

## 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<sup>1\*</sup>

朴在鉉<sup>2</sup> · 禹保命<sup>3</sup>

## Chemical Characteristics of Water Quality of Rainfall, Throughfall, Soil and Stream Water in Small Forested Watershed<sup>1\*</sup>

Jae-Hyeon Park<sup>2</sup> and Bo-Myeong Woo<sup>3</sup>

### 要 約

이 研究는 溪流水에서 水質評價項目의 設定時 중요한 因子인 陽이온( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ )과 陰이온( $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ )에 미치는 影響요인을 究明함으로써 溪流水質評價基準을 定立하기 위한 基礎資料를 提供하기 위하여 서울大學校 農業生命科學大學 附屬 冠岳樹木園內 山林小流域의 3개 調查區에서 遂行하였다. 1996년 7월 1일부터 1997년 8월 31일까지 降水, 樹冠通過雨, 土壤水 그리고 溪流水의 水質動態를 分析한 結果, 溪流水에 溶存되어 있는  $Cl^-$ 이온은 降水나 樹冠通過雨보다는 土壤水에 溶存되어 있는  $Cl^-$ 이온과 有意한 相關關係를 나타내었으며, 土壤水에 溶存되어 있는  $NO_3^-$ 이온은 降水에 溶存되어 있는  $NO_3^-$ 이온과 有意한 相關關係를 나타내었다. 또한 土壤 A層과 B層의 土壤水에 溶存되어 있는 陽이온( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ )과 陰이온( $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ )은 統計的으로 有意한 相關關係를 나타내었다. 降水에 溶存되어 있는  $NO_3^-$ 이온과  $SO_4^{2-}$ 이온의 平均濃度比는 약 0.66으로 降水에는  $NO_3^-$ 이온보다는  $SO_4^{2-}$ 이온이 더 많이 含有되어 있었다. 전체 조사구에서 降水, 樹冠通過雨, 土壤水의 陰이온量은 溪流水에 溶存하는 陰이온量과 有意한 相關關係를 나타내었으며, 降水, 樹冠通過雨, 土壤水, 溪流水에 溶存되어 있는 이온總量의 평균값의 크기는 土壤水(B層 > A層) > 樹冠通過雨(리기다소나 무림 > 뽕나무림 > 서어나무림) > 溪流水 > 降水의 關係이었다.

### ABSTRACT

This research was conducted to analyze the influence of the environmental factors on water quality such as contents of cation( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) and anion( $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ) in rainfall, throughfall, soil water(A and B layer), and stream water at a small forested watershed. Rainfall, throughfall, soil water(A and B layer), and stream water were sampled at the study sites in Kwanak Arboretum, Seoul National University, in Mt. Kwanak for 14 months(Jul. 1, 1996~Aug. 31, 1997).

$Cl^-$  content of stream water correlated with that of soil water more than that of rainfall and throughfall. Also  $NO_3^-$  content in soil water was correlated with that of rainfall. Cation( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) contents in soil water at layer A and B were significantly correlated with anion( $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ) of that. The ratio of the average content of  $NO_3^-$  to  $SO_4^{2-}$  in rainfall was 0.66. Accordingly the content of  $SO_4^{2-}$  was higher than  $NO_3^-$  in rainfall.

<sup>1</sup> 接受 1997年 12月 15日 Received on December. 15, 1997.

<sup>2</sup> 林業研究院 Forestry Research Institute, Seoul, Korea.

<sup>3</sup> 서울大學校 農業生命科學大學 山林資源學科 Dept. of Forest Resources, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea.

\* 이 研究는 韓國學術振興財團의 支援으로 遂行한 研究의 一部임.

The amount of anion in stream water was significantly correlated with that in rainfall, throughfall, and soil water. Average content of cation and anion in hydrological processes were decreasing in the following order, soil water(B layer>A layer)>throughfall(*Pinus rigida*>*Prunus serrulata* var. *spontanea*>*Carpinus laxiflora*)>stream water>rainfall.

Key words : Cation, anion, rainfall, throughfall, soil and stream water quality

緒 論

山林流域內 溪流水는 강수가 정지된 상태나 일정한 降雨強度와 降水量 이하에서는 混濁하지 않고 맑은 상태를 유지하여 하류의 河川이나 湖沼에 流入됨으로써 水質을 좋게 한다. 그러나 1972年 酸性雨(Acid Rain)란 용어가 처음으로 사용된 이래, Hemphill과 Pierce(1974)는 강수 등에 수반되어 침착하는 대기오염물질들이 빗방울에 의한 입자의 慣性衝突, 擴散浸透, 열 및 電氣泳動에 의해 포획되어 씻겨 내려와 산림토양을 산성화시키고 溪流水質을 악화시키는 등 대기오염물질의 乾堆積과 濕堆積에 의한 피해가 발생한다고 하였다. Matzner와 Ulrich(1983), 佐藤 等(1990)은 이러한 공해물이 산림지역에서 林相에 따라 어떻게 작용하는가를 究明하였고, 堤(1987)는, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N은 강우시 水位上昇에 따라 濃度가 증가한다고 하였다. Flinn 等(1979)과 岩坪 等(1982)은, 溪流 周邊의 모암과 산림상태에 따라 발생하는 糞料移動과 蓄積은 溪流水에 용존되어 있는 양료함량을 변화시키는 중요한 인자이므로 溪流水質 評價項目 設定時에는 임목, 토양, 암석 등이 함유하고 있는 화학물질에 대한 면밀한 검토가 이루어져야 한다고 하였다. 遠藤 等(1984)은 山林內 溪流水에 용존되어 있는 성분의 함유율은 초지를 통과한 수질에서보다 낮아 山林內 溪流水質을 높이 평가하였으며, 廣瀨 等(1988)은 山林內 34개 集水域에서 流出水를 分析한 結果 山林內 溪流水는 먹는 물 水質基準에 적합하였다고 하였다. 또한 德地 等(1990)은 降水, 樹冠通過水, 土壤水, 溪流水에서 Cl<sup>-</sup>이온동태로 물순환 과정을 설명하였다. 平井 等(1990)은 삼나무림의 수간류는 임내우, 임외우에 비해 염기농도가 높았고, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N농도는 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>이온과 相關關係가 높아 溪流水質評價 前에 이들 인자에 대한 연구가 필요하다고 하였으며, 森貞 等(1990)은 강수와 수간류에서는 K<sup>+</sup>이온이 현저하게 차이났다고

하였다.

山林이 溪流水質을 化學的, 生物學的으로 淨化시켜 酸性雨 등 大氣汚染物質에 대하여 자연적인 보호역할을 한다는 理論이 대두되면서 関一植(1989)은 黃酸化物보다는 窒素酸化物이 土壤酸性化에 크게 영향하고 오염된 지역에서는 Ca<sup>2+</sup>와 Mg<sup>2+</sup>이온의 溶脫로 토양입단화가 악화되어 침식 발생률이 높아 溪流水質에 악영향을 미칠 수 있다고 하였다. 中尾 等(1990)은 산성강하물이 산림토양에 미치는 영향은 토양의 酸性化, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>이온의 溶脫, Al, Fe, Mn의 過剩, 그리고 P의 固定 등이라고 하였다. 그러나 Morgan(1990)은 溪流水에서의 酸性化는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>이온의 영향이 가장 컸다고 하였고, 佐佐 等(1991)은 山林土壤의 緩衝能과 溪流水의 中和作用을 究明하였다. 佐藤 等(1992)은 降雪中에 溶存成分의 양이 많으면 pH가 저하한다고 하였으며, 圖子 等(1993)은 토양pH가 5.5이상에서는 염기포화도가 현저히 높아지고, 5.5이하에서는 양이온치환용량이 증가하는 등 토양수 중의 음이온량의 증가는 양이온량의 증가를 가져온다고 하였다. 朴在鉉(1996)은 山林內 溪流水質 評價因子에 포함될 수 있는 양이온, 음이온, 토양특성인자 등에 관하여 고찰하였으며, 이상훈(1995)은 水質汚染의 評價는 統計的으로 有意해야 한다고 하였다.

