는 것으로 나타났다. 산성우와 비산성우의 주요이온성분의 농도는 모두 산성우보다 비산성우에서 높게 나타났으며, 여기에서 유의수준을 0.05로 할때 Na^+ 와 Cl^- 를

제외한 모든 이온성분이 유의한 차이를 나타내었다. 즉, 산성우와 비산성우의 Na^+ 의 평균농도는 1.21mg/L와 3.92mg/L로, 그리고 Cl^- 의 평균농도는 2.19mg/L와 6.01mg/L로 나타나 산성우보다 비산성우일때 더 높은 농도를 보이나 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 이는 Na^+ 와 Cl^- 이 주로 자연 발생원인 해양기원의 해염입자에 의한 것으로 한정되어 있기 때문에 강수의 pH 결정에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 해석할 수 있었다.

현재 우리나라 환경부에서는 대기오염에 의한 강수의 오염도 및 강수가 환경에 미치는 영향을 평가하기 위하여 전국에 걸쳐 산성우 측정망을 설치, 운영하고 있으나 단지 강수의 pH만을 분석하여 pH가 5.6 이하인 비를 산성우라 규정하고 중요하게 평가하여 왔다. 그러나 본 연구결과 pH와 산성원인물질인 SO_4^{2-} , NO_3^- 및 Cl^- 와 유의할만한 상관성이 인정되지 않았으며, 해염기원의 Na^+ 와 Cl^- 를 제외한 다른 모든 주요이온성분의 평균농도가 산성우보다 오히려 비산성우에서 유의한 수준으로 더 높게 나타나 강수의 오염도를 pH만으로 단정지어 평가한다는 것은 타당하지 않은 것으로 판단된다. 즉, pH가 설령 높다 할지라도 강수중의 이온성분의 농도는 산성우보다 비산성우에서 높게 나타났으므로 산성우에 의한 대기질 개선과 적절한 대책방안을 마련하기 위해서는 pH 이외에 강수의 화학성분도 함께 분석하여 강수 오염도의 종합적인 평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

3.3 강수의 월별 화학적 성상에 따른 오염도 평가

강수의 오염도에 대한 새로운 평가방법이 요구되는데 여기에서는 pH 뿐만아니라 강수중에 존재하는 수용성 주요이온성분의 농도를 사용하여 강수의 월별 오염도의 종합적인 평가를 시도하였다. 먼저 강수의 월별 오염도를 평가하기 위하여 7월의 2번째 시료와 3번째 시

Table 3. Results of T-test to pH and chemical components of precipitation samples at Kangwha(N=24).

	pH	NH_4^+	Ca^{2+}	K^+	Mg^{2+}	Na^+	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-
	mg/L								
Acid Rain (N=16)	4.55	1.08	0.54	0.36	0.18	1.21	2.19	4.81	2.07
Non-Acid Rain (N=8)	6.03	2.11	2.28	0.99	0.63	3.92	6.01	9.74	4.21
Prob> T *	0.0001	0.0098	0.0086	0.0141	0.0173	0.0500	0.0774	0.0123	0.0127

료를 분석결과에 대한 이상치(outliers)로서 제거한 후 남은 24개 강수시료의 화학성상에 대한 각 분석항목의 월평균치를 구한 결과 표 4와 같았다. 이것은 1회 10일 간격으로 채취된 강수를 분석하여 얻은 각 이온 성분의 농도를 강우량으로 가중하여 평균한 것이며, pH의 경우 이 값이 H⁺ 농도에 대한 대수값이기 때문에 먼저 pH를 H⁺ 농도로 환산한 후 이것을 다시 강우량으로 가중한 H⁺의 평균농도(volume-weighted mean H⁺)를 구하고 최종적으로 PH로 환산하므로서 산출하였다(Howard et al., 1981; Dennis et al., 1993).

