

북한산국립공원의 계류수질 보전 전략 (II)

-계류수질오염 영향인자를 중심으로-

박 재 현¹⁾

¹⁾ 진주산업대학교 산림자원학과

Conservation Strategy on Stream Water Quality in the Mt. Bughansan National Park (II)

-With a Special Reference to the Factor influenced on Stream
Water Quality Pollution-

Park, Jae-Hyeon¹⁾

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

ABSTRACT

This research was conducted to establish the conservation strategy of stream water quality by analyzing the factors influenced on stream water quality in the northeastern part of Mt. Bughansan National Park from July 1998 to October 2001. The number of visitors resulted in the significant increase of electrical conductivity, which affected on pollution of the stream water quality. According to the multiple regression analysis, the pH of the stream water was related to dissolved oxygen and temperature of water at the 1% significant level. The electrical conductivity of the stream water was related to number of visitors, amount of K^+ and NO_3^- , total amount of ions, percentages of Cl^- and Na^+ caused by solifluction soil at the 1% significant level. The anions(Cl^- , NO_3^- and SO_4^{2-}) of the stream water were related to number of visitors, electrical conductivity, air temperature, hardness, amount of NO_3^- , SO_4^{2-} , total ions, percentage of Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , amount of Ca^{2+} caused by solifluction soil at the 1% significant level. To prevent the pollution of stream water in the northeastern part of Mt. Bughansan National Park, it is recommended that the number of visitors in the park should be managed and rehabilitated rapidly by measure to eco-friendly during the spring season.

Key words : *Bughansan National Park, electrical conductivity, stream, multiple regression, water quality, visitor*

I. 서 론

북한산국립공원 뿐만 아니라 우리나라의 자연생태계를 대표하는 국립공원은 과도한 이용객으로 인하여 점차 훼손되고 있는 실태에 놓여 있으며, 계류수질도 오염으로 인해 악화되고 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 수질저하요인으로 작용하고 있어 국립공원내 계류수질 오염은 방치시 심각한 상황에 이를 수 있는 위험요소를 안고 있다(박재현과 마호섭, 1999; 朴在鉉, 1999). 더구나 7-8월에 집중하는 주변 유흥객들의 음주가무, 취사, 수영, 배설행위로 계곡부의 자연미와 생태계를 파괴하는 현상이 비일비재하다(임경빈 등, 1987). 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 휴식년제 기초조사를 실시하기까지 이와 같은 제도의 시행효과 분석은 미미한 실정이다(국립공원관리공단 북한산동부관리사무소, 1998).

국립공원내 계류수질에 관한 연구는 국내에서 일부 현상적인 조사를 수행하였는데, 洪思煥(1985)은 청정지역 산림내 계류수의 용존산소는 대부분 과포화상태를 보인다고 하였으며, 洪思煥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 계류수에

서 전기전도도로 산림내 계류수질을 평가하였고, 양홍준과 이용호(1999) 등은 지리산과 소백산국립공원내 계류수에 서식하는 특징적인 어종과 전기전도도로 수질을 평가하여 지리산과 소백산국립공원내 계류수질 보전대책을 수립하기 위한 기초적인 자료를 제시하였다.

봄기간 동안 용설수 및 동결융해침식토사가 계류수질에 영향을 미치는데, Peters와 Leavesley(1995), Soulsby 등(1997)은 용설수의 증가로 눈에 집적되어 있던 Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} 등 음이온이 계류로 유출되어 계류수의 pH가 낮아진다고 하였다. 또한, 박재현 등(2001)은 북한산국립공원 계류수에서 봄기간 동안 계류수의 pH가 저하한다고 하였고, 이는 봄에 계안비탈면의 동결융해침식(朴在鉉과 禹保命, 1989)에 의한 침식토사와 용설수가 대부분의 산성표층토와 많은 부분이 접촉하며 유출됨에 따라 계류수의 pH가 영향 받은 데 기인한 결과이므로 국립공원내 계류수질을 보전하기 위하여는 동결융해침식토사의 계류로의 유출을 억지하여야 한다고 하였다. 한편, Foster 등(1989), Hazlett 등(1992)도 산림토양은 용설수의 화학성에 영향하는 주요한 영향인자이고, 용설수는 이러한 표층토양과의 관계로 인해 계류수의 산성화를 촉진시키는 주 요인이라고 하였다.

일반적으로 산림내 계류수질은 산림토양의 특성 및 벌채 등과 밀접한 관련이 있지만(朴在鉉, 1995), 계류수질 오염의 근원은 산림에서의 인간활동에 의한 결과가 크고(Larse, 1971), 특히, 해마다 탐방객의 이용이 증대되는 국립공원내 계류수질은 점차 악화될 우려가 크다. 따라서 청정한 국립공원내 계류수질 보전 및 수질 오염 예방을 위하여도 국립공원내 계류수질에 대한 연구와 계절 특성을 고려한 장기적인 모니터링은 필수적이라 하겠다(박재현 등, 2001). 이 연구는 북한산국립공원에서 계류수의 수질 변동에 영향하는 인자들에 대하여 통계적으로 분석함으로써 국립공원내 계류수질 보전전략을 수립하기 위한 과학적 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있다

