

## 북한산국립공원의 계류수질 보전 전략( I )

박재현<sup>1)</sup> · 우보명<sup>2)</sup> · 김우룡<sup>1)</sup> · 안현철<sup>1)</sup> · 조현서<sup>1)</sup> · 추갑철<sup>1)</sup> · 김춘식<sup>1)</sup> · 최형태<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 진주산업대학교 산림자원학과 · <sup>2)</sup> 서울대학교 산림자원학과 · <sup>3)</sup> 임업연구원

### Conservation Strategy on Stream Water Quality in the Mt. Bukhansan National Park( I )

**Jae-Hyeon Park<sup>1)</sup>, Bo-Myeong Woo<sup>2)</sup>, Oue-Ryong Kim<sup>1)</sup>, Hyun-Chul Ahn<sup>1)</sup>  
Hyun-Seo Cho<sup>1)</sup>, Gab-Chul Choo<sup>1)</sup>, Choon-Sig Kim<sup>1)</sup> and Hyung-Tae Choi<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup> Dept. of Forest Resources, Chinju National University, Chinju, Korea

<sup>2)</sup> Dept. of Forest Resources, Seoul National University, Suwon, Korea

<sup>3)</sup> Korea Forest Research Institute, Seoul, Korea

#### ABSTRACT

This study was conducted to investigate physicochemical property changes from July 1998 to August 2001 in Mt. Bukhansan National Park. Four water sampling points were selected to measure the quality of stream water in the northeastern part of the Mt. Bukhansan National Park. The results were summarized as follows; In spring, the average pH of stream water was below the first class of the river water quality standard, while it was normal level in summer. The average electrical conductivity was about 2.3~3.3 times higher in downstream water than in upstream water during spring and summer. The contents of anions(Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) were about 1.1~7.4 and 0.4~11.4 times higher in downstream than in upstream water, respectively. These results indicate that water quality was poorer in downstream than in upstream water. We suggest that stream water in the Mt. Bukhansan National Park should be protected from impacts of snow melting mineral particles in spring season and human impacts like wastewater of point source in summer season.

*Key Words : Mt. Bukhansan National Park, pH, average electrical conductivity, electrical conductivity, point source*

#### I. 서 론

북한산국립공원 뿐만 아니라 우리나라의 자연생태계를 대표하는 국립공원은 과도한 이용객으로 인하여 점차 훼손되고 있는 실태에 놓여 있으며, 계류수질도 오염으로 인해 악화되

고 있는 상황이다. 더구나 대부분의 국립공원은 초입부에 형성되어 있는 대형 숙박·상업시설에서 발생하는 대량의 오폐수와 공원내 곳곳에 산재해 있는 사찰 및 휴게소·대피소 등에서 방류되는 무처리 오폐수도 주요 수질저하 요인으로 작용하고 있어 국립공원내 계류수질

오염은 방치시 심각한 상황에 이를 수 있는 위험요소를 안고 있다(박재현과 마호섭, 1999; 朴在鉉, 1999).

이와 같이 시급하다고 판단되는 계류수질오염을 방지하는 등 국립공원 자연생태계의 복원을 도모하고자 국립공원관리공단에서는 1991년 휴식년제 도입을 처음 시도하였다. 그러나 그 후 1997년 설악산, 북한산, 지리산 등 3개 국립공원의 휴식년제기초조사를 실시하기까지 이와 같은 제도의 시행효과 분석은 미미한 실정이다(국립공원관리공단북한산동부관리사무소, 1998).

국립공원내 계류수질에 관한 연구는 국내에서 일부 현상적인 조사를 수행하였는데, 洪思渙(1985)은 청정지역 산림내 계류수의 용존산소는 대부분 과포화상태를 보인다고 하였으며, 洪思渙과 羅圭煥(1979)은 칠갑산과 계룡산 계류수의 이화학적 특성을 밝힘으로써 하류수질 오염방지를 위한 계류수의 중요성을 강조하였다. 또한, 洪淳佑와 張鎔錫(1984)은 설악산국립공원내 계류의 수질환경은 관광객이 증가하면서 오염현상이 나타난다고 하였고, 黃鍾瑞와 鄭眞姬(1998)는 청정지역인 오대산국립공원의 계류생태계를 파악함으로써 자연자원의 가치를 평가하고, 그 보전대책의 학술적 기초를 마련하였다. 뿐만 아니라 田祥麟과 黃鍾瑞(1995)는 발왕산 계류와 방태산 북사면 일대의 계류수에서 전기전도도로 산림내 계류수질을 평가하였고, 양홍준과 이용호(1999) 등은 지리산과 소백산국립공원내 계류수에 서식하는 특징적인 어종과 전기전도도로 수질을 평가하였다.

