森林科學硏究 第17號 : 18~28, 2001
J. For. Sci., Kangwon Nat'l Univ., No. 17 : 18~28, 2001

京畿道 陽平地域 山林 小流域의 水收支와 溪流水의 水質特性

김정유[1] · 한상섭[2]

Stand Water Balance and Stream Water Quality in Small Forested Watershed Yangpyong Gyeonggido

Jung-You Kim[1] and Sang-Sup Han[2]

요 약

본 연구는 양평군 계정리의 산림내 소유역(35ha)에 유입되는 강우와 유출되는 계류수를 통해 산지 물순환 과정에서 水收支와 계류수질의 특성을 구명하기 위해 실시되었다. 산림 소유역의 임외우와 계류수를 대상으로 수량, pH, Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}, Na^+, NH_4^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}등의 10개 항목에 대한 수질분석을 1998년 1월부터 1999년 12월까지 24개월 간 수행한 결과 다음과 같이 요약 할 수 있다. 계정리 산림내 소유역의 水收支는 1998년 유입량은 1,547㎜, 유출량은 958.6㎜, 유출율 46.4%이였으며, 1999년 유입량은 1,467㎜, 유출량은 872.4㎜, 유출율 52.2%이였다. 조사기간동안 강우의 pH 평균은 5.6이였으며, 계류수의 pH 평균은 6.7로 강우에 비해 계류수의 pH가 높았다. 9개 분석 항목 중 강우로 유입된 성분 총량(kg/ha)의 크기는 SO_4^{2-}〉NO_3^-〉Ca^{2+}〉NH_4^+〉Cl^-〉Na^+〉K^+〉Mg^{2+}의 순위였으며, 계류수로 유출된 성분 총량(kg/ha)의 크기는 NO_3^-〉 Ca^{2+}〉 SO_4^{2-}〉 Na^+〉 Cl^-〉 K^+〉Mg^{2+}〉 NH_4^+의 순위였다. 계류수의 수질 분석항목 중 NH_4^+(net:5.29kg/ha)을 제외한 모든 이온이 강우로 유입된 양보다는 계류수로 유출된 양이 더 많았다.

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the characteristics of water quality variations by stand water balance in YangPyong-Gun Gejung-Lee small forest watershed. Water quantity, pH, Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}, Na^+, NH_4^+, K^+, Mg^{2+},Ca^{2+}were monitored in open rainfall for one unit storm and long-term stream water in small forest watershed from January, 1998 to December, 1999. The results were summarized as follows:
The runoff rate was 46.4% in 1998 and 52.2% in 1999.

The average pH values of rainfall were 4.8 to 6.2 and those of stream water were 6.4 to 7.1 in small forest watershed. Total amount of input anion and cation values(kg/ha)

Key words: forested watershed, streamwater, rainfall

1) 경기도산림환경연구소 Kyonggi-do Forest Environment Research Station, Osan 447-290, Korea.
2) 강원대학교 산림과학대학 : College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea.

in rainfall were SO_4^{2-}〉NO_3^-〉Ca^{2+}〉NH_4^+〉Cl^-〉Na^+〉K^+〉Mg^{2+} and in stream water were NO_3^-〉Ca^{2+}〉SO_4^{2-}〉Na^+〉Cl^-〉K^+〉Mg^{2+}〉NH_4^+ in the order, respectively. The dissolved NH_4^+ was stored 5.29kg/ha and output of the other contents were more flow than input in small forest watershed.

