

산성강하물의 이온성분 분포에 관한 조사연구

— 한·일해협연안을 중심으로 —

조정구·유은철·한상민·전대영·송복주·곽진

대 기 보 전 과

산성강하물의 이온성분 분포에 관한 조사연구

— 한·일해협연안을 중심으로 —

대 기 보 전 과

조정구 · 유은철 · 한상민 · 전대영 · 송복주 · 곽진

A study on ion components distribution in acid precipitation

Air Preservation Division

J. G. Cho, E. C. Yoo, S. M. Han, D. Y. Jeon, B. J. Song, J. Kwak

Abstract

This study has been performed about acid rain static of cities on shore of Korea-Japan Channel for the seasonal period of 1995 to 1996 and was carried out to give the basic environmental preservation data for each country. The results were as

follows :

1. pH : The highest was 6.42 in January at Jeonnam Korea the lowest was 3.99 in October at Dazaifu Japan in 1995, while those in 1996 were 6.42 in April at Jeonnam, 4.28 in January at Nagasaki respectively.
2. N/nss-S(the ratio of nss-SO₄²⁻ to NO₃⁻) : The highest was equally 0.67 in October at Pusan Korea and Dazaifu Japan, the lowest was 0.14 in April at Jeonnam in 1995, while those in 1996 were 1.05 in January at Jeonnam, 0.15 in October at Pusan repectively.
3. NH₄⁺ / nss-Ca²⁺ (The equivalent concertration ratio of NH₄⁺ to nss-Ca²⁺) :
The average was 1.3 in Japan, 0.8 in Korea 1995, which indicates that nss-Ca²⁺ is the major neutral contribution in Korea, NH₄⁺ in Japan respectively.

1. 조사목적

최근 여러가지 지구적 규모의 환경문제가 크게 대두되고 있는 가운데 산성우가 대표적인 문제가 되고 있다. 강수는 물리 지구의 대기권, 지권, 수권을 순환하는 중요한 과정중의 하나이고 생물의 생존에도 빠질 수 없는 주요한 역할을 한다. 강수는 자연상태에서도 대기중의 이산화탄소가 용해되거나 화산가스의 영향으로 산성을 나타내기도 한다. 인간이 화석연료를 사용하면서 황산화물과 질소산화물이 가스상 형태로 대량 배출되어 대기중에서 황산과 질산으로 되며, 비를 강한 산성으로 변화시킨다. 산성우로 인하여 북미와 유럽은 호소와 산림에 크게 영향을 끼치고 있다. 한국에서는 산성우 문제가 처음으로 거론된 것은 1970년대 초였다. 당시 부산지방에 내린 비에 강한 산성도가 나타나 산성우 문제가 제기되었다. 이런 산성우가 공식적으로 거론된 것은 1980년 환경청이 출범하면서 시작되어, 현재는 33개 도시 47개지점에 산성우 측정망을 설치, 운영하고 있으며 향후 지속적으로 측정지점을 늘릴 예정이다. 일본에서는 1970년대에 산성우 문제에 특별한 관심을 갖기 시작하였으며 1983년부터 1987년까지 제1차 산성우 조사를 실시하였고 산성우의 측정을 전국적으로 시행하였다. 현재는 제3차 산성우 조사가 진행중이고 2000년대부터는

동아시아 산성우 모니터링 네트워크를 구상중이다. 산성우에는 아직 미해결 문제가 많이 남아 있으며, 산성우가 계속적으로 내린다면 장래에 환경에 큰 영향을 끼칠 가능성도 있다. 그때 대책을 세우는 것은 이미 늦어지므로 지금부터라도 원인을 규명하고 가능한 대책을 세우는 것이 필요하다.

산성우는 국가와 지역의 문제뿐만 아니라 국경을 초월하는 지구적 규모의 환경 문제가 되고 있다. 본 조사연구는 한·일해협연안지역의 산성우의 실태를 광역적으로 파악하고 한·일양국간의 환경보전에 기초자료가 되는 것을 목적으로 한다.

2. 조사방법

2-1 조사기간

조사기간은 '95, '96년 1월(겨울), 4월(봄), 7월(여름), 10월(가을)의 각 계절별로 1개월을 조사기간으로 정하였다.

2-2 조사지점

조사지점은 한국측은 5개지점 (부산광역시 2개지점, 전라남도 1개지점, 경상남도 1개지점, 제주도 1개지점), 일본측은 4개지점(福岡縣 1개지점, 佐賀縣 1개지점, 長崎縣 2개지점)으로 총 9개지점을 대상으로 조사하였으며, 조사지점의 위치도는 Fig. 1에 나타내었다.

2-3 조사지점의 개요

각 조사지점에 대한 대략의 개요는 Table 1에 나타내었다.



Fig. 1 Sampling Sites.

Table 1. Outline of sampling sites

시료 채취 장소	개황	위치
부산광역시 보건환경연구원 옥상 약칭: 부산①	· 인구 약 400만의 대도시 · 항구도시 · 서쪽 약 3km지점에 계강공장	· 표 고 35m · 지상고 12m · 북 위 35° 08' · 동 경 129° 05'
부산광역시 공복동사무소 약칭: 부산②	· 부산의 중심에 위치 · 주변인구는 약 7만 · 상업지역 · 주변에 대기오염 발생원 없음	· 표 고 3.5m · 지상고 15m · 북 위 32° 08' · 동 경 129° 01'
전라남도 목포시 목포시청 옥상 약칭: 전 남	· 인구 약 22만이며 삼면이 바다 · 서쪽 약 2.5km에 지방공단 위치	· 표 고 18m · 지상고 12m · 북 위 34° 48' · 동 경 126° 23'
경상남도 창원시 보건환경연구원 옥상 약칭: 경 남	· 인구 약 40만 · 공업도시 · 기계공업단지 위치	· 표 고 60m · 지상고 5.0m · 북 위 35° 15' · 동 경 128° 41'
제주도 제주시 보건환경연구원 옥상 약칭: 제 주	· 인구 약 26만 · 사업, 관광도시 · 청정한 대기질 위치	· 표 고 95m · 지상고 6m · 북 위 33° 28' · 동 경 126° 31'
福岡縣 太宰府市 保健環境研究所 屋上 약칭: 太宰府	· 인구 약 6만 · 부근 1.5km에 간선도로 위치 · 상업, 관광도시	· 표 고 27m · 지상고 20m · 북 위 33° 30' · 동 경 130° 30'

시료 채취 장소	개황	위치
佐賀縣 佐賀市 環境 Center 약칭: 佐賀	· 인구 약 17만 · 농업도시 · 대기오염 발생원 없음	· 표 고 5.5m · 지상고 20m · 북 위 33° 27' · 동 경 130° 27'
長岐縣 長岐市 式見 Dam 약칭: 長岐	· 인구 약 44만 · 중소도시 · 청정도시	· 표 고 70m · 지상고 1.3m · 북 위 32° 82' · 동 경 130° 27'
長岐縣 大村市 大村保健所 屋上 약칭: 大村	· 인구 약 7만 · 소도시 · 부근 약 7km에 화력발전소 있음	· 표 고 13m · 지상고 8m · 북 위 32° 55' · 동 경 129° 58'

2-4 시료의 채취방법

강수의 채취는 강수감지 센서가 장착된 자동채취장치를 사용하여 매 1 강수시마다 시료를 채취하여 분석 대상의 시료로 하였다. 매 1 강수로는 다음 강수까지 3시간 이내의 강수로 하고, 시료의 회수는 근무시간내에 하였다.

2-5 분석항목, 분석방법 및 검출 하한치

분석항목, 분석방법 및 검출 하한치를 Table 2에 표시하였으며, 분석항목 pH, EC, SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ 등 10개 항목을 측정하였다. 조사를 실시함에 있어서 사전에 모의시료를 통한 정도관리시험을 시행하였으며 그 결과, 각 연구기관의 분석정도는 충분히 만족할 수 있는 정도였다. 데이터의 질은 양이온의 총합과 음이온 총합의 비 (Ion Balance)와 전도율(EC)의 계산치와 실측치의 비로 평가하고, 그 결과 0.8~1.2의 범위에 들어가지 않는 것에 대해서는 원칙적으로 재 분석을 행하였다.

Table 2. Analytical components, methods and detection limits

분 석 항 목	분 석 방 법	검 출 하 한 치
pH	유리 전극법	0.01
EC	전기전도도계에 의한 방법	0.1 μ /cm
SO ₄ ²⁻	IC법	0.05mg/l
NO ₃ ⁻	IC법	0.05mg/l
Cl ⁻	IC법	0.02mg/l
NH ₄ ⁺	IC법, 인도페놀법	0.01 ~ 0.02mg/l
Ca ²⁺	IC법, 원자흡광광도법, ICP법	0.02mg/l
Mg ²⁺	IC법, 원자흡광광도법, ICP법	0.02mg/l
K ⁺	IC법, 원자흡광광도법	0.02mg/l
Na ⁺	IC법, 원자흡광광도법	0.02mg/l

3. 조사결과

3-1 강수중의 성분농도 측정결과

강수의 pH, EC, H⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺에 관한 월평균당량농도를 Table 3, 4에, 조사위의 당량강하량을 Table 5, 6에 나타내었다. 강수성분의 월평균치는 강수량을 고려하여 가중평균을 산출하였다. 평균 pH는 H⁺농도의 가중평균을 산출하여 pH로 환산하였다. 월강하량은 각 강수농도와 강수량을 곱해서 산출하고, 각 조사위로 집계하였다. 월가중 평균농도의 계산은 각 강수중의 성분농도에 강수량을 곱한 후 강수량으로 나누어서 산출하였다.

$$\text{월평균농도} = (A_1Q_1 + A_2Q_2 + \dots + A_nQ_n) / (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n)$$

A = 강수중의 성분농도

Q = 강수량

n = 강수회수

강수중에는 인위적으로 기원한 오염물질성분 외, 자연적 발생에 의한 것도 많이

함유하고 있으며, 특히 해안지역에서 해염침자에 의한 기여도 크다. 인위적 기원에 의한 강수의 성상을 정확히 파악하기 위해서 강수중에 함유된 SO_4^{2-} , Cl^- , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 에 관한 비해염(nss : non sea salt)농도를 구하였다. 각 성분의 비해염농도는 Na^+ 성분을 기준으로 하는 방법으로서 강수중에 함유된 Na^+ 양은 모두 해염기원(ss : sea salt)으로 보았고, 해수중의 Na^+ 이온에 대한 당량조성비를 이용하여 산출하였다. 해염기원의 성분농도의 당량조성비율은 해안·대기·강수중에서 변화하지 않는다고 가정하였다. 예로 nss- SO_4^{2-} 는 다음에 의해서 계산하였다.

- 해염기원 SO_4^{2-} (ss- SO_4^{2-}) = (해수중 $[\text{SO}_4^{2-}]/\text{해수중} [\text{Na}^+]) \times \text{강수량}[\text{Na}^+]$
- 비해염기원 SO_4^{2-} (nss- SO_4^{2-}) = 강수중 $[\text{SO}_4^{2-}] - [\text{ss-}\text{SO}_4^{2-}]$

4. 조사결과와 검토 및 고찰

양 지역의 강수 성분농도와 강수량, 및 각 이온의 상관관계에 대하여 검토 및 고찰을 하였다. 또한 조사지점의 표기에 대해서는, Table 1의 약칭(부산①, 부산②, 전남, 제주, 太宰府, 佐賀, 長崎, 大村)을 사용하였으며, 제주의 경우 1996년도에 우수 채취장비가 가동이 되어 1995년도에 한해 제주는 조사대상에서 제외하였다.

4-1. 강수성분농도의 지역특성

(1) pH와 강수량

pH에 대하여 살펴보면, 1995년도의 최고치는 1월의 전남지역이 6.42, 최저치는 10월의 太宰府가 3.99이었다. 계절별로 비교해보면, 7월은 전남을 제외한 전 조사 지점에서 평균적으로 높은 값을 나타내었다. 그리고 양 지역을 비교해보면, 1월과 10월은 한국측의 pH값이 높게 나타났다. 1996년도에는 한국의 전남지역에서 4월에 pH 6.42로 최고치를 나타내었고 최저치는 1월의 長崎에서 pH 4.28로 나타났다. 한국남해안에서 관측된 pH는 4.59에서 6.42의 범위였으며, 일본구주북부지역에서는 pH 4.28에서 5.22의 범위를 나타내어 전반적으로 일본구주북부지역이 낮은 경향을 보였다. 강수량은 1995년도의 최고는 7월의 佐賀지역이 647.8mm, 최저는 10월의 전

남지역이 8.9mm이었다. 계절별로 비교해보면, 7월>4월>10월>1월의 순이었다. 양 지역을 서로 비교해보면, 전 조사기간동안 일본구주북부지역이 강수량이 많았으며, 특히 4월과 7월은 그 차이가 크게 나타났다. 1996년도에는 한국의 부산지역에서 7월에 280mm로 최고를 나타내었고, 최저는 1월에 부산지역에서는 강수가 전혀 없었다. 계절별로 비교해보면, 7월>4월>10월>1월의 순이었으며, 양지역을 서로 비교해보면, 7월의 부산을 제외하고는 대체적으로 일본구주북부지역이 많았다. (Fig. 2, 3 참조)

Table 3. Monthly average equivalent concentration of ions in precipitation (Unit: $\mu\text{eq/l/month}$)