이와 같이 先進 外國에서는 溪流水에 溶存되어 있는 각종 성분 등의 상호 영향관계를 究明하기 위한 研究가 지속적으로 수행되고 있다. 특히 오염된 물질이 산림토양을 거치면서 淨化되거나 溪流水에서 中和되는 등의 기작에 대하여 다양한 실험을 통해 그 메커니즘을 밝히려는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그러나 아직까지 우리나라에서는 계류수에 용존되어 있는 성분에 대한 검토가 제대로 이루어지지 않아 溪流水質評價基準이 정립되어 있지 않은 실정이다.

따라서 이 研究는 降水로부터 溪流水에 이르기까지 물순환과정에서 물에 용존되어 있는 이온의 化學的 特性을 파악하고 溪流水質評價項目의 設

定時 중요한 因子인 陽이온( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ )과 陰이온( $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ )에 미치는 영향요인을 究明함으로써 溪流水質評價基準을 定立하기 위한 기초자료를 제공하는데 그 目的이 있다.

**材料 및 方法**

調査地 概況 및 研究方法 그리고 調査地 土壤의 物理·化學的 特性은 韓國林學會誌 86권 4호 491~493 페이지에 掲載하였음.

**結果 및 考察**

**1. 降水, 樹冠通過雨, 土壤水, 溪流水에서 溶存 이온의 影響因子 分析**

(1)  $Ca^{2+}$ 이온

조사시점인 1996년 7월 1일부터 土壤과 溪流水가 凍結되어 測定이 불가능한 冬期(1996년 11월부터 1997년 3월까지)를 제외하고 1997년 8월 31일까지 조사지역에 내린 單位降雨은 총 24회였고, 각 單位降雨에 대하여 降水, 樹冠通過雨, 土壤水, 溪流水에 溶存되어 있는  $Ca^{2+}$ 이온간의 關係에 대하여 相關分析한 結果는 Table 1에서와 같다.

강수에 용존되어 있는  $Ca^{2+}$ 이온과 리기다소나무림의 樹冠通過雨에 溶存되어 있는  $Ca^{2+}$ 이온과의 片相關係數는 0.6973으로 5% 水準에서 有意한 正의 相關關係를 나타내었고, 先行無降雨日數와는 편상관계수가 0.7998로 1% 수준에서 有意한 正의 相關關係를 나타내었다. 이는 무강우일

수가 길수록 대기 중에 포함되어 있는  $Ca^{2+}$ 이온의 양은 증가함을 의미한다. 또한 서어나무림(조사구 1), 벗나무림(조사구 2), 리기다소나무림(조사구 3) 모두 토양 A층과 B층의 土壤水에 용존되어 있는  $Ca^{2+}$ 이온의 편상관계수는 각각 0.9068, 0.8921, 0.8188로 1% 수준에서 고도로 有意한 正의 相關關係를 나타내었는데, 이는 토양 A층과 B층에서의  $Ca^{2+}$ 이온이 밀접한 關係를 갖고 있음을 의미한다. 그러나 降水에 용존되어 있는  $Ca^{2+}$ 이온은 樹冠通過雨, 土壤水 그리고 溪流水에 용존되어 있는  $Ca^{2+}$ 이온과는 有意하지 않은 結果를 나타내었는데, 이는 강수에 용존되어 있는  $Ca^{2+}$ 이온의 양이 적어 수관통과우, 토양수 그리고 계류수에 용존되어 있는  $Ca^{2+}$ 이온의 양에 직접적인 영향을 미치지 않았고, 수목의 잎과 가지에 퇴적되어 있던  $Ca^{2+}$ 이온과 토양내에 존재하는  $Ca^{2+}$ 이온의 양에 직접적인 영향을 미치지 않았기 때문이라 생각된다. 즉, 宗宮(1993)이 보고한 토양내의  $Ca^{2+}$ 이온은 강수보다도 모암 및 암석의 함유성분과 풍화 그리고 他 이온의 함량에 영향을 받는 데 원인이 있다고 생각된다. 조사구 1에서 수관통과우에 용존되어 있는  $Ca^{2+}$ 이온과 토양 A층과 B층의 토양수에 용존되어 있는  $Ca^{2+}$ 이온과의 편상관계수는 각각 0.8292, 0.7910으로 1% 수준에서 고도로 有意한 正의 相關關係를 나타내어 수관통과우에 용존되어 있는  $Ca^{2+}$ 이온이 토양수에 용존되어 있는  $Ca^{2+}$ 이온에 영향하는 것으로 解析되었다. 즉, 강수에 용존되어 있는  $Ca^{2+}$ 이온과 선행무강우일수와의 關係를 직선회귀분석한 結果, 降水에 용존되어 있는  $Ca^{2+}$ 이온(Y)=-5.0968+3.9434×先行無降雨日數(X)( $R^2$

**Table 1.** Correlation coefficients of  $Ca^{2+}$  content of rainfall, throughfall, soil and stream water.

	RCa	SS1ACa	SS1BCa	SS2ACa	SS3ACa	ST1Ca	ST2Ca	ST3Ca
SS1BCa	-	0.9068**	-	-	-	-	-	-
SS2BCa	-	-	-	0.8921**	-	-	-	-
SS3BCa	-	-	-	-	0.8188**	-	-	-
ST1Ca	-	0.8292**	0.7910**	-	-	-	-	-
ST2Ca	-	0.8291**	0.7881**	-	-	0.9998**	-	-
ST3Ca	0.6973*	0.7401*	0.7664*	-	-	0.8529**	0.8498**	-
N.B.R.D.	0.7998**	-	-	-	-	-	-	0.7328*

Note : \* means statistically significant at 5% level and \*\* means statistically significant at 1% level. RCa :  $Ca^{2+}$  content in Rainfall, SS1A(B)Ca :  $Ca^{2+}$  content in A(B) layer of soilwater in site 1, SS2A(B)Ca :  $Ca^{2+}$  content in A(B) layer of soilwater in site 2, SS3A(B)Ca :  $Ca^{2+}$  content in A layer of soilwater in site 3, ST1(2, 3)Ca :  $Ca^{2+}$  content in throughfall in site 1(2, 3), N.B.R.D. : Number of before rain days

=0.64)이었다.

降水, 樹冠通過雨, 土壤水, 溪流수에 용존되어 있는  $Ca^{2+}$ 이온과 유의한 상관관계를 나타낸 이들 인자와 선행무강우일수 등 총 12종의 인자에 대하여 多重回歸分析한 結果, 降水에 용존되어 있는  $Ca^{2+}$ 이온에 중요한 영향을 미치는 因子는 先行無降雨日數이었다.

(2)  $Mg^{2+}$ 이온

降水, 樹冠通過雨, 土壤水, 溪流수에 용존되어 있는  $Mg^{2+}$ 이온에 대한 相關分析結果는 Table 2에서와 같다.