II. 재료 및 방법

1. 조사지 개황

북한산국립공원은 행정구역상으로 서울특별시 도봉구, 성북구 등 6개 구와 경기도 고양시, 의정부시, 양주군일원 등 북한산(836.5m)과 도봉산(739.5m) 전역을 포함하는 총면적 78.45km²로, 이 일대는 화강암과 섬록암 등의 화성암류로 구성되어 있고, 암석지가 70%, 평탄지 및 산록의 환경사지대인 I 급지가 0.5%이다. 북한산 지역내 계곡은 우이계곡을 비롯한 9개 계곡이 있으며, 계곡 주변으로 도선사를 비롯한 사찰시설과 휴게소, 대형음식점 등이 산재하고 있어 계류수질 오염이 우려되고 있다(국립공원관리공단 북한산관리소, 1997).

조사구역은 크게 북한산국립공원내 대동문에서 대형음식점인 고향산천 방향으로 유하하는 유역(유역 I)과 백운대에서 북동방향인 도선사 방향으로 유하하는 유역(유역 II)을 대상으로 하였고(박재현 등, 2001), 이들 유역은 우이동계곡으로 합류하여 중랑천으로 유입된다.

조사대상지 유역의 수계형상은 유역 I, II 모두 수지형을 이루고 있으며, 유역 I의 유역면적은 1.03km²이었으나, II유역의 유역면적은 1.09km²로 유역 I 보다는 유역면적이 컸고, 조사대상지의 유역 내에 포함되어 있는 유로길이는 유역 I 은 3.0km, 유역 II는 2.5km로 유역면적에 비해 유로연장은 유역 I 이 유역 II보다 길었다 (Table 1).

2. 조사방법

조사지점은 I 유역과 II유역 공히 상시 계류가 흐르는 2개 지점에서 1998년 7월부터 2001년 10월까지 매월말 1회 1ℓ 씩 채수하여 수질 분석하였다. 수질분석은 선행연구결과(岩坪 등,

1982; 朴在鉉, 1996) 계류수질 평가인자라 판단되는 용존산소량(DO meter), 전기전도도(Conductivity meter), 기온, 수온, pH(HI 8314 Membrane pH meter) 등 5개 항목은 현장에서 측정하였으며, 양이온(K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺) 5개 항목, 음이온(Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄⁻, SO₄²⁻) 5개 항목, 경도를 합한 총 11개 항목에 대하여는 시료를 ice box에 보관한 후 실험실에 가져와 0.45μm의 필터에 각각 2회 통과시킨 후 ion chromatography로 분석하였다. 또한, 동결융해침식토사와 계류수질과의 관계를 밝히기 위하여 2001년(적설량 : 71.6cm) 봄기간인 3월부터 5월까지 총 9회 동결융해침식토사(朴在鉉과 禹保命, 1989; Heuer 등, 1999)의 화학적 특성을 분석하였다. 그러나 Zn, Pb, Cd, Cu, Fe, Mn, Al 등 중금속은 선행연구결과(朴在鉉, 1999) 계류수에 용존된 함량이 극미량이거나 검출되지 않아 분석에서 제외하였다. 유량은 수질조사시마다 계류가 흐르는 지역의 횡단면적과 유속을 측정하여 계산하였으며(박종관, 1997), 탐방객수 현황은 북한산국립공원 탐방객이용현황자료(국립공원관리공단 북한산관리소, 1998, 1999, 2000, 2001)를 이용하였다. 탐방객수 등 계류수질오염에 영향한다고 판단되는 34개 인자 등(朴在鉉, 1999; 박재현 등, 2001) 수집된 자료는 spss/pc+를 이용한 상관분석 및 stepwise를 이용한 다중회귀분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 계류수질에 영향하는 인자간 상관

각 인자간 상관분석 결과는 Table 2와 같다.

계류수에서 오염의 정도를 판단할 수 있는 전기전도도(朴在鉉, 1996)는 오염의 원인이 될 수 있는 탐방객수와 편상관계수가 0.607로 1%

Table 1. Characteristics of the study watershed.

Watershed	Watershed area(km ²)	Channel length(km)	Average of width of watershed(km)	Watershed shape factor	Slope(°) (range)	Forest type
I	1.03	3.0	0.34	0.11	24(20-28)	Deciduous
II	1.09	2.5	0.44	0.17	23(17-29)	Mixed

Table 2. Correlation coefficients between environmental factors of the stream water quality.

