Korean J. Limnol. 36 (2) : 200~207 (2003)

동결융해침식토사가 계류수의 수질에 미치는 영향
- 북한산국립공원 북동사면 일대를 중심으로 -

박 재 현

(진주산업대학교 산림자원학과)

Influences of the Solifluction Soil on the Physicochemistry of Stream Water Quality -With a Special Reference on Northeastern Side Slopes Area of Bughansan National Park-. *Park, Jae-Hyeon* (*Department of forest resources, Jinju National University, Jinju, 660-758, Korea*)

This research was conducted to investigate the influences caused by solifluction soil on the physicochemistry of stream water quality in the riparian area: four points of the northeastern side slopes part of the Bughansan National Park from March to May of 2002. The average pH of stream water was relatively high with the influence of solifluction soil. The average electrical conductivity of upstream water was 2.1~2.8 times lower than that in downstream water. pH and amount of anion (Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}) of stream water was correlated under the effect of solifluction soil.

Key words : Bughansan National Park, physicochemistry, solifluction soil

서 론

계류 수질은 계절에 따라 차이를 나타내는데 (Skreslet *et al*., 1976; Rosengvist, 1978), 특히 동계에 내리는 강설은 수질과 토양생물에 중요한 역할을 하며, 융설수로부터 계류 수질의 영향은 토양수, 지하수 및 모암으로부터의 유출농도에 따른 차이로 나타난다 (Bain *et al*., 1994; Soulsby *et al*., 1998). 즉, 융설수의 증가로 눈에 집적되어 있던 Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-} 등 음이온이 계류로 유출되면 계류수의 pH가 낮아진다 (Peters and Leavesley, 1995; Soulsby *et al*., 1997).

Helliwell *et al*. (1998)은 스코틀랜드에서 오염된 눈으로부터 융설수가 수생태계에 악영향을 미치는 직접적인 영향요인으로 작용하는데, 가장 영향이 큰 인자는 Cl^-, SO_4^{2-}라고 하였다. 또한, Robert *et al*. (1997)은 강설 등으로 인한 얼음에 집적되는 이온은 고도가 높아짐에 따라 증가하였고, 적설 또는 수중 이온 중에서 NH_4^+와 NO_3^-가 가장 영향이 컸으며, 특히 SO_4^{2-}의 집적은 북동방위에서 가장 영향이 컸다고 하였다. Hazlett *et al*. (1992)은 산림토양이 융설수의 수질에 영향을 미치는 주요한 인자이고, 융설수는 이러한 표층토양과의 관계로 인해 계류수의 산성화를 촉진시키는 주요한 요인이라고 하였다. 한편, McGlynn *et al*. (1999)은 계류에서 Ca^{2+} 집적은 유기물두께와 관계가 깊고, 용존유기탄소는 그 반대로 작용한다고 하였으며, 계류에서 Ca^{2+} 집적은 눈이 녹을 때 많이 발생한다고 하였다.

Stottlemyer and Toczydlowski (1999)는 봄의 융설수가 토양에 축적되어 있는 다량의 NO_3^-를 계류로 유출시킬 뿐만 아니라 표층토양에 축적되어 있는 용존유기탄소와 다른 이온들도 계류로 유출시킨다고 하였다. Williams and Melack (1991), Jenkins *et al*. (1993)도 적설에 용존되어 있는 이온보다 융설수 중의 이온농도가 높아지는데, 이는 융설수가 표층토양과 암석의 접촉으로

* Corresponding author: Tel: 055) 751-3248, Fax: 055) 751-3241, E-mail: pjh@jinju.ac.kr

Table 1. Characteristics of sites during the study period (2002. 3～2002. 5).

Site no.		Slope (°)		Stand	Crown-Cover Rates (%)	Average of Width of riparian (m)	
		Left	Right			Left	Right
Watershed I	1	21	21	Mixed	35	6.5/6～7	7.3/6.5～8
	3	30	30	Mixed	40	6.3/5.5～7	7.5/7～8
Watershed II	2	28	24	Mixed	45	5/4～6	4.3/3.5～5
	4	22	22	Mixed	23	6.5/6～7	7.3/6.5～8

인하여 용존되는 이온이 증가하기 때문이라고 하였다. Murdoch *et al.* (2000)은 봄에 온도 상승으로 인한 융설수가 동결융해침식 토사와 함께 수질저하를 발생시키는 원인이며, 이로 인해 생태계까지 좋지 않은 영향을 미친다고 하였다. 또한, 佐藤 등(1999)은 융설수의 화학적 조성이 유럽과 북미지역에서 산림생태계에 심각한 영향을 미치고 있는데, 이는 이른 봄 동안 눈에 축적된 산성물질로 인하여 빠르고도 일시적으로 계류수를 산성화시킴으로써 수생태계에 영향을 미치기 때문이라고 하였다. Heuer *et al.* (1999)은, 토양은 봄에 N의 유출과정에서 중요한 위치를 차지하며, alpine 토양은 계류에서의 주요한 N 공급원이라고 하였다.

