

## 제주도와 울릉도의 강하분진중 수용성 성분에 관한 연구

### A Study on Water-soluble Components in the Dustfall Matter at Cheju and Ullung Island

최재천·김산·이민영·이선기  
기상청 기상연구소

Jae-Cheon Choi, San Kim, Min-Young Lee, Sun-Ki Lee  
*Meteorological Research Institute, KMA*

#### Abstract

This study was carried out to investigate the chemical composition of dustfall at Cheju(mean sea level; 71.7m, 33° 17' N, 126° 10' E) and Ullung island(mean sea level; 221.1m, 38° 29' N, 130° 54' E) from October 1993 to September 1994.

The dustfall matter samples were collected by deposit gauges. The ionic components of each samples was analyzed by Ion Chromatography(Dionex 4000i), While heavy metals by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry(ICP/AES; Shimadzu ICP-4). The results for seasonal variation of dustfall matter total amount, water-soluble ionic components and water-soluble ionic components total deposition amount to two sites were compared each other.

The seasonal variations of dustfall amount at Ullung and Cheju island were found in order of Spring>Winter>Fall>Summer, and the maximum of dustfall amount were during the Yellow Sand period. Also, Total amount of water-soluble components except for F<sup>-</sup> were high in Cheju more than Ullung island.

#### 1. 서론

대기 중에 부유하는 분진은 인간의 호흡 기관을 통해 체내에 유입되어 폐질환을 유발시키거나, 식물의 기공을 막아 광합성 작용을 저하시켜 고사시키는 등 인간 및 식물에 막대한 피해를 주고 있다(Perkins, 1974). 또한, 이러한 분진은 대기 중에서 아황산가스나 이산화질소 등의 산성 오염 물질과 물리, 화학적인 반응을 통해 토양과 호수를 산성화시키므로 지상 및 수중 생물을 사멸시키는 등 피해를 가중시킨다(Wolff et al., 1981). 현재, 우리나라에서는 환경부에서 전국 주요 도시의 부유 분진량을 측정하고 있으며, 서울시 보건환경연구원에서 서울시내의 약 20여개 지점에서 강하 분진을 포집하고 있다.

산성 강하물은 크게 건성 강하물(Dry deposition)과 습성 강하물(Wet deposition)로 구분할 수 있으며, 이들은 시·공간적으로 기상 현상에 따라 농도 값의 차이가 크다(Small, 1960; Erisaman, 1989; WMO, 1994). 우리나라와 같이 삼면이 바다로 둘러 싸여 있고, 전 국토의 약 70% 이상이 산악으로 형성된 지역은 기상 현상이 지역적으로 매우 다양하게 나타나므로(기상연구소, 1988, 1989) 산성 강하물의 성상을 파악하는데 있어서 단순히 건성 또는 습성 강하량 하나만으로 정확한 원인 규명을 하기는 매우 어렵다.

본 연구에서는 건성 강하물과 습성 강하물을 동시에 포집할 수 있는 디포지트 게이지를 이용하여 청정 지역이라 판단되는 제주도와 울릉도를 대상으로 1993년 10월부터 1994년 9월까지(1년간) 지속적으로 시료를 포집한

후, 총량 값과 수용성 이온 성분 농도 값으로 지점간의 특성을 비교하였으며, 황사 현상이 자주 발생하는 1994년 4월과 5월에 대해서는 중금속 특성도 고찰하였다.

## 2. 자료 및 분석 방법

### 2.1 자 료

본 연구의 대상 기간은 1993년 10월부터 1994년 9월까지 1년간 지속적으로 실시하였으며, 대상 지역은 섬 지역으로 제주도 서쪽에 위치한 제주 고층레이다기상대(제주도 북제주군 한경면 고산리 3762, 33° 17' N, 126° 101'E, 해발 고도 71.7m)와 울릉도 남동쪽 해안으로부터 약 1km 떨어진 망향봉 정상 부근에 위치한 울릉도 기상대(경북 울릉군 울릉읍 도동 589-2, 38° 29' N, 130° 54' E, 해발 고도 221.1m)이다.

### 2.2 분석 항목 및 방법

분석 항목은 강하 분진량과 수용성 이온 성분이다. 수용성 이온 성분은 크게 음이온과 양이온으로 구분할 수 있으며, 음이온으로는 F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>이며, 양이온으로는 Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>로서 총 10개의 항목이다. 단, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>는 두 지점에서 거의 검출되지 않았으므로 자료 고찰에서는 생략하였다. 강하 분진량은 1개월(30일)을 주기로 측정하였으며, 측정 기기는 가격이 저렴하고 사용이 간편한 영국식 디포지트 게이저로서 건·습성 강하물을 동시에 포집한 후, 맴브레인 필터(Whatman사, Glass Microfibre Filter)로 여과하였다. 여과된 필터는 드라이 오븐을 이용하여 105°C에서 약 2시간 건조시킨 후 포집 전·후의 무게 차로 총량을 계산하였다. 또한, 강하 분진 중 수용성 이온 성분을 분석하기 위하여 포집된 시료의 일부를 125ml 폴리에틸렌 병에 담아 4°C의 냉암소에 보관 후 분석을 실시하였다.