地點	年	月	NO	降水量 mm	pH	非海鹽											TCAT/ TANI			
						H ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻		K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
釜山① 釜山② 全南 慶太 率府 佐賀 長崎 大	95	1	1	32.3	4.96	10.9	41.2	22.8	19.3	39.1	7.6	36.7	11.3	3.2	36.5	-26.2	6.7	35.0	2.3	1.3
			2	31.8	4.92	12.1	62.3	22.4	28.7	36.9	10.1	46.9	13.6	14.3	57.9	-14.3	9.4	45.3	5.2	1.2
			3	42.3	6.42	0.4	43.2	19.5	42.3	31.7	7.5	28.3	15.2	18.9	39.4	10.1	6.8	26.9	8.0	0.9
			4	33.6	4.62	23.9	36.2	16.0	12.8	6.2	3.0	13.8	2.1	7.2	35.5	5.7	2.8	13.6	0.7	0.9
			5	80.6	4.27	53.4	93.7	18.3	183.5	138.0	5.3	30.6	35.2	44.5	77.2	22.7	2.3	24.5	3.7	1.0
			6	50.0	4.31	49.4	68.5	21.9	97.1	72.7	3.9	20.2	21.5	30.5	59.8	12.4	2.4	17.0	4.9	1.1
			7	45.5	4.32	48.3	114.6	36.0	347.9	339.0	16.5	69.1	16.7	81.4	73.9	-47.0	9.3	54.4	-60.6	1.1
			8	52.6	4.38	42.2	90.8	28.1	206.0	179.6	7.7	50.8	16.6	64.1	69.3	-3.2	3.9	43.0	-24.3	1.1
釜山① 釜山② 全南 慶太 率府 佐賀 長崎 大		4	1	123.6	4.48	33.4	63.9	24.6	20.9	28.9	8.0	20.5	19.1	12.4	60.5	-12.8	7.4	19.2	12.5	1.1
			2	118.1	4.29	50.8	67.0	26.2	16.7	21.1	8.2	22.8	5.4	11.3	64.4	-7.8	7.7	21.8	0.6	1.1
			3	111.2	4.94	11.5	60.7	8.2	20.8	11.6	6.0	23.0	5.2	36.7	59.4	7.3	5.7	22.5	2.5	1.0
			4	102.8	5.69	2.0	39.0	14.1	25.9	16.2	12.0	42.8	7.6	10.3	37.1	7.0	11.6	42.1	3.9	1.2
			5	137.7	4.55	28.1	45.0	17.2	18.3	9.4	1.3	26.4	4.4	25.4	43.9	7.3	1.1	25.9	2.2	1.2
			6	214.6	4.61	24.3	35.9	12.5	15.6	9.3	1.3	10.7	3.7	22.9	34.7	4.8	1.0	10.3	1.6	1.1
			7	325.5	4.93	11.7	27.7	10.2	29.1	39.6	1.1	7.2	1.5	11.2	22.9	-17.1	0.3	5.5	-7.6	1.1
			8	389.3	4.84	14.4	30.1	10.4	30.6	36.7	0.7	8.3	2.9	11.5	25.7	-12.2	-0.1	6.7	-5.5	1.0
釜山① 釜山② 全南 慶太 率府 佐賀 長崎 大		7	1	55.7	5.16	6.9	87.8	22.9	34.6	29.1	6.5	37.1	27.1	53.2	84.3	0.7	5.9	35.8	20.4	1.1
			2	54.7	5.29	5.1	109.7	21.1	34.1	30.5	3.9	46.8	29.8	59.6	106.1	-1.4	3.2	45.5	22.8	1.1
			3	87.3	5.41	3.9	41.4	13.0	17.4	11.0	3.0	14.1	6.3	29.9	40.2	4.7	2.8	13.8	4.0	1.1
			4	211.7	5.17	6.8	42.2	16.8	53.0	40.7	4.4	25.5	9.6	14.3	37.3	5.6	3.6	23.7	0.3	0.9
			5	316.7	5.26	5.4	13.7	5.5	11.5	5.6	1.8	6.1	2.0	9.0	13.0	5.0	1.7	5.9	0.7	1.0
			6	647.8	5.13	7.5	9.0	2.7	6.8	4.6	1.0	4.1	2.0	2.2	8.5	1.4	0.9	3.9	1.0	1.2
			7	469.1	5.42	3.8	17.8	6.8	39.2	36.0	1.6	12.6	2.9	11.2	13.5	-2.6	0.8	11.0	-5.3	1.1
			8	588.9	5.41	3.9	12.1	5.0	29.0	25.2	1.2	11.5	0.3	7.6	9.1	-0.4	0.6	10.4	-5.4	1.1
釜山① 釜山② 全南 慶太 率府 佐賀 長崎 大		10	1	39.5	5.43	3.7	71.4	44.4	49.9	43.5	18.4	54.6	20.9	4.51	66.2	-0.9	17.5	52.7	10.9	1.1
			2	37.7	4.75	17.9	78.0	44.0	46.8	44.6	18.5	51.4	17.1	35.0	72.6	-5.2	17.6	49.5	6.9	1.1
			3	8.9	6.01	1.0	104.2	49.9	67.0	47.9	21.9	75.5	24.3	55.7	98.5	11.3	20.9	73.4	13.4	1.0
			4	53.0	5.02	9.6	39.0	16.3	42.2	33.0	4.7	32.6	8.9	16.3	35.0	3.7	4.0	31.5	1.3	1.1
			5	111.5	3.99	101.8	67.0	41.8	71.2	36.1	2.9	26.9	12.3	12.0	62.7	29.1	2.1	25.3	4.1	1.1
			6	70.8	4.40	39.9	45.7	19.1	26.8	17.8	1.0	8.8	4.4	17.4	43.5	6.0	0.6	8.0	0.3	1.0
			7	70.3	4.59	25.8	49.8	15.4	74.7	64.1	3.2	9.1	17.2	15.0	42.1	0.1	1.8	6.3	2.6	1.0
			8	86.9	4.47	34.2	35.0	13.7	24.6	16.2	1.1	6.8	5.3	14.0	33.1	5.7	0.8	6.1	1.7	1.1

Table 4. Monthly depositions of ion in precipitation at each site (Unit: $\mu\text{eq/m}^2/\text{month}$)

地點	年	月	NO	降水量 mm	H ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	非海鹽(nss-) K ⁺ Ca ²⁺	Mg ²⁺	
釜山① 釜山② 全南 全慶 大宰府 佐賀 長崎 大村	95	1	1	32.3	0.35	1.33	0.73	0.62	1.26	0.24	1.18	0.36	0.10	1.18	-0.85	0.22	1.13	0.08
			2	31.8	0.39	1.98	0.71	0.91	1.17	0.32	1.49	0.43	0.45	1.84	-0.45	0.30	1.44	0.16
			3	42.3	0.02	1.84	0.83	1.99	1.35	0.32	1.20	0.65	0.80	1.68	0.43	0.29	1.14	0.34
			4	33.3	0.80	1.22	0.50	0.43	0.21	0.10	0.46	0.07	0.24	1.19	0.19	0.10	0.46	0.02
			5	80.6	4.30	7.55	1.48	14.79	11.12	0.42	2.46	2.83	3.59	6.22	1.83	0.19	1.98	0.30
			6	50.0	2.47	3.43	1.10	4.85	3.63	0.20	1.01	1.07	1.53	2.99	0.62	0.12	0.85	0.24
			7	45.5	2.20	5.22	1.64	15.84	15.44	0.75	3.15	0.76	3.71	3.36	-2.14	0.43	2.48	-2.76
			8	52.5	2.22	4.78	1.48	10.85	9.46	0.41	2.68	0.88	3.37	3.65	-0.17	0.21	2.26	-1.28
釜山① 釜山② 全南 全慶 大宰府 佐賀 長崎 大村	4	1	123.6	4.12	7.90	3.04	2.58	3.57	0.99	2.53	2.37	1.53	7.47	-1.58	0.91	2.38	1.55	
		2	118.1	6.00	7.91	3.10	1.97	2.49	0.97	2.69	0.63	1.34	7.61	-0.93	0.91	2.58	0.07	
		3	111.2	1.30	6.85	0.93	2.34	1.31	0.67	2.59	0.58	4.13	6.69	0.82	0.65	2.53	0.29	
		4	102.8	0.21	4.01	1.45	2.67	1.67	1.23	4.41	0.79	1.06	3.81	0.72	1.20	4.33	0.41	
		5	137.7	3.87	6.20	2.37	2.52	1.30	0.18	3.63	0.60	3.50	6.04	1.01	0.16	3.57	0.30	
		6	214.6	5.22	7.70	2.68	3.34	1.99	0.25	2.30	0.79	4.91	7.46	1.02	0.20	2.21	0.34	
		7	325.5	3.79	9.01	3.31	9.46	12.91	0.36	2.36	0.47	3.64	7.46	-5.57	0.08	1.80	-2.47	
		8	389.3	5.60	11.74	4.04	11.92	14.30	0.28	3.24	1.12	4.49	10.02	-4.73	-0.02	2.62	-2.14	
釜山① 釜山② 全南 全慶 大宰府 佐賀 長崎 大村	7	1	55.7	0.39	4.89	1.27	1.93	1.62	0.36	2.07	1.51	2.96	4.69	0.04	0.33	2.00	1.14	
		2	54.7	0.28	6.01	1.15	1.86	1.67	0.21	2.56	1.63	3.26	5.81	-0.08	0.18	2.49	1.25	
		3	87.3	0.34	3.62	1.14	1.52	0.96	0.26	1.23	0.55	2.61	3.51	0.41	0.24	1.20	0.35	
		4	211.7	1.45	8.93	3.56	11.21	8.61	0.94	2.39	2.03	3.03	7.89	1.19	0.76	5.02	0.07	
		5	316.7	1.72	4.34	1.75	3.65	1.78	0.58	1.94	0.63	2.87	4.13	1.57	0.54	1.86	0.22	
		6	647.8	4.84	5.86	1.77	4.42	3.00	0.62	2.68	1.33	1.44	5.50	0.93	0.56	2.55	0.64	
		7	469.1	1.77	8.36	3.18	18.40	16.86	0.76	5.90	1.36	5.24	6.34	-1.24	0.40	5.16	-2.49	
		8	588.9	2.30	7.15	2.94	17.07	14.86	0.68	6.79	0.20	4.47	5.36	-0.24	0.36	6.14	-3.19	
釜山① 釜山② 全南 全慶 大宰府 佐賀 長崎 大村	10	1	39.5	0.15	2.82	1.76	1.97	1.72	0.73	2.16	0.83	1.78	2.62	-0.03	0.69	2.08	0.43	
		2	37.7	0.68	2.94	1.66	1.76	1.68	0.70	1.94	0.65	1.32	2.74	-0.20	0.66	1.87	0.26	
		3	8.9	0.01	0.93	0.44	0.60	0.43	0.20	0.67	0.22	0.50	0.83	0.10	0.19	0.65	0.12	
		4	53.0	0.51	2.07	0.86	2.24	1.75	0.25	1.74	0.47	0.87	1.86	0.20	0.21	1.67	0.07	
		5	111.5	11.35	7.47	4.66	7.93	4.02	0.32	3.00	1.37	1.34	6.99	3.25	0.24	2.82	0.45	
		6	70.8	2.82	3.23	1.35	1.90	1.26	0.07	0.62	0.31	1.23	3.08	0.43	0.05	0.57	0.02	
		7	70.3	1.81	3.51	1.08	5.26	4.51	0.22	0.64	1.21	1.05	2.96	0.01	0.13	0.44	0.18	
		8	86.9	2.97	3.05	1.19	2.14	1.41	0.10	0.59	0.46	1.22	2.8	0.50	0.07	0.53	0.14	

Table 5. Monthly average equivalent concentration of ions in precipitation (Unit: $\mu\text{eq}/\ell/\text{month}$)

地點	年	月	NO	降水量 mm	pH	非海鹽											TCAT/ TANI									
						H ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻		K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺						
釜山① 釜山② 全慶南 濟州 太宰府 佐賀 長崎 大村	96	1	1	-	-	6.55	29.11	28.35	9.50	16.99	3.79	17.21	7.82	14.54	24.85	-21.02	3.18	-	-	-	-	-	-	-		
			2	29.6	5.18	8.32	83.75	44.52	68.17	43.48	3.08	124.00	15.00	14.44	72.84	-9.96	1.51	123.35	9.78	1.00	-	-	-	-	-	
			3	28.4	5.08	25.71	75.78	69.41	65.11	78.12	6.40	21.79	19.24	34.58	56.17	-75.27	3.59	18.82	9.87	1.03	-	-	-	-	-	-
			4	28.9	4.59	26.98	78.57	40.54	162.05	151.52	9.49	34.70	35.91	51.14	40.54	-10.23	4.04	28.94	17.72	1.14	-	-	-	-	-	-
			5	43.8	4.57	38.51	75.33	32.60	60.72	45.57	3.61	32.75	12.99	37.95	63.90	-21.16	1.97	31.01	7.52	1.03	-	-	-	-	-	-
			6	47.6	4.41	52.21	92.41	39.85	142.49	134.85	4.78	15.49	20.76	32.46	58.56	-99.83	-0.08	10.36	4.58	0.93	-	-	-	-	-	-
			7	45.8	4.28	42.05	139.19	59.99	146.81	145.98	7.87	51.78	32.97	65.70	102.55	-15.52	2.61	46.23	15.45	0.97	-	-	-	-	-	-
			8	22.6	4.38	9.47	94.57	20.52	132.91	60.07	6.23	130.08	18.02	55.37	79.49	24.96	4.07	127.80	10.81	1.03	-	-	-	-	-	-
			9	114.3	5.02	11.61	93.79	21.99	130.89	63.53	6.56	127.05	22.26	59.11	77.84	16.73	4.28	124.64	14.64	1.10	-	-	-	-	-	-
釜山① 釜山② 全慶南 濟州 太宰府 佐賀 長崎 大村	4	4	1	33.1	6.42	0.38	108.75	19.44	37.07	21.99	4.87	154.78	18.50	26.82	103.23	-2.46	4.08	153.94	15.86	1.19	-	-	-	-	-	
			2	49.0	5.72	1.92	127.26	27.82	27.67	22.59	5.28	95.44	15.00	47.98	121.59	-12.92	4.46	94.58	12.29	0.96	-	-	-	-	-	-
			3	33.6	5.23	5.84	161.22	31.21	43.35	52.39	6.95	153.33	28.10	50.08	148.07	-50.79	5.06	151.34	21.82	1.00	-	-	-	-	-	-
			4	96.7	4.85	14.23	43.60	19.57	22.83	22.09	3.18	16.88	6.53	27.88	38.06	-16.86	2.38	16.04	3.88	1.10	-	-	-	-	-	-
			5	109.6	4.79	16.16	35.63	11.67	13.07	9.10	0.65	23.11	2.24	16.70	33.35	-3.29	0.32	22.77	1.15	1.10	-	-	-	-	-	-
			6	84.5	4.67	21.25	47.03	14.44	29.66	24.82	1.95	19.73	8.19	20.87	40.80	-14.94	1.05	18.79	5.21	1.05	-	-	-	-	-	-
			7	91.1	5.05	8.99	50.16	15.01	25.87	17.31	1.94	38.97	11.71	25.55	45.82	-5.23	1.32	39.31	9.64	1.07	-	-	-	-	-	-
			8	280.1	4.75	17.88	36.89	9.18	15.81	11.84	4.07	18.59	6.36	10.54	33.92	-5.46	3.65	18.14	4.94	1.09	-	-	-	-	-	-
			9	276.3	4.72	19.04	38.10	9.59	15.21	14.32	5.98	20.62	10.44	12.21	34.51	-10.52	5.47	20.08	8.72	1.36	-	-	-	-	-	-
釜山① 釜山② 全慶南 濟州 太宰府 佐賀 長崎 大村	7	7	1	123.0	5.31	4.87	17.94	7.35	5.60	4.66	1.01	3.97	2.27	12.66	16.77	-2.79	0.84	3.80	1.71	0.93	-	-	-	-	-	
			2	176.0	4.67	21.41	37.39	18.53	14.92	12.43	2.11	19.94	3.49	16.01	34.27	-7.42	1.66	19.47	1.99	1.07	-	-	-	-	-	
			3	42.6	5.34	4.61	42.00	12.25	18.10	21.08	2.45	15.92	5.91	16.93	36.71	-19.79	1.69	15.12	3.38	0.91	-	-	-	-	-	-
			4	144.8	4.91	12.38	20.32	12.12	11.46	10.75	2.24	4.13	2.06	11.01	17.62	-7.86	1.86	3.72	0.77	0.95	-	-	-	-	-	-
			5	107.9	4.61	24.68	39.68	26.42	18.82	13.96	0.77	9.26	2.67	32.51	36.17	-6.27	0.27	8.73	1.00	0.98	-	-	-	-	-	-
			6	127.4	4.83	14.66	22.49	13.79	42.52	37.96	2.06	8.62	9.93	14.46	12.96	-25.69	0.70	7.18	5.37	1.15	-	-	-	-	-	-
			7	159.1	5.22	5.96	20.18	11.06	19.72	14.95	1.32	9.92	6.80	20.77	16.43	-7.15	0.78	9.35	5.00	1.23	-	-	-	-	-	-
			8	84.6	4.62	24.09	83.29	12.41	24.22	17.01	7.11	16.2	2.20	47.15	79.02	-6.34	6.50	15.55	0.15	0.95	-	-	-	-	-	-
			9	83.6	4.65	22.17	81.29	13.39	26.21	18.18	9.38	17.80	10.39	41.76	76.73	-6.46	8.73	17.11	8.21	0.99	-	-	-	-	-	-
釜山① 釜山② 全慶南 濟州 太宰府 佐賀 長崎 大村	10	10	1	50.9	5.42	3.83	61.93	23.59	41.93	32.08	3.70	21.54	14.17	32.97	53.88	-15.71	2.54	20.32	10.32	0.83	-	-	-	-	-	
			2	68.2	5.43	3.70	28.02	11.30	24.42	18.50	1.97	19.87	34.89	10.60	23.38	-8.82	1.30	19.17	32.67	1.84	-	-	-	-	-	-
			3	60.4	4.85	14.06	47.53	13.14	57.55	51.05	2.05	4.45	26.39	11.29	34.71	-34.18	0.21	2.51	20.27	0.92	-	-	-	-	-	-
			4	70.0	4.36	43.58	53.84	33.55	29.57	24.83	3.50	13.47	12.72	29.63	48.11	-11.47	2.68	12.60	9.96	0.89	-	-	-	-	-	-
			5	47.2	4.33	47.03	55.02	22.77	42.92	34.38	2.69	11.55	5.09	22.55	46.39	-18.85	1.46	10.25	0.96	1.02	-	-	-	-	-	-
			6	36.4	4.57	27.09	33.52	12.15	11.71	5.63	0.40	6.23	2.14	15.39	32.10	1.59	0.19	6.01	1.47	0.98	-	-	-	-	-	-
			7	33.9	4.75	17.61	56.36	22.82	36.80	30.27	1.27	18.71	15.12	36.99	48.76	-17.59	0.18	17.56	11.49	1.02	-	-	-	-	-	-
			8	33.9	4.75	17.61	56.36	22.82	36.80	30.27	1.27	18.71	15.12	36.99	48.76	-17.59	0.18	17.56	11.49	1.02	-	-	-	-	-	-
			9	33.9	4.75	17.61	56.36	22.82	36.80	30.27	1.27	18.71	15.12	36.99	48.76	-17.59	0.18	17.56	11.49	1.02	-	-	-	-	-	-