Berg (1992)는 늦은 겨울과 이른 봄 사이에 융설수로 인한 계류의 유출량이 가장 많은데, 이는 눈이 녹는 과정은 눈의 크기, 구조 등에 따라 다르기 때문이라고 하였고, Ferrier *et al.* (1995), Helliwell *et al.* (1998)은 눈에 각종 이온성분이 많이 축적되는 원인은 대기 중의 오염물 때문이라고 하였다. 또한, Maeda *et al.* (1994)은 융설수에 의한 경제적 피해를 분석하였고, Margaret *et al.* (1997)도 강우에 따른 융설수는 직접적으로 계류수질에 영향을 준다고 하였다. 한편, 융설수 및 동결융해침식 토사에 따른 계류수질의 영향에 대한 연구는 국내에서 전무한 실정으로 강설이 많이 내린 해나 겨울 기온의 변동이 큰 해에는 융설수나 동결융해침식에 의한 계류수의 pH 저하 등 계류수질에 영향이 클 것으로 생각된다 (박 등, 2001). 따라서 본 연구는 계류수질에 미치는 동결융해침식토사의 영향을 파악함으로써 장래 계류수질 보전을 위한 과학적 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

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° 범위이었다. 계류변 식생의 상층식생울폐도는 23～45% 범위로 낮았는데, 이는 계절에 따른 활엽수의 낙엽 때문이었다. 계류변의 폭은 좌측이 5/4～6 m～6.5/6～7 m 범위이었고, 우측이 4.3/3.5～5 m～7.5/7～8 m 범위이었다. 조사유역은 I과 II (Fig. 1)의 상류유역 (site 1과 2)과 하류유역 (site 3과 4)으로 구분하였다.

2. 연구방법

수질 조사지점은 I유역과 II유역 공히 상시 계류가 흐르는 4개 지점에서 2002년 3월부터 5월까지 매월 1회씩 총 3회, 각 조사지점에서 계류수를 1 *l*씩 채수하여 수질 분석하였다. 융설수의 수질에 영향이 큰 상주로 인해 동결융해 침식되는 계류변 토양 (Heuer *et al*., 1999; Murdoch *et al*., 2000)의 화학적 특성을 분석하기 위하여 계류로부터 좌, 우측사면으로 구분하고, 산지사면의 경사가 변하는 지점까지의 거리를 평균하여 계류 유하 방향으로부터 좌, 우 각각 1 m, 2 m, 3 m를 하여 총 6개 지점에서 동결융해 침식토사를 500 g 채취하여 원심분리한 후 채취한 용액을 이온 분석하였다. 동결융해침식되어 계류로 유출되는 토사량은 계류변에 연접하여 침식된 토사량으로 계산하였다. 또한, 계류변에서 계류수의 수질분석은 선행연구결과 (박, 1996) 계류수질 평가인자라 판단되는 pH (HI 8314 meter), 전기전도도 (Conductivity meter, CM-14P)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 0.45 μm의 필터에 각각 2회 통과시킨 후 Ion Chromatography로 분석하였다. 유량은 유속계를 이용한 유속과 최고 수위 및 단면적을 측정하여 계산하였다. 토양용액은 계류수질과

