

계류수의 이화학성에 미치는 동결융해침식토사의 영향

박재현¹⁾ · 이승우²⁾ · 최형태²⁾

¹⁾ 진주산업대 산림자원학과 · ²⁾ 임업연구원 임지보전과

Influences of the Solifluction Soil on the Physicochemistry of Stream Water Quality Jae Hyeon Park¹⁾, Seung-Woo Lee²⁾ and Choi, Hyung-Tae²⁾

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

²⁾ Korea Forest Research Institute, Seoul, Korea

ABSTRACT

This research was conducted to investigate the influences caused by solifluction soil on the physicochemistry of stream water quality at the riparian area four points in the northeastern part of the Bughansan National Park from March to May of 2001. The average pH of stream water was higher than those in the caused by solifluction soil. The average electrical conductivity of upstream water was about 0.8~1.7 times lower than those in the caused by solifluction soil, but the average electrical conductivity of downstream water was about 1.6~3.8 times higher than those in the caused by solifluction soil. Therefore, these results showed that the water quality of downstream was worse than that of upstream. Twelve factors including the physicochemistry on the stream water and caused by solifluction soil were analyzed by spss/pc+ for the data collected from during March to May of 2001. pH of stream water was very significantly correlated with pH and electrical conductivity at the caused by solifluction soil. And the electrical conductivity of stream water was very significantly correlated with electrical conductivity and the amount of cation(Na^+ , NH_4^+ , Mg^{2+}) at the caused by solifluction soil.

Key words : *Bughansan National Park, physicochemistry, solifluction soil*

I. 서 론

계류수질은 계절에 따라 차이를 나타내는데 (Skreslet *et al.*, 1976; Rosengvist, 1978), 특히 동계에 내리는 강설은 수질과 토양생물에 중요한 역할을 하며, 융설수로부터 계류수질의 영향은 토양수와 지하수 그리고 모암으로부터의 유출 농도에 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 유출되어 계류수의 pH가 낮아진다(Peters and Leavesley, 1995; Soulsby *et al.*, 1997).

Helliwell 등(1998)은 스코틀랜드에서 오염된 눈으로부터의 융설수가 수생태계에 악영향을 미치는 직접적인 영향요인으로 작용하는데, 가장 영향이 큰 인자는 Cl^- , SO_4^{2-} 라고 하였다. 또

한, Robert 등(1997)은 강설 등으로 인한 얼음에 집적되는 이온은 고도가 높아짐에 따라 증가하고, NH_4^+ 와 NO_3^- 가 가장 영향이 컸으며, SO_4^{2-} 의 집적은 NE방위에서 가장 영향이 컸다고 하였다. Hazlett 등(1992)은 산림토양이 용설수의 화학성에 영향 하는 주요한 인자이고, 용설수는 이러한 표층토양과의 관계로 인해 계류수의 산성화를 촉진시키는 주요한 요인이라고 하였다. 한편, McGlynn 등(1999)은 계류에서 Ca^{2+} 집적은 유기물두께와 관계가 깊고, 용존유기탄소는 그 반대로 작용한다고 하였으며, 계류에서 Ca^{2+} 집적은 눈이 녹을 때 많이 발생한다고 하였다.

Stottlemyer와 Toczydlowski(1999)는 봄의 용설수가 토양에 축적되어 있는 다량의 NO_3^- 를 계류로 유출시킬 뿐만 아니라 표층토양에 축적되어 있는 용존유기탄소와 다른 이온들도 계류에 유출시킨다고 하였다. Williams와 Melack(1991), Jenkins 등(1993)도 적설에 용존되어 있는 이온보다 용설수 중의 이온농도가 높아지는데, 이는 용설수가 표층토양과 암석의 접촉으로 인하여 용존되는 이온이 증가하기 때문이라고 하였다. Murdoch 등(2000)은 봄에 온도 상승으로 인한 용설수가 동결융해침식 토사와 함께 수질저하를 발생시키는 원인이며, 이로 인해 생태계까지 좋지 않은 영향을 미친다고 하였다. 또한, 佐藤 등(1999)은 용설수의 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 등(1999)은, 토양은 봄에 N의 유출과정에서 중요한 위치를 차지하며, alpine 토양은 계류에서의 주요한 N 공급원이라고 하였다.