	Stream water										Caused by sulfidation soil																							
	N. V.	pH S.	EC S.	DO	% DO	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	A. T.	W. T.	H.	T. A. I.	% Cl ⁻	% NO ₃ ⁻	pH	EC	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na	NH ₄ ⁺	K	Mg ²⁺	Ca ²⁺				
N. V.	1.000																																	
Q																																		
pH S.		1.000																																
EC S.		0.607**	1.000																															
DO		0.417*	1.000																															
% DO		0.489**	0.610**	1.000																														
K		0.405*	0.563**	-0.475**		1.000																												
Na		0.521**				1.000																												
Ca ²⁺						0.519**	1.000																											
Mg ²⁺						-0.376*	0.519**	1.000																										
NH ₄ ⁺						-0.658**		0.684**	1.000																									
Cl ⁻						-0.337*	0.499**		1.000																									
NO ₃ ⁻						0.695**				1.000																								
NO ₂ ⁻											1.000																							
PO ₄ ³⁻												1.000																						
SO ₄ ²⁻													1.000																					
A. T.														1.000																				
W. T.															1.000																			
H.																1.000																		
T. A. I.																	1.000																	
% Cl ⁻																		1.000																
% NO ₃ ⁻																			1.000															
% SO ₄ ²⁻																				1.000														
% PO ₄ ³⁻																					1.000													
pH																						1.000												
EC																							1.000											
Cl ⁻																								1.000										
NO ₃ ⁻																									1.000									
SO ₄ ²⁻																										1.000								
Na																											1.000							
NH ₄ ⁺																												1.000						
K																													1.000					
Mg ²⁺																														1.000				
Ca ²⁺																																		

Note : N. V.; Number of visitors, Q; discharge of streamflow, pH S.; pH of stream water, EC S.; EC of stream water, % DO; percentage of DO, H; Hardness, T. A. I.; Total amount of ion, A. T.; Air temperature, W. T.; Water temperature

수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내어 탐방객수가 증가할수록 물 속의 용존이온량이 증가하여 전기전도도를 상승시키는 것으로 나타났다. 즉, 계류수의 전기전도도는 계류수의 K^+ , Na^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , 이온총량, Cl^- 점유비, 동결융해침식토사의 Na^+ 와 각각의 편상관계수는 0.405, 0.563, 0.729, 0.728, 0.472, 0.663, 0.843, 0.325로 5%, 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내어 계류수 뿐만 아니라 동결융해침식토사의 계류수 유입에 따른 이온농도의 상승이 전기전도도를 상승시키는 원인으로 작용한 것으로 생각된다. 이는 박재현 등(2001)의 연구결과와 유사한 결과이었다. 아울러 이와 같은 결과는 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수에서는 분뇨 등에 기인한 Cl^- 이 계류수의 전기전도도에 미치는 영향이 크고, 대기오염물질인 NO_3^- 와 SO_4^{2-} 도 계류수의 전기전도도를 증가시키는 요인으로 작용하고 있음을 의미하는 것이다. 따라서 대기오염물질인 NO_3^- 와 SO_4^{2-} 등은 북한산국립공원이 도심부에 위치하고 있어 이를 저감시키는 것은 어려울 것으로 생각되나, 분뇨 등에 의한 Cl^- 의 계류수 유입을 차단하기 위하여는 도선사 등 사찰시설, 고향산천 등 대형음식점, 각종 휴게시설, 산장 등에서 유입되는 Cl^- 의 역지가 선행되어야 할 것으로 생각된다. 특히, NO_3^- 는 산림에 대한 인간간섭에 민감한 증가원소(志水 등, 1987)로 NO_3^- 가 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수에서 전기전도도를 증가시키는 원인으로 작용한 것은 탐방객수의 증가와 아울러 이들의 산림에서의 활동이 계류수질에 좋지 않은 영향을 미치고 있음을 의미하는 것이다.

또한, 탐방객수는 계류수의 Na^+ , NO_3^- , Cl^- 점유비와 편상관계수는 각각 0.521, 0.413, 0.406으로 1%, 5% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내어 탐방객수의 증가는 사람의 분뇨 및 음식물 찌꺼기 등으로부터 유출되는 Na^+ , NO_3^- , Cl^- (吳英敏과 申錫奉, 1991)의 영향을 가중시키는 결과를 나타내는 것으로 분석되었다. 그러나 탐방객수와 동결융해침식토사에서 유출되는 이온성분과는 유의한 상관관계가 나타나

지 않았는데, 이는 계류변이 급경사이고 휴식을 취할 수 있는 공간이 되지 않기 때문에 탐방객의 유입이 자제되는 등 그 영향이 적은데 기인한 결과라 생각된다. 한편 계류수의 pH는 용존산소, 용존산소포화도, 수온과는 각각의 편상관계수가 0.417, 0.489, 0.330으로 5%, 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내었으나, SO_4^{2-} 이온과는 -0.357로 5% 수준에서 유의한 부의 상관관계를 나타내어 계류수에서의 SO_4^{2-} 이온의 증가는 pH를 낮추는 작용을 하는 것으로 분석되었다. 즉, 이는 분뇨 및 대기오염물로 인한 물의 오염원인 SO_4^{2-} 에 의해 물은 pH가 낮아졌음을 의미하는 것으로 金明姬 등(1997), 朴在鉉과 禹保命(1997)의 연구결과와 유사한 결과이었다. 그러나 계류수의 pH와 동결융해침식토사에 용존되어 있는 음이온과는 유의한 상관관계를 나타내지 않았는데, 이는 동결융해침식토사의 음이온이 계류수에 유출되기 전이기 때문에 나타난 결과라 생각된다.