먼저, 강수의 오염도를 강수중에 존재하는 주요이온 성분의 농도를 토대로 하여 종합적으로 평가하고자 강수의 월별화학성상을 다변량통계분석법인 군집분석법을 사용하여 몇개의 유사한 특성을 갖는 그룹으로 분류하였다. 통계분석을 위한 입력자료로서 분석대상은 월(month)로 하였으며, 각 분석대상에 대한 특성자료인 변수는 월별 강수의 화학성상으로 하였다. 여기에서 군집분석시 가장 중요한 변수의 선정은 주요 수용성 이온 성분으로 알려져 있는 H⁺, NH₄⁺, Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺, Na⁺, NO₃⁻, SO₄²⁻ 및 Cl⁻의 각 중량농도(mg/L)로 하였으며, pH 대신 H⁺ 농도를 사용하는 이유는 pH가 H⁺ 농도의 역수에 대한 상용대수값으로 크기가 다른 변수 성분과는 다르기 때문이며, 같은 크기로 맞추어 주기 위하여 H⁺ 농도(mg/L)를 사용하였다. 따라서 각 분석대상은 9개의 입력변수를 갖게 되므로 1월부터 12월까지 모두 12개의 분석대상에 대한 입력자료의 크기는(12×9) 자료행렬로 주어진다. 이때 각 대상의 관찰값에 대응하

는 하나의 열벡터(row vector)는 9차원 공간상에 한개의 점으로 나타낼 수 있으며, 이 9차원 공간상에 12개의 점을 좌표로 나타냈을때 이러한 점들이 전체 공간좌표에 분포하는 형태로 부터 각 대상에 대한 유사성의 차이(거리)를 측정한 후 ward법을 사용하여 각 대상을 군집화 하였다. 여기에서 ward법은 계층적 군집화 방법중에서도 병합적 방법에 속하는 것으로 일반적으로 군집분석법에서 가장 많이 사용되고 있으며, 군집분석시 각 단계에서 하나의 군집으로 묶음으로써 생기는 정보의 손실을 최소화 되도록 하는 방법이다(김기영 등, 1991).

그림 4는 군집분석을 실시한 결과 도출된 정보손실량을 바탕으로 작성한 덴드로그래프(dendrogram)이다. 여기에서 횡축은 군집분석의 대상이 되는 월(month)이고, 종축은 군집분석시 군집화의 각 단계(step)에서 일어나는 정보손실량을 나타내는 Semipartial R²가 되는데 이것은 각 특성치가 군집으로 분류되는 단계를 기준으로 하여 나타낸 것으로 이때 군집대상은 1월부터 12월까지 12개가 되므로 군집단계는 총 11단계가 된다. 그런데 각 대상간의 유사성의 척도가 되는 거리가 산정되어 이것을 바탕으로 그림 4에서와 같이 유사한 특성을 갖는 대상끼리 군집화하였을 경우에 중요한 문제가 되는 것은 생성된 군집을 어떻게 그룹화 하느냐는 것이다. 일반적으로 군집분석에서 그룹화는 각 대상들이 군집화될 경우 일어나는 정보손실량이 크게 증가하여 단계간의 간격이 제일 큰 곳에서 이루어지도록 하는 것이 바람직한 것으로 알려져 있다. 즉 여러개의 대상들에 대한 군집화를 행할 때 각각의 대상은 일정한 정보를 지니고

Table 4. Monthly volume-weighted mean of precipitation samples at Kangwha('92.1-12).

Sampling	pH	H ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	R F	T-C	T-A	C/A	
month		mg/L										mm	meq/L		ratio
'92. 1	4.31	0.049	1.64	0.45	0.51	0.14	0.28	0.52	4.87	3.12	4.0	0.20	0.17	1.20	
2	4.23	0.058	2.30	2.46	1.75	1.21	9.01	14.00	12.38	5.47	14.5	0.85	0.74	1.14	
3	4.42	0.038	1.45	0.99	0.40	0.13	0.79	1.06	5.64	2.75	16.7	0.22	0.19	1.17	
4	5.20	0.006	1.75	2.15	0.42	0.43	2.00	2.99	8.38	3.47	32.5	0.34	0.31	1.09	
5	4.55	0.028	0.73	0.29	0.16	0.08	0.45	0.62	2.96	1.18	124.0	0.11	0.10	1.16	
6	5.85	0.001	1.34	0.50	1.11	0.16	0.86	1.49	3.91	1.40	129.5	0.18	0.15	1.23	
7	4.35	0.045	2.60	0.44	0.57	0.12	0.79	1.22	7.79	2.74	57.0	0.27	0.24	1.12	
8	4.82	0.015	0.15	0.09	0.12	0.03	0.43	0.66	1.46	0.76	170.0	0.05	0.06	0.85	
9	4.79	0.016	0.37	0.23	0.23	0.02	0.43	0.86	1.54	0.57	193.0	0.08	0.07	1.14	
10	5.86	0.001	2.20	0.88	0.59	0.31	2.09	4.11	7.48	3.62	17.0	0.30	0.33	0.91	
11	4.47	0.034	0.97	0.60	0.44	0.26	1.94	3.72	4.84	2.02	49.0	0.24	0.24	0.99	
12	4.26	0.054	1.04	0.59	0.52	0.23	1.77	3.36	6.32	2.43	61.5	0.25	0.27	0.94	

