한국환경과학회지 제5권(제2호), 141~152, 1996
J. of the Korean Environmental Sciences Society

경산에서의 강수의 화학성분과 지상풍과의 관계

문영수 · 박문기 · 김희종 · 김경익* · 이동인**
경산대 환경과학과, *경북대 천문대기과학과, **부산수산대 대기과학과
(1996년 2월 11일 접수)

Relationships between Precipitation Component and Surface Wind at Kyungsan, Korea

Yung-Soo MOON, Moon-Ki PARK, Hee-Jong KIM, Kyung-Eak KIM* and Dong-In LEE**
Dept. of Env. Sci., Kyungsan Univ, Kyungsan, 712-240, Korea
**Dept. of Astro. and Atmos. Sci., Kyungpook Univ., Taegu, Korea*
***Dept. of Atmos. Sci., National Fisheries Univ. of Pusan, Korea*
(Manuscript received 11 February 1996)

This study is an attempt to investigate the chemical components of precipitation and its variation according to surface wind. Precipitation samples were collected by an wet-only precipitation sampler during the period of October 1994 to September 1995 at Kyungsan in Korea. The results obtained in this study are summerized as follows.

The annual average of precipitation pH is 5.0, the highest month of pH is July of 5.5, and the lowest month of pH is December of 4.4. The most frequent appearance is in the range of pH 5.0 to 5.5 and its rate is 56.8%. The order of ion concentration in precipitation is $SO_4^{2-}>NO_3^->Cl^-$ in case of anion and $Ca^{2+}>NH_4^+>Na^+>Mg^{2+}$ in case of cation. It is found from our analysis that the correlation coefficient among the precipitation pH and ion components is below r=0.3, while the correlation coefficient between SO_4^{2-} and NO_3^-, Na^+ and Cl^- is above r=0.8, respectively.

The mean pH of precipitation is 4.8 under the westerly wind and 5.2 under the easterly wind. The concentrations of anion and cation under the westerly wind are more than the concentrations under the easterly wind. In autumn, the concentration of Na^+ and Cl^- under the easterly wind are higher than the concentration under the westerly wind. The correlation coefficients between wind speed and pH, ion components show very low correlation of $-0.41 \leq r \leq 0.2$. But the present study show that the correlation coefficient between wind speed and pH of precipitation is positive and the correlation coefficients between wind speed and ion concentration is negative.

Key words : Precipitation component, Correlation coeffient, Wind direction, Wind speed.

1. 서 론

1.1 연구배경

현대사회는 인구의 증가와 도시화 및 산업발달에 따라 많은 종류의 대기오염물질이 배출된다. 대기오염물질은 특정 지역에 머무르지 않고 광범위하게 이동 · 확산되기 때문에 오염물질의 장거리이동현상에 따라 주변지역이나 혹은 다른 국가에까지 피해를 줄 가능성이 있다(김정수 등, 1992). 국내에서는 1984년부터 전국 각 도시에서 강수의 pH를 측정하고 있는데 연평균을 보면 5.0~5.4로 산성

비에 해당하는 것으로 보고되고 있다(환경연감, 1988~1994). 대기 중에는 SO_x와 NO_x 등 음이온 외에 Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, NH_4^+ 등과 같이 토양이나 해양 혹은 인위적으로 배출되는 양이온 물질도 있다. 이러한 대기오염물질이 빗물에 용해되어 양이온과 음이온의 화학적인 평형에 의해 강수의 산도가 결정되며, 양이온 입자들은 SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^- 등의 음이온을 중화시켜 강수의 pH를 높이게 된다. 따라서 pH에만 의존한 강수의 오염도 평가보다는 양 · 음이온의 분석이 필수적이며, 각 이온 성분들의 강수 pH에 대한 영향을 고찰하는 것이 매우 중요하다(강공언등, 1995).

1.2 연구동향

먼저 국외연구로서 Wolff et al.(1979)은 뉴욕시 강수의 pH를 조사하여 풍향 · 강수형 등의 기상인자와 관련지어 강수를 전선형과 기단형 소나기, 허리케인으로 구분하였고, 풍향에 따른 pH값은 해풍 때의 강수 pH가 육풍 때보다 높다 하였다. Miller and Harris(1985)는 미국 North Carolina주 동쪽에 위치한 Bermuda에서 유입되는 기단의 유적선(trajectory)을 조사하여 월평균 pH와 비교한 결과, 미국 대륙을 가로질러 유입되는 서풍계열의 풍향이 많을 때 강수 pH값이 낮아지는 것으로 조사하였다. Glavas(1988)는 Greece의 Patras에서 강수 pH를 측정한 결과 유럽에서 부는 바람일 때가 북아프리카에서 부는 바람인 경우보다 상대적으로 높으며, 그 이유로 토양 중의 Ca^{2+} 등 양이온의 중화작용을 지적하였다. Samara et al.(1992)은 강수 성분의 계절적 변화와 강수형과 풍향에 따른 강수 성분을 조사하여 풍향별 평균 pH를 구하였다.

다음 국내연구로서 강공언 등(1992)은 우리나라 해안과 도시 강수의 산도에 대한 성분특성을 비교하였는데, 해안의 경우 주로 해염입자에서 나오는 Na^+와 Cl^-의 구성비가 도시보다 높게 나타났고, 주로 인위적인 오염발생원에서 방출되는 SO_4^{-2}와 NO_3^-는 도시가 해안보다 높게 나타났다. 백재현 등(1993)은 대구와 구미에 있어서 대기의 황산화물 및 질소산화물과 기상요인 및 강수 pH와의 관계를 비교 분석하였는데, 강수 전일과 당일의 풍속이 느릴수록 대기 중 SO_2 농도가 높고 따라서 이때의 pH는 낮다고 하였다. 최재천 등(1994)은 인위적 오염원이 적은 지역이라 생각되는 고산지에서 강수의 화학성분을 구하고, 풍향을 구분하여 그에 따른 강수 화학특성을 파악하였다. 이들은 풍향을 북서풍인 경우와 남동풍인 경우로 구분하였고, 이 때의 pH는 각각 5.40, 5.24로서 북서풍인 경우가 다소 높게 나타났다.