즉, 탐방객수의 증가로 인하여 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수질은 오염되고 있음을 추정할 수 있었다. 따라서 계류수질 보전을 위하여는 북한산국립공원의 수용력과 탐방객수와 의 관계에 관한 밀도있는 연구를 통하여 적절한 탐방객수를 제시할 필요가 있을 것으로 생각되며, 이들 탐방객들이 계류 근처에서 야영 및 음식을 섭취하는 등의 행위를 하고 계류를 오염시키는 목욕 및 쓰레기 투기 행위 등을 하지 못하도록 계도하는 등 계류수질보전을 위한 적극적인 노력이 필요할 것으로 생각된다(박재현과 마호섭, 1999).

한편, 志水 등(1987)은, 전기전도도와 유량은 부의 상관관계를 나타낸다고 하였고, 平井 등(1990)은 계류수의 pH와 유량은 정의 상관관계를 나타낸다고 하였는데, 이 연구에서는 유량과 전기전도도, 계류수의 pH와 유량은 유의하지 않은 상관관계를 나타내었다. 따라서 유량 변화에 따른 전기전도도의 변동특성을 밝히기 위하여는 장기적인 수량변동에 따른 수질모니터링이 병행되어야 할 것으로 생각된다.

용존산소량은 용존산소포화도, K^+ , 기온, NO_3^-

점유비와 편상관계수는 각각 0.610, -0.475, -0.390, -0.446으로 5%, 1% 수준에서 유의한 정과 부의 상관관계를 나타내었는데, 용존산소포화도가 높다는 것은 음용 했을 때 물맛을 높여 주거나(박종관, 1997), 수중에서 생물종의 균형이 유지되고 있음을 의미(吳英敏과 申錫奉, 1991)하는 것이다. 아울러 용존산소량이 K^+ , 기온, NO_3^- 점유비와 부의 상관관계를 나타낸 것은 기온의 상승으로 인한 여름이 기온의 하강으로 인한 겨울보다 용존산소량이 적고(李海金, 1977), 영양염류 등 이온량의 증가로 인한 오염이 가중되었음을 의미하는 결과(박종관, 1997; 朴在鉉, 1997) 때문이라 생각된다.

용존산소포화도는 Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , 기온, 수온, 경도, Cl^- 점유비, 동결융해침식토사의 pH와 전기전도도, Ca^{2+} 와 편상관계수는 각각 -0.376, -0.658, -0.337, -0.877, -0.837, -0.457, -0.345, 0.343, -0.394, -0.482로 5%, 1% 수준에서 유의한 정과 부의 상관관계를 나타내어 기온과 수온이 낮아수록 용존산소포화도는 상대적으로 높아진다는 鄭英昊(1985), 박종관(1997)의 연구결과와 일치하는 결과이었다. 즉, 산림내 상류지역은 계류 주변 수변림의 수관에 의한 일사차단효과에 의하여 수온이 낮은데, 이는 용존산소포화도를 증가시키는 요인으로 작용하는 것이다(中村과 百海, 1989). 또한, 용존산소포화도는 물 속의 용존이온이 다량 용존되어 있으면 그만큼 물 속에 서식하는 플랑크톤 등의 서식조건이 좋아져 이들이 소비하는 산소량의 증대가 이루어지는데(鄭英昊, 1985) 기인한 결과라 생각된다.

산림에서 인간의 활동으로 발생하는 Na^+ (朴在鉉, 1996)는 탐방객수와 편상관계수는 0.521로 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내어 탐방객수의 증가가 계류수에 용존되는 Na^+ 을 증가시키는 것으로 분석되었다. 또한 Na^+ 는 오염물에 의해 발생하는 NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- 점유비, NO_3^- 점유비와 편상관계수가 각각 0.705, 0.343, 0.471, 0.437로 5%, 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내어 Na^+ 가 오염물질과 관계가 높은 것으로 분석되었다. 그러

나 Na^+ 와 경도는 편상관계수가 -0.385로 5% 수준에서 유의한 부의 상관관계를 나타내었는데, 이와 같은 결과는 경도의 지배인자가 Ca^{2+} 와 Mg^{2+} 등 양이온이었으며(박종관, 1997), 이들 양이온의 영향이 큰데 기인한 결과 때문이라 생각된다. 분노 등 오염물에 기원하는 Cl^- (朴在鉉, 1996) 이온총량, Cl^- 점유비, SO_4^{2-} 점유비, 동결융해침식토사의 Ca^{2+} 와 편상관계수는 각각 0.920, 0.928, -0.466, -0.332로 1%, 5% 수준에서 유의한 정과 부의 상관관계를 나타내어 인간의 활동과 대기오염 등으로 발생하는 Cl^- 은 수질오염과 밀접한 관계를 나타내는 것으로 분석되었다. 또한, NO_3^- 는 SO_4^{2-} , 경도, 이온총량, Cl^- 점유비, NO_3^- 점유비와 편상관계수는 각각 -0.590, -0.359, 0.574, -0.830, 0.560으로 1%, 5% 수준에서 유의한 정과 부의 상관관계를 나타내어 SO_4^{2-} 와 같이 수질오염과 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었다. 아울러 대기오염물질 등에 기원하는 SO_4^{2-} 는(吳英敏과 申錫奉, 1991) 이온총량, Cl^- 점유비, SO_4^{2-} 점유비와 편상관계수가 0.467, -0.540, 0.447로 1% 수준에서 유의한 정과 부의 상관관계를 나타내었다. 그러나 사람과 동물 등의 분변 등에 기원하는 PO_4^{3-} 는 Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} 등 음이온과 유의하지 않은 상관관계를 나타내었는데 이는 PO_4^{3-} 점유비와 편상관계수가 1에 기인한 결과로 생각된다.