있어서 하나의 군집이 만들어질 때마다 정보손실이 발생되고 정보손실이 클수록 군집이 무리하게 그룹화되었다고 볼 수 있다(김관영 등, 1992).

표 5는 그림 4에서와 같이 군집화된 각 대상들을 동일한 특성을 같은 월집단으로 그룹화하기 위하여 군집분석시 군집화의 각 단계에 대한 정보손실량을 요약하여 나타낸 것이다. 여기에서 단계에 따른 누적정보손실량(cumulative Semipartial R^2)은 단계가 올라갈수록 증가하는 것으로 나타났으나 각 단계에 따른 정보손실량은 표 5의 단계별 정보손실증가량에서 알 수 있는 바와 같이 서로 다르게 된다. 그런데 단계별 정보손실량이 9 단계와 10단계 사이에서 상대적으로 가장 크게 증가함으로 여기에서 군집을 그룹화하는 것으로 하였다. 즉 이 단계를 군집화한다는 것은 다른 군집화 단계에 비하여 상대적으로 정보손실량이 크게 되게 함으로서 군집화 자체가 무리하게 되었다는 것을 나타낸다. 그러나 1-2 단계에서도 단계별 정보손실증가율이 약 10배로 아주 크지만 상대적으로 단계별 정보손실량이 적기 때문에 여기에서 군집화하는 것은 별 문제가 되지 않는다. 그림 4와 같이 형성된 군집을 이와같이 그룹화한 결과 그림 5에서와 같이 3개의 그룹이 산출되는데 이때 형성된 그룹을 각각 A, B, C라 명명하였다. 그러나 3개의 그룹으로만 분류하였을 경우 월별 강수의 공통적인 특성을 나타내는 정보가 너무 무리하게 일반화되어 해석될 우려가 있으므로 이러한 문제점을 보완하기 위해 9-10단계 다음으로 단계별 정보손실량이 커서 변곡점이 되는 5-6 단계에서 재분류하였다. 그 결과 6개의 그룹이 형성되는데, 위의 3개의 그룹을 대분류로 하고 재분류시 형성된 6개 그룹을 A1, A2, A3, A4, B1 및 B2로 각각 명명하였다.

이들 그룹이 갖는 특성을 파악하기 위해서 먼저 각

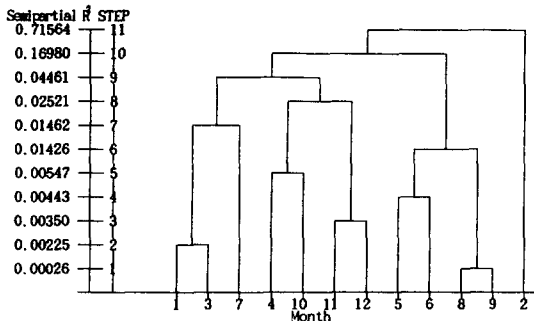


Fig. 4. A dendrogram for the monthly chemical composition of precipitation samples.

Table 5. Loss amount of information according to cluster analysis.

Step	Semipartial R-squared	cumulative Semipartial partial R-squared	increasing rate of Semipartial R-squared
1	0.00023	0.00023	
2	0.00225	0.00247	9.98
3	0.00350	0.00597	1.56
4	0.00443	0.01040	1.27
5	0.00547	0.01588	1.23 **
6	0.01426	0.03013	2.60
7	0.01462	0.04475	1.03
8	0.02520	0.06996	1.72
9	0.04460	0.11457	1.77 *
10	0.16980	0.28436	3.81
11	0.71564	1.00000	4.21

*, ** A large and small classification according to Semipartial R-squared.