Ⅰ. 서 론

산림에 유입된 강우는 임내강우와 함께 수관통과우나 수간류, 식생층류나 지중수유출에 의해 계류로 유출하는 이동경로를 가진다. 이러한 과정에서 산지의 수질정화능을 평가하기위해서는 식생층을 대상으로 임내와 임외, 또는 수관통과우 및 수간류에 있어서 용존물질농도나 이온수지의 비교(坂本康, 1993), 그리고 임외우가 산림지를 통과하여 계류로 집수되는 과정에서 유출수에 포함되는 물질의 농도변화를 추적(大類淸和 等, 1994)하여야 한다. 그러나 산지유역에서 수질성분의 농도변화는 수문조건과 밀접한 관련이 있고, 또한 계류수의 용존이온량은 모암과 토양에 존재하는 이온의 종류에 따라 달라지므로 산림의 수질정화능을 평가하기 위해서는 산림생태계 내의 수분과 물질이 강우로부터 계류에 도달할 때까지의 동태를 밝힐 필요가 있다. 즉 임지 밖에서 유입되는 임외우, 순환계로서의 수관통과우, 수간류 및 낙엽층류, 그리고 산림계 내에서 산림계 밖으로 유출하는 지하수 및 계류수의 수량과 물질량을 장기간에 걸쳐서 관측할 필요가 있다(李憲浩,1997). 이를 위해서는 많은 시설 및 인력의 투입과, 장기간의 노력을 통한 산림내 물순환 및 수질분석자료의 수집이 필수적이나 우리나라에서의 산림의 홍수조절 및 수자원함양효과에 대한 연구는 지속적이지 못하고 그 규모도 작아 외국에 비해 미약한 상태에 있으며, 산림수자원분야의 기초적 자료도 부족한 상태에 있다(禹保命, 1998).

본 연구에서는 산림내 소유역에 일정기간 유입되는 임외강우의 양과 유출되는 수량을 측정하여 水收支를 조사하고, 유입수와 유출수의 수질성분을 조사하여 산림지내의 pH, Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}, Na^+, NH_4^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+} 성분들에 대한 계류수질특성을 파악하고자 하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 조사지 개황

조사지는 경기도 양평군 양동면 계정리(동경 127° 47′ 0″ ~ 127° 49′ 0″, 북위 37° 27′ 30″ ~ 37° 32′ 0″)에 위치한 산림내 소유역을 대상으로 하였으며, 표고 350m 에는 1993년에 완공된 임도가 개설되어있다(Fig. 1). 조사기간은 1998년 1월부터 1999년 12월까지 24개월 간이었으며, 조사지의 개황은 Table 1과 같다. 조사지를 1997년 5월에서 8월 사이에 주요 임상별 및 입지별로 식생을 조사한 결과 크게 신갈나무임분, 굴참나무임분, 일본잎갈나무임분으로 대별된다.

신갈나무林分은 중부 지방의 전형적인 식생으로서 山腹이상 山頂까지 분포하였으며, 수고 13m, 피도 70%로서 일본잎갈나무가 부분적으로 섞여 있다. 굴참나무임분은 주로 산정부에 분포하는데 수고 13m, 피도 80%로서 신갈나무와 소나무가 부분적으로 섞여 있다. 일본잎갈나무임분은 산복 이하에 주로 분포하며, 수고 18m, 피도 80%에 달하고 아교목층에 신갈나무가 있다.

Table 1. Characteristics of study area.

Location	Forest type	Watershed area(ha)	Altitude (m)	Slope(°)	Parent rock	Soil texture	Tree age class
Yang pyong Kyonggi-do	Mixed deciduous	35	500	30 / 15-40	Granite	Sandy clay loam	Ⅲ

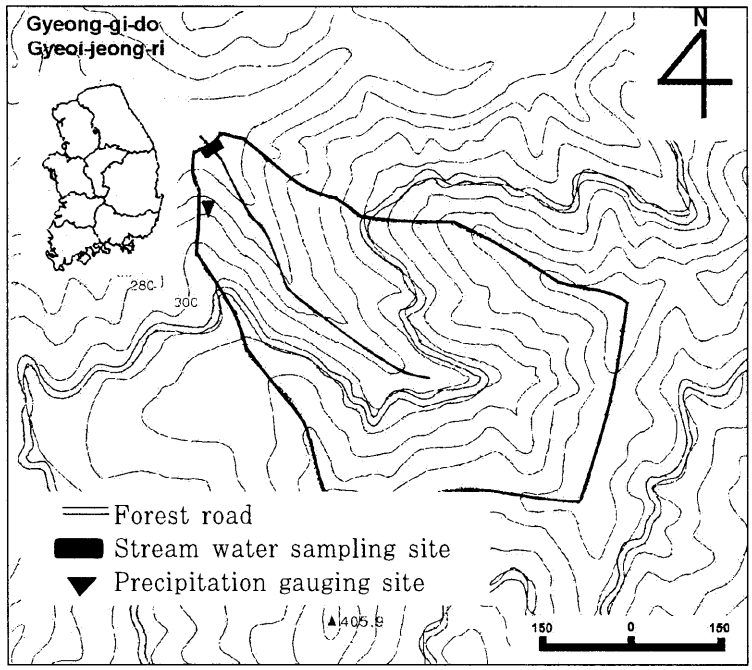


Fig. 1. Location map of study sites.

