

북한산국립공원에서 동결융해침식토사 및 유량이 계류수질에 미치는 영향 분석

박 재 현¹⁾

¹⁾ 진주산업대학교 산림자원학과

Analysis of Influences of the Solifluction Soil and Stream flow
on the Stream Water Quality of Bukhansan National Park

Jae Hyeon Park¹⁾

¹⁾ Department of Forest Resources, Jinju National University, Jinju, Korea.

ABSTRACT

This research was conducted to investigate the influences of the solifluction soil and amount of flow on the stream water quality of the Bukhansan National Park from March to October, 2002. The average pH of stream water was higher than that caused by solifluction soil. The average electrical conductivity of upstream water was about 2.1~2.8 times lower than that of downstream water. Linear regression analysis showed that pH and amount of anion(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) of stream water were very significantly correlated with those at the caused by solifluction soil. Structures for erosion control along both sides of stream channel should be designed in order not to influence upon solifluction soil and stream water quality.

Key Words : *Bukhansan National Park, stream water quality, solifluction soil.*

I. 서 론

수중과 수변생태계를 포함하는 국립공원의 계곡생태계는 동·식물 서식에 필요한 다양한 미소환경을 가지고 있어 타 지역보다 종 다양성이 매우 높고, 멸종위기 및 보호야생동물, 희귀종, 천연기념물이 다수 서식하는 지역으로 국립공원내 생물다양성 보존 및 유지에 매우 중요한 역할을 하고 있고, 계류수질 특히 봄철의 계류수질은 이에 크게 영향을 미친다. 그러나 우리

나라에서 3월에서 5월에 해당하는 봄철(기상청, 2001)에 계류수질의 변동특성에 관한 연구는 일부 현상적인 조사에 그치고 있다. 즉, 전재홍(1995)과 박재철(2000)은 융설에 의한 유량이 증가할수록 전기전도도는 높아지고, 유량이 감소할수록 전기전도도는 낮아지는 등 융설시와 강우시 유출량의 증감이 계류수의 전기전도도에 미치는 영향은 다르다고 하였다. 또한, 박재현 등(2001)은 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수질을 분석한 결과 3월에서 5월까지의 봄철에

는 여름과 다르게 계류수의 pH가 비교적 낮은 약산성을 나타내었다고 보고하였다. 또한, Warren (1985)은 용설수로 인하여 계류의 유출량이 증가한다고 하였다.

봄철에 계류수질은 여름 등 다른 계절과는 다른 특성을 가지는데, 이는 눈이 녹은 물의 토양 접촉 및 침식된 토양에 기인한다. Bain *et al.*(1994), Soulsby *et al.*(1998)은 용설수로부터 계류수질이 영향을 받는다고 하였으며, Johannessen *et al.*(1980), Peters and Leavesley (1995), Soulsby *et al.*(1997)은 온도 상승에 따른 만년설에서 용설수의 증가는 눈에 집적되어 있던 Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} 등의 음이온을 계류로 유출시켜 계류수의 pH를 낮추는 작용을 한다고 하였다. 또한, 박재현 등(2001)은 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수에서 2000년 봄(3월)에는 pH가 약산성이었는데, 이는 봄에 계안비탈면의 동결융해침식(박재현과 우보명, 1989)에 의한 침식토사와 눈이 녹은 물이 산성표층토와 많은 부분이 접촉하며 유출됨에 따라 계류수의 pH에 영향을 미친데 따른 결과라고 하였다. Robert *et al.*(1997)은 강설 등으로 인해 얼음에 집적되는 이온은 고도가 높아짐에 따라 증가하고, NH_4^+ 와 NO_3^- 가 유의했다고 하였다. Foster *et al.*(1989), Hazlett *et al.*(1992)은, 산림토양이 눈 녹은 물의 화학성에 영향을 주는 주요한 영향인자이고, 눈 녹은 물의 유출은 이러한 표층토양과의 관계로 인해 계류수의 산성화를 촉진시키는 주요인이라고 하였다.

봄철에 계류수에 용존된 이온에 대하여 McGlynn *et al.*(1999)은 계류에서 Ca^{2+} 집적은 유기물 두께와 관계가 깊고 눈이 녹을 때 많이 발생한다고 하였다. 또한, Stottlemeyer and Toczydlowski(1999)는 봄에 눈 녹은 물이 토양에

축적되어 있는 다량의 NO_3^- 를 계류로 유출시킨다고 하였다. Williams and Melack(1991), Jenkins *et al.*(1993), 佐藤 등(1999)도 적설에 용존되어 있는 이온보다 눈 녹은 물에 용존된 이온이 많은데, 이는 건성 및 습성침착물질 그리고 눈 녹은 물과 표층토양, 암석의 접촉으로 인하여 용존되는 이온이 많기 때문이라고 하였다.

Murdoch *et al.*(2000)도 봄에 온도 상승으로 인한 눈 녹은 물이 수질저하의 원인이며, 이로 인해 수생태계까지 좋지 않은 영향을 미친다고 하였다. 또한, Maeda *et al.*(1994)은 눈 녹은 물은 하류 하천수질에 좋지 않은 영향을 미친다고 하였고, Margaret *et al.*(1997)도 경우에 따른 눈 녹은 물이 직접적으로 계류수질에 영향을 미친다고 하였다.