相關分析結果, 조사구 1, 2, 3의 토양 A층과 B층에서 土壤수에 용존되어 있는  $Mg^{2+}$ 이온간의 편상관계수는 각각 0.9485, 0.9645, 0.8251로 1% 수준에서 고도로 유의한 정의 상관관계를 나타내어 조사구 모두 토양 A층과 B층에서의  $Mg^{2+}$ 이온은 상호 밀접한 관계를 갖는 것으로 나타났다. 또한 조사구 1, 2, 3에서 수관통과수와 토양 A층에서의 토양수에 용존되어 있는  $Mg^{2+}$ 이온간의 편상관계수는 각각 0.6992, 0.9113, 0.7447로 5%, 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내었다. 溪流수에 용존되어 있는  $Mg^{2+}$ 이온과 조사구 1, 2, 3의 토양 A층과 B층에서의  $Mg^{2+}$ 이온은 모두 5%, 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내었고, 조사구 1, 2, 3에서의 樹冠通過雨에 용존되어 있는  $Mg^{2+}$ 이온과는 편상관계수가 각각 0.7573, 0.7534, 0.9254로 5%, 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내어, 계류수에 용존되어 있는  $Mg^{2+}$ 이온은 수관통과수와 토양수에 용존되어 있는  $Mg^{2+}$ 이온에 기원하는 것으로 해

석되었다. 이는 石塚等(1990)과 宗宮(1993)이 보고한 산림에서는 강수가 잎, 줄기, 가지 등과 접촉하여 樹冠通過雨, 樹杆流下水 등으로 林床에 도달하며, 이로 인하여 식물체의 이용과 酸性雨 등으로 溶脫되는  $Mg^{2+}$ 이온은 쉽게 토양 내에서 토양수로 용출된다는 연구결과와 유사한 결과이었다. 그러나 降水에 용존되어 있는  $Mg^{2+}$ 이온은 樹冠通過雨, 土壤水, 溪流수에 용존되어 있는  $Mg^{2+}$ 이온과는 유의하지 않은 상관관계를 나타내었다. 이는 강수에 용존되어 있는  $Mg^{2+}$ 이온이 미량이었고, 강수가 樹木의 樹冠層을 통과하면서 酸性物質 등에 의하여 용탈되어 수관통과수와 토양수 등에 쉽게 유입되었기 때문인 것으로 생각된다.

(3)  $K^{+}$ 이온

$K^{+}$ 이온은 土壤內 岩石에 근원하는 원소에 기원하며, 流出水 中の  $K^{+}$ 이온 농도는 地質의 영향을 많이 받게 되는 데(佐佐等, 1990), 降水에 용존된  $K^{+}$ 이온과 樹冠通過雨, 土壤水, 溪流수에 용존되어 있는  $K^{+}$ 이온간의 相關分析 結果는 Table 3에서와 같다.

강수에 용존된  $K^{+}$ 이온은 조사구 1, 2, 3에서 모두 토양 A층과 B층의 토양수에 용존되어 있는  $K^{+}$ 이온과는 각각 5%, 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내었으며, 계류수에 용존되어 있는  $K^{+}$ 이온과는 편상관계수가 0.9693으로 1% 수준에서 고도로 유의한 정의 상관관계를 나타내었다. 또한, 조사구 1, 2, 3 모두 토양 A층에 용존되어 있는  $K^{+}$ 이온과 토양 B층의 토양수에 용존되어 있는  $K^{+}$ 이온과는 각각 편상관계수가

Table 2. Correlation coefficients of  $Mg^{2+}$  content of rainfall, throughfall, soil and stream water.

	SS1AMg	SS2AMg	SS3AMg	ST1Mg	ST2Mg	ST3Mg
SS1AMg	-	0.7066*	-	0.6992*	0.6992*	0.8818**
SS1BMg	0.9485**	0.8600**	-	0.8374**	0.8364**	0.9369**
SS2AMg	0.7866*	1.0000	0.6760*	0.9150**	0.9113**	0.8564**
SS2BMg	0.6551*	0.9645**	0.7381*	0.8384**	0.8345**	0.8435**
SS3AMg	-	0.6760*	1.0000	-	-	0.7447*
SS3BMg	0.7196*	0.8265**	0.8251**	0.7573*	0.7534*	0.9254**
SWMg	0.8282**	0.9100**	0.7400*	0.8570**	0.8532**	0.9205**

Note : \* means statistically significant at 5% level and \*\* means statistically significant at 1% level. SS1A(B)Mg :  $Mg^{2+}$  content in A(B) layer of soilwater in site 1, SS2A(B)Mg :  $Mg^{2+}$  content in A(B) layer of soilwater in site 2, SS3A(B)Mg :  $Mg^{2+}$  content in A(B) layer of soilwater in site 3, ST1(2, 3)Mg :  $Mg^{2+}$  content in throughfall in site 1(2, 3), SWMg :  $Mg^{2+}$  content in stream water

**Table 3.** Correlation coefficients of K<sup>+</sup> content of rainfall, throughfall, soil and stream water.

	RK	SS1AK	SS1BK	SS2AK	SS2BK	SS3AK	SS3BK	ST2K
SS1AK	0.6567*							
SS1BK	0.7758**	0.9331**						
SS2AK	0.8576**	0.8374**	0.8779**					
SS2BK	0.8963**	0.8455**	0.8912**	0.9897**				
SS3AK	0.7573*	0.8744*	0.9529**	0.7988**	0.8062**			
SS3BK	0.7889*	0.8125**	0.7781**	0.6690*	0.7017*	0.8509**		
SWK	0.9693**	0.6981*	0.7743**	0.8886**	0.9278**	0.7411*	0.7098*	
ST2K	-	-	-	-	-	-	0.9906**	
ST3K	-	0.7648*	0.6903*	0.6999*	0.7008*	-	0.6996*	0.7634*

Note : \* means statistically significant at 5% level and \*\* means statistically significant at 1% level.  
 RK : K<sup>+</sup> content in Rainfall, SS1A(B)K : K<sup>+</sup> content in A(B) layer of soilwater in site 1,  
 SS2A(B)K : K<sup>+</sup> content in A(B) layer of soilwater in site 2, SS3A(B)K : K<sup>+</sup> content in A(B)  
 layer of soilwater in site 3, SWK : K<sup>+</sup> content in stream water, ST2(3)K : K<sup>+</sup> content in  
 throughfall in site 2(3)

0.9331, 0.9897, 0.8509로 1% 수준에서 고도로 유의한 정의 상관관계를 나타내어 토양 A층과 B층에서 토양수에 용존되어 있는 K<sup>+</sup>이온은 상호 밀접한 상관관계가 있는 것으로 해석되었다. 이는 丸山 等(1965), 岩坪과 堤(1967) 등이 보고한, K<sup>+</sup>이온은 토양 A층에 다량 존재하여 酸性物質 등에 의하여 용출되어 토양수에서 검출되기 쉽다는 연구결과와 유사한 결과이었다.

樹冠通過雨는 토양 A층과 B층의 토양수에 용존되어 있는 K<sup>+</sup>이온과는 유의하지 않은 상관관계를 나타내었는데, 이는 수관통과수에 용존되어 있는 K<sup>+</sup>이온이 미량이어서 토양수의 K<sup>+</sup>이온에 직접적인 영향을 주지 않았기 때문으로 생각된다. 溪流水에 용존되어 있는 K<sup>+</sup>이온은 강수, 토양 A층과 B층의 토양수에 용존되어 있는 K<sup>+</sup>이온과 각각 5%, 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내어 강수와 토양수에 용존되어 있는 K<sup>+</sup>이온은 계류수에 유입되어 계류수에 용존되어 있는 K<sup>+</sup>이온량에 영향하는 것으로 解析되었다.