그룹별 특성치를 나타내는 변수인 주요이온성분의 농도에 대한 그룹별 평균 및 표준편차와 년평균 표 6과 같이 산출하였으며, 여기에서는 주로 년평균과 비교하는 방법을 사용하였다.

강수의 화학성상에 따라 동질적인 특성을 갖는 월별로 그룹화시켰을 때 A 그룹은 1월, 3월, 7월, 4월, 10월, 11월 및 12월 등이 군집화되어 그룹화된 것으로 다른 두 그룹에 비하여 가장 많은 대상을 포함하고 있다. A 그룹이 갖는 특성을 파악하기 위하여 이 그룹과 년평균치의 각 이온성분의 농도비를 그림 6에 나타내었다. A 그룹과 년평균치를 비교한 결과 NH_4^+ , Ca^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} 성분의 농도는 년평균치보다 1배 정도 높았으며, K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- 성분의 농도는 1배 정도 낮게 나

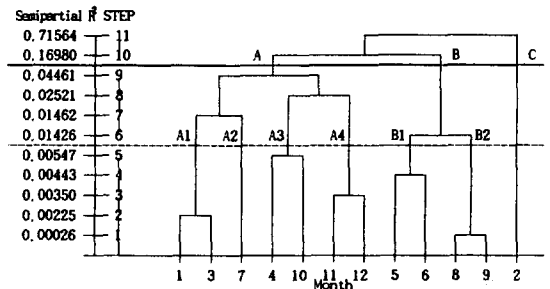


Fig. 5. A dendrogram for the monthly chemical composition showing classification to clusters.

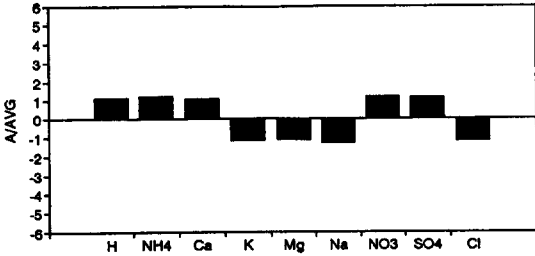


Fig. 6. Concentration ratio of A group and annual average to each ion component.

타났다. 그러나 전체적인 경향으로 보면 A 그룹과 년평균치의 각 이온성분의 농도가 서로 유사한 크기를 나타내어 A 그룹을 평균농도 발생일 유형으로 분류하였다. 그런데 A 그룹은 다시 A1, A2, A3, A4 그룹으로 재분류되는데 이들 그룹이 갖는 특성을 대그룹인 A 그룹과 비교하기 위하여 표 6에 산출된 A 그룹과 A1, A2, A3, A4 그룹의 각 이온성분의 농도를 각각 대조하였다. 여기에서 A1 그룹은 1월과 3월이 군집화되어 그룹화된 것으로 A 그룹에 비하여 H⁺와 NO₃⁻ 농도가 높게 나타났다. A2 그룹은 7월이 그룹화된 것으로 A 그룹에 비하여 H⁺, NH₄⁺와 SO₄²⁻ 농도가 높게 나타났다. A3 그룹은 4월과 10월이 그룹화된 것으로 A 그룹에 비하여 H⁺ 이외의 모든 이온성분의 농도가 높게 나타났다. 그리고 A4 그룹은 11월과 12월이 군집화되어 그룹화된 것으로 A 그룹에 비하여 Mg²⁺, Na⁺, Cl⁻ 농도가 높게 나타났다.