Berg(1992)는 늦은 겨울과 이른 봄 사이에 용설수로 인한 계류의 유출량이 가장 많은데, 이는 눈이 녹는 과정은 눈의 크기, 구조 등에 따라 다르기 때문이라고 하였고, Ferrier 등(1995), Helliwell 등(1998)은 눈에 각종 이온성분이 많이 축적되는 원인은 대기 중의 오염물 때문이

라고 하였다. 또한, Maeda 등(1994)은 용설수에 의한 경제적 피해를 분석하였고, Margaret 등(1997)도 강우에 따른 용설수는 직접적으로 계류수질에 영향 한다고 하였다. 그러나 용설수 및 동결융해침식 토사에 따른 계류수질의 영향에 대한 연구는 국내에서 전무한 실정으로 강설이 많이 내린 해나 겨울 기온의 변동이 큰 해에는 용설수나 동결융해침식에 의한 계류수의 pH 저하 등 계류수질에 영향이 클 것으로 생각된다(박재현 등, 2001).

따라서 이 연구는 계류수질에 미치는 동결융해침식토사의 영향을 파악함으로써 장래 계류수질 보전을 위한 과학적 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 조사구역의 개황

수질조사지점의 입지적 특성은 조사 구역의 대부분이 신갈나무 등 활엽수가 우점하고, 소나무가 혼재하며, 화강암을 모재로 한 갈색산림토양으로 구성되어 있다. 또한, 2000년 11월 1일부터 2001년 5월 6일까지 서울지역에 내린 적설량은 70.2cm로 1961년부터 1990년까지의 예년적설량 39.8cm의 약 2배에 달하였다(기상청, 2001). 수질조사지점과 인접한 계류변의 입지특성 및 동결융해침식으로 인한 유출토사량은 Table 1과 같다.

계류변 비탈면의 평균경사도는 21~30°이었다. 계류변 식생의 상층식생울폐도는 23~45%로 낮았는데, 이는 겨울에 따른 활엽수의 낙엽 때문이었다. 적설심은 구역 I과 II(Fig. 1) 모두 상류구역(조사지점 1과 2)에서 공히 28cm로 하류구역(조사지점 3과 4)의 적설심 27cm보다 높았고, 계류변의 평균폭은 좌, 우측사면 모두 4.3~7.5m의 범위 내였다. 한편, 동결융해침식으로 인하여 계류로 유입되어 유출된 토사량은 하류구역에서 각각 0.43, 0.67kg/m²로 상류구역의 값 0.32, 0.25kg/m²보다 약 1.3~2.7배 많아 하류구역이 상류구역보다 동결융해침식토사가 많은 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는 하

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

Site Number	Slope(°)		Stand	Crown-Cover Rates(%)	Snow depth (cm)	Amount of average of sediment runoff (kg/m ²)	Average of Width of riparian(m)		
	Left	Right					Left	Right	
Watershed I	1	21	21	Mixed	35	27	0.32	6.5/6~7	7.3/6.5~8
	2	28	24	Mixed	45	28	0.25	5/4~6	4.3/3.5~5
Watershed II	3	30	30	Mixed	40	28	0.43	6.3/5.5~7	7.5/7~8
	4	22	22	Mixed	23	27	0.67	6.5/6~7	7.3/6.5~8

류유역이 상류유역보다 유역면적이 넓고, 또한 상류유역에서 유출된 토사량까지 계류에 유입되었기 때문인 것으로 생각된다.

