

## 山林流域內 降水로부터 溪流水質에 미치는 影響因子 分析<sup>1\*</sup>

- pH, 溶存酸素, 電氣傳導度 -  
朴在鉉<sup>2</sup> · 禹保命<sup>3</sup>

## Analysis of Influential Factors from Rainfall to Stream Water Quality in Small Forested Watershed<sup>1\*</sup>

- pH, dissolved oxygen, electrical conductivity -  
Jae-Hyeon Park<sup>2</sup> and Bo-Myeong Woo<sup>3</sup>

### 要 約

이 研究는 溪流水에서 水質評價項目的 設定時 중요한 因子인 수소이온농도(pH), 溶存酸素, 電氣傳導도에 미치는 影響 요인을 究明함으로써 溪流水質評價基準을 定立하기 위한 기초자료를 제공하기 위하여 서울대학교 農業生命科學大學 附屬 冠岳樹木園 산림소유역내 3개 조사구(서어나무림, 벗나무림, 리기다소나무림)에서 수행하였다. 1996년 7월 1일부터 1997년 8월 31일까지 降水, 林內雨, 土壤水, 溪流水質을 分析한 結果, 降雨平均 pH는 6.06(5.02~6.60)이었으며, pH 5.6 미만의 酸性雨 出現頻度는 약 16.7%로 pH 5.02가 가장 낮았다. 降水로부터 林內雨를 통해 山林土壤에 도달한 물이 溪流水에 도달될 때까지 平均 pH의 크기는 溪流水 > 土壤水 [벗나무림(B층 > A층)] > 벗나무림 林內雨 > 土壤水 [서어나무림(B층 > A층)] > 서어나무림 林內雨 > 降水 > 土壤水 [리기다소나무림(B층 > A층)] > 리기다소나무림 林內雨의 關係를 나타내어 리기다소나무림은 강수 pH를 낮게 하였고, 서어나무림과 벗나무림은 이와 반대되는 結果를 나타내었다. 降水와 樹種에 따른 林內雨, 土壤水, 溪流水에서 平均 溶存酸素濃度の 크기는 溪流水 > 林內雨(서어나무림 > 벗나무림 > 리기다소나무림) > 降水 > 土壤水(벗나무림 A층 > 리기다소나무림 A층 > 서어나무림 A층 > 벗나무림 B층 > 리기다소나무림 B층 > 서어나무림 B층)의 關係이었다. 降水, 林內雨, 土壤水, 溪流水에서 平均電氣傳導度の 크기는 土壤水(B층 > A층) > 林內雨(리기다소나무림 > 벗나무림 > 서어나무림) > 溪流水 > 降水의 關係이었다. 즉, 降水, 林內雨, 土壤水, 溪流水에서 電氣傳導度の 說明에 有意한 影響을 미치는 因子는  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ , 양이온총량, 이온총량, 그리고 선행무강우일수 등 5개 인자이었으며, 重相關係數는 0.84로 1% 수준에서 유의하였다.

### ABSTRACT

This research was conducted to analyze the influence of the environmental factors on water quality such as pH, dissolved oxygen, and electrical conductivity of rainfall, throughfall, soil water(A and B layer), and stream water quality 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).

Average rainfall pH value was 6.06(ranged from 5.02 to 6.60). Acid rain frequency(less than pH 5.6) was 16.7%. The lowest rainfall pH value was 5.02. Average of pH values in hydrological processes were decreasing in the following order, stream water > soil water [*Prunus serrulata* var. *spontanea*

<sup>1</sup> 接受 1997年 9月 9日 Received on September 9, 1997.

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

<sup>3</sup> 서울대학교 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임.

(B layer > A layer)] > throughfall (*Prunus serrulata* var. *spontanea*) > soil water [*Carpinus laxiflora* (B layer > A layer)] > throughfall (*Carpinus laxiflora*) > rainfall > soil water [*Pinus rigida* (B layer > A layer)] > throughfall (*Pinus rigida*). pH values of throughfall in *Prunus serrulata* var. *spontanea* and *Carpinus laxiflora* were higher in *Pinus rigida*.

Average of dissolved oxygen values in hydrological processes were decreasing in the order, stream water > throughfall (*Carpinus laxiflora* > *Prunus serrulata* var. *spontanea* > *Pinus rigida*) > rainfall > soil water [*Prunus serrulata* var. *spontanea* (A layer) > *Pinus rigida* (A layer) > *Carpinus laxiflora* (A layer) > *Prunus serrulata* var. *spontanea* (B layer) > *Pinus rigida* (B layer) > *Carpinus laxiflora* (B layer)]. And average electrical conductivity values in hydrological processes were decreasing in the order, soil water (B layer > A layer) > throughfall (*Pinus rigida* > *Prunus serrulata* var. *spontanea* > *Carpinus laxiflora*) > stream water > rainfall.

Multiple regression equations of electrical conductivity and  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ , total amount of cation, total amount of ion, and no. of before non-rain days in rainfall, throughfall, soil and stream water shows high significance (Multi R: 0.84).

*Key words*: pH, dissolved oxygen, electrical conductivity, soil and stream water quality

## 緒 論

山林流域內 溪流水는 연중 맑은 물을 흐르게 하여 하류의 河川이나 湖沼에 流入됨으로써 下流水의 水質을 좋게 하는 중요한 역할을 한다. 이러한 溪流水質을 評價하기 위하여 Brown과 Krygier (1970)는 계류수의 온도변화는 물의 맛, 색, 향기 등을 변화시킨다고 하였으며, Brown 등(1982)은 溪流水에서 水質汚染을 나타내는 직접적인 요인은 퇴적물과 혼탁도이고, 온도, 유기물함량, 용존산소, 기타 물에 용존되는 화학적 성분 등도 영향인자라고 하였다. 또한 佐佐木重行 등(1990)은, 수온, pH,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  등은 계절적인 시간에 따라 변화하며 계류 주변의 모암상태나 산림상태에 따라 발생하는 양료이동과 축적은 계류수에 용존되어 있는 양료함량을 변화시킨다고 하였다. Morgan(1990)은 강수와 계류수에서의 산성오염물질로 수질을 평가하였고, 前田 修 등(1984)은, 溶存酸素는 대기와 물에서의 산소평형과 긴밀한 관계를 나타내며 물에서의 自淨機能을 판단할 수 있는 評價因子로서 계류수에 서식하는 다양한 생물종에 중요한 영향을 미치는 인자라고 하였다.

志水俊夫 등(1987)은, 電氣傳導度는 水溫에, 濁度는 流出量에 비례하였다고 하였고, 西屋 敏 (1988)은, 電氣傳導度는 염류농도의 양을 표시하는 指標로서 강수와 계류수에서는 고도로 有意한 正의 相關關係를 나타내었고, 강수의 전기전도도

와 강수량은 負의 상관관계를, 계류수의 전기전도도와 강수량은 正의 상관관계를 나타내는 등 電氣傳導度를 溪流水質評價의 指標因子로 인정하였다. 脇孝介 등(1990)은 林外雨보다는 활엽수림에서 林內雨의 pH는 높았으나, 침엽수에서는 낮아 林相에 따른 임내우 pH의 相異性에 대해 설명하였다. 또한, 平井敬三 등(1990)은 삼나무림에서 임외우, 임내우, 수간류 그리고 토양수에서 pH를 측정된 결과, 수간류에서는 임내우, 임외우에 비해 pH가 낮았고 염기농도가 높아 溪流水質評價 前에 이들 인자에 대한 연구가 필요하다고 하였다. 河野吉久 등(1996)은 인공산성우를 이용하여 토양 pH와 電氣傳導度와의 관계를 구명하였고, Tsugio Ezaki(1996)는 침엽수보다는 활엽수에서 산성완충능이 컸으며, 강수 pH가 낮더라도 계류수에서의 pH는 높아 산림토양에서의 水質淨化能을 추정하였다. 相澤州平(1993)은 수간류의 pH가 높은 활엽수를 인공침엽수로 바꾸었을 경우, 수간류의 낮은 pH로 인해 토양이 산성화된다고 하여 활엽수로의 施業이 대기오염물질에 의한 산림토양의 酸性化를 억제시킨다고 하였다.

