

北漢山國立公園 北東斜面 一帶 溪流水質 特性(IV)¹

- 理化學的 特性的 季節別 變化를 中心으로 -

朴 在 鉉^{2*}

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

- With a Special Reference to the Physicochemical
Characteristics in the Seasonal Variation -

Jae Hyeon Park^{2*}

要 約

北漢山國立公園 北東斜面 一帶 溪流水의 理化學的 水質特性을 계절별로 파악함으로써 國立公園內 溪流水質 保를 위한 과학적 기초 자료를 제공하기 위하여 1998년 7월부터 2000년 11월까지 매월 4개 지점의 계류수질을 분석한 결과, 이 지역 계류수의 평균pH는 6.6(6.53~6.74), 평균용존산소량은 11.2(11.0~11.3)mg/l로 하천수질환경기준 상수원수 1급수의 범위 내였다. 이 지역 溪流水의 平均電氣傳導度는 106.8(52.3~154.0) μ S/cm이었으나, 음식점, 사찰 등에 영향받는 하류지역에서는 139.4~154 μ S/cm로 상류지역(52.3~81.6 μ S/cm)보다 약 1.7~3.0배 높았다. 또한, 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수에서 電氣傳導度와 용존음이온량(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-})은 上流보다는 下流에서 높게 나타났으며, 계절별로 는 봄이나 여름보다는 가을에 溪流水質汚染이 더 심한 것으로 分析되었다.

ABSTRACT

This research was conducted to investigate the seasonal changes in physicochemical characteristics of stream water at the four points in the northeastern part of the Puk'ansan National Park from July of 1998 to November of 2000. The average pH of stream water was 6.6(6.53~6.74) and the dissolved oxygen was ranged from 11.0 to 11.3mg/l, which indicated that the water quality could be categorized in the first class for the quality of river water quality standard. The average electrical conductivity of stream water was 106.8(52.3~154.0) μ S/cm and the electrical conductivities of downstream water were ranged from 139.4 to 154 μ S/cm, which were about 1.7~3.0 times higher than those in upstream water that showed from 52.3 to 81.6 μ S/cm. The amount of anion(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) which indicates the pollution index in downstream was higher than that in upstream. In addition, the seasonal impacts of pollution on stream water were higher in Autumn than in Spring or Summer.

Key words : Puk'ansan National Park, electrical conductivity, dissolved oxygen, stream water quality

¹ 接受 2000年 12月 18日 Received on December 18, 2000.

審査完了 2001年 2月 16日 Accepted on February 16, 2001.

² 林業研究院 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.

* 연락처자 E-mail : YOUNT@foa.go.kr

緒 論

국립공원내 계류수질에 관한 연구는 국내에서 일부 현상적인 조사를 수행하였는데, 洪思煥(1978)은 조령과 월악산국립공원 부근의 계류수에는 인위적 오염이 없었음을 밝혔고, 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(1992, 1995a)는 발왕산 계류와 방태산 북사면 일대의 계류수에서 전기전도도로 산림내 계류수질을 평가하였고, 田祥麟과 黃鍾瑞(1993, 1995b), 양홍준과 이용호(1999) 등은 지리산과 소백산국립공원내 계류수에 서식하는 특징적인 어종과 전기전도도로 수질을 평가하였다. 朴在鉉(1999, 2000a, 2000b)은 1998년 7월부터 1999년 11월까지 매월 북한산 북동사면 일대 4개 지점의 계류수질 분석결과 탐방객의 증가로 인해 계류수질 오염이 우려된다고 하였고, 朴在鉉(1995b, 1996, 1997)과 程龍鎬 等(1999a, 1999b, 2000)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 등과 밀접한 관련이 있지만(朴在鉉, 1995a), 산림내 계류수질 오염의 근원은 산림에서의 인간활동에 의한 결과가 크며(Fredriksen, 1970), 계절적으로도 차이가 나타난다(Skreslet 등, 1976; Rosengvist, 1978). 이와 같이 청정하다고 인식되어 있는 국립공원내 계류수는 탐방객의 증가 및 각종 개발에 따라 점차 악화될 우려가 있으며, 청정한 山林內 溪流水의 水質保全 및 水質汚染 豫防을 위하여도 국립공원내 계류수질에 대한 연구와 계절을 고려한 장기적인 모니터링은 필수적이라 하겠다.

따라서 이 연구는 이용 등 각종 오염에 따른 北漢山國立公園內 溪流水의 理化學的 特性을 계절적으로 분석 파악함으로써 국립공원내 계류수질 보전을 위한 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

材料 및 方法

수질조사지점의 입지적 특성은 조사 구역의 대부분이 신갈나무 등 활엽수가 우점하고, 화강암을 모재로 한 갈색산림토양으로 구성되어 있다. 또한, 수질조사지점은 I구역과 II구역 공히 상시 계류가 흐르는 2개 지점(한국임학회지 제88권 제1호)에서 계류수가 동결되어 수질 측정이 불가능한 동기기간(12월부터 익년 2월까지)을 제외하고, 1998년 7월부터 2000년 11월까지 매월말 1회 1ℓ씩 채수하여 수질분석하였다. 수집된 자료의 계절별 분석은 편의상 3월부터 5월까지를 봄, 6월부터 8월까지를 여름, 9월부터 11월까지를 가을로 구분하여 각 수질항목의 변화경향을 분석하였으나, 동계기간은 수질측정이 불가능하였으므로 겨울기간 동안의 자료는 제시하지 못하였다.