우리나라에서는 3월에서 5월에 해당하는 봄(기상청, 2001)에 계류수질이 변동한다고 하였는데, 朴在鉉(2000)은 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수질을 분석한 결과 3월에서 5월까지의 봄에는 여름과 다르게 계류수의 pH가 비교적 낮은 약산성을 나타내었다고 보고하였다. 한편, Foster 등(1989), Hazlett 등(1992)은, 산림토양은 용설수의 화학성에 영향을 주는 주요한 영향인자이고, 용설수는 이러한 표층토양과의 관계로 인해 계류수의 산성화를 촉진시키는 주요인이라고 하였다.

산림내 계류수질은 산림토양의 특성 및 벌채 등과 밀접한 관련이 있지만(朴在鉉, 1995), 산림내 계류수질 오염의 근원은 산림에서의 인간활동에 의한 결과가 크고(Fredriksen, 1970; Larse, 1971), 국립공원내 계류수는 탐방객의 증가 및 각종 개발에 따라 점차 악화될 우려가 있으며, 청정한 산림내 계류수의 수질보전 및 수질오염 예방을 위하여도 국립공원내 계류수질에 대한 연구와 계절 특성을 고려한 장기적인 모니터링은 필수적이라 하겠다(朴在鉉, 1999, 2000). 따라서 이 연구는 북한산국립공원에서 계류수의 수질변동 특성을 파악함으로써 국립공원내 계류수질 보전전략을 수립하기 위한 과학적 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

## II. 재료 및 방법

북한산국립공원은 행정구역상으로 서울특별시 도봉구, 성북구 등 6개 구와 경기도 고양시, 의정부시, 양주군일원 등 북한산(836.5)과 도봉산(739.5) 전역을 포함하는 총면적 78.45km<sup>2</sup>로, 중생대 말에 관입한 화강암과 섬록암 등의 화성암류로 구성되어 있고, 암석지가 70%로 과반수 이상이며, 평탄지 및 산록의 완경사지대인 I 급지가 0.5%이다(국립공원관리공단북한산관리소, 1997). 조사 구역의 대부분은 신갈나무 등 활엽수가 우점하고, 소나무가 혼재하며, 화강암을 모재로 한 갈색산림토양으로 구성되어 있다.

동결융해침식 토사와 계류수질과의 관계를 밝히기 위하여 2001년(적설량 : 71.6cm) 봄기간인 3월 11일, 18일, 25일 총 3회, 각 조사지점에서 계류수를 1ℓ 씩 채수하여 수질 분석하였고, 동결융해침식 된 계류변 토양(Heuer 등, 1999; Murdoch 등, 2000)의 화학적 특성을 분석하였는데, 겨울 기간 동안 적설일과 적설일의 간격이 8일 이상 되고 기온이 높아 눈이 쉽게 녹았던 1999년(적설량 : 16.7cm)과 2000년(적설량 : 24.8cm)에 동결융해침식토사의 조사는 제외하였다(朴在鉉, 1995). 또한, 수질조사지점은 I 구역과 II 구역 공히 상시 계류가 흐르는 4개 지점으로 상류구역(수질조사지점 1과 2), 하류구역(수질조사

지점 3과 4)으로 구분된다(Fig. 1). 조사는 1998년 7월부터 2001년 8월까지 매월 1회(2001년 3월 1일부터 5월 6일까지는 매주 1회) 각 조사지점에서 계류수를 1ℓ씩 채수하여 수질 분석하였다. 아울러 북한산국립공원의 계류수질 보전에 따른 각종 문제점 및 개선 방안 등을 야장에 기록해 선행연구(朴在鉉, 1996; 1997; 국립공원관리공단북한산동부관리사무소, 1998)와 비교·분석하였다.

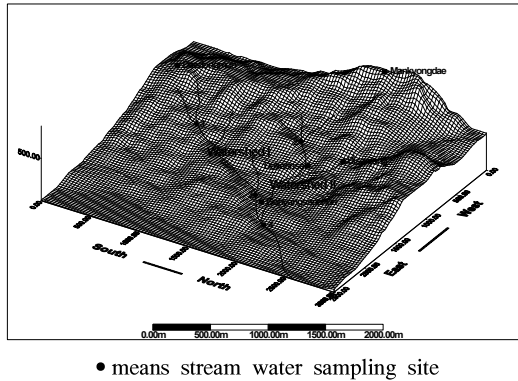


Fig. 1. Location map of study sites at northeastern area in the Mt. Bukhansan National Park.