降水에 용존되어 있는 K<sup>+</sup>이온에 유의한 상관관계를 나타낸 樹冠通過雨, 土壤水, 溪流水에 용존되어 있는 K<sup>+</sup>이온 등 총 11종의 인자에 대하여 多重回歸分析한 結果, 溪流水에 용존되어 있는 K<sup>+</sup>이온이 중요한 영향관계에 있었다. 이를 多重回歸式으로 나타내면, 降水에 용존되어 있는 K<sup>+</sup>이온 = -0.0277 + 1.0578 × 溪流水에 용존되어 있는 K<sup>+</sup>이온 (R<sup>2</sup>=0.94)이었다. 즉, 강수의 K<sup>+</sup>이온은 계류수에 용존되어 있는 K<sup>+</sup>이온에 중요한 영향을 미치는 것으로 解析된다.

#### (4) Na<sup>+</sup>이온

Na<sup>+</sup>이온은 海水 및 海洋에서 불어오는 바람에 기원하는데(志水와 坪山, 1990), 降水, 樹冠通過雨, 土壤水, 溪流水에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온에 대한 상호관계에 대하여 상관분석한 결과, 강수에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온은 조사구 1, 2, 3의 수관통과수, 토양 A층, B층에서의 토양수, 계류수에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온에 모두 5%, 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내었다. 이는 강수에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온은 조사구 모두의 수관통과수, 토양수, 계류수를 포함한 물순환 과정에 직접적인 영향관계가 있음을 의미한다. Table 4는 降水에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온과 樹冠通過雨, 土壤水, 溪流水에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온과의 相關關係를 分析한 結果이다.

토양 A층과 B층에서 토양수에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온간의 상관관계는 조사구 모두 5%, 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내어, 토양 A층과 B층 토양수의 Na<sup>+</sup>이온은 상호 밀접한 관계가 있는 것으로 解析되었다. 또한 계류수에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온과 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타낸 강수에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온과의 직선회귀분석결과 直線回歸式은, 溪流水에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온 = -0.1825 + 0.6744 × 降水에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온 (R<sup>2</sup>=0.82)으로 나타났다. 계류수에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온과 1% 수준에서 유의한 상관관계를 나타낸 서어나무림 토양 A층에서 토양수에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온과의 直線回歸式은, 溪流水에 용존된 Na<sup>+</sup>

**Table 4.** Correlation coefficients of Na<sup>+</sup> content of rainfall, throughfall, soil and stream water.

	SS1ANa	SS1BNa	SS2ANa	SS2BNa	SS3ANa	SS3BNa	ST1Na	ST2Na	SWNa
RNa	0.9412**	0.9132**	0.7791**	0.7249*	0.8794**	0.8815**	0.9606*	0.9538**	0.9060**
SS1BNa	0.9901**	1.0000	0.9110**	0.8892**	0.9705**	0.9653**	0.9642**	0.9791**	0.9146**
SS2BNa	0.8892**	0.8927**	0.9827**	1.0000	0.9431**	0.9417**	0.7873**	0.8272**	0.7455*
SS3BNa	0.9653**	0.9707**	0.9431**	0.9417**	0.9895**	1.0000	0.9262**	0.9429**	0.8900**

Note : \* means statistically significant at 5% level and \*\* means statistically significant at 1% level.  
 RNa : Na<sup>+</sup> content in Rainfall, SS1A(B)Na : Na<sup>+</sup> content in A(B) layer of soilwater in site 1, SS2A(B)Na : Na<sup>+</sup> content in A(B) layer of soilwater in site 2, SS3A(B)Na : Na<sup>+</sup> content in A(B) layer of soilwater in site 3, ST1(2)Na : Na<sup>+</sup> content in throughfall in site 1(2), SWNa : Na<sup>+</sup> content in stream water

**Table 5.** Correlation coefficients of Cl<sup>-</sup> content of rainfall, throughfall, soil and stream water.

	SS1ACl	SS1BCl	SS2ACl	SS2BCl	SS3ACl	SS3BCl	ST1Cl	ST2Cl
SS1BCl	0.9204**							
SS2ACl	0.8439**	0.9036**						
SS2BCl	0.6431*	0.7586*	0.8349**					
SS3ACl	0.9347**	0.8934**	0.7843**	0.7236**				
SS3BCl	0.9015**	0.9475**	0.8076**	0.6519*	0.8714*			
SWCl	-	0.6545*	0.7001*	0.7180*	-	-		
ST1Cl	0.8904**	0.8234**	0.7553*	-	0.7991**	0.8371**		
ST2Cl	0.8788**	0.9312**	0.8810**	0.6776*	0.7478*	0.9048**	0.8529*	
ST3Cl	0.8976**	0.8719**	0.8634**	-	0.7391*	0.8547**	0.8423**	0.9711**

Note : \* means statistically significant at 5% level and \*\* means statistically significant at 1% level.  
 SS1A(B)Cl : Cl<sup>-</sup> content in A(B) layer of soilwater in site 1, SS2A(B)Cl : Cl<sup>-</sup> content in A(B) layer of soilwater in site 2, SS3A(B)Cl : Cl<sup>-</sup> content in A(B) layer of soilwater in site 3, ST1 (2, 3)Cl : Cl<sup>-</sup> content in throughfall in site 1(2, 3), SWCl : Cl<sup>-</sup> content in stream water

은 = -0.0669 + 0.7748 × 서어나무림 토양 A층의 土壤水에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온(R<sup>2</sup>=0.86)이었다.

溪流水에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온과 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타낸 서어나무림에서 수관통과수에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온과의 직선회귀분석결과 直線回歸式은, 溪流水에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온 = -0.1543 + 0.8327 × 서어나무림의 樹冠通過雨에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온(R<sup>2</sup>=0.81)이었다. 따라서 降水에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온은 樹冠通過雨, 土壤水, 溪流水에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온에 직접적인 영향을 미치는 것으로 해석되었는데, 이는 堤(1973)와 宗宮(1993)의 연구결과와 일치하는 결과이었다.

降水에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온과 유의한 상관관계를 나타낸 수관통과수, 토양수, 계류수에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온 등 총 11개 인자에 대하여 多重回歸分析한 결과, 강수에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온의 說明에 유의한 영향을 미치는 인자는 서어나무림에서 수관통과수에 용존되어 있는 Na<sup>+</sup>이온이었다.

(5) Cl<sup>-</sup>이온

降水, 樹冠通過雨, 土壤水, 溪流水에서 Cl<sup>-</sup>이온에 대한 상호관계를 파악하기 위하여 相關分析한 結果는 Table 5에서와 같다.

조사구 1, 2, 3 모두 토양 A층에서의 토양수와 토양 B층의 토양수에 용존되어 있는 Cl<sup>-</sup>이온은 편상관계수가 각각 0.9204, 0.8349, 0.8714로 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내어 토양 A층과 B층의 토양수에 용존되어 있는 Cl<sup>-</sup>이온은 밀접한 관계가 있는 것으로 解析되었다. 또한 조사구 1, 2, 3에서의 樹冠通過雨는 각 조사구에서의 토양 A층과 B층의 土壤水에 용존되어 있는 Cl<sup>-</sup>이온과 5%, 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내어 각 조사구에서의 樹冠通過雨는 토양 A층과 B층의 Cl<sup>-</sup>이온과 밀접한 상관관계가 있는 것으로 해석되었다.