B 그룹에 해당되는 것은 5월, 6월, 8월, 9월 등으로 그림 7과 같이 강수중에 존재하는 모든 주요이온성분의 농도가 아주 낮게 나타났다. 따라서 이 그룹은 일년중 저농도 발생일을 나타내는 유형으로 분류할 수 있다. 그런데 B 그룹은 다시 B1 그룹과 B2 그룹으로 재분류되는데 이들 그룹이 갖는 특성을 대그룹인 B 그룹과 비교하기 위하여 B 그룹과 B1, B2 그룹의 각 이온성분의 농도비를 그림 8과 같이 나타낸 결과 명확하게 분류가 되는 것으로 나타났다. 여기에서 B1 그룹은 5월과 6월이 군집화된 것으로 B 그룹의 평균보다 다소 높은 농도를 나타내고 있어 저고농도 발생일 유형으로 분류하였다. 반면에 B2 그룹은 8월과 9월이 군집화된 것으로 H⁺ 이외의 모든 이온성분이 B 그룹의 평균농도보다 낮은 값을 나타내고 있어 이 그룹을 저농도 발생일 유형으로 분류하였다.

C 그룹에 해당되는 것은 2월로 이 그룹은 강수중의 모든 이온성분의 농도가 그림 9에서와 같이 년평균농도보다 매우 높게 나타났다. 따라서 이 그룹은 일년중 고

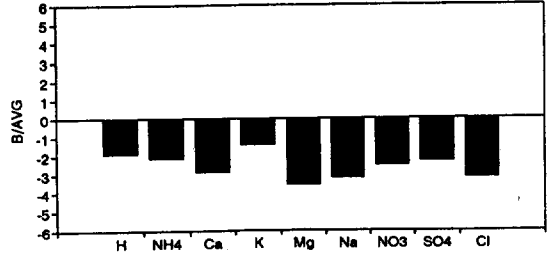


Fig. 7. Concentration ratio of B group and annual average to each ion component.

농도 발생일을 나타내는 유형으로 분류하였다.

표 7은 강화지역에서 1992년 1년 동안에 내린 강수의 월별 화학적 성상을 토대로 하여 군집분석한 결과로 얻은 이 지역 강수의 각 그룹별 특성을 요약하여 나타낸 것이다. A 그룹은 1월, 3월, 4월, 7월, 10월, 11월, 12월로 강수의 화학적 특성을 조사한 결과 평균농도 발생일 유형으로 나타났다. 그런데, 7월의 경우 두 개 시료가 분석자료의 이상치로서 제거되었기 때문에 여기에서는 한개의 시료(7월 1일 - 7월 11일)만으로 분석하였는데 이것이 7월의 강수특성을 적절하게 반영한다고 보기에 는 문제가 있는 것으로 생각된다. 따라서 1992년중 강화지역에서 내린 강수중 봄철의 3월과 4월, 가을철의 10월과 11월, 그리고 겨울철의 1월과 2월의 강수는 그 화학성상이 년평균과 비슷한 특성을 갖는 것으로 판단된다. B 그룹은 5월, 6월, 8월, 9월로 년평균에 비해 주요 수용성 이온성분의 농도가 낮은 화학적 특성을 농도 발

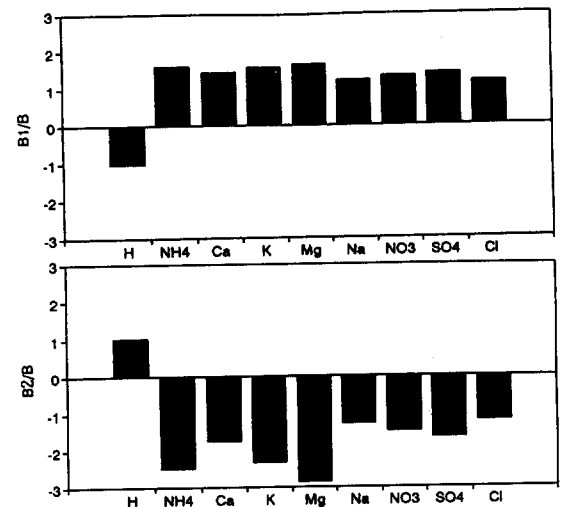


Fig. 8. Concentration ratio of B1, B2 group and B group to each ion component.

Table 6. Average and standard deviation of monthly chemical composition according to each class.