계류수의 수질분석은 선행연구결과(朴在鉉, 1996)를 참조하여 계류수질 평가인자라 판단되는 pH, 용존산소, 용존산소포화도, 전기전도도, 기온, 수온 등 6개 항목은 현장에서 측정하였다. 양이온( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ), 음이온( $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ), 그리고 경도를 합한 총 8개 항목에 대하여는 시료를 Ice Box에 보관한 후 실험실에 가져와 0.45 $\mu$ m의 필터에 각각 2회 통과시킨 후 Ion Chromatography로 분석하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 수소이온농도(pH)의 계절적 변화특성 분석

각 수질조사지점에서 계류수의 pH 변화는 Fig. 2와 같다. I 유역과 II 유역 내 4개 수질조사지점에서의 수질분석 결과 여름 기간(6월에서 8월)에 계류수의 평균 pH는 1998년에 pH6.93(6.75~7.0), 1999년에 pH6.61(6.14~6.94), 2000

년에 pH6.56(6.54~6.59), 2001년에 pH6.51(5.97~6.67)로 하천수질환경기준 상수원수 1급수에 포함되는 경향을 나타내었다. 그러나 봄기간 동안 계류수의 평균 pH는 1999년에 pH6.51(5.86~8.14), 2000년에 pH6.44(5.80~6.65), 2001년에 pH6.19(5.61~6.74)를 나타내 강우기인 여름보다 낮아 약 산성을 띠는 경향을 나타내었다. 이는 Johannessen 등(1980), Peters와 Leavesley(1995), Soulsby 등(1997)이 보고한 결과처럼 용설수에 의한 음이온( $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ )의 유출에 기인한 결과 때문이라 생각된다.

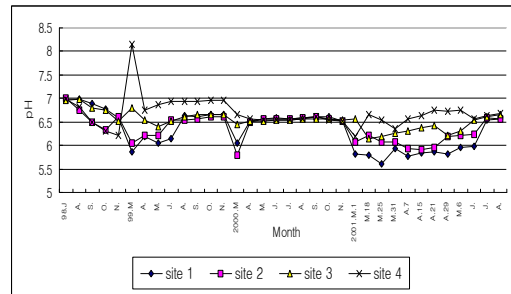


Fig. 2. Variations of pH by survey periods(from July of 1998 to Aug. of 2001).

이때 수질조사지점 4에서 조사지점인 1999년 봄 3월에는 pH8.14로 매우 높은 값을 나타내었는데, 이는 계류수로의 공사로 인한 시멘트콘크리트의 영향 때문인 것으로 생각된다(朴在鉉, 2000).

특히, 총 조사기간 중 봄기간 동안 상류유역에서의 평균 pH는 1999년에 pH6.37(6.05~6.80), 2000년에 pH6.39(5.80~6.57), 2001년에 pH5.95(5.61~6.22)로, 하류유역에서의 평균 pH 값인 1999년에 pH6.64(5.86~8.14), 2000년에 pH6.50(6.05~6.65), 2001년에 pH6.44(6.14~6.74)보다 낮은 값을 나타내 봄기간 동안에는 유량이 적고 인위적 오염이 없는 상류유역 계류수의 pH는 유량이 많고 인위적 오염의 영향이 큰 하류유역에서의 pH와 다른 양상을 나타내는 것으로 분석되었다. 즉, 상류유역에서는 선행연구결과(Peters와 Leavesley, 1995; Soulsby 등, 1997)와 같이 용설수의 증가로 인하여 눈에 집적되어 있던  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  등 음이온이 계류로 유출

되어 계류수의 pH를 낮추는데 기인한 것으로 생각되나, 하류유역에서는 이러한 작용을 억제하는  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$  등 양이온이 인근 대형 음식점에서 배출하는 오폐수 등에 다량 포함되는 등 그에 따른 영향으로 계류수의 pH가 상승된 것으로 생각된다.

한편, 2001년 봄기간 동안 계류수의 수질특성 중 산성화에 영향하는 동결용해침식 토사에 용존되어 있는  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  등 음이온량과 1998년부터 2001년까지 여름 기간 동안 계류수질을 분석한 결과는 Table 1과 같다.

**Table 1.** Results of average of pH, amounts of average of  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  in sediment caused by solifluction of during the spring of 2001(the summer from 1998 to 2001 in stream water quality) northeastern area of Mt. Bukhansan National Park.