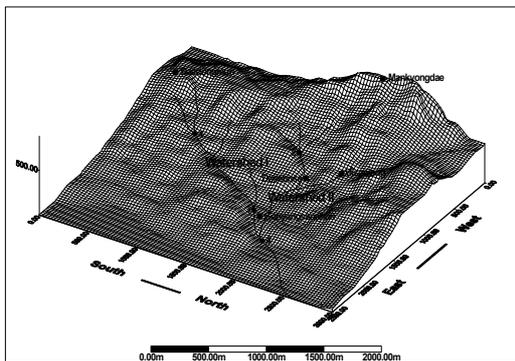


Fig. 1. Map of study sites at northeastern area in Bughansan National Park (● means stream water sampling site).

2. 연구방법

수질조사지점은 I 유역과 II 유역 공히 상시 계류가 흐르는 4개 지점에서 2001년 3월부터 5월까지 매주 1회씩 총 9회, 각 조사지점에서 계류수를 1ℓ 씩 채수하여 수질 분석하였고, 융설수의 화학성에 영향이 큰 상주로 인해 동결융해침식되는 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 1m, 2m, 3m 총 6개 지점에서 동결융해침식토사를 500gram 채취하여 원심분리한 후

채취한 용액을 이온 분석하였다. 계류수의 수질분석은 선행연구결과(박재현, 1996) 계류수질 평가인자라 판단되는 pH(HI 8314 Membrane pH meter), 전기전도도(Conductivity meter)는 현장에서 측정하였으며, 양이온(Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺) 5개 항목, 음이온(Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻) 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, 계류수질의 이화학성에 미치는 동결융해침식토사에 대한 통계적 분석은 spss/pc+를 이용하여 상관분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 계류수의 이화학성에 미치는 동결융해침식토사 분석

1) pH

봄기간 동안 각 수질조사지점에서 계류수와 동결융해침식토사의 평균 pH의 값을 비교한 결과(Fig. 2) 상류유역에서 계류수의 평균 pH는 각각 5.82, 6.31이었으나, 동결융해침식토사의 평균 pH는 각각 5.71, 5.60으로 계류수의 평균 pH보다 낮은 결과를 나타내었으며, 이와 같은 결과는 하류유역에서도 같은 결과이었다. 즉, 동결융해침식토사는 계류수의 pH보다 낮아 계류수의 pH를 낮추는 작용을 하는 것으로 분석되었다. 이는 Johannessen 등(1980), Soulsby 등

(1997)의 연구결과에서 처럼 동결융해침식토사가 계류수의 pH를 낮추는 기능이 있음을 의미하는 것이다.

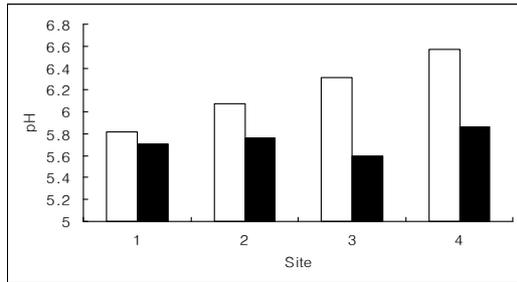


Fig. 2. Comparison of mean average of pH of stream water(□) and the caused by solifluction soil means average of pH of stream water(■).

한편, 봄기간 동안 상류유역에서의 평균 pH는 5.95(5.61~6.22)로, 하류유역에서의 평균 pH 6.44(6.14~6.74)보다 약 0.53(0.52~0.53) 낮은 값을 나타내었다. 이는 Helliwell 등(1998), 박재현 등(2001)이 보고한 것과 같이 동결융해침식토사의 유출로 인해 계류수의 pH가 낮아졌기 때문이라 생각된다. 또한, 봄기간 동안에는 유량이 적고 인위적 오염이 없는 상류유역 계류수의 pH는 유량이 많고 인위적 오염이 발생하는 하류유역에서의 pH와 다른 양상을 나타내었다. 즉, 상류유역에서는 이러한 결과가 선행 연구결과(Peters and Leavesley, 1995; Soulsby *et al.*, 1997)와 같이 지하수의 유출 및 눈이 녹은 물이 토양과 접촉하여 Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} 등 음이온이 계류로 유출되어 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 것(오영민과 신석봉, 1991; 강병욱 등, 1996)으로 생각된다.

