

식생이 다른 산림유역 유출수의 특성

이호범[†] · 박찬오 · 신대윤*

전라남도보건환경연구원 환경조사과 · *조선대학교 환경공학부

(2006년 7월 6일 접수, 2007년 2월 28일 채택)

The Characteristics of Runoff from a Forest Watershed with Different Vegetation

Ho-beom Lee[†] · Chan-oh Park · Dae-yewn Shin*

Department of Environmental Survey, Jeollanam-do Institute of Health and Environment

*Department of Environmental Engineering, Chosun University

ABSTRACT : In this study, we investigated the presence of nitrogen, phosphorus, ions, heavy metals and other contaminations in the water stream and soil of the forest watershed with different geology and vegetations for one year from October 2004 to September 2005. Most of the nitrogen oxide in the soil was in the form of NO_3^- , and it appeared that nitrogen contents decreased as the soil depth increased. Nitrogen contents was highest in the basalt area, showing 13.3 mg/g in the surface soil and 7.40 mg/g in the subsoil. Phosphorous contents showed no significant variations depending on the soil depth and was higher in the intermediate soil layer(60 cm) than in surface soil (30 cm) in granite and metamorphic rock areas. Nitrogenous compound in the soil water was 8.03 mg/L in the granite area of coniferous forest and 14.79 mg/L in the andesite area of the deciduous forest. Nitrogenous compound in the stream water was 5.53 mg/L in October and 6.99 mg/L in January in the granite area of the coniferous forest and 3.61~5.11 mg/L in the andesite area of the deciduous forest. Phosphates in runoff and stream water were similar in coniferous with in deciduous forests, showing a slight increase(0.090~0.179 mg/L) in the basalt area. In the coniferous forest, pH showed a significant positive correlation with EC, Ca^{2+} and Cl^- at $p < 0.01$, and showed a negative correlation with S-Fe and S-Al. Electroconductivity showed a significant correlation of 0.601 with Ca^{2+} and of -0.586 with NO_3^- at $p < 0.01$, and showed a significant correlation of 0.301 with SO_4^{2-} and of -0.295 with S-Fe at $p < 0.05$. In the deciduous forest, pH showed a positive correlation with Ca^{2+} at $p < 0.05$, and showed a negative correlation with K^+ , S-Fe and S-Al at $p < 0.01$. Electroconductivity showed a significant positive correlation with Ca^{2+} and Cl^- at $p < 0.05$ and with NO_3^- at $p < 0.01$.

Key Words : Soil, Runoff, Stream Water, Coniferous Forest, Deciduous Forest, Correlation

요약 : 산림지역 유출수가 하천의 수질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 지질과 식생이 다른 한국과 일본 8개 지역 토양용출액과 계류수의 수질을 조사, 비교하였다. NO_3^- 농도는 표토층에서 높고 토심이 깊을수록 낮아졌으며, 현무암지질의 표층(13.3 mg/g)과 심층(7.40 mg/g)이 가장 높게 나타났다. PO_4^{3-} 농도는 토심에 따라 차이가 없었고 화강암과 변성암지질의 중층(60 cm)이 표층(30 cm)보다 높게 나타났다. 토양용출액의 T-N은 침엽수림의 화강암지점 8.03 mg/L, 활엽수의 안산암지점 14.79 mg/L이었고, 계류수는 침엽수림의 화강암지점이 10월에 5.53 mg/L, 1월 6.99 mg/L이었고, 활엽수림의 안산암지점이 3.61~5.11 mg/L이었다. 토양용출액과 계류수의 T-P은 침엽수림과 활엽수림이 비슷한 값을 보였고, 활엽수림의 현무암지점(0.090~0.179 mg/L)에서 다소 높게 나타났다. 침엽수림 토양용출액의 pH와 EC, Ca^{2+} 및 Cl^- 농도는 $p < 0.01$ 에서 유의한 정적 상관을 보이고, S-Fe, S-Al과는 부의 상관을 보였다. 전기전도도와 Ca^{2+} 농도 및 NO_3^- 농도는 $p < 0.01$ 에서 유의한 상관이 있고, SO_4^{2-} 농도, S-Fe와는 $p < 0.05$ 에서 유의한 상관이 있었다. 활엽수림 토양용출액의 pH와 Ca^{2+} 농도는 $p < 0.05$ 에서 정적 상관이 있고, K^+ , S-Fe 및 S-Al 농도는 $p < 0.01$ 에서 부의 상관이 있었다. 전기전도도와 Ca^{2+} 및 Cl^- 농도는 $p < 0.05$, NO_3^- 농도와는 $p < 0.01$ 에서 유의한 정적 상관을 보였다.

