

北漢山國立公園 北東斜面 一帶 溪流水質 特性(Ⅲ)¹

- 溪流水質 汚染에 미치는 影響因子를 中心으로 -

朴 在 鉉²

Characteristics on Stream Water Quality in the Northeastern Part of Puk'ansan National Park(Ⅲ)¹

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

Jae Hyeon Park²

要 約

이 연구는 北漢山國立公園 北東斜面 一帶 溪流水質 汚染에 影響하는 因子를 파악함으로써 국립공원내 계류수질 보전을 위한 과학적 기초 자료를 제공하기 위하여 1998년 7월부터 1999년 11월까지 수행하였다. 溪流水質汚染을 판단하는 指標인 電氣傳導度의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 탐방객수와 Cl⁻점유비 등 2개 인자로 5% 수준에서 유의하여 북한산국립공원을 이용하는 探訪客數의 增加는 계류수의 電氣傳導度를 상승시켜 溪流水質 汚染에 影響을 미치는 것으로 分析되었다. 다중회귀분석결과 용존산소포화도의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 용존산소량과 수온 등 2개 인자로 1% 수준에서 유의하였다. Cl⁻의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 전기전도도, K⁺, Na⁺, SO₄²⁻, 이온총량, Cl⁻점유비, SO₄²⁻점유비 등 7개 인자로 5%, 1% 수준에서 유의하였다. 또한, NO₃⁻의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 Na⁺, Ca²⁺, SO₄²⁻, Cl⁻점유비, NO₃⁻점유비 등 5개 인자로 5%, 1% 수준에서 유의하였으며, SO₄²⁻의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 NO₃⁻, 이온총량 등 2개 인자로 5% 수준에서 유의하였다.

ABSTRACT

This research was conducted to analyze the factors influenced on stream water quality pollution in the northeastern part of Puk'ansan National Park from July, 1998 to November, 1999. The number of visitor and the percentage of the amount of Cl⁻ resulted in the increase of electrical conductivity, which affected on pollution of the stream water quality. The relationships between those factors should be statistical significance at the 5% level in multiple regression. The multiple regression equations for the percentage of dissolved oxygen at the stream water quality showed that dissolved oxygen and water temperature had statistical significance at the 1% level. The multiple regression equations for the amount of Cl⁻ at the stream water quality showed that electrical conductivity, the amount of cation(K⁺, Na⁺), the amount of SO₄²⁻, total amount of ion, the percentage of the amount of Cl⁻, and the percentage of the amount of SO₄²⁻ had statistical significance at the 5% and 1% level. Also, The multiple regression equations for the amount of NO₃⁻ at the stream water quality showed that the amount of cation(Na⁺, Ca²⁺), the amount of SO₄²⁻, the percentage of the amount of Cl⁻, and the percentage of the amount of NO₃⁻ had statistical significance at the 5% and 1% level. The multiple regression equations for the amount of SO₄²⁻ at the stream water quality showed that the amount of NO₃⁻, total amount of ion had statistical significance at the 5% level.

Key words : Puk'ansan National Park, electrical conductivity, stream water quality, pollution, multiple regression equation

¹ 接受 2000年 1月 25日 Received on January 25, 2000.

² 林業研究院 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-012, Korea.

緒 論

북한산국립공원은 우이령을 중심으로 남쪽의 북한산 지역과 북쪽의 도봉산 지역으로 구별되며, 주봉인 백운대와 수많은 산봉, 그리고 계곡 등 도시민들에게 아름다운 자연경관을 경험할 수 있도록 해 주는 서울 도심의 유일한 국립공원이다. 그러나 최근 도시화 구역에 둘러싸여 고립된 생태적 섬으로서의 북한산은 탐방객의 급증으로 인한 취사, 야영 등 각종 불법행위와 개발행위가 성행할 뿐만 아니라 등산로 훼손 등 계류수질 오염행위가 빈발하고, 인근 도시로부터의 대기오염 등으로 자연생태계에 심각한 영향을 초래하고 있어 생태적인 전문관리가 중요한 시대적 과제로 대두되고 있다(국립공원관리공단 북한산관리소, 1997).