이렇게 강수로부터 산림의 수관층을 통과하고 토양층을 이동하여 계류수로 유출되는 물은 대부분이 河川水質環境基準 및 湖沼水質環境基準에 의한 수질등급상 최상급인 1급수를 나타내고 그 양도 풍부해 극심한 가뭄으로 인한 물 부족에 대처하기 위해 溪流水를 資源化해야 한다는 사회적 여론이 심화되고 있다(김준현, 1995). 그러나 아직까지 우리나라에서는 강수로부터 계류수에 도

달하기까지의 물순환과정에 대한 水質評價基準이 정립되어 있지 않아 河川水質環境基準, 湖沼水質環境基準 그리고 먹는 물 水質基準에 입각한 몇몇 항목에 대한 검사로 溪流水質을 評價하고 있는 실정이며, 水質評價因子도 地域에 따라, 學者에 따라 그리고 研究目的에 따라 다르게 적용하고 있어 통일적이고도 합리적인 溪流水質評價基準이 절실히 요구되는 상태이다(朴在鉉, 1995).

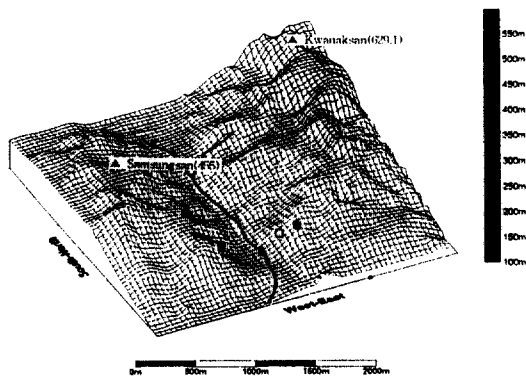
따라서 이 研究는 溪流水에서 水質評價項目의 設定時 중요한 因子인 수소이온농도(pH), 溶存酸素, 그리고 電氣傳導度 등에 미치는 영향요인을 究明함으로써 溪流水質評價基準을 定立하기 위한 기초자료를 제공하는데 그 目的이 있다.

### 材料 및 方法

#### 1. 調査地 概況

冠岳山 地域은 행정구역상으로 북쪽은 서울市, 남동쪽은 果川市, 남서쪽은 安養市의 행정구역 내에 약 2,500ha의 면적에 달한다. 地理的으로는 동경 126° 56' 20" ~ 126° 27' 50", 북위 37° 27' ~ 37° 27' 10"에 위치하고 주봉인 戀主峰(629.1)을 중심으로 서쪽에 三聖山(455)을 거느리고 있으며, 標高는 60~629.1m이다. 전체적으로 볼 때 관악산은 晩長年期 地形으로 水系가 放射上으로 발달하며, 地質은 곳곳에 거대한 암반을 노출시킨 대보화강암이 주종을 이루고 있다.

토양은 화강암 모재에서 오랜 세월 동안 풍화과정을 거쳐 생성된 砂質土가 主 土壤이다. 관악산의 연평균 강수량과 기온은 각각 1,141.9mm, 10.7°C이며, 이중 年降水量의 약 2/3 이상이 4월에서 10월까지 집중적으로 내린다. 冠岳山은 수도권 중심에 위치하고 있어 地理적 위치상으로 대단히 중요할 뿐만 아니라 인구가 가장 밀집된 도심지역의 중심부에 위치하고 있어 자동차와 인근 공장에서 배출되는 질소산화물과 황산화물 등 大氣汚染物質이 다량 배출되는 지역이다. 또한 관악산 지역은 巖盤의 露出이 극심하고 土深이 얇은 지역으로 豪雨 등으로 인한 表土의 流失이나 凍霜浸蝕現象 등의 피해를 받는 지역으로서 토양이 瘠惡하고 생산성이 낮아 산림이 제대로 조성되기엔 많은 어려움이 있는 지역이다(禹保命 등, 1986). 조사지의 위치는 Fig. 1에서와 같다.



□ : Precipitation gauging site, ■ : Throughfall and soil water(layer A, B) sampling site, △ : Stream water sampling site

Fig. 1. Location map of study sites in Kwanaksan.

#### 2. 研究方法

이 研究는 서울大學校 農業生命科學大學 附屬 冠岳樹木園內 平均傾斜 25°/17.5° ~ 29.5°의 山地斜面上에 土壤水收集裝置(Zero-Tension Lysimeter)를 각 조사구마다 토양층의 A층과 B층의 下段部에 설치하고 단위강우 종료후 토양수수집장치에 수집된 土壤水를 수거하였고, 강수량이 적어 토양수가 수집되지 않았을 경우에는 土壤水分拔萃機(soil water extractor)를 이용하여 토양수를 채수하였다. 林外雨는 露地에 普通雨量計를 設置하고 이물질의 유입을 방지하기 위해 polycarbonate filter를 사용하여 토양수 채집과 동일한 방법으로 강수량을 測定한 후 이를 收去하였다. 林內雨는 冠岳樹木園을 관통하여 흐르는 유역을 대표한다고 판단되는 3개 산림지역(서어나무림, 벗나무림, 리기다소나무림) 內에 林內雨收集器를 설치하여 단위강우후 樹冠을 통과하여 떨어진 강수(樹冠通過雨)를 수집하여 수질 분석하였다. 溪流水는 Fig. 1에서와 같이 계류가 분리되는 두 계류와 이들 계류가 합류되는 지점에서 예비실험으로 1996년 6월 1일부터 6월 30일까지 1개월간 매주 1회 溪流水質을 분석한 결과 2개 지류에서와 합류지점에서의 수질은 유사하였고, 선행연구결과(李圭星 등, 1994)에 따라 2개 지류가 합류되는 지점에서 降水, 林內雨, 土壤水質 분석항목과 동일한 항목에 대하여 水質分析하였다.

水質分析 項目은 先行研究結果(岩坪五郎 등, 1982; 大類清和 등, 1993; 1994) 溪流水質 評價因子라 판단되는 pH, 수온(°C), 溶存酸素(Dissolved

Oxygen, DO), 전기전도도(Electrical Conductivity, EC), 탁도, 양이온( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) 4개 항목, 그리고 음이온( $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ -N,  $SO_4^{2-}$ ) 3개 항목을 합한 총 12개 項目에 대하여 수질분석하였다. 수온과 pH는 HI 8314 Membrane pH meter로, 용존酸素는 DO meter(DO-11P)로, 電氣傳導度는 Conductivity meter(CM-11P)로, 탁도는 탁도측정기로 현지에서 측정하였다. 실내분석용 시료는 Ice Box에 보관한 후 실험실에 가져와 0.45  $\mu$ m의 필터에 각각 2회 통과시킨 후 양이온 중  $K^+$ 이온과  $Na^+$ 이온은 Frame Photometer로,  $Ca^{2+}$ 이온과  $Mg^{2+}$ 이온은 EDTA 滴定法으로 분석하였으며, 음이온인  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ -N,  $SO_4^{2-}$  등 3개 항목은 Ion chromatography로 分析하였다. 자료의 분석은 pH, 용존酸素, 電氣傳導度에 영향을 미치는 인자에 대하여 spss/pc+를 이용해 相關分析 및 多重回歸分析을 실시하였다. 土壤水質에 영향을 미치는 토양의 특성을 파악하기 위하여 각 조사구에서 土壤 A層과 B層의 토양을 500 gram씩 채취하여 土壤分析하였으며, 山林土壤이 강수를 貯留할 수 있는 水源涵養能力을 나타내는 pF2.7에서의 粗孔隙量은 각 調查區에서 2반복으로 採土機를 이용하여 토양을 100cc Can에 샘플링하였다. 채토한 시료는 실내에서 pF測定機(DIK-9211)를 이용하여 粗孔隙率을 測定하였다.