1997년 5월에 채취한 토양의 분석 결과는 Table 2와 같다. 토양의 산도는 A층은 pH 4.9(4.6~5.4), B층은 pH 5.0 (4.6~5.5)로 약산성의 토양이다.

2. 재료 및 방법

강우는 조사지 인근에 설치된 강우채취기와 자기강우계를 이용하여 조사기간 동안에 내린 강우와 강우 개시기부터 종료 때까지의 일정한 시간

Table 2. Characteristics of soil of study area.

Repetition	Horizon	Soil analysis(%)			Soil textur	pH (H_2O)	Organic-matter (%)	Total-N	Avail. P_2O_5 (ppm)	C.E.C. (me/100g)	Exch. Cation(me/100g)			
		Sand	Silt	Clay							K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
1	A	48.9	37.9	13.2	L	4.6	3.69	0.196	8.5	10.14	0.39	0.12	0.92	0.26
	B	48.3	37.9	13.8	L	4.9	1.05	0.076	1.9	7.48	0.26	0.12	0.86	0.04
2	A	22.9	61.0	16.1	SiL	4.7	3.32	0.165	4.2	11.22	0.12	0.10	0.87	0.13
	B	21.6	54.9	23.5	SiL	4.6	1.54	0.098	0.3	9.24	0.11	0.10	0.67	0.23
3	A	53.5	35.3	11.2	SL	5.0	3.60	0.146	3.8	8.14	0.09	0.11	0.99	0.20
	B	53.7	24.5	21.8	SCL	5.1	1.41	0.087	1.2	6.60	0.09	0.10	1.09	0.29
4	A	43.0	47.9	8.9	L	5.4	3.89	0.171	5.5	8.36	0.30	0.11	0.98	1.63
	B	45.5	39.7	14.8	L	4.9	1.08	0.070	0.8	6.82	0.27	0.10	0.30	0.17
5	A	61.3	32.3	6.3	SL	4.8	4.49	0.176	5.0	7.48	0.10	0.11	1.21	0.36
	B	58.9	30.2	10.9	SL	5.5	1.18	0.081	2.0	4.40	0.12	0.11	1.35	0.26

간격으로 측정한 수량을 대상으로 하였다.

임외우량과 계류수량은 선정된 조사지에 댐을 설치하고 자기강우계와 자기수위계를 설치하여 기록지를 1개월에 1회씩 교환하였으며, 강우 및 수위 기록지를 유출량 프로그램에 입력후 일별 강우량(mm), 유출량(mm), 유출율(%)을 계산하였다.

대상 강우는 계류수 측정위치의 인접한 곳에 비가 올 때 자동으로 뚜껑이 개폐되는 강우자동채취기(6단구분)를 이용하여 각각 1㎜씩 6㎜까지 구분하여 채취하였으며, 1㎜에서 5㎜까지는 초기강우로 6㎜이상은 후기강우로 구분 가중 평균치를 이용하여 계산하였다. 계류수 성분은 조사기간 동안 2주 간격으로 2년 동안 60㎖의 채수병에 3반복으로 채취하여 냉장상자에 담아 실험실로 옮긴 후 측정하였다.

수질 분석항목은 pH, Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}, Na^+, NH_4^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}이었으며, pH는 pH 미터(Cyberscan-500)를 이용하였고, 용존원소는 채취한 시료를 0.45μ여과지로 여과를 한 후 IC법(SYKAM, S135)으로 측정하였다.

분석방법은 먼저 조사기간 동안 유역내에 유입되는 각각의 성분 총량과 계류수를 통해 유출되는 성분 총량을 강우곡선과 함께 경시적 변화를 분석하였다. 강우량 및 유출수량과 수질분석인자와의 관계분석은 상관분석을 이용하였으며, 유출량과 계류수 pH와의 관계는 회귀식을 이용하였다.

모든 자료의 상관분석은 SPSS 통계 프로그램(姜炳瑞 등, 1997)을 이용하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 물수지의 경시적 변화

1998년 유출량은 958.6㎜, 1999년 유출량은 872.4㎜로 1998년 유출량이 많았다. 2년간의 강우량에 따른 유출량의 경시변화를 Fig. 2에 나타내었다.