주제어 : 산림지역 유출수, 토양성분, 계류수 수질, 침엽수림, 활엽수림, 상관관계

1. 서론

수질오염원은 점오염원과 비점오염원으로 대별되며 비점오염원은 강수 시 오염물질을 배출하는 곳으로서 오염된 대기, 산림지역, 농경지, 도시지역, 유하량이 적은 하천 등을 말한다. 우리나라 국토의 산림점유율은 70%로서 면적으로 볼 때

비점오염원의 대부분을 차지하고 있다. 또한 1970년대 말부터 화학비료 사용으로 퇴비생산량이 줄어들고 석탄, 석유, 가스와 같은 화석연료를 사용함으로써 산에서 연료를 채취하지 않고 토끼, 노루 등 초식동물의 수가 적어서 나무가 밀식되어 매년 퇴적되는 부식질의 양이 증가하여 강우 시 매우 많은 자연오염유기물이 배출되고 있다.

이와 같이 산림지역에서 강우 시 폭발적으로 배출되는 자연오염유기물은 토사와 함께 계류수 및 하천에 유입되어 유기물, 색도, 혼탁도를 증가시키고, 폐쇄성 수역의 부영양화

[†] Corresponding author
E-mail: hobeom6@naver.com
Tel: 062-682-2625

Fax: 062-360-5359

및 바다의 적조를 일으키는 원인이 된다.¹⁾ 또 수도위생에 있어서는 상수원수의 조류발생에 의한 이·취미 및 염소소독 부산물을 발생시킴으로써 상수처리비용이 증가시키고 국민 건강을 위협하고 있다.

산림지역 계류수의 수질은 하천이나 호소 등과 비교하여 폭이 좁고, 경사가 급해서 체류시간이 짧고, 강우나 주변 토지이용도, 하상구조성분 및 산림의 종류에 따라 많은 영향을 받는다. 계류수의 혼탁도는 인내 강우량에 따라 좌우되며 특히 겨울철 채난기와 봄철 갈수기 강우에 의해 대기 중의 산성강하물이 일시에 유입되면 토양양료가 용탈되어 토양이 산성화되고, Al³⁺ 등 고가금속을 용출되어 수생생태계에 악 영향을 준다.²⁾

토양양료의 이동과 축적은 계류수의 양료함량을 변화시키는 주요 인자이며 계류수 주변의 모암과 산림상태에 따라 달라진다. 따라서 계류수의 수질을 평가할 때에는 임목고조, 토양 및 암석의 화학성분 등을 면밀하게 검토하여야 한다.³⁾

한 가지 예로서 토양이 SiO₂ 함량이 65% 이상인 산성암인 화강암, 화강편마암과 같은 모암으로 형성된 경우 True alkalies(K, Na)나 Sub alkalies(Ca, Mg)의 양이 적어 토양외적물에 대한 완충능이 빈약하므로, 양이온, 음이온, 토양인자 등 수질오염을 평가할 때에는 유의하여야 한다.^{4,5)}

국내에서는 1960년대 말부터 분뇨, 산업폐수, 생활하수 등 점오염원에서 배출되는 오염물질을 처리하기 위하여 막대한 예산을 투입하고 있으나 하천, 호소 등의 목표수질을 달성하지 못하고 있는 실정이다. 미국, 일본 등 선진국들이 비점오염원을 관리하여 지표수의 목표수질을 달성한 사례를 거울삼아 우리나라에서도 비점오염원을 철저히 관리하여 수질을 정화하는 대책이 시급히 수립되어야 한다.

본 연구에서는 산림지역 유출수가 하천의 수질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 지질과 식생이 다른 한국과 일본 8개 지점을 선정하여 토양용출액, 계류수 및 유입하천의 수질을 조사하여 수질항목간의 상관관계를 알아보고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사 기간

조사대상 지역 및 조사지점에 대해서 사전조사 및 예비조

사를 약 2년 동안 실시한 후, 본 조사를 2004년 10월부터 1년 동안 수행하였다.