**結果 및 考察**

**1. 調查對象地의 特性**

(1) 林況 및 流域特性

林內雨와 土壤水를 채취한 각 調查區의 特性은 Table 1에서와 같다.

**Table 1.** Characteristics of the stands used in this study.

Site no.	Dominant species	Elevation (m)	Crown width (m)	Height (m)	Aspect (°)	Slope (°)	D.B.H (cm)
1	<i>Carpinus laxiflora</i>	200	4.2×3.1	9.6/9.0~10.2	S20W	28.0/23~33	18.2/13~26.4
2	<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	210	4.5×3.7	9.5/8.7~10.2	N27W	29.5/17~42	17.9/18~25.1
3	<i>Pinus rigida</i>	180	3.5×2.8	15.5/15~16	N10E	17.5/15~20	21.0/14~28

**Table 2.** Characteristics of the watershed used in this study.

Category	Basin form	Basin area(km <sup>2</sup> )	Length of basin(km)	Average basin width(km)	Form factor
Anyang stream water	Tree type	1.33	2.23	0.57	0.27

임내우와 토양수의 수질을 분석하기 위하여 토양수수집장치를 설치한 조사구 중 조사구 1은, 上層을 구성하는 우점종은 서어나무이었고 조사구 2는, 上層을 구성하는 우점종은 벗나무이었고, 조사구 3은, 上層을 구성하는 우점종은 리기다소나무이었다. 調查對象地의 流域特性은 Table 2에서와 같다.

(2) 土壤의 物理·化學的 特性

各 調查區 土壤의 粗孔隙率(pF2.7)과 容積密度는 Table 3에서와 같다.

土壤水質 調查를 위하여 선정한 지역의 平均土深은 A층에서는 6.7cm이었으며, B층에서는 28.3cm로 비교적 토심이 얇았다. 각 조사구에서 토양층별 平均조공극률을 산술평균한 A층에서의 平均조공극률(pF2.7)은 6.7%로서 B층에서의 平均조공극률 8.92%보다 비교적 낮은 값을 나타내었다. 그러나 冠岳山地域에서 분석된 pF2.7에서의 平均粗孔隙率은 先行研究結果(한국건설기술연구원, 1995)보다 낮아 관악산 지역이 他地域보다 토양의 水源涵養能力이 낮은 지역으로 評價되었는데, 이는 冠岳山地域이 土深이 얇고 花崗岩 등 母岩이 露出되어 있으며, 花崗암의 風化로 인한 浸蝕이 활발하게 진행된 데 기인한 결과라 생각된다. 인위적인 堆石과 踏壓으로 인한 土壤硬化, 土壤의 攪亂狀態를 나타내는 指標라 할 수 있는 土壤의 容積密度(Bulk Density)는, A층에서는 3개 조사구에서 平均 1.385g/cm<sup>3</sup>로서 B층의 1.412g/cm<sup>3</sup>보다 낮은 값을 나타내어 토양깊이가 깊어질수록 土壤의 容積密度는 높은 값을 나타내었다. 즉, 土壤의 容積密度가 A층과 B층 모두 先行研究結果(朴在鉉, 1996)보다 높게 나타난 것은 冠岳山地域이 과거 1960년대에 瘠惡한 荒廢山地로서 砂防工事를 한 지역이며, 土深이 얇고 花崗암

**Table 3.** Characteristics of the potential force(pF2.7) and bulk density of the forest soil used in this study.

Site no.	Soil horizon	Soil depth (cm)	Potential force(pF2.7) (%)	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )
1	A	8.5	4.75/2.3~ 7.2	1.308/1.301~1.315
	B	35	10.45/4.9~16.0	1.352/1.304~1.400
2	A	7.0	7.75/3.4~12.1	1.310/1.307~1.312
	B	30	8.3 /4.1~12.5	1.318/1.315~1.321
3	A	4.5	7.6 /3.5~11.7	1.538/1.533~1.542
	B	20	8.0 /3.7~12.3	1.567/1.566~1.568
Average	A	6.7	6.7 /2.3~12.1	1.385/1.301~1.542
	B	28.3	8.92/3.7~16.0	1.412/1.304~1.568

**Table 4.** Soil physical and chemical characteristics of the study sites.

Site no.	Soil horizon	Sand	Silt (%)	Clay	Soil texture	pH	Organic matter (%)	Total-N (%)	Avail P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	C.E.C (me/100g)	Exchangeable(me/100g)			
											K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
1	A	32.1	40.7	27.2	L	4.38	7.61	0.081	23.5	13.64	0.32	0.33	2.4	1.02
	B	27.56	42.04	30.4	CL	4.75	0.98	0.232	3.2	9.90	0.33	0.29	0.61	0.37
2	A	47.84	35.96	16.2	L	4.36	4.42	0.241	31.5	10.34	0.27	0.33	1.51	0.77
	B	66.26	25.14	8.6	SL	4.60	1.63	0.092	4.5	3.96	0.12	0.22	0.33	0.19
3	A	51.58	30.22	18.2	L	4.27	3.70	0.162	49.2	9.46	0.17	0.20	0.46	0.22
	B	55.18	29.02	15.8	SL	4.60	4.07	0.185	22.6	10.34	0.14	0.26	0.25	0.45

등 모암의 露出率이 매우 높은데 기인한 결과이다. 土壤水收集裝置를 설치한 지역에서 土壤의 物理·化學的 特性은 Table 4에서와 같다.

조사구 1에서 A층의 토성은 양토(Loam)이었으나 B층은 점토질이 많이 포함된 점토질양토(Clay Loam)이었다. 이때 A층에서의 토양 pH는 4.38로 산성을 나타내었으나 이 값은 토양 B층의 pH 4.75보다 비교적 낮은 값이었다. 조사구 2에서 A층의 토성은 조사구 1에서의 A층과 동일한 양토이었으나 B층은 모래질이 많이 포함된 사질양토(Sandy Loam)로 조사구 1의 토양 B층과는 다른 토성이었다. 이때 A층에서의 토양 pH는 4.36으로 산성을 나타내었으나 B층의 pH 4.60보다 비교적 낮은 값이었으며, 조사구 3의 A층과 B층 토양은 조사구 2의 A층과 B층 토양과 토성이 같았으며 토양 pH도 A층이 B층보다 낮은 값을 나타내었다.

酸性物質에 대한 土壤의 抵抗能力을 나타내는 양이온치환용량은 조사구 1의 A층 토양이 전체 조사구에서 가장 높은 값을 나타내었으나 전체적

으로 낮은 값을 나타내었는데, 이는 조사지인 관악수목원이 대보화강암지역으로 토양의 완충능이 낮거나 없는 지역(Glass 等, 1982)에 포함되기 때문이라 생각된다.

## 2. 降水(林外雨), 林內雨, 土壤水, 溪流水の pH

### (1) 降水(林外雨), 林內雨, 土壤水, 溪流水の pH

조사지점인 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, 평균강우 pH는 6.06으로 산악지역에서 내리는 강우 pH와 유사(김동엽 등, 1996)한 값을 나타내었으며, pH 5.6 미만의 酸性雨는 4회로 가장 낮은 pH는 pH 5.02이었다.