수용성 이온 성분은 주입된 액체 시료가 용리액과 합

계 이동되어 분리 컬럼에서 시료 성분들의 이동 속도 차이에 따라 분리되어 검출되어지는 이온 크로마토그래피(Dionex 4000i)로 분석하였으며, 중금속은 유도결합분광분석기(ICP/AES; Shimadzu ICPS-4)로 Al, Fe, Mn을 분석하였으며, 유도결합질량분석기(ICP/MS; VG PQII+)로 Ni, Cu, Zn, Cd, Pb를 분석하였다.

### 2.3 계산 방법

건성 강하물과 습성 강하물의 농도는 다음의 식에 의해 구하였다.

$$\text{건성 강하물} = 1.273 \times \frac{W}{D^2} \times \frac{30}{N} \times 10^4$$

(ton/km<sup>2</sup>/30일)

$$\text{습성 강하물} = 1.273 \times \frac{C \times V}{D^2} \times \frac{30}{N}$$

(ton/km<sup>2</sup>/30일)

- 단, W : 건성 강하물의 분석치(g)
- D : 분진 병의 직경(cm)
- N : 포집일수
- V : 강수량 또는 증류수(ml)
- C : 강하물질의 수용성 이온 성분 농도(μg/ml)

또한, 본 연구 대상 지역은 두 지점 모두 섬 지역이므로 수용성 이온 성분중 해양에서 유입되는 양(Sea Salt; SS)을 제거하여야 한다. 따라서, 본 연구에서는 SS를 제거한 비 해양 기원(Non Sea Salt; NSS)의 농도값으로 분석 자료를 고찰하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 기상 특성

강하 분진량과 수용성 이온 성분은 기상 자료와 매우

Table 1. Meteorological observation data of Ullung and Cheju island.

Year/Month		'93			'94								
Site		10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Item												
Cheju	Preci. (mm)	27.0	94.2	41.0	37.5	20.1	53.2	152.6	85.1	123.2	20.2	208.2	50.2
	WS(m/sec)	7.4	6.8	10.3	9.5	9.7	9.7	5.2	7.4	4.9	5.1	6.7	6.5
	WD	N	NNW	NNW	NNW	NW	N	NNW	NNW	NE	E	ESE	NW
Ullung	Preci. (mm)	119.2	58.2	92.5	84.2	33.7	36.8	51.8	143.5	113.0	21.1	51.7	82.4
	WS(m/sec)	3.1	3.2	2.9	3.2	3.4	3.4	3.9	4.7	3.5	3.2	3.5	3.9
	WD	NNE	NNE	NE	NE	NW	WSW	NE	NNE	NE	SSW	SSW	NE

밀접한 관계가 있다. 특히, 강하 분진량과 수용성 이온 성분 농도는 강수량과 바람(풍향, 풍속)자료와 매우 밀접한 관계가 있다(D.S.I.R, 1957, 寺部本 次, 1959, 최재천 등, 1993). 따라서, 기상 자료의 고찰은 필수적이다. 표 1은 지점별 강수량과 바람 자료를 보인 것이다(기상 월보, 1993~1994). 1994년은 전국적인 가뭄 현상이 극심한 해로서 제주도와 울릉도는 우리나라에서 비교적 강우량이 많은 지역임에도 불구하고 년 강수량이 각각 912.5mm, 888.0mm로서 우리나라의 년 평균 강수량인 약 1200mm보다도 훨씬 부족한 강수량을 보였다. 또한, 년 평균 풍속은 제주도와 울릉도가 각각 7.4m/sec, 3.5m/sec로 제주도가 약 2.1배 강하게 나타났으며, 주 풍향은 두 지점 모두 북풍 계열이 우세하였다.

### 3. 2 강하 분진 총량값

그림 1은 우리나라에서 가장 청정 지역이라 볼 수 있는 제주도와 울릉도에서 1993년 10월부터 1994년 9월까지의 월별 강하 분진 총량 값을 제시한 것으로서 전반적으로 제주도가 울릉도보다 매우 많은 강하량을 보였다. 두 지점간의 강하량 특성을 보면, 제주도는 2월에 4.366ton/km<sup>2</sup>로서 최대 강하량을 보인 반면에, 7월에 0.865ton/km<sup>2</sup>으로 최소 강하량을 보였다. 그러나 울릉도는 3월에 2.875ton/km<sup>2</sup>의 최대 강하량을 보였으며, 8월에 0.371ton/km<sup>2</sup>의 최소 강하량을 보여 같은 섬 지역임에도 불구하고 지역간에 최소·최대 강하량이 나타나는 시기가 다르게 나타났다. 이는, 같은 섬 지역이라도 섬의 규모, 기상 조건, 지리적인 특성 그리고 위도 등의 차이로 인해 강하량의 차이가 있는 것으로 생각된다.