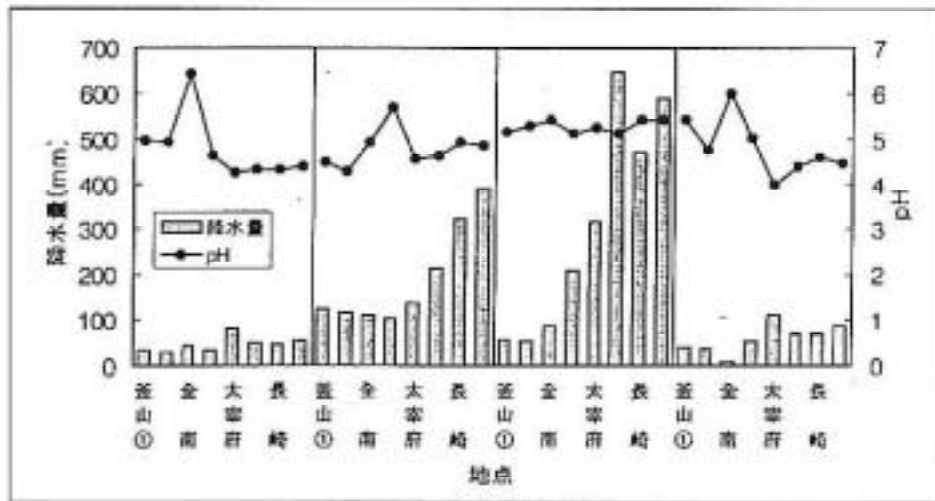


Fig. 2 Monthly rainfall amounts and pH at each sampling site(1996).

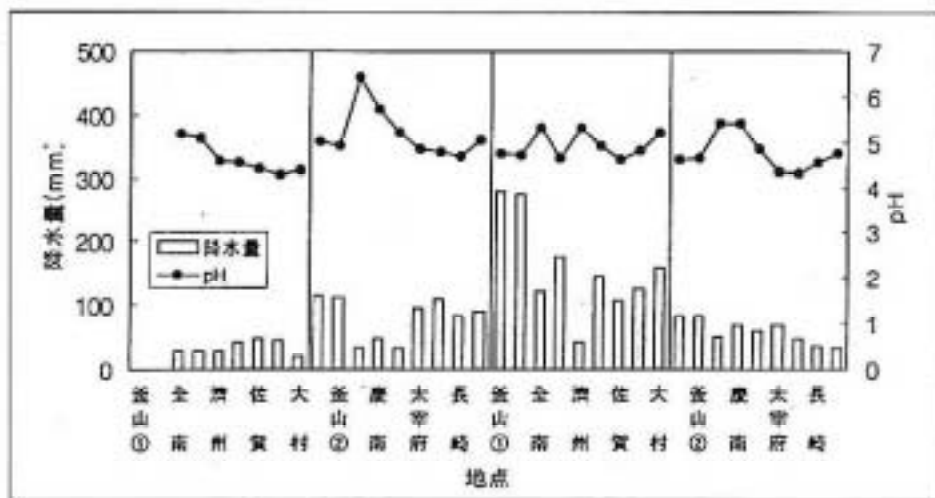


Fig. 3 Monthly rainfall amounts and pH at each sampling site(1996).

(2) $nss-SO_4^{2-}$, NO_3^- 농도 및 N/nss-S 농도비

강수산성도의 기여도를 알아보기 위해 2차생성 오염물질인 $nss-SO_4^{2-}$, NO_3^- 농도 및 N/nss-S의 농도비에 대하여 검토하여 보았다.

① 1995년 결과

nss-SO₄²⁻·NO₃⁻농도에 대하여 살펴보면, 최고치는 7월에 부산②가 106.1μeq/ℓ, 최저치는 7월에 佐賀가 8.5μeq/ℓ이었다. 계절별의 변화는, 한국에서는 현저한 차이가 나타나지 않았으나, 일본구주북부에서는 강수량이 많은 7월의 농도가 다른 기간에 비하여 현저히 낮게 나타났다. 양 지역을 비교해보면, 1월은 일본구주북부지역의 농도가 높았던 것에 비하여, 다른 조사기간 동안은 한국남해안지역이 높은 값을 나타내었다. 또, 7월의 농도는 양 지역간에 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다.

NO₃⁻농도를 살펴보면, 최고치는 10월중에 전남지역이 49.9μeq/ℓ, 최저치는 7월중에 佐賀가 2.73μeq/ℓ으로 나타났다. 계절별의 변화는 nss-SO₄²⁻농도와 같은 변화를 나타내었고, 일본구주북부에서 7월의 농도가 현저히 낮게 나타났다. 전체적으로는 10월이 높게 나타났고, 7월이 낮게 나타나는 결과를 얻었다. 양 지역을 비교해보면, 1월은 일본구주북부지역의 농도가 다소 높게 나타났으며, 그 외의 조사기간에는 한국남해안지역이 높게 나타났다. 자동차 등의 이동발생원에 의해 주로 발생하는 NO₃⁻와 발전소 등의 고정발생원에 의해 주로 발생하는 nss-SO₄²⁻의 비인 N/nss-S (NO₃⁻와 nss-SO₄²⁻의 당량농도비)를 살펴보면, 최고치는 부산① 지점에서, 10월에 0.67, 최저치는 4월에 전남이 0.14, 일본구주북부지역은 10월에 太宰府에서 0.67로 나타났다. (Table 7, Fig. 4, 5 참조)

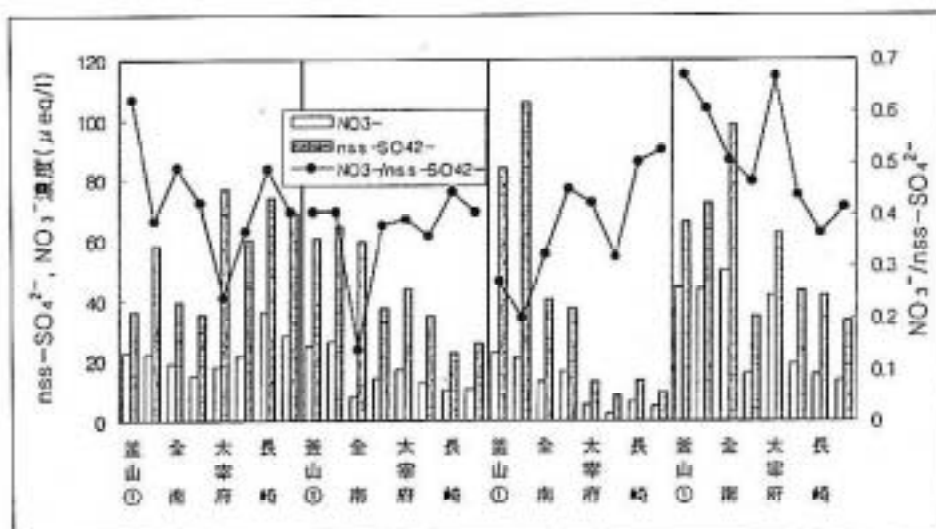


Fig. 4 Monthly nss-SO₄²⁻, NO₃⁻ concentrations and ratio of NO₃⁻ to nss-SO₄²⁻ (1995).

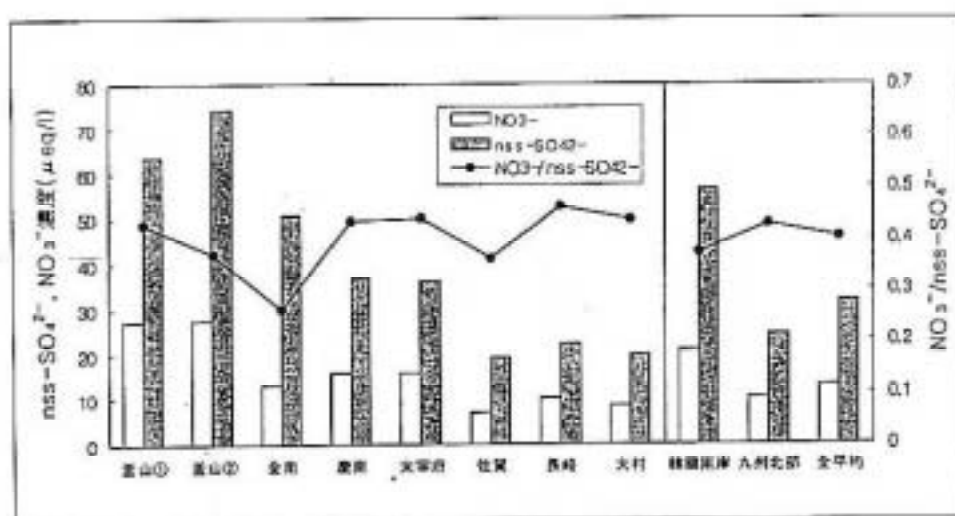


Fig. 5 Annual nss-SO₄²⁻, NO₃⁻ concentrations and ratio of NO₃⁻ to nss-SO₄²⁻ (1995).

Table 7. Major ion concentration of precipitation of at each sampling site in 1995

調査月	調査地点	月降水量 mm	pH	平均濃度(μeq/l)				濃度比	
				NO ₃ ⁻	nss-SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	nss-Ca ²⁺	NO ₃ ⁻ /nss-SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺ /nss-Ca ²⁺
1月	釜山①	32.3	4.96	22.8	36.5	3.2	35.0	0.62	0.1
	釜山②	31.8	4.92	22.4	57.9	14.3	45.3	0.39	0.3
	全南	42.3	6.42	19.4	39.4	18.9	26.8	0.49	0.7
	慶南	33.6	4.62	15.0	35.5	7.2	13.6	0.42	0.5
	太宰府	80.6	4.27	18.3	77.2	44.5	24.5	0.24	1.8
	佐賀	50.0	4.31	21.9	59.8	30.5	17.1	0.37	1.8
	長崎	45.5	4.32	36.0	73.9	81.4	54.4	0.49	1.5
	大村	52.6	4.38	28.1	69.3	64.1	43.0	0.41	1.5
4月	釜山①	123.6	4.48	24.6	60.5	12.4	19.2	0.41	0.6
	釜山②	118.1	4.29	26.2	64.4	11.3	21.8	0.41	0.5
	全南	111.2	4.94	8.2	59.4	36.7	22.5	0.14	1.6
	慶南	102.8	5.69	14.1	37.1	10.3	42.1	0.38	0.2
	太宰府	137.7	4.55	17.2	43.9	25.4	25.9	0.39	1.0
	佐賀	214.6	4.61	12.5	34.7	22.9	10.3	0.36	2.2
	長崎	325.5	4.93	10.2	22.9	11.2	5.5	0.45	2.0
	大村	389.3	4.84	10.4	25.7	11.5	6.7	0.40	1.7

Table 7. Major ion concentration of precipitation of at each sampling site in 1995