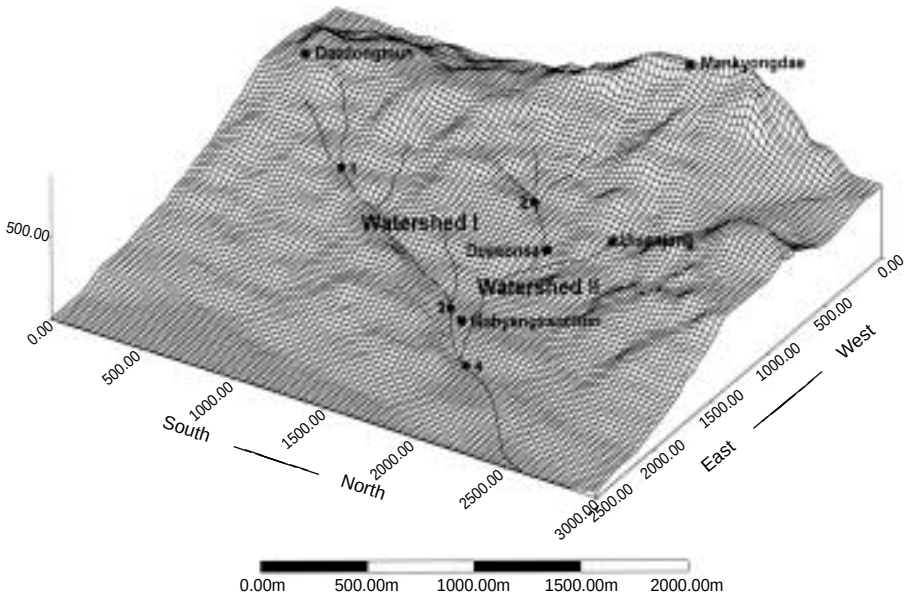

Fig. 1. Map of study sites at northeastern area in Bughansan National Park (● means stream water sampling site).

동일한 방법으로 동일한 항목에 대하여 분석하였다. 또한, 계류수질의 이화학성에 미치는 동결융해침식토사에 대한 통계적 분석은 Spss/pc+를 이용하여 직선회귀분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 계류수의 이화학성에 미치는 동결융해침식토사 분석

1) 유출토사량

봄기간 동안 융설수에 동반하여 계류로 유입되는 동결융해침식 토사량은 계류수질 변동에 큰 영향을 미친다(Soulsby *et al*., 1997; Stottlemyer and Toczydlowski, 1999; 박 등, 2001). 조사기간 동안 북한산국립공원 북동사면 일대 계류변에서 동결융해 침식되어 계류로 유출된 토사량은 Table 2와 같다.

조사기간 동안 계류변 비탈면에서 동결융해침식 되어 유출된 토사량은 0.27～0.33 kg/m^{2}이었다. 또한, 하류유역에서는 0.45～0.70 kg/m^{2}이었다. 아울러 동결융해침식되어 유출된 토사량은 하류유역이 상류유역보다 약 1.4～2.6배 많았는데, 이는 하류유역에서 융설수에 의한 유량이 풍부하였고 이로 인하여 계류변에서 동결융해침식된 토사가 계류로 쓸려 내려갔기 때문으로 생각된다(박과 우, 1989).

Table 2. Average amount of the caused by solifluction soil in survey site during the study period (2002. 3～2002. 5).

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

2) 동결융해침식 토사가 계류수질에 미치는 영향

봄기간 동안 계류수의 수질특성 중 산성화에 영향을 미치는 동결융해침식 토사에 용존되어 있는 Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-} (Stottlemyer and Toczydlowski, 1999; Heuer *et al*., 1999; Murdoch *et al*., 2000) 등 음이온량을 분석한 결과는 Table 3과 같다. Table 3에서 A, B, C는 동결융해침식토사 조사구 좌, 우 1, 2, 3 m에서 각각의 평균을 의미한다.

사면에서 동결융해침식 된 토사의 평균 pH는 상류유역과 하류유역에서 5.31～6.01 범위로 모두 약산성을 나타내었다. 또한, 하류유역의 평균 pH는 상류유역보다 비교적 높은 값을 나타내었다. 이때 계류수의 pH는 6.32～6.59 범위로 하류유역의 평균값이 상류유역의 평균값보다 높은 결과를 나타내었다. 이와 같은 결과는 하류유역에서의 유량의 증가, Ca^{2+}, Mg^{2+} 등 용존 양이온의 상대적인 증가 등에 기인하는 결과 때문이라 생각된다.

이와 같이 봄기간 동안 계류수의 pH가 약산성을 나

Table 3. Amount of average of pH, Cl^-, NO_3^- and SO_4^{2-} in the caused by solifluction soil.

Site no.	pH			Cl^-(mg/l)			NO_3^-(mg/l)			SO_4^{2-}(mg/l)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
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

Note : A, B and C means number of survey.

