

唐津과 安眠島地域 降水 成分의 變化特性에 關한 研究

A Study on the Transition Characteristics of Precipitation Components in Dangjin and Anmyon-do Area

정진도* · 이천호¹⁾

호서대학교 환경공학과, ¹⁾호서대학교 대학원 환경공학과
(2003년 10월 17일 접수, 2004년 9월 17일 채택)

Jin-Do Chung* and Choun-Ho Lee¹⁾

Department of Environmental Engineering, Hoseo University

¹⁾Department of Environmental Engineering, Graduate School, Hoseo University

(Received 17 October 2003, accepted 17 September 2004)

Abstract

In this study, we are going to compare the chemical composition of the precipitation that falls in the Dangjin and Anmyon-do areas by analyzing the water soluble components (anion and cation). We also examined the effects of seasonal change and regional difference in those data sets.

The $[\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}]$ at 49.2 $\mu\text{eq/l}$ is 67% of the total anion of 73.1 $\mu\text{eq/l}$, while that of $[\text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+}]$ at 37.7 $\mu\text{eq/l}$ is 62% of the cation in Dangjin area. Also, the $[\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}]$ concentration of 151.8 ($\mu\text{eq/l}$) is 62% for the total anion of 143.5 ($\mu\text{eq/l}$), and the $[\text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+}]$ concentration of 119.7 ($\mu\text{eq/l}$) is 47% for the cation of 254.3 ($\mu\text{eq/l}$) in Anmyon-do area.

The ion composition ratio is shown for the order by 22% of SO_4^{2-} , 20.8% of NH_4^+ and 15.4% of Cl^- that is the sum of 58.7% for the total ion composition in Dangjin area, and is the order by 33.8% of NH_4^+ , 16.3% of SO_4^{2-} and 11.1% of Cl^- in Anmyon-do area.

Furthermore, We predicted that even areas which were previously clean will get acid rain if there is large scale construction there or nearby.

Key words : Water soluble components, Anion, Cation, Ion composition, Acid rain

1. 서 론

산성비는 국가간, 대륙간 규모의 대기오염 현상의 하나로 이산화탄소의 증가로 인한 지구 온난화, 성층

권 오존층 고갈과 더불어 전지구규모의 환경문제로 알려져 있다. 산성비는 인류의 문명발달에 의한 부산물인 화석연료 사용에 의한 것으로 풍향과 풍속에 따라 차이는 있으나 수백 km를 이동하여 주변국가에도 피해를 주고 있고 각 국은 이에 따라 산성비 피해에 공동으로 대처하고 있는 실정이다(Tamaki *et*

* Corresponding author

Tel : +82-(0)41-540-5743, E-mail : jdchung@office.hoseo.ac.kr

al., 1991). 이와 같이 국경을 초월한 산성비의 피해는 호수 및 하천 등의 육상·수상 생태계 및 동식물의 생육, 인체 등에 심각한 악영향을 끼치며, 금속의 부식, 산림의 황폐화, 구조물의 훼손 등 자연 및 생활환경에 여러 가지 피해를 야기하고 있다(Knotkova et al., 1992; Howells, 1990; Legge et al., 1990).

현재 우리나라의 산성비 연구 실태는 강우의 pH 측정을 중심으로 한 연구에서 화학적 조성 중심의 연구로 발전하였으며(황성욱, 2000) 유럽에서는 1970년대 초반부터 여러 학자들에 의하여 산성비의 원인 규명에 의한 연구가 진행되었고 1980년대에 들어와 보다 폭 넓은 산성비의 원인 및 영향에 관한 연구가 이루어졌다(Glenn et al., 1991). 우리나라의 경우, 1983년 이래 환경부에서 강수에 대한 산도를 측정할 결과 연평균 pH는 5.0~5.4로 조사된바 있으나 pH 4.5 이하의 산성비도 자주 측정되고 있다(중앙일보, 빗물의 산성도 매년 심해져, 1982년 11월 2일자 6면). 특히, 봄철에 중국에서 불어오는 편서풍과 황사 등의 영향으로 SO₂나 입자상 오염물질 등이 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 편서풍 지역에 위치한 충남 서해안 지역 중 당진과 안면도 지역을 대상으로 강수 중 수용성 이온성분인 음이온, 양이온을 분석하여 각 성분에 대한 특성을 고찰하였으며 이를 토대로 pH, 전기전도도 및 주요 이온의 변화추이와 특성을

파악하였다.

2. 연구방법

2.1 시료채취지점

시료채취지점은 그림 1과 같이 우리나라 서해안에 위치하고 있는 당진과 안면도 지역으로 국지적인 오염발생원(도로변, 공단지대 등)에 의한 영향을 비교적 적게 받는 지역으로 선정하였다. 시료채취는 충청남도 당진군 소재한 S대학 공학 1관(4층) 옥상(해발고도 : 50 m)이며, 이곳은 해안가로부터 약 15 km 떨어져 있다. 안면도 지역의 시료채취는 충남 태안군 안면읍 소재한 기상청 산하 지구대기감시관측소(해발고도 : 40 m)로서 서해안으로부터 약 100 m 떨어져 있다.