물 속에 서식하는 어류 등 수계생태계에 민감한 영향을 미치는 수온(Brown 등, 1982)은 계류수에서의 경도, Cl^- 점유비, NO_3^- 점유비, SO_4^{2-} 점유비, 동결융해침식토사의 pH, 전기전도도, Ca^{2+} 와 편상관계수는 각각 0.722, 0.390, 0.613, 0.427, 0.355, 0.376, 0.456으로 1%, 5% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내어 수온의 상승이 수계생태계에 좋지 않은 영향을 미치는 것으로 판단된다. 또한, 기온은 오염원에서 발생하는 Cl^- 점유비, 동결융해침식토사의 pH, 전기전도도, Ca^{2+} 와 편상관계수가 각각 0.432, 0.450, 0.410, 0.545로 1%, 5% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내어 기온이 상승하는 여름에는 오염원에서 발생하는 이들 이온이 계류에 유입되지 않도록 북한산국립공원 북동사면 일

대 유역에 산재해 있는 사찰시설, 음식점, 산장, 휴게소 등 점오염원 및 탐방객들의 계류수질 오염행위 등 비점오염원 등 수질오염방지대책(권순국, 1998)이 강구되어야 할 것으로 생각된다.

동결융해침식토사의 pH는 동결융해침식토사의 Na^+ , NH_4^+ 와 편상관계수는 각각 -0.505, -0.467로 1% 수준에서 유의한 부의 상관관계를 나타내었고, 동결융해침식토사의 전기전도도는 동결융해침식토사에 용존되어 있는 양이온 및 음이온과 모두 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내어 수질오염의 원인이 되는 이들 이온의 증가는 계류수질 오염의 원인이 될 수 있음을 파악할 수 있었다.

2. 계류수질에 영향하는 인자간 다중회귀분석

1) pH에 유의한 영향을 미치는 인자

상관분석 결과 계류수의 pH에 유의한 상관관계를 나타낸 용존산소량, 용존산소포화도, 수온, SO_4^{2-} 점유비 등 4개 인자에 대하여 stepwise를 이용한 다중회귀분석결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Multiple regression equations of factors to determine the pH of stream water quality in Bughansan National Park.

Variables	Regression coefficient	Standard error	T	T level
Constant	4.209	0.566		
Percentage of dissolved oxygen	3.222×10^{-2}	0.008	4.012	0.000**
Water temperature	-3.7×10^{-2}	0.014	-0.757	0.013*
Multi R =	0.609			

Note : * and ** means statistically significant at 5% and 1% level.

Stepwise를 이용한 다중회귀분석결과 계류수의 pH의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 용존산소포화도와 수온으로 5%, 1% 수준에서 유의한 것으로 분석되었으며, 다중회귀식은, [계류수의 pH] = $4.209 + [3.222 \times 10^{-2} \times \text{용존산소포화도}] - [3.7 \times 10^{-2} \times \text{수온}]$ (Multi R =

0.61)이었다. 즉, 계류수의 pH는 용존산소포화도와 수온에 영향이 큰 것으로 나타나 선행연구결과(朴在鉉과 禹保命, 1998)와 유사한 결과이었다.

2) 전기전도도에 유의한 영향을 미치는 인자
북한산국립공원 북동사면 일대 계류수질에 영향을 미친다고 판단되는(朴在鉉, 1999) 전기전도도에 유의한 상관관계를 나타낸 탐방객수, K^+ , Na^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , 이온총량, Cl^- 점유비, 동결융해침식토사의 Na^+ 등 9개 인자에 대하여 stepwise를 이용한 다중회귀분석결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Multiple regression equations of factors to determine the electrical conductivity of stream water quality in Bughansan National Park.

Variables	Regression coefficient	Standard error	T	T level
Constant	13.147	52.125		
Number of visitors	2.243×10^{-3}	0.001	2.941	0.006**
K^+	-6.712	1.426	-4.706	0.000**
NO_3^-	-3.630	1.717	-2.114	0.043*
Total amount of ion	1.448	0.391	3.701	0.001**
% of Cl^-	3.755	0.751	5.000	0.000**
Na^+ of caused by solifluction soil	4.935	2.013	2.451	0.021*
Multi R =	0.948			

Note : * and ** means statistically significant at 5% and 1% level.