溪流水와 서어나무림에서 토양 B층의 토양수에 용존되어 있는 Cl<sup>-</sup>이온과는 편상관계수가 0.6545로 5% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내었으며, 빗나무림에서 토양 A층과 B층의 토양수

에 용존되어 있는  $\text{Cl}^-$ 이온과의 편상관계수는 각각 0.7001, 0.7180으로 5% 수준에서 유의한 정도의 상관관계를 나타내어 山林土壤을 통과하는 土壤水에 용존되어 있는  $\text{Cl}^-$ 이온은 溪流水의  $\text{Cl}^-$ 이온에 영향하는 것으로 解析되었다.

그러나 溪流水와 조사구 1, 2, 3에서의 樹冠通過雨에 용존되어 있는  $\text{Cl}^-$ 이온과는 유의하지 않은 결과를 나타내었는데, 이는 계류수에서의  $\text{Cl}^-$ 이온은 토양수에 용존되어 있는  $\text{Cl}^-$ 이온의 영향이 컸고, 수관통과수에 용존되어 있는  $\text{Cl}^-$ 이온의 농도가 낮는데 기인하는 것으로 생각된다. 이는 德地 等(1990)이 보고한  $\text{Cl}^-$ 이온은 토양으로부터 용탈되는 것이 높으며, 토양수에서 많이 검출된다는 결과와 유사한 결과이었으나 이에 대한 검증은 위하여는 장기적으로 토양에서  $\text{Cl}^-$ 이온의 이동특성에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

溪流水에 용존되어 있는  $\text{Cl}^-$ 이온에 有意한 相關關係를 나타낸 降水, 樹冠通過雨, 土壤水에서의  $\text{Cl}^-$ 이온 등 총 11종의 인자에 대하여 多重回

歸分析한 結果, 溪流水에 용존되어 있는  $\text{Cl}^-$ 이온의 설명에 중요한 영향을 미치는 인자는 뱃나무림에서 토양 B층의 계류수에 용존하는  $\text{Cl}^-$ 이온이었다. 즉, 溪流水에 용존되어 있는  $\text{Cl}^-$ 이온은 降水나 樹冠通過雨보다는 土壤水에 용존되어 있는  $\text{Cl}^-$ 이온에 영향받는 것으로 판단된다. 따라서 강수로부터 수목의 수관을 통과하여 토양으로 이동하는  $\text{Cl}^-$ 이온의 동태를 파악하기 위해서는 이들 물질순환 과정으로부터 이동되는  $\text{Cl}^-$ 이온의 이동특성에 대한 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

#### (6) $\text{NO}_3^-$ 와 $\text{SO}_4^{2-}$ 이온

$\text{NO}_3^-$ 와  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온은 강수를 통하여 산림지역에 내리며, 이로 인하여 산림토양에서의 양이온 및 토양내 산성오염물질의 축적에 관여하게 된다 (Ulrich, 1978; Carter, 1979; 김희강 등, 1996). 조사지역에서 조사된 강수에 용존되어 있는  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온의 平均濃度比는 약 0.66으로 조사 기간 동안의 산성오염물질은 질소산화물보다 황

**Table 6.** Correlation coefficients of  $\text{NO}_3^-$ ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) content of rainfall, throughfall, soil and stream water.

	RNS	SS1ANS	SS1BNS	SS2ANS	SS2BNS	SS3ANS	SS3BNS	ST1NS	ST2NS
SS1ANS	0.9081** (0.6930*)								
SS1BNS	0.9211** (0.6743*)	0.9625** (0.8938**)							
SS2ANS	0.9246** ( - )	0.9082** ( - )	0.9048** ( - )						
SS2BNS	0.8767** ( - )	0.9056** ( - )	0.9417** ( - )	0.8432** ( - )					
SS3ANS	0.6447* ( - )	0.6857* (0.8916**)	0.7679* (0.8334**)	- (0.6922*)	0.7186* ( - )				
SS3BNS	0.6567* (0.6826*)	0.7771** (0.8929**)	0.8427** (0.8783**)	0.7143* (0.7195*)	0.7685* ( - )	0.8289** (0.8544**)			
SWNS	- (0.7666*)	- (0.7849**)	- (0.7932**)	- (0.7094*)	- ( - )	- (0.8004**)	- (0.8583**)	- (0.7191*)	- (0.7473*)
ST1NS	- (0.8906**)	- (0.6777*)	0.7471* (0.7659*)	- (0.7171*)	0.6656* ( - )	0.7968** ( - )	0.6568** (0.7642*)	- ( - )	- (0.9894**)
ST2NS	- (0.9397**)	- (0.6867*)	0.7474* (0.7481*)	- (0.6991*)	0.6578* ( - )	0.8278** ( - )	0.6674* (0.7436*)	0.9962** (0.7473*)	- ( - )
ST3NS	- (0.9130**)	- (0.8091**)	- (0.7902**)	- (0.6555*)	- ( - )	- (0.7083*)	- (0.7695*)	- (0.8633**)	- (0.8789**)

Note : \* means statistically significant at 5% level and \*\* means statistically significant at 1% level.  
 RNS :  $\text{NO}_3^-$ ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) content in Rainfall, SS1A(B)NS :  $\text{NO}_3^-$ ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) content in A(B) layer of soil-water in site 1, SS2A(B)NS :  $\text{NO}_3^-$ ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) content in A(B) layer of soilwater in site 2, SS3A(B)NS :  $\text{NO}_3^-$ ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) content in A(B) layer of soilwater in site 3, ST1(2, 3)NS :  $\text{NO}_3^-$ ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) content in throughfall in site 1(2, 3), SWNS :  $\text{NO}_3^-$ ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) content in stream water

산화물이 더 많이 함유되어 있는 것으로 나타났다. 이때 降水, 樹冠通過雨, 土壤水, 溪流水에 용존되어 있는  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온에 대한 상호관계에 대하여 相關分析한 結果는 Table 6에서와 같다.

강수에 용존되어 있는  $\text{NO}_3^-$ 이온과 토양 A층, B층의 토양수에 용존되어 있는  $\text{NO}_3^-$ 이온은 5%, 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내어 강수에 용존되어 있는  $\text{NO}_3^-$ 이온과 토양 A층, B층의 토양수에 용존되어 있는  $\text{NO}_3^-$ 이온과는 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 이는 토양 A층과 B층에서는  $\text{NO}_3^-$ 이온이 가장 많이 존재하여(堤, 1973) 토양 A층과 B층의 토양수에서 가장 많이 용출되며(末松等, 1995), 토양에 의한 흡착력이 약하므로 토양수에 빠르게 용출되어 토양수에서  $\text{NO}_3^-$ 이온 농도에 영향을 미친다는 宗宮(1993)의 연구결과와 유사한 결과이었다. 그러나 계류수에 용존되어 있는  $\text{NO}_3^-$ 이온은 강수, 수관통과수, 토양 A층과 B층의 토양수에 용존되어 있는  $\text{NO}_3^-$ 이온과 유의하지 않은 상관관계를 나타내었는데, 이는 강수와 수관통과수에 용존되어 있는  $\text{NO}_3^-$ 이온이 미량이었고, 산림토양에서의 緩衝作用(Bache, 1980)에 의하여 계류수에 유입된  $\text{NO}_3^-$ 이온이 적었기 때문인 것으로 생각된다.