이상의 연구동향을 살펴보면, 강수의 화학성분을 조사분석하는 연구는 지금까지 이루어져 오던 단순한 이온성분들의 분석에 그치지 않고, 강수형이나 바람분포에 따른 강수성분의 연구가 매우 활발하게 진행되고 있는 경향이다.

1.3 연구목적

강수의 화학성분은 도시 · 해안 · 공단 · 농촌 등과 같은 지역적 특성과 지리적 특성은 물론이고 강수시의 풍향, 풍속, 기단의 이동경로, 강수형 등의 기상조건과도 밀접한 관련이 있다. 그러나 아직도 기상조건과 산성비의 관계에 대한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 대도시의 교외에서 채취한 강수의 pH와 양 · 음이온의 농도를 조사하고, 이들의 월별 및 계절별 변화와 지상풍의 풍향 · 풍속과의 관련성을 규명하고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구의 시료 채취는 대구에서 동남쪽으로 약 15Km 떨어진 경산에 위치한 경산대학교에서 채취하였다(Fig. 1 참조). 시료 채취 지점은 북서쪽으로 인구 약 250만의 대도시인 대구가 인접해 있고, 동남쪽으로는 큰 도시가 없고 또한 큰 오염물 배출원이 없어서 동 · 서풍계열의 바람으로 인한 유입물질의 비교가 쉬운 편이다.

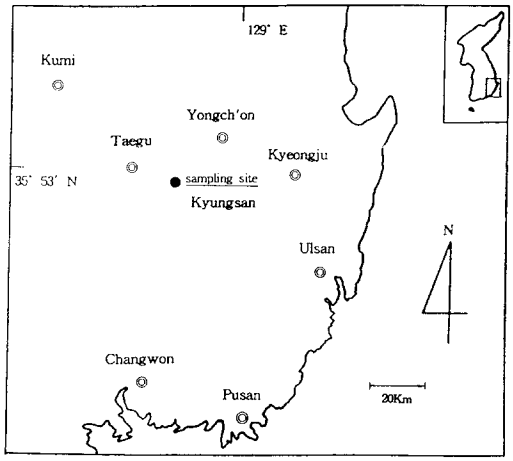

Fig. 1. The position of sampling site.

강수의 채취기간은 1994년 10월부터 1995년 9월까지 1년간이었으나, 1995년 9월은 무강수월이었다. 채수기는 강수가 시작되면 잔디밭 위에 설치하여 시료를 채취하고 강수가 끝나면 철거하여 건성강하분진의 영향을 받지 않게 하는 Wet-only method를 택하였으며, 시료채취는 동일 시간대의 연속강수는 1회의 강수시료로 만드는 총괄채취방법으로 하였다. 양·음이온의 분석을 위해 채취한 시료는 pH를 즉시 측정한 후 폴리에틸렌 용기에 담아 분석 전까지 4℃ 냉장고에 보관하였다.

pH의 측정은 pH미터 (DMS, DP-880M)를 사용하였으며, 시료의 수용성 양·음이온으로서 Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, NH_4^{+}, SO_4^{2-}, NO_3^{-}, Cl^{-} 등의 측정은 이온크로마토그래피 (Ion chromatography, WATERS)를 이용하였다. 시료는 분석전에 Membrane filter (pore size 0.45 μ)로 여과하여 부유물질을 제거한 후 그 여액을 Ion chromatography 분석시료로 사용하였으며, 분석조건은 Table 1과 같다.

풍향과 풍속의 기상 조건은 경산의 서북에 위치한 대구의 통과 여부를 비교하기 위하여 대구지방기상대의 측정 자료를 이용하였으며, 이 때의 풍향과 풍속은 각각 강수시의 최대풍향과 평균풍속의 값이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 월별 및 계절별 강수의 화학성분

1994년 10월부터 1995년 8월까지 채취한 강수는 총 강수횟수 85회 중 동일 시간대의 연속강수는 1회의 강수시료로 만들어서 37개의 강수시료를 분석하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다. 총 37개의 시료는 계절별로 봄이 9개로 24%, 여름이 17개로 46%, 가을이 6개로 16%, 겨울이 5개로 14%의 분포를 하고 있다.

3.1.1 pH의 변화

강수 시료를 분석하여 얻은 월별 채수 횟수와 평균 pH, 평균 이온농도를 Table 2에서 살펴보면, 가을과 겨울의 pH값은 4.7로서 낮고 반면에 봄과 여름에는 각각 5.0, 5.3으로서 상대적으로 높다. 이는 권영식·허원범 (1993)에 의한 원주지역의 산성비 연구와도 같은 경향을 보이고 있다. 강수의 pH는 연평균 5.0으로서 산성비에 해당하며 7월이 pH 5.5로서 가장 높고 12월이 pH 4.4로서 가장 낮다.

Fig. 2는 채취한 강수시료 37개 중 pH값의 빈도를 나타낸 것이다. 가장 많은 빈도를 차지하는 범

Table 1. Ion chromatography items for the analysis of anion (SO_4^{2-}, NO_3^{-}, Cl^{-}) and cation (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, NH_4^{+})

Items	Anion	Cation
Pump	Waters 510 HPLC pump	Waters 510 HPLC pump
Column	Waters IC-PAK A column	Waters IC-PAK C M/D column
Detector	Waters 431 conductivity detector	Waters 431 conductivity detector
Eluent	Borate/Gluconate	0.1 mM EDTA/3.0 mM HNO_3
Flow rate	1.2 ml/min	1.0 ml/min

Table 2. pH of precipitation and ion concentrations in precipitation during October 1994 to August 1995 at Kyungsan