2.2 시료채취 및 보관

시료채취기간은 2002년 4월 1일부터 2002년 11월 31일까지 약 8개월간 채취하였다. 강수 시료는 강수 자동채수기(wet-only automatic sampler)를 이용하여 비가 내리는 전 과정에 걸쳐 채수하였으며, 24시간 이상 지속 또는 단속적으로 비가 내릴 경우에는 당일 09시부터 익일 09시까지를 당일 시료로 취급하였다. 현장에서의 오염을 방지하기 위하여 매 강수 예

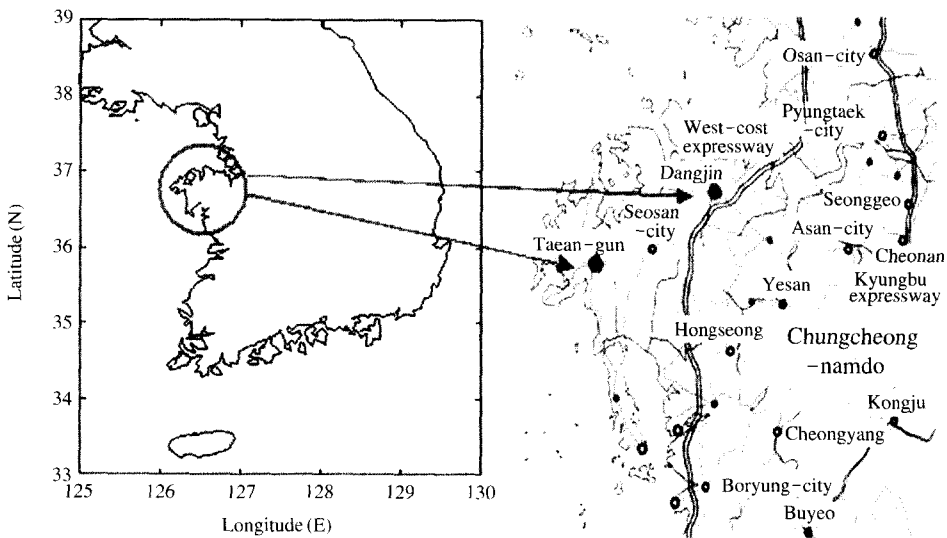


Fig. 1. The sampling site.

보가 있을 때마다 원통형 채수기에 폴리에틸렌 재질의 비닐백을 교체하여 강수를 받고 비닐백 채로 수거하여 시료의 오염을 최소화하도록 하였다. 수거된 비닐의 밑 부분을 가위로 자른 다음 시료의 일부분(약 100 mL)을 버린 후 미리 세척 후 건조시킨 폴리에틸렌 병(Nalgen, HDPE 60 mL 또는 125 mL) 2개에 분취한 후 pH와 전기전도도를 측정하였다. 그리고 공극이 0.45 μm 셀룰로오즈 필터를 이용하여 입자상 물질을 제거하고 4.0°C 냉암소에 보관한 후 수용성 이온성분들을 분석하였다.

강수 시료를 시료병에 옮기는 과정에서는 비닐장갑을 착용하여 시료의 오염이 최소가 되도록 하였으며 각각의 시료병은 비닐에 봉한 후 분석 전까지 4°C 이하로 냉장 보관하였다. 그리고 강수시료의 용기로 사용된 폴리에틸렌 병은 다른 재질의 것에 비해 강수 중 무기이온성분들에 대해 안정한 것으로 알려져 있다.

당진에서 사용된 강수채취방식은 자동채수기에 의한 방식으로서 채수구의 높이가 104 cm로 지표면으로부터 오염을 최소화하도록 설치하였으며 빗방울의 최소감지능력은 0.03~0.05 mm/h이다. 여기에서 강우 센서의 감도를 높게 한 이유는 초기 강우에 대기로부터 세정된 오염물질이 농축되어 있어 이를 수거하지 못하면 전체 강하량 산정에 중요한 영향을 미치기 때문에 센서의 감지능력을 향상시켜 초기강우를 수거하기 위함이다.

2002년 4월 1일부터 2002년 11월까지 당진 지역 총 47개의 시료와 안면도 지역 총 59개의 시료를 측정 분석하였으며, 각 지역의 강수 포집량은 당진이 258 mm이고, 안면도는 884 mm였으며 강수의 회수율은 약 80~85%였다.

2. 3 강수시료 분석

강수시료는 이온 크로마토그래피(Ion Chromatography : DIONEX, DX 500)를 사용하여 F⁻, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺의 9개 이온을 분석하고, 이때 용리액 및 표준 용액 제조에 사용된 초순수는 18 MΩ의 탈이온수를 사용하였다. 음이온의 분석을 위한 용리액은 1.8 mM Na₂CO₃+1.7 mM NaHCO₃ 혼합용액이고 컬럼은 AS4A-SC, 양이온의 분석을 위한 용리액은 20 mM MSA (Fluka)를 각각 사용하였다. 또한 분석에 사용된 표준용액은

Table 1. Ion chromatography system used for chemical analysis.

	Anion	Cation
Eluent	1.8 mM Na ₂ CO ₃ + 1.7 mM NaHCO ₃	20 mM MSA (Methane Sulfonic Acid)
Flow rate	2.0 mL/min	1.0 mL/min
Column	AG4A-SC Guard Column AS4A-SC Separated Column	CG12 Guard Column CG12 Separated Column
Suppressor	ASRS(Anion Self Regeneration Suppressor)	CSRS(Cation Self Regeneration Suppressor)
Detector	Conductivity Cell Detector	Conductivity Cell Detector
Output range	10 μs	10 μs

Accu사의 표준용액(1,000 ppm)을 이용하여 ppb~ppm 단위의 여러 개의 표준 용액을 제조하여 사용하였으며, 분석 조건은 표 1과 같다.