국립공원관리공단(1998), 국립공원관리공단 북한산동부관리사무소(1998) 등은 북한산 계류 20개 측정지점 중 고향산천 앞 계류수의 전기전도도는 $123.5 \mu\text{S}/\text{cm}$ 로 계곡내 상가의 하수나 오수의 유입으로 오염되고 있다고 하였으며, 洪思煥(1978)은 조령과 월악산국립공원 부근의 계류수에는 인위적 오염이 없었음을 밝혔고, 洪思煥(1985)은 청정지역 산림내 계류수의 용존산소량은 대부분 과포화상태를 보인다고 하였다. 洪思煥과 羅圭煥(1979)은 칠갑산과 계룡산 계류의 이화학적 특성을 밝힘으로써 하류수질 오염방지를 위한 계류수의 중요성을 강조하였다. 또한, 洪淳佑와 張鎔錫(1984)은 설악산국립공원내 계류의 수질환경은 관광객이 증가하면서 수질오염현상이 나타난다고 하였다. 뿐만 아니라 田祥麟과 黃鍾瑞(1992, 1995)는 발왕산 계류와 방태산 북사면 일대의 계류수에서 전기전도도로 산림내 계류수질을 평가하였고, 朴在鉉(1995, 1996, 1997)은 산림내 계류수의 이화학적 특성은 하천이나 호소와 다른 특이성을 가지므로 山林內 溪流水質 評價基準은 하천이나 호소수질환경기준 및 먹는 물 수질기준을 준용·보완하여 정해야 한다고 하였다.

산림내 계류수질은 산림토양의 특성 및 벌채 등 개발과 밀접한 관련이 있는데, 佐佐等(1991)은 산림토양의 緩衝能과 관련하여 계류수의 中和作用을 구명하였으며, 程龍鎬 등(1999a)은 산림사업에 따른 산림의 수질정화기능에 대하여 밝혔다. 程龍鎬 등(1996)은 울릉도와 계방산의 계류수에서 전기전도도는 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} , Cl^{-} , 양이온총량, 이온총량과 유의한 正의 상관관계를 나타

내었다고 하였으며, 程龍鎬 등(1997)은 전국의 계류수를 대상으로 했을 때 계류수에서 전기전도도의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 NO_3^{-} , Na^{+} 등이라고 하였다. 또한, 程龍鎬 등(1999b)은 광릉시험림유역 계류수에서 전기전도도의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 강수량, Na^{+} , 이온총량 등이라고 하였다. 아울러 朴在鉉과 馬保命(1997)은 관악산유역 계류수에서 전기전도도의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 Mg^{2+} , Na^{+} , 양이온총량, 이온총량, 선행무강우일수 등이었다고 하였고, 朴在鉉과 馬保命(1998)은 계류수의 전기전도도에 영향을 미치는 인자는 강수량으로부터 임내우에 이르는 통합적인 영향인자들이 작용한다고 하였으며, 朴在鉉(1999)은 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수에서 전기전도도의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 pH, Zn, Mg^{2+} 등이었다고 하였다.

이와 같이 계류수질오염에 영향을 미치는 인자들에 대한 연구는 계류수에 용존되어 있는 용존이온량을 평가하는 전기전도도에 국한한 몇몇 연구가 진행되었을 뿐 국립공원을 이용하는 탐방객수, 계류수에 용존되어 있는 각종 이온 및 그 함유비 등 수환경에 대한 전반적인 요인들에 대한 통계적 평가는 미진하였다. 따라서 이 연구는 北漢山國立公園內 溪流水質 汚染에 影響하는 因子를 수량화함으로써 국립공원내 계류수질 보전을 위한 과학적 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

材料 및 方法

調査地 概況은 한국임학회지 89권 2호와 같으며, 탐방객수 등 계류수질오염에 영향한다고 판단되는 인자 등(朴在鉉, 1999) 수집된 자료는 spss/pc+를 이용한 相關分析 및 多重回歸分析을 실시하였다.

結果 및 考察

1. 溪流水質에 影響하는 因子間 相關分析

계류수질에 영향을 미치는 인자라고 판단되는 탐방객수, 유량, pH, 전기전도도, 용존산소량, 용존산소포화도, 양이온(K^{+} , Na^{+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^{+}), 음이온(Cl^{-} , NO_2^{-} , NO_3^{-} , PO_4^{-} , SO_4^{2-}), 기온, 수온, 경도, 이온총량, Cl^{-} 점유비, NO_3^{-} 점유비, SO_4^{2-} 점유비, PO_4^{-} 점유비 등 총 24종의 인자에 대하여 spss/pc+를 이용해 相關分析을 실시하였다. 각 인자간 상관분석 결과는 Table 1에서와 같다.

