

MA6) 주암호 지역의 수용성 이온성분 대기건성침적 특성

Characteristics of dry deposition for soluble ions measured at Chuamho area

장영환·정장표¹⁾·이승목²⁾·진의찬³⁾·신상철·장남익
영산강 수질검사소 ¹⁾경성대학교 환경공학과 ²⁾이화여자대학교 환경공학과
³⁾동신대학교 환경공학과

1. 서론

대기오염물질의 침적현상은 대기 중에 부유하는 독성물질의 거동에 영향을 미치고 대기오염물질이 대기로부터 수면 또는 지표로 이동하는 주요 경로이며 이로 인하여 식물성장에 대한 피해 및 토양오염, 수질오염을 야기시키는 등 환경에 주는 영향으로 인하여 그 중요성과 관심이 증가되고 있다.

이러한 대기침적현상에 관한 최근 연구결과에 의하면, 미국의 5대호에 있어서 남 총량의 95% 이상이 대기로부터 기여되고 있으며 미국 동부의 체사피크만(Chesapeake bay)의 경우 적조현상의 원인물질로 알려진 질소에 대한 대기로부터 기여도가 25 ~ 40%에 이르고 있는 것으로 보고되고 있다. 이러한 일련의 연구결과로부터 수체(water body)의 수질을 개선하기 위해서는 대기로부터 수체로 유입되는 대기오염물질의 규제가 필수적인 사항으로 인식되어지고 있으며 선진외국의 경우 근원적 대책을 마련코자 연구가 활발히 진행중이다. 미국은 1990년 이래, 대기오염물질의 배출원 추적 및 기여도 산정자료를 통하여 배출원 규제를 강력하게 할 수 있는 법적조항을 대기청정법(Section 112(m))에 제정하여 시행하고 있다.

국내의 경우, 부산지역에 대한 대기건성침적속도 및 침적플럭스 비교에 관한 연구가 대표적이며, 특히 부산 지역 연구의 경우 미국에서 연구된 방법과 동일한 방법을 선정하여 부산지역의 3개 지점(회동수원지, 광안동, 대연동)에 대해 대기건성침적량을 산정한 결과, 미국 시카고지역의 대기건성침적량(130 mg/m²·day)보다 2 ~ 3 배 높은 침적량(320~360 mg/m²·day)을 보이며, 그 화학적 성분특성 또한 미국의 경우와 비슷한 수준을 나타내거나 상회하는 것으로 조사되었다.

위와 같은 연구결과는 우리나라의 경우도 대기건성침적에 의해 수질을 비롯한 환경생태계에 미치는 영향이 심각한 수준에 이미 도달되었음을 입증하고 있으며, 대책마련의 시급함을 의미하고 있다.

최근 들어 대기침적현상 규명을 위한 연구논문들이 제한적이나마 발표되고 있으며, 특히 침적현상의 측정 및 평가방법론에 있어서 불확실성을 줄이기 위한 침적장치개발이 활발히 진행되고 있는 것은 이러한 대기건성침적에 대한 대책마련의 일환으로 볼 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 전라남도지역의 주요 취수원인 주암호를 대상으로 대기침적현상으로 인한 상수원 수질에 미치는 영향을 최종적으로 규명하기 위해 Coarse Particle Rotary Impactor(CPRI), Dry Deposition Plate(DDP), Water Surface(WS)등의 건성침적 측정장치를 이용하여 대기중에 가스상과 입자상으로 존재하는 몇 가지 중요한 대기오염물질(SO₂²⁻, NO₃⁻, Cl⁻)과 수용성 양이온성분(K⁺, Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺, NH₄⁺)의 건성침적특성을 규명하고자 하였으며 CPRI와 DDP는 증금속 분석도 병행하였다. 대기중 농도를 분석하기 위하여 3단필터 팩과 CPRI를 사용하였으며 기상탑을 설치하여 30분단위로 기상요소(풍향, 풍속, 기압, 습도 등)도 측정하였다.