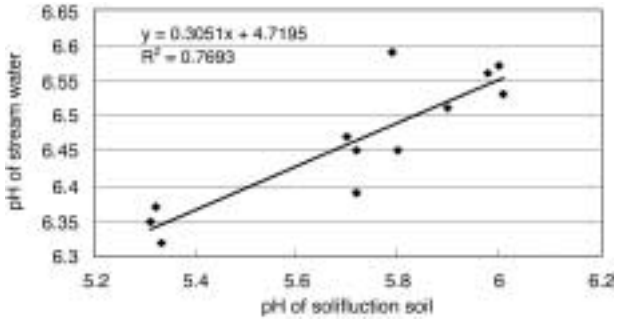

Fig. 2. Linear regression of average pH of stream water and the caused by solifluction soil.

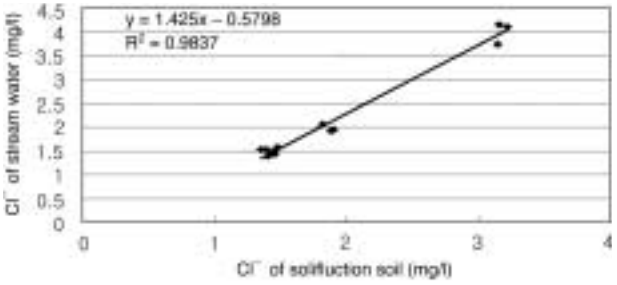

Fig. 3. Linear regression of average Cl^- of stream water and the caused by solifluction soil.

타내는 것은 동결융해침식 토사가 계류로 유출되면서 계류수의 pH에 영향을 미친 것으로 볼 수 있다. 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, 본 연구결과와 유사하였다.

동결융해침식 토사의 평균 pH와 계류수의 pH를 직선회귀 분석한 결과(Fig. 2) 계류수의 pH는 동결융해침식 토사의 평균 pH와는 정의 상관관계를 나타내었고, 77%의 설명역을 나타내었다. 이를 직선회귀식으로 나타내면, 계류수의 pH = 0.3051 × 동결융해침식 토사의 평균 pH + 4.7195 (R^2 = 0.77)이었다.

한편, 사면에서 동결융해 침식된 토사의 평균 Cl^-량은 상류유역과 하류유역에서 모두 1.35 ~ 3.23 mg/l의 범위로 하류유역이 상류유역보다 약 0.8 ~ 2.4배 많았다. 이는 하류유역이 상류유역에서 유입되는 유출토사량의 증가 등에 영향을 많이 받았음을 의미하는 것이다(Soulsby *et al.*, 1997; Stottlemyer and Toczydlowski, 1999).

또한, McGlynn *et al.* (1999)에 의하면 봄기간 동안 계류 수질의 변동은 동결융해침식 토사의 유출 등 눈이 녹을 때 많이 발생한다고 하였고, 계류수질에는 표층토와 융설수의 영향이 크다고 하였는데, 이는 이 연구에서의 결과와 유사한 의미를 갖는 것이다. 즉, 계류수에 용존된 Cl^-량과 동결융해침식 토사에서의 평균 Cl^-량과의 관계를 직선회귀 분석한 결과(Fig. 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 × 동결융해침식 토사에서의 평균 Cl^-량 − 0.5798 (R^2 = 0.98)이었다.

사면에서 동결융해 침식된 토사의 평균 NO_3^-량은 상류유역과 하류유역에서 3.50 ~ 14.07 mg/l 범위이었고, 하류유역이 상류유역보다 약 1.7 ~ 4배 많았다. 이는 하류유역에서 동결융해 침식된 토사량이 많았고, 이러한 침식토사에 용존되어 있는 Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-} 등 음이온이 융설수에 동반하여 계류로 유입되었음을 의미하는 결과이다(Peters and Leavesley, 1995; Soulsby *et al.*, 1997; Stottlemyer and Toczydlowski, 1999). 즉, 계류수에 용존된 NO_3^-량과 동결융해침식 토사에서의 평균 NO_3^-량과의 관계를 직선회귀 분석한 결과(Fig. 4), 계류수에 용존된 NO_3^-량과 동결융해침식 토사에서의 평균 NO_3^-량은 정의 상관관계를 가지며 99%의 설명역을 나타내었다. 이를 직선회귀식으로 나타내면, 계류수에 용존된 NO_3^-량 = 1.0454 × 동결융해침식 토사에서의 평균 NO_3^-량 + 0.0859 (R2 = 0.99)이었다. 이와 같은 결과는 Robert *et al.* (1997)이 보고한 봄기간 동안 계류수질 변동에 NO_3^-