Table 1. Correlation coefficients of environmental factors influencing the stream water quality

Distribution	Q	pH	EC	DO	% of DO	K ⁺	Na ⁺
No. of visitor	-	-	0.600**	-	-	-	0.533**
pH	0.300*	-	-	0.390**	0.426**	-	-
EC	-	-	-	-	-	-	0.618**
DO	-	-	-	-	0.610**	-0.501**	-0.357**
Distribution	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻
No. of visitor	-	-	-	-	0.461**	0.330*	0.301*
pH	-	0.275*	-0.288*	-	-	-	-
EC	-	-	-	0.719**	0.761**	-	0.529**
DO	-0.392**	-	-	-	-	-	-
% of DO	-	-0.502**	-0.302*	-0.287*	-	-	-
K ⁺	0.591**	0.400**	-	0.682**	-	-	-
Na ⁺	0.356**	-	-	0.294*	0.735**	-	0.401**
Distribution	A. T.	W. T.	Hardness	T. A. I.	% of Cl ⁻	% of NO ₃ ⁻	% of SO ₄ ²⁻
No. of visitor	-	-	-	0.308*	0.410**	-	0.274*
pH	-	0.284*	-	-	-	-	-0.316*
EC	-	-	-	0.661**	0.849**	-	0.394**
DO	-0.504**	-	-0.341*	-0.283*	-	-0.499**	-0.301*
% of DO	-0.849**	-0.828**	-0.309*	-	-0.279*	-	-
K ⁺	-	-	0.580**	0.785**	0.395**	-0.587**	-0.567**
Na ⁺	-	-	-0.343*	0.280*	0.500**	0.398**	-
Distribution	% of PO ₄ ⁻	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	W. T.	Hardness	T. A. I.
No. of visitor	0.336*	-	-	0.461**	-	-	0.308*
Distribution	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	A. T.	W. T.	Hardness
Ca ²⁺	0.723**	-0.309*	-0.326*	-	-	0.483**	0.990**
Mg ²⁺	-	-	-0.287*	-	0.349*	0.606**	0.811**
NH ₄ ⁺	-	-	-	-	0.370**	0.481**	-0.305*
Cl ⁻	-	-	0.672**	0.486**	0.364**	-	-
NO ₃ ⁻	-	-	-	0.623**	-	0.355**	-0.332*
PO ₄ ⁻	-	-	-	-	0.277*	-	-
A. T.	-	-	-	-	-	0.865**	-
W. T.	-	-	-	-	-	-	0.530**
Distribution	T. A. I.	% of Cl ⁻	% of NO ₃ ⁻	% of SO ₄ ²⁻	% of PO ₄ ⁻		
Ca ²⁺	0.521**	-	-0.888**	-0.748**	-		
Mg ²⁺	0.335*	-	-0.642**	-0.546**	-		
Cl ⁻	0.913**	0.904**	-	0.512**	-		
NO ₃ ⁻	0.536**	0.835**	0.516**	-	-		
PO ₄ ⁻	-	-	-	0.285*	0.993**		
SO ₄ ²⁻	0.471**	0.570**	-	-	-		
A. T.	-	0.322*	-	-	0.285*		
W. T.	-	0.302*	0.427**	0.303*	-		
Hardness	0.508**	-	-0.880**	-0.743**	-		
T. A. I.	-	0.760**	-0.380**	-0.722**	-		
% of Cl ⁻	-	-	-	-0.371**	-		
% of NO ₃ ⁻	-	-	-	0.627**	-		
% of SO ₄ ²⁻	-	-	-	-	0.289*		

Note : Q; discharge of streamflow, T. A. I.; Total amount of ion, A. T.; Air temperature, W. T.; Water temperature

전기전도도는 오염의 원인이 될 수 있는 탐방객 수와 편상관계수가 0.600으로 1% 수준에서 유의한正的 상관계수를 나타내어 탐방객수가 증가할수록 물 속의 용존이온량이 증가하여 전기전도도를 상승시키는 것으로 나타났는데, 이와 같은 결과는 탐방객수와 물 속에 용존된 이온총량과의 상관분석

결과 편상관계수가 0.308로 5% 수준에서 유의한正的 상관결과가 이를 뒷받침해 주는 결과이었다. 또한, 탐방객수는 수질오염의 원인이 되는(朴在鉉, 1996; 1997) Na⁺, NO₃⁻, PO₄⁻, SO₄²⁻, Cl⁻점유비, SO₄²⁻점유비, PO₄²⁻점유비 등과 편상관계수는 각각 0.533, 0.461, 0.330, 0.301, 0.410, 0.274,