산림유역의 유출량은 지표면의 상태, 유역의 경사 및 저류능 그리고 강우특성의 영향을 받는다(김경하, 1996). 특히 유역면적이 작은 상류의 소유역은 임상과 토양특성에 따라 수문특성 즉 지연시간, 홍수유출량, 감수부 등이 다르게 나타난다. 따라서 산림이 수자원함양기능을 과학적으로 구명하기 위해서는 무엇보다도 먼저 장기적인 수문관측을 통해 산림유역의 유출특성을 밝혀야 한다. 본 조사에서 2년 간의 조사지 유출량을 보면(Table 3), 강우량은 6~9월까지 우기에 많았으며, 98년 유출율 46.4%, 99년 유출율 52.2%로 전국 년 평균 58%에비해(朴成宇 등, 1984) 낮았다. 3월에 강우량이 적음에도 불구하고 유출율이 높은 것은 동절기 동결된 토양수분과 강설의 해빙 때문으로 생각된다.

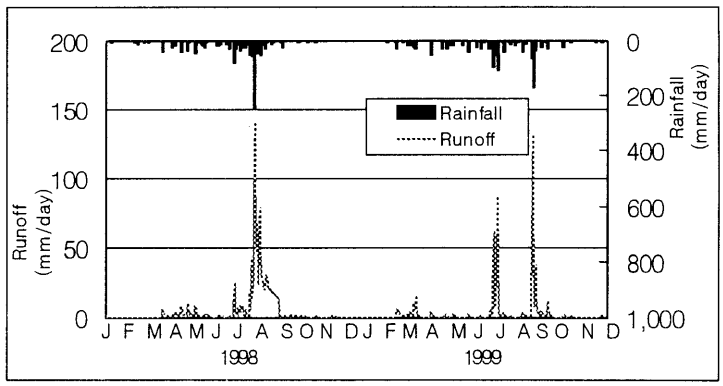


Fig. 2. The relationship of daily rainfall and discharge(Runoff) on the experimental watershed during 1998-1999.

Table 3. Data of rainfall, runoff, runoff rate and evapotranspiration in study sites.

		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
1998	rainfall(㎜)	9.6	33.7	43.0	130.5	103.5	209.5	99.5	731.5	118.0	43.5	28.5	25.0	1,547.3
	runoff(㎜)	3.2	5.3	24.4	87.9	46.1	59.1	64.1	588.9	59.1	7.3	15.5	13.2	958.6
	runoff rate(%)	33.3	15.7	56.7	67.4	44.5	28.2	64.4	80.5	50.1	16.8	54.4	52.8	46.40
1999	rainfall(㎜)	5.2	4.7	48.7	106.5	114.5	86.0	314.0	285.2	400.0	86.1	37.3	16.1	1,467
	runoff(㎜)	1.3	2.9	31.7	73.1	24.0	15.3	136.1	199.9	327.6	50.8	15.0	9.7	872.4
	runoff rate(%)	25.0	61.7	65.1	68.6	20.9	17.8	43.3	70.1	81.9	59.0	40.2	60.3	87.15

Table 4. Concentration of rainfall and stream water.