Site No.	Average of pH	Amount of average of $Cl^-$ (mg/ℓ)	Amount of average of $NO_3^-$ (mg/ℓ)	Amount of average of $SO_4^{2-}$ (mg/ℓ)
1	5.75(6.55)	1.54(3.21)	4.91(4.42)	2.56(5.33)
2	5.60(6.59)	1.98(5.12)	8.68(4.82)	2.92(6.70)
3	5.91(6.65)	3.62(27.05)	18.33(10.26)	4.05(8.60)
4	5.86(6.72)	3.07(15.01)	14.89(10.00)	4.23(8.67)

계류변에서 동결용해침식 된 토사의 평균 pH는 상류유역과 하류유역에서 모두 5.60~5.91의 범위로 약산성을 나타내었다. 또한, 하류유역의 평균 pH(5.86~5.91)는 상류유역의 평균 pH(5.60~5.75)보다 비교적 높은 값을 나타내었다. 이와 같은 결과는 평균  $Cl^-$ 량(상류유역 : 1.54~1.98, 하류유역 : 3.07~3.62mg/ℓ), 평균  $NO_3^-$ 량(상류유역 : 4.91~8.68, 하류유역 : 14.89~18.33mg/ℓ), 평균  $SO_4^{2-}$ 량(상류유역 : 2.56~2.92, 하류유역 : 4.05~4.23mg/ℓ)의 영향에 기인하는 결과로 Robert 등(1997), Stottlemeyer와 Toczydlowski (1999)의 연구결과와 유사한 결과이었다. 한편, 전체 조사기간을 평균한 결과 여름 기간 동안 상·하류유역에서 계류수의 평균 pH는 6.63(6.55~6.72)으로 하천수질환경기준 상수원수 1급수의 범위 내였으며,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  등 음이온량은 하류

유역이 상류유역보다 높은 경향을 나타내어 사찰 및 음식점 등 인위적 오염원의 영향이 나타난 것으로 판단된다(朴在鉉, 2000). 또한,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  등 음이온량은 봄기간보다 여름 기간에 높은 값을 나타내었으나,  $NO_3^-$ 량은 봄기간 동안 이 여름 기간보다 높은 값을 나타내어 Stottlemeyer와 Toczydlowski(1999)가 보고한 봄기간 동안 동결용해침식으로 인하여 계류수에 유출되는 가장 중요한 인자는  $NO_3^-$ 이었다는 연구결과와 유사하였다.

이와 같이 봄기간 동안 상류유역에서 pH가 낮아지는 데에는 이 기간 동안 계안비탈면의 동결용해침식(朴在鉉과 禹保命, 1989)에 의한 침식토사와 용설수가 산성표층토와 많은 부분이 접촉하며, 유출됨에 따라 계류수의 pH가 영향 받은 데에도 원인이 있다고 생각된다.

이와 같은 결과로 볼 때 국립공원 내에서 산림에 인접한 대형 음식점에서의 유출수가 계류수의 pH를 높이는 등 자연적인 계류수의 pH에 영향을 미치는 것으로 분석되어, 산림에 인접한 대형음식점은 국립공원이라는 지역적 특성을 고려할 때 계류수질보전을 위한 법적 제도적 장치가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 산림내 계류수질평가기준 정립시(朴在鉉, 1996) pH는 하천수질환경기준에 의한 pH와는 계절적 차이를 고려해 평가기준을 달리 설정할 필요가 있을 것으로 생각된다.

## 2. 전기전도도의 변화 특성 분석

총 조사기간 중 봄기간 동안 I 유역과 II 유역의 상류유역에서 평균 전기전도도( $\mu S/cm$ , mg/ℓ, Fig. 3)는 1999년에 64.4(52.8~74.9), 2000년에 61.5(40.5~138.8), 2001년에 44.8(38.1~45.8)이었다. 그러나 하류유역에서는 1999년에 143.5(75.2~212.0), 2000년에 199.8(112.2~319.0), 2001년에 117.8(65.7~180.5)이었다. 즉, 평균 전기전도도는 음식점 및 사찰에서 배출하는 유출수가 유입되는 하류유역이 인위적 오염이 없는 상류유역보다 약 2.3~3.3배 높은 값을 나타내어 계류의 상류보다 하류에서의 오염현상이 큰 것으로 나타났다. 또한, 여름 기간 동안 상류유역에서 평

균 전기전도도는 1998년에 49.9(35.1~63.1), 1999년에 56.9(55.6~57.7), 2000년에 46.7(41.2~51.7), 2001년에 41.3(38.0~43.4)이었으나, 하류유역에서는 1998년에 53.8(42.8~68.8), 1999년에 116.6(102.6~130.6), 2000년에 197.7(115.1~285.4), 2001년에 149.9(135.1~165.4)로 하류유역의 평균 전기전도도가 상류유역에서 보다 약 1.0~4.8배 높았다. 즉, 상류유역에서는 연차별 평균 전기전도도의 변화는 크지 않았으나, 하류유역에서는 1998년보다 1999년에 2.2배, 2000년에 3.7배, 2001년에 2.8배 높아 해가 갈수록 하류유역의 오염이 증가하는 것으로 분석되었다.

