

PE5) 서해안 지역 강우와 강설의 화학적 특성 비교 Comparison of Chemical Characteristics between Rain and Snow on the Western Coast of Korea

강공언¹⁾ · 방소영¹⁾ · 신대윤²⁾

원광보건대학 대기오염연구실, ¹⁾기상연구소 지구대기감시관측소,

²⁾조선대학교 환경공학부

1. 서론

대기오염물질이 대기중에 배출되게 되면 그 일부는 오염 발생원의 인접한 지표면에 건성 침착하여 제거되지만 그 대부분은 장거리 이동하면서 2차 오염물질로 변환되어 건성침착 (dry deposition)하거나 강수시 습성 침착 (wet deposition)에 의해 지표면으로 제거된다 (原 宏, 1991; Legge and Krupa, 1990). 습성침착의 대표적인 형태로는 강우와 강설이 있으며, 이것은 대기중 오염물질이 지표로 제거되는 중요한 경로라 하겠다.

습성 침착은 rain out과 wash out이라는 두 가지 scavenging 과정으로 나눌 수 있다. 대기 중에서 상승공기가 단열 냉각되어 수증기가 과포화 되면 대기 중에 존재하는 오염물질을 중심으로 운적이 형성된다. 입자상 물질이 구름 속에서 운적과 빙정의 응축핵이 되는 것을 rain out 또는 in-cloud scavenging 이라고 하는데 이것은 입경 0.1~1.0 μ m의 입자 제거에 효과적이다. 그리고 생성된 빔방울이 구름 아래의 대기 중으로 떨어지면서 오염물질과 충돌하여 흡수 및 흡착되는 것을 wash out 또는 below-cloud scavenging 이라고 하며, 2 μ m 보다 큰 입자의 제거에 효과적이다. 수용성 가스는 운적이거나 빔방울에 흡수되거나 또는 빙정이나 눈에 흡착된다. 운적이거나 빙정의 핵으로 작용하지 못할 정도의 작은 입자 (입경 0.1 μ m 미만)는 브라운 운동에 의해 확산되어 운적 등에 부착된다. 결과적으로 지상에서 포집된 강수의 경우 rain out과 wash out에 의해 제거된 대기오염물질이 혼합되어 있음을 의미한다. 이때 지표면에서 포집된 강수 중 오염물질의 농도는 대개 처음에는 높고 점차 낮아진 후 일정한 값을 유지하게 되는데 초기의 고농도는 주로 wash out의 작용에 의한 것이고 점차 낮아지게 되는 농도는 rain out에 의한 작용이라고 알려져 있다 (原 宏, 1991; Howells, 1990).

따라서 본 연구에서는 대기 중에서 대기오염물질의 중요한 이동 경로가 되고 있는 강우와 강설의 화학적 침착 특성에 대한 차이를 파악하기 위하여 우리 나라 서해안에 위치하고 있는 충남 태안군 안면과 전북 익산지역에서 겨울철에 측정된 강수시료를 강우와 강설로 분류한 후 각각의 화학적 조성을 비교, 분석하고자 하였다.

2. 실험방법

시료채취는 전라북도 익산 원광보건대학 제 1학술관 건물의 옥상 (35° 57' N, 126° 57' E, 지상 20 m)과 충청남도 태안군 안면도에 위치하고 있는 기상연구소/지구대기감시관측소 (KGAWO, Korea Global Atmosphere Watch Observatory, 36° 40' N, 126° 10' E, 지상 43.5 m)에서 이루어졌다. 이 두 지점은 한반도 중서부 내륙지역과 서해안 지역을 대표한다고 가정한다.

원광보건대학교는 익산시의 북쪽에 위치하고 있으며 주변에는 원광대학교와 원불교 중앙 총부가 위치하고 있으며 북쪽으로는 30여 호의 민가가 산재해 있다. 안면도는 서울 수도권에서 약 188 km 떨어진 서쪽 해안가에 위치하고 있으며, 113.46 km²의 면적에 인구 13,000여명의 인구가 어업과 농업에 종사하는 섬이다. 지구대기감시관측소는 이곳 서쪽 해안가 근처 낮은 산기슭에 위치하고 있으며 관측소 주변 대기는 섬 자체에 커다란 공장이나 발전소, 거주 인구가 적기 때문에 인위적으로 배출되는 오염물질이 적어 매우 청정하다.

시료는 건성강하물의 영향을 받지 않도록 자동강수채취장치를 사용하여 습성일괄방식(wet-only

sampling method)으로 비와 눈 등의 강우만 포집하였다. 익산의 경우는 강수시 비가 내리는 처음부터 비가 그치는 순간까지 전량 채취하여 그것을 하나의 분석시료로 하는 것을 원칙으로 하였고(酸性雨調査法研究會, 1993), 안면도의 경우는 강수 시료는 일일단위로 수거하였다. 채취된 강수시료는 실험실로 운반하여 바로 pH와 전기전도도를 측정하고 공극이 0.45 μm 인 밀리포아필터로 여과하여 분석시 까지 4°C의 냉장고에서 보관하였다. 강수 중 나트륨(Na^+), 암모늄(NH_4^+), 칼륨(K^+), 마그네슘(Mg^{2+}), 칼슘이온(Ca^{2+}) 과 불소(F^-), 염소(Cl^-), 황산(SO_4^{2-}), 질산이온(NO_2^- , NO_3^-)은 이온크로마토그래피를 사용하여 모두 분석하였으며, 익산에서 채취된 시료중 NH_4^+ 는 흡광광도계를 사용하여 측정하였다.