Group	H	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
A AVG [7] *	0.033 (0.019) **	1.67 (0.55)	0.87 (0.56)	0.49 (0.07)	0.23 (0.10)	1.38 (0.68)	2.88 (0.52)	6.48 (1.33)	2.43 (1.35)
A1 [2]	0.044 (0.005)	1.55 (0.09)	0.72 (0.27)	0.46 (0.05)	0.14 (0.00)	0.53 (0.25)	2.93 (0.19)	5.25 (0.38)	0.79 (0.27)
A2 [1]	0.045 -	2.60 -	0.44 -	0.57 -	0.12 -	0.79 -	2.74 -	7.79 -	1.22 -
A3 [2]	0.004 (0.002)	1.98 (0.23)	1.52 (0.64)	0.51 (0.08)	0.37 (0.06)	2.04 (0.05)	3.54 (0.07)	7.93 (0.45)	3.55 (0.56)
A4 [2]	0.044 (0.010)	1.01 (0.03)	0.60 (0.00)	0.48 (0.04)	0.24 (0.02)	1.85 (0.08)	2.22 (0.20)	5.58 (0.74)	3.54 (0.18)
B AVG [4]	0.015 (0.010)	0.65 (0.45)	0.28 (0.15)	0.41 (0.41)	0.07 (0.06)	0.54 (0.18)	0.98 (0.33)	2.47 (1.02)	0.91 (0.35)
B1 [2]	0.015 (0.013)	1.04 (0.30)	0.40 (0.10)	0.64 (0.47)	0.12 (0.04)	0.66 (0.20)	1.29 (0.11)	3.43 (0.48)	1.06 (0.43)
B2 [2]	0.016 (0.001)	0.26 (0.11)	0.16 (0.07)	0.17 (0.06)	0.03 (0.00)	0.43 (0.00)	0.66 (0.10)	1.50 (0.04)	0.76 (0.10)
C AVG [1]	0.058 -	2.30 -	2.46 -	1.75 -	1.21 -	9.01 -	5.47 -	12.38 -	14.00 -
AVG [12]	0.029 (0.020)	1.38 (0.73)	0.81 (0.71)	0.57 (0.43)	0.26 (0.31)	1.74 (2.29)	2.46 (1.34)	5.63 (2.99)	2.89 (3.58)

[] : Number of objects within each class.

** () : Standard deviation

생필 유형으로 나타났다. 그리고 C 그룹은 2월로 년평균에 비해 주요 수용성 이온성분의 농도가 높은 화학적 특성을 갖는 고농도 발생월 유형으로 나타났다.

따라서 강수의 화학성상에 따른 월별 오염도를 종합적으로 평가하면 2월이 강수의 오염도가 가장 심한 달(month)로 나타난 반면에 5월, 6월, 8월, 9월이 가장 오염이 덜한 깨끗한 달로 나타났다. 여기에서 7월의 경우 정확한 강수특성을 반영하지 못한다고 했을때 강우량이 많은 달(5, 6, 8, 9월)에 강수의 오염도가 낮게 나타났는데 이는 강수중의 수용성 이온성분이 강수초기에 대기중에서 대부분 제거되며, 강수가 계속될 경우 이때 내린

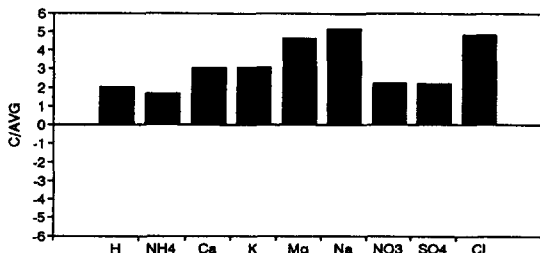


Fig. 9. Concentration ratio of C group and annual average to each ion component.

Table 7. Characteristics of each group.

Group	Month	Characteristics
A	1,3,4,7,10,11,12	a group of months having average ion concentration
B	5,6,8,9	a group of months having low ion concentration
C	2	a group of months having high ion concentration

비는 희석효과를 갖게 되어 강수중의 수용성 이온성분의 농도는 낮아지기 때문이다(강공언 등, 1992; Azhari F.M, Ahmed and Ral P. Singh et al., 1990). 이외에도 강수의 화학성상에 영향을 미치는 인자는 대기중의 가스농도, 액적의 크기(size), 에어로솔(aerosol)의 성분, 구름의 생성고도, 강우 하강시간 등으로 상당히 복잡하게 되므로서 향후 이에 대한 연구가 요구된다.