그림 2는 제주도와 울릉도에서 강하 분진 총량을 계절별로 제시한 것으로 봄(3, 4, 5월)에 제주도와 울릉도가 각각 11.481ton/km<sup>2</sup>, 7.080ton/km<sup>2</sup>로서 최대 강하량을 보인 반면에, 여름(6, 7, 8월)에 각각 3.792ton/km<sup>2</sup>, 1.633ton/km<sup>2</sup>로서 최소 강하량을 보였다. 또한, 계절적인 추세를 보면, 두 지점 모두 봄>겨울>가을>여름 순으로 나타났으며, 특히, 황사 현상이 자주 발생하는 봄에 가장 높았고, 강수량이 많은 여름에 가장 낮아 우리나라의 전반적인 특성을 잘 반영한 것으로 생각된다. 또한, 두 지점간의 년 강하량은 제주도가 31.303ton/km<sup>2</sup>이며, 울릉도가 14.962ton/km<sup>2</sup>로서 제주도가 울릉도 보다 약 2.09배 더 많은 강하량을 보였다. 특히, 제주도의 강하량은 서울을 대상으로 강병욱 등(1992)이 산출한 39.68ton/km<sup>2</sup>와 기상연구소

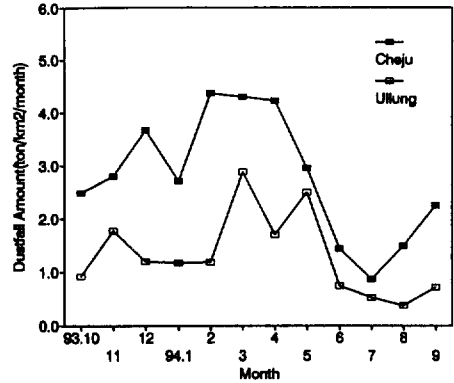


Fig. 1. Monthly variation of dustfall matter at Cheju and Ullung island.

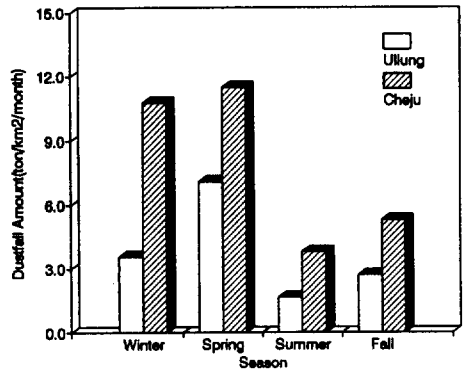


Fig. 2. Deposits amount of dustfall at Cheju and Ullung island.

(1994)에서 산출한 34.719ton/km<sup>2</sup>와 거의 비슷한 값을 보였다.

### 3. 3 수용성 이온 성분

표 2는 제주도와 울릉도에서의 강수량(또는, 증류수)을 고려한 각 이온의 계절별 평균 당량 농도값(Baron et al., 1993)이다. 음이온의 경우, F<sup>-</sup>는 두 지점 모두 농도값이 현저히 낮게 검출되었으며, 계절적인 차이도 매우 작게 나타났다. 또한, 제주도에서는 미량이지만 전 계절에 고루 검출된 반면에 울릉도에서는 겨울철과 가을철에 전혀 검출되지 않았다. 그리고 대부분의 도시 지역을 대상으로한 연구 결과에서는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 Cl<sup>-</sup>보다 높은 농도 값을 보였으나(권오영, 1991; 구자공 등, 1993, Hiroshi et al., 1993) 본 연구 대상 지역은 바다 한가운데 있는 섬 지역으로서 해염 입자의 영향이 크