Unit : ppm

		pH		Cl^-		NO_3^-		SO_4^{2-}		Na^+		NH_4^+		K^+		Mg^{2+}		Ca^{2+}	
		SW	RF	SW	RF	SW	RF	SW	RF	SW	RF	SW	RF	SW	RF	SW	RF	SW	RF
1998	Jan.	6.5	5.7	1.82	0.56	10.39	0.53	4.68	0.70	3.98	0.24	0.56	0.84	0.31	0.09	0.44	0.10	7.37	0.37
	Feb.	6.6	5.2	1.77	1.89	9.16	6.31	4.94	12.70	5.94		0.79		0.38		0.38		7.43	
	Mar.	6.4	5.8	1.97	0.33	10.86	0.41	4.54	0.59	5.81	0.26	0.64	0.30	0.39	0.18	0.39	0.07	8.13	0.95
	Apr.	6.4	5.6	1.96	0.30	8.28	1.50	4.13	2.04	4.93	0.33	0.83	0.55	0.44	0.26	0.43	0.09	6.52	1.75
	May	6.6	5.2	1.61	0.66	5.37	3.39	5.47	5.05	5.88	0.42	0.76	1.26	0.64	0.63	0.43	0.09	5.67	2.22
	June	6.8	5.9	1.64	0.52	4.68	1.33	6.14	1.18	5.26	0.26	0.43	0.59	0.73	0.22	0.33	0.05	5.88	0.59
	July	6.9	5.3	1.29	0.44	2.94	2.10	5.52	2.28	2.38	0.28	0.29	0.86	0.37	0.27	0.29	0.03	4.33	0.38
	Aug.	7.2	5.4	1.59	0.34	5.95	1.98	5.15	1.01	2.91	0.32	0.30	0.40	0.44	0.11	0.32	0.02	5.83	0.33
	Sept.	6.6	4.8	1.39	0.58	2.73	3.39	4.50	4.17	8.36	0.34	0.70	1.18	0.84	0.31	0.32	0.05	5.19	0.51
	Oct.	6.7	6.0	1.49	1.54	9.57	1.55	4.28	0.72	2.97	0.05	0.41	0.06	0.31	0.03	0.38	0.01	6.31	0.07
	Nov.	6.7	5.9	1.70	2.62	7.95	6.73	5.02	9.73	7.86	4.23		2.37	0.65	1.68	0.62	0.24	4.70	5.69
	Dec.	6.7	5.9	1.79	2.46	10.27	7.16	4.64	8.83	8.57	5.00	1.76	4.08	1.23	2.19	0.42	0.33	6.05	4.94
1999	Jan.	6.5		1.76		10.63		4.71		8.39		2.57		1.01		0.53		6.34	
	Feb.	6.5		1.52		9.87		4.87		4.84		0.27		0.38		0.48		5.20	
	Mar	6.6	6.2	1.48	0.81	11.80	2.25	4.37	4.49	5.84	3.44	0.35	1.32	0.51	0.14	0.55	0.22	4.58	1.79
	Apr.	6.5	6.0	1.93	0.78	12.87	1.81	4.96	3.12	4.99	1.12	0.52	0.88	0.40	0.35	0.57	0.11	5.93	1.74
	May	6.8	5.8	1.67	1.17	9.93	2.30	5.29	4.45	3.19	0.64	0.36	1.16	0.45	0.34	0.43	0.12	6.57	0.95
	June	6.7	5.3	1.37	0.82	7.84	2.79	5.58	2.87	3.50	0.56	0.58	1.49	0.51	0.40	0.38	0.04	7.62	0.51
	July	6.9	5.7	0.97	0.82	8.26	1.03	4.23	0.44	4.26	0.13	0.01	0.46	0.52	0.21	0.59	0.06	4.84	0.43
	Aug.	6.8	5.5	1.06	0.23	3.37	1.80	4.73	2.40	2.85	0.15	0.15	0.96	0.26	0.29	0.42	0.09	3.20	0.52
	Sept.	6.9	5.8	1.22	0.08	2.65	0.24	4.73	0.16	3.26	0.19	0.13	0.26	0.42	0.24	0.39	0.07	2.94	0.23
	Oct.	6.9	5.2	1.29	1.36	4.05	2.45	5.21	1.73	2.62	0.27	0.29	0.47	0.32	0.26	0.47	0.14	3.34	0.76
	Nov.	6.8	5.4	1.77	1.38	5.86	5.90	4.51	6.48	3.05	0.45	0.21	1.56	1.37	0.82	0.63	0.22	6.22	1.76
	Dec.	6.5	5.6	1.43	9.23	4.76	10.26	3.80	9.28	2.95	2.89	0.08	4.02	0.25	0.81	0.37	0.67	2.34	5.70
Mean		6.70	5.6	1.57	0.94	7.62	2.71	4.88	3.58	4.85	0.93	0.59	1.05	0.56	0.45	0.44	0.11	5.66	1.32