0.336으로 5%, 1% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타내어 탐방객수의 증가로 인하여 북한산 국립공원 북동사면 일대 계류수질은 오염되고 있음을 추정할 수 있었다. 따라서 계류수질 보전을 위하여는 북한산국립공원의 수용력과 탐방객수와의 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 等(1987)은, 전기전도도는 유량이 증가할수록 낮은 값을 나타내고 유량이 감소할수록 높은 값을 나타내었다고 보고하였는데, 이 연구에서는 전기전도도가 유량과 유의하지 않은 상관관계를 나타내었다. 따라서 流量變化에 따른 電氣傳導度의 變動特性을 밝히기 위하여는 장기적인 수량변동에 따른 수질모니터링이 이루어져야 할 것으로 생각된다. Hiraki 등(1985), 平井 等(1990) 등은 유량이 증가하면 계류수의 pH도 높아진다고 보고하였는데, 이 연구에서는 유량과 pH와의 상관분석결과 편상관계수는 0.300으로 5% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타내어 선행연구결과와 일치하는 결과이었다.

pH와 용존산소량, 용존산소포화도는 편상관계수가 각각 0.390, 0.426으로 1% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타내었으며, pH와 NH_4^+ , SO_4^{2-} 점유비와는 편상관계수가 각각 -0.288, -0.316으로 5% 수준에서 유의한 負의 상관관계를 나타내었는데, 이는 분뇨 및 대기오염물로 인한 물의 오염원인 NH_4^+ , SO_4^{2-} 에 의해 물은 pH가 낮아졌음을 의미하는 것으로 金明姬 等(1997), 朴在鉉과 馬保命(1997) 등의 연구결과와 유사한 결과이었다. 그러나 pH는 전기전도도와 유의하지 않은 상관관계를 나타내어 pH와 전기전도도와와의 관계는 밝힐 수 없었다.

용존산소량은 용존산소포화도, K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , 기온, 경도, 이온총량, NO_3^- 점유비, SO_4^{2-} 점유비 등과 편상관계수는 각각 0.610, -0.501, -0.357, -0.392, -0.504, -0.341, -0.283, -0.499, -0.301 등으로 5%, 1% 수준에서 유의한 正과 負의 상관관계를 나타내었는데, 용존산소포화도가 높다는 것은 용존산소량이 많다는 의미로 용존산소량이 많은 물은 음용했을 때 물맛을 높여주거나(박종관,

1997), 수중에서 생물종의 균형이 유지되고 있음을 의미(吳英敏과 申錫奉, 1991)하는 것이다. 아울러 용존산소량이 K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , 기온, 경도, 이온총량, NO_3^- 점유비, SO_4^{2-} 점유비 등과 負의 상관관계를 나타낸 것은 기온의 상승으로 인한 여름이 기온의 하강으로 인한 겨울보다 용존산소량이 적고(李海金, 1977), 영양염류 등 이온량의 증가로 인한 오염이 가중됨으로 인해 물 속에 서식하는 플랑크톤 등의 증식에 따른 산소의 소비에 기인하는 결과(박종관, 1997; 朴在鉉, 1997) 때문이라 생각된다.

물 속의 오염 정도를 파악할 수 있는 전기전도도(朴在鉉, 1996; 1999)는 Na^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , 이온총량, Cl^- 점유비, SO_4^{2-} 점유비 등과 편상관계수는 각각 0.618, 0.719, 0.761, 0.529, 0.661, 0.849, 0.394 등으로 모두 1% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타내었는데, 이는 선행연구결과(志水 等, 1987; 朴在鉉과 馬保命, 1997; 朴在鉉, 1999)와 일치하는 결과이었다. 이와 같은 결과는 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수에서는 분뇨 등에 기인한 Cl^- 이 계류수의 전기전도도에 영향관계가 높고, NO_3^- 와 SO_4^{2-} 도 계류수의 전기전도도를 증가시키는 요인으로 작용하고 있음을 의미하는 것이다. 따라서 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 증가원소로 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.

용존산소포화도는 기온, 수온 등과 편상관계수는 각각 -0.849, -0.828 등으로 1% 수준에서 유의한 負의 상관관계를 나타내어 기온과 수온이 낮을수록 용존산소포화도는 상대적으로 높아진다는 박종관(1997)의 연구결과와 일치하는 결과를 나타내었다. 즉, 산림내 상류지역은 계류 주변 수변림의 수관에 의한 일사차단효과에 의하여 수온이 낮으며, 이는 용존산소포화도를 증가시키는 요인으로 작용하는 것이다(中村과 百海, 1989).