Stepwise를 이용한 다중회귀분석결과 계류수의 전기전도도의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 탐방객수, 계류수의 K^+ , NO_3^- , 이온총량, Cl^- 점유비, 동결융해침식토사의 Na^+ 등 6개 인자로 1%, 5% 수준에서 유의하였으며, 다중회귀식은, [계류수의 전기전도도] = $13.147 + [2.243 \times 10^{-3} \times \text{탐방객수}] - [6.712 \times \text{K}^+] - [3.630 \times \text{NO}_3^-] + [1.448 \times \text{이온총량}] + [3.755 \times \text{Cl}^- \text{점유비}] + [4.935 \times \text{동결융해침식토사의 Na}^+]$ (Multi R = 0.95)이었다. 즉, 계류수의 오

염에는 탐방객수의 증가, 오염물질로부터 발생되는 Cl^- , NO_3^- , K^+ 등 이온량의 증가, 동결융해 침식토사의 Na^+ 량의 증가 등이 영향을 미치므로 분석되어 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수질보전을 위해서는 적절한 수용력을 고려한 탐방객수의 조절이 필요할 것으로 생각된다.

程龍鎬 등(1996)은 울릉도와 계방산에서의 계류수에서 전기전도도의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 Na^+ 라고 하였고, 朴在鉉과 禹保命(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 Ca^{2+} , Mg^{2+} 에 영향이 크다고 하였다. 그러나 이 연구에서는 전기전도도와 Ca^{2+} , Mg^{2+} 와는 유의하지 않은 결과를 나타내었는데, 이는 탐방객수 등 다른 요인의 영향이 컸기 때문인 것으로 생각된다.

3) Cl^- 에 유의한 영향을 미치는 인자

상관분석 결과 계류수의 Cl^- 에 유의한 상관관계를 나타낸 탐방객수, 전기전도도, K^+ , 기온, 이온총량, Cl^- 점유비, SO_4^{2-} 점유비, 동결융해 침식토사의 Ca^{2+} 등 8개 인자에 대하여 stepwise를 이용한 다중회귀분석결과는 Table 5와 같다.

Stepwise를 이용한 다중회귀분석결과 계류수의 Cl^- 의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 탐방객수, 기온, 이온총량, Cl^- 점유비, 동결융해 침식토사의 Ca^{2+} 등 5개 인자로 5%, 1% 수준에서 유의하였으며, 다중회귀식은, [계류수의 Cl^-] = $0.851 - [2.5 \times 10^{-4} \times \text{탐방객수}] + [0.173 \times \text{기온}] + [0.271 \times \text{이온총량}] + [0.691 \times \text{Cl}^- \text{점유비}] + [2.297 \times \text{동결융해침식토사의 } Ca^{2+}]$ (Multi R = 0.99)이었다. 즉, 분변 등 오염물에 근원하는 Cl^- 은 탐방객수, 기온, 이온총량, Cl^- 점유비 등과 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었으며, 이와 같은 결과는 선행연구결과(朴在鉉과 禹保命, 1997)와 유사한 결과이었다. 즉, 탐방객수의 증가로 인하여 계류수의 오염원인 Cl^- 가 증가되어 계류수질 오염을 방지하기 위한 북한

Table 5. Multiple regression equations of factors to determine the amount of Cl^- of stream water quality in Bughansan National Park.

Variables	Regression coefficient	Standard error	T	T level
Constant	0.851	2.931		
Number of visitors	-2.5×10^{-4}	0.000	-3.628	0.001**
Air temperature	0.173	0.071	2.431	0.022*
Total amount of ion	0.271	0.021	12.821	0.000**
% of Cl^-	0.691	0.061	11.424	0.000**
Ca^{2+} of caused by solifluction soil	2.297	1.016	2.260	0.032*
Multi R =	0.996			

Note : * and ** means statistically significant at 5% and 1% level.

산 국립공원내 탐방객수에 대한 한계수용력을 평가하여 탐방객수를 제한하는 방안을 검토할 필요가 있을 것으로 생각된다.

4) NO_3^- 에 유의한 영향을 미치는 인자

상관분석 결과 NO_3^- 에 유의한 상관관계를 나타낸 탐방객수, 전기전도도, Na^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , 수온, 경도, 이온총량, Cl^- 점유비, NO_3^- 점유비 등 10개 인자에 대하여 stepwise를 이용한 다중회귀분석결과는 Table 6과 같다.

Stepwise를 이용한 다중회귀분석결과 계류수의 NO_3^- 의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 전기전도도, SO_4^{2-} , 경도, 이온총량, NO_3^- 점유비, SO_4^{2-} 점유비 등 6개 인자로 1% 수준에서 유의하였으며, 다중회귀식은, [계류수의 NO_3^-] = $1.053 - [1.4 \times 10^{-2} \times \text{전기전도도}] + [0.481 \times \text{SO}_4^{2-}] - [6.7 \times 10^{-2} \times \text{경도}] + [0.170 \times \text{이온총량}] + [0.240 \times \text{NO}_3^- \text{점유비}] + [0.331 \times \text{SO}_4^{2-} \text{점유비}]$ (Multi R = 0.99)이었다. 즉, 이와 같은 결과는 산림에 대한 인간간섭에 민감한 원소인 NO_3^- 이 증가하면 전기전도도가 상승하며(生原, 1992), 이의 결과는 이온총량의 상승과 연결됨을 의미하는 것으로 계류수에서의 NO_3^-

Table 6. Multiple regression equations of factors to determine the amount of NO_3^- of stream water quality in Bughansan National Park.