調査月	調査地点	月降水量 mm	pH	平均濃度(μeq/l)				濃度比	
				NO ₃ ⁻	nss-SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	nss-Ca ²⁺	NO ₃ ⁻ /nss-SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺ /nss-Ca ²⁺
7月	釜山①	55.7	5.16	22.9	84.3	53.2	35.8	0.27	1.5
	釜山②	54.7	5.29	21.1	106.1	59.6	45.5	0.20	1.3
	全南	87.3	5.41	13.0	40.2	29.9	42.2	0.32	2.5
	慶南	211.5	5.11	16.8	37.3	14.3	23.7	0.45	0.6
	太宰府	316.7	5.26	5.5	13.0	9.0	5.9	0.42	1.5
	佐賀	647.8	5.13	2.7	8.5	2.0	3.9	0.32	0.5
	長崎	469.1	5.42	6.8	13.5	11.2	11.0	0.50	1.0
	大村	588.9	5.41	5.0	9.5	7.6	10.4	0.55	0.7
10月	釜山①	39.5	5.43	44.4	66.2	44.8	52.9	0.67	0.8
	釜山②	37.7	4.75	44.0	72.6	35.0	49.5	0.61	0.7
	全南	8.9	6.01	49.9	98.5	55.5	73.3	0.51	0.8
	慶南	53.0	5.02	16.3	35.0	16.3	31.5	0.47	0.5
	太宰府	111.5	3.99	41.3	62.7	12.0	25.7	0.67	0.5
	佐賀	70.8	4.40	19.1	43.5	17.4	8.0	0.44	2.2
	長崎	70.3	4.59	15.4	42.1	15.0	6.3	0.37	2.4
	大村	86.9	4.47	13.7	33.1	14.0	6.1	0.41	2.3
地點平均	釜山①	62.8	4.70	27.1	63.6	25.3	30.2	0.43	0.8
	釜山②	60.6	4.52	27.3	74.2	26.3	34.5	0.37	0.8
	全南	62.4	5.29	13.3	49.1	32.0	21.4	0.27	1.5
	慶南	100.3	5.10	15.9	36.8	13.0	28.6	0.43	0.5
	太宰府	161.3	4.48	15.9	36.2	17.4	15.8	0.44	1.1
	佐賀	245.8	4.81	7.9	19.4	9.1	6.3	0.36	1.5
	長崎	227.6	4.98	10.1	22.1	15.0	10.8	0.46	1.4
	大村	279.4	4.93	8.6	19.6	12.1	10.3	0.44	1.2
	韓国南海 九州北部	71.5 228.5	5.09 4.79	20.8 9.9	54.3 23.1	22.7 13.0	28.7 10.3	0.38 0.43	0.8 1.3
最高値	647.8	6.42	49.8	106.0	81.4	73.3	0.67	2.5	
最低値	8.9	3.99	2.7	8.5	2.0	3.9	0.14	0.1	
全平均	150.1	4.87	12.3	30.3	15.3	14.7	0.41	1.0	

② 1996년 결과

nss-SO₄²⁻ 농도에 대하여 살펴보면, 최고치는 4월에 제주에서 154.93μ eq/ℓ, 최저치는 7월에 전남에서 17.38μ eq/ℓ이었다. 계절별의 변화를 살펴보면, 한국남해안이나 일본구주 북부지역에서는 7월의 농도가 다른 계절에 비하여 현저히 낮게 나타났다. 4월에 한국남해안지역에서 현저히 높게 나타났으며, 이는 황사를 동반한 강수의 영향이 크게 작용한 것으로 생각된다. 또, 7월과 10월의 농도는 양 지역간에 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다.

NO₃⁻ 농도를 살펴보면, 최고치는 1월에 大村에서 59.99μ eq/ℓ, 최저치는 전남에서 7.35μ eq/ℓ으로 나타났다. 계절별의 변화를 살펴보면, nss-SO₄²⁻ 농도와 같은 변화를 나타내었고, 일본구주 북부에서 4월에 농도가 현저히 낮게 나타났다. 전체적으로는 강수량이 적은 1월에 높게 나타났고, 강수량이 많은 7월에 낮게 나타나는 결과를 얻었다. 양 지역을 비교해보면, 4월에 한국남해안지역의 농도가 다소 높게 나타났으며, 그 외의 기간에는 유사하게 나타났다.

N/nss-S를 살펴보면, 최고치는 1월에 전남에서 1.05로 나타났으며, 최저치는 10월에 부산①에서 0.15로 나타나 1995년도의 결과와 큰 차를 보였다. 한국남해안지역은 평균 0.41, 일본구주 북부지역은 0.60으로 나타났다. (Table 8, Fig. 6, 7 참조)

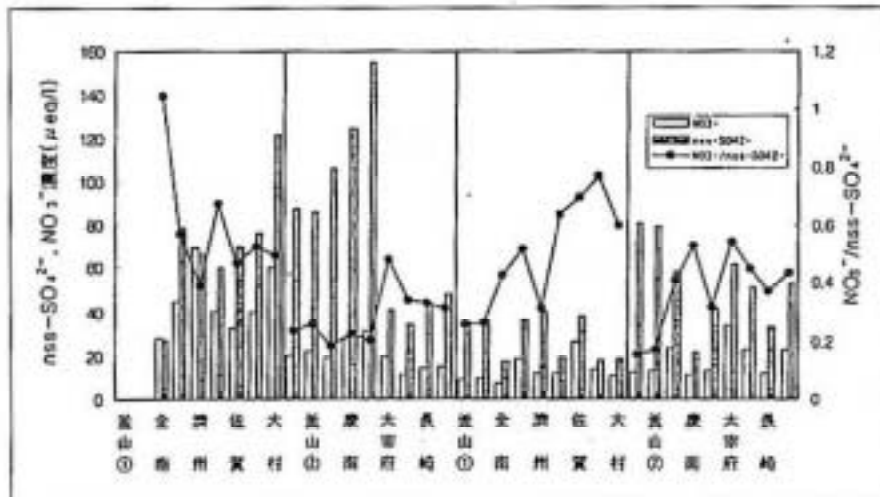


Fig. 6 Monthly nss-SO₄²⁻, NO₃⁻ concentrations and ratio of NO₃⁻ to nss-SO₄²⁻ (1996).

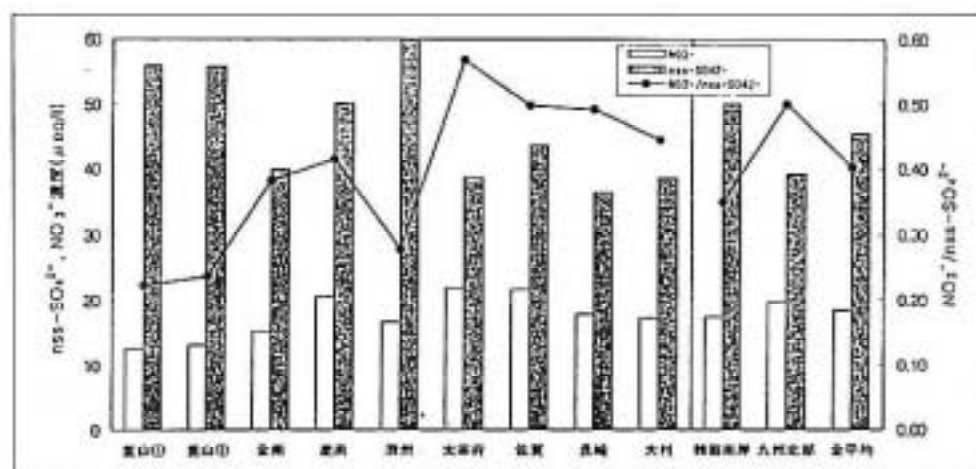


Fig. 7 Annual nss-SO_4^{2-} , NO_3^- concentrations and ratio of NO_3^- to nss-SO_4^{2-} (1996).

Table 7. Major ion concentration of precipitation of at each sampling site in 1995

調査月	調査地點	月降水量 mm	pH	平均濃度(µeq/l)				濃度比	
				NO_3^-	nss-SO_4^{2-}	NH_4^+	nss-Ca^{2+}	$\text{NO}_3^-/\text{nss-SO}_4^{2-}$	$\text{NH}_4^+/\text{nss-Ca}^{2+}$
1月	釜山①	-	-	-	-	-	-	-	-
	釜山②	-	-	-	-	-	-	-	-
	全南	29.6	5.18	28.35	24.85	14.54	16.56	1.14	0.88
	慶南	28.4	5.08	44.52	72.84	14.44	122.35	0.61	0.12
	濟州	28.9	4.59	69.41	56.17	34.58	18.82	1.24	1.84
	太宰府	43.8	4.57	40.54	40.54	51.14	28.94	1.00	1.77
	佐賀	47.6	4.41	32.60	63.90	37.95	31.01	0.51	1.22
	長崎	45.8	4.28	39.85	58.56	32.46	10.36	0.68	3.13
大村	22.6	4.38	59.99	102.55	65.70	46.23	0.59	1.42	
4月	釜山①	114.3	5.02	20.52	79.49	55.37	127.80	0.26	0.43
	釜山②	112.9	4.94	21.99	77.84	59.11	124.64	0.28	0.47
	全南	33.1	6.42	19.44	103.23	26.82	153.94	0.19	0.17
	慶南	49.0	5.72	27.82	121.59	47.98	94.58	0.23	0.51
	濟州	33.6	5.23	31.21	148.07	50.80	151.34	0.21	0.34
	太宰府	96.7	4.85	19.57	38.06	27.88	16.04	0.51	1.74
	佐賀	109.6	4.79	11.67	33.35	16.70	22.77	0.35	0.73
	長崎	84.5	4.67	14.44	40.80	20.87	18.79	0.35	1.11
大村	91.1	5.05	15.01	45.82	25.55	39.31	0.33	0.65	

Table 7. Major ion concentration of precipitation of at each sampling site in 1995

調査月	調査地點	月降水量 mm	pH	平均濃度(μeq/ℓ)				濃度比	
				NO ₃ ⁻	nss-SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	nss-Ca ²⁺	NO ₃ ⁻ /nss-SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺ /nss-Ca ²⁺
7月	釜山①	280.1	4.75	9.18	33.92	10.54	18.14	0.27	0.58
	釜山②	276.3	4.72	9.59	34.51	12.21	20.08	0.28	0.61
	全南	123.0	5.31	7.35	16.77	12.66	3.80	0.44	3.33
	慶南	176.0	4.67	18.53	34.27	16.01	19.47	0.54	0.82
	濟州	42.6	5.34	12.25	36.71	16.93	15.12	0.33	1.12
	太宰府	177.9	4.79	14.16	22.28	13.61	4.96	0.64	2.74
	佐賀	107.9	4.61	26.42	36.17	32.51	8.78	0.73	3.72
	長崎	127.4	4.83	13.79	12.96	14.46	7.18	1.06	2.01
	大村	159.1	5.22	11.06	16.43	20.77	9.35	0.67	2.22
10月	釜山①	84.6	4.62	12.41	79.02	47.15	15.55	0.16	3.03
	釜山②	83.6	4.65	13.39	76.73	41.76	17.11	0.17	2.44
	全南	50.9	5.42	23.59	53.88	32.97	20.32	0.44	1.62
	慶南	68.2	5.43	11.30	23.88	10.60	19.17	0.48	0.55
	濟州	60.4	4.85	13.14	34.71	11.29	2.51	0.38	4.50
	太宰府	36.9	4.28	42.95	52.96	33.79	14.57	0.81	2.32
	佐賀	47.2	4.33	22.77	46.39	22.55	10.25	0.49	2.20
	長崎	36.4	4.57	12.15	32.10	15.39	3.01	0.38	2.56
	大村	33.9	4.75	22.82	48.76	36.99	17.56	0.47	2.11
地點平均	釜山①	159.7	4.80	14.04	64.14	37.69	53.58	0.23	1.35
	釜山②	157.6	4.77	14.99	63.03	37.69	53.94	0.24	1.17
	全南	59.2	5.58	19.68	49.68	21.75	48.66	0.55	1.50
	慶南	80.4	5.22	25.54	63.02	22.26	63.89	0.47	0.50
	濟州	41.4	5.00	31.50	69.92	28.40	46.95	0.54	1.95
	太宰府	88.8	4.62	29.31	38.46	31.61	16.13	0.74	2.14
	佐賀	78.1	4.54	23.37	44.95	27.43	18.19	0.52	1.97
	長崎	73.5	4.59	20.06	36.11	20.79	10.59	0.62	2.20
	大村	76.7	4.85	27.22	53.39	37.25	28.11	0.51	1.60
	韓國南海 九州北部	99.6 79.3	5.08 4.65	21.15 24.99	61.76 43.23	29.56 29.27	53.45 18.25	0.41 0.60	1.29 1.98
最高値	280.1	6.42	69.41	148.07	65.70	153.94	1.24	4.50	
最低値	22.6	4.28	7.35	12.96	10.54	2.51	0.16	0.12	
全平均	96.6	4.89	23.35	52.93	28.94	36.86	0.51	1.62	

(2) nss-Ca^{2+} , NH_4^+ 농도 및 $\text{NH}_4^+/\text{nss-Ca}^{2+}$ 의 농도비

중화성분으로 작용하는 nss-Ca^{2+} , NH_4^+ 농도 및 $\text{NH}_4^+/\text{nss-Ca}^{2+}$ 에 대하여 검토하였다.

① 1995년 결과

nss-Ca^{2+} 농도에 대하여 살펴보면 최고치는 10월에 전남에서 73.3 $\mu\text{eq/l}$, 최저치는 7월에 佐賀에서 3.9 $\mu\text{eq/l}$ 이었다. 계절별로 한국남해안지역은 10월에 높은 값을 나타냈으며, 일본구주북부지역은 1월이 높은 것으로 나타났다. 양 지역을 비교해보면 전체적으로는 한국남해안지역이 높았다. NH_4^+ 농도를 살펴보면, 최고치는 1월의 장기의 81.4 $\mu\text{eq/l}$, 최저치는 7월의 佐賀의 2.2 $\mu\text{eq/l}$ 이었다. 계절별로 보면 한국남해안에서는 10월에 높은 값을 나타냈으며, 일본구주북부지역에서는 1월에 높았다.

$\text{NH}_4^+/\text{nss-Ca}^{2+}$ (NH_4^+ 농도와 nss-Ca^{2+} 의 당량농도비)를 보면 최고치는 7월의 전남의 2.5, 최저치는 1월의 부산①에서 0.1이었다. 일본구주북부에서는 1, 4, 10월이 이 비가 1보다 크다. 년 평균은 일본구주북부가 1.3, 한국남해안지역은 0.8이었다. 한국남해안지역의 중화성분은 nss-Ca^{2+} 가 주인 것으로 생각되고, 일본구주북부지역의 중화성분은 NH_4^+ 가 주인 것으로 생각된다. (Table 7, Fig. 8, 9 참조)

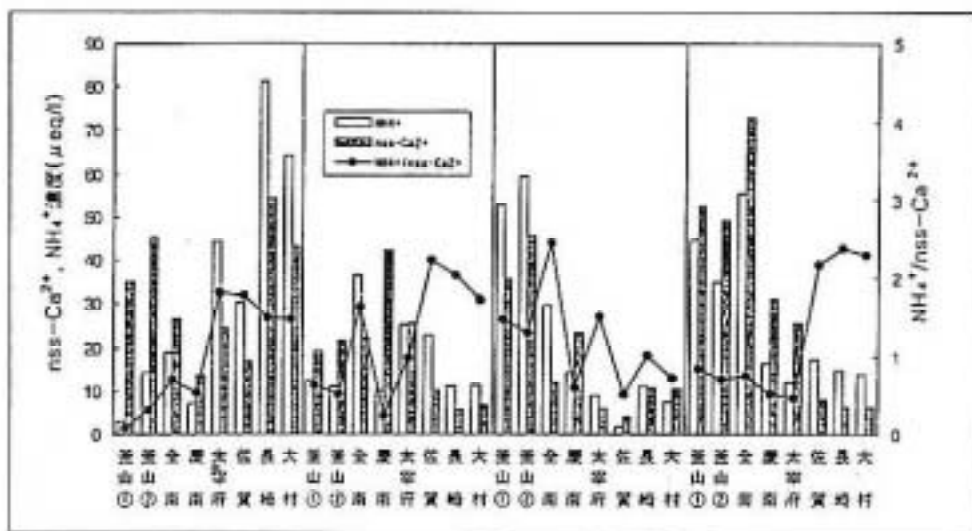


Fig. 8 Monthly nss-Ca^{2+} , NH_4^+ concentrations and ratio of NH_4^+ to nss-Ca^{2+} (1995).