산림에서 인간의 활동으로 발생되는 Na^+ (朴在鉉, 1996)는 탐방객수와 편상관계수는 0.533으로 1% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타내어

탐방객수의 증가가 계류수에 용존되는 Na^+ 을 증가시키는 것으로 분석되었다. 또한 Na^+ 는 오염물에 의해 발생하는 Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- 점유비, NO_3^- 점유비 등과는 편상관계수가 각각 0.294, 0.735, 0.401, 0.500, 0.398 등으로 5%, 1% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타내어 Na^+ 이 오염물질과 관계가 높은 것으로 분석되었다. 분뇨 등 오염물에 기원하는 Cl^- 은(朴在鉉, 1996) NO_3^- , SO_4^{2-} , SO_4^{2-} 점유비 등과 편상관계수는 각각 0.672, 0.486, 0.512 등으로 1% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타내어 인간의 활동과 대기오염 등으로 발생하는 Cl^- 은 수질오염과 밀접한 관계를 나타내는 것으로 분석되었다. 또한, NO_3^- 는 SO_4^{2-} , 수온, Cl^- 점유비 등과 편상관계수는 각각 0.623, 0.355, 0.835, 0.516 등으로 1% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타내어 Cl^- 과 같이 수질오염과 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었다. 아울러 SO_4^{2-} 는(吳英敏과 申錫奉, 1991) Cl^- 점유비와 편상관계수가 0.570으로 1% 수준에서 유의한 正의 상관관계를, 사람과 동물 등의 분변 등에 기원하는 PO_4^- 는 SO_4^{2-} 점유비와 편상관계수가 0.285로 5% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타내어 Na^+ , Cl^- , NO_3^- 등과 같이 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수질오염과 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었다.

물 속에 서식하는 어류 등 수계생태계에 민감한 영향을 미치는 수온(Brown 등, 1982)은 경도, Cl^- 점유비, NO_3^- 점유비, SO_4^{2-} 점유비 등과 편상관계수는 각각 0.530, 0.302, 0.427, 0.303 등으로 1%, 5% 수준에서 유의한 正의 상관관계를 나타내어 수온이 높아지면 물 속에 각종 이온 및 오염물로 인해 발생하는 이온 등이 쉽게 용존되어 이들은 결국 수계생태계에 좋지 않은 영향을 미치는 것으로 판단된다. 또한, 기온은 오염원에서 발생하는 Cl^- , PO_4^- , Cl^- 점유비 등과는 편상관계수가 각각 0.364, 0.277, 0.322 등으로 1%, 5% 수준에

서 유의한 正의 상관관계를 나타내어 기온이 상승하는 여름에는 오염원에서 발생하는 이들 이온이 계류에 유입되지 않도록 북한산국립공원 북동사면 일대 유역에 산재해 있는 사찰시설, 음식점, 산장, 휴게소 등 점오염원 및 탐방객들의 계류수질 오염행위 등 비점오염원 등 수질오염방지대책(권순국, 1998)이 강구되어야 할 것으로 생각된다.

2. 溪流水質에 影響하는 因子間 多重回歸分析

1) 전기전도도에 유의한 영향을 미치는 인자

북한산국립공원 북동사면 일대 계류수질에 영향을 미친다고 판단되는(朴在鉉, 1999) 탐방객수, 유량, pH, 전기전도도, 용존산소량, 용존산소포화도, 양이온(K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+), 음이온(Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^- , SO_4^{2-}), 기온, 수온, 경도, 이온총량, Cl^- 점유비, NO_3^- 점유비, PO_4^- 점유비, SO_4^{2-} 점유비 등 24개 인자에 대하여 상관분석한 결과 전기전도도에 유의한 상관관계를 나타낸 탐방객수, Na^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , 이온총량, Cl^- 점유비, SO_4^{2-} 점유비 등 8개 인자에 대하여 stepwise를 이용한 다중회귀분석결과는 Table 2에서와 같다.

다중회귀분석결과 전기전도도의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 탐방객수와 Cl^- 점유비 등 2개 인자로 5% 수준에서 유의하였으며, 다중회귀식은, 전기전도도 = 13.147 + 2.064E-03 × 탐방객수 + 3.922 × Cl^- 점유비(R=0.91)이었다.

한편, 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 상이하였는데, 이는 계류의 특성 및 적용인자에 따라 전기전도도에 영향하는 인자가 달라졌기 때문이라 생각

Table 2. Multiple regression equations of factors to determine the electrical conductivity of stream water quality in Puk'ansan National Park

Variables	Regression coefficient	Standard error	T	Significance T
Constant	13.147	52.125		
No. of visitor	2.064E-03	0.001	2.456	0.018*
% of Cl^-	3.922	1.570	2.499	0.016*
Multi R =	0.907			

Note : * means statistically significant at 5% level.