따라서 이 연구는 북한산국립공원에서 봄철에 동결융해침식 토사 및 유출에 따른 계류수의 이화학적 수질특성을 분석함으로써 국립공원내 계류수질 보전을 위한 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상 유역의 개황

수질조사지점의 입지적 특성은 조사 유역의 대부분이 신갈나무 등 활엽수가 우점하고, 소나무가 혼재하며, 화강암을 모재로 한 갈색산림토양으로 구성되어 있다. 수질조사지점과 인접한 계류변의 입지특성은 Table 1과 같다.

계류변 비탈면의 평균경사도는 21~30°이었다. 계류변 식생의 상층식생율폐도는 23~45%로 낮았는데, 이는 겨울에 따른 활엽수의 낙엽 때문이었다. 계류변의 폭은 좌측이 5.0/4.0~6.0

Table 1. Characteristics of sites to survey stream water quality.

Site no.	Slope(°)		Stand	Crown-Cover Rates(%)	Average of Width of riparian(m)		
	Left	Right			Left	Right	
Watershed I	1	21	21	Mixed	35	6.5/6.0~7.0	7.3/6.5~8.0
	3	30	30	Mixed	40	6.3/5.5~7.0	7.5/7.0~8.0
	2	28	24	Mixed	45	5.0/4.0~6.0	4.3/3.5~5.0
Watershed II	4	22	22	Mixed	23	6.5/6.0~7.0	7.3/6.5~8.0

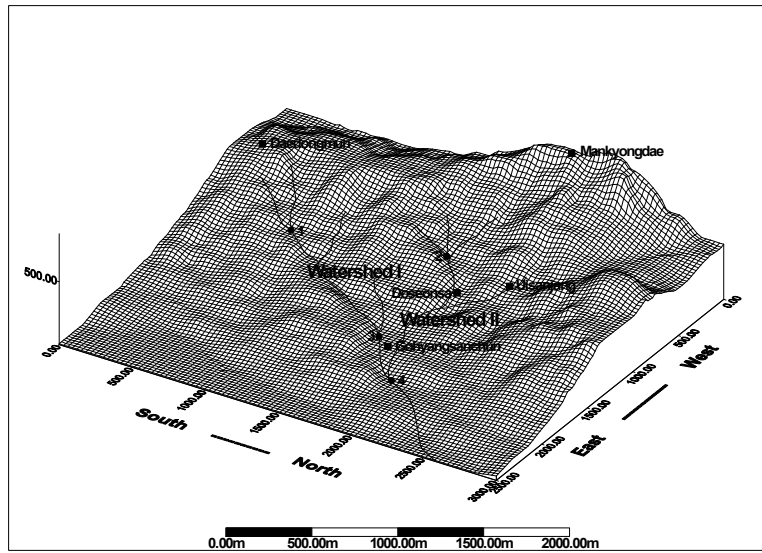


Figure 1. Map of study sites at Uidong stream valley in Bukhansan National Park(● means stream water sampling site).

m~6.5/6.0~7.0m이었고, 우측이 4.3/3.5~5.2m~7.5/7.2~8.3m이었다. 동결융해침식토사에 의한 계류수질 변동에 따른 조사구역은 우이동계곡의 I 과 II(Figure 1)의 상류구역(site 1과 2)과 하류구역(site 3과 4)으로 구분하였다.

2. 연구방법

계류에서 동결융해침식 및 유출특성을 분석하기 위하여 우이동계곡을 표본 대상으로 상시 계류수가 흐르는 상·하류구역 2개 지점을 선정 2002년 동결융해침식토사가 유출하는 3, 4, 5월에 각기 1회 각 조사지점에서 계류수를 1ℓ씩 채수하여 수질 분석하였다.

용설수의 화학성에 영향이 큰 서릿발에 의하여 토양이 들떠있는 상주로 인해 동결융해 침식되는 계류변 토양(Heuer *et al.*, 1999; Murdoch *et al.*, 2000)의 화학적 특성을 분석하기 위하여 계류로부터 좌·우측사면으로 구분하였다. 아울러 산지사면의 경사가 변하는 지점까지의 거리를 평균하여 계류 유하 방향으로부터 좌·우 각각 1m, 2m, 3m 총 6개 지점에서 동결융해침식토사 500gram을 채취하여 원심분리한 후 채취한 용액을 이온 분석하였다. 한편, 계류변에서 상주로 인한 동결융해침식 된 토사가 계류로 유출되는

유출토사량은 각각의 수질조사지점에서 채수된 물에 포함되어 있는 부유토사의 무게를 측정된 거름종이에 걸러 건조시킨 후 전자식 정밀저울로 무게를 측정하여 단위 ℓ당 평균유출토사량으로 계산하였다. 계류수질분석은 선행연구결과 계류수질 평가인자라 판단되는 pH(HI 8314 Membrane pH meter), 전기전도도(Conductivity meter)는 현장에서 측정하였으며, 양이온(Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) 5개 항목, 음이온(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) 3개 항목 등 총 8개 항목에 대하여는 시료를 Ice Box에 보관한 후 실험실에 가져와 0.45μm의 필터에 각각 2회 통과시킨 후 Ion Chromatography로 분석하였다. 토양용액은 계류수질과 동일한 방법으로 동일한 항목에 대하여 분석하였다. 또한, 각 계류에서의 계류수질 분석 결과는 spss/pc+를 이용하여 회귀분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 봄철에 동결융해침식 토사가 계류수질에 미치는 영향

1) 유출토사량

봄철에 용설수에 동반하여 계류로 유입되는 동결융해침식 토사량은 계류수질 변동에 큰 영

Table 2. Average amount of the caused by solifluction soil in survey site.