즉, 봄기간 동안 계류수의 pH에 영향하는(Soulsby *et al.*, 1997; 박재현 등, 2001) Ca^{2+} , Na^+ 등 양이온을 분석한 결과, 평균 Ca^{2+} 농도는 하류유역에서 8.17(4.43~14.61)mg/l, 상류유역에서는 4.05(1.70~6.50)mg/l로 음식점 등에서

의 유출수가 함유하는 하류유역에서의 평균 Ca^{2+} 농도가 인위적 오염이 없는 상류유역에서보다 0.6배~8.6배 높은 것으로 분석되었다. 또한, 평균 Na^+ 농도도 하류유역에서는 9.15(5.47~16.35)mg/l, 상류유역에서는 5.06(3.30~7.10)mg/l로 음식점 등에서의 유출수가 함유하는 하류유역에서의 평균 Na^+ 농도가 인위적 오염이 없는 상류유역에서보다 0.8배~5.0배 높은 것으로 분석되었다. 따라서 산림에 인접한 대형 음식점에서의 유출수가 계류수의 pH를 높이는 등 자연적인 계류수의 pH에 영향을 미치는 것으로 분석되어, 산림내 계류수질평가기준 정립시(박재현, 1996) pH는 하천수질환경기준에 의한 pH와는 다른 양상을 나타내므로 이를 고려해 계류수질평가기준을 설정할 필요가 있을 것으로 생각된다. 한편, 계류수와 동결융해침식토사의 pH와의 관계를 직선회귀 분석한 결과(Fig. 3), [계류수의 pH] = 0.7749 x [동결융해침식토사의 pH] + 2.0161($R^2 = 0.5444$)로 계류수와 동결융해침식토사의 pH는 1% 수준에서 유의한 상관관계를 나타내었다.

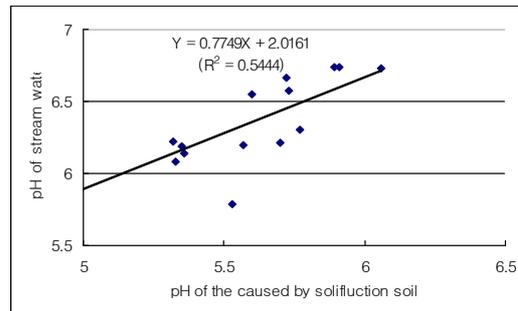


Fig. 3. Linear regression of average pH of stream water and the caused by solifluction soil.

2) 전기전도도

봄기간 동안 각 수질조사지점에서 계류수에 용존되어 있는 이온총량을 나타내는(박재현, 1996) 계류수와 동결융해침식토사의 평균 전기전도도의 값을 비교한 결과(Fig. 4) 상류유역에서 계류수의 평균 전기전도도는 각각 46.3, 43.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이었으나, 동결융해침식토사의 평균 전기전도도는 각각 73.4, 33.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 계류수의

평균 전기전도도보다 0.8~1.7배 높은 결과를 나타내었으나, 하류유역에서 계류수의 평균 전기전도도는 각각 127.2, 108.4 μ S/cm로, 동결융해 침식토사의 평균 전기전도도 각각의 값 33.8, 68.1 μ S/cm보다 1.6~3.8배 높은 결과를 나타내어 상류유역과는 상반되는 결과를 나타내었다.

