

주암호에 대한 질소화합물의 대기건식침적 특성

Atmospheric Dry Deposition Characteristics of Nitrogen-containing Compounds into Juam Reservoir

정 장 표* · 장 영 환
경성대학교 건설환경공학부

(2005년 11월 22일 접수, 2005년 12월 7일 채택)

Jang-Pyo Cheong* and Young-Hoan Jang
Division of Civil and Environmental Engineering, Kyungsoong University

(Received 22 November 2005, accepted 7 December 2005)

Abstract

The objectives of this study were to investigate atmospheric dry deposition of inorganic nitrogen-containing compounds to waterbody. Target waterbody is Juam reservoir functioning as one of the major water supply sources in Chollanamdo. Nitrate and ammonium dry deposition fluxes were directly measured using dry deposition plate (DDP) covered with greased strips and a water surface sampler (WSS). The daytime average NO_3^- and NH_4^+ fluxes measured with DDP and WSS were 1.7~2.6 times higher than those at nighttime. The seasonal average flux of NH_4^+ showed the highest value in summer. The daytime and nighttime average dry deposition fluxes of particulate phase Nitrogen-containing Compounds (1.13, 0.80 mg/m^2 day) were much higher than those of gas phase compounds (0.50, 0.24 mg/m^2 day).

Key words : Nitrogen-containing compounds, Dry deposition flux, Dry deposition Plate, Water surface sampler

1. 서 론

대기 중으로 배출된 오염물질들은 기상조건에 따라 다른 지역으로 이동하여 자연계의 표면으로 침적 되는데 이러한 대기침적은 토양이나 동·식물 등의 생태계 뿐만 아니라 해양이나 하천 생태계에도 악영향을 끼치고 있다(Thomas and Kenneth, 1992; Nicholson, 1988). 특히 상수원으로 사용되는 호수나 저수지로 침적되는 산성 대기오염물질은 수질의 산성화에

영향을 미치게 되며 수중에 염의 형태로 존재하는 중금속을 유리시켜 수질을 더욱 악화시키고 있다(김영성과 진현철, 2004).

선행연구를 통해 미국의 경우는 이미 5대호 및 체사피크만(Chesapeake bay)지역에 대한 대기침적의 심각성이 대두된 바가 있으며 최근 연구결과를 통해서 Potomac River와 Newport River 등 미국 내 주요 하천에 대한 질소성분의 오염에 대해서도 5~40%가 대기침적에 의한 것으로 밝혀지고 있다(U.S. EPA, 2000; Boynton *et al.*, 1995; Paerl and Fogel, 1994). 이러한 연구 결과들은 미국이 추진해온 기존의 단일매체 중심적인 대기과 수질오염 제어에 대한

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)51-620-4734, E-mail : jujung@ks.ac.kr

접근방법을 근본적으로 재평가하게 만들었다. 이를 통해 미국은 대기질의 목표가 무시되면 수질의 목표도 달성될 수 없다는 것을 인식하게 되었으며, 이를 미국의 대기청정법(CAA 1990)의 개정을 통해 법적 근거로 명백히 제시하게 되었다(U.S EPA, 2002; Baker *et al.*, 1993).

국내에서도 대기침적에 대한 심각성을 인식하고 그에 대한 연구가 진행되면서 습식침적의 정량화에 대한 방법론은 어느 정도 정립되게 되었다. 그러나 건식침적에 대해서는 그 방법론이 체계적으로 정립되어 있지 못해 정량화 방법에 대해서는 여전히 불확실성을 포함하고 있었으나 기존의 불확실성을 보완할 수 있는 장비들이 개발되면서 대기건식침적에 대한 연구가 진일보하기 시작하였고 신뢰할 만한 연구결과들이 도출되기 시작했다(김상헌, 1996).

국내에서는 1995년에 들어서 정장표 등(1996)에 의해 처음으로 미국의 연구사례를 적용하는 연구가 진행되었는데 미국의 경우와 동일한 연구방법을 적용하여 부산의 회동수원지와 광안동 및 대연동 등의 3지점에 대해 대기건식침적량을 산정하였다. 그 결과 부산에서의 건식침적량은 미국의 시카고 지역에 비해 2~3배 높거나 비슷한 수준이며, 화학적 성분 특성도 미국의 경우와 비슷하거나 상회하는 것으로 나타났다(Cheong, *et al.*, 1996; Lee, 1991). 그리고 1997년에 들어서는 이승목과 이은영(1998)에 의해 서울 지역을 중심으로 한 입자상 물질의 침적량 특성에 관한 연구가 진행되었으며 2001년도에는 전성 강하

물 측정 방법 개선 연구가 이루어지기도 하였다(이승목 등, 2000; 국립환경연구원, 1999; 이은영, 1998).

우리나라의 경우도 1990년대 말까지 대부분의 상수원수용 호수가 중영양 혹은 중부영양화의 상태로 대부분의 호소에서 조류의 이상증식에 의한 부영양화 현상이 일어난 바가 있다. 인 성분과 함께 질소산화물 및 암모니아와 같은 질소성분이 부영양화의 원인이 되고 있는데 그 중 인은 감소하고 있으나 질소성분은 증가하는 추세에 있다(곽결호, 1999). 특히 대기로부터 침적되는 질소성분으로 인해 그 심각성이 더욱 커지고 있는 실정이다.