2. 4 정도관리 시료분석

본 연구에 사용된 강수시료 자료들은 모두 세계기상기구/지구대기감시의 일환으로 이루어지고 있어 이들 미지시료를 주기적으로 분석하여 분석자의 개인오차 및 기기오차를 사전에 방지하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이온수지법과 전기전도도법을 사용하였기에 일정 수준이상의 신뢰도를 확보하였다고 판단된다.

3. 결과 및 고찰

3. 1 농도 계산

3. 1. 1 강수량을 고려한 가중평균농도

월별 및 계절별 당량 농도값(μeq/l)은 단위 강수량을 고려한 가중 평균값(volume weighted mean : VWM)으로 계산식은 다음과 같다.

$$VWM = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i C_i)}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

여기서, P_i는 i번째 빗물의 양(mm)이고, C_i는 i번째의 농도 값이다. 또한, 연구 대상 지점이 해안가에 인접하여 있으므로 바다에서 유입되는 수용성 이온 성분의 양을 제거하여야 한다.

3.1.2 해염 및 비해염 입자 기원

인위적 기원에 의한 침착량 파악에는 해염입자 기여 분(해양유래 성분)을 확실히 추정하고, 이것으로부터 비 해양 유래성분의 양을 산출할 필요가 있다. 이것을 nss-(non sea salt)로 표시하며, 현재는 Na^+ 기준에 의해 값을 산출하고 있다. 강우 중에 함유된 Na^+ 양은 고층 대기중에 부유하고 있고 시료채취 지점이 해안가에 근접하고 있으므로 모두 해양기원으로 하고, 해양유래의 성분농도 비율은 해양-대기-(구름)-강우 중으로 변화하지 않는다고 가정해서 산출한 것이다. 이 결과는 방소영(2003) 등의 결과와도 일치하는 경향을 보인다.

日本環境大氣科の酸性雨調査法研究会(1996)에서 나타난 대로 해수 1kg 중 Cl^-/Na^+ 는 1.79로 약

1.8의 비율로 되어 있는 것이 명시되어있다.

3.2 이온성분의 월변화

그림 3은 당진지역과 안면도 지역의 음이온 당량농도의 월변화를 나타낸 것으로 SO_4^{2-} 이온은 Cl^- 이온이 최고치를 보인 11월을 제외하고는 전체적으로 높게 나타났으며 월 평균 당량농도는 5월에 17.4 $\mu eq/l$ 로 최저치를 보이며 10월에 135.7 $\mu eq/l$ 로 최고치를 보이면서 변화폭이 크게 나타났다. NO_3^- 이온의 당량농도는 SO_4^{2-} 이온과 비슷한 양상을 보이고 있으며, 최저는 4월에 13.3 $\mu eq/l$, 11월에 68.3 $\mu eq/l$ 로 최고치를 보이고 있으며, Cl^- 이온은 비슷한 수준으로 나타나다가 11월에 변화폭이 급격하게 증가하였다.

안면도 지역의 음이온 당량농도의 월변화를 나타

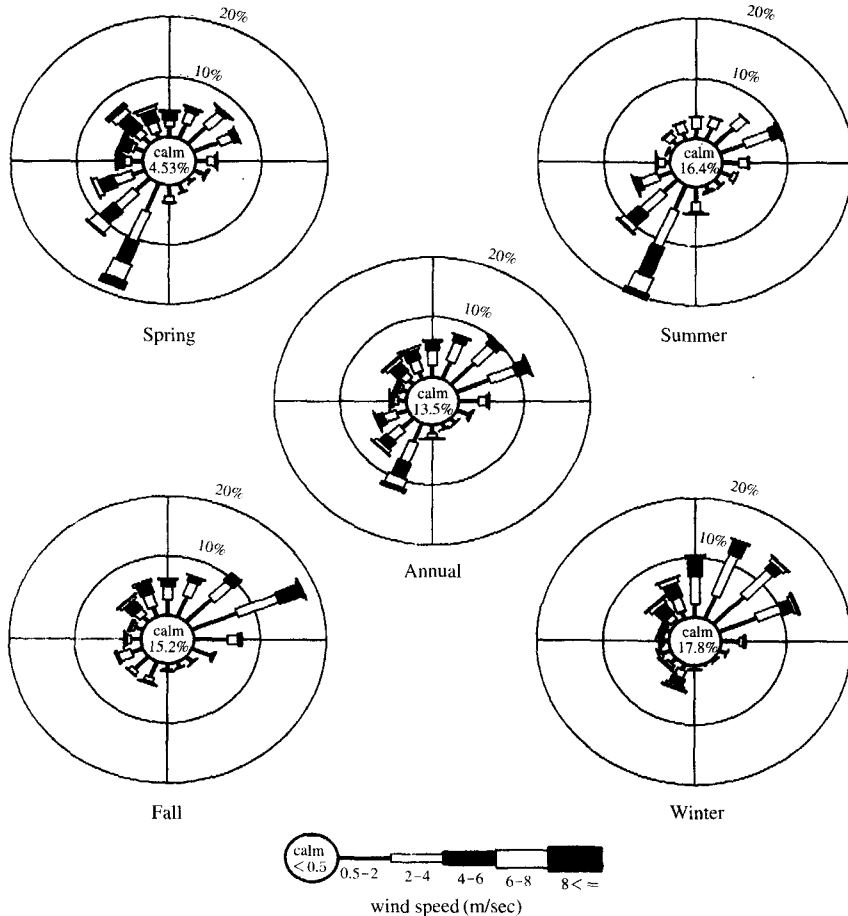


Fig. 2. Wind rose in west-coast area.