2. 실험 및 분석방법

시료채취위치는 전라남도 순천시 송광면에 위치한 국립환경연구원 영산강수질검사소 건물 옥상으로 주위가 산으로 둘러싸여 있으며, 서쪽으로는 주암호가 위치하고 있다.

시료포집기간은 1999년 8월부터 11월까지 비가 오지 않는 날을 기준으로 시료를 채취하였으며, 채취시간은 낮(오전 9시부터 오후 5시)과 밤(오후6시부터 오전 9시)으로 구분하여 포집하는 것을 원칙으로 하였고 Dry Deposition Plate는 낮과 밤을 구분하여 48시간 이상 채취하는 것을 원칙으로 하였다.

물표면지지대 (water surface holder), 물표면 매체판 (water surface plate) 그리고 매체판에서 일정한 수위를 유지시키기 위한 물순환 시스템등으로 구성되어 있는 물표면채집기는 500 ml/min의 유속으로 유지시켜 물을 순환시켰으며 침적량의 계산은 시료 채취전·후의 물의 농도와 무게를 이용하였으며 이온 크로마토 그래프(Dionex DX-500)를 사용하여 분석하였다. 3단필터팩은 16.7 l/min의 유량으로, 조대입자를 채취하는 CPRI는

320 rpm의 속도를 유지하여 시료를 채취하였으며 시료 채취전·후의 무게차로 대기중의 농도를 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 물표면채집기를 이용하여 1999년 8월부터 11월까지 SO_4^{2-} , NO_3^- 및 Cl^- 의 침적량 특성등 대상 오염물질들의 대기건성침적특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

먼저, 주암호 지역의 낮·밤시간대에 대한 SO_4^{2-} , NO_3^- 및 Cl^- 의 총평균플럭스값은 각각 (3.501 ± 2.004 , 1.370 ± 0.740), (2.176 ± 1.642 , 0.582 ± 0.757), (0.831 ± 0.997 , 0.338 ± 0.531) $\text{mg/m}^2/\text{day}$ 로 산정되었으며, 이는 SO_4^{2-} 의 경우는 1994년 미국 시카고에서 측정된 결과의 약 13.13%에 해당하며 SO_4^{2-} 와 NO_3^- 의 경우는 서울의 13.28%, 27.94% 부산의 11.24%와 21.02%에 해당하는 수준이었다.

양이온의 경우 NH_4^+ 는 낮과 밤이 각각 0.100, $0.684\text{mg/m}^2/\text{day}$ 로 나타났으며 다른 항목들도 낮과 밤이 각각 0.220 ~ 0.618, 0.088 ~ 0.447 $\text{mg/m}^2/\text{day}$ 의 수준으로 나타났다.

월별 농도특성을 살펴보면 SO_4^{2-} 와 NH_4^+ 는 3.843, 1.495 $\text{mg/m}^2/\text{day}$ 의 값을 나타낸 8월이 가장 높게 나타났으며 Cl^- , NO_3^- , K^+ , Na^+ 는 8월에 Mg^{2+} 는 9월에 Ca^{2+} 는 11월에 가장 높게 나타났다.

그리고 밤시간대 평균플럭스값에 대한 낮시간대의 평균플럭스값의 비는 SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- 가 각각 2.562, 2.461, 3.739로 분석되어 음이온의 경우 대체적으로 낮시간대의 플럭스값이 밤시간대의 플럭스값보다 높게 산정되어졌다. 양이온의 경우는 Na^+ 가 1.383으로 그 비가 가장 낮게 나타났으며 Mg^{2+} 는 2.500으로 가장 높게 나타났다.