게 작용하여 두 지점 모두 전 계절을 통해 Cl<sup>-</sup>이 매우 높은 농도값을 나타내었다. 또한, 두 지점간의 특성을 보면, 강하 분진 총량 값은 봄에 최대 강하량을 보였으나 수용성 성분은 오히려 두 지점 모두 겨울철에 가장 높은 농도 값을 보였으며, 봄에 가장 낮은 농도 값을 보였다. 자동차가 주 오염원이라 보고된 바 있는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 제주도에서는 겨울에, 울릉도에서는 여름에 가장 높은 농도 값을 보였으며, 가장 낮은 농도 값을 보인 계절은 제주도에서는 여름에, 울릉도에서는 가을로 나타났다. 그러나 두 지점 모두 타 이온에 비해 매우 낮은 농도 값을 유지하였는데 이는, 차량이 적어 자체 발생원이 적고, 육지로부터 멀리 떨어져 있으므로 대도시로부터 장거리 수송되는 양이 적기 때문인 것으로 판단된다. 산성비의 원인 물질 중 기여도가 가장 높은 것으로 보고된 바 있는 NSS-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 음이온 중 울릉도의 가을을 제외하고는 두 지점 모두 가장 높은 농도 값을 보였다. 특히, 제주도는 산업 활동이나 차량이 적은 지역임에도 불구하고 NSS-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>가 매우 높게 나타났는데 이는 인위적인 오염원의 영향도 다소 있겠지만 제주도 자체가 화산으로 형성된 섬으로 황 성분이 다량 존재하므로 토양에서 비산한 자연적인 오염원의 영향을 더 크게 받은 것으로 판단된다.

양이온의 경우, Na<sup>+</sup>는 두 지점 모두 겨울에 가장 높은 농도 값을 보인 반면 봄에 가장 낮은 농도 값을 보였다. 또한, 제주도의 겨울을 제외하고는 양이온 중 두 지점 모두 가장 높은 농도 값을 보였는데 이는 Cl<sup>-</sup>과 마찬가지로 해염 입자의 영향이 매우 크게 작용된 것으로 판단된다. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>는 제주도에서 계절에 따른 농도 값의 차이가 크지 않으나 울릉도에서는 봄과 가을의 농도 값 차이가 매우 크게 나타났다. 그러나 K<sup>+</sup>는 분석된 항목 중 두 지점 모두 계절에 따른 농도 값의 차이가 가장 적은

것으로 나타났다. Mg<sup>2+</sup>는 두 지점 모두 계절에 따라 변화 폭이 크게 나타났으며, 특히, 제주도는 겨울에 394.6µeq/l로 봄의 95.6µeq/l보다 약 4.1배 더 높게 나타나 계절에 따른 농도 값의 차이가 매우 컸으며 또한, 분석 항목 중 두 지점간의 농도 값 차이가 가장 큰 것으로 나타났다. NSS-Ca<sup>2+</sup>는 두 지점 모두 겨울에 가장 높은 농도 값을 보인 반면에 제주도는 봄에, 울릉도는 가을에 가장 낮은 농도 값을 보였다.

두 지점간의 년 평균 농도 값은 F<sup>-</sup>를 제외하고는 전반적으로 모든 이온의 농도 값이 제주도가 울릉도 보다 더 높게 나타났다. 또한, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 그리고 K<sup>+</sup>는 두 지점간에 큰 농도 값의 차이는 나타나지 않았으나 Cl<sup>-</sup>는 약 2.0배, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 약 2.4배, Na<sup>+</sup>는 약 1.7배, Ca<sup>2+</sup>는 약 1.8배로 울릉도 보다 제주도에서 이온 농도 값이 평균적으로 약 2.0배 이상 높게 나타났다. 특히, Mg<sup>2+</sup>는 제주도가 울릉도에서 보다 약 4.6배 더 높은 농도 값을 보였다.

제주도와 울릉도에서의 음이온과 양이온의 구성비를 보면, 제주도의 경우, 음이온은 F<sup>-</sup>(3.7%) < NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(9.8%) < Cl<sup>-</sup>(37.9%) < NSS-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(51.9%) 순이며, 양이온은 K<sup>+</sup>(5.1%) < NH<sub>4</sub><sup>+</sup>(8.7%) < NSS-Ca<sup>2+</sup>(21.9%) < Mg<sup>2+</sup>(28.7%) < Na<sup>+</sup>(35.7%) 순으로 나타났으며, 또한, 울릉도의 경우, 음이온은 F<sup>-</sup>(3.1%) < NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(12.5%) < Cl<sup>-</sup>(40.6%) < NSS-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(45.6%) 순이며, 양이온은 K<sup>+</sup>(6.5%) < Mg<sup>2+</sup>(12.7%) < NH<sub>4</sub><sup>+</sup>(14.7%) < NSS-Ca<sup>2+</sup>(24.2%) < Na<sup>+</sup>(41.9%) 순으로 나타났다.

### 3. 4 수용성 이온 성분의 강하량

수용성 이온 성분들의 강하량을 살펴보기 위하여 월별 강하 물질에 대한 이온 성분들의 강하량을 단위 면적당

Table 2. Seasonal average concentration of dustfall at Ullung and Cheju island(1993.10-1994.9).