강수가 수관을 통과하여 떨어지는 林內雨(樹冠通過水)는, 리기다소나무림(調査區 3)에서는 평균 pH가 5.57로 강수보다 약 0.49가 낮았으며, 전체 강우 pH에 비하여 林內雨 pH는 낮아지는 결

과를 나타내었다. 그러나 서어나무림(調査區 1)에서 임내우의 평균 pH는 6.14로 강우 pH보다 약 0.08이 높았으며, 뱃나무림(調査區 2)에서 임내우의 평균 pH는 6.23으로 강우 pH보다 약 0.17이 높아 임내우 pH 크기는 뱃나무림 > 서어나무림 > 강수 > 리기다소나무림의 관계이었다. 즉, 리기다소나무림의 수관층은 강수 pH를 낮게 하였고, 서어나무림과 뱃나무림은 이와 반대되는 결과를 나타내었다. 이는 闊葉樹에서의 林內雨는 林外雨보다 앞에서 溶出되는  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  등에 의하여 강수의 pH가 緩和되고, 針葉樹에서는 임의우의 酸性度를 강하게 한다는 脇孝介等(1990)의 연구결과와 일치하는 결과이었다. 또한, 高橋忠幸(1996)이 보고한, 활엽수는 강수의 산도를 완화하는 작용을 한다는 연구결과와 일치하는 결과이었다. 즉, 침엽수인 리기다소나무는 엽면적지수가 높기 때문에 대기오염물질을 포집하는 양이 활엽수인 서어나무보다 높는데 기인한 결과라 생각된다. 리기다소나무림에서 土壤水의 평균 pH는 토양 A층에서 5.68이었고, B층에서는 5.79로 임내우보다는 평균 약 0.17이 높았다. 서어나무림에서 토양수의 평균 pH는 A층에서 6.16, B층에서 6.17로 임내우보다는 높았는데, 이는 土壤特性에 기인한 결과라 생각된다. 뱃나무림에서는 A층에서 6.47, B층에서 6.49로 리기다소나무림에서의 토양수 pH보다 높게 나타났으며 임내우에서보다도 평균 약 0.25가 높았는데, 이는 河野吉久等(1996)과 高橋忠幸(1996)이 보고한 土壤緩衝作用에 기인한 결과라 생각된다.

溪流水에서의 평균 pH는 6.56으로 自然環境保全을 위한 河川水質環境基準 上水源水 1級水의 범위내에 있었으며, 이 값은 강수의 평균 pH보다 0.50, 3개 조사구의 임내우평균 pH 5.98보다 0.58, 토양 A층의 평균 pH 6.10보다 0.46, 토양 B층의 평균 pH 6.15보다 0.41이 높아 降水, 林內雨, 土壤水보다 높은 pH를 나타내어 산림토양에서의 水質淨化效果가 발휘되었음을 추정할 수 있다(石塚和裕等, 1990; 宗宮 功, 1993). 程龍鎬等(1996)은 울릉도와 계방산에서 산림내 계류수의 pH 범위는 각각 6.5~7.5, 6.7~7.3으로 오염되지 않은 청정지역의 산림내 계류수는 보건복지부의 먹는 물 수질기준의 허용범위내에 있다고 보고하였는데, 이는 이 연구결과와 유사한 결과이었다. 따라서 降水로부터 林內雨를 통해 산림토양에 도달한 물이 토양층을 통과하여 溪流

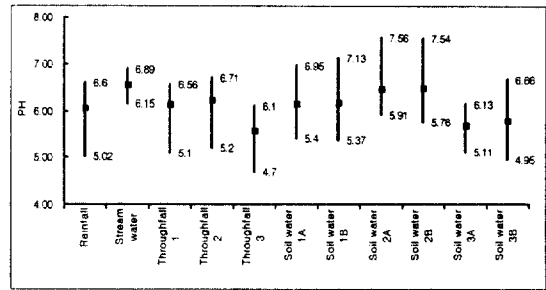


Fig. 2. Variations of pH by rainfall, throughfall, soil and stream water.

水에 도달될 때까지 pH의 크기는 溪流水 > 土壤水 [뱃나무림(B층 > A층)] > 뱃나무림 林內雨 > 土壤水 [서어나무림(B층 > A층)] > 서어나무림 林內雨 > 降水 > 土壤水 [리기다소나무림(B층 > A층)] > 리기다소나무림 林內雨의 관계이었다. 이는 佐藤冬樹等(1990)이 보고한, pH는 강수에서는 낮으나 계류수에서는 높아 강수가 산림토양층을 통과하는 동안 산림토양에서의 완충효과가 발휘되고 있는 것으로 해석되었다.

각 조사구에서 降水, 林內雨, 土壤水, 溪流水의 pH 變化次는 Fig. 2에서와 같다. 이때 강수 pH의 변화폭은 평균 1.58, 임내우에서는 평균 1.46, 토양 A층의 토양수에서는 평균 1.41, 토양 B층의 토양수에서는 평균 1.75 그리고 계류수에서는 평균 0.74로 pH의 변화폭은 계류수에서 가장 적었는데, 이는 井上章二等(1987)이 보고한 강수 pH의 변화폭은 심하지만 계류수에서는 변화폭이 적었으며, 강수산도가 산성이라도 계류수는 중성을 나타내었다는 연구결과와 일치하는 결과이었다.

## (2) 降水, 林內雨, 土壤水, 溪流水에서 pH의 關係

降水, 林內雨, 土壤水 그리고 溪流水에서 pH의 상호관계를 spss/pc+를 이용하여 相關分析한 결과는 Table 5에서와 같다.

Spss/pc+를 이용한 相關分析 結果, 調査區 1, 2, 3에서 林內雨는 降水 pH와 片相關係數는 각각 0.9778, 0.9686, 0.9446으로 1% 水準에서 有意한 正의 相關關係를 나타내었고 계류수 pH는 강수 pH와 偏상관계수가 0.5025로 5% 수준에서 유의한 正의 相關關係를 나타내어, 계류수와 임내우의 pH는 강수 pH의 변화에 밀접한 관계가 있는 것으로 解析되었다. 이는 平井敏三等(1990)과 宗宮 功(1993)이 보고한 降水, 林內雨,

**Table 5.** Correlation coefficients of pH of rainfall, throughfall, soil and stream water.

	RpH	SS1ApH	SS2ApH	SS3ApH	ST1pH	ST2pH
SSpH	0.5025*	-	-	-	0.5309*	0.5668*
ST1pH	0.9778**	-	-	-	1.0000	0.9780**
ST2pH	0.9686**	-	-	-	0.9780**	1.0000
ST3pH	0.9446**	-	-	-	0.9205**	0.9022*
SS1BpH	-	0.9293**	-	-	-	-
SS2BpH	-	-	0.8893**	-	-	-
SS3BpH	-	-	-	0.5497*	-	-

Note : \* means statistically significant at 5% level and \*\* means statistically significant at 1% level.  
 RpH : pH of Rainfall, SS1A(B)pH : pH of A(B) layer of soilwater in site 1, SS2A(B)pH : pH of A(B) layer of soilwater in site 2, SS3A(B)pH : pH of A(B) layer of soilwater in site 3, ST1pH : pH of throughfall in site 1, ST2pH : pH of throughfall in site 2, ST3pH : pH of throughfall in site 3, SSpH : pH of stream water

**Table 6.** Multiple regression equations of environmental factors to determine the pH of rainfall, throughfall, soil and stream water.

Variables	Regression coefficient	Partial R <sup>2</sup>	Model R <sup>2</sup>	F	Significance
Multi - R	= 0.77				
ST2ApH	-0.1633	0.0688	-0.3629	-2.374	0.0270*
SS3ApH	-0.2664	0.0873	-0.4522	-3.052	0.0060**
ST2pH	0.3579	0.0744	0.7377	4.814	0.0001**
(Constant)	6.8992	0.7222		9.553	0.0000

Note : \* means statistically significant at 5% level and \*\* means statistically significant at 1% level.  
 ST2pH : pH of throughfall in site 2, SS2ApH : pH of A layer of soilwater in site 2, SS3ApH : pH of A layer of soilwater in site 3

樹幹流의 pH는 밀접한 相關關係를 나타내었다는 研究結果와 유사한 結果이었다. 또한, 調查區 1, 2, 3 모두 토양 A층과 B층의 pH는 1% 수준에서 有意한 正의 相關關係를 나타내어 토양 A층과 B층은 pH에 대하여 밀접한 상관關係를 나타내었으나 토양수 pH는 강수 pH와 유의하지 않은 상관關係를 나타내었는데, 이는 강수 pH가 林木의 樹冠을 통과하여 토양에 도달하는 동안에 pH가 변화하기 때문에 토양수의 pH에 크게 영향하지 않는 것으로 판단되며, 土壤特性에 따른 차이에 기인되는 結果라 생각된다.