Seasons	Month	n	pH	Anion (mg/L)			Cation(mg/L)			
				SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	NH_4^+
Spring	'95. 3	2	5.0	3.03	0.95	2.01	2.72	0.57	1.38	2.53
	4	3	5.0	5.15	2.48	3.37	4.71	1.27	2.53	3.31
	5	4	5.1	4.44	2.33	2.61	3.52	0.85	1.90	3.17
	Mean		5.0	4.21	1.92	2.66	3.65	0.90	1.94	3.00
Summer	6	4	5.2	3.76	1.76	1.80	3.34	0.65	1.30	2.77
	7	5	5.5	5.32	2.27	1.76	3.01	0.61	1.24	3.56
	8	8	5.1	2.74	1.62	1.42	2.66	0.61	1.05	1.82
	Mean		5.3	3.94	1.88	1.66	3.00	0.62	1.20	2.72
Autumn	'94. 10	5	4.9	5.21	1.59	1.22	2.17	0.89	1.35	3.15
	11	1	4.5	2.54	0.97	0.28	2.13	0.67	0.61	1.96
	Mean		4.7	3.88	1.28	0.75	2.15	0.78	0.98	2.56
Winter	12	1	4.4	6.09	2.35	1.18	2.26	0.41	%0.41	3.39
	'95. 1	2	4.9	5.43	2.26	1.21	3.27	0.94	0.77	3.42
	2	2	4.9	5.02	2.45	2.45	3.31	0.78	1.49	2.91
	Mean		4.7	5.51	2.35	1.61	2.95	0.71	0.89	3.24
Total mean			5.0	4.39	1.86	1.67	2.94	0.75	1.25	2.88

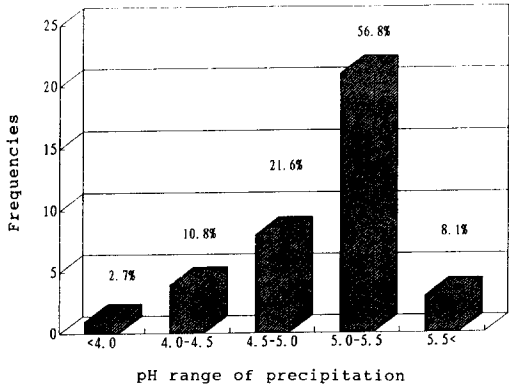

Fig. 2. Frequency distributions of the pH of precipitation.

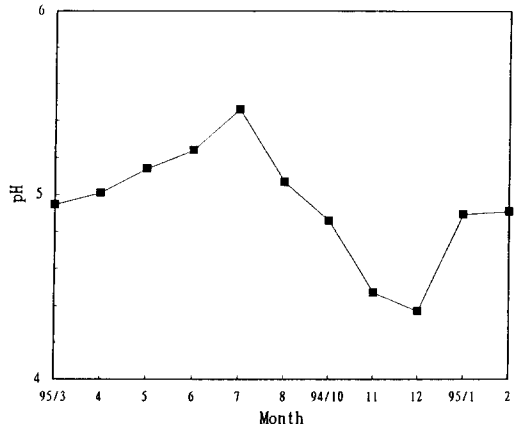

Fig. 3. Monthly variation of the precipitation pH.

위는 pH 5.0~5.5 사이로 56.8%를 차지하며, pH 4.0 이하도 2.7%가 나타나며 pH 5.5이상은 8.1%를 차지한다. 이는 조하만 등(1992)의 결과와 같은 경향이며 Fornaro et al.(1993)이 밝힌 강수의 최다빈도 pH 4.5와 Singer et al.(1993)의 4.0~4.5 보다는 다소 높고, Samara et al.(1992)이 발표한 pH 6~6.5 보다는 낮다.

Fig. 3은 월별 pH의 값을 나타낸 것이다. 7월과 8월에는 다소 높은 pH 5.5와 5.1이었으며, 11월과 12월에는 각각 pH 4.4, 4.5로 낮게 나타났다. 이는 여름에는 주로 인접한 오염원이 거의 없는 지역을 통과하는 동풍계열의 바람이 유입되기 때문이며, 또한 장마와 같이 많은 강수량 때 나타나는 오염

물 농도의 희석에 의한 영향도 있으리라고 생각된다. 반면에 겨울에는 난방연료 사용의 증가로 인한 황산화물과 질소산화물의 증가와 강수량의 감소, 대구에서 방출되는 오염물의 북서풍에 의한 유입 등에 의한 영향이라 간주된다.

3.1.2 양·음이온의 변화

강수중의 이온농도는 음이온이 $SO_4^{2-}>NO_3^->Cl^-$의 순으로, 양이온이 $Ca^+>NH_4^+>Na^+>Mg^{2+}$의 순으로 나타난다. 계절별로는 음이온은 봄과 겨울에 높고 여름과 가을에 낮은 경향이 있으며 양이온은 봄에 가장 높고 다른 계절은 낮은 분포이다.

Fig. 4는 음이온의 계절별 변화를 본 것이다. SO_4^{2-}와 NO_3^-의 농도는 가을과 겨울이 높고 여름이 가장 낮다. 이는 한후기의 난방용 화석연료 사용으로 인한 배출량의 증가 때문이라 생각된다. Samara et al. (1992)이 연구한 결과에서도 SO_4^{2-}의 경우 여름이 가장 낮게 측정되었고, SO_4^{2-}와 NO_3^-는 봄에 가장 높은 농도를 나타냈는데 공업지역에서 배출된 물질의 영향인 것으로 판단하였다.

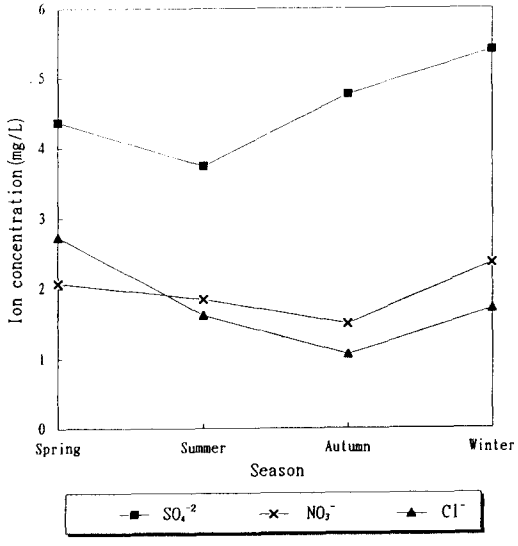

Fig. 4. Seasonal variations of anion concentrations.