강수에 용존되어 있는  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온은 서어나무림의 토양 A층과 B층 그리고 리기다소나무림의 토양 A층과 B층의 토양수에 용존되어 있는  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온과는 편상관계수가 각각 0.6930, 0.6743, 0.6826으로 5% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내었고, 조사구 1, 2, 3에서 수관통과수에 용존되어 있는  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온과는 편상관계수가 각각 0.8906, 0.9397, 0.9130으로 1% 수준에서 고도로 유의한 정의 상관관계를 나타내어 강수에 용존되어 있는  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온은 수관통과수, 토양수에 용존되어 있는  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온과 밀접한 관계가 있는 것으로 해석되었다. 따라서 강수로부터 산림토양에 유입되는  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온 등 산성오염물질에 기원하는 인자에 대한 산림토양의 水質淨化能을 평가하기 위해서는 물질수지에 기초한 이들 이온의 物質移動量과 土壤層位別 緩衝能을 파악하는 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

溪流水에 용존되어 있는  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온은 降水, 토양 A층과 B층의 土壤水, 樹冠通過雨에 용존되어 있는  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온과 5%, 1% 수준에서 유의한 정

의 상관관계를 나타내어 계류수에 용존되어 있는  $\text{NO}_3^-$ 이온과는 상반되는 결과를 나타내었는데, 이는 토양 내에 존재하는  $\text{NO}_3^-$ 이온과  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온의 특성차에 기인한 결과라 생각된다. 즉, 계류수에 용존되어 있는  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온과 강수에 용존되어 있는  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온과의 관계를 直線回歸分析한 結果 直線回歸式은, 溪流水에 용존되어 있는  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온 =  $-0.4869 + 0.5162 \times$  降水에 용존되어 있는  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온( $R^2=0.59$ )이었다.

이와 같이 溪流水에 용존되어 있는  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온에 유의한 상관관계를 나타낸 降水, 樹冠通過雨, 土壤水, 溪流水에 용존된  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온 등 총 11종의 인자에 대하여 多重回歸分析한 結果, 溪流水에 용존되어 있는  $\text{NO}_3^-$ 이온의 설명에 중요한 영향요인은 파악되지 않았다. 그러나  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온의 설명에 중요한 영향을 미치는 인자는 리기다소나무림에서 토양 B층의 토양수에 용존되어 있는  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온이었으며, 重相關係數는 0.86으로 1% 수준에서 고도로 유의하였다.

#### (7) 이온總量

降水, 樹冠通過雨, 토양 A층, B층에서의 土壤水, 溪流水에 용존되어 있는 이온총량 중 양이온( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ )량 그리고 음이온( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ )량과의 상호관계에 대하여 相關分析한 結果는 Table 7에서와 같다.

相關分析結果, 降水에 용존되어 있는 양이온량과 樹冠通過雨, 土壤水, 溪流水에 용존되어 있는 양이온량은 유의하지 않은 상관관계를 나타내었는데, 이는 강수에 용존되어 있는 양이온량이 적고 수목의 잎이나 가지, 토양내에 존재하는 양이온 그리고 溪流水에 용존되어 있는 양이온에 대하여 강수에 용존되어 있는 양이온의 영향이 적었기 때문인 것으로 생각된다.

조사구 1, 2, 3에서 토양 A층과 B층의 토양수에 용존되어 있는 양이온량에 대한 각각의 편상관계수는 0.9079, 0.8580, 0.6733으로 5%, 1% 수준에서 유의한 정의 相關關係를 나타내었다. 서어나무림에서 수관통과수에 용존되어 있는 양이온량은 토양 A층과 B층의 토양수에 용존되어 있는 양이온량과 5% 수준에서 유의한 정의 相關關係를 나타내었으나, 벗어나무림과 리기다소나무림에서는 유의하지 않은 상관관계를 나타내었는데 이는 조사구의 토양특성에 기인한 결과라 생각된다. 溪流水에 용존되어 있는 양이온량에 대



**Table 7.** Correlation coefficients of the total cation(anion) contents of rainfall, throughfall, soil and stream water.

	RTCA	SSIATCA	SSIBTCA	SS2ATCA	SS2BTCA	SS3ATCA	SS3BTCA	SWTCA	ST1TCA	ST2TCA
SSIATCA	-									
	(0.7840**)									
SSIBTCA	-	0.9079**								
	(0.7645*)	(0.9571**)								
SS2ATCA	-	-	-							
	(0.8166**)	(0.7533*)	(0.8034**)							
SS2BTCA	-	-	-	0.8580**						
	(0.6680*)	(0.6923*)	(0.7445*)	(0.8109**)						
SS3ATCA	-	-	-	-	-					
	( - )	(0.8101**)	(0.8303**)	(0.6374*)	( - )					
SS3BTCA	-	-	-	-	-	0.6733*				
	(0.6826*)	(0.8738**)	(0.9364**)	(0.7693*)	(0.7800**)	(0.8925**)				
SWTCA	-	-	-	-	-	-	-			
	(0.6645*)	(0.7678*)	(0.8028**)	(0.8033**)	(0.6998*)	(0.7725**)	(0.8407**)			
ST1TCA	-	0.7425*	0.7515*	-	-	-	-	-		
	( - )	(0.8260**)	(0.8063**)	( - )	( - )	( - )	(0.6856*)	(0.6352*)		
ST2TCA	-	-	0.6642*	-	-	-	-	-	0.9702*	
	(0.8107**)	(0.9234**)	(0.9565**)	(0.8206**)	(0.7531*)	(0.7173*)	(0.8829**)	(0.7990**)	(0.7807**)	
ST3TCA	-	0.7692*	0.7206*	-	-	-	-	-	0.8695**	0.7696*
	(0.7422*)	(0.8135**)	(0.8037**)	(0.7203*)	( - )	( - )	( - )	(0.7374**)	(0.7833*)	(0.8912*)

Note : \* means statistically significant at 5% level and \*\* means statistically significant at 1% level.  
 RTCA : Total cation(anion) contents in Rainfall, SS1A(B)TCA : Total cation(anion) contents in A(B) layer of soilwater in site 1, SS2A(B)TCA : Total cation(anion) contents in A(B) layer of soilwater in site 2, SS3A(B)TCA : Total cation(anion) contents in A(B) layer of soilwater in site 3, ST1(2, 3)TCA : Total cation(anion) contents in throughfall in site 1(2, 3), SWTCA : Total cation(anion) contents in stream water

한 강수, 수관통과우, 토양수에 용존되어 있는 양이온량에 대한 相關分析結果는 유의하지 않은 상관관계를 나타내었는데, 이는 강수, 수관통과우, 토양수에 용존되어 있는 양이온과 계류수에 용존되어 있는 양이온의 영향이 적었기 때문이라 생각된다. 한편 강수에 용존되어 있는 음이온량은 각 조사구에서의 수관통과우, 토양 A층, B층에서의 토양수, 계류수에 용존되어 있는 음이온량과 각각 5%, 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내었는데, 이는 강수중에 용존되어 있는 대기오염물질 중 산성오염물질인  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온이 山林生態系의 물循環過程에 影響함을 의미한다.

각 조사구에서 토양 A층과 B층에서 토양수에 용존되어 있는 음이온량은 편상관계수가 각각 0.9571, 0.8109, 0.8925로 1% 수준에서 유의한 상관관계를 나타내었고, 수관통과우와 토양수에 용존되어 있는 음이온량은 각각 5%, 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내어 수관통과우와 토양 내에서의 음이온량은 상호 밀접한 관계

가 있는 것으로 해석되었다. 또한, 계류수에 용존되어 있는 음이온량은 강수, 수관통과우, 토양 A층과 B층에서의 토양수에 용존되어 있는 음이온량과 각각 5%, 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내어 강수, 수관통과우, 토양수는 계류수에 유입되어 용존하는 음이온량에 영향을 미치는 것으로 해석되었다.