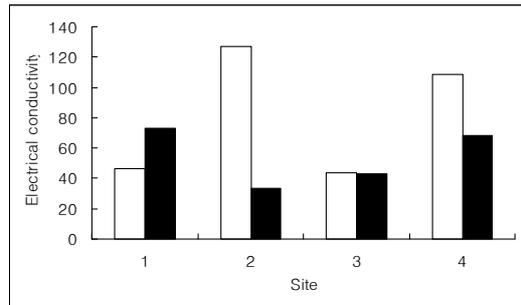


Fig. 4. Comparison of mean average of electrical conductivity(μ S/cm) of stream water(□) and the caused by solifluction soil means average of electrical conductivity of stream water(■).

이와 같은 결과는 I 유역과 II 유역을 총합적으로 분석했을 때의 결과인 상류유역에서 평균 전기전도도 44.8(38.1~45.8) μ S/cm와 하류유역에서의 평균 전기전도도 117.8(65.7~180.5) μ S/cm와 유사한 결과로, 하류유역 계류수의 평균 전기전도도가 상류유역에서보다 높은 결과는 하류유역에 분포해 있는 음식점 및 사찰에서 배

출하는 유출수의 영향에 기인하는 결과로 생각된다. 즉, 음식점 및 사찰에서 배출하는 유출수가 하류유역이 인위적 오염이 없는 상류유역보다 약 1.4~4.7배 높은 값으로 계류의 상류보다 하류에서의 오염현상이 큰 것으로 나타났다.

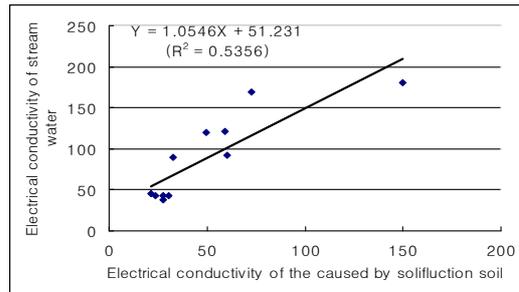


Fig. 5. Linear regression of average electrical conductivity of stream water and caused by solifluction soil.

따라서 청정지역이라고 생각되는 국립공원에 대해서는 사찰 및 음식점에서 배출하는 유출수에 대한 정기적인 검사와 그에 따른 수질보전 대책을 강구할 필요가 있다고 생각된다. 한편, 계류수와 동결융해침식토사의 전기전도도와와의 관계를 직선회귀 분석한 결과(Fig. 5), [계류수의 전기전도도] = 1.0546 × [동결융해침식토사의 전기전도도] + 51.231($R^2 = 0.54$)로 계류수와 동결융해침식토사의 전기전도도는 1% 수

Table 2. Correlation coefficients of the caused by solifluction soil factors influencing the stream water quality(* and ** mean statistically significant at 5% and 1% level, respectively).

Distribution	pH of stream water	EC of stream water	Caused by solifluction soil									
			pH	EC	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
pH of stream water	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EC of stream water	-0.587**	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Caused by solifluction soil	pH	0.835**	-0.355*	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-
	EC	-0.400*	0.347*	-0.354*	1.000	-	-	-	-	-	-	-
	Cl ⁻	-	-	-	0.599**	1.000	-	-	-	-	-	-
	NO ₃ ⁻	-	-	-	0.825**	0.345*	1.000	-	-	-	-	-
	SO ₄ ²⁻	-	-	-	0.498**	0.558**	-	1.000	-	-	-	-
	Na ⁺	-	0.355*	0.505**	0.386*	-	-	1.000	-	-	-	-
	NH ₄ ⁺	-	0.574**	0.467**	0.758**	0.651**	0.612**	0.407**	0.356*	1.000	-	-
	K ⁺	-	-	-	0.808**	0.440**	0.765**	0.418*	-	0.620**	1.000	-
	Mg ²⁺	-	0.366*	-	0.603**	-	0.816**	-	-	0.330*	0.513**	1.000
	Ca ²⁺	-	-	-	0.722**	0.347*	0.829**	0.438**	-	0.334*	0.594**	0.877**

준에서 유의한 상관관계를 나타내었다.