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

Variables	Regression coefficient	Standard error	T	Significance T
Constant	5.202	0.431		
Dissolved oxygen	0.148	0.072	2.069	0.044*
NH ₄ ⁺	-0.262	0.127	-0.069	0.044*
% of SO ₄ ²⁻	-2.0E-02	0.007	-2.852	0.007**
Multi R =	0.677			

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

되며, 이를 구명하기 위하여는 보다 많은 調査資料를 통한 統計的 檢證이 이루어져야 할 것으로 생각된다. 또한, 志水와 坪山(1990)은, 전기전도도는 암석과 토양에 기원하는 Ca²⁺, Mg²⁺에 영향이 크다고 하였다. 그러나 이 연구에서는 전기전도도와 Ca²⁺, Mg²⁺와는 유의하지 않은 결과를 나타내었는데, 이는 탐방객수와 Cl⁻점유비의 영향이 컸기 때문인 것으로 생각된다.

2) pH에 유의한 영향을 미치는 인자

상관분석 결과 pH에 유의한 상관관계를 나타낸 유량, 용존산소량, 용존산소포화도, Mg²⁺, NH₄⁺, 수온, SO₄²⁻점유비 등 7개 인자에 대하여 stepwise를 이용한 다중회귀분석결과는 Table 3에서와 같다.

다중회귀분석결과 pH의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 용존산소량, NH₄⁺, SO₄²⁻점유비 등 3개 인자로 5%, 1% 수준에서 유의한 것으로 분석되었으며, 다중회귀식은, $pH = 5.202 + 0.148 \times \text{용존산소량} - 0.262 \times \text{NH}_4^+ - 2.0E-02 \times \text{SO}_4^{2-}\text{점유비}$ (R=0.68)이었다.

3) 용존산소량에 유의한 영향을 미치는 인자

상관분석 결과 용존산소량에 유의한 상관관계를 나타낸 pH, 용존산소포화도, K⁺, Na⁺, Ca²⁺, 기온, 경도, 이온총량, NO₃⁻점유비, SO₄²⁻점유비

등 10개 인자에 대하여 stepwise를 이용한 다중회귀분석결과는 Table 4에서와 같다.

다중회귀분석결과 용존산소량의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 pH, 용존산소포화도, NO₃⁻점유비 등 3개 인자로 5%, 1% 수준에서 유의하였으 며, 다중회귀식은, $\text{용존산소량} = -0.590 + 0.820 \times \text{pH} + 4.71E-02 \times \text{용존산소포화도} + 5.254E-02 \times \text{NO}_3^-\text{점유비}$ (R=0.90)이었다.

4) 용존산소포화도에 유의한 영향을 미치는 인자

상관분석 결과 용존산소포화도에 유의한 상관관계를 나타낸 pH, 용존산소량, Mg²⁺, NH₄⁺, Cl⁻, 기온, 수온, 경도, Cl⁻점유비 등 9개 인자에 대하여 stepwise를 이용한 다중회귀분석결과는 Table 5에서와 같다.

다중회귀분석결과 용존산소포화도의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 용존산소량과 수온 등 2개 인자로 1% 수준에서 유의하였으며, 다중회귀식은, $\text{용존산소포화도} = -8.441 + 6.506 \times \text{용존산소량} - 1.685 \times \text{수온}$ (R = 0.95)이었다.

5) Cl⁻에 유의한 영향을 미치는 인자

상관분석 결과 Cl⁻에 유의한 상관관계를 나타낸 전기전도도, 용존산소포화도, K⁺, Na⁺, NO₃⁻,

Table 4. Multiple regression equations of factors to determine the dissolved oxygen of stream water quality in Puk'ansan National Park

Variables	Regression coefficient	Standard error	T	Significance T
Constant	-0.590	1.957		
pH	0.820	0.273	2.998	0.005**
% of dissolved oxygen	4.71E-02	0.013	3.639	0.001**
% of NO ₃ ⁻	5.254E-02	0.024	2.149	0.038*
Multi R =	0.900			

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

Table 5. Multiple regression equations of factors to determine the percentage of dissolved oxygen of stream water quality in Puk'ansan National Park

Variables	Regression coefficient	Standard error	T	Significance T
Constant	-8.441	14.257		
Dissolved oxygen	6.506	1.165	5.587	0.000**
Water temperature	-1.685	0.590	2.858	0.007**
Multi R =	0.949			

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

SO₄²⁻, 기온, 이온총량, Cl⁻점유비, SO₄²⁻점유비 등 10개 인자에 대하여 stepwise를 이용한 다중회귀분석결과는 Table 6에서와 같다.

다중회귀분석결과 Cl⁻의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 전기전도도, K⁺, Na⁺, SO₄²⁻, 이온총량, Cl⁻점유비, SO₄²⁻점유비 등 7개 인자로 5%, 1% 수준에서 유의하였으며, 다중회귀식은, Cl⁻ = -19.554 - 2.9E-02 × 전기전도도 - 0.482 × K⁺ - 0.195 × Na⁺ + 2.154 × SO₄²⁻ + 0.636 × 이온총량 + 0.595 × Cl⁻점유비 + 0.724 × SO₄²⁻점유비(R = 0.99)이었다. 즉, 분변 등 오염물에 근

원하는 Cl⁻은 전기전도도, SO₄²⁻, SO₄²⁻점유비 등과 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었으며, 이와 같은 결과는 선행연구결과(朴在鉉과 禹保命, 1997)와 유사한 결과이었다.