낸 것으로 당진지역과는 정반대의 양상으로 나타났다. 봄철인 4월에 SO_4^{2-} 이온은 $724.6 \mu\text{eq/l}$, Cl^- 이온은 $223.6 \mu\text{eq/l}$ 으로 다른 달보다 상당히 많은 양을 차지하는 것으로 나타났다. 이는 2001년도에는 황사 발생일이 전년에 비해 2.7배 가량 많은 27일이 발생하였으며, 2002년에는 약 14일 가량 발생했지만 그 농도는 최대 $1407 \mu\text{g/m}^3$ 에 달하는 것으로 나타나 황사의 영향이 크다고 판단된다. 지구대기감시관측소, 지구대기감시보고서에 따르면 안면도 지역 SO_4^{2-} 이온의 최대 농도가 $831.4 \mu\text{eq/l}$ 라는 보고도 있다. 또한 편서풍과 지형적인 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 이에 대한 증빙자료로 그림 2에 나타난 당진, 서산 등 서해안 지역의 바람장미도를 보면 봄, 여름에는 주 풍향이 남서풍으로 나타난 것으로 보아 편서풍과 지형적인 영향도 많이 영향을 끼쳤으리라고 판단된다.

또한 이온성분의 비례염기원을 산출한 결과 nss- SO_4^{2-} 이온의 최대 농도가 당진지역의 경우 10월 달의 $127.5 \mu\text{eq/l}$ 였으며, 안면도의 경우 4월 달의 643.3

$\mu\text{eq/l}$ 로 나타났다.

당진지역 및 안면도의 양이온 성분의 당량농도 월별 변화가 그림 4이다. 이 결과에서 NH_4^+ 이온은 8월에 $8.6 \mu\text{eq/l}$ 으로 최저치를 11월에 $93.2 \mu\text{eq/l}$ 로 최고치를 보이면서 월 변화폭이 제일 크게 나타났다. Ca^{2+} 이온이 우기가 끝나고 분진농도가 상승추세에 있는 9월부터 증가한 것은 인위적 오염원의 영향으로 추측된다면 Na^+ 이온은 Cl^- 이온과 같이 해양기원에 의한 자연적인 요인으로 추측된다. 일반적으로 토양기원으로 알려져 있는 Mg^{2+} 이온과 K^+ 이온은 저 농도 수준을 유지하다가 10월부터 상승추세에 있다.

안면도 지역의 양이온 성분의 당량농도 월변화률 음이온 당량농도의 월변화와 비슷한 양상을 보인다. Ca^{2+} 이온이 $702.8 \mu\text{eq/l}$ 과 Na^+ 이온이 $323.8 \mu\text{eq/l}$ 로 4월 달에 높게 측정된 것은 2002년 봄철의 황사가 $1407 \mu\text{g/m}^3$ 이 넘는 기록적인 농도를 보인 것에 기인한다고 사료되며 지구대기감시관측소, 지구대기감시보고서에 따르면 황사시와 비 황사시에 Ca^{2+} 의 농

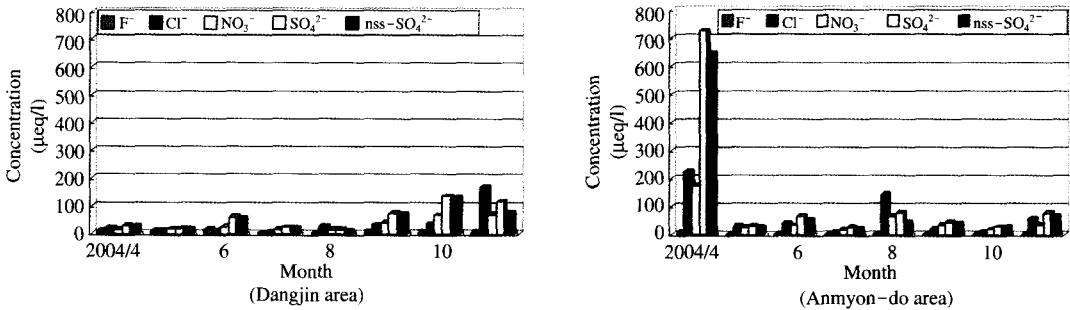


Fig. 3. Change of anion equivalent concentration in wet-deposition.

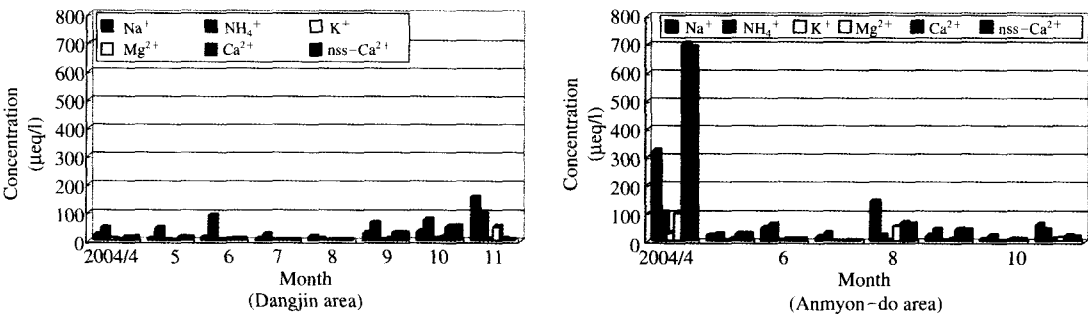


Fig. 4. Change of cation equivalent concentration in wet-deposition.