Fig. 5는 양이온의 계절별 변화를 본 것이다. 최재천 등 (1994)의 연구에 의하면 Na^+와 Mg^{2+}는 계절에 따른 변화가 거의 없으며, NH_4^+는 토지의 경작이 활발한 봄에 가장 높게 나타나며, 또한 Ca^{2+}은 황사현상 때문에 봄에 가장 높게 나타난다고 하였다. 본 연구의 결과는 Ca^{2+}의 변동폭은 큰 반면 Mg^{2+}의 변동폭은 작으며, 모든 양이온들이 봄에 가장 높은 농도를 나타내었다. 해염입자가 대부분을 차지하고 있는 Na^+와 Cl^-이 모두 봄에 높은 값을 나타내는데 이는 서해에서 방출된 해염의 유입 때문인 것으로 추정된다 (강공언 등, 1992).

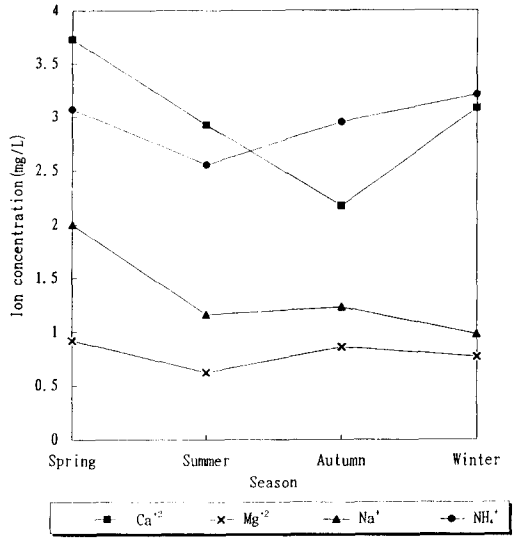

Fig. 5. Seasonal variations of cation concentrations.

3.1.3 pH와 이온성분과의 관계

Table 3은 강수의 pH와 각 이온성분과의 상관계수를 나타낸 것인데, pH와 각 이온과의 상관계수는 매우 낮게 나타난다. Ruijgrok and Römer (1993)와 Singer et al. (1993), 정순화 등 (1994), Al-momani et al. (1995)의 연구에서도 pH와 이온성분과의 상관도는 낮게 나타나지만, Zeng and Hopke (1989)의 연구에서는 pH와 이온성분과의 상관도가 비교적 높은 것으로 나타난다. 강공언 등 (1995)은 pH와 이온간의 상관성이 낮은 이유에 대하여 SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^- 등과 같은 음이온이 H_2SO_4, HNO_3, HCl의 형태가 아닌 다른 양이온과 결합하여 존재할 수

Table 3. Correlation coefficients of pH and Ion components

	pH	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	NH_4^+
pH	1.00							
SO_4^{-2}	−0.11	1.00						
NO_3^-	−0.25	0.80**	1.00					
Cl^-	0.08	0.42*	0.5**	1.00				
Ca^{+2}	−0.001	0.33	0.43*	0.80**	1.00			
Mg^{+2}	−0.16	0.24	0.12	0.45*	0.55**	1.00		
Na^+	0.01	0.25	0.22	0.84**	0.82**	0.63**	1.00	
NH_4^+	−0.12	0.75**	0.50**	0.23	0.29	0.18	0.18	1.00

Number of cases : 37 * : α<0.01, ** : α<0.001

Table 4. pH and ion concentration with wind directions

	n	pH	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	NH_4^+
NE	2	5.4	4.55	2.94	2.26	3.18	1.16	1.41	2.59
ENE	4	5.4	3.84	2.07	2.31	3.28	0.70	1.50	2.05
E	4	5.2	3.63	2.22	1.82	3.31	0.68	1.28	2.66
ESE	8	5.1	4.09	1.53	1.76	2.96	0.86	1.75	2.72
SE	3	5.3	2.35	0.94	1.02	2.14	0.30	0.45	2.53
WSW	6	4.7	4.65	1.98	1.98	3.48	0.83	1.50	3.18
W	4	4.6	3.93	1.93	0.97	2.36	0.57	0.61	2.91
WNW	5	4.9	5.44	2.06	1.92	2.88	0.70	1.42	3.29
NW	1	5.0	6.62	2.67	3.21	4.21	1.47	2.29	4.19

(Ion concentration: mg/L)

있다고 가정하고, 각 이온들간의 높은 상관성을 이유로 든 바 있다.

이온들간의 상관관계에서는 SO_4^{2-}와 NO_3^-, Na^+와 Cl^-의 상관계수가 0.8 이상으로 높게 나타나는데 이는 다른 선행연구들과도 같은 경향을 보이고 있다. SO_4^{2-}와 NO_3^-의 경우는 주요 발생원이 연료의 연소과정이기 때문에 그 상관계수가 높은 것으로 추정되며, Na^+와 Cl^-의 경우는 대부분이 해양에서 방출되는 해염이 근원이기 때문에 그 상관계수가 높은 것으로 생각된다. 또한 SO_4^{2-}와 NO_3^-는 NH_4^+와 높은 상관관계를 나타내는데, 박용남 · 송기형 (1993)의 연구에서도 이들 이온이 염의 형태로 배출되어 유입된다고 추측한 바 있다. 또한 Mg^{2+}와 Na^+, Cl^-의 상관도가 높은 것으로 보아 이 물질들은 해염의 영향인 것으로 추측된다 (Ruijgrok and Römer, 1993).

3.2 바람에 따른 강수의 화학성분

대구는 북으로 팔공산과 남으로 비슬산이 가로막고 있어서 주된 지상풍은 서풍과 동풍이다. 따라서 바람의 풍향과 풍속에 따른 강수성분의 변화를 조사하여 이들의 관련성을 밝혀본다.