2.2. 조사 개요

조사지역은 한국의 부산, 전남, 경남 및 제주지역과 일본의 후쿠오카, 나가사키, 사가 및 야마구치지역이고, 조사지점은 단일식생을 이루고 있는 침엽수림대(Needle-leaf forest) 4곳(SA, SB, SE, SG)과 활엽수림대(Broad-leaf forest) 4곳(SC, SD, SF, SH)이며, Fig. 1에 나타내었다.

SA지점은 화강암질의 사질양토이고 삼나무와 편백이 식재되어 있으며, SB지점은 식양토이면서 안산암질이고 편백 및 삼나무가 식재되어 있다. SE지점은 갈색토 및 변성암의 삼림지역이며, SG지점은 화강암질의 갈색삼림토로 편백과 삼나무가 혼재되어 있다. SC지점은 석토바위가 있는 토양의 화강암 잔적층, 분적층 지역이고, SD지점은 현무암 미사질 토양이다. SF지점은 안산암 및 휘록응회암의 건성 갈색 삼림토이며 혼효림지역이고, SH지점은 건성 유문암질 토양이며 떡갈나무, 졸참나무 등이 군락을 이루고 있는 활엽수림 지역이다.

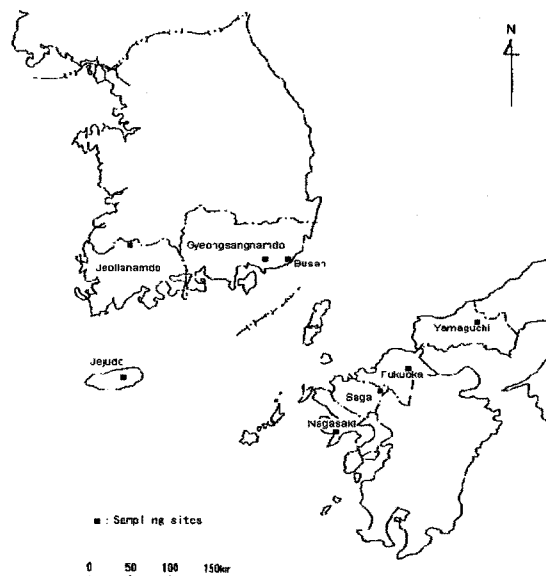


Fig. 1. Investigated area.

Table 1. Summary of sampling sites characteristics

Sites	Species of tree	Soil	Geology	Temp.(°C)	Rainfall(mm)
SA	Japanese cedar, Chamaecyparis obtusa	Brown forest soil	Granite	13	1,296
SB	Japanese cedar, Chamaecyparis obtusa	Brown forest soil	Andesite	14	1,492
SC	Carpinus laxiflora	Brown forest soil	Granite	15	1,660
SD	Dichroae radix, Styra japonica	dark reddish brown color silt loam soil	Basalt	16	1,457
SE	Japanese cedar	Brown forest soil	Metamorphic rock	15	1,963
SF	Japanese cedar, Chamaecyparis obtusa	Brown forest soil	Granite	17	1,900
SG	Ourecus dentata thunb, Castanopsis sp	Brown forest soil	Andesite	17	1,705
SH	Broad-leaved tree	Dry forest soil	Rhyolite	13	2,100

* SA : Jeonnam, SB : Busan, SC : Gyeongnam, SD : Jeju, SE : Fukuoka, SF : Nagasaki, SG : Saga, SH : Yamaguchi

토양조사지점은 수질기준점으로부터 집수역 지도의 등고선을 따라서 최고표고(A_{Tm})와 수질기준점의 표고(A_{0m})를 구하고, 곡근을 따라(A₀ + (A_T - A₀)/5)m (단 I = 0,1,2,3,4,5) 표고의 6개소를 선정하였다.

2.3. 조사방법

계류수 집수역의 토양 중 질소, 인 등 화학성분을 토양성분, 토양용출액, 수역의 수질 등 계통별로 조사하여 토양의 질소, 인이 수역에 미치는 영향을 조사하고, 산림지역의 수종 및 토양 종류에 따라 용출되는 물질의 상관관계를 파악하였다.