Site	Season(Month)	Anion(µeq/l)				Cation(µeq/l)				
		F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NSS-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NSS-Ca <sup>2+</sup>
Cheju	Winter(12, 1, 2)	1.0	320.7	100.5	456.2	324.3	48.4	48.2	394.6	316.0
	Spring(3, 4, 5)	2.6	134.9	53.7	179.5	165.5	45.4	20.7	95.6	132.0
	Summer(6, 7, 8)	1.3	229.5	22.9	299.1	241.7	53.6	37.4	196.1	101.3
	Fall(9, 10, 11)	1.2	141.7	69.6	222.7	247.2	79.9	33.3	181.0	128.7
	Annual Average	1.7	192.7	49.9	263.6	227.4	55.4	32.5	182.7	139.4
Ullung	Winter(12, 1, 2)	0.0	171.9	40.2	152.5	208.2	33.1	20.0	66.1	143.5
	Spring(3, 4, 5)	2.4	60.9	28.0	131.8	89.9	74.1	22.8	32.0	89.0
	Summer(6, 7, 8)	11.9	112.8	41.1	130.9	132.8	70.6	25.4	33.7	50.0
	Fall(9, 10, 11)	0.0	97.3	15.7	39.0	101.5	12.9	14.2	29.0	26.1
	Annual Average	3.1	97.3	30.0	109.4	130.3	45.8	20.2	39.6	75.4

(km<sup>2</sup>)ton으로 산출하였다. 그림 3은 제주도에서 각 이온의 계절별 및 년 평균 강하량을 보인 것으로서 F는 겨울에 0.001ton/km<sup>2</sup>로서 가장 낮은 강하량을 보였으며, 강하 분진 총량이 가장 많은 봄에 0.015ton/km<sup>2</sup>로 가장 많은 강하량을 보였다. Cl<sup>-</sup>는 여름에 2.518ton/km<sup>2</sup>로서 가을보다는 약 4.7배, 봄보다는 약 3.1배 그리고 겨울보다는 약 3.8배로 매우 높게 나타났다.

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 봄에 0.319ton/km<sup>2</sup>로 가장 높은 강하량을 보였으며, 여름철에 0.191ton/km<sup>2</sup>으로 가장 낮은 강하량을 보였다. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 Cl<sup>-</sup>와 마찬가지로 여름에 SS-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>를 제외한 NSS-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>가 2.803ton/km<sup>2</sup>로서 겨울 보다는 약 3.7배, 봄보다는 약 4.0배 그리고 가을 보다는 약 4.3배로 매우 높은 강하량을 보였다. 특히, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 해양에서 기원하는 SS-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>를 제외하고도 매우 높은 값을 보였는데 이는, 제주도 자체가 화산 활동에 의해 형성된 섬이므로 지역적인 영향이 매우 컸던 것으로 생각된다. 또한, 해양이 기원이라는 Na<sup>+</sup>는 타 계절에 비해 여름철에 2.637ton/km<sup>2</sup>로서 매우 높은 강하량을 보여 주었다. 특히, NaCl은 해양 기원이므로 Cl<sup>-</sup>의 양도 타 지점에 비해 매우 높은 값을 보여 제주도의 지리적인 특성을 매우 잘 반영하였다. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>는 여름에 0.604ton/km<sup>2</sup>로 가장 높은 값을 보인 반면에 겨울에 0.102ton/km<sup>2</sup>로 가장 낮은 값을 보였다. K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 그리고 NSS-Ca<sup>2+</sup>도 타 계절에 비해 여름에 가장 높은 강하량을 보였으며, 가장 낮은 값을 보인 계절은 K<sup>+</sup>는 겨울에, Mg<sup>2+</sup>는 봄에 그리고 NSS-Ca<sup>2+</sup>는 가을로서 계절에 따른 차이는 다르게 나타났다.

그러나 전반적으로 볼 때 F와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>를 제외하고는 모

든 이온들의 강하량은 여름에 가장 높은 경향을 보였다.

그림 4는 울릉도에서 각 이온의 계절별 및 년 평균 강하량을 보인 것으로서, F는 겨울과 봄에 전혀 검출되지 않은 반면에 여름에는 0.076ton/km<sup>2</sup>로 제주도의 강하량 보다도 약 6.3배 더 높은 값을 보였다. Cl<sup>-</sup>는 겨울철에 0.841ton/km<sup>2</sup>로서 최소값을 보인 봄의 0.235ton/km<sup>2</sup>보다도 약 3.6배 더 높은 강하량을 보여 계절에 따른 차이가 매우 큰 것으로 나타났다. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 강하량은 다른 이온에 비해 계절에 따른 차이는 두드러지지 않았다. NSS-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 봄에 0.501ton/km<sup>2</sup>로서 가을의 0.070ton/km<sup>2</sup>보다 약 7.2배 더 높아 계절에 따른 차이가 매우 두드러지게 나타났다. 제주도와 마찬가지로 섬 지역인 울릉도도 Na<sup>+</sup>가 다른 양이온보다도 매우 높게 나타났으며, 특히, 겨울에는 0.996ton/km<sup>2</sup>로 봄의 0.402ton/km<sup>2</sup>보다도 약 2.5배 높은 강하량을 보여 주었다. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>와 K<sup>+</sup>는 여름에 각각 0.335ton/km<sup>2</sup>, 0.104ton/km<sup>2</sup>로 가장 높은 강하량을 보인 반면에 Mg<sup>2+</sup>와 NSS-Ca<sup>2+</sup>는 겨울에 각각 0.366ton/km<sup>2</sup>, 0.698ton/km<sup>2</sup>로 가장 높은 강하량을 나타내었다.