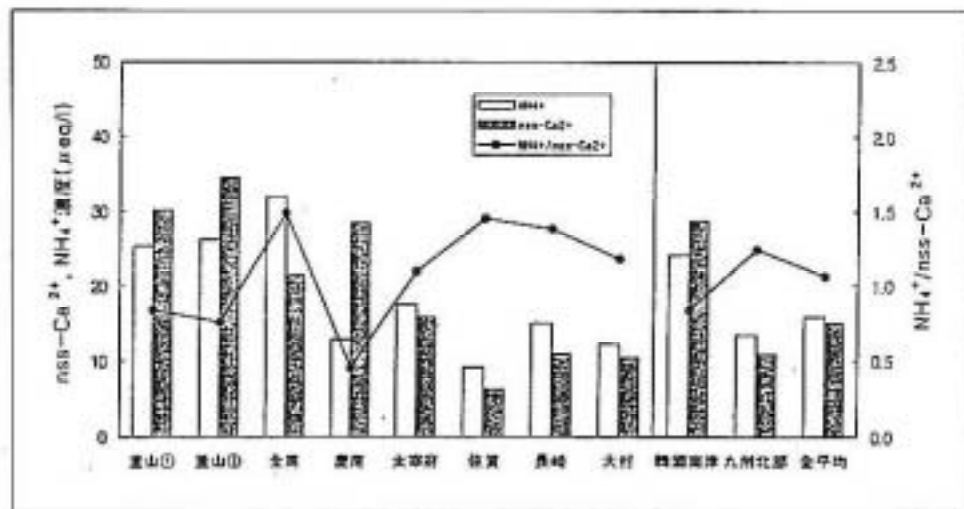


Fig. 9 Annual nss-Ca²⁺, NH₄⁺ concentrations and ratio of NH₄⁺ to nss-Ca²⁺ (1995).

② 1996년 결과

nss-Ca²⁺ 농도에 대하여 살펴보면, 최고치는 4월에 한국남해안에서 94.45~153.82 μeq/l로 나타났으며, 최저치는 10월의 제주에서 2.22μeq/l이었다. 계절별로 보면 한국남해안지역은 4월에 높은 값을 나타냈으며, 일본구주북부지역은 1월이 높으며 양 지역을 비교해 보면 전체적으로 한국남해안지역이 높았다. NH₄⁺ 농도를 보면 최고치는 1월의 大村에서 65.70μeq/l, 최저치는 7월에 부산①에서 10.54μeq/l이었다. 계절별로 보면 일본구주북부지역에서는 1월에 높았고 한국남해안지역에서는 4월에 높은 값을 나타냈다.

NH₄⁺/nss-Ca²⁺ (NH₄⁺ 농도와 nss-Ca²⁺의 당량농도비)를 보면 최고치는 10월에 제주에서 5.08, 최저치는 1월의 경남에서 0.12이었다. 한국남해안지역에서는 4월을 제외하고는 이 비가 1보다 크다. 평균은 한국남해안지역의 0.12~5.08의 범위이고, 구주북부지역은 0.65~3.76의 범위이다. 1995년 결과와 같이 한국남해안지역에서의 중화성분은 nss-Ca²⁺가 주인 것으로 나타났으며, 일본구주북부지역의 중화성분은 NH₄⁺가 주인 것으로 나타났다. (Table 8, Fig. 10, 11 참조)

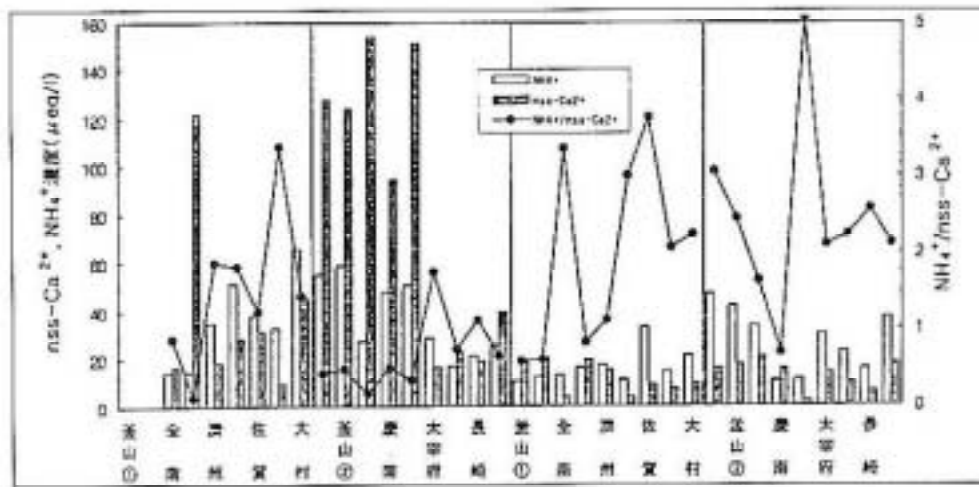


Fig. 10 Monthly $nss-Ca^{2+}$, NH_4^+ concentrations and ratio of NH_4^+ to $nss-Ca^{2+}$ (1996).

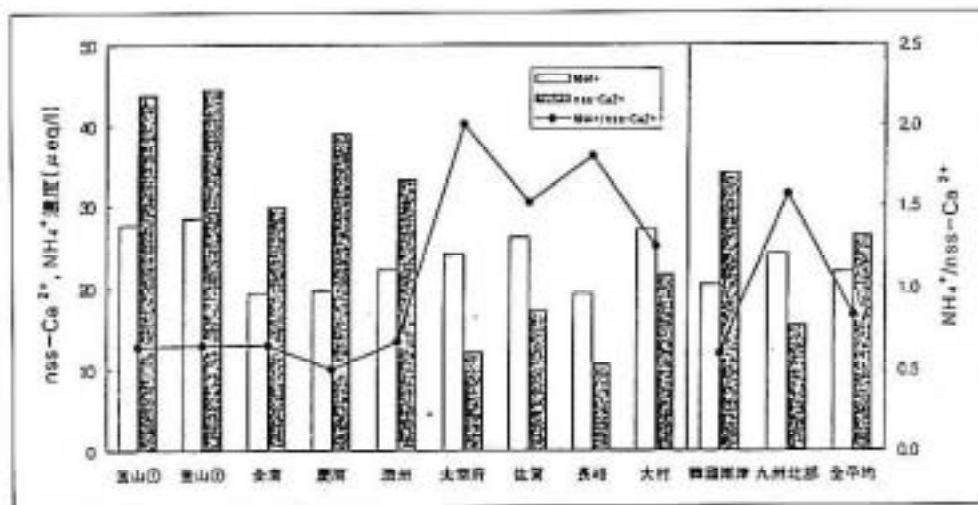


Fig. 11 Monthly $nss-Ca^{2+}$, NH_4^+ concentrations and ratio of NH_4^+ to $nss-Ca^{2+}$ (1996).

4-1 강수성분 강하량의 지역특성

(1) 해염성분 및 비해염성분 강하량

강수중의 이온성분의 해염에 유래한 해염성분과 그렇지 않은 비해염성분으로 나누었다. 이온성분은 H^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ 의 9개 항

목을 합하여 총강하량으로 하였다. 이 총강하량으로 부터 Na^+ 를 기본으로 하여 해염성분 강하량을 구하였고, 이것을 뺀 나머지는 배해염성분 nss-SO_4^{2-} , nss-Cl^- , nss-K^+ , nss-Ca^{2+} , nss-Mg^{2+} , H^+ , NO_3^- , NH_4^+ 강하량으로 하였다. 이 경우 비해염성분이 마이너스 (-)의 값으로 될 때에는 0으로 취급하였다.

$$\cdot \text{총강하량} - \text{해염성분강하량} = \text{비해염성분강하량}$$

강수중의 해염, 비해염성분강수량을 Table 9, 10 Fig. 12~14에 나타내었다.

① 1995년 결과

한국남해안지역의 경향을 살펴보면 총 강하량은 경남, 부산①, 부산②, 전남 순으로 각각 2519, 2129, 2106, 1496 mg/m^3 으로 경남이 가장 많았으며, 계절별로는 각 조사지점에서 1월에 가장 적었으며, 전남에서는 10월에 가장 적은 수치를 나타내었다. 이는 다른 조사지점의 강수량((37.7 ~ 53.0mm)에 비해 8.9mm로 적은 강수량의 원인으로 생각되어지며, 경남의 해염성분량은 여름에 643 mg/m^3 으로 다른 지점 71~122 mg/m^3 에 비해 현저히 높은 수치를 나타내었다 (Table 9. 참조). 이는 7월 21~24일에 이 지역을 통과한 태풍 3호 Faye의 영향으로 생각되며 부산①② 지점도 상당히 상승되었음을 볼 수 있다 (태풍의 진로상에는 부산①②, 경남이 포함되어 있다). 단위강수량으로 환산한 결과를 살펴보면 총강하량과는 달리 부산①, 부산②, 전남, 경남 순으로 각각 9.2, 8.9, 7.6, 7.2 $\text{mg/m}^3/\text{mm}$ 으로 부산①이 가장 많았으며, 경남이 가장 적은 수치를 나타내었다. 계절별로는 각 지점에서 10월에 많게 나타난 반면, 4월에 적은 경향으로 나타났다.

일본구주북부의 경향을 살펴보면 총강하량은 長崎, 大村, 太宰府, 佐賀 순으로 5329, 4904, 3879, 2528 mg/m^3 으로 나타나, 한국남해안에 비해 약 2배 많게 나타났다 (Table 9). 계절별로는 각 지점에서 10월에 적은 경향을 보였으며, 1월에 대체적으로 많은 수치를 나타냈다. 이를 단위강수량으로 환산한 결과를 살펴보면 長崎, 大村, 太宰府, 佐賀, 순으로 32.8, 18.1, 14.3, 7.8 $\text{mg/m}^3/\text{mm}$ 로 長崎가 가장 많았으며 佐賀가 가장 적은 강하량을 나타냈다. 계절별로는 각 지점에서 1월이 가장 많았으며 다음은 10월, 4월, 7월 순으로 나타났다.

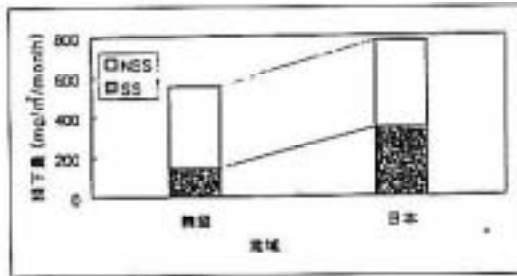


Fig. 12 Deposition of precipitation components in each area(Korea, Japan).

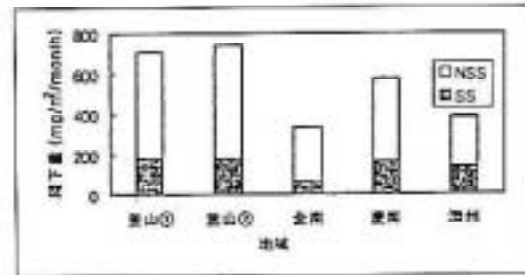


Fig. 13 Deposition of precipitation components in Korea.

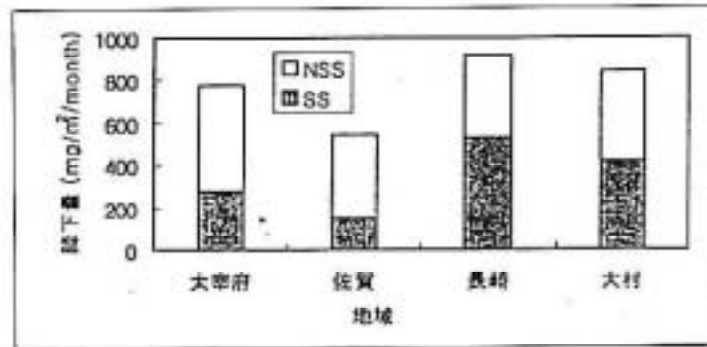


Fig. 14 Deposition of precipitation components in Japan.

Table 9. Monthly depositions of precipitation component resulted from sea salt and non sea salt (1995).

調査月	調査地点	降水量 mm	總降下量	海鹽成分 mg/m²month	
				海鹽成分	非海鹽成分
1月	釜山①	32.3	200	64	136
	釜山②	31.8	255	71	183
	全南	42.3	298	100	198
	慶南	33.6	129	15	113
	太宰府	80.6	1404	830	575
	佐賀	50.0	559	271	288
	長崎	45.5	1440	1042	398
	大村	52.6	1067	684	383

調査月	調査地点	降水量 mm	総降下量	海鹽成分 mg/m ³ month	非海鹽成分
4月	釜山①	123.6	891	211	681
	釜山②	118.1	828	153	675
	全南	111.2	652	96	555
	慶南	102.8	581	125	456
	太宰府	137.7	718	97	621
	佐賀	214.6	856	146	711
	長崎	325.5	1406	735	672
	大村	389.3	1742	871	870
7月	釜山①	55.7	547	122	426
	釜山②	54.7	603	122	481
	全南	87.3	409	71	338
	慶南	211.5	1471	642	829
	太宰府	316.7	610	133	477
	佐賀	647.8	733	219	514
	長崎	469.1	1900	1184	716
	大村	588.9	1721	1061	660
10月	釜山①	39.5	467	127	340
	釜山②	37.7	443	118	325
	全南	8.9	136	32	104
	慶南	53.0	338	131	208
	太宰府	111.5	1146	300	846
	佐賀	70.8	379	94	285
	長崎	70.3	583	336	247
	大村	86.9	375	105	270
	最高値	647.8	1900	1184	870
	最小値	8.9	129	15	104
地点毎合計	釜山①	251	2106	523	1583
	釜山②	242	2129	464	1665
	全南	250	1495	299	1196
	慶南	401	2519	913	1606
	太宰府	647	3879	1359	2519
	佐賀	983	2528	730	1797
	長崎	910	5329	3297	2033
	大村	1118	4904	2721	2183

② 1996년 結果

한국남해안 총강하량은 부산①, 부산②, 경남 제주, 전남 순으로 각각 3779, 3581, 2041, 1554, 1199mg/m³ 으로 부산지역이 가장 많았으며 강수량 역시 가장 많았다 (Table 10). 계절별로는 대체적으로 4월에 많았는데 이는 4월17일 황사시의 강수에 의한 영향으로 생각된다. 해염이온 비율은 해안에 근접한 제주가 32%로 가장 높았고 전남과 경남이 20%로 가장 낮았다. 단위강수량으로 환산한 결과를 살펴보면 제주가 9.2mg/m³/mm로 가장 많았고 부산① 8.0, 부산② 7.5, 경남 6.3, 전남 5.1mg/m³/mm 순이었다. 황사현상으로 인해 4월의 단위 강수량의 강하량이 가장 많았다.