Site no.	Year	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4
Average amount of the caused by solifluction soil (kg/m ²)	2001	0.32	0.25	0.43	0.67
	2002	0.33	0.27	0.45	0.70

향을 미친다(Soulsby *et al.*, 1997; Stottlemeyer and Toczydlowski, 1999; 박재현 등, 2001). 조사 기간 동안 북한산국립공원 북동사면 일대 계류면에서 동결융해침식 되어 계류로 유출된 토사량은 Table 2와 같다.

조사기간 동안 계류면 비탈면에서 동결융해침식 되어 유출된 토사량은 2001년에는 상류유역에서 0.25~0.32kg/m²이었으나(박재현 등, 2001), 2002년에는 0.27~0.33kg/m²로 전년보다 많았다. 또한, 하류유역에서는 2001년에 0.43~0.67kg/m²이었던 값이 2002년에는 0.45~0.70kg/m²으로 전년보다 증가하였는데 이는 토양이 동결되었다가 융해되는 시기에 내린 강수량이 2001년(18.1mm)보다 2002년(31.5mm)이 많은데 기인한 결과라 생각된다. 아울러 동결융해침식 되어 유출된 토사량은 하류유역이 상류유역에서 보다 약 1.4~2.6배 많았는데, 이는 하류유역에서 융설수에 의한 유량이 많고 이로 인하여 계류면에서 동결융해침식 된 토사가 계류로 흘러 내려갔기 때문(박재현과 우보명, 1989)으로 생각된다.

- 2) 동결융해침식 토사가 계류수질에 미치는 영향
 봄철에 계류수의 수질특성 중 산성화에 영향

하는 동결융해침식 토사에 용존되어 있는 Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻(Stottlemeyer and Toczydlowski, 1999; Heuer *et al.*, 1999; Murdoch *et al.*, 2000) 등 음이온량을 분석한 결과는 Table 3과 같다. Table 3에서 1, 2, 3은 동결융해침식토사 조사구 좌, 우 1, 2, 3m에서 각각의 평균을 의미한다.

사면에서 동결융해침식 된 토사의 평균 pH는 상류유역과 하류유역에서 모두 5.31~6.01의 범위로 모두 약산성을 나타내었다. 또한, 하류유역의 평균 pH는 상류유역보다 비교적 높은 pH를 나타내었다. 이때 계류수의 pH는 6.32~6.59로 하류유역의 평균 pH가 상류유역의 평균 pH보다 높은 결과를 나타내었다. 이와 같은 결과는 하류유역에서의 유량의 증가, Ca²⁺, Mg²⁺ 등 용존 양이온의 상대적인 증가 등에 기인하는 결과 때문이라 생각된다.

이와 같이 봄철에 계류수의 pH가 약산성을 나타내는 것은 동결융해침식 토사가 계류로 유출되면서 계류수의 pH에 영향함을 의미하는 것이다. 즉, Murdoch *et al.*(2000), Maeda *et al.*(1994)은 봄에 기온의 상승으로 인하여 유출된 융설수 및 동결융해침식토양이 계류로 유입되면 계류수질 저하에 영향을 미치고, 이로 인해 수생태계에까지 좋지 않은 영향을 미친다고 하였는데, 이 연구에서도 그와 같은 결과를 나타내었다.

Figure 2와 같이 동결융해침식 토사의 평균 pH와 계류수의 pH를 직선회귀 분석한 결과 계류수의 pH는 동결융해침식 토사의 평균 pH와는 정의 상관관계를 나타내었고, 77%의 설명력을 나타내었다. 이를 직선회귀식으로 나타내면, 계류수의 pH = 0.3051 x 동결융해침식 토사의 평균 pH + 4.7195(R² = 0.77)이었다.

Table 3. Average concentration of pH, Cl⁻, NO₃⁻ and SO₄²⁻ in solifluction soil.

Site no.	pH			Cl ⁻ (mg/ℓ)			NO ₃ ⁻ (mg/ℓ)			SO ₄ ²⁻ (mg/ℓ)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	5.72	5.70	5.72	1.91	1.82	1.89	5.28	5.31	5.25	3.75	3.65	3.66
2	5.33	5.31	5.32	1.39	1.35	1.40	3.53	3.51	3.50	3.33	3.32	3.35
3	5.98	6.00	6.01	3.23	3.15	3.16	8.78	8.91	8.90	6.93	6.92	6.91
4	5.90	5.79	5.80	1.48	1.45	1.46	14.07	14.00	14.00	4.71	4.61	4.71

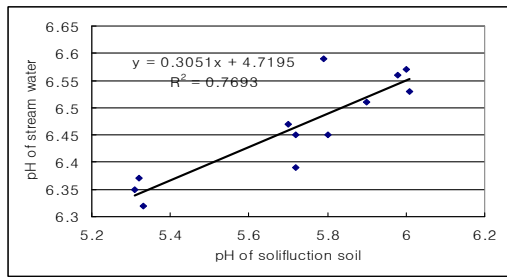


Figure 2. Linear regression of average pH of stream water and that caused by solifluction soil.