토양시료는 수질기준점(A₀)에서 1월, 4월, 7월 및 10월에 연직방향의 토양을 약 30 cm 간격으로 채취하고, 계류수의 시료 채취 및 유량측정은 유출수의 모니터링이 가능한 수역에서 분기에 2회씩 1월, 3월, 4월, 7월, 8월, 9월, 10월 및 12월에 실시하였다.

토양시료는 A₀지점에서 각 층의 토양을 채취하여 헤파물질을 제거한 후 풍건하여 입경 2 mm 체로 쳐서 조제하고 함수율을 구하였다.

토양시료 20 g과 탈이온수 100 mL를 삼각플라스크에 넣고 1시간 동안 진탕하여 용출시킨 후 상정액을 공경 0.45 μm 인 멤브레인필터로 여과하여 여액을 분석하였다.

하천수는 유심부근에서 저질이 혼입되지 않도록 채수한 후 공경 0.45 μm 인 멤브레인필터로 여과하여 여액을 분석하였다.

토양성분은 토양분석법에 의하여 T-N, T-P를 분석하고, 토양용출액 및 계류수는 하수시험법 및 상수시험법에 따라 pH 등 14개 항목을 분석하였다.⁶⁻⁸⁾

3. 결과 및 고찰

3.1. 토양의 영양염류 분포

Table 2에 토심에 따른 영양염류의 농도를 나타내었다.

토양의 질소함량은 30 cm(A층) > 60 cm(B층) > 90 cm(C층) 순으로 토심이 깊어짐에 따라 감소하였다.

모암의 형태별 T-N농도는 SD지점이 13.3~7.40 mg/g으로 가장 높고, SH지점이 7.35~2.75 mg/g로서 비교적 높게 나타났다. SF지점은 7.63~0.80 mg/g, SB지점은 5.45~4.80 mg/g, SE지점은 5.35~2.33 mg/g, SA지점은 3.95~2.05 mg/g, SC지점은 0.93~0.37 mg/g이었다.

T-P농도는 SD지점이 0.86~0.77 mg/g으로 가장 높고, SH지점이 0.71~0.53 mg/g로서 비교적 높게 나타났다. SF지점은 0.72~0.19 mg/g, SB지점은 0.57~0.34 mg/g, SE지점은 0.71~0.84 mg/g, SA지점은 0.86~0.60 mg/g, SC지점은 0.50~0.47 mg/g이었다.

특히 토양 A층에서는 오랜 기간동안 대기 중의 산성강하물에 의하여 T-N농도가 증가하고 초본류와 산림의 엽내 큐티클층의 산화가 이루어져 유기산이 용탈되었다. 토양미생물 등에 의한 활발한 분해작용으로 인하여 부엽토층이 형성되고, 토양교란으로 질화작용이 활발하게 발생하기 때문이다.⁹⁾

Table 2. Concentration of T-N, T-P contained in soils at three stratum

Item	Stratum	SA	SB	SC	SD	SE	SF	SG	SH
T-N (mg/g)	A	4.0	5.5	0.9	13.1	5.4	7.6	1.9	7.4
	B	2.7	4.9	0.5	10.3	2.3	0.8	1.0	3.5
	C	2.1	4.8	0.4	7.4	-	-	0.7	2.8
T-P (mg/g)	A	0.6	0.6	0.5	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7
	B	0.9	0.4	0.5	0.8	0.8	0.2	0.6	0.6
	C	0.6	0.3	0.5	0.8	-	-	0.5	0.5

Table 3. The average ion concentration of stream water, soil extraction at the location to be investigated