6) NO₃⁻에 유의한 영향을 미치는 인자

상관분석 결과 NO₃⁻에 유의한 상관관계를 나타낸 탐방객수, 전기전도도, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, 수온, 경도, 이온총량, Cl⁻점유비, NO₃⁻점유비 등 12개 인자에 대하여 stepwise를 이용한 다중회귀분석결과는 Table 7에서와 같다.

Table 6. Multiple regression equations of factors to determine the amount of Cl⁻ of stream water quality in Puk'ansan National Park

Variables	Regression coefficient	Standard error	T	Significance T
Constant	-19.554	2.711		
Electrical conductivity	-2.9E-02	0.011	-2.689	0.010**
K ⁺	-0.482	0.156	-3.091	0.004**
Na ⁺	-0.195	0.095	-2.058	0.046*
SO ₄ ²⁻	2.154	0.253	-8.513	0.000**
Total amount of ion	0.636	0.059	10.712	0.000**
% of Cl ⁻	0.595	0.066	8.980	0.000**
% of SO ₄ ²⁻	0.724	0.083	8.741	0.000**
Multi R =	0.995			

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

Table 7. Multiple regression equations of factors to determine the amount of NO₃⁻ of stream water quality in Puk'ansan National Park

Variables	Regression coefficient	Standard error	T	Significance T
Constant	-6.502	1.261		
Na ⁺	0.532	0.151	3.532	0.001**
Ca ²⁺	0.251	0.115	2.186	0.035*
SO ₄ ²⁻	0.315	0.149	2.118	0.040*
% of Cl ⁻	0.166	0.064	2.604	0.013*
% of NO ₃ ⁻	0.331	0.041	7.996	0.000**
Multi R =	0.775			

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

Table 8. Multiple regression equations of factors to determine the amount of SO_4^{2-} of stream water quality in Puk'ansan National Park

Variables	Regression coefficient	Standard error	T	Significance T
Constant	3.303	1.144		
NO_3^-	0.340	0.132	2.587	0.013*
Total amount of ion	5.740E-02	0.028	2.051	0.046*
Multi R =	0.676			

Note : * means statistically significant at 5% level.

다중회귀분석결과 NO_3^- 의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 Na^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- 점유비, NO_3^- 점유비 등 5개 인자로 5%, 1% 수준에서 유의하였으며, 다중회귀식은, $\text{NO}_3^- = -6.502 + 0.532 \times \text{Na}^+ + 0.251 \times \text{Ca}^{2+} + 0.315 \times \text{SO}_4^{2-} + 0.166 \times \text{Cl}^-$ 점유비 + $0.331 \times \text{NO}_3^-$ 점유비 ($R = 0.78$)이었다.

7) SO_4^{2-} 에 유의한 영향을 미치는 인자

상관분석 결과 SO_4^{2-} 에 유의한 상관관계를 나타낸 탐방객수, 전기전도도, Na^+ , Cl^- , NO_3^- , 이온총량, Cl^- 점유비 등 7개 인자에 대하여 stepwise를 이용한 다중회귀분석결과 Table 8에서와 같다.

다중회귀분석결과 SO_4^{2-} 의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 NO_3^- , 이온총량 등 2개 인자로 5% 수준에서 유의하였으며, 다중회귀식은, $\text{SO}_4^{2-} = 3.303 + 0.340 \times \text{NO}_3^- + 5.740\text{E-}02 \times$ 이온총량 ($R = 0.68$)이었다. 이와 같은 결과는 대기오염 물질에 근원하는 SO_4^{2-} 은 산림에 대한 인간간섭에 민감한 원소인 NO_3^- 에 밀접한 관련이 있다는 生原(1992)의 보고와 일치하는 결과이었다.

結 論

이 연구는 北漢山國立公園 北東斜面 一帶 溪流水質 汚染에 影響하는 因子를 파악함으로써 국립공원내 계류수질 보전을 위한 과학적 기초 자료를 제공할 목적으로 1998년 7월부터 1999년 11월까지 수행하였으며, 분석 결과는 다음과 같다.