Note : SW : Stream water, RF: Rainfall

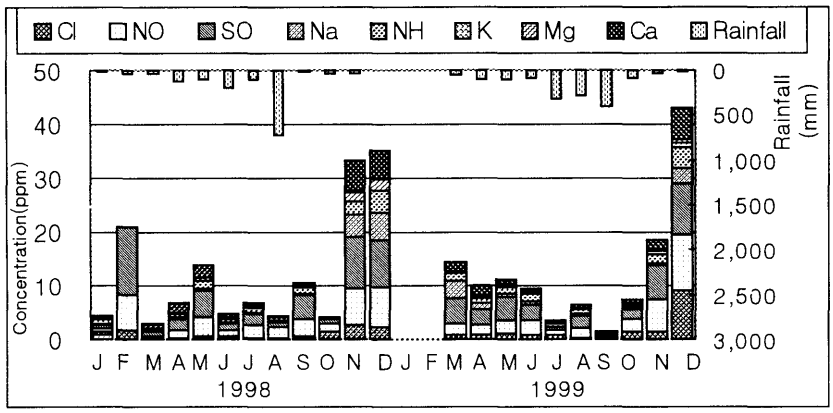


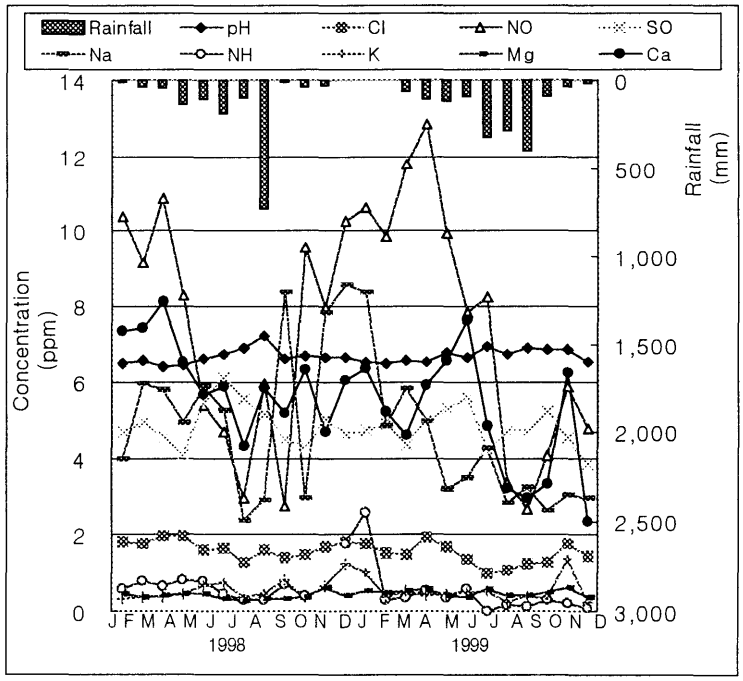
Fig. 3. Monthly changes of concentration pH, anion, cation in rainfall.

2. 강우, 계류수 성분변화

강우와 계류수 월별 pH와 용존성분은 Table 4, Fig. 3 및 Fig.4와 같다. 강우의 2년 간 pH 평균은 5.6, pH 변화 폭은 4.8~6.2사이로 이는 자연 강수는 환경에 따라 pH5~8까지 넓은 범위의 값을 갖는다는 Whitehead 等(1988)의 보고와 유사하였으며, 계류수의 2년 간 pH 평균은 6.7(pH6.4~7.1)로 강우에 비해 높았다. 이는 토양의 중화작용(李憲浩, 1996)에 기인하는 것으로 생각된다.

강우량과 pH와는 뚜렷한 상관관계가 없었으

Fig. 4. Monthly changes of concentration pH, anion, cation in stream water during 1998-1999.



나, 전체 성분함유율은 강우량이 많을 때인 우기에 높았으며, 강우량이 적은 동절기에는 성분함유율이 높은 경향을 보였다.

李憲浩(1997)는 임외우의 pH는 8월에 가장 높은 값, 그리고 4월과 5월에 낮은 값이 나타났으며, 관측된 pH의 범위는 5.9~6.8이었다고 하였는데, 본 조사에서는 계절간의 뚜렷한 경향을 보이지 않았다.

음이온(Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-})의 월별 경시적 변화는 강우량이 적은 봄과 겨울에 함유율이 높았으며, 강우량이 많은 여름에 성분함유율이 낮았다.

특히 SO_4^{2-}은 다른 두 가지의 음이온보다 함유율이 높았으며 월별 변화의 폭도 크다. Na^+, NH_4^+은 함유율과 경시적 변화가 유사하여, 여름에 낮고 겨울과 봄에 높은 경향을 보인다.