전라남도 순천시 송광면에 위치한 주암호는 광주 및 전남 서남해안의 생활용수 공급 등 다목적으로 축조되었는데 주암호 또한 매년 조류의 이상증식으로 인한 수화현상이 우려되고 있어 부영양화에 대한 체계적이고 정기적인 연구가 필요한 실정이다(정진 등, 1998).

따라서 본 연구에서는 그동안 진행되어 온 대기침적의 국내·외 선행 연구결과를 토대로 전라남도의 주요 상수원 중의 하나인 주암호를 대상으로 부영양화의 주요 원인이 되는 질소산화물 및 암모니아 등의 질소화합물에 대한 입자 및 가스 형태의 대기건식침적 특성을 파악하고자 하였다.

2. 실험 방법

시료채취 장소는 그림 1에 도시된 바와 같이 전라

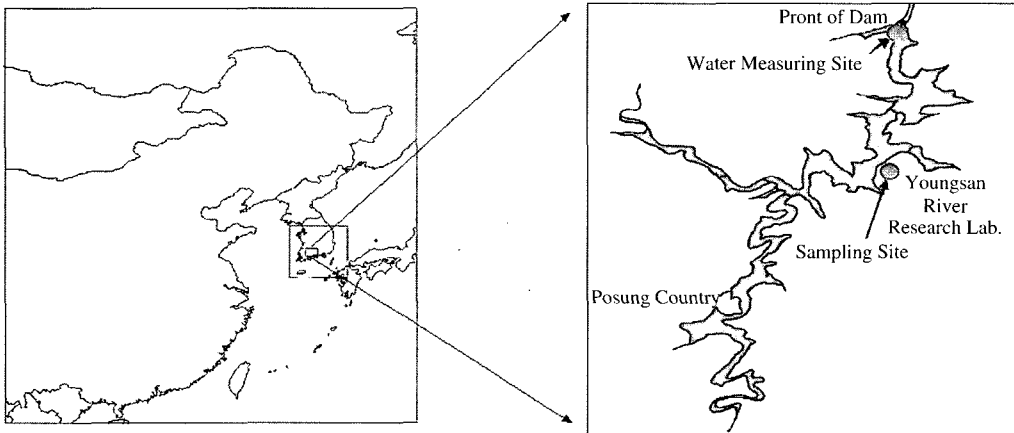


Fig. 1. Sampling site.

남도 순천시 송광면의 주암호 인근으로 본 연구의 목적과 취지에 부합될 수 있는 위치를 선정하였는데 2005년 초까지 국립환경과학원 영산강물환경연구소가 위치했던 건물의 옥상에서 진행되었다. 지형적으로는 주위가 산으로 둘러싸여 있으며 서쪽으로는 주

암호가 인접하고 있다.

본 연구는 현재까지 동일 장소에서 지속적으로 진행 중에 있으며 본 논문에서는 1999년 6월부터 약 2달간 예비실험을 거친 후 1999년 8월부터 2000년 11월까지 약 16개월간 진행된 연구결과를 통해 도출

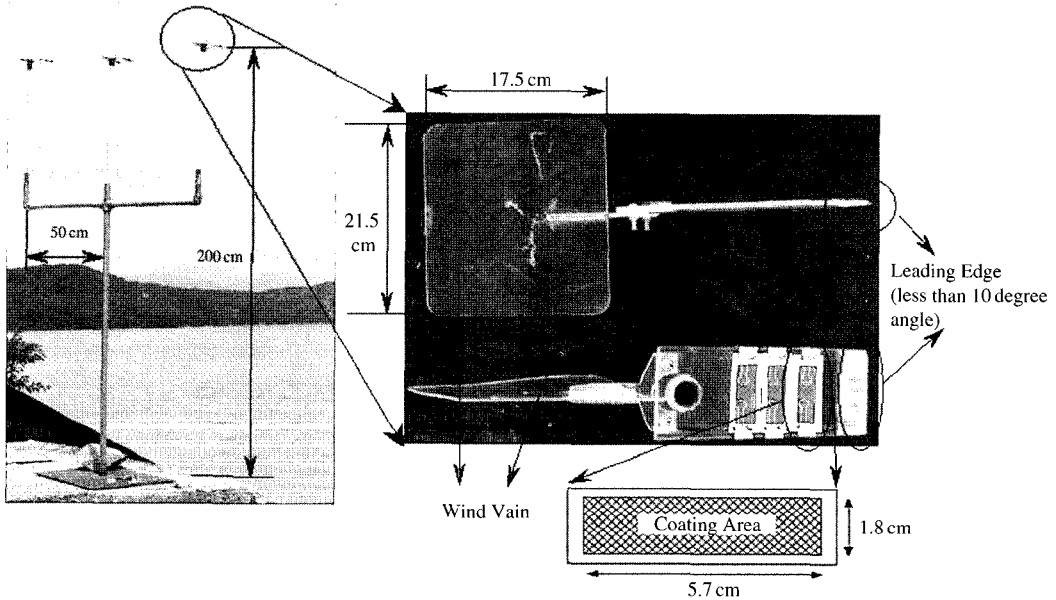


Fig. 2. Schematic diagram of DDP.