제주도와 울릉도에서 각 이온의 년 평균 강하량을 비교, 고찰해 보면, F는 울릉도가 제주도보다 적은 값의 차이지만 0.009ton/km<sup>2</sup> 더 많은 것으로 나타났다. Cl<sup>-</sup>는 제주도가 1.403ton/km<sup>2</sup>으로 울릉도의 강하량 보다도 약 2.9배 더 많은 강하량을 보여 주었다. 일반적으로 섬의 규모가 작은 지역이 바다의 영향을 더 잘 받기 때문에 Cl<sup>-</sup>의 양이 울릉도가 더 많을 것으로 생각되나 본 연구에서는 오히려 제주도에 더 높은 값을 보였다. 이는, 울릉도가 제주도에 비해 해안으로부터 거리도 멀고, 해발 고도도 높을 뿐만 아니라 풍속도 약하여 해염 입자의 비산량이 적기 때문인 것으로 생각된다. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 제주도와 울릉도에서 각각 0.244ton/km<sup>2</sup>, 0.135ton/km<sup>2</sup>로서 다른 이온의 강하량 보다는 큰 차이는 보이지 않았으며, 바다에서 유입된 SS-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>를 제외한 NSS-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 제주도와 울릉도가 각각 1.508ton/km<sup>2</sup>, 0.337ton/km<sup>2</sup>로서 두 지점간의 차이가 매우 큰 것으로 나타났다. 또한, 양이온의 년 평균 강하량을 보면 Na<sup>+</sup>는 제주도와 울릉도에서 각각 1.588ton/km<sup>2</sup>, 0.636ton/km<sup>2</sup>로서 제주도가 울릉도보다 약 2.5배 높은 강하량을 보였다. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>는 제주도가 울릉도보다 약 1.9배 더 높은 강하량을 보였으며, 그 외의 이온들도 제주도가 울릉도보다 K<sup>+</sup>는 약 2.8배, Mg<sup>2+</sup>는 약 6.3배, NSS-Ca<sup>2+</sup>는 약 2.5배 더 높은 강하량을 보였다. 따라서 F를 제외한 모든 이온들의 강하량은 제주도가 울릉도보다 최소 1.8배, 최대 6.3배 더 높은 강하량을 보였

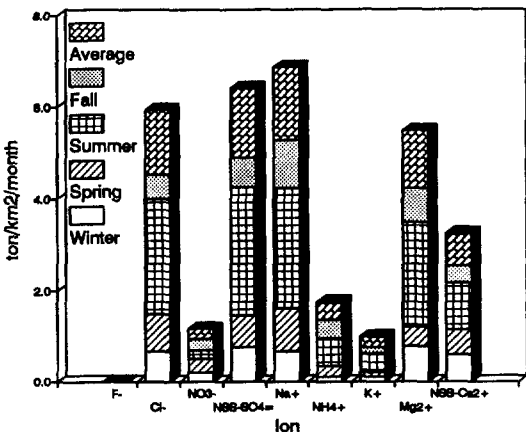


Fig. 3. Deposits amount of water soluble ion Components at Cheju island.

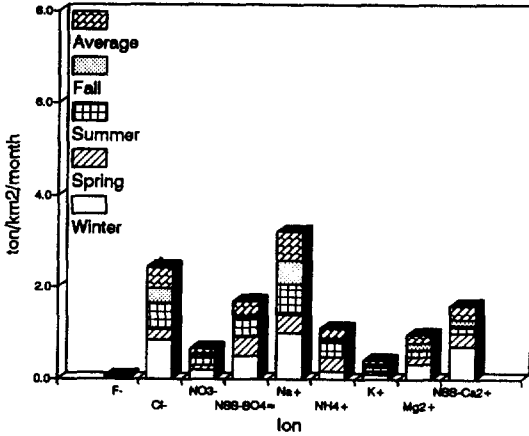


Fig. 4. Deposits amount of water soluble ion Components at Ullung island.

다. 그러므로 같은 섬 지역이지만 제주도가 울릉도보다 상대적으로 대기 중에 부유하는 오염 물질이 더 많은 것으로 판단된다.