한편, 사면에서 동결융해침식 된 토사의 평균 Cl⁻량은 상류유역과 하류유역에서 모두 1.35~3.23mg/l의 범위로 하류유역이 상류유역 보다 약 0.8~2.4배 많았다. 이는 하류유역이 상류유역에서 유입되는 유출토사량의 증가 등에 영향을 많이 받았음을 의미하는 것이다(Soulsby *et al.*, 1997; Stottlemeyer and Toczydlowski, 1999). 즉, 계류수에 용존된 Cl⁻량과 동결융해침식 토사에서의 평균 Cl⁻량과의 관계를 직선회귀 분석한 결과(Figure 3), 계류수에 용존된 Cl⁻량과 동결융해침식 토사에서의 평균 Cl⁻량은 정의 상관관계를 가지며 98%의 설명역을 나타내었다. 이를 직선회귀식으로 나타내면, 계류수에 용존된 Cl⁻량 = 0.425 x 동결융해침식 토사에서의 평균 Cl⁻량 - 0.5798(R² = 0.98)이었다.

사면에서 동결융해침식 된 토사의 평균 NO₃⁻량은 상류유역과 하류유역에서 모두 3.50~14.07mg/l의 범위로 하류유역이 상류유역 보다 약 1.7~4배 많았다. 이는 하류유역에서 동결융해침식 토사량이 많았고, 이러한 침식토사에 용존되어 있는 Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ 등 음이온이 용

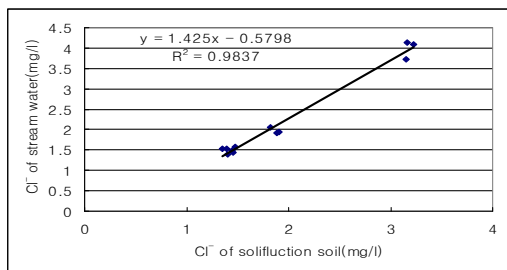


Figure 3. Linear regression of average Cl⁻ of stream water and that caused by solifluction soil.

설수에 동반하여 계류로 유입되었음을 의미하는 결과이다(Peters and Leavesley, 1995; Soulsby *et al.*, 1997; Stottlemeyer and Toczydlowski, 1999). 즉, 계류수에 용존된 NO₃⁻량과 동결융해침식 토사에서의 평균 NO₃⁻량과의 관계를 직선회귀 분석한 결과(Figure 4), 계류수에 용존된 NO₃⁻량과 동결융해침식 토사에서의 평균 NO₃⁻량은 정의 상관관계를 가지며 99%의 설명역을 나타내었다. 이를 직선회귀식으로 나타내면, 계류수에 용존된 NO₃⁻량 = 1.0454 x 동결융해침식 토사에서의 평균 NO₃⁻량 + 0.0859(R² = 0.99)이었다. 이와 같은 결과는 Robert *et al.*(1997)이 보고한 봄철 계류수 질 변동에 NO₃⁻량이 유의했다는 연구결과를 뒷받침하는 결과이다.

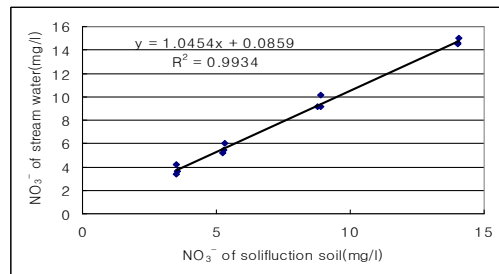


Figure 4. Linear regression of average NO₃⁻ of stream water and that caused by solifluction soil.

또한, 사면에서 동결융해침식 된 토사의 평균 SO₄²⁻량은 상류유역과 하류유역에서 모두 3.32~6.93mg/l의 범위로 하류유역이 상류유역 보다 약 1.2~2.1배 많았다. 이는 하류유역에서 동결융해침식 토사량이 많았고, 상류유역의 계류수가 합류되는 등 침식토사에 용존되어 있는 Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ 등의 음이온이 용설수에 동반하여 계류로 유입되었음을 의미하는 결과이다(Johannessen *et al.*, 1980; Peters and Leavesley, 1995; Soulsby *et al.*, 1997). 즉, Bain *et al.*(1994), Soulsby *et al.*(1998)은 기온의 상승에 따른 상주로 인한 동결융해침식의 증가는 눈이나 표층토양에 집적되어 있던 Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ 등의 음이온을 계류로 유출시켜 계류수의 pH를 낮추고 계류수에 용존되는 Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ 등의 양을 증가시킨다고 하였는데, 이 연구에서도 그와 같은 결과

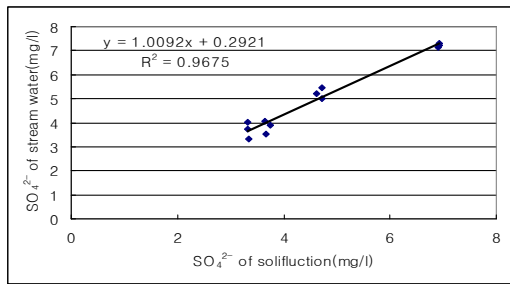


Figure 5. Linear regression of average SO_4^{2-} of stream water and the caused by solifluction soil.