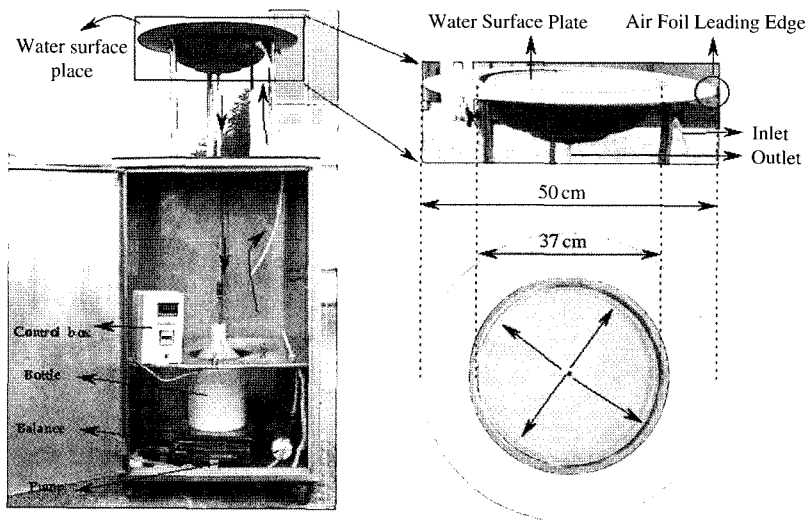


Fig. 3. Overview of WSS.

된 결과를 제시하였다. 시료채취 일시는 비가 오지 않는 날을 기준으로 결정하였으며, 채취시간은 낮(오전 9시부터 오후 6시)과 밤(오후 6시부터 오전 9시)으로 구분하여 포집하는 것을 원칙으로 하였다. DDP의 경우 시료채취기간 중 낮과 밤 시간 동안 각각 18개와 19개의 시료가 채취 되었으며 WSS는 낮과 밤이 각각 37개와 24개의 시료가 채취되었다. WSS의 경우 겨울철은 시료의 동결로 인해 시료채취가 불가능하여 1999년 12월부터 2000년 4월까지의 밤 시간대 시료는 결측 되었다.

시료채취 장치는 입자상물질의 건식침적 포집이 가능한 DDP(dry deposition plate)와 입자상과 가스상 물질을 동시에 포집할 수 있는 WSS(water surface sampler)를 사용하였다. 그림 2에 나타난 DDP의 경우는 높이가 200 cm인 지지대에 3개의 침적플레이트를 올려놓도록 고안되어 있다. 건식침적판은 투명한 아크릴로 만들어졌고 길이 21.6 cm, 폭 9.0 cm, 두께 0.65 cm이고 풍향 날개가 달려있어 항상 바람이 불어오는 방향으로 움직이며 날카로운 날($< 10^\circ$)을 앞쪽에 지니고 있다. 이 침적판은 약 5 mg의 그리스(두께 5 μm)를 얇게 입힌 strip(5.7 \times 1.8 cm)을 판의 상부에 설치하여 채취 표면으로 사용하였다(Yi, 1995).

그림 3에 도시된 WSS는 크게 지지대(water surface holder)와 침적판(water surface plate) 및 물 순환 시스템(water recycle system)으로 구성되어 있다(Philip *et al.* 1994; Philip *et al.*, 1993; Yeun and Fang, 1990). 물표면 침적판은 아크릴재질로 직경이 37 cm, 두께가 1 cm 이며 깊이가 0.5 cm가 되도록 설계되어 약 540 mL의 물이 채워지도록 하였다. 물표면 침적판의 바깥쪽 가장자리에 만들어진 위어(weir)는 물의 표면장력에 의하여 판의 수위가 지지대 표면보다 높아지는 것을 방지하여 준다. 물은 판의 중앙으로 들어가고 가장자리 위어를 넘어서 흘러 내려가 포집병에 모여 다시 순환하게 된다. 본 실험에서는 유량을 약 500 mL/min으로 유지시켜 물표면 침적판에서의 체류 시간을 약 1분 정도 되도록 하였다.

측정항목은 DDP의 경우 수용성 이온성분 중 질소 성분이 포함된 NO_3^- 및 NH_4^+ 의 입자상 형태의 건식침적량을, WSS는 가스 및 입자상 물질이 함께 침적된 형태인 NO_3^- , 및 NH_4^+ 등의 성분을 중심으로 분석하여 고찰하였다. 그리고 NO_3^- 및 NH_4^+ 와 함께

SO_4^{2-} 분석결과를 이용하여 각 성분들의 침적량에 대한 구성성분비도 함께 분석하였다. 또한 황산염의 건식침적 특성을 바탕으로 이중 격막설과 Graham의 확산법칙 등을 적용하여 WSS의 침적량과 DDP 침적량의 차를 이용한 $\text{HNO}_2 + \text{HNO}_3$ 형태의 가스성분 침적량도 함께 계산하였다(이승목 등 2000; Liss and Llater 1974; Whitman, 1923)

3. 결과 및 고찰

3.1 DDP의 측정

DDP로 측정된 입자상 형태의 NO_3^- 및 NH_4^+ 의 건식침적량을 그림 4에 나타내었다. NO_3^- 의 경우는 낮과 밤시간대의 전체평균이 각각 1.14 ± 0.76 , $0.69 \pm 0.60 \text{ mg/m}^2 \text{ day}$ 로 산정되어 낮시간대가 밤시간대보다 약 1.7배 높은 침적량을 나타내었다. NH_4^+ 또한 낮($2.03 \pm 1.66 \text{ mg/m}^2 \text{ day}$)이 밤($0.88 \pm 0.83 \text{ mg/m}^2 \text{ day}$)보다 2.3배 높게 나타나 대상 오염물질의 침적량은 모두 낮의 침적량이 높은 것으로 나타났다. 이는 선행연구와도 유사한 결과로 밤 시간대에 비해 낮 동안의 대기가 불안정하여 입자의 와류운동이 활발해짐에 따라 오염물질의 하향방향으로의 운동이 보다 활발하게 일어나기 때문인 것으로 판단된다(장남익, 2000).