2. 계류수질에 미치는 동결융해침식토사의 관계 분석

계류수의 pH, 전기전도도에 영향을 미치는 인자라고 판단되는 동결융해침식토사의 pH, 전기전도도, 양이온(Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}), 음이온(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) 등 총 12종의 인자에 대하여 spss/pc+를 이용해 상관분석을 실시하였다(Table 2).

계류수의 pH와 전기전도도는 편상관계수가 -0.587로 1% 수준에서 유의한 역상관을 나타내어 김명희 등(1997), 박재현과 우보명(1997)의 연구결과와 유사한 결과이었다. 또한, 계류수의 pH와 동결융해침식토사의 pH와는 편상관계수가 0.835로 1% 수준에서 유의한 상관관계를 나타내었고, 전기전도도와는 편상관계수가 -0.400으로 5% 수준에서 유의한 역상관관계를 나타내었다. 또한, 계류수의 전기전도도는 동결융해침식토사의 전기전도도와 편상관계수는 0.347로 5% 수준에서 유의한 상관관계를, 양이온(Na^+ , NH_4^+ , Mg^{2+})과는 각각의 편상관계수가 0.355, 0.574, 0.366으로 1%, 5% 수준에서 유의한 상관관계를 나타내어 계류수의 전기전도도는 동결융해침식토사의 전기전도도 및 양이온과 밀접한 관계를 나타내는 것으로 분석되었다. 그러나 박재현 등(2001)은 계류수에서 pH와 동결융해침식토사에서 Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} 등 음이온량과는 상관관계가 있는 것으로 나타났다고 하였으나, 이 연구에서는 계류수의 pH와 동결융해침식토사에서의 음이온(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) 그리고 양이온(K^+ , Ca^{2+})과는 유의한 상관관계를 나타내지 않았는데, 이는 다른 양이온과 이온총량을 나타내는 전기전도도의 영향이 큰 데 기인한 결과로 생각된다.

한편, 동결융해침식토사의 pH와 전기전도도는 편상관계수가 -0.354로 5% 수준에서 유의한 역상관관계를, Na^+ , NH_4^+ 이온과는 각각 편상관계수가 0.505, 0.467로 1% 수준에서 유의한 상관관계를 나타내었다. 또한, 동결융해침식토사의 전기전도도는 음이온(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) 그리

고 양이온(Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+})과 각각의 편상관계수는 0.599, 0.825, 0.498, 0.386, 0.758, 0.808, 0.603, 0.722로 모두 1% 수준에서 유의한 상관관계를 나타내어 선행연구결과(박재현과 우보명, 1997)와 일치하는 결과이었다.

이와 같은 결과는 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수에서는 사람의 이용에 따른 오염의 영향인 Cl^- 이 계류수의 전기전도도에 영향관계가 높고, 인간 간섭의 영향에 따른 오염물질인 NO_3^- 와 SO_4^{2-} 도 계류수의 전기전도도를 증가시키는 요인으로 작용하고 있음을 의미하는 것이다. 따라서 탐방객의 이용, 계류 인근 지역의 사찰 및 음식점 등의 이용에 따른 음이온의 영향을 저감하기 위한 대책이 수립되어야 할 것으로 생각된다. 아울러 대기오염물질 등에 기원하는 SO_4^{2-} 는(오영민과 신석봉, 1991) Cl^- 과 편상관계수가 0.558로 1% 수준에서 유의한 정적 상관관계를, 동결융해침식토사에서의 NO_3^- 와 Cl^- 은 편상관계수가 각각 0.345로 5% 수준에서 유의한 상관관계를 나타내어 동결융해침식토사에서의 음이온량은 상호간에 밀접한 관계를 갖는 것으로 분석되었다. 즉, 동결융해침식토사의 유입으로 인하여 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수의 전기전도도는 증가하는 것으로 분석되어 Robert 등(1997)의 연구결과와 유사하였다.