를 나타내었다. 아울러 Helliwell *et al.*(1998)은 수생태계의 직접적인 영향요인은 SO_4^{2-} 라고 하였는데, 이는 본 연구결과를 뒷받침하는 결과라 생각된다. 따라서 계류수에 용존된 SO_4^{2-} 량과 동결융해침식 토사에서의 평균 SO_4^{2-} 량과의 관계를 직선회귀 분석한 결과(Figure 5), 계류수에 용존된 SO_4^{2-} 량과 동결융해침식 토사에서의 평균 SO_4^{2-} 량은 정의 상관관계를 가지며 97%의 설명력을 나타내었다. 이를 직선회귀식으로 나타내면, 계류수에 용존된 SO_4^{2-} 량 = $1.0092 \times$ 동결융해침식 토사에서의 평균 SO_4^{2-} 량 + 0.2921 ($R^2 = 0.97$)이었다.

2. 봄철에 조사구역에서 계류수의 수질특성

1) pH

각 수질조사지점에서 계류수의 pH 변화는 Figure 6과 같다. I 구역과 II 구역 내 4개 수질조사지점에서의 수질분석 결과 평균 pH는 pH 6.46(6.32~6.59)으로 그 변화 폭이 적고 보건복지부 하천수질환경기준에 의한 상수원수 1급수에 접근하는 약산성을 띠는 경향을 나타내었다.

이때 봄철에 유량이 적고 고도가 높으며 음식점 등 인위적인 영향이 없는 상류구역에서의 평균 pH는 6.39(6.32~6.47)로, 유량이 많고 고도가 낮으며 음식점 등 인위적 영향이 있는 하류구역에서의 평균 pH의 값인 6.54(6.45~6.59)보다 비교적 낮은 값을 나타내 봄철에는 유량이 적고 인위적 오염이 없는 상류구역 계류수의 pH는 유량이 많고 인위적 오염이 발생하는 하류구역에서의 pH와 다른 양상을 나타내는

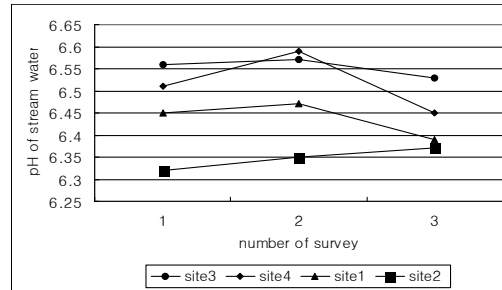


Figure 6. Variations of pH of stream water during the period of March to May of 2002.

것으로 분석되었다. 즉, 상류구역에서는 이러한 결과가 선행연구결과(Johannessen *et al.*, 1980; Peters and Leavesley, 1995; Soulsby *et al.*, 1997)와 같이 지하수의 유출 및 동결융해침식 토사와 접촉하여 Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} 등 음이온이 계류로 유출되어 계류수의 pH를 낮추는데 기인한 것으로 생각되나, 하류구역에서는 이러한 작용을 억제하는 Ca^{2+} , Na^+ 등 양이온이 인근 대형 음식점에서 배출하는 오폐수 등에 다량 포함되는 등 그에 따른 영향으로 계류수의 pH가 상승된 것(오영민와 신봉석, 1991; 강병욱 등, 1996)으로 생각된다.

2) 전기전도도

봄철에 I 구역과 II 구역의 상류구역에서 계류수에 용존되어 있는 이온총량을 나타내는(박재현, 1999) 평균 전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$, Figure 7)는 66.3(60.5~70.3)으로 하류구역의 값 160.0(150.3~170.6)보다는 작은 값이었다. 즉, 평균 전기전도도는 하류구역이 상류구역 보다 약 2.1~2.8배 높은 값을 나타내어 계류의 상류보다 하류에서의 오염현상이 큰 것으로 나타났다. 이는 동결융해침식토사의 영향에 더하여 음식점 및 사찰에서 배출하는 유출수가 유입된데 기인한 결과라 생각된다(박재현 등, 2001). 즉, 이와 같이 하류구역에서의 전기전도도가 높게 나타난 것은 청정 산립내 계류수인 지리산 칠선계곡, 백무동계곡, 뱀사골계곡의 전기전도도 19.7~73.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (전상린과 황중서, 1993), 소백산국립공원 내 계류수의 전기전도도 27~40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (전상린과 황중

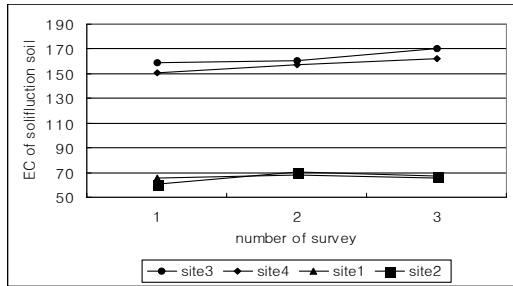


Figure 7. Variations of electrical conductivity of stream water during the period of March to May of 2002.