NO_3^- 의 경우 계절별 침적량 변화는 겨울이 가장 높은 침적량을 보였으며 봄철이 겨울과 비슷한 수준을 보였다. 여름철의 경우 겨울이나 봄철의 약 50% 수준의 침적량을 보였는데 이는 여름철에 집중된 강우의 영향으로 많은 양이 습식의 형태로 침적되었기 때문으로 판단된다. 입자상 형태의 NO_3^- 의 침적량은 계절별로 다소 차이는 있으나 그리 큰 변화는 나타나지 않았다. 그에 반해 NH_4^+ 의 경우는 봄철부터 침적량이 증가하기 시작하여 여름철 이후까지 증가하는 특징을 보였다. 계절별 침적량 또한 강우의 영향이 있음에도 불구하고 여름철에 가장 높은 침적량을 나타내어 계절별 변화가 NO_3^- 보다는 상대적으로 크게 나타났다. NH_4^+ 가 NO_3^- 침적량보다 높게 나타나고 계절별 변화도 큰 것은 주암호 인근에 분포하고 있는 축산업의 영향이 클 것으로 판단되는데 실제로 주암호 인근에는 약 9만두의 가축이 사육되고 있다(국립환경연구원, 1997). 이러한 결과는 장영환(2004)

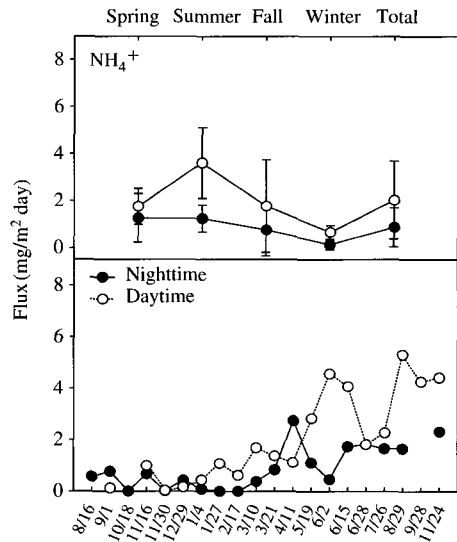
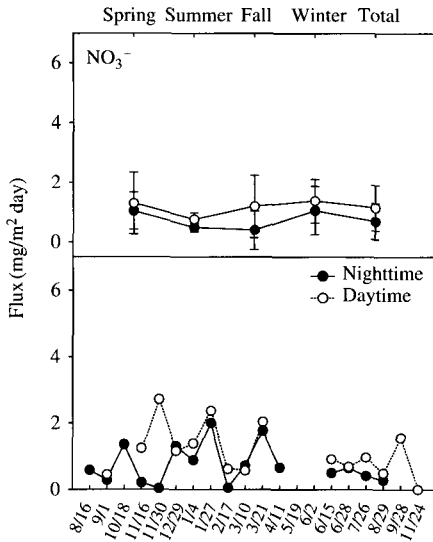


Fig. 4. Daily and seasonal dry deposition fluxes measured with DDP.

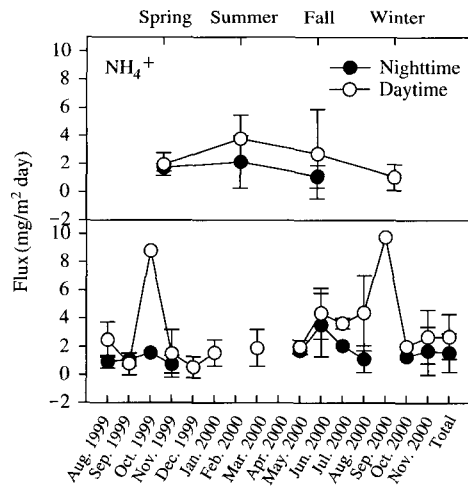
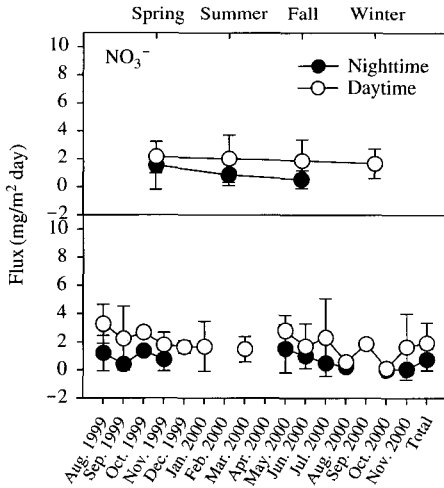


Fig. 5. Monthly and seasonal dry deposition fluxes measured with WSS.

의 주암호 지역의 대기침적에 대한 영향배출원 규명을 위한 PSCF 모형의 적용결과와도 잘 부합되고 있다(장영환, 2004).