도가 약 4.15배에 달한다는 보고가 있으며 안면도 지역 최대 농도가 1070.1 µeq/l를 보인 경우도 있다는 보고가 있다. 또한 안면도 지역에서의 대규모 토목공사 등으로 인한 강수 중에 토양 광물이 많이 함유한 것으로 사료된다.

또한 이온성분의 비해염기원을 산출한 결과 nss-Ca²⁺ 이온의 최대 농도가 당진지역의 경우 10월 달의 48.9 µeq/l였으며, 안면도의 경우 4월 달의 690.7 µeq/l로 나타났다.

3. 3 NO₃⁻-N와 SO₄²⁻-S의 비교

대기 중에 부유하는 에어로졸에 함유된 성분 중에서 산성비의 원인 물질로 보고되고 있는 황산염과 질산염 (Haider and Liquat, 1990; Liljestrang and Morgan, 1981)은 강수에 의해 지면에 도달하면 토양이나 호수를 산성화시켜 궁극적으로 인간에게 직·간접적으로 많은 영향을 준다. 또한 NH₄⁺와 Ca²⁺는 대부분 자연발생원인 토양으로부터 비산되어 대기 중에 떠 있다가 강수를 중화시켜 pH를 알카리성으로 증가시키는 역할을 한다. 강수를 염기성으로 바꾸는 성분은 NH₃, CaCO₃ 등이고 산성화시키는 성분은 황산, 질산 등이기 때문에 NH₄⁺, Ca²⁺는 강수의 염기화, SO₄²⁻, NO₃⁻는 강수의 산성화를 나타내는 지표물

질로 이용될 수 있다.

그러나 실제로 강수의 산성화를 야기 시키는 것은 HNO₃, H₂SO₄의 물질 중 N과 S성분이므로 본 연구에서는 NO₃⁻와 SO₄²⁻에서 N과 S성분만을 계산하여 비교하였다. 표 2에 나타난 계절별 N과 S성분이 차지하는 비율을 보면 당진지역에서는 S성분이 가을철이 가장 높고 다음으로 봄철 여름철 순으로 나타났으며, 안면도 지역은 봄철이 가장 높고 다음으로 가을 여름철 순으로 당진지역과 반대의 양상으로 나타났다.

산성 강우를 야기시키는 선구물질의 대기중 배출량 비율을 살펴보면 두 지역에서의 농도차이가 확연함을 알 수 있다. 그 중에서도 두 지역의 NO₂ 배출량과 SO₂ 배출량 비를 살펴보면 안면도가 위치한 태안군이 당진군보다 월등히 높은 배출량을 나타냄을 알 수 있는데 이는 이전의 연구 결과(충남환경기술개발센터, 2003)와도 일치함을 알 수 있었다. 표 3의 자료는 그림 3의 두 지역 간 이온성분의 농도차이를 해석할 수 있으며 안면도 지역의 이온농도가 당진보다 높다는 것을 예측 할 수 있다.

3. 4 NO₃⁻+SO₄²⁻ & NH₄⁺+Ca²⁺의 비교

그림 5는 당진 지역 및 안면도 지역 강수의 pH를 결정하는 중요한 원인물질인[NO₃⁻+SO₄²⁻]와 [NH₄⁺+Ca²⁺]의 관계를 나타낸 것이다. 당진지역은 인위적 오염물질인 [NO₃⁻+nss-SO₄²⁻]와 자연 발생원으로부터 비산되어진 [NH₄⁺+Ca²⁺]의 상관관계(r²)는 0.8874로서 인위적 오염물질이 많이 존재하는 것으로 나타났다.

또한 총음이온 농도 73.1 µeq/l 중 [NO₃⁻+SO₄²⁻]의 농도는 49.2 µeq/l로 67%를 차지하며, 양이온 농도 60.9 µeq/l 중 [NH₄⁺+Ca²⁺]의 농도는 37.7 µeq/l로 62%를 차지하는 것으로 조사되었다.

Table 2. The ratio for nss-NO₃⁻-N and nss-SO₄²⁻-S at Dangjin and Anmyon-do.

Season	Dangjin			Anmyon-do		
	N(%)	S(%)	N/S	N(%)	S(%)	N/S
Spring	31.2	68.8	0.45	18.2	81.2	0.22
Summer	33.2	66.8	0.50	34.5	65.5	0.53
Fall	25.5	74.5	0.34	29	71	0.41
Annual	29.9	70.1	0.43	25.8	74.2	0.35

Table 3. Comparison of emissions at each area.