A stratum	Soil	pH	EC	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	S-Fe	S-Al	S-SiO ₂
Need leaf forest	OCT	5.4	4.50	0.18	0.20	1.57	0.01	4.38	1.74	4.19	0.82	2.27	1.20	0.56	1.10	6.75
	JAN	5.7	4.38	0.30	0.02	2.69	0.05	3.72	3.20	2.59	0.55	1.65	1.73	0.88	1.43	5.85
	APR	5.1	5.70	0.66	0.10	1.32	0.10	5.75	2.92	3.97	2.22	15.83	2.04	0.41	1.91	6.60
	JUL	5.6	3.43	0.20	0.03	2.34	0.01	4.91	1.35	1.38	0.31	1.06	0.80	1.21	1.45	4.79
Broad leaf forest	OCT	5.4	5.33	1.87	0.07	1.55	0.03	5.09	8.11	2.94	1.19	5.33	4.18	0.68	1.29	5.86
	JAN	5.4	4.99	2.20	0.25	1.30	0.12	9.12	10.73	4.74	1.94	8.10	7.49	1.54	1.67	1.35
	APR	5.3	6.50	2.18	0.16	2.27	0.15	8.46	7.64	4.22	1.59	4.76	8.26	1.37	2.35	3.50
	JUL	5.3	9.00	5.04	0.09	1.50	0.17	12.42	10.44	4.19	1.67	7.00	8.71	0.81	3.02	1.92
Stream water		pH	EC	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	S-Fe	S-Al	S-SiO ₂
Need leaf forest	OCT	7.3	6.5	0.011	0.010	1.929	0.012	3.103	4.240	5.289	1.309	7.633	2.033	0.030	0.033	16.461
	JAN	7.0	6.9	0.031	0.020	2.045	0.015	4.940	5.525	5.173	1.285	4.903	1.730	0.029	0.025	17.281
	APR	7.1	6.6	0.005	0.013	0.668	0.008	3.368	4.563	4.978	0.925	4.303	1.848	0.020	0.014	15.500
	JUL	7.3	6.6	0.030	0.010	0.661	0.022	3.839	4.362	5.018	1.183	5.030	1.818	0.020	0.015	17.170
Broad leaf forest	OCT	7.4	28.8	0.010	0.008	1.858	0.035	5.825	10.699	4.884	2.038	8.388	1.235	0.111	0.018	15.002
	JAN	7.3	9.4	0.046	0.008	2.023	0.030	16.447	9.654	6.104	2.258	7.972	1.450	0.013	0.013	16.295
	APR	7.2	9.4	0.022	0.012	1.499	0.027	6.180	9.635	4.953	2.054	6.967	1.530	0.013	0.015	14.667
	JUL	7.4	18.7	0.017	0.008	1.521	0.062	5.634	8.428	5.980	2.209	7.389	1.450	0.013	0.006	16.990

토양의 T-P농도는 지질층의 광물질 풍화정도에 따라 다소 차이가 있으나, A층>B층>C층 순으로 높게 나타났다.

3.2. 토양용출액 및 계류수의 이온성분

Table 3에 침엽수림 및 활엽수림지역의 토양 A층 용출액과 계류수의 이온농도를 나타내었다.

토양용출액의 pH는 활엽수림지역이 5.3~5.4, 침엽수림은 5.1~5.7로서 두 지역 모두 산성화되고 있음을 알 수 있다.

계류수의 pH는 7.0~7.4로서 정 등¹⁰⁾이 보고한 pH 6.9와 비슷한 값을 나타내었다.

토양용출액의 평균 이온량은 4.56 mg/L, 전기전도도는 54.8 μ s/cm이고, 계류수의 평균 이온량은 4.74 mg/L, 전기전도도는 115.8 μ s/cm로서 토양용출액의 평균 이온량과 전기전도도가 계류수보다 낮게 나타났다. 계류수의 전기전도도는 Whitehead 등¹¹⁾이 보고한 30~150 μ s/cm의 범위였다.

토양용출액의 NO₃⁻농도는 침엽수림 A층이 1.32~2.69 mg/L, B층 0.79~2.34 mg/L, C층 0.62~1.21 mg/L이고, 1월에 가장 높게 나타났다. 활엽수림은 층간구분이 명확하지 않은 석바위층과 다공성 현무암층의 농도 역전이 이루어졌는데, 이는 토양채취시기에 토양교란에 의한 질산화작용이 활발하고, NH₄⁺이 토양내에 유입되는 과정에서 질산화가 진행되기 때문이라고 사료된다.

NH₄⁺농도는 활엽수림 토양이 1.87~5.04 mg/L, 침엽수림 토양이 0.18~0.66 mg/L로서 활엽수림토양이 더 높게 나타났다.

Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻ 등 이온성분의 양은 계류수가 토양용출액보다 더 높게 나타났는데 이는 지표수와 지중수간의 이온성분 이동과 강수 중의 이온이 토양을 통과하는 동안 계류

수에 유입되고 토양 중의 풍화산화물이 토양용출액을 통해 수목에 공급되기 때문이라고 사료된다.

계류수의 수질은 산림생태환경의 물질순환과 수지가 일정한 조화에 의한 결과로 토양의 미세입자가 음전하를 띠고 있어 중금속과 암모니아 등 양이온을 흡착하고 침투능이 높아 산림토양의 자정능력 결과로 여겨진다.

Al³⁺은 식물의 생육에 유해작용을 일으키고, 호수와 같은 수생생태계에 악영향을 미친다. 토양 용출액의 Al³⁺농도는 침엽수림이 1.10~1.91 mg/L, 활엽수림이 1.29~3.02 mg/L로서 산성도가 높은 활엽수림지역이 더 높게 나타났다. 이는 Mollitor와 Raynal¹²⁾이 중금속 및 Al³⁺농도가 토양의 산성화 진행정도에 따라 증가하였다고 보고한 연구결과와 유사하다.

3.3. 토양용출액 및 계류수의 영양염류

Fig. 2 및 3에 토양용출액과 계류수의 질소와 인 화합물의 농도를 나타내었다. 침엽수림지역의 질소화합물 농도는 SA 지점 토양용출액이 8.03 mg/L로서 가장 높고, 계류수 역시 10월에 1월에 각각 5.53 mg/L와 6.99 mg/L로서 가장 높게 나타났다. SB, SE 및 SG지점은 0.47~4.80 mg/L범위의 농도를 나타내었다. 인산염 농도는 토양용출액이 0.001~0.220 mg/L 범위이고, SE지점이 0.220 mg/L로 가장 높으며, 계류수는 0.001~0.051 mg/L범위이었다.

활엽수림지역의 질소화합물 농도는 토양용출액이 0.17~14.79 mg/L범위로서 침엽수림지역보다 높고, SF지점이 2.69~14.79 mg/L로 가장 높았으며, 계류수는 SF와 SF(2)지점이 각각 3.61~5.11 mg/L 및 1.51~2.31 mg/L로서 높게 나타났다.

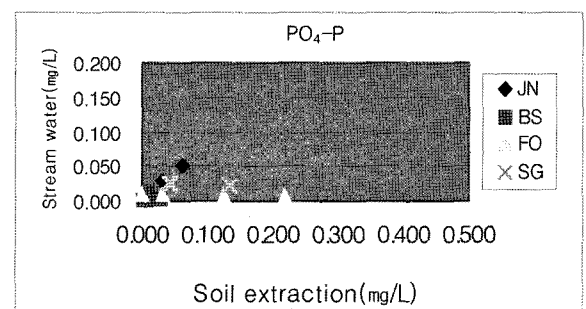
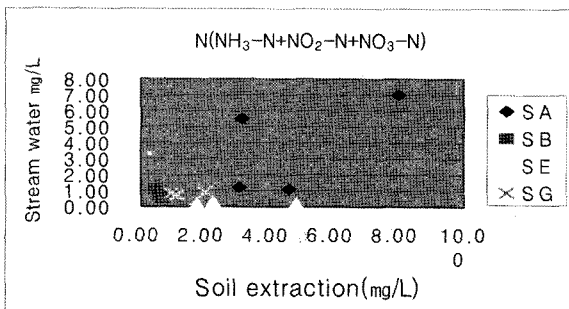


Fig. 2. Relation between the ion of the soil effluent liquid and stream water in the needle-leaf forest.

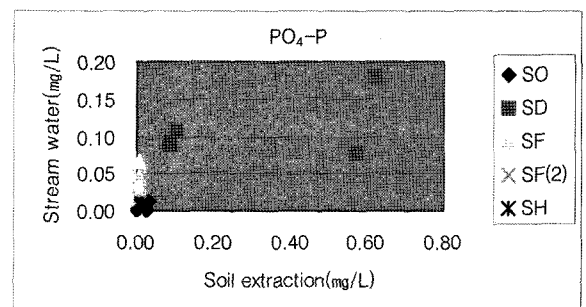
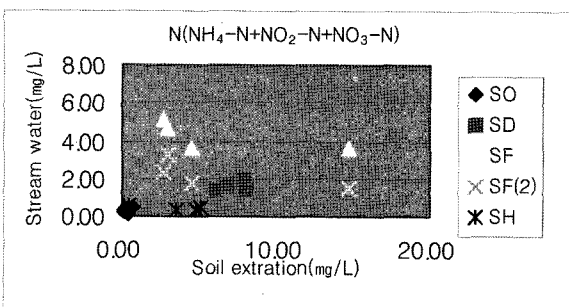


Fig. 3. Relation between the ion of the soil effluent liquid and stream water in the broad-leaf forest.