또한 가축시설에 의한 암모니아 발생은 일사량과 온도에 매우 민감한데 계절별로는 여름철의 발생이 가장 높을 뿐 아니라 일 중 발생량도 일출 직후 증가하기 시작하여 일사량이 많은 낮시간대에 가장 많

은 양이 배출되다가 일몰이후 감소하는 특성을 지닌다(김득수와 Aneja, 2004). 따라서 NH_4^+ 의 침적량이 낮이 밤보다 약 2.3배 높은 침적량을 나타내는 것과 계절별로는 여름철이 가장 높게 나타나는 이유도 축산업으로 인한 암모니아 배출의 특성이 많은 부분을 설명할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 WSS의 측정

WSS로 측정된 결과를 살펴보면 NO_3^- 의 경우는 낮과 밤이 각각 2.01 ± 1.40 , $0.79 \pm 0.79 \text{ mg/m}^2 \text{ day}$ 로 나타났으며, NH_4^+ 는 각각 2.72 ± 2.29 , $1.58 \pm 1.38 \text{ mg/m}^2 \text{ day}$ 수준을 보여 NO_3^- 와 NH_4^+ 는 낮시간 침적량이 밤보다 각각 2.6배, 1.7배 높게 나타났다. 그리고 계절별 침적량 결과인 그림 5를 살펴보면

NO_3^- 의 경우 계절별 변화가 크지 않은 것으로 나타나 DDP 측정결과와 유사하며 NH_4^+ 의 경우 또한 여름철의 침적량이 가장 높게 나타나 DDP의 측정 결과와 매우 유사한 경향을 보이고 있었다. 이 또한 앞서 설명한 인근의 축산업의 영향이 크기 때문으로 판단된다(국립환경연구원, 1997).

그림 6에는 NO_3^- 및 NH_4^+ 와 함께 측정된 SO_4^{2-}

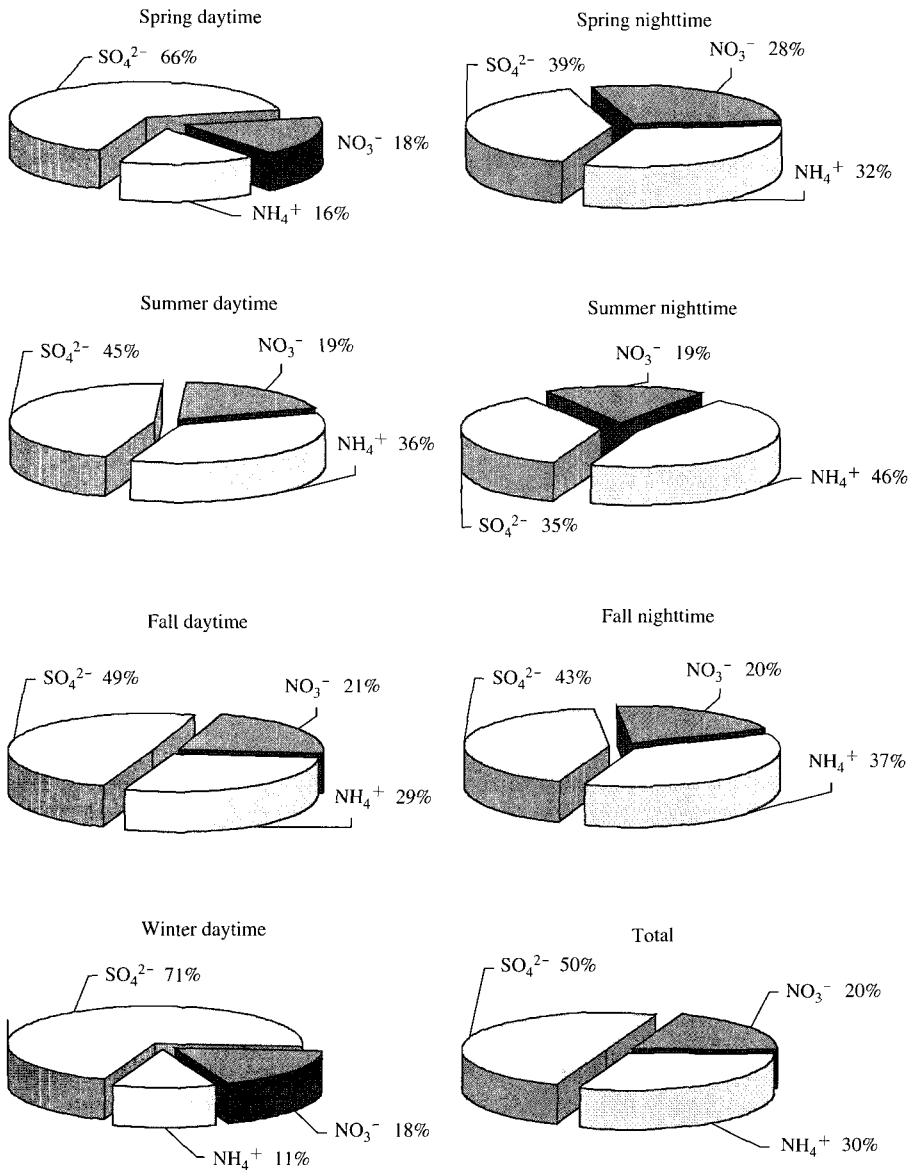


Fig. 6. Pie plot for the composition of SO_4^{2-} , NO_3^- and NH_4^+ fluxes measured with WSS.