結果 및 考察

1. 調查流域 溪流水質의 理化學的 特性

조사기간 동안 조사지점별 평균한 계류수질 분석결과는 Table 1에서와 같다.

1) pH

각 수질조사지점에서 계류수의 pH 변화는 Figure 1에서와 같다. I구역과 II구역 내 4개 수질조사지점에서의 수질분석 결과 봄, 여름, 가을 기간을 모두 포함하여 평균 pH는 6.6(6.53~6.74)이었으며, 조사기간 동안 두 구역의 계류수가 합류되는 수질조사지점 4에서의 평균 pH는 6.74(6.21~8.14)로 하천수질환경기준 상수원수 1급수의 범위 내였다. 또한, 각 수질조사지점에서 계절별 pH의 변화를 파악해 볼 때 여름기간에는 수질조사지점 모두 pH는 1998년에 pH 6.75~7.0을, 1999년에 pH 6.14~6.94를, 2000년에 pH 6.54~6.59로 그 변화폭이 적고 하천수질환경기준 상수원수 1급수에 포함되는 경향을 나타내었다.

수질조사지점 1에서 1999년 6월의 pH는 6.14로 낮은 값을 나타내었는데, 이는 조사지점이 해발 400m 이상 상류 구역의 산림에 위치하고 있어 기온이 낮은데 따른 뒤늦은 융설수의 영향에 기인한 결과로 생각된다. 그러나 수질조사지점 4에서 조사지점인 1999년 봄 3월에는 pH 8.14로 계류수의 pH는 일시적으로 매우 높은 값을 나타내었는데, 이는 溪流水路의 工事로 인한 시멘트콘크리트의

Table 1. Average of stream water quality and number of visitor(from July of 1998 to November of 2000) at the four stations in northeastern area of Puk'ansan National Park.

Distribution	Site number			
	1	2	3	4
No. of visitor	3,150	10,375	10,375	13,515
Q(m ³ /sec)	0.29	0.38	0.46	0.85
pH	6.53	6.55	6.56	6.74
DO(mg/l)	11.3	11.1	11.0	11.2
% of DO	100.3	101.9	101.7	102.9
EC(μ S/cm)	52.3	81.6	154.0	139.4
K ⁺ (mg/l)	1.14	1.41	4.15	3.29
Na ⁺ (mg/l)	3.58	4.08	12.75	9.02
Ca ²⁺ (mg/l)	7.06	7.76	14.40	13.46
Mg ²⁺ (mg/l)	1.01	1.11	1.83	1.63
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0.18	0.09	0.13	0.07
Cl ⁻ (mg/l)	3.91	7.11	28.52	16.94
NO ₃ ⁻ (mg/l)	4.82	6.47	13.14	11.11
PO ₄ ⁻ (mg/l)	0.01	0	0.04	0.01
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	6.10	7.06	8.65	9.21
Air temperature(°C)	20.1	19.7	20.6	20.2
Water temperature(°C)	12.4	12.1	12.4	12.9
Hardness(mg/l)	21.7	23.9	43.5	40.3
Total amount of ion(mg/l)	27.81	35.09	83.61	64.74
% of Cl ⁻	14.1	20.2	34.1	26.2
% of NO ₃ ⁻	17.3	18.4	15.7	17.2
% of PO ₄ ⁻	0	0	0	0
% of SO ₄ ²⁻	21.9	20.1	10.3	14.2

Note : Q means discharge of streamflow.

영향 때문에 계류수질보전을 위한 계류수로의 공사 등은 계류수질보전을 고려한 친환경적 공사가 필요할 것으로 생각된다.

한편, 수질조사지점 4에서 1998년 가을인 10월과 11월에는 pH가 6.3, 6.21로 낮아졌는데 이는 강수 등에 의한 산성표층토의 유출에 따른 계류수의 일시적인 pH 저하에 따른 결과로 판단된다. 1999년 봄기간 동안 계류수의 pH는 수질조사지점 1에서 pH 5.86~6.05로 낮아졌으며, 수질조사지점 3에서 6.05~6.21로 낮아졌다. 또한, 2000년 봄(3월)에는 수질조사지점 1, 2, 3 모두가 각기 pH 6.05, 5.8, 6.45로 낮아졌는데 이는 봄에 계안비탈면의 동결융해침식(朴在鉉과 馬保命, 1989)에 의한 침식토사와 융설수가 대부분의 산성표층토와 많은 부분이 접촉하며 유출됨에 따라 계류수의 pH가 영향받은 데 기인한 결과라 판단된다. 이와 같은 결과는 Skreslet 등(1976), Rosengvist

(1978)가 보고한 연구결과와도 일치하는 결과이었다. 아울러 수질조사지점 2에서도 1999년 5월에 pH가 6.41로 낮아졌고, 수질조사지점 4에서는 이러한 영향이 적게 나타났는데, 이는 수질조사지점 2가 해발 400m이상의 상류지역에 위치하고 있어

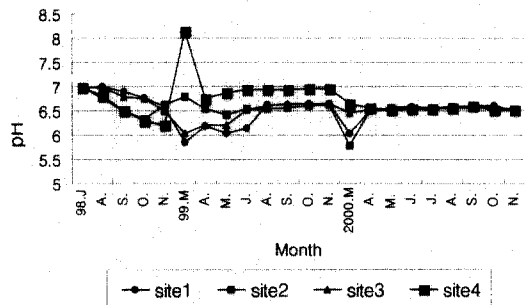


Figure 1. Variations of pH by survey periods(from July of 1998 to November of 2000).