한편, 박재현과 우보명(1997)은 관악산의 계류수에서 전기전도도의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 Mg^{2+} , Na^+ , 양이온총량, 이온총량, 선행무강우일수 등 5개 인자라고 하여 이 연구에서의 결과와 유사하였다. 또한, 志水와 坪山(1990)은, 전기전도도는 암석과 토양에 기원하는 Mg^{2+} 에 영향이 크다고 하였는데, 이 연구에서와 유사한 결과이었다. 즉, 암석의 풍화 등으로 인한 동결융해침식토사의 유입이 계류수의 전기전도도에 영향이 큰 것으로 생각된다.

따라서 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수의 수질보전을 위해서는 계류변에서의 동결융해침식 토사의 유입을 방지하기 위한 대책이 필요할 것으로 생각된다. 아울러 적설이 많은 해 혹은 일교차가 클 때 용설수와 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 중요한 것으로 생각된다.

IV. 결 론

이 연구는 북한산국립공원 북동사면 일대에서 계류수질에 미치는 동결융해침식토사의 영향을 파악함으로써 국립공원내 계류수질 보전을 위한 과학적 기초 자료를 제공하기 위하여 2001년 3월부터 5월까지 수행하였다. 조사기간 동안 계류수의 평균pH는 동결융해침식토사의 평균pH보다 높았으며, 상류유역에서 계류수의 평균 전기전도도는 동결융해침식토사의 평균 전기전도도보다 0.8~1.7배 낮았다. 그러나 하류유역에서는 동결융해침식토사의 평균전기전도도보다 1.6~3.8배 높았는데, 이는 하류유역에 분포해 있는 오염원에서 배출하는 유출수의 영향에 따른 결과로 분석되었다. 또한, 계류수와 동결융해침식토사의 pH 그리고 전기전도도와는 유의한 상관관계를 나타내었고, 계류수의 전기전도도는 동결융해침식토사의 전기전도도 그리고 양이온(Na^+ , NH_4^+ , Mg^{2+})과 각각 1%, 5% 수준에서 유의한 상관관계를 나타내어 계류수질은 동결융해침식토사에 영향하는 것으로 분석되었다.

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)
- 김명희 · 민일식 · 송석환. 1997. 금산 폐탄광지역의 오염이 하천수에 미치는 영향. 한국임학회지 86(4) : 435-442.
- 박재현. 1996. 산림유역에 있어서 계류수질 평가기준 정립에 관한 고찰(II). 자연보존 95 : 38-52.
- 박재현 · 우보명. 1997. 산림유역내 강수로부터 계류수질에 미치는 영향인자 분석. 한국임학회지 86(4) : 489-501.
- 박재현 · 우보명 · 김우룡 · 안현철 · 조현서 · 추갑철 · 김춘식 · 최형태. 2001. 북한산국립공원의 계류수질 보전 전략(I). 한국환경복원녹화기술학회지 4(3) : 30-37.
- 오영민 · 신석봉. 1991. 수질관리. 신광문화사.
- 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 · 坪山良夫. 1990. 寶川流域における融雪流出水の水質特性. 日本林學會誌 72(2) : 171-174.
- 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.
- Berg, N.H. 1992. Ion elution and release sequence from deep snowpacks in the Central Sierra Nevada, California. Water Air Soil Pollut 61 : 139-168.
- Crown Zellerbach Corporation. 1971. Environmental Guide, Northwest Timber Operations.
- Ferrier, R.C., Jenkins, A. and Elston, D.A. 1995. The composition of rime ice as an indicator of the quality of winter deposition. Environ Pollut 87 : 259-266.
- 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.*
- 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.*
- 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. 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.
- Rosengvist, I.T. 1978. *Total Environment. Science* 10 : 39.
- Skreslet, S., Leinebψ, J.B.L. and Matthews, E. Sakshang. 1976. *Association of Norwegian Oceanographers.*
- 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.
- 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 2001年 11月 27日