일본구주북부의 총강하량은 太宰府, 長崎, 佐賀, 大村, 順으로 2321, 1994, 1856, 1849mg/m³으로 나타나 1995년에 비해 1/2 적어졌는데 이는 1995년의 1/2 ~ 1/3로 적어진 강수량의 영향으로 생각된다(Table 10). 해염이온의 비율은 長崎가 48%로 가장 높았고 佐賀가 24%로 가장 낮았으나, 한국남해안 보다는 모두 높은 비율이었다.

단위강수량의 강하량은 長崎 6.8mg/m³/mm로 가장 많았고 다음은 太宰府 6.5, 大村 6.0 佐賀 5.9mg/m³/mm순이었다. 다른 계절에 비해 1월의 단위강수량 강하량이 많았다.

Table 10. Monthly depositions of precipitation component resulted from sea-salt and non-sea salt (1996).

調査月	調査地点	降水量 mm	總降下量	海鹽成分 mg/m ³ month	非海鹽成分
1月	釜山①	-	-	-	-
	釜山②	-	-	-	-
	全南	29.6	140	27	114
	慶南	28.4	376	92	284
	濟州	28.9	317	141	176
	太宰府	43.8	787	473	314
	佐賀	47.6	500	162	339
	長崎	45.8	753	430	323
	大村	22.6	496	226	269
4月	釜山①	114.3	1827	512	1315
	釜山②	112.9	1775	531	1244
	全南	33.1	405	54	351
	慶南	49.0	612	83	530

調査月	調査地点	降水量 mm	総降下量	海鹽成分 mg/m ³ month	非海鹽成分
4月	濟州	35.4	613	118	495
	太宰府	96.7	543	149	394
	佐賀	109.6	433	73	360
	長崎	84.5	485	154	331
	大村	91.1	559	118	442
7月	釜山①	280.1	1118	244	874
	釜山②	276.3	1350	294	1056
	全南	123.0	246	42	204
	慶南	176.0	808	162	646
	濟州	42.6	200	57	143
	太宰府	144.8	403	104	300
	佐賀	107.9	581	110	472
	長崎	127.4	632	352	281
	大村	159.1	542	177	365
10月	釜山①	84.6	637	105	532
	釜山②	83.6	653	113	540
	全南	50.9	407	120	287
	慶南	68.2	245	76	168
	濟州	62.4	424	226	198
	太宰府	70.0	587	134	454
	佐賀	47.2	341	116	225
	長崎	36.4	123	15	108
	大村	33.9	251	76	175
最高値		280.1	1827	531	1315
最小値		22.6	123	15	108
地点毎合計	釜山①	479.0	3582	861	2720
	釜山②	472.8	3779	938	2841
	全南	236.6	1199	243	956
	慶南	321.6	2041	413	1629
	濟州	169.3	1554	542	1012
	太宰府	355.3	2321	859	1462
	佐賀	312.3	1856	461	1395
	長崎	294.1	1994	951	1042
	大村	306.7	1849	597	1252

(2) 음이온(SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-) 성분의 강하량

① 1995년 결과

강수에 의해 나타나는 음이온의 총습성강하량을 살펴보면, 한국남해안에서 비해염 음이온은 $\text{nss-SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{nss-Cl}^-$ 의 순이었고 경남이 여름에 강수량이 많아 다른 지점에 비해 많은 강하량을 보였다. 일본구주북부에서는 한국남해안의 결과와는 달리 해염기원 음이온의 비율이 높았으며 비해염 음이온은 $\text{nss-SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{nss-Cl}^-$ 순이었다. 그리고 각 지점에서 강수의 특성을 살펴보기 위하여 총습성강하량을 단위 강수량으로 환산하여 살펴보면, 한국남해안에서는 일반적으로 10월에 많았고 1월에 적었으며, 가을철 강수량이 가장 적은 전남이 가장 많았다.

일본구주북부의 경우에는 한국남해안과 달리 1월(겨울) > 10월(가을) > 4월(봄) > 7월(여름) 순으로 단위 강수량 중 음이온양을 많이 함유하고 있었다. 단위 강수량에 대한 강하량은 한국남해안은 $3.2 \sim 10.6 \text{ mg/m}^3/\text{mm}$ 범위로 평균 $5.7 \text{ mg/m}^3/\text{mm}$ 이었으며, 일본구주북부의 경우는 $0.9 \sim 20.4 \text{ mg/m}^3/\text{mm}$ 의 범위로 평균 $6.0 \text{ mg/m}^3/\text{mm}$ 으로 한국남해안과 비슷하였다. 일본구주북부의 강수량이 한국남해안에 비해 2.5 ~ 3배 정도 더 많은 것을 고려한다면 일본구주북부의 단위 강수량에 대한 강하량은 매우 높은 상태이며 이 강하량의 5% 이상이 해염기원 이온이다. 한국남해안과 일본구주북부의 단위 강수량 중 강수의 산성화에 영향을 주는 음이온은 nss-SO_4^{2-} 과 NO_3^- 이 대부분을 차지하고 nss-Cl^- 의 양은 매우 적었다.

② 1996년 결과

한국남해안의 음이온 강하량은 해염에서 유래한 음이온의 비율은 매우 낮고 비해염 음이온은 $\text{nss-SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{nss-Cl}^-$ 의 순이었으며, 부산①, ②지점의 봄에 nss-Cl^- 의 비율이 NO_3^- 보다 높았다. 1995년도와 비교하면 강수량이 많아진 부산①, ②의 강하량이 많아졌다. 일본구주북부는 太宰府와 長崎의 겨울에 강하량이 가장 많았고 해염비율도 가장 많았다. 비해염 음이온은 $\text{nss-SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{nss-Cl}^-$ 의 순이었으며, nss-Cl^- 의 양은 매우 적었다. 1995년에 비해 강수량이 적어져 강하량도 매우 적어졌다. 단위 강수량 중 강하량은 보면 한국남해안은 황사현상의 영향으로 봄의 강하량이 가장 많았고 일본구주북부는 1995년과 같이 겨울 강하량이 가장 많았다.

(3) 양이온(Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+) 성분의 강하량

① 1995년 결과

한국남해안, 일본구주북부에서 강수에 의해 나타나는 총습성장하량중 양이온에 대해서 살펴보면, 한국남해안에 비해 일본구주북부에서의 강하량이 많았고 해염이온의 비율도 높았다. 한국남해안에서 배해염 양이온은 $nss-Ca^{2+} > NH_4^+ > nss-K^+ > nss-Mg^{2+}$ 순이었으며 계절별로 4월(봄) > 7월(여름) > 10월(가을) > 1월(겨울) 순으로 4월(봄)에 가장 많은 양이온 양을 나타냈으나, 경남 지점에서는 7월(여름)에 가장 많은 양이온 양이 나타나 다른 지점과는 상이한 결과를 나타냈는데 이는 211.7mm의 많은 강수량에 기인한 것이다. 일본구주북부에서는 해염기원 양이온의 강하량이 한국남해안에 비해 많았으며 전체 양이온 강하량의 1/2 이상을 차지하는 경우도 많았다. 즉 일본구주북부 강수는 해염기원 이온이 다량 함유된 것이다. 특히 長崎와 大村의 분포경향이 비슷하였는데 봄, 여름 겨울에 비해 가을이 매우 적었다. 각 지점에서 강수의 특성을 살펴보기 위하여 총습성장하량을 단위 강수량으로 환산하여 나타낸 것으로는 한국남해안에서는 10월(가을)에, 일본구주북부에서는 1월(겨울)에 강수중 양이온양이 가장 많이 나타났다. 한국남해안은 일본구주북부에 비해 배해염 양이온 강하량이 많았고, 단위강수량에 대한 강하량은 한국남해안의 경우 $0.7 \sim 4.8 mg/m^3/mm$ 로 평균 $2.4 mg/m^3/mm$ 였으며, 일본구주북부지역의 경우는 $0.3 \sim 11.7 mg/m^3/mm$ 로 평균 $2.6 mg/m^3/mm$ 으로 한국남해안에 비해 일본구주북부에 다소 높았다. 두 지역에서 강수의 산성물질을 중화해 주는 주요이온은 $nss-Ca^{2+}$ 과 NH_4^+ 였다.

② 1996년 결과

한국남해안은 해염기원 양이온의 비율이 낮았으며 부산①, ②지점에서 4월에 가장 많은 강하량을 보였는데 황사현상에 의해 해염기원 양이온과 $nss-Ca^{2+}$ 이 다량 함유된 것이 원인으로 생각된다. 일본구주북부는 1월의 강하량이 많았고 해염기원 양이온의 비율이 한국남해안에 비해 높았으며 일반적으로 $nss-Ca^{2+} > NH_4^+ > nss-K^+ > nss-Mg^{2+}$ 순이었다. 단위강수중의 강하량을 보면 한국남해안은 황사현상이 있었던 4월에 강하량이 가장 많았고, 일본구주북부는 1월의 강하량이 가장 많았다. 한국남해안에서 강하량측면에서 강수의 산성물질을 중화하는 주 성분은 $nss-Ca^{2+} > NH_4^+$ 이었으며, 일본구주북부는 $NH_4^+ > nss-Ca^{2+}$ 이었다.

4-3 강수 이온성분의 상관관계

(1) 성분간의 상관관계

1995, 1996년 한국남해안 5지점의 자료 115개와 일본구주북부 4지점의 자료 194개에 대한 총이온의 단순상관관계를 Table 11에 나타냈다. 일본구주북부 지점의 성분간 상관관계는 한국남해안에 비해 전반적으로 높게 나타났다. Na^+ 과 Cl^- 의 상관관계는 한국남해안 0.88, 일본구주북부는 0.99였다.

SO_4^{2-} 와 NO_3^- 는 한국남해안 0.68, 일본구주북부 0.87

NH_4^+ 와 SO_4^{2-} 는 한국남해안 0.80, 일본구주북부 0.89

NH_4^+ 와 NO_3^- 는 한국남해안 0.70, 일본구주북부 0.83으로 일본구주북부 H^+ 를 제외한 대부분 항목간의 상관관계가 높게 나타났다.

Table 11. Correlation matrix for whole components in precipitation

한 국	H^+	EC	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	K	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+
H^+										
EC	0.09									
Cl^-	-0.23	0.76								
NO_3^-	-0.10	0.73	0.69							
SO_4^{2-}	-0.06	0.93	0.60	0.68						
K	-0.07	0.58	0.47	0.48	0.55					
Na^+	-0.09	0.81	0.88	0.69	0.67	0.51				
Ca^{2+}	-0.21	0.87	0.68	0.59	0.87	0.51	0.63			
Mg^{2+}	-0.23	0.83	0.73	0.64	0.81	0.57	0.78	0.79		
NH_4^+	-0.17	0.76	0.68	0.70	0.80	0.44	0.67	0.63	0.65	
일 본	H^+	EC	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	K	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+
H^+										
EC	0.46									
Cl^-	0.16	0.92								
NO_3^-	0.34	0.76	0.59							
SO_4^{2-}	0.39	0.91	0.78	0.87						
K	0.15	0.84	0.85	0.70	0.80					
Na^+	0.13	0.91	0.99	0.58	0.77	0.88				
Ca^{2+}	0.10	0.79	0.74	0.84	0.90	0.79	0.74			
Mg^{2+}	0.18	0.90	0.94	0.63	0.81	0.78	0.91	0.71		
NH_4^+	0.24	0.83	0.74	0.83	0.89	0.90	0.77	0.86	0.69	

강수중에는 자연발생에 의한 이온 성분이 많이 함유되어 있는데 특히 연안지역에서는 해염립자의 기여가 크다. 해수중에는 주성분인 Na^+ , Cl^- 과 SO_4^{2-} , Ca^{2+} 및 Mg^{2+} 등을 소량 함유하고 있다. 이 때문에 강수중에는 SO_4^{2-} 를 비롯한 많은 성분은 해염에서 기원한 양이 포함되어 있다.

강수의 산성화는 비해염성분에 기인하므로 강수에서 Na^+ 을 기준으로 해염기원성분을 산출한후, 해염기원성분을 제외한 비해염성분간의 상관계수를 Table 12에 나타내었다.

Table 12. Correlation matrix for non-sea-salt components in precipitation

한 국	H^+	nss-SO_4^{2-}	NO_3^-	nss-Cl^-	NH_4^+	nss-Ca^{2+}	nss-Mg^{2+}
H^+							
nss-SO_4^{2-}	0.06						
NO_3^-	-0.10	0.66					
nss-Cl^-	-0.31	-0.03	0.12				
NH_4^+	-0.17	0.79	0.70	0.13			
nss-Ca^{2+}	-0.21	0.86	0.59	0.21	0.62		
nss-Mg^{2+}	-0.26	0.78	0.56	0.06	0.58	0.76	

일 본	H^+	nss-SO_4^{2-}	NO_3^-	nss-Cl^-	NH_4^+	nss-Ca^{2+}	nss-Mg^{2+}
H^+							
nss-SO_4^{2-}	0.44						
NO_3^-	0.34	0.88					
nss-Cl^-	0.17	0.04	-0.11				
NH_4^+	0.24	0.84	0.83	-0.36			
nss-Ca^{2+}	0.09	0.85	0.85	-0.13	0.84		
nss-Mg^{2+}	0.20	0.62	0.53	0.37	0.43	0.48	

한국남해안의 강수는 H^+ 과 상관을 나타내는 성분이 없었으나 nss-SO_4^{2-} : NO_3^- : nss-Ca^{2+} 간의 상관이 높았다. 일본구주북부는 H^+ 와 nss-SO_4^{2-} 및 NO_3^- 와 상관이 인정되어 강수의 산성화에 SO_4^{2-} 와 NO_3^- 의 영향이 있음을 알 수 있고, (nss-SO_4^{2-} : NH_4^+ : nss-Ca^{2+})와 (nss-Cl^- : nss-Mg^{2+}) 및 (NH_4^+ : nss-Ca^{2+})간에 양호한 상관

을 보였다. 강수의 pH에 어떠한 인자가 기여하고 있는가를 추정하기 위해 강수의 산성화 주요 음이온인 nss-SO_4^{2-} , NO_3^- 와 산성물질을 중화하는 주요 양기성분인 NH_4^{2+} , nss-Ca^{2+})을 설명변수로 하고 H^+ 를 목적변수로 하는 중회귀분석을 행하였다.