3.4. 토양용출액과 계류수 수질의 상관관계

3.4.1. 침엽수림지역 용출액과 계류수 수질의 상관관계

침엽수림지역 토양 A층 용출액과 계류수 수질의 상관관계는 pH와 전기전도도, Ca²⁺ 및 Cl⁻농도의 상관계수가 각각 0.541, 0.437 및 0.436으로 1%수준에서 양의 상관을 나타내고, S-Fe 및 S-Al농도와와의 상관계수는 각각 -0.467, -0.615로서 1%의 유의 수준에서 음의 상관을 보였다.

전기전도도와 Ca²⁺농도의 상관계수는 0.601로서 1%수준에서 유의한 양의 상관을 보이고, NO₃⁻농도와와의 상관계수는 -0.586으로 1%수준에서 음의 상관을 보였다. SO₄²⁻농도와와의 상관계수는 0.301, S-Fe농도와와의 상관계수는 -0.295로서 5% 유의수준에서 유의한 양과 음의 상관을 나타내어 계류수와 토양용출액 이온간에 밀접한 상관성이 있음을 알 수 있다.

3.4.2. 활엽수림지역 용출액과 계류수 수질의 상관관계

활엽수림지역 토양 A층 용출액과 계류수 수질의 상관관계는 pH와 Ca²⁺농도의 상관계수는 0.322로서 5%수준에서 유의한 양의 상관을 나타내고, K⁺, S-Fe 및 S-Al농도와와의 상관계수는 각각 -0.568, -0.400 및 -0.649로서 1%의 유의수준에서 음의 상관을 보였다.

전기전도도와 Ca²⁺농도의 상관계수는 0.322로서 5% 수준에서 유의한 상관을 나타내고, Mg²⁺농도와와의 상관계수는 0.416으로 1% 수준에서 유의한 양의 상관을 나타내었다, NO₃⁻농도와와의 상관계수는 0.373으로서 1% 수준에서, Cl⁻농도와와의 상관계수는 0.316으로서 5% 수준에서 유의한 양의 상관을 나타내었다. 특히 계류수의 Cl⁻농도는 토양표층에 침착된 용존성 Cl⁻농도의 영향을 많이 받는 것으로 판단된다.¹³⁾

산림토양 용출액의 전기전도도와 NO₃⁻농도의 상관관계는 1% 수준에서 유의한 상관을 보인 반면 SO₄²⁻농도와와는 유의성이 매우 낮아 활엽수림지역에 대한 산성강하물의 기여도는 황산염보다 질산염이 더 큰 것으로 나타났다.

S-Al농도 및 S-Fe농도와 pH의 상관관계는 1% 수준에서 음의 상관을 보여 침엽수림지역과 비슷한 결과를 나타내었는데, 이는 토양의 산성화 정도와 관련이 큰 것으로 사료된다.

4. 결론

산림지역 유출수가 하천의 수질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 지질과 식생이 다른 한국과 일본의 8개 지점을 선정하여 토양용출액, 계류수 및 유입하천의 수질을 조사하여 수질항목간의 상관관계를 검토한 결과는 다음과 같다.

1) 토양의 질소화합물은 대부분 NO₃⁻ 형태로 존재하고 침엽수림지역 토양 A층의 NO₃⁻농도가 1.32~2.69 mg/L로 가장 높으며, 질소화합물의 함량은 토심이 깊어짐에 따라 감소되고, 제주도지점이 13.3~7.40 mg/g로서 가장 높았다.

인화합물의 함량은 모암의 산성화에 따라 다르며, 전라남도 와 후쿠오카현지점에서 B층과 A층의 역전현상이 나타났고 활엽수림지역은 지질, 토심, 토양채취 시기에 따라 중간 변화

를 보였다.