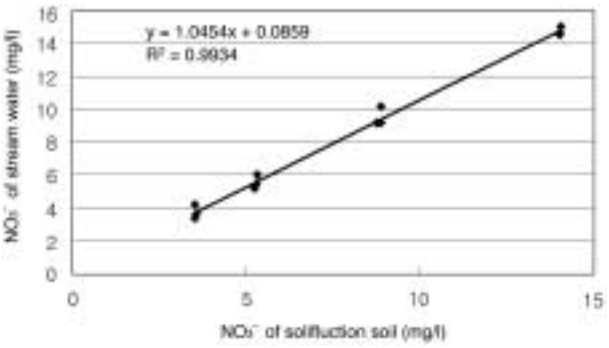

Fig. 4. Linear regression of average NO_3^- of stream water and the caused by solifluction soil.

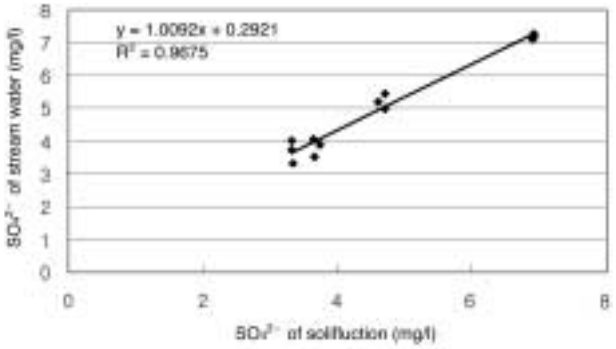

Fig. 5. Linear regression of average SO_4^{2-} of stream water and the caused by solifluction soil.

량이 유의했다는 연구결과를 뒷받침하는 결과이다.

또한, 사면에서 동결융해 침식된 토사의 평균 SO_4^{2-}량은 상류유역과 하류유역에서 모두 3.32～6.93 mg/l 범위이었고, 하류유역이 상류유역보다 약 1.2～2.1배 많았다. 이는 하류유역에서 동결융해침식 토사량이 많았고, 상류유역의 계류수가 합류되는 등 침식토사에 용존되어 있는 Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-} 등의 음이온이 융설수에 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^-, NO_3^-, SO_4^{2-} 등의 음이온을 계류로 유출시켜 계류수의 pH를 낮추고 계류수에 용존되는 Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-} 등의 양을 증가시킨다고 하였는데, 이 연구에서도 그와 같은 결과를 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 (Fig. 5), 계류수에 용존된 SO_4^{2-}량과 동결융해침식 토사에서의 평균 SO_4^{2-}량은 정의 상관관계를 가지며 97%의 설명역을 나타내었다. 이를 직선회귀식으로 나타내면, 계류수에 용존된 SO_4^{2-}량 = 1.0092 × 동결융해침식 토사에서의 평균 SO_4^{2-}량 +0.2921 (R^2 = 0.97)이었다.

2. 조사유역에서 계류수의 수질특성

1) pH

각 수질조사지점에서 계류수의 pH 변화는 Fig. 6과 같다. I유역과 II유역 내 4개 수질조사지점에서의 수질분석 결과 평균 pH는 pH 6.46 (6.32～6.59)으로 그 변화폭이 적고 보건복지부 하천수질환경기준에 의한 상수원수 1급수에 접근하는 약산성을 띠는 경향을 나타내었다.

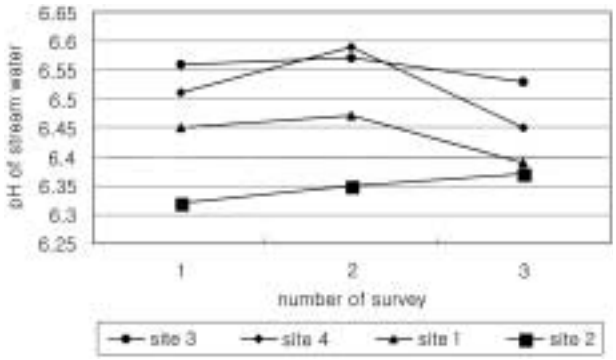

Fig. 6. Variations of pH of stream water during March to May of 2002.