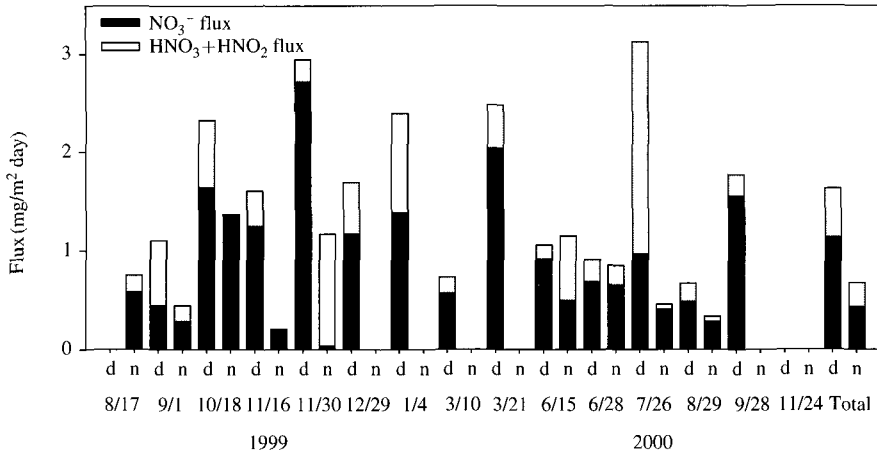


Fig. 7. Contribution of gas phase and particulate phase dry deposition to the total nitrate flux.

에 대해 세 성분의 건식침적량에 대한 구성비율을 각 계절별로 도시하여 나타내었다. 전체적으로는 SO₄²⁻가 약 50% 정도로 가장 높은 비율을 차지하고 있었고 NH₄⁺ (30%) 및 NO₃⁻ (20%)의 순으로 나타났다. 따라서 주암호 지역의 건식침적량은 NH₄⁺가 NO₃⁻보다 다소 높은 것으로 나타났다. SO₄²⁻의 경우 겨울철 낮시간대가 70%로 가장 높은 구성비율을 나타내었으나 여름철 밤시간대의 비율이 35%로 가장 낮게 나타났다. NH₄⁺의 경우는 여름철 밤 시간대가 46%로 가장 높은 침적량을 나타내었으며 또한 겨울철 낮시간대가 가장 낮은 비율을 보여 SO₄²⁻와는 반대의 경향을 나타내었다.

3.3 입자 및 가스성분의 침적량

가스상 건식침적량은 WSS에 의해 채취된 가스상+입자상 성분의 침적량과 DDP에서 채취된 입자상 성분의 침적량의 차를 이용해 구할 수 있다. 질소화합물의 건식침적량에 영향을 미치는 성분은 HNO₃와 HNO₂ 그리고 NO, NO₂, PAN, 및 N₂O₅ 등이 있으며 또한 NH₄⁺와 NH₃ 성분으로도 존재한다고 알려져 있다. 그러나 가스성분의 건식침적량은 HNO₃와 HNO₂에 의해 약 85%가 설명되며, 기타 물질들은 침적량이 무시할 만한 수준이거나 침적 후에도 NO₃⁻로의 산화율이 극히 낮다고 보고하고 있다(이승복 등, 2000). 따라서 본 연구에서는 대기로부터

침적된 가스상 질소산화물을 HNO₃+HNO₂의 형태로 간주하여 그 결과를 산정하여 표 1과 그림 7에 나타내었다.

낮시간대의 경우 WSS와 DDP의 채취량이 각각 1.89±1.14, 1.13±0.71 mg/m² day로 나타나 HNO₃+HNO₂의 건식침적량은 0.50±0.55 mg/m² day로 계산되었다. 이는 이승복 등(2000)이 서울지역을 대상으로 측정한 침적량 결과인 8.3 mg/m² day의 약 6% 수준인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 서울지역의 경우는 시료채취지점이 도로와 인접해 있어 자동차의 영향을 직접적으로 받고 있으나 주암호의 경우는 시료채취지점 인근에 주목할 만한 인위적인 오염원이 존재하지 않는다. 그리고 대기 중 HNO₃의 농도 또한 우리나라 국가배경농도지역과 비슷하거나 낮은 수준을 보이고 있어 이러한 원인으로 인해 나타난 결과로 판단된다(장영환, 2004).

밤시간대의 경우는 WSS와 DDP의 채취량이 각각 0.80±0.59, 0.43±0.39 mg/m² day로 나타나 HNO₃+HNO₂의 건식침적량은 0.24±0.37 mg/m² day로 계산되었으며 HNO₃+HNO₂ 형태의 가스상 침적량은 낮시간대가 밤시간대보다 약 1.5배 높은 것으로 나타났다.

이는 밤시간의 경우는 낮시간에 비해 질산(HNO₃)과 아질산(HNO₂) 및 기타 질소산화물의 대기 중 농도가 낮아지기 때문인데 밤시간대의 경우 대기중에 NO₂와 NO₃의 농도가 충분히 존재할 경우 이들의

Table 1 Dry deposition fluxes for HNO₃ and HNO₂ measured at sampling site.(unit: mg/m² day)