2) 질소화합물농도는 토양용출액의 경우 전라남도지점이 8.03 mg/L로서 가장 낮고, 나가사키지점이 14.79 mg/L로서 가장 높으며, 계류수의 경우 전라남도지점이 10월 5.53 mg/L, 1월 6.99 mg/L로서 가장 높고, 나가사키지점이 3.61~5.11 mg/L로서 가장 낮게 나타났다.

인산염농도는 침엽수림지역 토양용출액이 0.001~0.220 mg/L, 계류수가 0.001~0.051 mg/L이고, 활엽수림지역 토양용출액과 계류수는 현무암의 미사질토양인 제주도지점이 0.090~0.179 mg/L로 가장 높았으나 질소화합물에 비해 낮은 농도였다.

3) 침엽수림지역 토양의 pH와 EC, Ca²⁺, Cl⁻는 p<0.01에서 유의한 정의 상관관계가 있고, S-Fe, S-Al과는 p<0.01에서 부의 상관관계가 있으며, 전기전도도와 Ca²⁺농도, NO₃⁻농도는 p<0.01과 SO₄²⁻농도, S-Fe농도는 p<0.05에서 유의한 상관관계를 보였다.

4) 활엽수림지역 토양의 pH와 Ca²⁺농도는 p<0.05에서 유의한 정의 상관을 나타내고, K⁺, S-Fe 및 S-Al농도와는 p<0.01에서 유의한 부의 상관을 나타내었다. 전기전도도와는 p<0.05에서, NO₃⁻농도와는 p<0.01에서, Cl⁻농도와는 p<0.05에서 유의한 정의 상관을 나타내었다.

이상의 결과를 종합하면, 산림지역 토양의 산성도가 증가함에 따라 토양이온성분의 용출량이 증가하여 계류수의 용존이온 농도가 증가함을 알 수 있다.

참고 문헌

- 오종민, 신동엽, "산림유역에서 유출되는 계류수의 특성," 한국수처리기술연구회지, 7(1), 45~53(1999).
- Hutchinson, T. C., Adoms, C. M., and Gaber, B. A., "Neutralization of acidic raindrops on levels of agricultural crop and boreal forest species," *Water, Air, and Soil Pollution*, 31, 475~484(1986).
- Flinn, D. W., Bren, L. J., and Hopmans, P., "Soluble nutrient inputs from rain and outputs in stream water from Small forested catchments," *Austrian Journal of Forest*, 42(1), 39~49(1979).
- 이수옥, 문일식, "대기오염 및 산성우가 삼림생태계의 토양산도 및 양료분포에 미치는 영향," 한국임학회지, 78(1), 11~25(1989).
- 이상훈, "수질자료의 추세분석을 위한 비모수적 통계검정에 관한 연구," 한국환경영향평가학회지, 4(2), 93~103(1995).
- 배재근, 오종민, "토양오염측정분석," 신평문화사, pp. 186~262(2002).
- 이진하, 김남천, "하·폐수 분석," 동화기술, pp. 99~301(1993).
- 김남천, 이진하, "상수시험방법," 동화기술, pp. 99~195(1993).

9. Hoffman, W. A., Lindberg, S. E., and Tumer, R. R., "Precipitation acidity ; the role of the forest canopy in acid exchange," *J. Environ. Qual.*, **9**, pp. 95~100(1980).
10. 정용호, 원형규, 김경하, 박재현, 유정환, "전기전도가 산림유역내 계류수와 토양수질에 미치는 영향," 산림과학논문집, **55**, pp. 125~137(1997).
11. Whitehead, P. G., Bird, S., Homung, M., cosby, J., Neal, C., and Paricos, P., "Stream acidification tends in the welsh upland-a modeling study of the Liyn Brianne catch-ments," *Journal of Hydrology*, **101**, 191~212(1988).
12. Mollitor, A. V. and Raynal, D. J., "Acid Precipitation and ionic movements in Adirondak forest soils," *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **46**, 137~141(1982).
13. 박재현, 우보명, "산림유역내 강수로부터 계류수질에 미치는 영향인자 분석," 한국임학회지, **84**(4), 489~501(1997).