3.2.1 풍향별 강수화학성분

각 풍향별로 발생한 강수 횟수와 평균 pH값과 이온농도를 나타낸 것이 Table 4이다. 채취한 강수의 발생빈도를 보면 동남동풍일 때가 8회로 가장 많다. 또한 풍향별 pH값을 보면 북동풍과 동북동

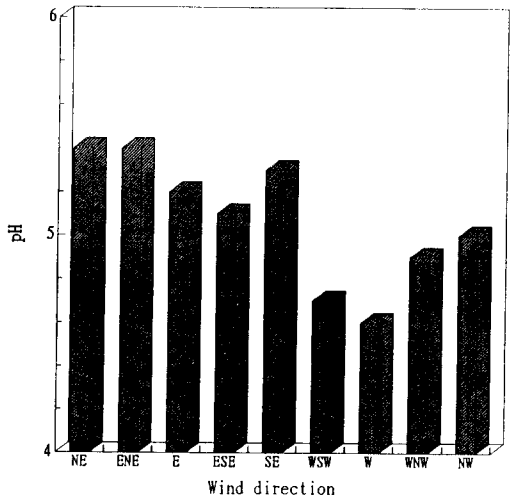

Fig. 6. Variation of the pH values with wind directions.

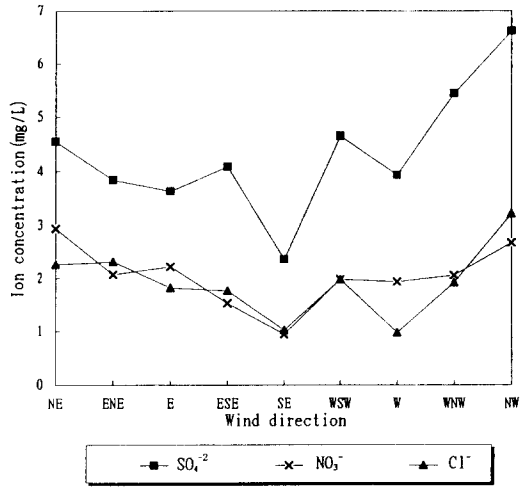

Fig. 7. Variation of the anion concentrations with wind directions.

풍일 때가 pH 5.4로 높고 서풍일 때가 pH 4.6으로 가장 낮다. 이는 대도시인 대구를 경유한 서풍과 반대 경우인 동풍계열의 바람에 의한 영향을 잘 반영하고 있다.

Fig. 6은 강수시의 풍향과 그 때의 pH값을 비교한 결과이다. 풍향에 따른 pH의 변화는 대체로 서풍계열인 경우에 강수의 pH값이 비교적 낮고, 반면에 동풍계열인 경우에는 비교적 높은 pH값을 나타낸다. 이처럼 서풍계열에서 낮은 pH값을 나타내는 것은 기류가 대구와 내륙을 거치면서 공중에 부유하고 있던 각종 오염물과 혼합하여 유입되고, 이러한 오염물이 원인이 되는 것으로 판단된다. 또한 동풍계열은 시료채취 지점으로 도달하는 동안 큰 오염물의 배출원이 없고 비교적 깨끗한 공기가 유입되기 때문인 것으로 생각된다. Wolff et al. (1979)의 연구결과에서도 황산화물, 질소산화물 등이 많이 배출되는 지역으로부터 유입되는 풍향일 때의 강수 pH가, 해양 등과 같이 오염배출원이 적은 지역을 통해 들어오는 풍향일 때의 강수 pH보다 낮은 것으로 분석되었다. 또한 Samara et al. (1992)의 연구에서도 강수시 지상풍향을 고려한 결과 바람이 산업지역을 거쳐 유입되었을 때의 pH는 5.34, 해안과 사막을 거쳐 유입되었을 때는 pH 5.75와 6.29로 나타남을 밝힌 바 있다. 반면에 최재천 등

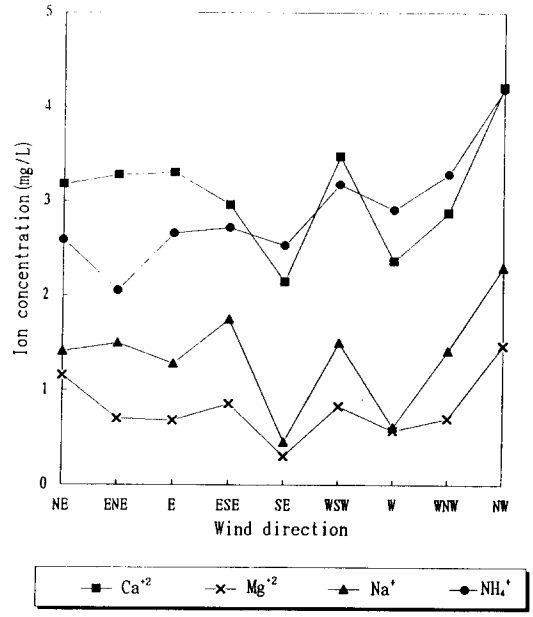

Fig. 8. Variation of the cation concentrations with wind directions.

(1994)의 연구에서는 북서풍일 때의 pH가 남동풍일 때보다 높은 것으로 측정하여, 그 이유를 내륙에서 Ca^{2+} 등의 pH 중화물질이 비산하여 유입되기 때문인 것으로 보고하였다.

Fig. 7과 Fig. 8은 풍향과 그에 따른 이온성분의 변화를 나타낸 것이다. 음이온의 경우 북서풍일

경우에 농도가 가장 높고 남동풍일 경우가 가장 낮게 나타난다. 마찬가지로 이것은 북서풍일 경우는 대구와 그 인근지역에서 배출된 오염물이 유입되며, 남동풍일 경우는 큰 오염 배출원이 없기 때문이다. Marquardt and Ihle (1988)도 도시지역을 통과하여 유입되는 바람과 해양을 통하여 유입되는 바람일 때를 비교하였는데 도시지역을 통과하는 바람이 불 때의 SO_4^{2-}와 NO_3^-농도가 강수 중에 높은 것으로 발표하였다.