Daytime	Water surface NO ₃ ⁻ flux (mg/m ² day)	DDP NO ₃ ⁻ flux (mg/m ² day)	Gaseous (HNO ₃ +HNO ₂) Flux (mg/m ² day)	Nighttime	Water surface NO ₃ ⁻ flux (mg/m ² day)	DDP NO ₃ ⁻ flux (mg/m ² day)	Gaseous (HNO ₃ +HNO ₂) Flux (mg/m ² day)
99/9/ 1	1.45	0.45	0.66	99/8/17	0.85	0.58	0.18
10/18	2.68	1.64	0.68	8/31	0.53	0.29	0.16
11/16	1.80	1.25	0.36	10/18	1.37	1.36	0.00
11/30	3.06	2.72	0.23	11/16	0.21	0.21	0.00
12/29	1.97	1.17	0.53	11/30	1.77	0.03	1.14
00/1/ 4	2.93	1.39	1.01				
3/10	0.82	0.57	0.17	00/6/15	1.49	0.50	0.65
3/21	2.71	2.03	0.45	6/28	0.96	0.65	0.20
6/15	1.13	0.91	0.15	7/26	0.49	0.41	0.05
6/28	1.03	0.68	0.23	8/29	0.36	0.28	0.05
7/26	4.25	0.97	2.16				
8/29	0.77	0.49	0.18	11/24	0.00	0.00	0.00
9/28	1.88	1.55	0.22				
11/24	0.00	0.00	0.00				
Avg	1.89	1.13	0.50	Avg	0.80	0.43	0.24
Sd	1.14	0.71	0.55	Sd	0.59	0.39	0.37

반응에 의해 N₂O₅를 생성시킨다. 그리고 다시 가수분해반응을 거쳐 질산을 형성하며 최종적으로 질산암모늄 혹은 알칼리성 토양입자와 결합된 형태의 질산염을 형성하게 되어 HNO₃와 HNO₂ 농도가 낮아지게 되는데 그로 인해 낮이 밤보다 높은 침적량을 나타낸 것으로 판단된다(Koutrakis *et al.*, 1998).

그리고 낮과 밤시간대의 입자 및 가스성분의 침적량 결과를 살펴보면 낮시간의 경우 입자상이 가스상보다 약 2.3배 높은 침적량을 나타내었으며 밤시간의 경우 또한 입자상이 가스상보다 1.4배 높은 침적량을 나타내었다. 따라서 주암호 인근의 질소화합물의 침적은 낮과 밤시간대 모두 입자상의 영향이 지배적인 것으로 나타났다. 이는 밤시간 동안은 입자상의 침적이 지배적이며 낮시간 경우는 가스성분의 침적이 지배적이라는 이승목 등(2000) 등이 서울 도심지에서 실시한 연구결과와 비교해 볼 때 낮시간대의 결과가 반대로 나타났다(이승목 등, 2000). 이는 서울의 경우는 낮 시간동안 도심의 자동차의 영향으로 인한 가스상의 침적량이 높게 나타난 반면 주암호의 경우는 질소성분이 대부분 질산염의 형태로 존재하기 때문인 것으로 판단된다.

입자형태의 질산염은 크게 토양성분과 함께 증가하는 경우와 NH₄⁺ 및 nss-SO₄²⁻ 등의 인위적인 오염

물질과 함께 증가하는 두 가지 경우로 분류된다(김나경 등, 2003). 주암호지역의 경우 낮시간대 NH₄⁺의 농도가 우리나라 배경농도지역 중 NH₄⁺의 농도가 가장 높은 곳 중의 하나인 강화지역보다 약 1.7배 높게 나타났으며 NH₃의 경우는 2.4배 높은 것으로 조사되었다(장영환, 2004). 따라서 주암호 지역의 질소산화물은 암모니아 성분과 결합한 염의 형태가 지배적이며 그로 인해 낮시간대의 침적량 또한 입자상 성분의 영향이 크게 나타난 것으로 사료된다.

4 결 론

본 연구에서는 1999년 8월부터 2000년 11월까지 약 16개월간 전라남도의 주요상수원 중의 하나인 주암호에 대해 부영양화의 원인이 되고 있는 NO₃⁻와 NH₄⁺형태의 질소화합물에 대한 대기건식침적 특성을 파악하고자 하였다. 이를 위해 입자상 형태의 대기건식침적 측정이 가능한 DDP와 가스 및 입자상 형태의 대기건식침적을 동시에 측정할 수 있는 WSS를 사용하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

입자상 형태로 침적된 NO₃⁻는 낮시간이 밤시간대보다 약 1.7배, NH₄⁺약 2.3배 높게 나타났으며 입자

상과 가스상을 동시에 포집한 WSS의 결과 또한 낮이 밤시간대에 비해 NO₃⁻와 NH₄⁺가 각각 2.6, 1.7 배 높은 침적량을 나타내어 낮이 밤보다 높은 침적량을 보였다. 계절별 침적량 변화는 NO₃⁻의 경우 DDP와 WSS로 측정된 결과가 모두 계절별 변화는 상대적으로 그리 크지 않은 것으로 나타났다. 그에 반해 NH₄⁺의 경우는 측정결과 모두에서 여름철에 강우가 집중되어 있음에도 불구하고 가장 높은 침적량을 나타내었으며 전체적인 계절별 변화도 NO₃⁻보다는 상대적으로 크게 나타났다. 이러한 원인은 주암호 인근에 9만두 가까이 사용되고 가축시설의 영향을 크게 받고 있기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 NO₃⁻ 및 NH₄⁺와 함께 측정된 SO₄²⁻에 대해 세 성분의 진식침적량에 대한 구성비율을 비교한 결과 전체적으로는 SO₄²⁻가 약 50%정도로 가장 높은 비율을 차지하고 있었고 NH₄⁺ (30%) 및 NO₃⁻ (20%)의 순으로 나타나 주암호 지역의 진식침적량은 NH₄⁺가 NO₃⁻보다 다소 높은 특징을 보였다.