이때 봄기간 동안 유량이 적고 고도가 높으며 오염원(음식점 등)의 인위적인 영향이 없는 상류유역에서의 평균 pH는 6.39 (6.32～6.47)로, 유량이 많고 고도가 낮으며 인위적 영향이 있는 하류유역에서의 평균 pH의 값인 6.54 (6.45～6.59)보다 비교적 낮은 값을 나타내 봄기간 동안에는 유량이 적고 인위적 오염이 없는 상류유역 계류수의 pH는 유량이 많고 인위적 오염이 발생되는 하류유역에서의 pH와 다른 양상을 나타내는 것으로 분석되었다. 즉, 상류유역에서는 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

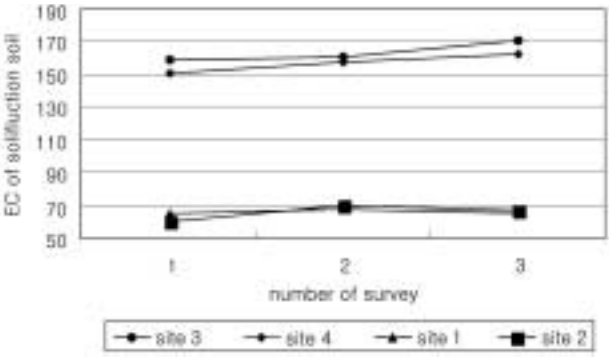

Fig. 7. Variations of electrical conductivity of stream water during March to May of 2002.

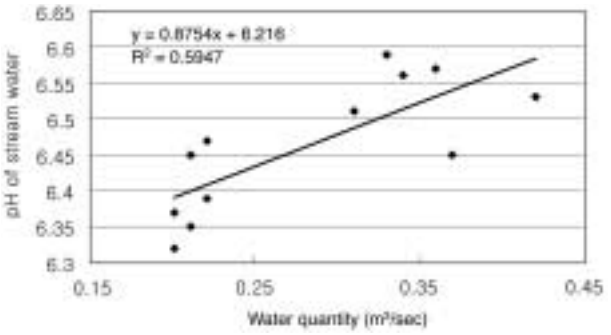

Fig. 8. Linear equation for stream water quantity (m^3/sec) and pH.

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 것(오와 신, 1991; 강 등, 1996)으로 생각된다.

2) 전기전도도

봄기간 동안 I유역과 II유역의 상류유역에서 계류수에 용존되어 있는 이온총량을 나타내는(박, 1999) 전기전도도(Fig. 7)의 평균값은 66.3 μS/cm (60.5～70.3 범위)으로 하류유역의 값 160.0 μS/cm (150.3～170.6 범위)보다는 작았다. 즉, 평균값으로 본 전기전도도는 하류유역이 상류유역보다 약 2.1～2.8배 높은 값을 나타내어 계류의 상류보다 하류에서의 오염현상이 큰 것으로 나타났다. 이는 동결융해침식토사의 직접적인 영향보다도 주변 오염원으로부터 배출된 오염수가 유입된데 기인한 결과라 생각된다(박 등, 2001). 이와 같이 하류유역에서의 전기전도도가 높게 나타난 것은 청정한 산림내 계류수인 지리산 칠선계곡, 백무동계곡, 뱀사골계곡의 전기전도도 19.7～73.4 μS/cm (전과 황, 1993), 소백산국립공원내 계류수의 전기전도도 27～40 μS/cm (전과 황, 1995)보다 약 2.0～8.7배로 높았다. 이는 점 또는 비점오염원에서 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(박 등, 2001).

3. 계류수의 pH, 전기전도도와 유량과의 관련성

1) 계류수의 pH와 유량

봄기간 동안 계류수에서 pH와 유량과의 관계를 직선회귀 분석한 결과(Fig. 8), 직선회귀식은, 계류수의 pH = 0.8754 × 유량 + 6.216 (R^2 = 0.60)이었다. 이것은 大類 등(1992)이 보고한 것처럼 계류수의 pH는 유량이 증가할수록 농도가 하강하고, 유량이 감소하면 농도가 상승하는 관계를 나타내었다. 이 결과는 平井 등(1990)의 보고와 일치하는 결과이었다. 그러나 박과 이(2000)는 유량이 증가하면 pH가 낮아지다가 첨두유량을 전환점으로 유출량이 감소하면 pH가 높아졌다고 보고하여 이 연구결과와는 상반되는 결과이었다. 따라서 이와 같은 결과는 입지적, 계절적 특성 등에 따른 차이에 기인하는 결과로 생각되며, 보다 구체적인 자료의 보충으로 융설 계류수의 pH와 유량과의 관계를 구명할 필요가 있을 것으로 생각된다.