서, 1995)보다 약 2.0~8.7배로 많았다. 이는 사찰과 음식점 등에서 배출하는 물에 용존된 각종 이온의 증가에 따른 결과로 북한산국립공원 우이동계곡 하류유역의 계류수는 오염이 진행되고 있음을 의미하는 것이다. 따라서 청정지역이라고 생각되는 국립공원에 대해서는 사찰 및 음식점에서 배출하는 유출수에 대한 정기적인 검사와 그에 따른 수질보전 대책을 강구할 필요가 있다고 생각된다(박재현 등, 2001).

한편, 북한산국립공원 내 계곡에서 인공구조물이 계류수질에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 각 인공구조물의 위치에 따른 상·하류의 영향을 분석하여야 하는데 2002년 4월 우이동계곡을 대상으로 돌기습막이, 콘크리트옹벽 등 개별 인공구조물의 상·하류에서 수질을 분석한 결과(Table 4), 상·하류간의 수질은 차이가 없었다. 이와 같은 결과는 각 개별 인공구조물이 수질에 크게 영향하지 않았기 때문인 것으로 해석된다. 그러나 각 계곡에 설치되어 있는 인공구조물은 공중·공법에 있어 다양하고, 그 영향은 개별 인공구조물에 의한 영향보다는 전체적인

영향이 미치는 것으로 생각된다. 따라서 이를 구별하기 위하여는 인공구조물이 설치되어 있지 않은 상류 계곡과 인공구조물이 집중적으로 배치되어 있는 하류지역으로 구분하여 조사할 필요가 있다. 즉, 인공구조물이 설치되어 있지 않은 상류계곡의 평균 pH는 6.61 (6.60~6.62)로 보건복지부 하천수질환경기준에 의한 상수원수 1급수의 범위 내였으며, 하류유역의 평균 pH도 6.73(6.71~6.74)으로 보건복지부 하천수질환경기준에 의한 상수원수 1급수의 범위 내였으나 상류유역보다는 비교적 높은 값이었다. 그러나 전기전도도는 하류유역에서 평균 110.6(100.7~120.5) $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 상류유역의 평균전기전도도 41.3(40.0~42.5) $\mu\text{S}/\text{cm}$ 보다 약 2.4~3.0배 높은 값을 나타내었다. 그러나 이 값의 차이는 계곡 내에 설치되어 있는 인공구조물의 영향뿐만 아니라 계곡 주변에 위치하여 있는 휴게소, 음식점, 사찰 등에서 유출한 오폐수의 영향이 포함된 것으로 엄밀하게 계곡 내에 설치되어 있는 인공구조물만의 영향이라고는 판단할 수 없다. 즉, 우이동계곡의 상·하류유역의 계류수질을 분석해 보면 계류수질에 영향한다고 판단되는 음이온의 경우에는 그 총량평균이 상류유역에서는 3.85(2.06~6.60) mg/ℓ 로 하류유역의 음이온총량평균 8.92(7.30~12.35) mg/ℓ 보다 약 1/2.32의 수준에 그쳐 하류유역에서의 영향이 크게 나타났다. 이는 계곡 내에 설치된 인공구조물에서 유출된 이온성분 때문이라고 판단하기보다는 계곡 인근에 위치한 사찰, 음식점 등에서 유출한 오폐수의 영향이 큰 데 기인한 결과 때문이라 생각된다.

Table 4. Comparison of average concentration of ions in stream water of Uidong valley.

Distribution	pH	EC	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
		$\mu\text{S}/\text{cm}$	mg/ℓ							
Site 1	6.62	42.5	2.06	3.86	6.60	2.61	0.01	0.30	1.02	6.62
Site 2	6.60	40.0	2.50	3.53	4.54	2.29	0.02	0.32	0.90	5.69
Site 3	6.74	120.5	12.35	8.00	9.10	7.16	0.26	0.91	1.32	12.42
Site 4	6.71	100.7	8.72	7.30	8.03	5.68	0.16	0.83	1.38	8.77

3. 봄철에 계류수의 pH, 전기전도도와 유량과의 관계 분석

1) 계류수의 pH와 유량

봄철에 계류수에서 pH와 유량과의 관계를 직선회귀 분석한 결과(Figure 8), 직선회귀식은, 계류수의 $\text{pH} = 0.8754 \times \text{유량} + 6.216$ ($R^2 = 0.60$)이었다. 즉, 大類 등(1992)이 보고한 것처럼 계류수의 pH는 유량이 증가할수록 농도가 하강하고, 유량감소시에는 농도가 상승하는 관계를 나타내었다. 이 결과는 平井 등(1990)의 보고와 유사한 결과이었다. 그러나 박재철과 이현호(2000)는 유량이 증가하면 pH가 낮아지다가 침투유량을 전환점으로 유출량이 감소하면 pH가 높아졌다고 보고하여 이 연구결과와는 상반되는 결과이었다. 따라서 이와 같은 결과는 입지적, 계절적 특성 등에 따른 차이에 기인하는 결과로 생각되며, 보다 장기적인 자료의 수집으로 계류수의 pH와 유량과의 관계를 구명할 필요가 있을 것으로 생각된다.