다른 수질조사지점에서 3, 4월에 나타나던 용질수가 늦게 나타났기 때문이며, 수질조사지점 4는 I 유역과 II 유역의 계류가 합류되어 유량이 많고 또한 시멘트 공사로 인한 계류수의 pH 상승 원인에 의하여 이러한 현상이 발생되지 않았다고 판단된다.

한편, 조사기간 동안 I 유역과 II 유역이 합류하는 수질조사지점 4에서의 平均流量은 0.85m³/sec로 4개 수질조사지점 가운데 가장 많았으며, 이때 평균 pH는 6.74로 유량이 적었던 나머지 3개 수질조사지점에서의 평균 pH보다 비교적 높은 값을 나타내어 Hiraki 등(1985)의 유량이 증가하면 계류수의 pH도 높아진다는 선행연구결과와 유사한 결과를 나타내었다.

2) 溶存酸素量

I 유역과 II 유역의 4개 수질조사지점에서 平均溶存酸素量은 Figure 2에서와 같이 11.2(11.0~11.3)mg/l로 하천수질환경기준 상수원수 1급수의 범위 내였으며, 조사기간 중 I 유역과 II 유역의 상류지역인 수질조사지점 1과 2의 평균용존산소량은 각각 11.3(9.3~13.0), 11.1(8.45~12.5)mg/l로 비교적 유량이 많은 하류지역인 수질조사지점 3 [11.0 (9.31~12.4)mg/l]과 4 [11.2(8.65~12.6)mg/l]와 유사한 값을 나타내었는데, 이는 이들 지역이 하천경사가 높아 유속이 빠르고, 주변이 산림으로 우거져 하류 하천수보다는 계류수온이 낮은데 기인하는 결과로 생각되며, 이는 수중에서 생물종의 균형을 유지하기 위한 용존산소량(吳英敏과 申錫奉, 1991), 상수원의 限界溶存酸素量(李海金, 1977) 5mg/l 보다 높은 값이었다.

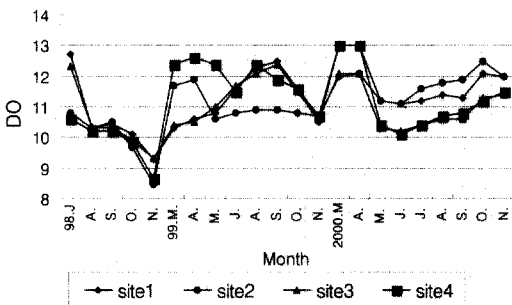


Figure 2. Variations of dissolved oxygen(mg/l) by survey periods(from July of 1998 to November of 2000).

4개 수질조사지점에서 平均용존산소포화도는 101.7(100.3~102.9)%로 과포화상태이었으며, 이

용존산소포화도는 계류수에서 100% 내외였다는 鄭英昊(1985)의 보고와 유사한 결과이었다. 즉, 조사대상 유역 계류수의 용존산소량은 수중에서 생물종의 서식 및 균형 유지에 안정적인 상태로 나타났다.

계류수의 용존산소포화도에 영향을 주는 온은 4개 수질조사지점에서 평균 12.5(12.1~12.9)℃를 나타내었으며, 유역 I과 II 유역이 합류하는 수질조사지점 4와 휴계시설 등 음식점과 합류하는 수질조사지점 3이 계류의 상류지점인 수질조사지점 1과 2보다 평균 약 0.3~0.8℃ 높은 결과를 나타내었으나, 이와 같은 결과는 수질조사지점 3과 4가 계류 주변이 햇볕에 노출되어 있고 주변의 음식점 등에서 배출하는 물의 온도 등에 영향받아 나타나는 결과로 수질조사지점 1과 2보다는 수서생태계에 불리하게 작용할 것으로 생각된다(Brown과 Krygier, 1971; 박종관, 1997).

아울러 계류수온의 연교차도 계류의 하류지역인 수질조사지점 3과 4가 계류의 상류지역인 수질조사지점 1과 2보다 약 0.1~2.0℃가 높아 상기의 결과와 유사한 결과이었다(Figure 3). 한편, 계절별 수온을 분석한 결과 상류지역인 수질조사지점 1과 2 그리고 햇볕에 노출되어 있는 하류지역인 수질조사지점 3과 4에서는 봄과 가을의 수온은 유사하였거나 상류지역의 수온이 약간 높은 값을 나타내었다.

즉, 1998년 가을에 수질조사지점 1과 2에서는 4.1~12.6℃이었으나, 수질조사지점 3과 4에서는 4.0~11.4℃로 약 0.1~1.2℃가 높았으며, 1999년 가을에 수질조사지점 1과 2에서는 4.6~12.3℃이었으나, 수질조사지점 3과 4에서는 4.4~11.2℃로 0.2~1.1℃ 높았고, 2000년 가을에 수질조사지점 1과 2에서는 7.2~17.7℃이었으나, 수질조사지점 3과 4에서는 6.9~17.6℃로 0.1~0.3℃ 높았다.