양이온의 경우에서도 역시 북서풍일 때 모든 이온농도가 가장 높고 남동풍일 때 가장 낮다. 이는 대구를 거치면서 배출된 물질과 토양으로부터 비산된 입자의 영향으로 생각된다. Samara et al. (1992)의 연구에서도 지상풍이 사막과 해양을 거쳐 유입되었을 때의 강수성분을 조사하였는데 다른 풍향일 때 보다 Ca^{2+}가 월등히 높게 분석되어 Sahara사막의 영향으로 지적하였으며, Na^+, Cl^-, Mg^{2+} 등과 같이 해염의 영향을 받는 물질도 높다 하였다. 반면에 유럽의 공업지역을 통과하는 풍향일 때의 강수 pH는 비교적 낮은 5.34로 조사되었는데, 이 때의 이온농도는 SO_4^{2-}가 최대를 나타내어 공업지역에서의 배출로 추측하였다.

Table 5는 서풍계열과 동풍계열의 계절별 강수횟수와 평균 pH, 이온농도를 나타낸 것이다. 강수횟수는 서풍계열이 16회이고 동풍계열이 21회이다.

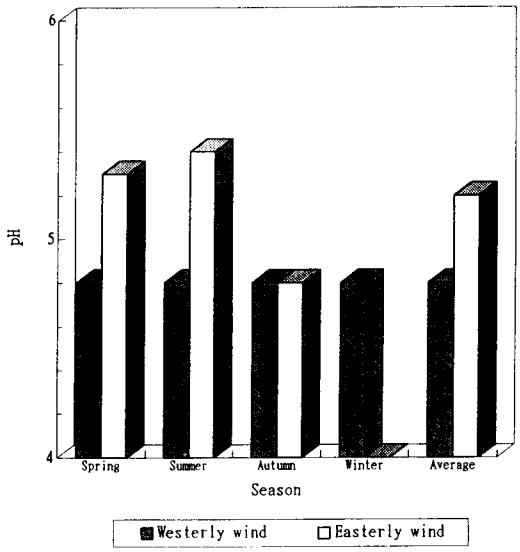

Fig. 9. Variations of the seasonal mean of pH values with the westerly and easterly wind.

풍계별 pH는 서풍계열이 pH 4.8, 동풍계열이 pH 5.2로 서풍계열이 동풍계열에 비해 낮으며, 계절별 pH에서는 서풍계열일 때의 pH가 4계절 모두 4.8이며, 동풍계열은 여름이 pH 5.4로 높고 가을이 pH 4.8로 가장 낮다. 겨울엔 동풍계열일 때의 강수가 없어서 비교할 수 없었다.

Fig. 9에서는 풍계별 pH를 계절별로 비교하였다. 봄과 여름에는 서풍과 동풍계열의 차가 큰 반면에

Table 5. Seasonal pH and ion concentrations with the westerly and easterly wind direction (Ion concentration: mg/L)

	Season	n	pH	SO_4^{2}	NO_3^-	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	NH_4^+
Westerly wind	Spring	3	4.8	5.10	2.13	3.57	4.72	1.32	2.91	3.68
	Summer	5	4.8	4.37	1.98	1.42	2.72	0.48	1.02	3.20
	Autumn	3	4.8	4.50	1.51	0.76	1.92	0.65	0.65	2.75
	Winter	5	4.8	5.39	2.54	1.70	3.08	0.77	0.98	3.21
	Average	(16)	4.8	4.84	2.04	1.86	3.11	0.81	1.39	3.21
Easterly wind	Spring	6	5.3	3.99	2.05	2.31	3.24	0.73	1.54	2.77
	Summer	12	5.4	3.48	1.78	1.68	3.01	0.67	1.22	2.29
	Autumn	3	4.8	5.03	1.46	1.38	2.41	1.06	1.77	3.14
	Winter	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Average	(21)	5.2	4.17	1.76	1.79	2.89	0.82	1.51	2.73

가을에는 pH 4.8로 같다.

Fig. 10은 풍계별 이온농도를 비교한 것이다. SO_4^{2-}와 NO_3^-, Ca^{2+}, NH_4^+는 서풍계열이 동풍계열에 비해 월등히 높으며, 다른 이온의 경우에는 큰 차이를 보이지 않는다. 이는 SO_4^{2-}와 NO_3^-의 경우 대구와 부근에 산재해 있는 공단에서 배출된 물질의 영향인 것으로 생각되며, Ca^{2+}와 NH_4^+는 물질의 장거리 이동에 의한 것으로 판단된다. Marquardt and Ihle (1988)의 연구에서도 도시지역을 통과하는 지상풍에 의한 강수일 때가 다른 경우보다 이온농도가 높은 것으로 조사되었으며, 강공언 등 (1992)의 연구에서도 도시지역의 이온농도가 해안지역보다 높은 것으로 조사되었다. 최재천 등 (1994)도 중부지방의 소백산에서 강수를 채취하여 북서풍계와 남동풍계로 구분하여 분석한 결과 상대적으로 북서풍일 때 NO_3^-가 높다 하였다.

Fig. 11은 계절에 따른 풍계별 이온간의 비교이다. 봄에는 서풍계열일 때의 이온농도가 동풍계열일 때보다 월등히 높은데 이는 중국으로부터 방출되는 황사와 각종 오염물의 유입과 대구에서 배출되는 오염물의 영향인 것으로 판단된다. 여름에는 차가 적은데 이는 많은 강수횟수로 인한 오염물의 희석으로 그 차이가 감소한 것으로 생각된다. 또한 가을의 경우 Na^+와 Cl^-이 동풍계열일 때가 많은데 이는 동해로부터의 해염 유입으로 판단된다. 겨울엔 서풍계열의 SO_4^{2-}와 NO_3^-의 농도가 다른 계절의 서풍계열의 농도보다 높은데 이는 화석연료 사용에 의한 농도 증가로 생각된다.