2) 계류수의 전기전도도와 유량

봄철에 동결침식토사의 전기전도도와 유량과의 관계를 회귀분석한 결과(Figure 9), 회귀식은, 계류수의 전기전도도 = $593.87 \times \text{유량} - 54.65$ ($R^2 = 0.94$)이었다. 즉, 大類 등(1992), 박재철(2000)의 연구 결과와 유사하였다. 이와 같은 결과는 계류수질 오염의 지표인 전기전도도는 유량이 증가할수록 농도가 증가하고, 유량감소시에는 농도가 하강하는 관계를 나타내었다. 이는 봄철에 동결융해침식 토사의 계류로의 유입에 의한 Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} 등 음이온 량의 증가에 기인하는 결

과 때문이라 생각된다. 그러나 志水 등(1987)은 유량이 증가할 수록 전기전도도는 낮아지며, 유량이 감소할 수록 전기전도도는 높아진다고 하여 이 연구와는 다른 결과를 나타내었다. 또한, 이현호(1997)도 계류수의 pH, 용존산소량은 유출수량의 증가에 따라 값이 상승하나, 전기전도도는 값이 낮아졌다고 하였는데, 이는 모암 등 입지적, 지역적, 계절적 요인에 따른 차이에 기인한 결과로 생각된다. 따라서 봄기간 동안 유량 변동에 따른 계류수에서의 전기전도도의 변화에 관한 연구는 장기적이고도 지속적인 모니터링을 통한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

따라서 북한산국립공원 일대 계류수의 수질 보전을 위해서는 계류변에서의 동결융해침식 토사의 유입을 방지하기 위한 대책이 필요할 것으로 생각된다. 특히 계곡 내에 인공구조물의 설치에 따라 계안이 훼손되지 않도록 하여야 하며, 훼손시에는 식생을 도입하거나 환경친화적인 구조물을 이용하여 계안을 보호하는 방법이 강구되어야 할 것이다. 즉, 계안에 침식방지시설의 설치 또는 식생복원이 필요할 것으로 생각된다. 아울러 적설이 많은 해 혹은 일교차가 클 때 융설수와 이로 인한 동결융해침식에 관한 연구도 지속적으로 수행되어야 할 것으로 생각된다. 그러나 이 연구에서는 현장여건 등의 사유로 인해 강수에 대한 자료를 수집하지 않아 분석에 포함시키지 못했다. 그러나 동결융해침식토사와 강수량과는 밀접한 관계를 갖는 것으로 판단되어, 장래 지속적인 연구를 위해서는 강수에 대한 자료의 수집이 중요할 것으로 생각된다.

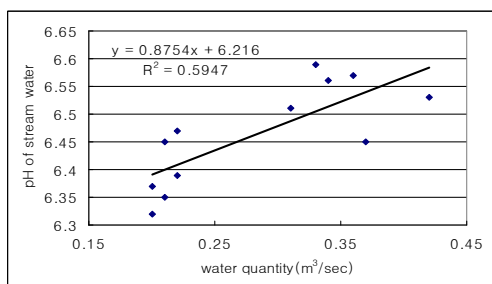


Figure 8. Linear equation for stream water quantity(m³/sec) and pH.

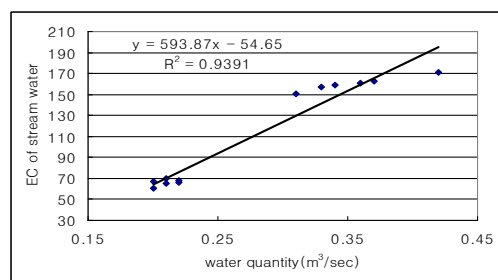


Figure 9. Linear equation for stream water quantity(m³/sec) and electrical conductivity.

IV. 결 론

이 연구는 북한산국립공원에서 계류수질에 미치는 동결융해침식토사와 유출수량의 영향을 파악함으로써 국립공원내 계류수질 보전을 위한 과학적 기초 자료를 제공하기 위하여 2002년 3월부터 10월까지 수행하였다. 조사기간 동안 계류수의 평균 pH는 동결융해침식토사의 평균 pH보다 높았으며, 계류수의 평균 전기전도도는 상류유역이 하류유역 보다 약 2.1~2.8배 낮은 값을 나타내었다. 또한, 직선회귀분석결과 동결융해침식된 토사와 계류수에서의 pH와 음이온량(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-})은 정의 상관관계를 나타내었다. 한편, 계류수의 pH는 유량이 증가할수록 농도가 하강하고, 유량감소시에는 농도가 상승하는 관계를 나타내었으며, 전기전도도는 유량이 증가할수록 농도가 증가하고, 유량감소시에는 농도가 하강하는 관계를 나타내었다. 따라서 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수의 수질보전을 위해서는 계류면에서의 동결융해침식 토사의 유입을 방지하기 위한 대책이 필요할 것으로 생각된다. 특히 계곡 내에 인공구조물은 계류수질보전을 위하여 환경친화적인 구조물을 이용하는 방법이 강구되어야 할 것으로 사료된다.