그러나 1998년 여름에 수질조사지점 1과 2에서는 13.9~14.8℃이었으나, 수질조사지점 3과 4에서는 13.6~15.7℃로 -0.3~1.1℃ 낮았으며, 1999년 여름에 수질조사지점 1과 2에서는 13.7~14.9℃이었으나, 수질조사지점 3과 4에서는 13.4~15.5℃로 -0.3~0.6℃ 낮았으며, 2000년 여름에 수질조사지점 1과 2에서는 18.1~18.9℃이었으나, 수질조사지점 3과 4에서는 21.2~21.4℃로 2.5~3.1℃ 낮아 산림이 수림대의 역할을 함으로써 Brown과 Krygier (1971)가 보고한 바와 같이 계류수온을 안정적으로 유지하는 데 기여하는 것으로 분석되었다.

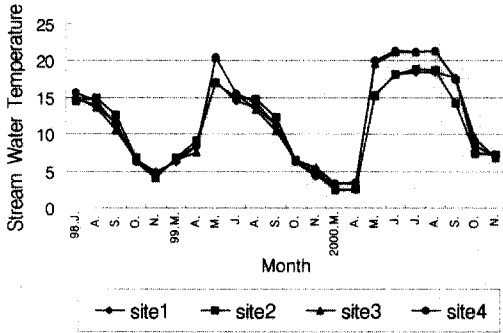


Figure 3. Variations of stream water temperature (°C) by survey periods(from July of 1998 to November of 2000).

3) 電氣傳導度

I 유역의 상류지점(수질조사지점 1)과 II 유역의 상류지점(수질조사지점 2)에서 계류수의 평균전기전도도는 각각 52.3(32.5~76.4), 81.6(40.5~138.8) $\mu\text{S/cm}$ 로 비교적 청정한 국립공원 즉, 발왕산 계류의 전기전도도 42.6~94.5 $\mu\text{S/cm}$ (田祥麟과 黃鍾瑞, 1992), 지리산 칠선계곡, 백무동계곡, 뱀사골계곡의 전기전도도 19.7~73.4 $\mu\text{S/cm}$ (田祥麟과 黃鍾瑞, 1993), 소백산국립공원내 계류수의 전기전도도 27~40 $\mu\text{S/cm}$ (田祥麟과 黃鍾瑞, 1995b) 등과 유사한 값을 나타내었다. 그러나 I 유역의 하류지점(수질조사지점 3) 및 I 유역과 II 유역이 합류하는 수질조사지점 4에서 계류수의 평균전기전도도는 각각 154.0(42.8~371.1), 139.4(52.9~242.0) $\mu\text{S/cm}$ 으로서 인위적 오염이 상대적으로 적은 상류지역에서보다 약 1.7~3.0배 높은 값을 나타내어 계류의 상류보다 하류에서의 오염현상이 큰 것으로 나타났다.

특히 음식점 등에서 유출되는 물이 계류수에 직접 유입되는 수질조사지점 3에서 전기전도도가 가장 높았는데, 이는 음식점 등 휴게시설 등에서 배출하는 물에 용존된 각종 이온의 증가에 따른 결과로 생각된다. 그러나 이들 합류점인 수질조사지점 4에서는 수질조사지점 3에서보다 전기전도도는 낮은 값을 나타내었는데, 이는 유량의 증가에 따른 희석효과로 인한 결과로 생각된다(박재현, 2000a; 程龍鎬 等; 2000).

봄 기간동안 계류수의 전기전도도($\mu\text{S/cm}$)는 1999년과 2000년에 상류지역인 수질조사지점 1과 2에서는 각기 52.8~212, 40.5~138.8을 나타내었으나, 하류지역인 수질조사지점 3과 4에서는 동일 기간동안 각기 55.1~176.3, 112.2~319를 나타내

(Figure 4) 상류보다 높은 전기전도도 값을 나타내어 하류의 계류수 오염이 상류보다 심화된 것으로 분석되었다. 즉, 1998년 7월부터 2000년 11월까지 분석한 전기전도도를 평가할 때 상류지역의 수질조사지점 1과 2에서는 수질변동폭이 적고 그 값이 크게 나타나지 않는데 반해 수질조사지점 3과 4에서는 전기전도도가 계속 증가하는 추세를 나타내어 국립공원내 음식점 및 휴게시설, 사찰 등의 영향이 점차 심화되어 가는 것으로 분석되었다.