4. 결 론

우리나라 서해안에 위치한 강화지역에서 1992년 1년

참고문헌

간에 걸쳐 측정된 월별 강수의 화학성상에 대한 분석자료를 이용하여 pH에 의한 강수의 오염도 평가에 대한 타당성 검토와 강수중 수용성 주요이온성분의 농도에 따른 강수의 월별 오염도에 대한 종합적인 평가를 시도한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 이온수지와 전도도수지의 두 가지 방법으로 분석자료의 신뢰성을 검토한 결과 총 26개의 시료중 2개 시료를 제외한 24개 시료의 분석자료만이 비교적 신뢰성을 갖는 것으로 판단되며, 또한 여기에서 분석한 수용성 이온성분이 강화지역 강수시료중에 존재하는 주요이온 성분인 것을 확인할 수 있었다.

2. 강수의 pH에 의한 강수 오염도 평가의 타당성을 검토한 결과 pH와 산성원인물질인 SO_4^{2-} , NO_3^- 및 Cl^- 와 유의할만한 상관성이 인정되지 않았으며, 해염기원의 Na^+ 와 Cl^- 를 제외한 다른 모든 주요이온성분의 평균농도가 산성우보다 오히려 비산성우에서 유의한 수준으로 더 높게 나타나 강수의 오염도를 pH만으로 단정지어 평가한다는 것은 타당하지 않은 것으로 판단된다. 강수의 pH와 산성원인물질 사이에 유의할만한 상관성이 인정되지 않은 이유는 강수중의 SO_4^{2-} , NO_3^- 및 Cl^- 가 NH_4^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ 의 양이온과 대부분 고도로 유의한 정적 상관성을 갖는 것으로 보아 이러한 산성원인물질이 H^+ 이외의 양이온과 결합함으로써 강수의 산성도가 중화되기 때문인 것으로 추정된다.

3. 강수중 수용성 주요이온성분의 농도에 따른 강수의 월별 오염도에 대한 종합적인 평가를 위하여 군집분석을 실시한 결과 3개의 그룹이 산출되었는데, A 그룹은 1월, 3월, 4월, 7월, 10월, 11월, 12월로 평균농도 발생월 유형으로 나타났으며, B 그룹은 5월, 6월, 8월, 9월로 저농도 발생월 유형으로 나타났다. 그리고 C 그룹은 2월로 년평균에 비해 주요 수용성 이온성분의 농도가 높은 화학적 특성을 갖는 고농도 발생월 유형으로 나타났다. 즉, 1992년 강화지역 강수의 월별 오염도를 종합적으로 평가하면 2월이 강수의 오염도가 가장 심한 반면에 강우량이 많은 5월, 6월, 8월, 9월이 가장 오염이 덜한 깨끗한 것으로 나타났다. 이와같이 군집분석은 사전에 어떤 정보없이 혹은 최소로 알고 있는 정보로 유용한 집단을 분류 및 확인할 수 있으며, 대규모 자료에서 새로운 개념을 찾게하여 주브로서 강수의 화학성상 및 대기오염도에 대한 종합적인 평가가 시계열별로 또는 지역별로 가능하게 될 것으로 생각된다.

강공언, 강병욱, 김희장(1992) 해안지역과 도시지역 강수의 화학적 성상에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 8(3), 191-197.

구자공, 고석오, 김민영(1989) 고도별 강우율 변화를 고려한 산성비 모델의 개발, 한국대기보전학회지, 5(1), 43-51.

구자공, 박경렬(1993) 대전지역 산성강우의 화학적 특성에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 9(2), 147-153.

구자공, 유동준(1986) 대기질-강우산성도 관계식의 개발, 한국대기보전학회지, 2(3), 45-51.

김갑태(1987) 인공산성우가 처리된 분식한 은행나무유의 생장과 생리적 특성과의 상관, 한국대기보전학회지, 3(1), 13-26.

김관영, 이승수(1992) 다변량통계분석법, 자유아카데미.

김기영, 전명식(1991) SAS 군집분석, 자유아카데미.

김동술, 김형석(1990) Pattern Recognition을 이용한 지하상가에서의 대기오염물질의 농도 분석에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 6(1), 1-10.