Dry Deposition Plate에 의한 mass flux는 8월부터 11월까지 약 11회에 걸쳐 시료를 채취하였으며 산정결과 31.489 ~ 85.061 $\text{mg/m}^2/\text{day}$ 로 이는 1995년 12월부터 1996년 4월까지 부산에서 측정된 값인 190.91 ~ 499.76 $\text{mg/m}^2/\text{day}$ 의 약 17%정도 수준이며 1996년 5월부터 1996년 10월까지 창원시 거주지역의 평균 flux양인 248.48 $\text{mg/m}^2/\text{day}$ 의 약 34%에 해당하는 결과를 보였다.

CPRI를 이용한 조대입자($6.5 \mu\text{m} <$)에 대한 측정은 1999년 8월부터 11월까지 총 12회 측정하였으며 그 결과 조대입자영역의 먼지농도는 8월에 가장 낮은 농도수준인 $10.790 \mu\text{g/m}^3$ 에서 11월의 최대농도인 $33.856 \mu\text{g/m}^3$ 까지의 농도범위를 나타내었다. 그리고 주암호지역의 조대입자농도는 8 ~ 10월은 부산이나 서울보다 낮게 나타났으나 11월의 경우 서울지역보다 높게 나타났다. 입경별 분포특성의 경우, 주암호지역의 CPRI의 1, 2스테이지의 입경범위에 해당되는 ($6.5 < \text{dp} < 24.7$)에 전체 먼지농도의 약 63% ~ 81%가 분포하며, 4번째 스테이지에 포함되는 먼지분율이 상대적으로 낮은 먼지질량 입경분포특성을 보이고 있는 반면, 서울, 부산등 대도시지역의 경우는 1, 2스테이지에 서울이 약 65 ~ 67%, 부산이 42 ~ 74%의 먼지량이 분포하고 있으며 특히 네 번째 스테이지에 포함된 $36.5 \mu\text{m}$ 보다 큰 입자의 구성분율이 서울 18% ~ 23%, 부산 8% ~ 43%로 주암의 10% ~ 16%보다 크게 나타난 특징을 보였다.

Table 1. The summary of elemental flux. unit($\text{mg/m}^2/\text{day}$)

Month	Time		SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	K^+	Ca^{2+}	NH_4^+	Mg^{2+}	Na^+
Aug.	day (n=3)	avg.	3.843	1.773	3.274	0.904	0.538	1.495	0.180	0.899
		std.	0.779	1.764	1.361	0.525	0.464	1.115	0.045	0.653
	Night (n=3)	avg.	1.628	0.562	0.977	0.342	0.283	0.601	0.040	0.585
		std.	1.103	0.848	1.126	0.302	0.234	0.682	0.033	0.638
Sep.	day (n=4)	avg.	3.600	0.372	2.248	0.153	0.392	0.495	0.290	0.333
		std.	2.783	0.258	2.252	0.125	0.568	0.475	0.444	0.344
	Night (n=2)	avg.	1.559	0.125	0.342	0.131	0.042	0.800	0.055	0.086
		std.	0.334	0.129	0.313	0.174	0.031	0.115	0.032	0.029
Nov.	day (n=4)	avg.	3.086	0.346	1.007	0.144	0.657	1.009	0.189	0.623
		std.	2.494	0.213	0.684	0.102	0.256	1.759	0.178	0.691
	Night (n=5)	avg.	0.953	0.328	0.417	0.217	0.314	0.527	0.108	0.505
		std.	0.385	0.389	0.602	0.317	0.316	0.668	0.102	0.156
Total	day	avg.	3.510	0.831	2.176	0.400	0.529	1.000	0.220	0.618
		std.	2.004	0.997	1.642	0.486	0.587	2.534	0.359	0.640
	night	avg.	1.370	0.338	0.582	0.237	0.240	0.684	0.088	0.447
		std.	0.740	0.531	0.757	0.267	0.252	0.615	0.087	0.392

Table 2. The summary of mass flux.

unit(mg/m²/day)