그러나 상류지역인 수질조사지점 2에서 1999년 5월에 전기전도도가 212 $\mu\text{S/cm}$ 를 나타내었는데, 이는 앞서 언급한 계안비탈면의 동결용해침식과 융설수의 영향에 의한 산성표층토의 영향에 기인하는 결과로 생각된다. 또한 여름기간동안에는 1998년에 전 수질조사지점에서 전기전도도는 35.1~68.8 $\mu\text{S/cm}$ 를, 1999년에는 55.6~130.6 $\mu\text{S/cm}$ 를, 2000년에는 41.2~285.4 $\mu\text{S/cm}$ 를 나타내 봄과 가을 [1998년; 32.5~242 $\mu\text{S/cm}$, 1999년; 54.4~153.1 $\mu\text{S/cm}$, 2000년; 46.4~371.1 $\mu\text{S/cm}$] 보다 비교적 낮은 값을 나타내었는데, 이는 여름기간동안 유량의 증가에 따른 희석효과의 결과 때문이라 생각된다. 그러나 유량의 증가에 따른 희석효과가 있다고 하더라도 수질조사지점 3과 4에서는 시간이 경과할수록 전기전도도의 값은 증가하는 것으로 나타나 계류수에서의 전기전도도를 감소시키기 위하여는 국립공원내 휴게시설 및 음식점 등의 영향을 저감하기 위한 대책의 수립이 절실히 요구된다.

한편, 이들 수질조사지점 3과 4에서는 단풍철을 맞아 탐방객이 증가하는 가을기간동안에 전기전도도의 최고값이 각각 1998년에는 74.1, 242 $\mu\text{S/cm}$, 1999년에는 60.2, 153.1 $\mu\text{S/cm}$, 2000년에는 371.1, 160.4 $\mu\text{S/cm}$ 로 나타나 시간이 경과할수록 전기전

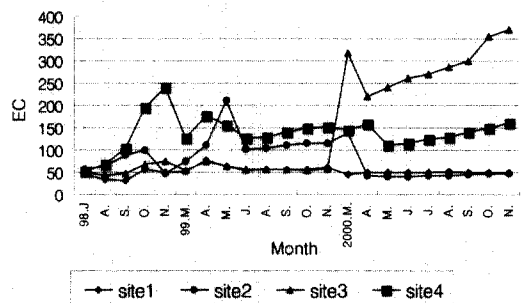


Figure 4. Variations of electrical conductivity($\mu\text{S/cm}$) by survey periods(from July of 1998 to November of 2000).

도도가 증가하여 가을기간동안에는 증가하는 탐방객과 음식점, 산장 등 휴게시설, 사찰시설 등으로 인한 계곡물 오염행위, 낙엽 낙지 등에 의한 용존이온량의 증가 등 다양한 원인에 따른 영향을 저감하기 위한 대책의 강구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

조사기간 동안 I유역과 II유역의 등산로 대표소에서 입장료를 지불한 探訪客數는 총 297,338명으로 月平均 探訪客數는 13,515명에 달했는데, 이들 중 일부는 계곡에서 목욕을 하거나 음식물을 먹고 쓰레기를 투기하는 등 계곡물 오염행위를 함으로써 계류수의 용존이온량을 증가시키는 원인으로 작용하는 것으로 생각되며, 하류로 갈수록 오염의 징후가 높아지는 것으로 생각된다. 또한, 이러한 탐방객의 오염행위로 발생하는 PO_4^{3-} 는 수질조사지점 4로 유입되는 상류지역 수질조사지점 2에서 1999년 6, 8, 9월에 각각 0.05, 0.04, 0.02mg/l가, 수질조사지점 3에서는 2000년 가을기간인 10월, 11월에 각각 0.31, 0.35mg/l가 검출되어 상류지역보다 하류지역에서 계류수의 오염발생이 심화되고 있음을 파악할 수 있었다(박재현과 마호섭, 1999).

4) 硬度, 양이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+)량

조사기간 중 4개 수질조사지점에서의 평균경도는 32.4(21.7~43.5)mg/l로 조사지역의 계류수는 모두 경도가 0~75mg/l의 범위 내인 軟水로 정수처리 등에 의하여 먹는 물로 이용했을 때 위장장애 등이 유발되지 않으며(李奎星 등, 1994), 물때를 발생시키지 않는 것으로 판단되었다. 그러나 상류지역인 수질조사지점 1과 2에서는 평균경도가 21.7~23.9mg/l이었으나, 하류지점인 3과 4에서는 평균경도가 40.3~43.5mg/l로 수질조사지점 1과 2에서보다 약 1.7~2.0배에 달하였는데, 이와 같은 결과는 경도에 관여하는 Ca^{2+} , Mg^{2+} 등 양이온의 양이 하류지역(수질조사지점 3과 4)이 상류지역(수질조사지점 1과 2)에서 보다 많았기 때문인 것으로 분석되었다.

Ca^{2+} 의 양은 하류지역의 평균이 13.46~14.4mg/l로 상류지역의 평균 7.06~7.76mg/l보다 약 1.7~2.0배 높았고, Mg^{2+} 의 양도 하류지역의 평균이 1.63~1.83mg/l로 상류지역의 평균 1.01~1.11mg/l보다 약 1.5~1.8배 높는데 기인하는 결과이었다. 이는 하류지역의 계류수에 용존되어 있

는 염기이온의 양이 많았음을 의미하며, 이와 같은 결과는 계류수에서 전기전도도의 상승을 초래하여 수질오염을 심화시키는 결과를 발생시키는 것으로 판단된다. 한편, K^+ 와 Na^+ 의 경우에도 하류지역인 수질조사지점 3과 4에서의 평균이온량이 각각 3.29~4.15, 9.02~12.75mg/l로 상류지역인 수질조사지점 1과 2에서 각각의 값 1.14~1.41, 3.58~4.08mg/l 보다 약 2.3~3.6배에 달해 상기와 같은 결과를 발생시키는 데 영향하는 것으로 분석되었다.