계류수 pH에 영향을 미치는 인자를 밝히기 위하여 降水, 각 조사구에서의 林內雨와 土壤水에서의 pH와 降水量, 先行無降雨日數 等 13種의 인자에 대하여 stepwise를 이용한 多重回歸分析 結果는 Table 6에서와 같다.

Stepwise를 이용한 多重回歸分析結果 多重回歸式은, 계류수pH=6.8992-0.1633×뽕나무림의 토양 A층의 토양수pH-0.2664×리기다소나무림에서 토양 A층의 토양수pH+0.3579×뽕나무림 임내우 pH(R<sup>2</sup>=0.59)이었으며, 重相關係數는 0.77

로 5%, 1% 수준에서 有意하였다. 따라서 계류수 pH에 중요한 영향關係를 갖는 인자는 뽕나무림의 임내우와 토양 A층의 토양수 pH, 그리고 리기다소나무림에서 토양 A층의 토양수 pH 등 3종이었다. 그러나 강수량과 선행무강우일수는 계류수 pH에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다는데, 이는 강수가 종료되는 시점에서 시료를 채취한 데 기인한 것으로 판단되며, 선행무강우일수, 강수량에 따른 계류수 pH의 영향을 보다 면밀하게 분석하기 위해서는 단위강우를 시간 혹은 분 단위로 세분화하여 시료를 채취 분석할 필요가 있을 것으로 생각된다.

### 3. 降水, 林內雨, 土壤水, 溪流水에서 溶存酸素의 變化

#### (1) 降水, 林內雨, 土壤水, 溪流水에서 溶存酸素의 變化

조사기간중 降水에서의 平均溶存酸素는 5.29mg/ℓ를 나타내었으며, 서어나무림에서 林內雨의 平均溶存酸素는 5.62mg/ℓ로 강수보다 높았다. 뽕나무림에서 임내우의 平均溶存酸素는 5.56mg/ℓ

ℓ로 서어나무림에서보다 낮았으며, 강수에서의 평균용존산소보다는 높은 결과를 나타내었다. 리기다소나무림에서 임내우의 평균용존산소는 5.47 mg/ℓ로 서어나무림, 벗나무림에서의 평균용존산소보다 낮은 결과를 나타내었으며, 강수의 평균용존산소보다는 높아 강수와 수중에 따른 임내우에서의 平均溶存酸素의 크기는 서어나무림의 林內雨 > 벗나무림의 林內雨 > 리기다소나무림의 林內雨 > 降水의 관계를 나타내었다.

土壤水에서 平均溶存酸素는 樹種과 土壤層에 따라 상이하게 나타났는데, 서어나무림에서 토양 A층과 B층의 평균용존산소는 각각 5.23mg/ℓ, 5.0mg/ℓ이었으며, 벗나무림에서 토양 A층과 B층의 평균용존산소는 각각 5.27mg/ℓ, 5.09mg/ℓ이었다. 리기다소나무림에서 토양 A층과 B층의 평균용존산소는 각각 5.27mg/ℓ, 5.05mg/ℓ로 3개 조사구 모두 토양 A층에서보다 B층에서의 용존산소가 낮은 값을 나타내었다. 이는 토양층이 깊어질수록 물속에 용존되어 있는 산소가 토양내의 질소 등과 결합하는 窒酸化過程에 소모되고, 수목 등 생물의 호흡에 의해 소비되기 때문이라 생각된다. 이는 宗宮 功(1993)이 보고한 限界溶存酸素濃度 4mg/ℓ와 李圭星 等(1994)이 보고한 限界溶存酸素濃度 5mg/ℓ보다 높은 값을 나타내어 수목 및 토양내 생물의 호흡에 의해 소비되거나, 토양내 유기물과 암모니아의 窒酸化過程에 이용되는 용존산소의 농도는 限界溶存酸素濃度 許容範圍內에 있었다. 그러나 토양 B층 以下の 深土層에 대해서는 溶存酸素濃度の 조사가 이루어지지 않았기 때문에 깊은 토층의 용존산소농도의 측정이 필요할 것으로 생각된다.

溪流水에서 平均溶存酸素濃度는 8.88mg/ℓ로서 自然環境保畧을 위한 河川水質環境基準 上水源水 1級水의 範圍內에 있었다. 즉, 溪流水에서의 溶存酸素濃度는 降水, 林內雨, 土壤水에서의 용존산소농도보다 높은 농도를 나타내어, 강수가 산림의 수관층을 통과하여 토양에 도달하고 이 강수가 다시 토양층을 통과하여 溪流水에 流入되면서 대기중에 있는 산소가 용존되어 在通氣되고, 산림내 계류수는 낙차가 커서 흐르는 물이 낙하할 때 산소흡수가 크게 발생하는 등 산소의 용존이 커지기 때문인 것으로 解析되었다. 이는 산림내 계류수에서 용존산소는 7~10mg/ℓ라는 Whitehead 等(1988)의 연구결과와도 유사한 결과이었다. 즉, 降水, 林內雨, 土壤水, 溪流水에서 平均溶存酸素

濃度의 크기는 溪流水 > 林內雨(서어나무림 > 벗나무림 > 리기다소나무림) > 降水 > 土壤水(벗나무림 A층 > 리기다소나무림 A층 > 서어나무림 A층 > 벗나무림 B층 > 리기다소나무림 B층 > 서어나무림 B층)의 관계이었다.

降水와 3개 調査區에서의 林內雨, 土壤 A층, B층에서 土壤水의 平均溶存酸素 그리고 溪流水에서 溶存酸素의 變化次는 Fig. 3에서와 같다.

(2) 降水, 林內雨, 土壤水, 溪流水에서 溶存酸素의 關係

降水, 林內雨, 土壤水, 溪流水에서 溶存酸素間의 相關關係를 밝히기 위하여 spss/pc+를 이용한 相關分析 結果는 Table 7에서와 같다.

降水, 林內雨, 土壤水, 溪流水에서 溶存酸素에 대하여 spss/pc+를 이용한 相關分析 結果, 강수의 용존산소는 서어나무림, 벗나무림, 리기다소나무림의 토양 A, B층의 土壤水의 용존산소와 5%, 1% 수준에서 유의한 正의 相關關係를 나타내었으며, 서어나무림 토양A층 토양수에서의 용존산소와 B층 토양수에서 용존산소와의 片相關係數는 0.9808로 1% 水準에서 有意한 正의 相關關係를 나타내었으며, 벗나무림에서의 토양 A층과 B층, 리기다소나무림에서 토양 A층과 B층의 偏상관계수는 각각 0.9771, 0.9784로 1% 수준에서 유의한 正의 相關關係를 나타내었다. 서어나무림에서의 林內雨는 벗나무림, 리기다소나무림에서 임내우의 용존산소와 偏상관계수는 각각 0.9926, 0.9688로 1% 수준에서 유의한 正의 상관계를 나타내었다. 벗나무림의 임내우와 리기다소나무림에서 임내우의 용존산소와는 偏상관계수가 0.9720으로 1% 수준에서 유의한 正의 상관계를 나타내었는데, 이는 각 토양층에서의 용존산소는 상호간에 유의한 相關關係를 나타내었

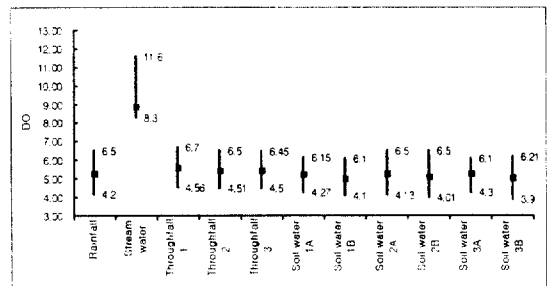


Fig. 3. Variations of dissolved oxygen in rainfall, throughfall, soil and stream water.