2) 계류수의 전기전도도와 유량

봄기간 동안 동결융해침식토사의 전기전도도와 유량과의 관계를 회귀분석한 결과(Fig. 9), 회귀식은, 계류수의 전기전도도 = 593.87 × 유량 − 54.65 (R^2 = 0.94)이었다. 즉, 大類 등(1992)이 보고한, 전기전도도는 유량의 증가와 함께 증가하였고, 유량감소시에는 감소한 결과와 일치하였다. 또한, 박(2000)이 보고한 유량이 증가할수록 전기전도도는 높아지고, 유량이 감소할수록 전기전도도는 낮아졌다는 결과와 일치하였다.

이와 같은 결과는 계류수질 오염의 지표인 전기전도도의 상승은 유량 증가에 따라 영향이 크고, 특히 봄기간 동안에는 동결융해침식 토사의 계류로의 유입에 의한 Cl^{-}, NO_3^{-}, SO_4^{2-} 등 음이온 량의 증가에 기인하는 결과 때문이라 생각된다. 그러나 志水 등(1987)은 유량이

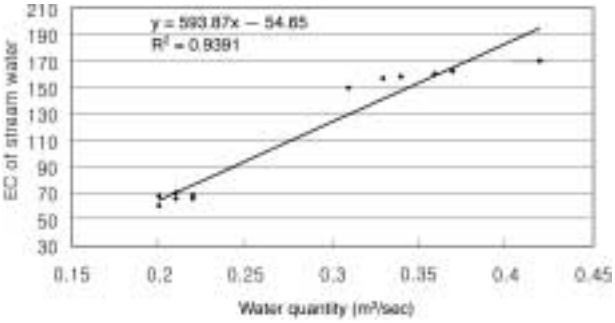

Fig. 9. Linear equation for stream water quantity (m^3/sec) and electrical conductivity.

증가할 수록 전기전도도는 낮아지며, 유량이 감소할 수록 전기전도도는 높아진다고 하여 이 연구와는 다른 결과를 나타내었다. 또한, 이(1997)도 계류수의 pH, 용존산소량은 유출수량의 증가에 따라 값이 상승하나, 전기전도도 값은 낮아졌다고 하였는데, 이는 모암 등 입지적, 지역적 및 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.

결과적으로 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수의 수질보전을 위해서는 계류변에서의 동결융해침식 토사의 유입을 방지하기 위한 대책이 필요하였다. 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 판단된다. 본 연구에서는 현장여건 등의 사유로 인해 강수에 대한 자료를 수집하지 않아 분석에 포함시키지 못했으나 동결융해침식토사와 강수량과는 밀접한 관계를 갖는 것으로 볼 수 있어 장래 계속적인 연구를 위해서는 강수에 대한 자료의 수집이 중요할 것으로 생각된다.

적 요

본 연구는 북한산국립공원 북동사면 일대에서 계류수질에 미치는 동결융해침식토사의 영향을 파악함으로써 국립공원내 계류수질 보전을 위한 과학적 기초 자료를 제공하기 위하여 2002년 3월부터 5월까지 수행하였다. 조사기간 동안 계류수의 평균 pH는 동결융해침식토사의 평균 pH보다 높았으며, 계류수의 평균 전기전도도는 상류유역이 하류유역보다 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.

인 용 문 헌

강병욱, 이학성, 김희강. 1996. 청주시 여름과 겨울철의 산성오염물질에 대한 특성 비교, 대한환경공학회지 **18**: 1-8.

박재철. 2000. 물순환모델에 의한 산지소유역의 유출특성 및 계류수의 수질변화 분석, 영남 대학교 대학원 석사학위논문. 74p.

박재철, 이헌호. 2000. 유출량의 변화가 산지 계류수의 수질변화에 미치는 영향-팔공산유역을 대상으로-, 한국임학회지 **89**: 342-355.

박재현, 우보명. 1989. 비탈면의 동결융해 침식에 관한 연구, 서울대 농학연구 **14**: 9-15.

박재현. 1996. 산림유역에 있어서 계류수질 평가기준 정립에 관한 고찰(II), 자연보존 **95**: 38-52.