이와 같이 계류수에서의 양이온량과 음이온량에 유의한 상관관계를 나타낸 강수, 수관통과우, 토양 A층과 B층에서의 토양수에 용존되어 있는 양이온량, 음이온량 등 총 11종의 인자에 대하여 多重回歸分析한 結果, 溪流水에 용존되어 있는 양이온량에 영향을 미치는 인자는 파악되지 않았다. 그러나 음이온량에 중요한 영향을 미치는 인자는 리기다소나무림에서 토양 B층의 토양수에 용존되어 있는 음이온량으로 이를 多重回歸式으로 나타내면, 溪流水에 용존되어 있는 음이온( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ )량 =  $4.7701 + 0.4146 \times$  리기다소나무림의 토양 B층에서의 土壤水에 용존되어 있는 음이온량( $R^2=0.71$ )이었으며, 重相關係數는 0.84

**Table 8.** Correlation coefficients of the total ion content of rainfall, throughfall, soil and stream water.

	RTI	SS1ATI	SS1BTI	SS2ATI	SS2BTI	SS3ATI	SS3BTI	SWTI	ST1TI	ST2TI
SS1ATI	0.6489*									
SS1BTI	0.6853*	0.9467**								
SS2ATI	0.8559**	-	-							
SS2BTI	0.7398*	-	-	0.7202*						
SS3ATI	-	0.7405*	0.7677*	-	-					
SS3BTI	-	0.8056**	0.8856**	-	-	0.8779*				
SWTI	-	-	0.6673*	-	-	-	-			
ST1TI	-	0.8971**	0.8958**	-	-	-	0.6937*	-		
ST2TI	0.6644*	0.8116**	0.8873**	-	-	-	0.7811**	-	0.8654*	
ST3TI	0.7538*	0.8368**	0.8521**	-	-	-	-	0.6590*	0.8336**	0.8580**

Note: \* means statistically significant at 5% level and \*\* means statistically significant at 1% level.  
 RTI: Total ion content in Rainfall, SS1A(B)TI: Total ion content in A(B) layer of soilwater in site 1, SS2A(B)TI: Total ion content in A(B) layer of soilwater in site 2, SS3A(B)TI: Total ion content in A(B) layer of soilwater in site 3, ST1(2, 3)TI: Total ion content in throughfall in site 1(2, 3), SWTI: Total ion content in stream water

로 1% 수준에서 고도로 유의하였다.

降水, 樹冠通過雨, 土壤水, 溪流水에 용존되어 있는 양이온과 음이온의 이온총량의 평균값은 降水에서는 11.63mg/l, 樹冠通過雨에서는 19.9mg/l, 토양 A층의 土壤水에서는 26.27mg/l, 토양 B층의 土壤水에서는 29.08mg/l, 溪流水에서는 18.07mg/l로 나타나 이온총량의 평균값의 크기는 土壤水(B층 > A층) > 樹冠通過雨(리기다소나무림 > 벗나무림 > 서어나무림) > 溪流水 > 降水의 關係이었다. 이는 吳等(1996)이 보고한 樹冠通過雨의 溶存元素量은 林外雨에 비교해 약 2~10배 많았다는 연구결과와 類似한 결과이었다. 降水, 樹冠通過雨, 土壤水, 溪流水에 용존되어 있는 이온총량에 대한 相關分析結果는 Table 8에서와 같다.

相關分析結果, 降水에 용존되어 있는 이온총량은 서어나무림과 벗나무림에서 토양 A층과 B층의 토양수에 용존되어 있는 이온총량과 각각 5%, 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내었으며, 토양 A층과 B층의 토양수에 용존되어 있는 이온총량은 각각 偏상관계수가 0.9467, 0.7202, 0.8779로 5%, 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내었다. 또한, 강수와 서어나무림, 벗나무림에서 수관통과수에 용존되어 있는 이온총량과는 偏상관계수가 각각 0.6644, 0.7538로 5% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내어 강수에 용존되어 있는 이온총량은 수관통과수, 토양수에 용존되어 있는 이온총량과 밀접한 상관관계가 있는 것으로 해석되었다.

溪流水에 용존되어 있는 이온총량은 서어나무림에서 토양 B층의 토양수에 용존되어 있는 이온총량과 偏상관계수는 0.6673으로 5% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내었으나, 강수, 수관통과수, 토양 A층과 B층의 토양수에 용존되어 있는 이온총량과는 유의하지 않은 상관관계를 나타내었다. 이는 溪流水에 용존되어 있는 이온총량은 降水, 樹冠通過雨, 土壤水에 용존되어 있는 이온총량에 다양하고 복합적으로 영향받는데 기인한 결과로 생각된다. 즉, 志水와 坪山(1990), 大類等(1993; 1994)이 보고한 계류수에서 검출되는 이온은 계류수가 이동하면서 접촉하는 암석 및 토양의 성질 등과 이들에 포함되어 있는 이온의 양, 계류수와 이들의 접촉면적에 따라 달라졌다는 결과에 기인한다고 생각된다. 溪流水에 용존되어 있는 이온총량에 유의한 상관관계를 나타낸 降水, 樹冠通過雨, 土壤水에서의 이온총량 등 총 11종의 인자에 대하여 多重回歸分析한 結果, 溪流水에 용존되어 있는 이온총량의 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 서어나무림에서 토양 B층의 土壤水에 용존되어 있는 이온총량이었다. 이를 多重回歸式으로 나타내면, 溪流水에 용존되어 있는 이온총량 = 14.2691 + 0.3119 × 서어나무림에서 토양 B층의 土壤水에 용존되어 있는 이온총량 (R<sup>2</sup> = 0.45)이었으며, 重相關係數는 0.67로 5% 수준에서 유의하였다. 따라서 양이온과 음이온량, 그리고 이온총량에 대한 降水, 樹冠通過雨, 土壤水, 溪流水에서의 移動起作 및 影響關係를 究明하기 위하여는 각각의 이온에 대한 特性,

量, 移動樣相 등에 관한 研究가 先行되어야 할 것으로 생각된다.

### 結 論

이 研究는 溪流水에서 水質評價項目의 設定時 중요한 因子인 陽이온( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ )과 陰이온( $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ )에 미치는 영향요인을 究明함으로써 溪流水水質評價基準을 定立하기 위한 기초자료를 제공하기 위하여 서울大學校 農業生命科學大學 附屬 冠岳樹木園內 山林小流域의 3개 조사구에서 수행하였다. 1996년 7월 1일부터 1997년 8월 31일까지 降水, 樹冠通過雨, 土壤水, 溪流水의 水質動態를 分析하여 얻은 結果는 다음과 같다.