특히 2000년 3월과 10월, 11월에 대형 음식점인 고향산천 하류인 수질조사지점 3에서의 전기전도도는 각각 319.0, 354.1, 371.1 $\mu$ S/cm로 청정한 산림내 계류수인 지리산 칠선계곡, 백무동계곡, 뱀사골계곡의 전기전도도 19.7~73.4 $\mu$ S/cm(田祥麟과 黄鍾瑞, 1993), 소백산국립공원내 계류수의 전기전도도 27~40 $\mu$ S/cm(田祥麟과 黄鍾瑞, 1995)보다 약 4.3~18.8배로 많았다. 이는 사찰과 음식점 등에서 배출하는 물에 용존된 각종 이온의 증가에 따른 결과로 북한산국립공원 북동사면 일대 하류유역의 계류수는 오염이 진행되고 있는 것으로 판단된다(朴在鉉, 2000).

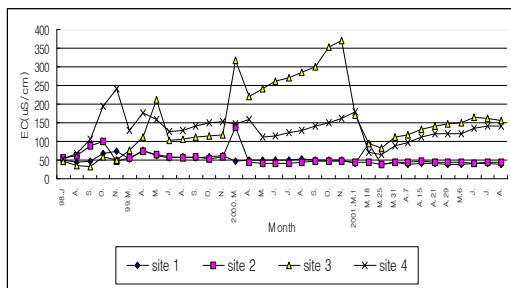


Fig. 3. Variations of electrical conductivity( $\mu$ S/cm) by survey periods(from July of 1998 to Aug. of 2001).

3. 음이온( $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ )량의 변화특성 분석

계류수가 오염되어 있는가를 평가할 수 있는 음이온( $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ )량( $mg/l$ )에 대한 봄기간

과 여름 기간 동안의 변화를 비교한 결과는 Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6과 같다.

봄기간 동안 평균  $Cl^-$ 량( $mg/l$ )은 상류유역에서 1999년에 8.53(2.21~28.99), 2000년에 4.59(2.93~6.81), 2001년에 3.25(2.40~4.97)이었다. 그러나 하류유역에서는 1999년에 10.53(3.08~15.71), 2000년에 33.89(5.21~59.48), 2001년에 20.31(8.65~41.03)이었다.

여름 기간 동안 평균  $Cl^-$ 량은 상류유역에서 1998년에 3.91(2.10~6.68), 1999년에 6.10(2.46~9.66), 2000년에 3.83(2.61~5.15), 2001년에 3.38(2.37~4.59)이었으며, 하류유역에서는 1998년에 4.14(3.20~4.91), 1999년에 7.22(3.09~11.41), 2000년에 38.62(16.14~61.35), 2001년에 23.90(21.30~25.70)으로 평균  $Cl^-$ 량은 음식점 및 사찰에서 배출하는 유출수가 유입되는 하류유역이 인위적 오염이 없는 상류유역에서 보다 봄기간 동안에는 약 1.2~7.4배, 여름 기간 동안에는 약 0.7~11.4배 높아 계류의 상류보다 하류에서의 오염 현상이 큰 것으로 나타났다(權肅杓, 1989).

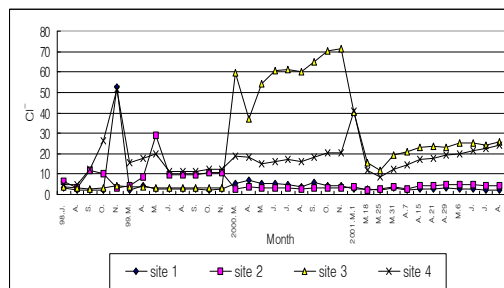


Fig. 4. Variations of amount of  $Cl^-$ ( $mg/l$ ) by survey periods(from July of 1998 to Aug. of 2001).

한편, 봄기간 동안 평균  $NO_3^-$ 량( $mg/l$ )은 상류유역에서 1999년에 9.30(5.38~18.63), 2000년에 4.60(3.26~5.96), 2001년에 4.45(2.91~5.91)이었다. 그러나 하류유역에서는 1999년에 10.0(5.87~13.04), 2000년에 17.95(9.11~42.23), 2001년에 9.07(6.59~11.42)이었다.