**Table 7.** Correlation coefficients of environmental factors influencing the dissolved oxygen in rainfall, throughfall, soil and stream water.

	RDO	SSIADO	SS1BDO	SS2ADO	SS2BDO	SS3ADO	SS3BDO	ST1DO	ST2DO
SS1ADO	0.4988*	-	-	-	-	-	-	-	-
SS1BDO	0.4896*	0.9808**	-	-	-	-	-	-	-
SS2ADO	0.5749*	0.9342**	0.9228**	-	-	-	-	-	-
SS2BDO	0.6025**	0.9332**	0.9338**	0.9771**	-	-	-	-	-
SS3ADO	0.5659*	0.9679**	0.9607**	0.9274**	0.9310**	-	-	-	-
SS3BDO	0.5731*	0.9744**	0.9699**	0.9429**	0.9597**	0.9784**	-	-	-
ST1DO	-	0.6556**	0.6428**	0.7412**	0.7140**	0.6104**	0.6397**	-	-
ST2DO	-	0.6605**	0.6427**	0.7347**	0.7090**	0.6063**	0.6347**	0.9926**	-
ST3DO	-	0.6625**	0.6601**	0.7089**	0.6935**	0.6072**	0.6330**	0.9688**	0.9720**

Note : \* means statistically significant at 5% level and \*\* means statistically significant at 1% level.  
 RDO : DO of rainfall, SS1A(B)DO : DO in A(B) layer of soilwater in site 1, SS2A(B)DO : DO in A(B) layer of soilwater in site 2, SS3A(B)DO : DO in A(B) layer of soilwater in site 3, ST1DO : DO in throughfall in site 1, ST2DO : DO in throughfall in site 2, ST3DO : DO in throughfall in site 3

다는 宗宮 功(1993)의 연구결과와 유사하였다. 그러나 溪流水의 溶存酸素와 降水, 林內雨 그리고 土壤水에서의 용존산소와는 유의하지 않은 결과를 나타내었는데, 이는 溪流水에서의 溶存酸素는 土壤水로 물이 溶出되면서 공기와의 접촉에 의한 在通氣와 樹種 및 土壤特性에 따라 溶存酸素濃度가 달랐기 때문인 것으로 생각된다.

**4. 降水, 林內雨, 土壤水, 溪流水에서의 電氣傳導度**

(1) 降水, 林內雨, 土壤水, 溪流水에서의 電氣傳導度

調査期間中 平均電氣傳導度는 강수에서 42.19  $\mu\text{S/cm}$ 로 서어나무림의 임내우 62.09  $\mu\text{S/cm}$ , 뽕나무림의 임내우 66.31  $\mu\text{S/cm}$ , 리기다소나무림의 임내우 73.96  $\mu\text{S/cm}$ 보다 낮은 값을 나타내었는데, 이는 강수에 용존되어 있는 이온의 함이 임내우에서의 이온의 함보다 적은데 기인한 결과라 생각된다. 또한, 리기다소나무림에서 임내우의 평균전기전도도가 서어나무림과 뽕나무림에서의 평균전기전도도보다 높은 것은 침엽수인 리기다소나무의 엽면적이 넓고 여기에 퇴적된 각종 이온성분들이 강수에 용존되면서 물속의 이온량을 증가시켰기 때문이라 생각된다.

3개 조사구에서 토양 A층의 토양수에서 平均電氣傳導度는 86.38  $\mu\text{S/cm}$ 로 토양 B층의 평균 전기전도도 98.71  $\mu\text{S/cm}$ 보다 적은 값을 나타내었는데 이는 토양 A층에서보다 토양 B층에서의 이온의 양이 많았기 때문이라 생각된다. 그러나

계류수에서의 평균전기전도도는 60.76  $\mu\text{S/cm}$ 로 Whitehead 等(1988)이 보고한 山林內 溪流水에서의 전기전도도 30~150  $\mu\text{S/cm}$ 의 범위내에 포함되어 일반적인 산림내 계류수의 전기전도도를 나타내었다. 또한 계류수의 평균전기전도도는 강수보다는 높은 값이었으나, 임내우나 토양 A층과 B층에서의 평균전기전도도보다는 낮은 값이었다. 이는 강수가 수관층을 통과하면서 내리는 임내우와 토양 A층, 토양 B층을 통과하면서 전기전도도는 증가하나, 계류수로 流出될 때 전기전도도는 낮아진다는 것을 의미하는데, 이는 宗宮 功(1993), 李憲浩와 全宰弘(1996)이 보고한 산림토양에서의 陽이온置換, 酸性緩衝能의 發揮, 酸中和能 등에 의한 작용 때문이라 생각된다.

강수, 임내우, 토양수, 계류수에서 平均電氣傳導度の 크기는 土壤水(B층>A층)>林內雨(리기다소나무림>뽕나무림>서어나무림)>溪流水>降水의 관계로 강수, 임내우, 토양수, 계류수에서의 이온총량의 평균값의 크기와 유사한 경향을 나타내었다. 즉, 강수, 임내우, 토양수, 계류수에서 전기전도도의 차이는 大類清和 等(1992; 1993; 1994)과 河野吉久 等(1996)이 보고한 각 물질순환과정에서 용존물질의 차이가 발생하였음을 의미하는 것이다.

(2) 降水, 林內雨, 土壤水, 溪流水에서 電氣傳導度の 影響因子 分析

이 研究에서 降水, 林內雨, 土壤 A層과 B層에서의 土壤水, 溪流水에서 電氣傳導도와 溶存酸素, pH, 탁도, 양이온( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ),

**Table 8.** Correlation coefficients of environmental factors influencing the electrical conductivity in rainfall, throughfall, soil and stream water.

	DO	pH	EC	Tur.	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	T.A.C.	T.A.A.	T.A.I.	Pre.
pH	-															
EC	-0.2022**															
Tur.	-0.2542**	-														
Ca <sup>2+</sup>	-0.2300**	-	0.7256**	-0.1547*												
Mg <sup>2+</sup>	-	-	0.3988**	-	0.2778**											
K <sup>+</sup>	-0.2125**	-	0.5121**	-	0.5611**	0.2035**										
Na <sup>+</sup>	-	-	0.2909**	-	0.2362**	0.2747**	0.4163**									
Cl <sup>-</sup>	-	-	0.5145**	-	0.4379**	0.2178**	0.4338**	0.3632**								
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	-	0.4784**	-	0.4119**	-	0.2836**	0.3236**	0.3862**							
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-	-	0.4860**	-	0.4104**	0.2751**	0.4231**	0.4657**	0.1548*	0.6241**						
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-	-	0.5315**	-	0.4521**	0.2033**	0.4142**	0.4558**	0.5394**	0.8356**	0.9507**					
T.A.C.	-0.1836*	-	0.7667**	-	0.9333**	0.4244**	0.7049**	0.4962**	0.5161**	0.4239**	0.5003**	0.5224**				
T.A.A.	-	-	0.5881**	-	0.5037**	0.2331**	0.4718**	0.4751**	0.7425**	0.7864**	0.9251**	0.9524**	0.5830**			
T.A.I.	-	-	0.7342**	-	0.7489**	0.3426**	0.6236**	0.5236**	0.7309**	0.7226**	0.8493**	0.8839**	0.8289**	0.9358**		
Pre.	-0.2297**	-	-0.2654**	-0.2769**	-0.2824**	-	-0.2533**	-0.1798**	-0.2019**	-0.1626*	-	-0.1569*	-0.3220**	-0.1896**	-0.2658**	
N.B.N.R.D.	-	-	0.4084**	-0.2638**	0.2238*	-	0.1442*	-	-	0.2705**	0.2032**	0.2501**	0.2053**	0.2379**	0.2537**	0.567*

Note : \* means statistically significant at 5% level and \*\* means statistically significant at 1% level.  
 DO : Dissolved Oxygen, EC : Electrical Conductivity, Tur. : Turbidity, T.A.C. : Total Amount of Cation, T.A.A. : Total Amount of Anion, T.A.I. : Total Amount of Ion, Pre. : Precipitation, and N.B.N.R.D. : No. of Before Non-Rain Days

음이온(Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), 산성오염물질인 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>이온의 합, 양이온총량, 음이온총량, 이온총량, 강수량 그리고 선행무강우일수 등 총 17종의 인자에 대한 상호간의 관계를 spss/pc+를 이용한 상관분석결과는 Table 8에서와 같다.