측정자료는 그 신뢰성 확보를 위하여 강수 중 총양이온(TC)과 총음이온(TA)의 농도에 대한 이온밸런스를 검토하였을 뿐만 아니라 강수시료의 전기전도도 측정치(ECObs)와 이온성분의 농도 분석 결과치(ECcal)로부터 얻어진 전기전도도의 계산치를 산출하여 그 밸런스 정도를 검토하였다.

3. 결과 및 고찰

표 1은 익산지역에서 1995년부터 1997년까지 겨울철에 측정된 강우와 강설의 분석결과와 안면도 지역에서 1996년부터 2000년까지 측정된 결과를 나타낸 것이다.

익산의 강우와 강설의 평균 pH는 4.4와 5.2이고 안면도는 각각 4.53과 5.37로 강설의 경우가 강우보다 낮은 산성도를 보이는 것으로 나타났다. 이온성분의 농도를 살펴보면, 강설의 경우 강우보다 양이온과 음이온의 총 농도가 높았고 익산은 약 2배정도, 안면도는 약 3배정도 강설의 농도가 강우의 농도보다 높은 것으로 나타났다. 이온 조성별로는 두 지역에서는 토양오염원에서 배출되는 NH_4^+ 은 익산이 크게 나타났고 해안가와 접해있는 안면도는 해양기원의 Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} 이 크게 나타났다. 그리고 두 지역 모두 강우와 강설의 농도 분포를 살펴보면 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- 등이 강설에서 높은 농도를 나타내었다. 특히 그 대부분이 해염에서 발생하는 것으로 추정되는 Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- 는 모두 4배 정도의 높은 농도 차이를 나타내었다.

해양기원 이외의 발생원을 갖는 음이온 성분의 농도비 -익산의 경우는 $[(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-) / \text{SO}_4^{2-}]$ 으로 계산하고 안면도는 $[\text{NO}_3^- / \text{SO}_4^{2-}]$ 으로 계산함-를 살펴보면 겨울철 강우의 경우 두 지역에서 각각 0.40, 0.46이었으며, 강설은 0.80, 0.40을 나타내었다.

이러한 사실은 겨울철 대기 중에서 강우와 강설 생성과정 중 그 반응기구가 상이하고 또 지역에 따른 차이가 크다는 것을 의미한다고 하겠다.

Table 1. Mean concentration of ions in rain and snow samples in Winter.

	pH	EC _{obs}	NH_4^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	F^-	NO_3^-	NO_2^-	SO_4^{2-}	Cl^-	T-C*	T-A**		
		$\mu\text{S}/\text{cm}$	$\mu\text{eq}/\ell$										meq/ℓ			
익 산	R	VWM	4.44	41.1	93.1	9.3	53.4	25.1	76.8	16.2	44.1	0.0	130.4	91.6	0.29	0.28
		STD	0.43	69.6	119.7	16.2	120.2	65.7	227.4	13.6	75.8	0.5	224.3	283.7	0.52	0.55
	S	VWM	5.24	68.1	97.3	10.4	80.9	87.3	285.5	9.4	44.1	0.1	111.2	417.8	0.57	0.58
		STD	0.74	78.4	74.7	15.6	175.8	127.6	223.5	16.9	46.3	1.0	152.4	382.7	0.56	0.50
안 면 도	R	VWM	4.53	39.6	35.6	6.7	41.2	26.9	125.6	3.8	36.7		80.4	129.2	0.28	0.25
		STD	0.58	114.6	63.01	22.2	125.3	121.7	427.8	5.4	100.1		171.5	545.6	0.67	0.74
	S	VWM	5.37	98.9	20.4	17.2	121.3	110.4	381.6	18.2	51.4		128.3	477.1	0.68	0.68
		STD	1.13	75.7	25.8	20.0	649.3	139.6	316.4	21.2	40.1		95.4	454.8	0.57	0.55

참고문헌

- 酸性雨調査法研究會 (1993) 酸性雨調査法研究會, 179-259.
 原 宏 (1991) 酸性雨 (酸性雨とその生成メカニズム), 大氣汚染學會誌, 26(2), A33-A40.
 Legge, A.H. and S.V. Krupa (1990) Acidic deposition : Sulphur and nitrogen oxides, Lewis Publishers Inc., 5-8.
 Howells, G. (1990) Acid rain and acid waters, Ellis Horwood, 9-149.