여름 기간 동안 평균  $NO_3^-$ 량은 상류유역에서 1998년에 4.20(2.71~7.50), 1999년에 8.03(6.12~9.90), 2000년에 3.94(3.12~4.71), 2001년에 3.32

(2.54~4.40)이었으며, 하류유역에서는 1998년에 3.02(2.10~3.45), 1999년에 8.27(5.53~10.97), 2000년에 15.56(11.30~20.11), 2001년에 10.69(9.30~10.70)로 분석되었다. 즉, 평균  $\text{NO}_3^-$ 량( $\text{mg}/\ell$ )은 음식점 및 사찰 등 휴게시설에서 배출하는 유출수가 유입되는 하류유역이 인위적 오염이 없는 상류유역에서 보다 봄기간 동안에는 약 1.1~3.9배, 여름 기간 동안에는 약 0.4~4.7배 높아 계류의 상류보다 하류에서의 오염현상이 큰 것으로 나타났다. 따라서 하류유역에서는 상류유역에서 보다 봄, 여름 기간 모두 평균  $\text{NO}_3^-$ 량이 높아 동결융해침식토사의 영향(Soulsby 등, 1997) 그리고 하류오염원의 영향(朴在鉉, 2000)이 관여하는 것으로 분석되었다.

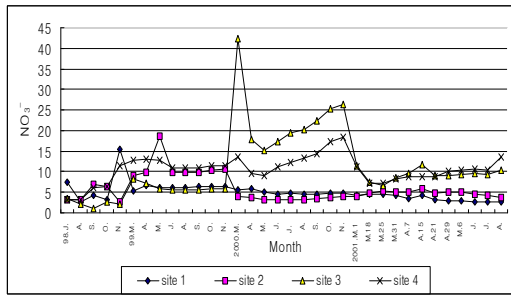


Fig. 5. Variations of amount of  $\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg}/\ell$ ) by survey periods(from July of 1998 to Aug. of 2001).

봄기간 동안 평균  $\text{SO}_4^{2-}$ 량( $\text{mg}/\ell$ )은 상류유역에서 1999년에 7.99(6.80~10.24), 2000년에 6.85(6.08~7.79), 2001년에 6.81(5.29~7.77)이었다. 그러나 하류유역에서는 1999년에 9.03(7.08~13.04), 2000년에 9.60(7.87~13.50), 2001년에 8.10(6.75~11.0)이었다.

여름 기간 동안 평균  $\text{SO}_4^{2-}$ 량은 상류유역에서 1998년에 5.99(1.10~9.78), 1999년에 7.16(6.54~7.62), 2000년에 5.05(3.71~6.32), 2001년에 6.23(5.45~7.20)이었으며, 하류유역에서는 1998년에 5.73(1.02~10.17), 1999년에 7.61(8.24~8.38), 2000년에 9.72(8.40~10.81), 2001년에 10.17(9.40~11.30)로 분석되었다. 즉, 평균  $\text{SO}_4^{2-}$ 량은 음식점 및 사찰에서 배출하는 유출수가 유입되는 하류지역이 인위적 오염이 없는 상류지역에서 보다

봄기간 동안에는 약 1.1~1.4배, 여름 기간 동안에는 약 0.8~2.0배 높아 계류의 상류보다 하류에서의 오염현상이 높은 것으로 나타났다. 이와 같이 봄, 여름 기간 모두 상류유역보다 하류유역에서의  $\text{SO}_4^{2-}$ 량 증가는 계류수에서  $\text{SO}_4^{2-}$ 량의 계절변동이 적으므로 대기오염물질 및 모암 등에 의한 영향(강병욱 등, 1996)보다는 평균  $\text{NO}_3^-$ 량과 같이 동결융해침식토사의 영향, 그리고 하류오염원의 영향에 기인한 결과 때문이라 생각된다.

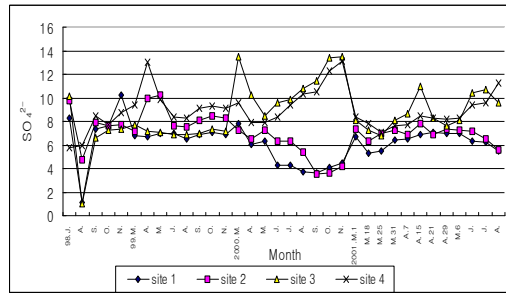


Fig. 6. Variations of amount of  $\text{SO}_4^{2-}$ ( $\text{mg}/\ell$ ) by survey periods(from July of 1998 to Aug. of 2001).

4. 북한산국립공원내 계류수질 보전 전략

상기의 결과로 판단해 볼 때 북한산국립공원내 계류수질을 보전하기 위해서는 다음과 같은 몇 가지 전략을 생각해 볼 수 있다.