이와 같은 결과는 북한산 국립공원 북동사면 일대 계류수가 하류로 갈수록 영양염이 증가함을 의미하는 것으로, 과도한 영양염의 증가시 부영양화현상이 우려됨을 내포하는 결과이다. 한편, NH_4^+ 는 4개 수질조사지점에서 평균 0.12(0.07~0.18)mg/l로 비교적 낮은 값을 나타내었고, 4개 수질조사지점 중 수질조사지점 1에서 0.18mg/l로 가장 높게 나타났는데, 이 수질조사지점에서 2000년 11월에는 0.31mg/l이 검출되어 가을에 떨어진 낙엽, 낙지 등이 계류에 유입되어 나타나는 영향이 컸음을 나타내었다.

5) 음이온(Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-})

계류수질오염에 관여하는 음이온 가운데 I유역과 II유역의 4개 수질조사지점에서 평균 Cl^- 량은 14.12(3.91~28.52)mg/l로 나타났는데, I유역과 II유역이 합류하는 수질조사지점 4와 음식점에서 유출하는 물이 합류하는 수질조사지점 3에서는 각기 평균 16.94, 28.52mg/l로 상류지역의 수질조사지점 1과 2에서의 평균 Cl^- 량 3.91, 7.11mg/l보다 약 2.4~7.3배 높은 값을 나타내어 상류지역 수질조사지점 1과 2에서보다 하류지역 수질조사지점 3과 4에서의 수질오염이 높았음을 파악할 수 있었다.

따라서 수질조사지점에 따른 계류수에 용존되어 있는 Cl^- 량을 계절별로 구분하여 분석한 결과 Figure 5에서와 같이 수질조사지점 3과 4에서는 1998년과 1999년보다는 2000년에 많이 검출되었다.

특히 수질조사지점 3과 4에서는 2000년 봄에 각기 37.3~59.48, 15.16~19.06mg/l를, 여름에 각기 60.31~61.35, 16.14~17.21mg/l를, 가을에 각기 65.21~71.5, 18.4~20.5mg/l를 나타내 봄이나 여름보다는 가을에 많이 검출되었는데, 이는 가을기간 동안에 증가하는 탐방객과 음식점, 산장 등 휴게시설, 사찰시설 등으로 인한 계곡물 오염행위,

낙엽 낙지 등에 의한 용존이온량의 증가, 계류수량의 감소 등 복합적인 영향에 기인한 결과라 생각된다. 또한, 수질조사지점 3과 4에서 Cl^- 량이 높은 이유는 Cl^- 량이 음식물 등으로 인한 이온(權肅杓, 1989; 吳英敏과 申錫奉, 1991)이므로 하류 그리고 생활오폐수가 근접한 곳에 위치한 데 크게 영향을 것으로 판단된다. 또한, Cl^- 점유비는 수질조사지점 3과 4에서 각기 34.1, 26.2%로 수질조사지점 1과 2에서의 값(14.1, 20.2%)보다 약 1.3~2.4배 높은 값을 나타내었다.

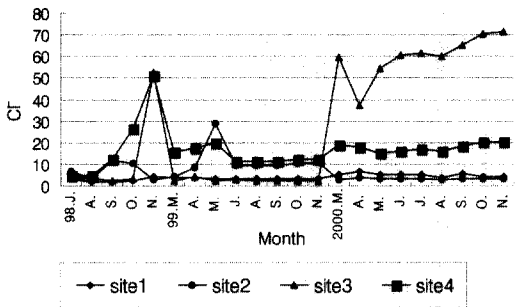


Figure 5. Variations of content of Cl^- by survey periods(from July of 1998 to November of 2000).

동물의 분뇨 등이 계류에 유입되어 발생한 NH_3-N 이 산화되면서 생성된 화합물인 NO_2^- 는 조사기간 중 전체 수질조사지점에서 검출되지 않았으며, 계류수질오염의 지표인자인 NO_3^- 는 4개 수질조사지점에서 평균 8.89(4.82~13.14)mg/l로 NO_3^- 도 Cl^- 과 같이 수질조사지점 3과 4가 수질조사지점 1과 2에서보다 높은 값을 나타내었다.

수질조사지점 3과 4에서는 각기 평균 13.14, 11.11mg/l로 수질조사지점 1과 2에서의 평균값 4.82, 6.47mg/l 보다 약 1.7~2.7배에 달하는 값이었다. 따라서 수질조사지점에 따른 계류수에 용존되어 있는 NO_3^- 량을 계절별로 구분하여 분석한 결과 Figure 6에서와 같이 수질조사지점 3과 4에서는 1998년과 1999년보다는 2000년에 많이 검출되었다.