Emission source	Dangjin				Taean(Anmyon-do)			
	SO ₂		NO ₂		SO ₂		NO ₂	
	Emission	Ratio	Emission	Ratio	Emission	Ratio	Emission	Ratio
Point source	4383.5	88.3	13685.7	88.7	27780.2	95.3	40153.5	89.6
Line source	393.13	7.9	1432.3	9.3	1277.1	4.4	4465.8	10.0
Area source	189.13	3.8	307.9	2.0	107.2	0.3	174.5	0.4
Total	4,778.63	100	15,120	100	29,057.3	100	44,619.3	100

(충남환경기술개발센터, 2003)

안면도 지역으로 $r^2=0.9289$ 당진지역 보다는 산성 물질과 중화물질이 비슷하게 존재하는 것으로 나타났다. 총음이온이 농도 143.5 $\mu\text{eq/l}$ 중 $[\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}]$ 의 농도는 151.8 $\mu\text{eq/l}$ 로 62%를 차지하며, 양이온 농도 254.3 $\mu\text{eq/l}$ 중 $[\text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+}]$ 의 농도는 119.7 $\mu\text{eq/l}$ 로 47%를 차지하는 것으로 조사되었다.

또한 당진과 안면도 지역에서 채취한 강수중의 pH, 전기전도도($\mu\text{S/cm}$), 수용성 음이온(F^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) 및 양이온(Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+})의 강수량가중평균농도(VWM)를 각각 표 4와 표 5에 나타내었다.

3.5 이온성분조성비 비교

당진지역 및 안면도 지역의 이온성분 조성비는 그림 6에 나타내었다. 당진지역의 이온조성비를 살펴보면 nss-SO_4^{2-} 이 20.1%, NH_4^+ 가 21.6%, Cl^- 이 15.9% 순으로 전체 이온 조성 중에서 57.6%로 많은 양을 차지하는 것으로 조사되었고, K^+ 이 1.7%로 가장 적고, F^- 과 Mg^{2+} 이 2.6, 3.3%로 낮게 측정되었다. 따라서 당진 지역은 중국으로부터 인위적 오염물질의 영향이 많은 것으로 사료된다.

안면도 지역 이온 조성비는 Na^+ 가 33.8%, SO_4^{2-} 이 16.2%, Cl^- 이 19.3% 순으로 나타나 해안가 근접

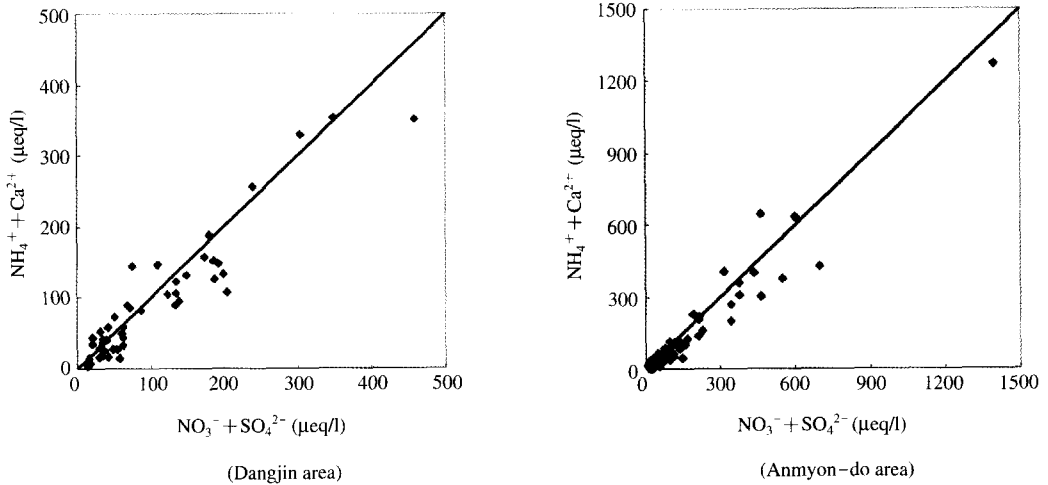


Fig. 5. The ratio for $\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ and $\text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+}$.

Table 4. pH and major chemical components in precipitation at Dangjin.

Month	Preci (mm)	pH	E.C ($\mu\text{S/cm}$)	Anion ($\mu\text{eq/l}$)					Cation ($\mu\text{eq/l}$)					
				F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	nss-SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	nss-Ca^{2+}
2002/4	88.5	5.2	13.4	7.9	21.2	13.3	28.9	24.2	18.7	47.5	8.3	2.1	10.8	10.1
5	114.5	6.0	11.7	7.8	10.8	16.3	17.4	15.0	9.5	45.8	2.2	0.9	10.6	10.2
6	55.0	6.3	23.0	14.5	12.2	23.1	57.3	54.1	12.6	91.3	3.0	1.5	7.7	7.2
7	386.6	5.0	8.2	2.0	7.1	14.7	22.0	20.1	7.5	24.1	0.7	2.0	4.1	3.8
8	707.7	4.7	7.3	1.4	23.6	12.7	14.1	10.0	16.5	8.1	1.0	4.1	3.9	3.3
9	45.1	4.4	27.7	7.7	31.4	40.4	75.2	67.8	29.3	65.9	4.6	6.9	31.4	30.3
10	104.8	3.8	46.0	3.8	36.2	65.7	135.7	127.5	32.7	75.9	6.3	12.3	50.1	48.9
11	17.2	4.6	60.6	4.2	168.0	68.3	116.1	76.8	156.6	93.2	9.8	49.2	7.6	1.6
Spring	203.0	5.4	13.4	7.9	21.2	13.3	25.9	21.2	18.7	47.5	8.3	2.1	10.8	10.1
Summer	1149.3	4.8	8.4	2.2	17.5	13.8	18.8	15.5	13.3	17.8	1.0	3.3	4.1	3.6
Fall	167.1	3.9	42.5	4.9	48.5	59.2	117.3	106.1	44.5	75.0	6.2	14.6	47.7	46.0
Annual	1519.4	4.6	12.7	3.3	20.6	19.0	30.2	26.0	16.8	27.9	2.1	4.3	9.8	9.2

Table 5. pH and major chemical components in precipitation at Anmyon-do.