3.2.2 풍속별 강수성분

Table 6은 풍속과 pH, 이온농도와의 상관관계를 나타낸 것이다. 백재현 등 (1993)은 강수 당일 풍속이 느릴수록 대기 중의 SO_4^{2-} 농도가 높아지며 pH값은 낮아지는 것으로 보고한 바 있다. 본 연구에서도 풍속과 pH 및 이온성분과의 상관관계가 아주 미약하긴 하지만, 풍속과 pH와는 양의 상관을 또 풍속과 모든 이온성분과는 음의 상관을 나타낸다. 즉 풍속이 빠를수록 이온농도는 낮아지며, pH

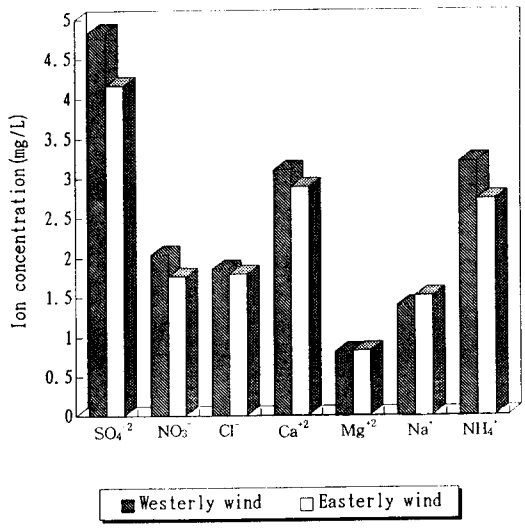

Fig. 10. Comparison of anion and cation concentrations by wind directions.

는 높아지는 것으로 분석되는데 이는 풍속이 빠를수록 대기확산이 활발하여 이온들의 농도가 낮아지기 때문인 것으로 생각된다.

4. 결 론

1994년 10월부터 1995년 9월까지 1년간 경산대학교에서 채취한 강수를 분석하여 월별 및 계절별 pH와 이온농도 그리고 이들과 풍향 및 풍속과의 관계를 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 강수의 pH는 연평균 5.0으로서 산성비에 해당하며, 7월이 pH 5.5로서 가장 높고 12월이 pH 4.4로서 가장 낮다. 계절별로는 여름이 pH 5.3으로 가장 높고 가을·겨울이 pH 4.7로서 가장 낮다. 총 관측 횟수 중 pH 5.0~5.5 사이가 56.8%로 빈도가 가장 많다.

2. 강수 중의 이온농도는 음이온이 $SO_4^{2-}>NO_3^-$ $>Cl^-$의 순으로 양이온이 $Ca^{2+}>NH_4^+>Na^+>Mg^{2+}$의 순으로 나타나며, 계절별로는 음이온은 봄과 겨울에 농도가 높고 여름과 가을에 낮은 경향이 있으며 양이온은 봄에 가장 높고 다른 계절은 낮은 분포이다.