특히 수질조사지점 3과 4에서는 2000년 봄에 각기 15.26~42.23, 9.11~13.57mg/l를, 여름에 각기 17.21~20.11, 11.3~13.21mg/l를, 가을에 각기 22.4~26.4, 14.5~18.4mg/l를 나타내어 봄이나 여름보다는 가을에 많이 검출되었는데, 이는 가을기간동안에 증가하는 탐방객과 음식점, 산장

등 휴게시설, 사찰시설 등으로 인한 계곡물 오염 행위, 낙엽 낙지 등에 의한 용존이온량의 증가, 계류수량의 감소 등의 복합적 영향에 기인한 결과라 생각된다. 그러나 우리 나라의 먹는 물 수질기준에 의한 NO_3^- 량은 10mg/l 이하(박종관, 1997)로 수질조사지점 3과 4에서의 수질은 먹는 물 수질기준에 적합하지 않은 상태를 나타내었다. 이는 음식점 및 각종 위락시설 등에 의해 청정한 산림내 계류수의 오염이 발생되고 있음을 단적으로 나타내 주는 결과라 생각된다. 그러나 NO_3^- 점유비는 수질조사지점 3과 4에서 각기 15.7, 17.2%로 수질조사지점 1과 2에서의 값(17.3, 18.4%)보다 비교적 낮은 값을 나타내었는데, 이는 상류지역인 1과 2지점에서의 계류수에 용존되어 있는 NO_3^- 량이 다른 이온량보다 상대적으로 높는데 기인하는 결과 때문이라 생각된다.

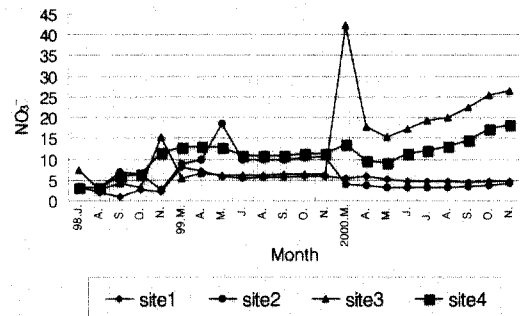


Figure 6. Variations of content of NO_3^- by survey periods(from July of 1998 to November of 2000).

동물의 분뇨 등에 근원하는 PO_4^- 는 4개 수질조사지점에서 평균 0.02(0~0.04)mg/l로 미량이었으나, 상류지역인 수질조사지점 2에서도 미량이 검출되어 탐방객 등의 오염활동이 계류 상류에까지 이르고 있는 것으로 생각된다. 또한, 오염에 의한 계류수질평가인자라 판단되는(朴在鉉, 1996; 1997) SO_4^{2-} 는 4개 수질조사지점에서 평균 7.76(6.10~9.21)mg/l로 Cl^- , NO_3^- 등 다른 음이온과 같이 수질조사지점 3과 4가 각기 8.65, 9.21mg/l로 수질조사지점 1과 2의 값 6.10, 7.06mg/l 보다 약 1.2~1.5배 높은 값을 나타내었다(Figure 7).

따라서 수질조사지점에 따른 계류수에 용존되어 있는 SO_4^{2-} 량을 계절별로 구분하여 분석한 결과 Figure 7에서와 같이 탐방행태가 산각부와 같은 하류지역에서 증가하는 등의 현상이 나타나는 수질

조사지점 3과 4에서는 1998년과 1999년보다는 2000년에 많이 검출되었다. 특히 수질조사지점 3과 4에서는 2000년 봄에 각기 8.51~13.5, 7.87~9.56mg/l를, 여름에 각기 9.61~10.81, 8.4~10.32mg/l를, 가을에 각기 11.41~13.5, 10.51~13.1mg/l를 나타내어 봄이나 여름보다는 가을에 많이 검출되었는데, 이는 가을기간동안 탐방객의 이용증가와 휴양시설의 부족, 자연에서 휴식하고자 하는 도시민들의 욕구증가 등과 이들의 욕구를 만족시켜 주고자 하는 음식점, 산장 등 휴게시설, 사찰시설에서의 계곡물 오염행위, 낙엽 낙지 등에 의한 용존이온량의 증가, 계류수량의 감소, 도시의 근접 등으로 인한 복합적 영향에 기인한 결과라 생각된다.

그러나 SO_4^{2-} 점유비는 수질조사지점 3과 4에서 각기 10.3, 14.2%로 수질조사지점 1과 2에서의 값(21.9, 20.1%)보다 낮은 값을 나타내었는데, 이는 3과 4지점에서는 Cl^- 점유비가 상대적으로 높은데 기인하는 결과 때문이며, 또한, 상류지역인 1과 2지점에서의 계류수에 용존되어 있는 SO_4^{2-} 량이 다른 이온량보다 상대적으로 많은데 기인하는 결과 때문이라 생각된다.

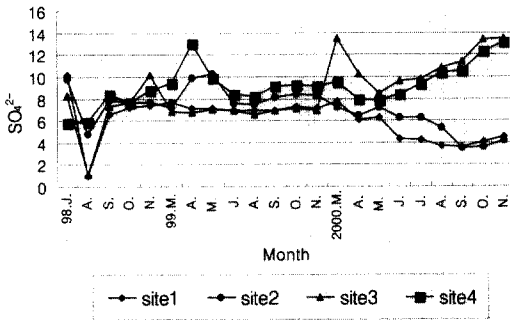


Figure 7. Variations of content of SO_4^{2-} by survey periods(from July of 1998 to November of 2000).