첫 번째로 봄기간 동안 계류수의 pH가 낮아 지지 않도록, 계류변에서 동결융해침식토사가 계류로 유입되지 않도록 하는 사방공법의 적용이 필요할 것으로 생각된다. 이러한 사방공법으로는 계류변의 안정을 도모할 수 있는 비탈면 안정공법의 적용이 필요하겠으나, 국립공원의 특성상 친환경적 방법인 식생을 이용한 침식방지공법의 적용이 바람직할 것으로 생각된다. 이때에는 이들 적용되는 식생이 주변 경관과 어울리는가 하는 문제를 충분히 검토한 후에 적용하여야 할 것으로 생각된다.

둘째로 계류변에서 pH를 과도하게 상승시키는 공사 등은 가능하면 그 영향이 적은 시기를 고려하여 실시하는 것이 필요할 것으로 생각된다. 즉, 1999년 3월에 계류수의 pH는 콘크리트 등을 이용한 계류공사로 인하여 8.14까지 높아

지는 현상을 나타내었는데, 이와 같은 현상을 방지하기 위하여는 계류공사에 영향이 적은 자연석 등 친환경 소재를 이용하는 방안을 강구할 필요가 있다고 생각된다(朴在鉉, 2000).

셋째로 사찰 및 음식점 등 오염원의 영향이 나타나는 하류유역에서 계류수의 전기전도도 및 음이온( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ )의 용존량을 감소시키기 위한 노력이 필요한데, 이에 는 사찰 및 음식점에서 배출하는 유출수의 철저한 정화과정이 필수적이라 생각된다(朴在鉉, 1999).

#### IV. 결 론

북한산국립공원에서 계류수의 수질변동 특성을 파악함으로써 북한산 국립공원내 계류수질 보전전략을 수립하기 위한 과학적 기초 자료를 제공할 목적으로 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 계류수의 평균 pH는, 봄기간 동안에는 1999년에 pH6.51(5.86~8.14), 2000년에 pH6.44(5.80~6.65), 2001년에 pH6.19(5.61~6.74)로 하천수질환경기준 상수원수 1급수 기준보다 낮아지는 것으로 분석되었다. 그러나 여름 기간에 평균 pH는 1998년에 pH6.93(6.75~7.0), 1999년에 pH6.61(6.14~6.94), 2000년에 pH6.56(6.54~6.59), 2001년에 pH6.51(5.97~6.67)로 하천수질환경기준 상수원수 1급수에 포함되는 경향을 나타내었다.

2. 계류수의 평균 전기전도도( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )는 봄기간 동안에는 하류유역이 상류유역보다 2.3~3.3배 높았으며, 여름 기간 동안에는 하류유역이 상류유역에서보다 약 1.0~4.8배 높았다. 평균 음이온( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ )량( $\text{mg}/\ell$ )은, 전체적으로 봄기간 동안에는 상류유역보다 하류유역이 1.1~7.4배, 여름 기간 동안에는 하류유역이 상류유역보다 약 0.4~11.4배 높았는데, 이는 오염원에서 배출하는 유출수가 합류하는 하류유역의 수질이 상류유역보다 나빠졌음을 의미한다.

3. 북한산국립공원내 계류수질을 보전하기 위해서는 봄기간 동안 계류수의 pH가 낮아지지 않도록, 계류변에서 동결융해침식토사가 계류수로 유입되지 않도록 하는 친환경적 사방공법

의 적용이 필요할 것으로 생각된다.

4. 국립공원내 계류수에서 전기전도도 및 음이온( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ )의 용존량을 감소시키기 위해서는 인근 오염원에서 배출하는 유출수의 철저한 정화과정이 필수적이라 생각된다.

#### 인 용 문 헌

- 강병욱 · 이학성 · 김희강. 1996. 청주시 여름과 겨울철의 산성오염물질에 대한 특성 비교. 大韓環境工學會誌 18(9) : 1-8.
- 국립공원관리공단북한산동부관리사무소. 1998. 북한산국립공원 생태조사 모니터링 보고서. 국립공원관리공단북한산동부관리사무소. 86pp.
- 국립공원관리공단북한산관리소. 1997. 북한산국립공원 자연생태계 보전계획. 국립공원관리공단 북한산관리소. 128pp.
- 權肅杓. 1989. 음료수의 수질. 自然保護 12(6) : 20-22.
- 기상청. 2001. 적설통계자료. 기상청 <http://www.kma.go.kr>
- 朴在鉉. 1995. 白雲山 成熟闊葉樹林 皆伐收穫地에서 伐出直後의 環境變化와 運材路 浸蝕에 關한 研究. 서울大學校 大學院 博士學位論文. 137pp.
- 朴在鉉. 1996. 山林流域에 있어서 溪流水質 評價基準 定立에 關한 考察(II). 自然보존 95 : 38-52.
- 朴在鉉. 1997. 山林流域에 있어서 溪流水質 評價基準 定立에 關한 考察(III). 自然보존 97 : 33-42.
- 박재현 · 마호섭. 1999. 북한산국립공원내 휴식년 계곡의 수질관리를 위한 계류수질모니터링. 한국환경보존학회지 2(2) : 88-96.
- 朴在鉉 · 禹保命. 1989. 비탈면의 凍結融解 浸蝕에 關한 研究. 서울大 農學研究 14(1) : 9-15.
- 朴在鉉. 1999. 北漢山國立公園 北東斜面 一帶 溪流水質 特性. 韓國林學會誌 88(1) : 101-110.
- 朴在鉉. 2000. 北漢山國立公園 北東斜面 一帶 溪流水質 特性(IV)-理化學的 特性의 季節別 變化를 中心으로-. 韓國林學會誌 90(1)