Month	Preci (mm)	pH	E.C (μS/cm)	Anion (μeq/l)					Cation (μeq/l)					
				F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	nss-Ca ²⁺
2002/4	52.5	4.2	243.1	7.0	224.0	173.0	724.6	643.3	324.0	103.0	29.0	102.0	703.0	690.7
5	174.0	5.0	15.7	0.3	28.5	26.1	31.2	25.3	23.5	27.6	4.5	8.7	27.4	26.5
6	45.0	4.5	23.6	1.9	38.1	32.0	64.6	52.5	48.1	62.0	5.7	7.1	9.7	7.9
7	149.0	5.0	8.7	0.4	8.7	15.9	24.1	20.1	15.8	30.4	0.2	0.4	2.7	2.1
8	362.0	4.9	46.7	1.3	143.0	64.8	78.8	43.2	142.0	22.7	5.0	55.1	69.2	63.8
9	14.0	4.9	21.5	0.0	21.7	33.7	43.7	38.2	21.9	45.3	1.8	7.9	42.9	42.1
10	68.0	4.6	10.9	0.3	10.7	19.4	27.6	25.2	9.4	21.9	1.5	4.5	10.6	10.2
11	20.0	4.4	30.4	0.3	55.8	33.4	79.0	63.8	60.7	45.5	6.6	13.9	20.0	17.7
Spring	257.0	4.7	76.4	2.0	100.0	67.4	205.2	175.6	118.0	46.0	11.0	34.7	200.0	195.5
Summer	556.0	4.9	34.6	1.1	98.7	49.0	63.0	37.9	100.0	27.9	3.8	36.5	46.5	42.7
Fall	102.0	4.6	16.2	0.3	21.0	24.1	39.9	34.6	21.2	29.7	2.5	6.8	16.9	16.1
Annual	915.0	4.8	44.3	1.3	90.5	51.4	100.4	76.2	96.4	33.2	5.5	32.7	86.4	82.7

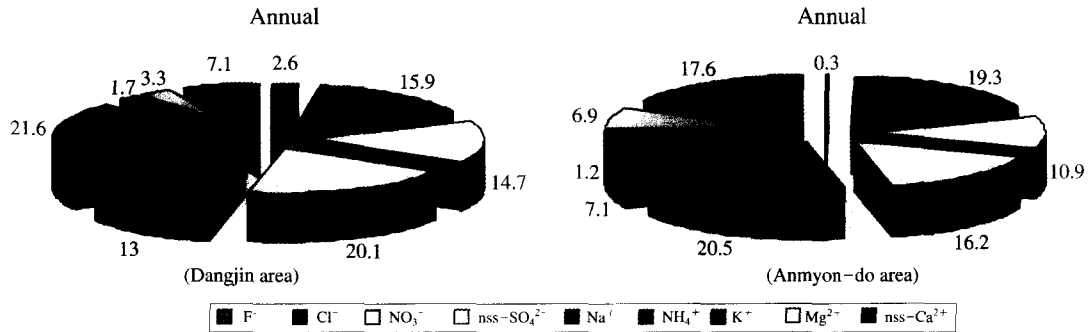


Fig. 6. The ratio of concentration in precipitation during the period.

지역이라는 것을 쉽게 예측할 수 있었다.

기존의 연구(방소영 등, 2000; 최재천 등, 1997)와 비교·분석 결과 당진과 안면도 지역의 강수 중 pH가 약 0.6~0.8가량 낮은 것을 알 수 있었으며 이온농도의 변화특성 경향 역시 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

4. 결 론

당진지역과 안면도 지역의 강수특성을 비교해 보기 위하여 수용성 이온성분인 음이온(F⁻, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻)과 양이온(Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺) 및 pH, 전기전도도 등을 2002년 4월 1일부터 2002년 11월까지 당진 지역 총 47개의 시료와 안면도 지역

총 59개의 시료를 측정 분석해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 당진과 안면도 지역의 pH 분포는 당진 지역이 년평균 pH 4.6, 안면도 지역이 년평균 pH 4.8로 산성비 기준인 5.6보다 산성을 나타내었다. 산성비 기준인 pH 5.6 이하의 총 발생빈도는 당진이 약 76.8%, 안면도 지역이 81.4%로 나타났는데 이것은 두 지역에서 산성비가 빈도만큼 내렸다는 것이며, 이 중 pH의 저하요인인 음이온이 상대적으로 양이온 보다 많이 포함되어 있음을 분석하였다.
2. 강수량과 pH와의 관계를 살펴보면 당진 지역과 안면도 지역 모두 여름철인 7, 8월에 강수량이 집중되었고 pH 또한 4.1~5.5 사이로 봄철이나 가을철에 비해 pH가 높게 나타났다. 이는 여름철의 장

마로 인해 대기 중 SO_x , NO_x 가스 등의 세정효과로 볼 수 있다.