1. 溪流水質汚染을 판단하는 指標인 電氣傳導度의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 탐방객수와 Cl^- 점유비 등 2개 인자로 5% 수준에서 유의하여 북한산국립공원을 이용하는 探訪客數의 增加는 계류수의 電氣傳導度를 상승시켜 溪流水質汚染에 影響을 미치는 것으로 分析되었다.

2. 다중회귀분석결과 용존산소포화도의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 용존산소량과 수온 등 2개 인자로 1% 수준에서 유의하였다.

3. 다중회귀분석결과 Cl^- 의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 전기전도도, K^+ , Na^+ , SO_4^{2-} , 이온총량, Cl^- 점유비, SO_4^{2-} 점유비 등 7개 인자로 5%, 1% 수준에서 유의하였다.

4. 다중회귀분석결과 NO_3^- 의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 Na^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- 점유비, NO_3^- 점유비 등 5개 인자로 5%, 1% 수준에서 유의하였으며, SO_4^{2-} 의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 NO_3^- , 이온총량 등 2개 인자로 5% 수준에서 유의하였다.

引 用 文 獻

- 권순국. 1998. 우리나라 비점원 수질오염 관리의 문제점과 관리방안. 대한환경공학회지 20(11) : 1497-1510.
- 국립공원관리공단 북한산관리소. 1997. 북한산국립공원 자연생태계 보전계획. 국립공원관리공단 북한산관리소. 128pp.
- 국립공원관리공단. 1998. 북한산국립공원 산림생태계에 대한 도시오염 영향조사 및 대책 수립. 국립공원관리공단. 114pp.
- 국립공원관리공단 북한산동부관리사무소. 1998. 북한산국립공원 생태조사 모니터링 보고서. 국립공원관리공단 북한산동부관리사무소. 88pp.
- 국립공원관리공단 북한산관리소. 1998. 북한산국립공원 탐방객이용현황자료 : 1-3.
- 국립공원관리공단 북한산관리소. 1999. 북한산국립공원 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.

8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 박재현·마호섭. 1999. 북한산국립공원내 휴식년 계곡의 수질관리를 위한 계류수질모니터링. 한국환경보존원녹화기술학회지 2(2) : 88-96.
15. 박종관. 1997. 물환경조사법. 청문각. 186pp.
16. 吳英敏·申錫奉. 1991. 水質管理. 신광문화사. 311pp.
17. 李海金. 1977. 臨溪岫 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 第13號 : 143-153.
18. 田祥麟·黃鍾瑞. 1992. 發旺山 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30號 : 105-119.
19. 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.
20. 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.
21. 程龍鎬·元亨圭·金景河·朴在鉉·柳鼎煥. 1997. 電氣傳導도가 山林流域內 溪流水와 土壤水質에 미치는 影響. 山林科學論文集 55 : 125-137.
22. 程龍鎬·朴在鉉·金景河·李鳳洙. 1999a. 전나무림, 잣나무림, 流域에서 山林施業이 山林의 水質淨化機能에 미치는 影響(I). 韓國林學會誌 88(3) : 364-373.
23. 程龍鎬·朴在鉉·金景河·尹豪重·元亨圭. 1999b. 전나무림과 잣나무림 流域에서 山林施業이 山林의 水質淨化機能에 미치는 影響(II). 韓國林學會誌 88(4) : 498-509.
24. 洪思渙. 1978. 鳥嶺과 月岳山 附近의 溪流水에 關한 水質調查. 主屹山 및 月岳山一帶綜合學術調查報告書 第15號 : 157-166.
25. 洪思渙. 1985. 溪流水의 汚染과 對策. 자연보존 50 : 8-11.
26. 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.
27. 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.
28. 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.
29. 佐佐木重行·高木潤修·西尾 敏. 1991. 福岡縣의 山間部における 降水および 溪流水의 pH와 數種의 成分について. 森林立地 33(1) : 1-7.
30. 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와 土壤溶液中での 移動特性에 關する 研究報告書 : 59-61.
31. 平井敬三·加藤正樹·岩川雄幸·吉田桂子. 1990. 樹幹流가 林地土壤에 與える 影響(II)-스기·히노키林における 林外雨, 林內雨, 樹幹流, 土壤水의 pH-. 第101回 日林論 : 243-245.
32. 志水俊夫·藤枝基久·吉野昭一. 1987. 融雪期における 河川水質의 變動特性. 日林論 98 : 561-564.
33. 志水俊夫·坪山良夫. 1990. 寶川流域における 融雪流出水의 水質特性. 日本林學會誌 72(2) : 171-174.
34. 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.
35. Hiraki, T., M. Tamaki, H. Mitsugi and H. Watanabe. 1985. Estimation of Air Pollution by Rainwater Components. Bull. of Hyogo Prefectural Pollution 17 : 6-11.