Variables	Regression coefficient	Standard error	T	T level
Constant	1.053	1.052		
Electrical conductivity	-1.4×10^{-2}	0.004	-3.806	0.001**
SO_4^{2-}	0.481	0.131	3.670	0.001**
Hardness	-6.7×10^{-2}	0.008	-8.048	0.000**
Total amount of ion	0.170	0.025	9.761	0.000**
% of NO_3^-	0.240	0.025	6.795	0.000**
% of SO_4^{2-}	0.331	0.041	7.996	0.000**
Multi R =	0.994			

Note : ** means statistically significant at 1% level.

의 증가는 계류수질오염을 가중시키는 결과로 해석할 수 있다.

5) SO_4^{2-} 에 유의한 영향을 미치는 인자

상관분석 결과 SO_4^{2-} 에 유의한 상관관계를 나타낸 전기전도도, Na^+ , NO_3^- , 이온총량, Cl^- 점유비, SO_4^{2-} 점유비 등 6개 인자에 대하여 stepwise를 이용한 다중회귀분석결과는 Table 7과 같다.

Table 7. Multiple regression equations of factors to determine the amount of SO_4^{2-} of stream water quality in Bughansan National Park.

Variables	Regression coefficient	Standard error	T	Significance T
Constant	-10.528	1.996		
NO_3^-	0.543	0.057	9.506	0.000**
% of Cl^-	5.82×10^{-2}	0.019	3.087	0.005**
% of SO_4^{2-}	0.415	0.021	19.444	0.000**
Multi R =	0.978			

Note : ** means statistically significant at 1% level.

Stepwise를 이용한 다중회귀분석결과 계류수에서 SO_4^{2-} 의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 NO_3^- , Cl^- 점유비, SO_4^{2-} 점유비 등 3개 인자로 1% 수준에서 유의하였으며, 다중회귀식은, [계류수의 SO_4^{2-}] = $-10.528 + [0.543 \times \text{NO}_3^-] + [5.82 \times 10^{-2} \times \text{Cl}^- \text{점유비}] + [0.415 \times \text{SO}_4^{2-} \text{점유}$

비] (Multi R = 0.98)이었다. 이와 같은 결과는 대기오염물질에 근원하는 SO_4^{2-} 은 산림에 대한 인간간섭에 민감한 원소인 NO_3^- 에 밀접한 관련이 있다는 生原(1992)의 보고와 일치하는 결과이었다.

3. 북한산국립공원내 계류수질 보전 전략

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

이 연구결과 계류수의 전기전도도 및 오염을 증대시키는 음이온(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-})을 저감하기 위해서는 북한산 국립공원내 탐방객의 영향이 큰 것으로 나타나 탐방객수의 관리방안을 마련하여야 한다. 또한, 북한산 국립공원내 산재해 있는 사찰, 휴게소, 음식점 등으로부터 유입될 수 있는 오염원의 영향이 증가하는 하류유역에서는 이들 이온의 철저한 정화과정이 필수적이며, 이들 시설을 이용하는 탐방객의 관리 및 오염원 배출억지를 위한 보다 적극적인 대책이 마련되어야 할 것으로 생각된다. 뿐만 아니라 봄기간 동안에는 계류변에서 유입되는 동결용 해침식토사를 억지하기 위하여 계류변을 그 지역의 특성을 고려한 자연식생을 이용하여 식생 복원하여야 될 것이며(박재현 등, 2001), 계류변에는 수질정화 및 침식토사의 억지를 위한 친환경적 공법개발 및 적용이 필요할 것으로 생각된다.

IV. 결 론

이 연구는 북한산국립공원내에서 계류수질변동에 영향하는 인자들에 대하여 통계적으로 분석함으로써 국립공원내 계류수질 보전전략을 수립하기 위한 과학적 기초 자료를 제공할 목적으로 1998년 7월부터 2001년 10월까지 수행하였으며, 분석 결과는 다음과 같다.

1. 북한산 국립공원내 계류수질오염에는 탐방객수의 증가에 따른 전기전도도의 상승이 중요한 영향을 미치는 것으로 분석되었고, 다중회귀분석결과 계류수의 pH의 설명에 유의한

영향을 미치는 인자는 용존산소포화도와 수온으로 1%, 5% 수준에서 유의하였다.

2. 다중회귀분석결과 계류수의 전기전도도의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 탐방객수, 계류수의 K^+ , NO_3^- , 이온총량, Cl^- 점유비, 동결융해침식토사의 Na^+ 등 6개 인자로 1%, 5% 수준에서 유의하였다.

3. 다중회귀분석결과 계류수에서 음이온량(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-})의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 탐방객수, 전기전도도, 기온, 경도, NO_3^- , SO_4^{2-} , 이온총량, Cl^- 점유비, NO_3^- 점유비, SO_4^{2-} 점유비, 동결융해침식토사의 Ca^{2+} 등 11개 인자로 1%, 5% 수준에서 유의하였다.