### 3. 5 중금속 현황

그림 5는 제주도에서의 중금속 농도 값을 제시한 것으로서 4월의 Zn은 117.3 $\mu$ g/g로서 5월의 17.3 $\mu$ g/g와 비교해 볼 때, 약 6.8배의 농도 값의 변화 폭을 보여 주었다. 또한, Mn도 4월과 5월에 각각 35.4 $\mu$ g/g, 7.5 $\mu$ g/g로서 매우 큰 농도 값의 변화를 보였다. 그러나 Ni, Fe, Al, Cu, Cd는 4월과 5월의 농도 값은 큰 변화 폭을 보이지 않았다. 가장 특이한 점은 인위적인 오염원이 가장 적은 지역이라 할 수 있는 제주도 고산에서의 Zn농도가 서울을 대상으로 연구(기상연구소, 1994)한 4월의 51.2 $\mu$ g/g, 5월의 81.0 $\mu$ g/g 보다도 훨씬 높은 값을 보인 것이다. 중금속의 일반적인 경향은 4월에 Zn>Mn>Al>Fe>Cu>Pb>Ni>Cd순이며, 5월에 Al>Zn>Fe>Mn>Cu>Ni=Pb>Cd순으로 나타났다.

그림 6은 울릉도에서의 중금속 농도 값을 제시한 것으로서 Al은 4월과 5월에 각각 25.3 $\mu$ g/g, 95.3 $\mu$ g/g로 농도 값의 차이가 크게 나타난 반면에 Mn는 각각 61.0 $\mu$ g/g, 66.7 $\mu$ g/g로 큰 차이를 보이지는 않았다. 그러나 Fe는 Al과 마찬가지로 큰 변화 폭을 보이는데 5월이 4월보다 약 4.4배 높은 농도 값을 보였다. 특히, Ni는 5월에 4.30 $\mu$ g/g로서 타 지점에 비해 월등히 높은 특이한 경향을 보였다. Cu는 다른 중금속에 비해 4월과 5월에 거의 비슷한 농도 값을 유지하였으며, Zn은 4월과 5월

에 각각 117.2 $\mu$ g/g, 117.0 $\mu$ g/g로서 제주도의 4월과 거의 같은 농도 값을 보였다. 따라서 정확한 오염원을 규명할 수는 없으나 섬 지역인 제주도나 울릉도내의 자체 오염원에 의한 영향이 매우 큰 것으로 생각된다. 중금속의 일반적인 패턴은 4월에 Zn>Mn>Al>Cu>Fe>Ni>Cd>Pb순으로 나타났으며, 5월에 Zn>Al>Mn>Fe>Cu>Ni>Cd=Pb순으로 나타났다.

강하 분진은 지역간의 오염 정도를 판단하는 지수로 활용하거나 추정된 값으로부터 다른 오염 물질 성분 조성에 대한 출발점으로 이용하는 등 여러 가지 장점이 있다. 그러나 1년간의 측정으로는 어느 정도 오염 현황을 파악할 수 있으나 명확한 결론은 유추할 수는 없다. 왜냐하면, 강하 분진은 주변 지역의 환경이나 기상 조건에 따라 농도 값의 차이가 크게 나기 때문이다. 따라서 강하 분진 분석 자료를 효과적으로 사용하기 위해서는 본

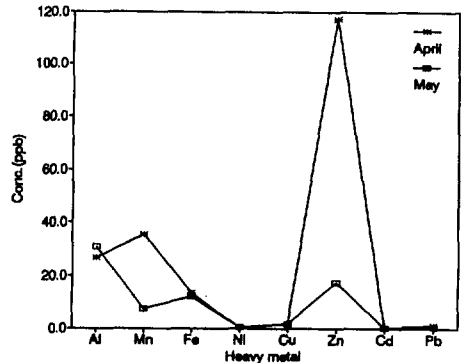


Fig. 5. Concentration of heavy metal for April and May at Cheju island.

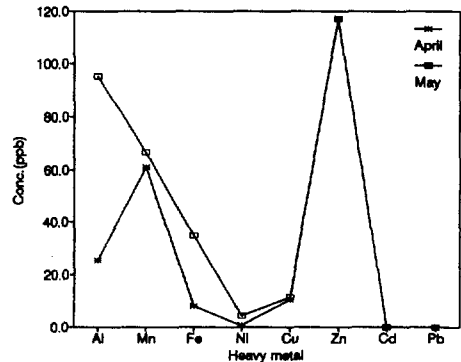


Fig. 6. Concentration of heavy metal for April and May at Ullung island.

연구에서 수행한 관측 지점과 같이 가급적 청정 지역에서 지속적으로 관측 및 분석 업무를 수행해야 할 것이다.