김주형, 유영진, 박성배(1988) 산성비 원인물질 구명을 위한 우수중의 이온분석에 관한 연구, 대한환경공학회지, 10(3), 19-27.

박성배 외(1989) 서울지역의 산성강우현상에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 5(2), 42-54, 1989.

송기형, 박용남, 정용승, 박국태(1992) 충청북도 농촌지역의 강수의 산성도에 관한 기초 연구, 한국대기보전학회지, 8(1), 38-44.

신용배, 이상권, 안규홍(1986) 서울시 산성비의 원인 물질에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 2(2), 66-74.

손동헌, 양성철(1985) 서울시의 산성물질 강하현상에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 1(1), 33-41.

엄정국, 문경일(1992) 통계분석을 위한 SPSS/PC+, 영진출판사.

이민희 외(1989) 황사현상시 강수의 화학적 성분에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 5(2), 1-11.

이민희 외(1987) 우수채취기가 우수성분에 미치는 영향, 한국대기보전학회지, 3(2), 53-61.

이민희 외(1986) 습성대기성분에 대한 통계적해석, 한국대기보전학회지, 2(1), 41-54.

정용문(1991) 인공산성우에 대한 조경수목의 내성 비교, 한국대기보전학회지, 7(3), 208-218.

정용승, 김태군(1991) 한국 서해안에서 관측된 산성비의 발원지 추적연구, 한국대기보전학회지, 7(3), 203-207.

조인호(1993) SAS강좌와 통계컨설팅, 제일경제연구소.

채서일, 김범중(1991) SPSS/PC*를 이용한 통계분석, 법문사.

홍민선, 안상욱, 박노혁(1991) 일차원 적운모델을 이용한

- 산성강우 형성에 관한 수치적 연구, 한국대기보전학회지, 7(3), 145-149.
- 宗森 信(1991) 大氣汚染問題の展開, 環境技術, 20(8), 525-528.
- 宗森 信(1993) わが國における酸性雨の分析データの解析, 環境技術, 22(10), 590-598.
- 原 宏(1991) 酸性雨-第3講 酸性雨のデータおどうみか-, 大氣汚染學會誌, 26(3), A51-A59.
- 玉置元則 (1991) 酸性雨, 環境技術, 20(11), 709-714.
- 環境廳酸性雨土壤植生影響研究會(1990) 酸性雨 土壤・植生への影響, 公害研究對策センター, 114-130.
- Azhari F.M. Ahmed and Ral P. Singh et al.(1990) Chemistry of atmospheric precipitation at the Western Arabian Gulf Coast, Atmos. Environ., 24A(12), 2927-2934.
- Dennis Lamb and Leonore Comrie(1993) Comparability and precision of MAP3S and NADP/NTN precipitation chemistry data at an acidic site in eastern north America, Atmos. Environ., 27(13), 1993-2008.
- Dikaiakos J.G. et al.(1990) Rainwater composition in Athens, Greece, Atmos. Environ., 24(1), 171-176.
- Florence T.M.(1971) Spectrophotometric determination of chloride at the parts-perbillion level by the mercury(II) thiocyanate method, Anal. Chim. Acta., 54, 373-377.
- Hitoshi H. et al.(1990) Long-term variation of chemical composition of atmospheric aerosol on the Oki islands in the sea of Japan, Atmos. Environ., 24(6), 1379-1390.
- Hopke P.K. et al.(1976) The use of multivariate analysis to identify sources of selected elements in the Boston urban aerosol, Atmos. Environ., 10, 1015-1025.
- Howard M.L. and James J. M.(1981) Spatial variations of acid precipitation in southern California, Environ. Sci. Technol., 15(3), 333-334.
- Samara C. et al.(1993) Chemical composition of rain in Thessaloniki, Greece, in relation to meteorological conditions, Atmos. Environ., 26B(3), 359-367.
- Veerabhadra R.K. and Gregory R.C.(1990) The long range transport of pollutants in the Pacific Rim region, Atmos. Environ., 24(6), 1521-1534.
- William H.M. et al.(1990) Influence of sea salt aerosols and long range transport on precipitation chemistry at El Verde, Puerto Rico, Atmos. Environ., 24(11), 2813-2821.