WSS에 의해 채취된 가스상+입자상 성분의 침적량과 DDP에서 채취된 입자상 성분의 침적량의 차를 이용해 구해진 HNO₃+HNO₂의 형태인 가스상 질소산화물의 침적량은 낮시간대의 경우는 0.50±0.55 mg/m² day로 계산되었으며 밤의 경우는 0.24±0.37 mg/m² day로 계산되어 HNO₃+HNO₂의 진식침적량의 경우는 낮시간이 밤시간보다 약 1.5배 높은 침적량을 나타내었다. 그리고 낮과 밤시간대의 입자 및 가스성분의 침적량 결과는 낮시간의 경우 입자상이 가스상보다 약 2.3배 높은 침적량을 나타내었으며 밤시간의 경우 또한 입자상이 가스상보다 1.4배 높은 침적량을 나타내어 주암호 인근의 질소화합물의 침적은 낮과 밤시간대 모두 입자상의 영향이 지배적인 것으로 나타났다.

감사의 글

이 연구는 2002학년 2학기 경성대학교 연구년 과제로 수행된 것입니다.

참고 문헌

곽결호(1999) 호수수질보전 정책, 호수의 수질관리, 대한환경공학회, 서울, 제4장.

국립환경연구원 (1999) 건성 강하물 측정 방법 개선 연구, 83-151.

국립환경연구원 영산강수질검사소 (1997) 주암호 수질오염 저감방안에 관한 연구-유역현황 및 수질특성을 중심으로-.

김나경, 김용표, 김창희, 문길주(2003) 고산에서 측정된 입자상 질산염 농도특성, 한국대기환경학회 추계학술대회논문집, 293-294.

김득수, V.P. Aneja (2004) 대규모 양돈농장에서 발생하는 암모니아 배출량, 한국대기환경학회 추계학술대회논문집, 151-154.

김상현 (1996) Characterization of Dry Deposition in Pusan Area, 경성대학교 석사학위논문.

김영성, 진현철(2004) 팔당호로의 질소와 황성분 침적 측정, 한국대기환경학회지, 21(1), 39-48.

이승목, 한영지, 정장표(2000) 대기 중 질소산화물의 진식침적 특성, 대한환경공학회지, 22(4), 775 - 784

이은영(1998) 서울시 입자상 물질의 진식침적량 특성에 관한 연구, 이화여자대학교, 석사학위 논문.

장남익 (2000) 수변지역의 대기진식침적특성 및 평가방법 개발, 동신대학교 박사학위논문.

장영환(2004) 상수원에 대한 대기침적의 영향과 잠재적 오염원의 규명, 경성대학교 박사학위논문.

정진, 조영관, 김종선, 이진중(1998) 주암호 조류분포의 계절별 변화에 관한 연구, 대한위생학회지, 13(2), 1-13.

Baker, J.E., T.M. Church, S.J. Eigenreich, W.F. Fitzgerald, and J.R. Scudlark (1993) Relative atmospheric loadings of toxic contaminants and nitrogen to the Great Waters.

Boynton, W.R., H.J. Garber, R. Summers, and W.M. Kemp (1995) Inputs transformations and transport of nitrogen and phosphorous in Chesapeake Bay and selected tributaries, Estuaries, 18, 285-314.

Cheong, J.P., H.M. Shin, S.H. Kim, and S.K. Lee (1996) The Impacts of Dry Deposition on the Environment of Hoidong Reservoir. Enviorn, Eng., 2, 89 - 98.

Koutrakis, P., J.M. Wolfson, and J.D. Spengler, (1998) An improved method for measrueing aerosol strong acidity : results from a nine month study in St. Louis, Missouri and Kingdom, Tennessee, Atmospheric Enviornment, 22, 157-162.

Lee, W.J. (1991) The Determination of Dry Deposition Velocities for Ambient Gases and Particles, IIT.

Liss, P.S. and P.G. Llater (1974) Flux of gases across the air-sea interface, Nature, 247, 181-184

Nicholson, K.W. (1988) The Dry Deposition of Small Particles : a Review of Experimental Measurements,

- Atmospheric Environment, 22, 2653-2666.
- Paerl, H.W. and M.L. Fogel (1994) Isotopic characterization of atmospheric nitrogen inputs as sources of enhanced primary production in coastal Atlantic ocean waters, *Marine Biol.*, 119, 635-645.
- Philip K., Hopke, Ning Gao, and M.D. Cheng (1993) Combining chemical and meteorological data to infer source areas of airborne pollutants, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 19(2), 187-199.
- Philip K., Hopke, Ning Gao, and M.D. Cheng (1994) Receptor modeling of airborne ionic species collected in SCAQS, *Atmospheric Environment*, 28, 1447-1470.
- Thomas, M. Holsen and E. Noll Kenneth (1992) *Dry Deposition of Atmospheric Particles : Application of Current Models to Ambient data*, *Environmental Science & Technology*, 26, 1807-1815.
- U.S. EPA (2000) *Deposition of air pollutants to the Great Waters: Third report to congress*, EPA-453/R-93-055.
- U.S. EPA (2002) *Clean Air Act*, http://www.epa.gov/air/oaq_caa.html/
- Whitman, W.G. (1923) The two film theory of gas absorption, *Chem. Metal. Eng.*, 29, 146-148.
- Yeun, P.K.E. and K.Y. Fang (1990) Atmospheric coarse particulate concentrations and dry deposition fluxes for ten metals in two urban environments. *Atmos. Environ.*, 24A, 903-908.
- Yi, S.M. (1995) *Development and Evaluation of a Water Surface to Measure Dry Deposition*, Ph.D. diss., Illinios Institute of Technology, Chicago.