#### 4. 결 론

1993년 10월부터 1994년 9월까지(1년간) 지속적으로 섬 지역인 제주도와 울릉도를 대상으로 강하 분진 총량과 수용성 이온 성분 그리고 중금속을 측정해 본 결과 다음과 같은 결론을 유추할 수 있었다.

1) 강하 분진 총량은 두 지점 모두 황사 현상이 잦은 봄(3, 4, 5월)에 가장 높게 나타났고, 여름(6, 7, 8월)에 가장 낮게 나타났으며, 계절별로는 봄>겨울>가을>여름순으로 나타났다.

2) 두 지점간의 년 강하량은 제주도가 31.303ton/km<sup>2</sup>이며, 울릉도가 14.962ton/km<sup>2</sup>로서 제주도가 울릉도 보다 약 2.09배 더 많은 강하량을 보였으며, 특히, 울릉도는 서울을 대상으로 연구된 39.7ton/km<sup>2</sup>(강병욱 등, 1992)와 34.7ton/km<sup>2</sup>(기상연구소, 1994)보다는 매우 낮은 강하량을 보였다.

3) 제주도는 울릉도 보다 F<sup>-</sup>를 제외한 모든 수용성 이온 성분의 농도 값이 약 2배 이상 더 높게 나타났다. 특히, Mg<sup>2+</sup>는 제주도가 울릉도 보다 약 4.6배 더 높게 나타나 타 이온에 비해 지점간의 농도값 차이가 가장 큰 것으로 나타났다.

4) 제주도와 울릉도는 바다 한 가운데 있으므로 바다에서 유입되는 SS-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>를 제외한 NSS-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 각각 1.508ton/km<sup>2</sup>, 0.337ton/km<sup>2</sup>로서 매우 큰 강하량의 차이를 보였다. 이는, 제주도는 화산으로 형성된 섬으로서 토양 자체가 황 성분을 많이 포함하고 있기 때문인 것으로 생각된다. 또한, 기상 자료 고찰에서도 알 수 있듯이 풍속이 강하여 대기 중에 부유하는 먼지가 많아 결과적으로 강하되는 물질도 많은 것으로 추정된다.

5) 황사 현상이 잦은 94년 4월과 5월의 중금속 분석 결과, 제주도의 4월을 제외하고는 Zn이 가장 높은 농도 값을 보였으며, Cd가 가장 낮은 농도 값을 보였다.

#### 참 고 문 헌

강병욱, 강공언, 김민영(1992) 서울시 강하분진중 수용성 이온성분의 강하량, 한국대기보전학회지, 8(4), 240-246.  
 구자광, 박경렬(1993) 대전지역 산성강우의 화학적

특성에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 9(2), 147-153.  
 권오영(1991) 산성강하물질의 화학적성분에 관한연구, 한양대, 환경과학대학원, 이학석사논문집.  
 기상연구소(1988, 1989) 소백산의 기상 특성 조사(I, II).  
 기상연구소(1994) 우리나라 청정지역에서의 강하분진중 수용성 성분 특성.  
 기상청(1993-1994) 기상월보  
 최재천, 이민영, 이선기(1994) 고산지역 강수의 화학 성분 특성에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 10(1), 64-72.  
 최재천, 이민영, 이선기, 유근배(1993) 배경대기 강수의 화학성분 특성, 기상연구논문집, 10(1), 111-118.  
 寺部本 次(1959) 燃料協會誌. Vol(38). 388.  
 Baron J. and Scott Denning(1993) The influence of mountain meteorology on precipitation chemistry at the lower and high elevations of the Colorado Frant Range, Atmos. Environ., 27A(15), 2337-2349.  
 D.S.I.R.,(1945) Atmospheric Pollution in Leicester, H.M.S.O., 102  
 Erisaman J. et al.,(1989) Deposition of the most Acidifying Components in the Netherlands During the Periods 1980-1986, Atmos., Environ., 1051-1062.  
 Hiroshi S. and I.R. Kaplan(1993) Comparison of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> content in atmospheric samples in the San Bernardino Mountains, Southern California, Atmos. Environ., 27A(9), 1509-1515.  
 Perkins H.C.(1974) Air Pollution.  
 Small S.H.,(1960) Wet and Dry Deposition of Fallout Materials at Kjeller, Jellus, 308-314.  
 WMO(1994) Chemical Analysis of Precipitation for GAW; Laboratory Analytical Methods and Sample Collection Standards, No. 85, 23-27.  
 Wolff G.T, R.J. Countess, P.J. Grobrick, M. A. Ferman, S.H. Cadle and J.L. Muhlbaier(1981) Visibility-Reducing Species in the Denver. "Brown Cloud- II". Sources and Temporal Pattens, Atmos. Environ., 15(12).