1. 溪流水에 溶存되어 있는  $Cl^-$ 이온은 降水나 樹冠通過雨보다는 土壤水에 溶存되어 있는  $Cl^-$ 이온에 영향받는 것으로 나타났으며, 토양 A층, B층의 土壤水에 溶存되어 있는  $NO_3^-$ 이온은 降水에 溶存되어 있는  $NO_3^-$ 이온과 1% 水準에서 有意한 正의 相關關係를 나타내었다. 또한 土壤 A層과 B層의 土壤水에 溶存되어 있는 陽이온( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ )과 陰이온( $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ )은 統計적으로 有意한 相關關係를 나타내었다.
2. 降水에 溶存되어 있는  $SO_4^{2-}$ 이온은 樹冠通過雨, 土壤水, 溪流水에 溶存되어 있는  $SO_4^{2-}$ 이온과 1% 水準에서 有意한 相關關係를 나타내었으며, 降水에 溶存되어 있는  $NO_3^-$ 이온과  $SO_4^{2-}$ 이온의 平均濃度比는 약 0.66으로 강수에는  $NO_3^-$ 이온보다는  $SO_4^{2-}$ 이온이 더 많이 含有되어 있었다.
3. 전체 조사구에서 토양 A층과 B층의 土壤水에 溶存되어 있는 양이온량은 5%, 1% 水準에서 有意한 正의 相關關係를 나타내었으며, 溪流水에 溶存되어 있는 음이온량은 降水, 樹冠通過雨, 土壤 A層과 B層에서의 土壤水에 溶存되어 있는 음이온량과 각각 5%, 1% 수준에서 有意한 正의 相關關係를 나타내었다.
4. 降水, 樹冠通過雨, 土壤水, 溪流水에 溶存되어 있는 이온총량의 平均값은 降水에서는 11.63 mg/l, 樹冠通過雨에서는 19.9mg/l, 土壤 A層의 土壤水에서는 26.27mg/l, 土壤 B層의 土壤水에서는 29.08mg/l, 溪流水에서는 18.07mg/l로 이온총량의 平均값의 크기는

土壤水(B層>A層)>樹冠通過雨(리기다소나무림>벗나무림>서어나무리)>溪流水>降水의 순이었다.

### 引用 文 獻

1. 김희강·조기철·강공언. 1996. 降水의 化學的 特性 比較. 大韓環境工學會誌 18(6): 669-682.
2. 閔一植. 1989. 大氣汚染 및 酸性雨가 森林生態系內的 養料動態 및 土壤緩衝能에 미치는 影響. 忠南大學校 博士學位論文. 94p.
3. 朴在鉉. 1996. 山林流域에 있어서 溪流水水質 評價基準 定立에 關한 考察(II). 자연보존 95: 38-52.
4. 이상훈. 1995. 수질자료의 추세분석을 위한 비모수적 통계검정에 관한 연구. 환경영향평가 4(2): 93-103.
5. 中尾登志雄·島內厚實·黒木嘉久. 1990. 森林土壤中の置換性アルミニウムの垂直分布. 日林論 101: 267-268.
6. 丸山明雄·岩坪五郎·堤利夫. 1965. 森林内外の降水中の養分量について 第1報. 京大演報 36: 25-39.
7. 森貞和仁·河室公康·川添強·長友忠行. 1990. コジイ林における土壤の化學的性質に及ぼす樹幹流の影響. 日林論 101: 247-248.
8. 宗宮 功. 1993. 自然の淨化機構. 技報堂出版. 252p.
9. 佐藤冬樹·笹架一郎·藤原混一郎. 1990. 北海道北部天然林内を流れる小河川の水質. 日林論 101: 255-256.
10. 佐藤冬樹·笹賀一郎·藤原混一郎·桀本浩志. 1992. 道北地方における降雪の化學性と小河川の水質(1)-冬期渇水期の小河川の水質-. 日林論 103: 601-602.
11. 佐佐木重行·高木潤修·西尾 敏. 1990. 降水および溪流水の成分に關する研究(V)-降水時および降水直後の流量と成分濃度の關係について-. 日林論 101: 259-260.
12. 佐佐木重行·高木潤修·西尾 敏. 1991. 福岡縣の山間部における降水および溪流水のpHと數種の成分について. 森林立地 33(1): 1-7.
13. 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.
14. 吳 國南・生原喜久雄・相場芳憲・戸田浩人. 1996. スギおよびヒノキ林の林内雨成分に占める乾性沈着および樹冠溶脱の分離. 日本林學會誌 78(4): 461-466.
  15. 遠藤治郎・三澤眞一・山本仁志. 1984. 新大演報 17: 89-97.
  16. 大類清和・生原喜久雄・相場芳憲. 1993. 森林集水域での土壌から溪流への水質變化. 日本林學會誌 75(5): 389-397.
  17. 大類清和・生原喜久雄・相場芳憲. 1994. 森林小集水域における溪流水質に及ぼす諸要因の影響. 日本林學會誌 76(5): 383-392.
  18. 石塚和裕・高橋正通・高橋美代子. 1990. 人工酸性雨による土壌のpH緩衝能. 日林論 101: 249-252.
  19. 岩坪五郎・堤 利夫. 1967. 森林内外の降水中の養分量について 第 2報. 京大演報 39: 110-124.
  20. 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.
  21. 圖子光太郎・生原喜久雄・相場芳憲・小林健吾. 1993. 森林土壌の交換性イオンの特性が土壌溶液の動態に及ぼす影響. 日本林學會誌 75(3): 176-184.
  22. 末松剛介・井倉洋二・丸谷知己. 1995. 森林地帯における溶存物質濃度と流域面積との関係. 九州大學農學部 學藝雜誌 49: 149-155.
  23. 堤 利夫. 1973. 生態學講座 5b. 共立出版, 東京, pp.1-60.
  24. 堤 利夫. 1987. 森林の水収支と水質への影響, 水資源の保全-琵琶湖流域をめぐる諸問題-. 人文書院. pp.78-96.
  25. 徳地直子・黒田幸夫・岩坪五郎. 1990. 森林生態界における溶存物質濃度・量の鉛直的變化(I) -鹽化物イオン濃度の變動と土壤水の動き-. 日林論 101: 257-258.
  26. 平井敬三・加藤正樹・岩川雄幸・吉田桂子. 1990. 樹幹流が林地土壌に與える影響(II)-スギヒ・ノキ林における林外雨, 林内雨, 樹幹流, 土壤水のpH-. 日林論 101: 243-245.
  27. 廣瀬 顯・岩坪五郎・堤 利夫. 1988. 森林流出水の水質についての廣域的考察(1). 京都大學農學部演習林報告 60: 162-173.
  28. Bache, B.W. 1980. The sensitivity of soils. in "Effects of acid rain precipitation on terrestrial ecosystems" Plenum Press. New York. pp.569-572.
  29. Carter, L.J. 1979. Uncontrolled SO<sub>2</sub> emissions bring acid rain. Science 204: 1179-1182.
  30. Flinn, D.W., L.J. Bren and P. Hopmans. 1979. Soluble nutrient inputs from rain and outputs in stream water from small forested catchments. Austrian Journal of Forest 42(1): 39-49.
  31. Hemphill, D.D. and J.O. Pierce. 1974. Accumulation of lead and other heavy metals by vegetation in the vicinity of lead smelters and mines and mills in Southeastern Missouri. 2nd Annual Trace Contaminants Conference Proceedings, Pacific Grove, California. pp. 325-332.
  32. Matzner, E. and B. Ulrich. 1983. The turnover of protons by mineralization and in uptake in a beech and Norway spruce ecosystem. in B. Ulrich and J. Parkrath(ed.) "Effects of accumulation of air pollutions in forest ecosystems" D. Reidel Pub. pp.93-103.
  33. Morgan, M.D. 1990. Streams in the New Jersey Pinelands directly reflect changes in atmospheric deposition chemistry. Journal of Environmental Quality 19: 296-302.
  34. Ulrich, B. 1978. Production and consumption of hydrogen ions in the ecosphere. In: "Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems", T.C. Hutchinson and M. Havas, Plenum, N.Y. pp.255-282.