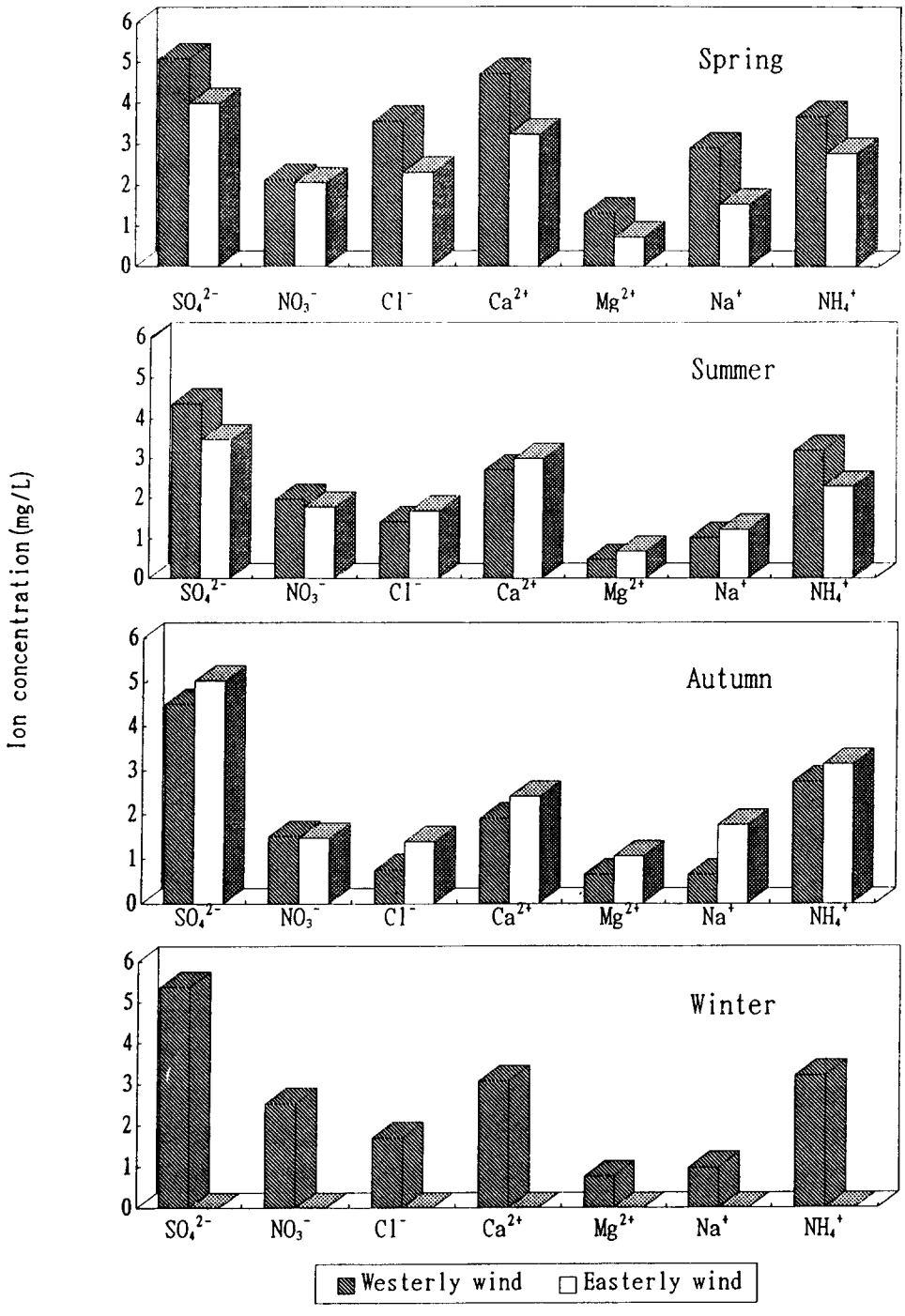

Fig. 11. Comparison of seasonal ion concentrations by wind directions.

Table 6. Correlation coefficients between wind speed and ion components

	pH	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	NH_4^+
Wind speed	0.17	−0.19	−0.41*	−0.30	−0.27	−0.07	−0.14	−0.25

Number of cases: 37 * : α<0.01

3. 강수의 pH와 각 이온성분들과의 상관관계는 아주 낮은 상관계수 (r=−0.25~0.08)를 나타내며, 이온들 간의 상관관계는 SO_4^{2-}와 NO_3^-, Na^+와 Cl^-이 높은 상관계수 (r=0.80~0.84)를 나타낸다.

4. 지상풍의 풍향에 따른 pH의 정도는 동북동풍과 북동풍일 때 pH 5.4로 가장 높고 서풍일 때 pH 4.6으로 가장 낮다. 계절별로는 서풍계열의 바람이 불 때는 4계절이 pH 4.8로서 모두 낮은 상태이며, 동풍계열의 바람이 불 때는 봄·여름이 pH 5.3~5.4, 가을이 pH 4.8이다.

5. 지상풍의 풍향에 따른 이온들의 농도는 양·음이온 모두가 대도시를 통과하는 북서풍일 때 최대, 반대인 남동풍일 때 최소의 농도를 나타낸다. 단지 가을에 Na^+와 Cl^-이 서풍계열 보다 동풍 계열일 때 더 높게 나타난다.

6. 지상풍의 풍속과 pH 및 각 이온들의 농도와의 상관성은 아주 낮은 상관계수이긴 하지만 풍속과 pH는 양의 상관계수 (r=0.17)를 나타내며 각 이온들과는 음의 상관계수 (r=−0.1~−0.4)를 나타낸다.

감사의 글

본 연구는 교육부의 1995년도 기초과학연구소 학술연구조성비지원 (BSRI-95-5401)에 의해 이루어졌습니다.

참 고 문 헌

기상월보, 1994, 10~1995. 8., 기상청.

한국환경연감, 1988~1994, 환경부.

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

강공언, 강병욱, 김희강, 1995, 강화지역 강수의 오염도 평가에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 11(1), 57~68.

권영식, 허원범, 1993, 원주지역의 산성강우현상에 관한 연구, 한국기상학회지, 29(2), 127~132.

김정수, 강인구, 장성기, 1992, 세정이론을 통한 산성비의 평가와 발원지 추적, 한국대기보전학회, 8(2), 121~127.

백재현, 장봉기, 김두희, 1993, 대구 및 구미지역의 대기오염물질 농도와 기상조건에 따른 우수의 수소이온 농도, 경북대학교 환경과학논문집, 7, 209~219.

정순화, 남재철, 이선기, 최재천, 1995, 한반도 중부지방의 산성비 분포 및 화학적 특성, 한국기상학회지, 31(2), 117~128.

조하만, 정순화, 남재철, 최병철, 최영진, 전영신, 이민영, 이선기, 최재천, 1992, 산성비에 관한 연구 (I), 기상연구소, MR92-4, 85 pp.

최재천, 이민영, 이선기, 1994, 고산지역 강수의 화학 성분 특성에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 10(1), 64~72.

Al-momani I. F., O. Y. Ataman, M. A. Anwari, S. Tuncel, C. Köse and G. Tuncel, 1995, Chemical composition of precipitation near an industrial area at Izmir, Turkey, Atmos. Environ., 29(10), 1131~1143.

Fornaro A., P. C. Isolani and I. G. R. Gutz, 1993, Low-cost automated rain collector and its application to the study of wet only deposition in São Paulo (Brazil), Atmos. Environ., 27

B(3), 307~312.

Glavas S., 1988, A wet-only precipitation study in a mediterranean site, Patras, Greece, Atmos. Environ., 22(7), 1505~1507.

Marquardt W. and P. Ihle, 1988, Acidic and alkaline precipitation components in the mesoscale range under the aspect of meteorological factors and the emissions, Atmos. Environ., 22(12), 2707~2713.

Miller J. M. and J. M. Harris, 1985, The flow climatology to Bermuda and its implications for long-range transport, Atmos. Environ., 19(3), 409~414.

Ruijgrok W. and F. G. R mer, 1993, Aspect of wet, acidifying depositon in Arnhem: Source regions, correlations and trends (1984~1991), Atmos. Environ., 27A(5), 637~653.

Samara C., R. Tsitouridou and Ch. Balafoutis, 1992, Chemical composition of rain Thessaloniki, Greece, in relation to meteorological conditions, Atmos. Environ., 26B(3), 359~367.

Singer A., Y. Shamay, M. Fried and E. Ganor, 1993, Acid rain Mt. Carmel, Israel, Atmos. Environ., 27A(15), 2287~2293.

Wolff G. T., P. J. Lioy, H. Golub and J. S. Hawkins, 1979, Acid precipitation in New York Metropolitan area: Its relationship to meteorological factors, Emviron. Sci. Technol., 13 (2), 209~212.

Zeng Y. and P. K. Hopke, 1989, A study of the sources of acid precipitation in Ontario, Canada, Atmos. Environ., 23(7), 1499~1509.