Day time		Night time		24hr	
Date	Flux	Date	Flux	Date	Flux
8/11 ~ 13.	85.283	8. 11. ~ 13	45.428	99. 6. 14.	32.651
-	-	8. 16. ~ 18	52.608	99. 6. 30.	33.788
9/1 ~ 2.	77.973	8. 31. ~ 9. 3.	48.397	99. 7. 7.	36.759
9/13 ~ 16.	62.135	-	-	99. 7. 8.	61.404
10/5. ~ 9.	83.971	10. 5. ~ 10. 9.	12.129	10.18~23	31.489
-	-	10. 18. ~ 19.	15.595	10. 18	48.733
11/3 ~ 5.	84.064	11. 3. ~ 11. 5.	25.925	11. 3	40.681
11/9. ~ 10.	109.494	11. 8. ~ 10.	7.088	11. 8	77.973
11/16. ~ 18.	91.533	11. 16. ~ 18.	23.655	11. 16	35.867
11/23. ~ 24.	335.430	11. 23. ~ 24.	42.531	11. 23	85.061
11/30. ~ 12. 1.	62.160	11. 30. ~ 12. 2.	29.704	11. 30	49.922
avg.	110.227	night time avg.	30.306	24Hr avg.	48.575
std.	85.678	night time std.	16.167	24Hr std.	18.680

Table 3. Comparison of Dry deposition fluxes using WSS for both gaseous and particulate phases as sulfate and nitrate. unit (mg/m²/day)

구분 기간	시카고(1994)	서울 (1997)		부산 (1997)		주암호 (1999)	
	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
Jul.	-	19.36	6.39	29.49	2.54	3.84	0.53
Aug.	12.35	5.52	1.85	20.16	6.24	2.58	1.96
Sep.	30.97	33.55	6.55	26.96	11.40	2.92	1.61
Oct.	25.89	32.83	5.26	31.21	6.44	2.77	1.50
avg.	23.07	22.82	5.01	26.96	6.66	3.03	1.40

참고 문헌

- Yi, S.M. (1995.) Development and Evaluation of a Water Surface to Measure Dry Deposition, Ph.D. diss., Illinois Institute of Technology, Chicago.
- Seung-Muk Yi, Jang-Pyo Cheong (1997) Evaluation and Comparison of Models for Predicting SO₂ Dry Deposition to the Measurement Using A Water Surface Sampler, Korean Society of Environmental Engineers Vol. 2, No. 2,
- Jang-Pyo Cheong, Hak Sung Lee, Byung-Wook Kang and Sang-Kwun Lee,(1997) Relationships Between Indoor and Outdoor Air Quality During the Summer Season in Korea *Atmos. Environ.* 31:11 PP. 1689 ~ 1693,
- U.S. EPA(1994), "First Report to Congress on Deposition of Air Pollutants to the Great Waters", EPA-453/R-93-055,
- J. P. Cheong, H. M. Shin, S. H. Kim, and S. K. Lee(1996) "The Impacts of Dry Deposition on the Environment of Hoidong Reservoir", *Enviorn. Eng.* Vol. No. 2, pp89-98.
- 이승묵·정장표 (1998) 대기 건설침적 측정을 위한 물표면 매체 포집기의 성능평가, 대한환경공학회 논문 Vol. 20. No. 2. pp. 231 ~ 246.
- 김상현. (1996) Characterization of dry deposition in Pusan area. *경성대학교 환경공학과 석사학위논문*
- 장영환. (1999) 「거제도 배경농도 측정지역의 산성 에어로졸 및 PM_{2.5}의 특성」. *경성대학교 환경공학과 석사학위논문*
- 이은영,(1998) "서울시 입자상 물질의 건설침적량 특성에 관한 연구", *이화여자대학교 석사학위 논문.*
- 국립환경연구원 영산강수질검사소,(1999) "주암호 수질관리 기초자료"
- 국립환경연구원 영산강수질검사소,(1999) "섬진강 분류 및 주요지천의 오염실태와 관리방안에 관한 연구"