- : 146-154.
- 양홍준 · 이용호. 1999. 소백산 국립공원 계류의 수환경 및 어류상과 어류 군집구조. *韓國生物相研究誌* 4 : 221-236.
- 田祥麟 · 黃鍾瑞. 1993. 智異山の 七仙溪谷, 白武洞溪谷 및 뱀사골溪谷의 水環境과 淡水魚類相. *韓國自然保存協會 調查報告書* 第31號 : 141-151.
- 田祥麟 · 黃鍾瑞. 1995. 小白山 國立公園 溪流의 水環境 및 淡水魚類相. *韓國自然保存協會 調查報告書* 第33號 : 141-149.
- 洪思渙. 1985. 溪流水의 汚染과 對策. *자연보존* 50 : 8-11.
- 洪思渙 · 羅圭煥. 1979. 七甲山과 鷄龍山 溪流의 理化學的 水質. *韓國自然保存協會 調查報告書* 第17號 : 159-170.
- 洪淳佑 · 張鎔錫. 1984. 雪嶽山 溪流의 水質環境 및 水生微生物. *雪嶽山學術調查報告書* : 363-369.
- 黃鍾瑞 · 鄭眞姬. 1998. 五臺山國立公園 西北斜面 一帶의 水環境. *韓國自然保全協會調查研究報告書* 第38號 : 135-141.
- Foster, N.W., Nicolson, J.A. and Hazlett, P.W. 1989. Temporal variation in nitrate and nutrient cations in drainage waters from a deciduous forest. *Journal of Environmental Quality* 18(2) : 238-244.
- Fredriksen, R.L. 1970. Erosion and sedimentation following road construction and timber harvest on unstable soils in three small Oregon watersheds. *USDA Forest Service Research Paper PNW-104*, 15p.
- Hazlett, P.W., English, M.C. and Foster, N.W. 1992. Ion enrichment of snowmelt water by processes within a podzolic soil. *Journal of Environmental Quality* 21 : 102-109.
- Heuer, K., Brooks, P.D., Tonnessen, K.A. 1999. Nitrogen dynamics in two high elevation catchments during spring snowmelt 1996, Rocky Mountains, Colorado. *Hydrological Processes* 13 : 14-15.
- Johannessen, M. and Skartveit, A., Wright, R.F. 1980. Streamwater chemistry before, during and after snowmelt. *Proceeding of the International Conference on Ecology and the Impact on Acid Precipitation, Norway SNSF project*.
- Larse, R.L. 1971. Prevention and control of erosion and stream sedimentation from forest roads. *Proceedings of a symposium on forest land uses and environment. Oregon State University*. 55p.
- Murdoch, P.S., Baron, J.S., Miller, T.L. 2000. Potential effects of climate change on surface-water quality in North America. *Journal of the American Water Resources Association* 36 : 347-366.
- Peters, N., Leavesley, G.H. 1995. Biotic and abiotic processes controlling water chemistry during snowmelt at Rabbit Ears Pass, Rocky Mountains, USA. *Water Air Soil Pollut.* 79 : 171-190.
- Robert S., Charles A.T., Dan M. 1997. Change in snowpack, soil water, and streamwater chemistry with elevation during 1990, Fraser Experimental Forest, Colorado. *Journal of Hydrology* 195 : 114-136.
- Stottlemeyer, R. and Toczydlowski, D. 1999. Seasonal change in precipitation, snowpack, snowmelt, soil water and streamwater chemistry, northern Michigan. *Hydrological Processes* 13 : 14-15.
- Soulsby, C., Helliwell, R.C., Ferrier, R.C., Jenkin, A., Harriman, R. 1997. Seasonal snowpack influence on the hydrology of a subarctic catchment in Scotland. *Journal of Hydrology* 192 : 17-32.

接受 2001年 7月 18日