한국남해안($R^2 = 0.165$, ()는 편상관계수임)

$$(\text{H}^+) = 9.87 + 0.154 [\text{nss-SO}_4^{2-}] + 0.038[\text{NO}_3^-] - 0.081 [\text{nss-Ca}^{2+}] - 0.195 [\text{NH}_4^{2+}]$$

(0.35) (0.05) (-0.36) (-0.26)

일본구주북부지역($R^2 = 0.489$, ()는 편상관계수임)

$$(\text{H}^+) = 10.60 + 0.534 [\text{nss-SO}_4^{2-}] + 0.205[\text{NO}_3^-] - 0.559 [\text{nss-Ca}^{2+}] - 0.027 [\text{NH}_4^{2+}]$$

(0.35) (0.05) (-0.36) (-0.27)

Table 13. Average concentration and ratios of components in precipitation at southern Korea and northern Kyushu

시 료 수	농 도 ($\mu\text{eq/l}$)		t-test	P
	120	194		
nss- SO_4^{2-}	53.9(79.3)	27.0(69.3)	30.7(1.1)	<0.001(>0.1)
NO_3^-	17.3(27.8)	12.4(35.5)	13.0(- 1.6)	<0.001(>0.1)
nss- Cl^-	8.2(7.4)	3.3(7.7)	17.2(- 0.1)	<0.001(>0.8)
H^+	14.5(11.3)	15.7(34.8)	- 2.7(- 7.0)	<0.005(>0.001)
NH_4^{2+}	24.1(33.9)	15.8(44.1)	16.0(- 1.6)	<0.001(>0.05)
nss- K^+	5.2(6.7)	1.3(3.6)	52.0(3.5)	<0.001(<0.001)
nss- Ca^{2+}	35.9(64.7)	11.6(33.8)	22.9(2.8)	<0.001(<0.01)
nss- Mg^{2+}	6.0(7.9)	1.3(4.3)	37.8(3.5)	<0.001(<0.001)
$\text{NO}_3^- + \text{nss-SO}_4^{2+}$	71.2(107.1)	39.4(104.8)	-	-
$\text{H}^+ + \text{NH}_4^{2+}$	38.6(45.2)	31.5(78.9)	-	-
nss-($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$)	47.1(79.3)	14.2(41.7)	-	-
$(\text{H}^+ + \text{NH}_4^{2+})/(\text{NO}_3^- + \text{nss-SO}_4^{2+})$	0.54(0.42)	0.80(75.3)	-	-
$\text{nss-(Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+)/(\text{NO}_3^- + \text{nss-SO}_4^{2+})$	0.66(0.74)	0.36(39.8)	-	-

()는 단순평균

Table 13은 한국남해안과 일본구주북부지역의 강수중 성분 강수량가중평균농도를 나타낸 것으로 모든 성분이 한국남해안에서 높게 나타났으나, 단순평균을 비교해 보면 두 지역에서 HCO_3^- , NO_3^- 및 NH_4^+ 은 비슷하며($P>0.05$), 토양기원 이온은 한국남해안지역에서 높게 나타났다. 그러므로, 두 지역간 강수량가중평균농도의 차이에는 일본구주북부지역에 비해서 한국남해안에 내리는 강수량이 적은 관계도 포함되어 있어 이를 고려해 판단해야 한다. 주요 음이온에 대한 양이온의 비에서 한국남해안지역의 강수중에는 토양에서 유래되는 입자의 성분이 높게 나타나는데 반하여, 일본구주북부지역에서는 토양에서 유래되는 입자보다 H^+ + NH_4^+ 가 더 높은 수치를 나타내고 있다.

(2) Na^+ 와 Cl^- 의 상관

강수의 산성화의 요인을 추정하기 위해서 Na^+ 와 Cl^- 와의 상관성에 대하여 검토하여 보았다. 한국남해안 및 제주도, 일본구주북부의 Na^+ 당량농도와 Cl^- 당량농도의 관계를 Fig. 15~18에 나타냈다. 전 조사지점에서 두이온 사이에 좋은 상관관계가 인정되어져 강수중의 Cl^- 의 주요한 기원은 해수임을 알 수 있었다. 한국남해안에서는 Na^+ 와 Cl^- 의 당량농도비는 해염의 당량농도비와 비교하여 일본구주북부에 비해 다소 차이가 나며, 일본구주북부의 당량농도비는 해염의 당량농도비와 거의 일치하고 있어 일본구주북부지역에 해양의 영향이 크게 나타나고 있다고 생각된다. 제주에서 두이온 사이의 농도는 거의 같으며 해염조성비와 비교하여 Na^+ 가 다량으로 나타났다.

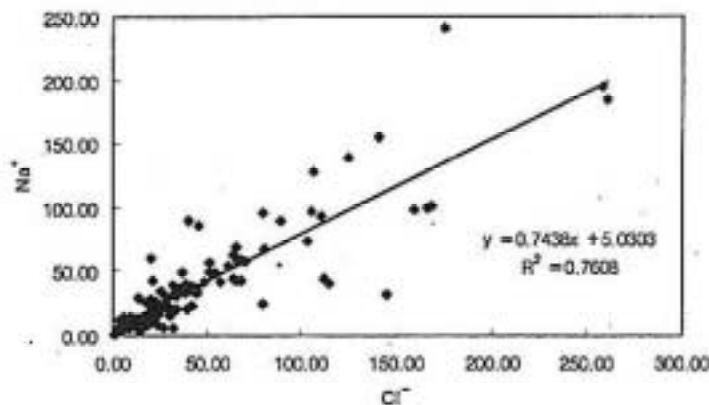


Fig. 15 Relationship between Na^+ and Cl^- in southern Korea.

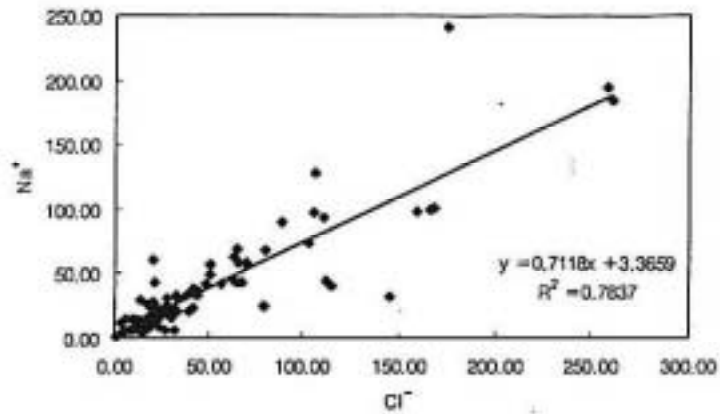


Fig. 16 Relationship between Na^+ and Cl^- in southern Korea(except Cheju).

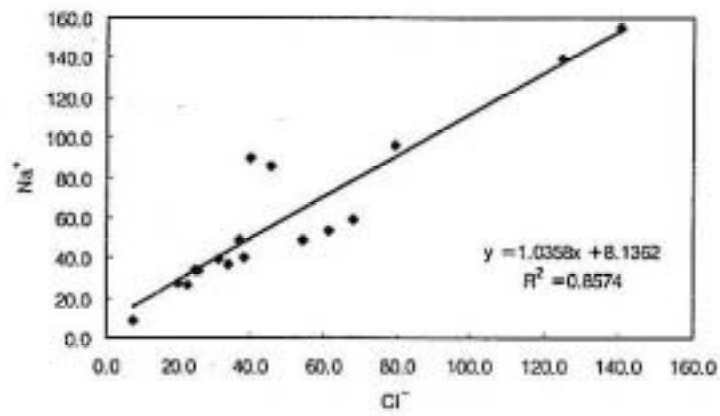


Fig. 17 Relationship between Na^+ and Cl^- in Cheju.

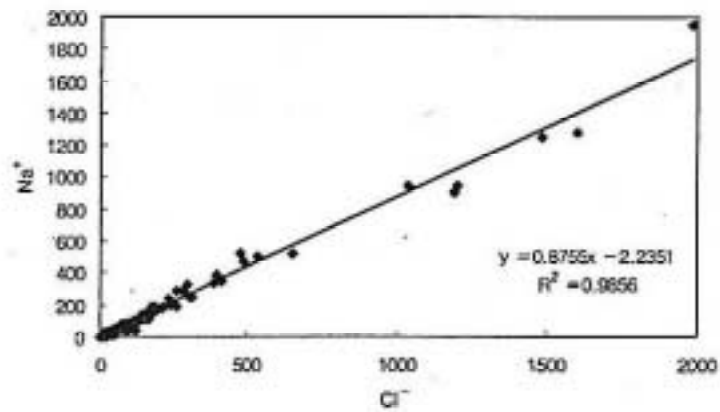


Fig. 18 Relationship between Na^+ and Cl^- in northern Kyushu.

(3) 음이온과 양이온의 상관

강수중의 Cl^- 은 Na^+ 과의 양호한 상관관계를 나타내며 두 이온은 대부분 해염 조성비에 근접하는 것으로 보아 강수중의 Cl^- 의 주요한 발생기원은 해수중에 있으며 강수의 산성화에 기여하는 정도는 적은 것 같다. 그러므로 강수의 산성화에 크게 기여하는 음이온은 질소산화물(NO_x) 및 이산화황에서 2차생성물질인 NO_3^- 와 SO_4^{2-} 으로 생각되어 진다. 강수의 산도는 이 2차생성 음이온 (NO_3^- 와 ms-SO_4^{2-})과 양이온의 발란스에 의해서 결정되어진다. 강수중의 양이온으로는 알칼리 금속이온 (K^+), 알칼리 토양금속이온(Ca^{2+} , Mg^{2+}) 및 NH_4^+ 로 알려져 있다. 이러한 양이온의 주요한 발생원은 토양에서 기원되어 강수에 함유된 1차적인 오염성분이다. 한편으로 NH_4^+ 는 암모니아(NH_3)에서 생성된 2차적 양이온이고, H^+ 은 강수중에서 생성된 2차생성 양이온으로 생각된다. 즉 H^+ 와 NH_4^+ 는 대기중에서 생성된 2차생성 양이온 ($\text{NH}_4^+ + \text{H}^+$)이고 수용액중에서는 플로톤 공여체로서 운동한다. 2차생성 음이온 (NO_3^- 와 SO_4^{2-})의 당량농도와 H^+ 의 분포를 Fig. 19~22에 나타냈다. H^+ 과 2차생성 음이온 사이의 상관도는 통계학적으로 유의한 수준은 아니었다. 그래서 강수의 특성을 파악하기 위해서 2차생성 음이온 (H^+ 와 NH_4^+)과 2차생성 음이온과 관계에 대해서 고려하기 위하여 2차생성 음이온의 당량농도와 2차생성 양이온 ($\text{H}^+ + \text{NH}_4^+$)의 당량농도와의 분포를 Fig. 23~26에 나타냈다.

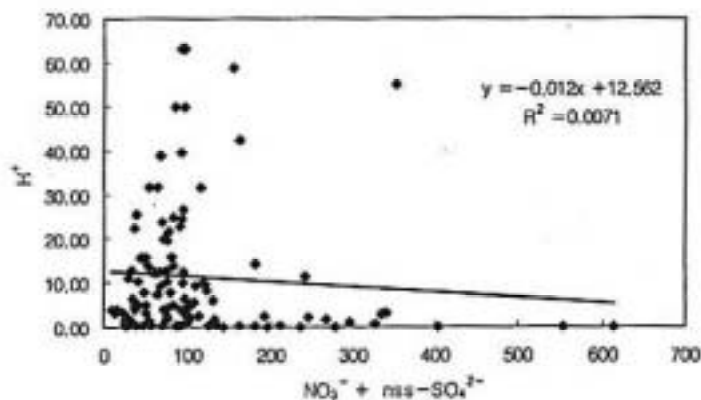


Fig. 19 Relationship between H^+ and secondary anions in southern Korea.

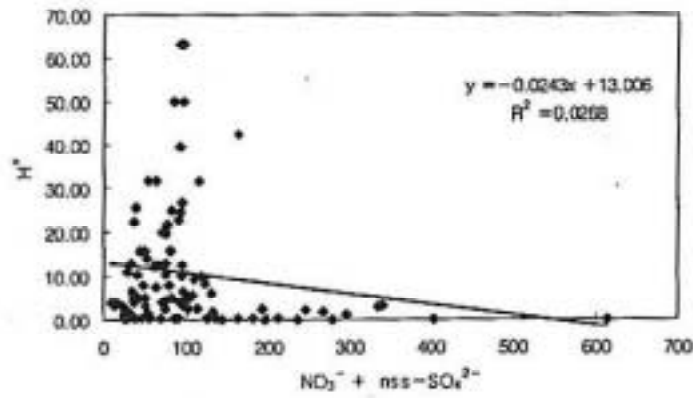


Fig. 20 Relationship between H^+ and secondary anions in southern Korea(except Cheju).

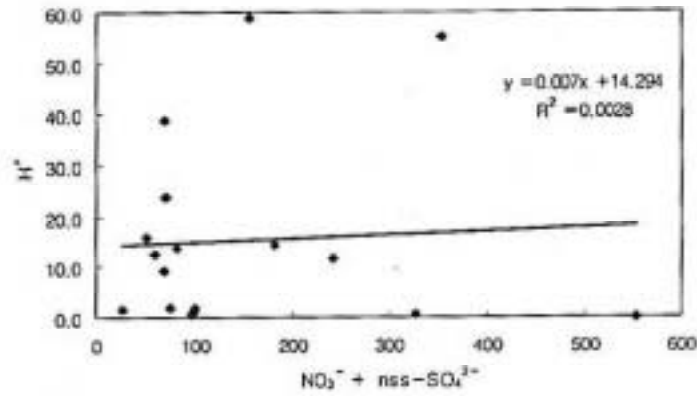


Fig. 21 Relationship between H^+ and secondary anions in Cheju.

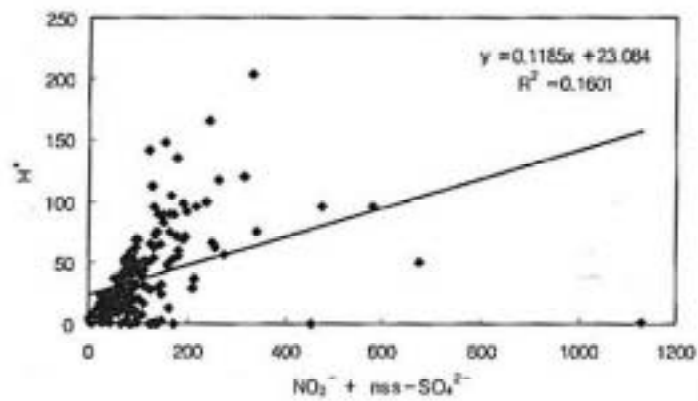


Fig. 22 Relationship between H^+ and secondary anions in northern Korea.