3. 당진 지역의 강수시료에 대한 이온농도 분포는 음이온이 $nss-SO_4^{2-}$ (20.1%) > Cl^- (15.9%) > NO_3^- (14.7%) > F^- (2.6%), 양이온이 NH_4^+ (21.6%) > Na^+ (13%) > $nss-Ca^{2+}$ (7.1%) > Mg^{2+} (3.3%) > K^+ (1.7%)의 순서로 나타났으며, 안면도는 음이온이 Cl^- (19.3%) > $nss-SO_4^{2-}$ (16.2%) > NO_3^- (10.9%) > F^- (0.3%), 양이온이 Na^+ (20.5%) > $nss-Ca^{2+}$ (17.6%) > NH_4^+ (7.1%) > Mg^{2+} (6.9%) > K^+ (1.2%)의 순서로 나타났다.
4. NO_3^- -N와 SO_4^{2-} -S의 비를 볼 때 안면도 지역(0.35)이 당진 지역(0.43)보다 강수 중 SO_4^{2-} -S이 NO_3^- -N 보다 pH에 더 많은 영향을 준다는 것을 알 수 있었다.
5. $NO_3^-+SO_4^{2-}$ & $NH_4^++Ca^{2+}$ 의 비를 볼 때 당진 지역의 인위적 오염물질인 [$NO_3^-+SO_4^{2-}$]와 자연 발생원으로부터 비산되어진 [$NH_4^++Ca^{2+}$]의 상관관계($r^2=0.8874$)로서 인위적 오염물질이 많이 존재하는 것으로 나타났으며, 안면도 지역은($r^2=0.9289$) 당진지역 보다는 산성물질과 중화물질이 비슷하게 존재하는 것으로 나타났다. 따라서 안면도 지역 보다 당진 지역이 더 중화물질인 [$NH_4^++Ca^{2+}$] 보다 산성물질인 [$NO_3^-+SO_4^{2-}$]의 농도가 높은 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

김 산, 김정식, 신도식, 차주완, 최재천, 박기준(1998), 무안 지역 강수 중 수용성 이온 성분의 분석, 한국기상학회 1999년도 봄 초청강연 및 정기총회, 308-310.

김지영, 전영신, 조하만, 최재천, 남재철, 김 산(1999) 도시지역과 농촌지역에 내린 강수의 중화 특성, 한국기상학회지, 36(1), 15-24.

김희강 등(1995) 대기오염개론, 동화출판사, 59-80.

박종수(1999) 인천지역 강우의 산성도 및 화학적 특성에 관한 연구, 서울시립대학교 석사학위논문.

방소영, 최재천, 박상순, 조경숙, 오성남(2003) 한반도 배경지역 강수 중 수용성 이온 성분의 화학적 특성 분석, 한국기상학회지, 39(1), 29-41.

오길영, 양수인, 이원진(1999) 목포, 여천지역 강수의 무기이온 성분농도와 거동에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 15(4), 385-392.

중앙일보, (1982) 빗물의 산성도 매년 심해져, 1982년 11월 2일자 6면.

지구대기감시관측소(2002) 제8장 대기화학, 지구대기감시보고서, 157-159

최무운(1990), 지구과학, 자유출판사, 17-53.

최재천, 이민영, 김 산(1997), 1991~1995년까지 소백산 지역에 내린 강수의 화학조성에 관한 연구, 한국기상학회지, 33(3), 477-486.

충남환경기술개발센터, 정진도 (2003) 충남지역 시·군별 대기오염원별 총량계산과 황사영향에 대한 조사, 19-27.

황성욱(2000) 부산지역 산성강우의 화학적 성상과 pH 영향 인자의 해석에 관한 연구, 동아대학교 석사학위논문

日本環境大氣科の酸性雨調査法研究會(1996) 酸性雨の調査法.

Dianwu, Z. (1988) Acid Rain in Southwestern China, Atmos. Environ., 22(2), 349-359.

Glenn, D.R. and R.S. Artz (1991) A paired comparison of two precipitation chemistry site in East-Central Mississippi, Atmos. Environ., 25A(8), 1449-1461.

Haider, A.K. and H. Liaquat (1990) Chemical characterization of acid precipitation in Albany New York, Atmos. Environ., 23A(7), 1869-1882.

Hiroshi, H, M. Kitamura, A. Mori, I. Noguchi, T. Chizumi, S. Seto, T. Takeuch, and T. Deguchi (1995) Water and Soil Pollution, 85, 2307.

Howells, G. (1990) Acid Rain and Acid Waters, Ellis Horwood, 9-62, 134-165.

Knotkova, D. and K. Barton (1992) Effects of Acid Deposition on Corrosion of Metals, Atmospheric Environment, 26A(17), 3169-3177.

Kupchella, C.E. and M.C. Hyland (1989) Environmental Science, Allyn and Bacon, 329-340.

Legge, A.H. and S.V. Krupa (1990) Acid Deposition : Sulfur and Nitrogen Oxides, Lewis Publishers, 1-61.

Liljestrand, H. and J. Morgan (1981) Spatial variations of acid precipitation in Southern California, Environ. Sci. Tech., 15, 330-338.

Seinfeld, J.H. (1986) Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution, John Willy & Sons, 695-719.

Stensland, G.J. (1992) Acid Rain, Encyclopedia of Environmental I., Science and Engineering, Gordon and Breach Science Publishers, 1-10.

Tamaki M. and I. Koyama(1991) The Acid Rain Observed on Ground Level in Japan A Review of Mayor Recent Issues and problems, J. Japan Soc. Air Pollut., 26(1), 1-22.