Spss/pc+를 이용한 相關分析結果, 溶存酸素와 濁度는 偏상관계수가 -0.2542로 1% 수준에서 유의한 負의 相關關係를 나타내었는데, 이는 濁度가 높아질수록 물속에 함유되어 있는 오탁물질 등에 의하여 富營養化가 유발하기 때문에 강수, 임내우, 토양수, 계류수에 용존하는 산소는 적어지게 되며, 강수로부터 임내우, 토양수로 이동하는 과정에서 窒酸化作用 등에 의하여 물속의 산소는 감소된다는 宗宮 功(1993)의 연구결과와 유사한 결과이었다.

電氣傳導度는 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>이온합, 양이온합, 그리고 음이온합과 각각 偏상관계수가 0.7256, 0.3988, 0.5121, 0.2909, 0.5145, 0.4784, 0.4860, 0.5315, 0.7667, 그리고 0.5881로 1% 수준에서 유의한 正의 상관계수를 나타내어 강수, 임내우, 토양수, 계류수에 용존되어 있는 이온에 밀접한 영향을 나타낸다는 先行研究結果(大類清和 等, 1993; 1994; 程龍鏞 等, 1996; 河野吉久 等, 1996)

와 일치하는 결과이었다.

電氣傳導度와 降水量과는 偏상관계수가 -0.2654로 1% 수준에서 유의한 負의 상관계수를 나타내어 강수량이 증가할수록 물에 용존한 이온의 농도가 낮아지는 결과를 나타내었는데, 이는 西尾敏 等(1988)이 보고한, 강수에서의 전기전도도는 강수량과 負의 상관계수를 나타내었다는 연구결과와 유사한 결과이었다. 또한 전기전도도와 선행무강우일수와는 偏상관계수가 0.4084로 1% 수준에서 유의한 正의 상관계수를 나타내었는데, 이는 大類清和 等(1992)이 보고한 전기전도도는 선행무강우일수가 길수록 용존이온이 증가한다는 연구결과와 유사한 결과이었다.

降水量은 탁도, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>이온합, 양이온합, 음이온합 그리고 이온총량 등의 인자와 偏상관계수는 각각 -0.2769, -0.2824, -0.2533, -0.1798, -0.2019, -0.1626, -0.1569, -0.3220, -0.1896 그리고 -0.2658로 5%, 1% 수준에서 유의한 負의 상관계수를 나타내어 강수량이 증가할수록 강수, 임내우, 토양수, 계류수에 용존되어 있는 이온의 농도가 낮아지는 것으로 나타났다. 그러나 이 결과는, 宗宮 功(1993)이 보고한 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>이온은 강수와 산림유출수량의 증가에 따라 증가한다는 연구결과와는 상

반된 결과이었는데, 이는 지역적인 차에 기인한 결과로 생각되며, 강수량의 변동에 따른 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>이온함량의 변동특성을 파악하기 위하여는 물순환 과정에서의 장기적인 이온동태에 대한 연구가 선행되어야 할 것으로 생각된다.

降水, 林內雨, 土壤水, 溪流水에서의 이온총량은 전기전도도와 편상관계수가 0.7342로 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내었는데, 이는 강수, 임내우, 토양수, 계류수에 용존되어 있는 양이온과 음이온량이 증가할수록 전기전도도는 증가함을 의미하는 것이다. 이와 같이 강수, 임내우, 토양수, 계류수에서 전기전도도에 유의한 상관관계를 나타낸 이온총량과의 관계를 직선회귀분석한 결과 直線回歸式은, 電氣傳導度(Y)=7.8989+0.2358×이온총량(X)(R<sup>2</sup>=0.54)이었으며 Fig. 4에서와 같다.

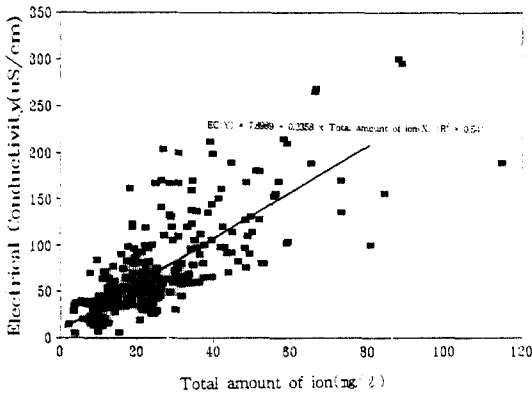


Fig. 4. Linear regression of between total amount of ion and electrical conductivity in rainfall, throughfall, soil water, and stream water.

降水, 林內雨, 土壤水, 溪流水에서 電氣傳導度에 有意한 相關關係를 나타낸 양이온(Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>), 음이온(Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), NO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>이온함, 양이온함, 음이온함, 이온총량, 강수량, 선행무강우일수 등 13개 인자에 대하여 stepwise를 이용한 多重回歸分析結果는 Table 9에서와 같다.

山林流域에서 생산되는 물의 水質評價指標인 電氣傳導度の 說明에 有意한 因子를 밝히기 위하여 stepwise를 이용한 多重回歸分析 結果, 降水, 林內雨, 土壤水, 溪流水에서 電氣傳導度の 설명에 유의한 영향을 미치는 인자는 Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, 양이온총량, 이온총량, 그리고 선행무강우일수 등 5개 인자이었으며, 重相關係數는 0.84로 1% 수준에서 유의하였다. 이를 多重回歸式으로 나타내면, 電氣傳導度 = -1.2713 + 4.2907 × Mg<sup>2+</sup>이온 - 5.1754 × Na<sup>+</sup>이온 + 2.1574 × 양이온총량 + 1.9020 × 이온총량 + 1.9191 × 선행무강우일수 (R<sup>2</sup>=0.71)이었다. 이와 같은 결과는 강수, 임내우, 토양수, 계류수에서 전기전도도는 이들 물속에 용존되어 있는 이온의 양에 중요한 영향관계가 있다는 선행 연구결과(大類清和 等, 1994; 河野吉久 等, 1996)와 유사한 결과이었다.

따라서 상기의 연구결과를 종합적으로 고찰해 볼 때 합리적이고도 구체적인 山林內 溪流水質 評價基準을 정립하기 위하여는 계류수질에 영향을 미치는 pH, 용존산소, 전기전도도, 양이온(Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>), 음이온(Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 등 物理的, 化學的 要因에 대한 評價가 필요할 것으로 생각된다.

Table 9. Multiple regression equations of environmental factors to determine the electrical conductivity in rainfall, throughfall, soil and stream water.

Variables	Regression coefficient	Partial R <sup>2</sup>	Model R <sup>2</sup>	F	Significance
Multi - R	= 0.84				
Mg <sup>2+</sup>	4.2907	1.1286	0.1455	3.802	0.0002**
Na <sup>+</sup>	-5.1754	1.5322	-0.1384	-3.378	0.0008**
T.A.C.	2.1574	0.6531	0.2973	3.303	0.0011**
T.A.I.	1.9020	0.4367	0.6108	4.355	0.0000**
N.B.N.R.D.	1.9191	0.2816	0.2475	6.815	0.0000**
(Constant)	-1.2713	4.5361		-0.277	0.7819

Note : \* means statistically significant at 5% level and \*\* means statistically significant at 1% level. T.A.C. : Total Amount of Cation, T.A.I. : Total Amount of Ion, and N.B.N.R.D. : No. of Before Non-Rain Days

## 結 論

이 研究는 溪流水와 土壤水에서 水質評價項目의 設定時 중요한 因子인 pH, 溶存酸素, 電氣傳導度에 미치는 영향 요인을 究明함으로써 溪流水 水質評價基準를 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 산림소유역내 3개 조사구(서어나무림, 벗나무림, 리기다소나무림)에서 1996년 7월 1일부터 1997년 8월 31일까지 降水, 林內雨, 土壤水 그리고 溪流水의 水質動態를 分析하여 얻은 結果는 다음과 같다.