한국남해안 및 제주도에서는 2차생성 음이온과 2차생성 양이온과의 상관성이 H^+ 의 상관보다 높게 나타났고, 양자의 농도비 $[(H^+ + NH_4^+) / (nss-SO_4^{2-} + NO_3^-)]$ 는 일본구주북부보다 적었다. 일본구주북부는 2차생성 음이온의 농도가 증가함에 따라 H^+ 당량농도도 증가하며, 2차생성 양이온과 양호한 상관관계를 나타내고 있다.

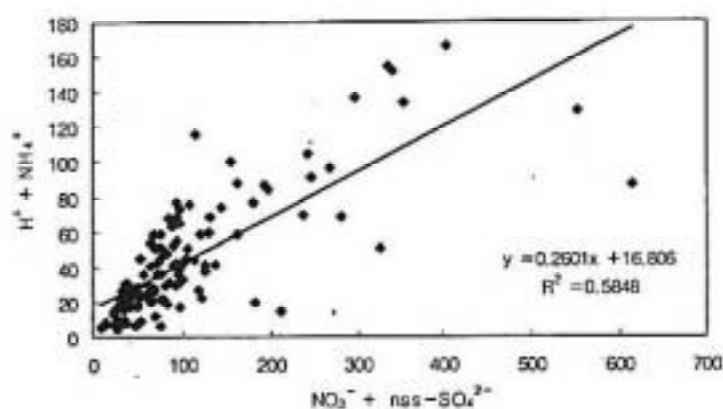


Fig. 23 Relationship between secondary cations and anions in southern Korea.

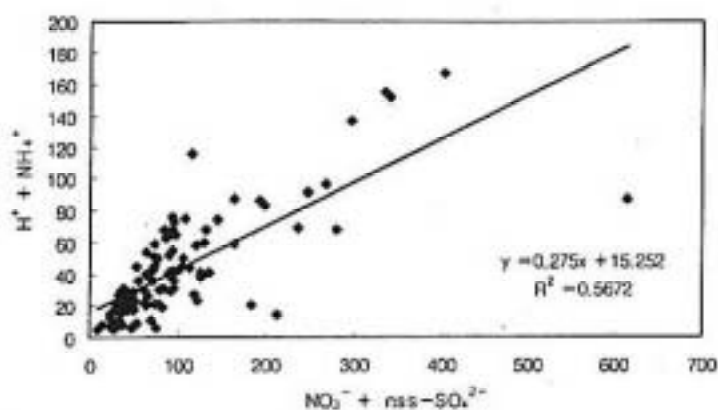


Fig. 24 Relationship between secondary cations and anions in southern Korea(except Cheju).

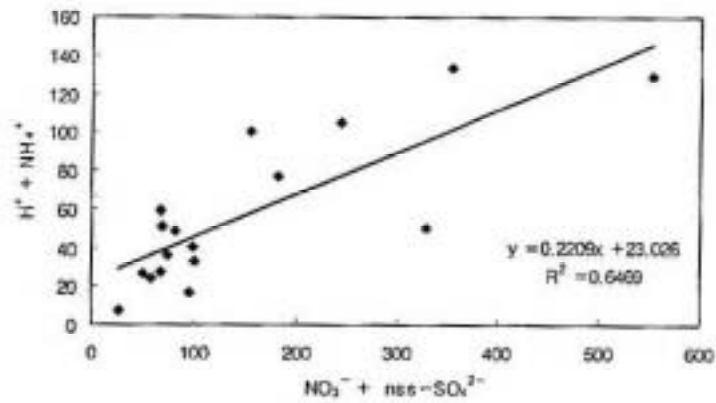


Fig. 25 Relationship between secondary cations and anions in Cheju.

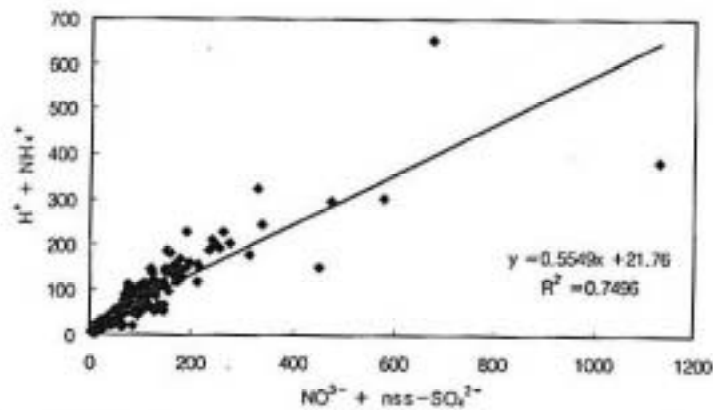


Fig. 26 Relationship between secondary cations and anions in northern Korea.

강수중의 중화성분의 특성을 파악하기 위해서 2차생성 음이온의 당량농도와 비해염성 양이온 당량농도비의 분포를 Fig. 27 ~ 30에 나타냈다. 비해염성 양이온 ($nss-Ca^{2+} + nss-Mg^{2+} + nss-K^+$)과 2차생성 음이온($nss-SO_4^{2-} + NO_3^-$)과의 상관관계는 전 조사지역에서 양호한 상관관계를 나타내며, 2차생성 음이온의 농도가 증가하면 토양 기원으로 생각되어지는 비해염성 양이온 농도도 증가했다. 한국남해안 및 제주도 의 강수는 Ca^{2+} 등의 비해염성 양이온 성분이 상대적으로 많으며, 일본구주북부는 2차생성 음이온에 대한 비해염성 양이온의 중화성분의 양이 적다. 이것은 한국남해안의 강수는 토양기원의 입자 영향을 많이 받는 것으로 생각된다.

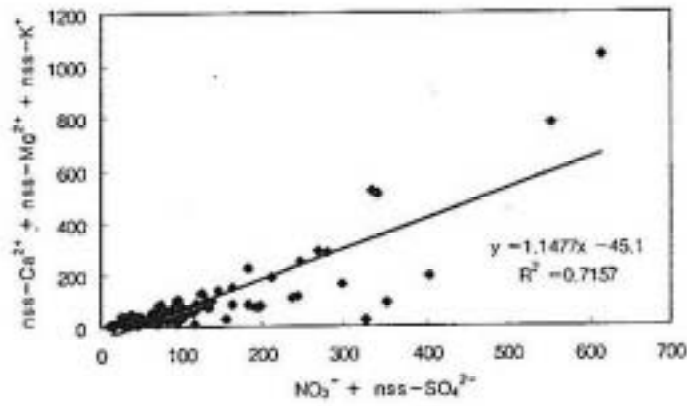


Fig. 27 Relationship between basic cation and secondary anions in southern Korea.

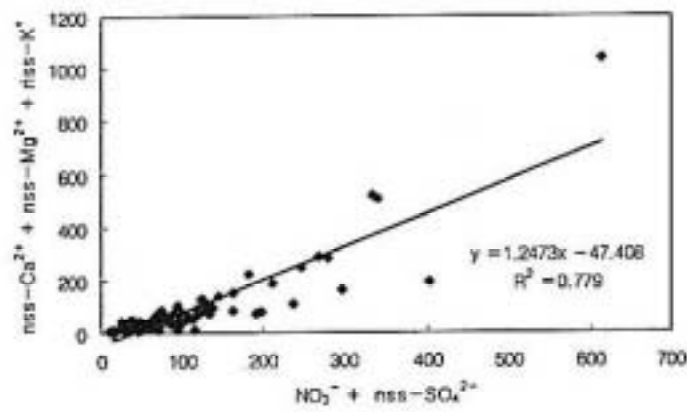


Fig. 28 Relationship between basic cation and secondary anions in southern Korea.

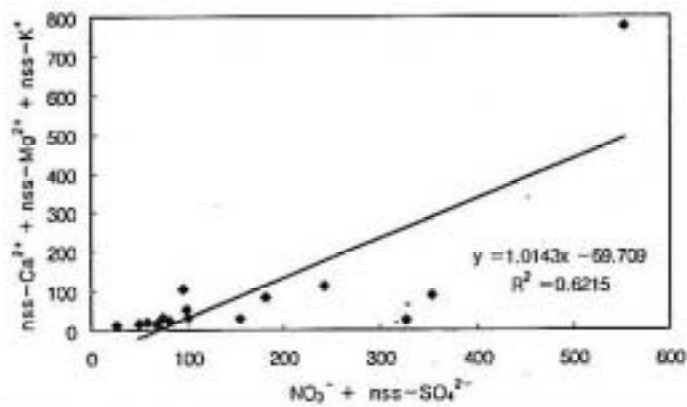


Fig. 29 Relationship between basic cation and secondary anions in Cheju.

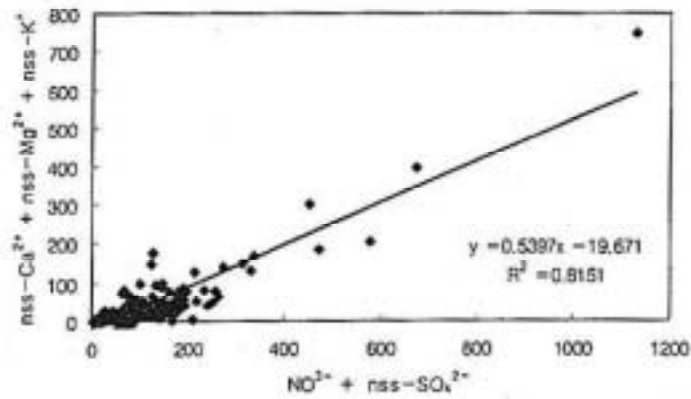


Fig. 30 Relationship between basic cation and secondary anions in northern Kyushu.

2차생성 양이온($H^+ + NH_4^+$)과 비해염성 양이온($nss-Ca^{2+} + nss-Mg^{2+} + nss-K^+$)의 조성은 우수의 pH를 결정하는 주요한 요인의 하나이다. 양이온의 조성은 한국남해안 및 제주도, 일본구주북부는 서로 다르며 H^+ , NH_4^+ 의 2차생성 양이온 농도가 높았다. 특히 $nss-Ca^{2+}$ 와의 차이는 한국남해안의 지형적 영향, 감수발생시의 정체전선의 위치, 저기압의 위치 등의 기상조건에 영향이 있을 것으로 여겨진다.

6. 결 론

1. pH는 1995년도의 최고치는 1월의 전남지역이 6.42, 최저치는 10월의 太宰府가 3.99로 나타났다. 1996년도에는 한국의 전남지역에서 4월에 Ph 6.42로 최고치를 나타내었고, 최저치는 1월의 長崎에서 pH 4.28로 나타났다. 한국남해안지역에서 관측된 pH는 4.59에서 6.42의 범위였으며, 일본구주북부지역에서는 4.28에서 5.22의 범위를 나타내었다.
2. 산성화 물질인 $nss-SO_4^{2-}$ 는 1995년의 최고치는 7월에 부산②가 $106.1\mu eq/l$, 최저치는 7월에 佐賀가 $8.5\mu eq/l$ 이었다. 1996년 최고치는 4월에 제주에서 $154.93\mu eq/l$, 최저치는 7월에 전남에서 $17.38\mu eq/l$ 이었다.

3. NO_3^- 농도는, 1995년도 최고치는 10월중에 전남지역이 $49.9\mu\text{eq}/\ell$, 최저치는 7월중에 佐賀가 $2.73\mu\text{eq}/\ell$ 으로 나타났다. 1월은 구주북부지역의 농도가 다소 높게 나타났으며, 그 외의 기간에는 한국남해안지역이 높게 나타났다. 1996년 최고치는 1월에 大村이 $59.99\mu\text{eq}/\ell$, 최저치는 7월에 전남에서 $7.35\mu\text{eq}/\ell$ 으로 나타났다. 일본구주북부지역에서 4월에 농도가 다소 낮게 나타났다. 전체적으로는 1월이 높게 나타났고, 7월이 낮게 나타나는 결과를 얻었다.
4. nss-SO_4^{2-} 와 NO_3^- 의 비인 N/nss-S 를 살펴보면, 1995년 최고치는 한국남해안지역에서 부산①에서 10월에 0.67이었고, 일본구주북부지역은 10월에 太宰府에서 0.67, 그리고 최저치는 4월에 전남이 0.14이었다. 1996년 최고치는 1월에 전남에서 1.05로 나타났으며, 최저치는 10월에 부산①에서 0.15로 나타났다. 한국남해안지역은 평균 0.41, 일본구주북부지역은 0.60으로 나타났다.
5. nss-Ca^{2+} 농도에 대해서 보면, 1995년의 최고치는 10월에 전남에서 $73.3\mu\text{eq}/\ell$, 최저치는 7월에 佐賀에서 $3.9\mu\text{eq}/\ell$ 이었다.
1996년 최고치는 4월에 한국남해안지역에서 $94.45\sim 153.82\mu\text{eq}/\ell$ 로 나타났으며, 최저치는 10월에 제주에서 $2.22\mu\text{eq}/\ell$ 이었다.
6. NH_4^+ 농도를 보면 1995년 최고치는 1월에 長崎에서 $81.4\mu\text{eq}/\ell$, 최저치는 7월에 佐賀에서 $2.2\mu\text{eq}/\ell$ 이었다. 1996년 최고치는 1월에 大村에서 $65.70\mu\text{eq}/\ell$, 최저치는 7월에 부산①에서 $10.54\mu\text{eq}/\ell$ 이었다.
7. $\text{NH}_4^+/\text{nss-Ca}^{2+}$ (NH_4^+ 농도와 nss-Ca^{2+} 의 당량농도비)를 보면 일본구주북부지역의 평균은 1.3, 한국남해안은 0.8이었다. 1996년도는 한국남해안지역은 0.12~5.08의 범위이고, 일본구주북부지역은 1.65~3.76의 범위이다. 한국남해안지역에서의 중화성분은 nss-Ca^{2+} 가 주성분인 것으로 나타났으며 일본구주북부지역의 중화성분은 NH_4^+ 가 주성분인 것으로 나타났다.
8. 해염 및 비해염성분의 강하량에 대하여 살펴보면, 1995년 조사기간의 총강하량은 한국남해안지역보다 강수량이 많은 일본구주북부지역의 침착량이 많았다. 1996년 한국남해안지역의 총강하량은 95년에 비해 강수량이 약 2배 많아진 부산지역의 강하량이 증가했다. 4월17일 황사시 강수에 의해 4월 봄 에 총강하량이

많았고 단위강수중 강하량도 가장 많았다. 일본구주북부지역의 총강하량은 1995년에 비해 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ 로 적어진 강수량 영향으로 매우 적어졌다. 한국남해안지역에 비해 해염이온성분의 비율이 높았다. 1월에 단위강수중 강하량이 가장 많았다.