結 論

이 연구는 北漢山國立公園 北東斜面 一帶 溪流水의 理化學의 特性을 季節別로 파악함으로써 國立公園內 溪流水質 保全을 위한 과학적 기초 자료를 제공하기 위하여 1998년 7월부터 2000년 11월까지 북한산 북동사면 일대 계류수를 대상으로 수행하였으며, 계류수질을 계절별로 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 북한산국립공원 북동사면 일대 溪流水의 平均 pH는 6.6(6.53~6.74), 平均溶存酸素量은 11.2(11.0~11.3)mg/l로 河川水質環境基準 상수원수 1급수의 범위 내였다.
2. 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수의 平均硬度는 32.4(21.7~43.5)mg/l로 軟水이었으며, 平均電氣傳導度는 106.8(52.3~154.0) $\mu S/cm$ 이었으나, 음식점, 사찰 등으로부터 영향을 받는 하류지역에서는 139.4~154 $\mu S/cm$ 로 상류지역(52.3~81.6 $\mu S/cm$)보다 약 1.7~3.0배 높았다.
3. 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수에서 電氣傳導度를 계절별로 분석한 결과 봄이나 여름보다는 가을에 높아 가을이 다른 계절보다 溪流水質汚染이 더 심한 것으로 分析되었다.
4. 북한산국립공원 북동사면 일대 계류수에서 용존음이온량(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-})은 上流보다는 下流에서 높게 나타났으며, 계절별로는 봄이나 여름보다는 가을에 높아 가을이 다른 계절보다 계류수질오염이 더 심한 것으로 분석되었다.

引用 文 獻

1. 權肅杓. 1989. 음료수의 수질. 自然保護 12(6) : 20-22.
2. 국립공원관리공단 북한산관리소. 1998. 북한산국립공원 탐방객이용현황자료 : 1-3.
3. 국립공원관리공단 북한산동부관리사무소. 1998. 북한산국립공원 생태조사 모니터링 보고서. 국립공원관리공단 북한산동부관리사무소. 86pp.
4. 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.
5. 朴在鉉. 1995a. 白雲山 成熟闊葉樹林 皆伐收穫地에서 伐出直後의 環境變化와 運材路 浸蝕에 關한 研究. 서울大學校 大學院 博士學位論文. 137pp.
6. 朴在鉉. 1995b. 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 9 2 : 23-38.
7. 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.

8. 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.
9. 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.
10. 박재현. 2000a. 北漢山國立公園 北東斜面 一帶 溪流水質 特性(II) - 理化學의 特性을 中心으로 -. 한국임학회지 89(2) : 241-248.
11. 박재현. 2000b. 北漢山國立公園 北東斜面 一帶 溪流水質 特性(III) - 溪流水質汚染에 미치는 影響因子를 中心으로 -. 한국임학회지 89(3) : 297-305.
12. 박재현 · 마호섭. 1999. 북한산국립공원내 휴식년 계곡의 수질관리를 위한 계류수질모니터링. 한국환경복원녹화기술학회지 2(2) : 88-96.
13. 박종관. 1997. 물환경조사법. 청문각. 186pp.
14. 양홍준 · 이용호. 1999. 소백산 국립공원 계류의 수환경 및 어류상과 어류 군집구조. 韓國生物相研究誌 4 : 221-236.
15. 吳英敏 · 申錫奉. 1991. 水質管理. 신광문화사. 311pp.
16. 李圭星 · 李盛弘 · 李辰河 · 黃相容. 1994. 水質汚染概論. 螢雪出版社. 364pp.
17. 李海金. 1977. 臨溪峯 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. 1993. 智異山의 七仙溪谷, 白武洞溪谷 및 뱀사골溪谷의 水環境과 淡水魚類相. 韓國自然保存協會 調查報告書 第31號 : 141-151.
20. 田祥麟 · 黃鍾瑞. 1995a. 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.
21. 田祥麟 · 黃鍾瑞. 1995b. 小白山 國立公園 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33號 : 141-149.
22. 鄭英昊. 1985. 溪流의 植物性 플랑크톤. 자연보존 50 : 12-15.
23. 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.
24. 程龍鎬 · 朴在鉉 · 金景河 · 尹豪重 · 元亨圭. 1999b. 전나무림, 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.
25. 程龍鎬 · 朴在鉉 · 金景河 · 尹豪重. 2000. 전나무림, 잣나무림 流域에서 山林의 水質淨化機能에 미치는 山林施業 影響(III) - 林外雨, 樹冠通過雨, 樹幹流의 pH와 電氣傳導度를 中心으로 -. 韓國林學會誌 89(2) : 223-231.
26. 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.
27. 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.
28. 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.
29. 黃鍾瑞 · 鄭眞姬. 1998. 五臺山國立公園 西北斜面 一帶의 水環境. 韓國自然保存協會調查研究報告書 第38號 : 135-141.
30. Brown, G.W. and J.T. Krygier. 1971. Clear-Cut logging and sediment production in the Oregon coast range. Water Resources Research 7(5) : 1189-1198.
31. 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.
32. Fredriksen, R.L. 1970. Erosion and sedimentation following road construction and timber harvest on unstable soils in three small Oregon watersheds. USDA Forest Service Research Paper PNW-104, 15p.
33. Rosengvist, I.T. 1978. Total Environment. Science 10 : 39.
34. Skreslet, S., Leineb ψ , J.B.L. Matthews, E. Sakshang. 1976. Association of Norwegian Oceanographers. p. 21.