4. 북한산국립공원내 계류수질 오염을 방지하기 위해서는 탐방객수의 조절관리방안을 마련하여야 하며, 봄기간 동안 동결융해침식토사를 억제하기 위하여 계류면에는 친환경적 공법 개발 및 적용이 필요할 것으로 생각된다.

인 용 문 헌

- 권순국. 1998. 우리나라 비점원 수질오염 관리의 문제점과 관리방안. 대한환경공학회지 20(11) : 1497-1510.
- 국립공원관리공단 북한산관리소. 1997. 북한산 국립공원 자연생태계 보전계획. 국립공원관리공단 북한산관리소. 128pp.
- 국립공원관리공단 북한산동부관리사무소. 1998. 북한산국립공원 생태조사 모니터링 보고서. 국립공원관리공단 북한산동부관리사무소. 88pp.
- 국립공원관리공단 북한산관리소. 1998. 북한산 국립공원 탐방객이용현황자료 : 1-3.
- 국립공원관리공단 북한산관리소. 1999. 북한산 국립공원 탐방객이용현황자료 : 1-3.
- 국립공원관리공단 북한산관리소. 2000. 북한산 국립공원 탐방객이용현황자료 : 1-3.
- 국립공원관리공단 북한산관리소. 2001. 북한산 국립공원 탐방객이용현황자료 : 1-3.
- 金明姬·閔一植·宋錫煥. 1997. 錦山 廢炭鑛地域의 汚染이 河川水에 미치는 影響. 韓國林學會誌 86(4) : 435-442.
- 朴在鉉. 1995. 山林流域에 있어서 溪流水質 評價基準 定立에 關한 考察(I). 自然保存 92 : 23-38.
- 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). 自然保存 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). 自然保存 97 : 33-42.
- 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.
- 박재현·마호섭. 1999. 북한산국립공원내 휴식년 계곡의 수질관리를 위한 계류수질모니터링. 한국환경보존녹화기술학회지 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·禹保命. 1997. 山林流域內 降水로부터 溪流水質에 미치는 影響因子 分析 -pH, 溶存酸素, 電氣傳導度-. 韓國林學會誌 86(4) : 489-501.
- 朴在鉉·禹保命. 1998. 山林流域內 降水, 樹冠 通過雨, 土壤水 및 溪流水 水質의 化學的 特性. 韓國林學會誌 87(1) : 62-73.
- 박종관. 1997. 물환경조사법. 청문각. 186pp.
- 박재현·우보명·김우룡·안현철·조현서·추갑철·김춘식·최형태. 2001. 북한산국립공원의 계류수질 보전 전략(I). 한국환경보존녹화기술학회지 4(3) : 30-37.
- 양홍준·이용호. 1999. 소백산 국립공원 계류의 수환경 및 어류상과 어류 군집구조. 韓國生物相研究誌 4 : 221-236.
- 吳英敏·申錫奉. 1991. 水質管理. 新光文化社. 311pp.
- 李海金. 1977. 臨溪澗 豫定地域內 河川水 水質에 關한 理化學的 調查研究. 韓國自然保存協會 調查報告書 13 : 143-153.
- 임경빈·이경제·오구균·이명우. 1987. 북한산국립공원의 관리개선방안. 응용생태연구

- 1(1) : 83-97.
- 田祥麟·黃鍾瑞. 1995. 芳台山 北斜面一帶의 水環境과 淡水魚類相. 韓國自然保存協會 調查報告書 第35號 : 121-134.
- 鄭英昊. 1985. 溪流의 植物性 플랑크톤. 自然保存 50 : 12-15.
- 程龍鎬·元亨圭·朴在鉉·李天龍·李鳳洙. 1996. 鬱陵島와 桂芳山에서 山林內 溪流 水質의 理化學的 特性. 山林科學論文集 53 : 173-185.
- 洪思渙. 1985. 溪流水의 汚染과 對策. 自然保存 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 17 : 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 38 : 135-141.
- 中村太士·百海琢司. 1989. 河畔林의 河川水溫への影響に關する考察. 日本林學會誌 71 : 387-394.
- 生原喜久雄. 1992. 森林의 淨化機能. 森林土壤의 無機元素의 動態と土壤溶液中での移動特性に關する研究報告書 : 59-61.
- 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.
- 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.
- 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.
- 岩坪五郎·平林ゆり·堤 利夫. 1982. On the spraying of sewage water in a forest(I)- Effect of the spraying on the run-off water chemicals and the nutrient budgets of the forest watershed. 日本林學會誌 64(5) : 187-192.
- Brown, G.W., W.R. Bentley and J.C. Gardon. 1982. Developing harvesting systems for the future : Linking strategies, biology, and design. Forest Products Journal 32(6) : 35-38.
- 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., M.C. English, and N.W. Foster. 1992. Ion enrichment of snowmelt water by processes within a podzolic soil. Journal of Environmental Quality 21 : 102-109.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

接受 2001年 11月 27日