1. 3개 조사구에서 토양층별 平均粗孔隙率은, 토양 A층에서는 6.7%로서 B층(8.92%)보다 낮았고, 土壤 pH는 A층에서는 平均 pH 4.34로 B층(pH 4.65)보다 낮았다.
2. 조사기간 동안 單位降雨는 총 24회, pH 5.6미만의 酸性雨는 4회로 가장 낮은 강우 pH는 5.02이었다. 降水(6.06)로부터 林內雨를 통해 산림토양에 도달한 물이 토양층을 통과하여 溪流水(6.56)에 도달될 때까지 pH의 크기는 溪流水 > 土壤水 [벗나무림(B층 > A층)] > 벗나무림 林內雨 > 土壤水 [서어나무림(B층 > A층)] > 서어나무림 林內雨 > 降水 > 土壤水 [리기다소나무림(B층 > A층)] > 리기다소나무림 林內雨와의 관계로 리기다소나무림은 降水 pH를 낮게 하였고, 서어나무림과 벗나무림은 이와 반대되는 결과를 나타내었다.
3. 降水의 平均溶存酸素는 5.29mg/ℓ이었으며, 溪流水에서 平均溶存酸素濃度는 8.88mg/ℓ로 自然環境保全을 위한 河川水質環境基準 上水源水 1級水의 範圍內에 있었다. 降水와 樹種에 따른 林內雨, 土壤水, 溪流水에서 平均溶存酸素濃度の 크기는 溪流水 > 林內雨(서어나무림 > 벗나무림 > 리기다소나무림) > 降水 > 土壤水(벗나무림 A층 > 리기다소나무림 A층 > 서어나무림 A층 > 벗나무림 B층 > 리기다소나무림 B층 > 서어나무림 B층)의 관계이었다.
4. 降水, 林內雨, 土壤水, 溪流水에서 平均電氣傳導度の 크기는 土壤水(B층 > A층) > 林內雨(리기다소나무림 > 벗나무림 > 서어나무림) > 溪流水 > 降水의 관계이었다, 電氣傳導度는  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ 와  $SO_4^{2-}$ 이온함, 양이온함, 음이온함 그리고

이온총량과 1% 수준에서 유의한 正의 相關關係를 나타내었다.

5. 降水, 林內雨, 土壤水, 溪流水에서 電氣傳導度の 說明에 有意한 影響을 미치는 因子는  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ , 양이온총량, 이온총량, 그리고 선행무강우일수 등 5개 因子이었다. 즉, 電氣傳導度 =  $-1.2713 + 4.2907 \times Mg^{2+}$ 이온 -  $5.1754 \times Na^+$ 이온 +  $2.1574 \times$ 양이온총량 +  $1.9020 \times$ 이온총량 +  $1.9191 \times$ 선행무강우일수( $R^2=0.71$ )로 降水, 林內雨, 土壤水, 溪流水에서 電氣傳導度는 이들 물속에 용존되어 있는 이온의 양에 중요한 影響關係가 있는 것으로 解析되었다.

## 引用文獻

1. 김동엽·유정환·채지석·차순형. 1996. 大氣汚染物質의 山林生態系內 流入과 土壤의 化學的 特性 變化. 韓國林學會誌 85(1): 84-95.
2. 김준현. 1995. 고산계곡수 활용가능성과 개발전략. 고산계곡수 식수원활용 세미나자료집. pp. II1-II18.
3. 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(1). 자연보존 92: 23-38.
4. 박재현. 1996. 성숙임목 개별수확지에서 벌출직후 환경변화 특성과 계류수질 변동. 大韓環境工學會誌 18(11): 1321-1334.
5. 禹保命·權台鎬·李宗學·金景河·李俊雨·麻鎬燮. 1986. 冠岳樹木園地域內 荒廢山地 土壤의 肥沃化를 통한 綠化促進에 關한 研究(2). 서울大 農學研究 11(2): 7-14.
6. 李圭星·李盛弘·李辰河·黃相容. 1994. 水質汚染概論. pp.184-186.
7. 李憲浩·全宰弘. 1996. 山地 물循環過程에 있어서 酸度, 電氣傳導度 및 溶存酸素量의 變化. 韓國林學會誌 85(4): 634-646.
8. 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.
9. 西尾 敏·佐佐木重行·高木潤治. 1988. 降水及び溪流水の成分に關する研究(I)-pH とEC(電氣傳導度)について-. 日本九支研論集 41: 169-170.

10. 前田 修・池田修一・小崎 茂・谷浩 司. 1984. 夏期花室川の流下物に關する研究(5)-水溫, 電導度, 溶存酸素の日變化. 筑波の環境研究 8 : 75-77.
11. 宗宮 功. 1993. 自然の淨化機構. 技報堂出版. 252p.
12. 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.
13. 佐佐木重行・高木潤治・西尾 敏. 1990. 降水及び溪流水の成分に關する研究(IV)-流出量と成分濃度について-. 日林九支演論集 43 : 177-178.
14. 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.
15. 相澤州平. 1993. 樹幹流の土壤陽イオン交換における役割. 日本東北支誌 45 : 193-194.
16. 脇孝 介・車戸憲二・松橋達也. 1990. 山地地域における雨水の酸性化の實態について. 日林論 101 : 253-254.
17. 大類清和・生原喜久雄・相場芳憲. 1992. 降雨イベントの溪流水の溶存物質の流出特性と流出成分の分離. 日本林學會誌 74(3) : 203-212.
18. 大類清和・生原喜久雄・相場芳憲. 1993. 森林集水域での土壤から溪流への水質變化. 日本林學會誌 75(5) : 389-397.
19. 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.
20. 井上章二・小川 滋・江崎次夫・丹原守雄・岸原信義. 1987. 林野火災跡地における水土の流出特性に關する研究. 日本林學會誌 69(10) : 401-406.
21. 石塚和裕・高橋正通・高橋美代子. 1990. 人工酸性雨による土壤のpH緩衝能. 日林論 101 : 249-252.
22. 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.
23. 河野吉久・松村秀幸・小林卓也. 1996. 人工酸性雨暴露に併う土壤理化學性の變化とスギ, ヒノキ根の生育. 大氣環境學會誌 31(5) : 203-212.
24. 高橋忠幸. 1996. 主な落葉闊葉樹樹幹流の酸性度とヤマナラシ樹幹流による土壤酸性化抑制機能. 岩手林技年報 6 : 17-27.
25. 한국건설기술연구원. 1995. 시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구. 한국건설기술연구원. pp.159-177.
26. 平井敬三・加藤正樹・岩川雄幸・吉田桂子. 1990. 樹幹流が林地土壤に與える影響(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. Brown, G.W. and J.T. Krygier. 1970. Effects of clear-cutting on stream temperature. Water Resources Research 6(4) : 1133-1139.
28. 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.
29. Glass, N.R. *et al.* 1982. Effects of acid precipitation. Environmental Science Technology 16. pp.162-168.
30. Tsugio Ezaki. 1996. Changes in pH values on the runoff water of the rainfall by forest. Northeast Asian Forests in 21st Century in '96 International Symposium on Forest Science, The Institute of Forest Science, Kangwon National University, October 24, 1996, pp.37-46.
31. Whitehead, P.G., S. Bird., M. Hornung., J. Cosby., C. Neal., and P. Paricos. 1988. Stream acidification trends in the welsh uplands-a modelling study of the Llyn Brianne catchments. Journal of Hydrology 101 : 191-212.