인 용 문 헌

- 강병욱 · 이학성 · 김희강. 1996. 청주시 여름과 겨울철의 산성오염물질에 대한 특성 비교. 대한환경공학회지 18(9) : 1-8.
- 기상청. 2001. 적설통계자료. 기상청 [http : //www. kma.go.kr](http://www.kma.go.kr)
- 박재철. 2000. 물순환모델에 의한 산지소유역의 유출특성 및 계류수의 수질변화 분석. 영남대학교 대학원 석사학위논문. 74p.
- 박재철 · 이현호. 2000. 유출량의 변화가 산지 계류수의 수질변화에 미치는 영향-팔공산유역을 대상으로-. 한국임학회지 89(3) : 342-355.
- 박재현 · 우보명. 1989. 비탈면의 동결융해 침식에 관한 연구, 서울대 농학연구 14(1) : 9-15.
- 박재현. 1999. 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수질 특성. 한국임학회지 88(1) : 101-110.
- 박재현 · 우보명 · 김우룡 · 안현철 · 조현서 · 추갑철 · 김춘식 · 최형태. 2001. 북한산국립공원의 계류수질 보전 전략(I). 한국환경복원녹화기술학회지 4(3) : 30-37.
- 오영민 · 신석봉. 1991. 수질관리. 신광문화사.
- 이현호. 1997. 산지 물순환 소과정에 있어서 수질변화의 추적분석에 의한 산림의 환경적정화기능의 계량화 연구. 한국임학회지 86(1) : 56-68.
- 전상린 · 황중서. 1993. 지리산의 칠선계곡, 백무동계곡 및 뱀사골계곡의 수환경과 담수어류상. 한국자연보존협회 조사보고서 제31호 : 141-151.
- 전상린 · 황중서. 1995. 소백산 국립공원 계류의 수환경 및 담수어류상. 한국자연보존협회 33 : 141-149.
- 전재홍. 1995. 산지물순환소과정에서 산도, 전기전도도, 용존산소 및 수량 측정에 의한 수질변화의 분석. 영남대학교 대학원 석사학위논문. 44p.
- 平井敬三 · 加藤正樹 · 岩川雄幸 · 吉田桂子. 1990. 樹幹流が林地土壤に與える影響(II)-スギ・ヒノキ林における林外雨, 林内雨, 樹幹流, 土壤水のpH-. 日林論 101 : 243-245.
- 大類清和 · 生原喜久雄 · 相場芳憲. 1992. 降雨イベントの溪流水の溶存物質の流出特性と流出成分の分離. 日本林學會誌 74(3) : 203-212.
- 佐藤冬樹 · 野村 陵 · 榎本浩志 · 芦谷大太郎 · 笹架一郎. 1999. 北海道北部における春期融雪時期の酸性積雪からのイオン溶出. 北海道大學農學部演習林研究報告 56(2) : 1-10.
- 志水俊夫 · 藤枝基久 · 吉野昭一. 1987. 融雪期における河川水質の變動特性, 日林論 98 : 561-564.
- Bain, D. C., Mellor, A., Wilson, M. J. and Duthie, D. M. L. 1994. Chemical and mineralogical weathering rates and processes in an upland granitic till catchment in Scotland. Water Soil Air Pollut 73 : 11-27.

- Foster, N. W., J. A. Nicolson, and P. W. Hazlett. 1989. Temporal variation in nitrate and nutrient cations in drainage waters from a deciduous forest. *Journal of Environmental Quality* 18(2) : 238-244.
- 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.
- Helliwell, R. C., C. Soulsby, R. C. Ferrier, A. and Jenkins, R. Harriman. 1998. Influence of snow on the hydrology and hydrochemistry of the Allt a' Mharcaidh, Cairngorm mountains, Scotland. *The Science of the Total Environment* 217 : 59-70.
- Heuer, K., Brooks, P. D. and Tonnessen, K. A. 1999. Nitrogen dynamics in two high elevation catchments during spring snowmelt 1996, Rocky Mountains, Colorado. *Hydrological Processes* 13 : 14-15.
- Jenkins, A., Ferrier, R. and Waters, D. 1993. Meltwater chemistry and its impact on stream water quality. *Hydrol. Process* 7 : 193-203.
- Johannessen, M., Skartveit, A. and 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.*
- Maeda, T., S. Kinoshita, S. Sato, and A. Ujiie. 1994. Design of a snow melting tank using treated wastewater. *Water Science and Technology* 29 : 1-2.
- Margaret Neal, Colin Neal and Gerhard Brahmmer. 1997. Stable oxygen isotope variations in rain, snow and streamwaters at the Schluchsee and Villingen sites in the Black Forest, SW Germany. *Journal of Hydrology* 190 : 102-110.
- McGlynn, B. L., J. J. McDonnell, J. B. and Shanley, C. Kendall. 1999. Riparian zone flowpath dynamics during snowmelt in a small headwater catchment. *Journal of Hydrology* 222 : 75-92.
- Murdoch, P. S., Baron, J. S. and 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. and 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. and 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. and Harriman, R. 1997. Seasonal snowpack influence on the hydrology of a subarctic catchment in Scotland. *Journal of Hydrology* 192 : 17-32.
- Soulsby, C., Chen, M., Ferrier, R. C., Helliwell, R. C., Jenkins, A. and Harriman, R. 1998. Hydrogeochemistry of shallow groundwater in an upland Scottish catchment. *Hydrology Proc.* (in press).
- Warren, J. S. 1985. Hydrology of the River Dee and its tributaries. *The biology and management of the River Dee. Monks Wood* : 29-33.
- Williams, J. M. and Melack, J. M. 1991. Solute chemistry of snowmelt and runoff in an alpine basin, Sierra Nevada. *Water Resources Research* 27 : 1575-1588.

接受 2003年 3月 3日