박재현, 우보명, 김우룡, 안현철, 조현서, 추갑철, 김춘식, 최형태. 2001. 북한산국립공원의 계류수질 보전 전략(I), 한국환경복원녹화기술학회지 **4**(3): 30-37.

오영민, 신석봉. 1991. 수질관리, 신광문화사.

이헌호. 1997. 산지 물순환 소과정에 있어서 수질변화의 추적분석에 의한 산림의 환경적 정화기능의 계량화 연구, 한국임학회지 **86**: 56-68.

전상린, 황종서. 1993. 지리산의 칠선계곡, 백무동계곡 및 뱀사골계곡의 수환경과 담수어류상, 한국자연보존협회 조사보고서 **31**: 141-151.

전상린, 황종서. 1995. 소백산 국립공원 계류의 수환경 및 담수어류상, 한국자연보존협회 조사보고서 **33**: 141-149.

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, 林內雨, 樹幹流, 土壤水のpH-, 日林論 **101**: 243-245.

大類淸和, 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**: 203-212.

佐藤冬樹, 野村 [illegible], [illegible]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., A. Mellor, M.J. Wilson, and D.M.L. Duthie. 1994. Chemical and mineralogical weathering rates and processes in an upland granitic till catchment in Scotland. *Water Soil Air Pollut* **73**: 11-27.

Berg, N.H. 1992. Ion elution and release sequence from deep snowpacks in the Central Sierra Nevada, Califor-

nia. *Water Air Soil Pollut* **61**: 139–168.

Ferrier, R.C., A. Jenkins, and D.A. Elston. 1995. The composition of rime ice as an indicator of the quality of winter deposition. *Environ Pollut* **87**: 259–266.

Hazlett, P.W., M.C. English, and N.W. Foster. 1992. Ion enrichment of snowmelt water by processes within a po-dzolic soil. *Journal of Environmental Quality* **21**: 102–109.

Helliwell, R.C., C. Soulsby, R.C. Ferrier, A. Jenkins, and R. Harriman. 1998. Influence of snow on the hydrology and hydrochemisstry of the Allt a' Mharcaidh, Cairngorm mountains, Scotland. *The Science of the Total Environment* **217**: 59–70.

Heuer, K., P.D. Brooks, and K.A. Tonnessen. 1999. Nitrogen dynamics in two high elevation catchments during spring snowmelt 1996, Rocky Mountains, Colorado. *Hydrological Processes* **13**: 14–15.

Jenkins, A., R. Ferrier, and D. Waters. 1993. Meltwater chemistry and its impact on stream water quality. *Hydrol. Process* **7**: 193–203.

Johannessen, M., A. Skartveit, and R.F. Wright. 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 Brahmer. 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. Shanley, and C. Kendall. 1999. Riparian zone flowpath dynamics during snowmelt in a small headwater catchment. *Journal of Hydrology* **222**: 75–92.

Murdoch, P.S., J.S. Baron, and T.L. Miller. 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 G.H. Leavesley. 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., A.T. Charles, and M. Dan. 1997. Change in snowpack, soil water, and streamwater chemistry with elevation during 1990, Fraser Experimental Forest, Colorado. *Journal of Hydrology* **195**: 114–136.

Rosengvist, I.T. 1978. Total Environment. *Science* **10**: 39.

Skreslet, S., Leinebψ, J.B.L. Matthews, and E. Sakshang. 1976. Association of Norwegian Oceanographers.

Stottlemyer, R. and D. Toczydlowski. 1999. Seasonal change in precipitation, snowpack, snowmelt, soil water and streamwater chemistry, northern Michigan. *Hydrological Processes* **13**: 14–15.

Soulsby, C., R.C. Helliwell, R.C. Ferrier, A. Jenkin, and R. Harriman. 1997. Seasonal snowpack influence on the hydrology of a subarctic catchment in Scotland. *Journal of Hydrology* **192**: 17–32.

Soulsby, C., M. Chen, R.C. Ferrier, R.C. Helliwell, A. Jenkins, and R. Harriman. 1998. Hydrogeochemistry of shallow groundwater in an upland Scottish catchment. *Hydrology Proc.* (in press).

Williams, J.M. and J.M. Melack. 1991. Solute chemistry of snowmelt and runoff in an alpine basin, Sierra Nevada. *Water Resources Research* **27**: 1575–1588.

(Received 4 Mar. 2003, Manuscript accepted 20 May 2003)