양이온(K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+})의 월별 경시적 변화는 강우량이 많을 때보다는 적을 때 성분함유율이 높았다. 그러나 K^+의 경우 1999년 동절기에는 다른 성분과 달리 성분함유율이 높지 않았다. 또한 Ca^{2+}의 경우 다른 성분에 비해 함유율이 높았으며, 1998년과 1999년 3, 4, 5월에 함유율이 높은 것은 황사현상의 영향으로 보인다.

Table 6. Correlation of element factors influencing the rain fall in study site.

Distribution	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Rainfall
pH	.078	-.106	-.081	.467*	.152	.213	.225	.301	-.034
Cl^-		.815**	.582**	.496*	.718**	.391	.885**	.708**	-.311
NO_3^-			.895**	.622**	.789**	.662**	.760**	.771**	-.386
SO_4^{2-}				.576**	.593**	.574**	.521*	.631**	-.446*
Na^+					.819**	.813**	.696**	.864**	-.312
NH_4^+						.828**	.864**	.882**	-.360
K^+							.576**	.843**	-.296
Mg^{2+}								.843**	-.322
Ca^{2+}									-.348

Table 7. Correlation of element factors influencing the watershed in study site.

Distribution	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+		Mg^{2+}	Ca^{2+}
pH	-.532**	-.515*	.309	-.480*	-.379	.048		-.140	-.341
Cl^-		.590**	-.002	.409*	.475*	.279		.134	.673**
NO_3^-			-.214	.334	.374	.029		.447*	.600**
SO_4^{2-}				-.071	-.002	.022		-.270	.177
Na^+					.763**	.535**		.203	.272
NH_4^+						.530**		.071	.396
K^+								.325	.215
Mg^{2+}									-.024

계류수의 성분들의 월별 경시적 변화는 Fig. 4와 같다. NO_3^-의 경우 분석항목 중 가장 함유율이 높았으며 특히 강우량이 적을수록 함유율은 높았다. 계류수의 pH는 조사기간 동안 여름에 높고 겨울에는 낮은 경향을 보였다.

계류수에 용존된 음이온 함유율의 월 변화를 보면 NO_3^-은 우기에 낮았고, SO_4^{2-}은 지속적인 변화를 보였다. Na^+와 NH_4^+은 1998년 겨울과 1999년 봄 사이에 높은 경향이었다.계류로 유출된 양이온 중 K^+, Mg^{2+}과 음이온 Cl^-은 큰 월 변화를 보이지 않았으나 대체로 동절기에는 성분 함유율이 높은 경향이었다.

강우와 계류수의 용존 성분들간의 상관분석 결과는 Table 6, Table 7과 같다.

강우의 Cl^-등 8개 성분간에는 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 보였다. 특히 NO_3^-와 SO_4^{2-}의 상관관계가 가장 높았으며, SO_4^{2-}과 양이온들과는 다른 이온들과의 상관관계에 비해 비교적 낮은 상관을 보였다. 각 성분들과 pH, 강우량간에는 유의성이 없었으나 SO_4^{2-}만이 강우량과 5% 수준에서 부의 상관관계를 보였다.

李憲浩 등(1996)은 계류수의 pH는 유출량의

Table 8. Correlation coefficients of the total content of rainfall and stream water.

		Rainfall									Stream water								
		Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Amount	H^+	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Runoff
Rain fall	H^+	.078	-.106	-.081	.467*	.152	.213	.225	.301	-.034	-.170	.237	.588**	-.143	.084	.016	-.038	.376	.022	-.094
	Cl^-		.815**	.582**	.496*	.718**	.391	.885**	.708**	-.311	-.229	-.006	-.047	-.404	-.026	-.073	-.056	.007	-.375	-.277
	NO_3^-			.895**	.622**	.789**	.662**	.760**	.771**	-.386	-.176	.137	-.062	-.235	.279	.251	.359	.129	-.209	-.319
	SO_4^{2-}				.576**	.593**	.574**	.521*	.631**	-.446*	-.295	.270	.118	-.117	.449*	.391	.330	.191	-.015	-.389
	Na^+					.819**	.813**	.696**	.864**	-.312	-.220	.184	.305	-.218	.533*	.473*	.347	.328	-.213	-.244
	NH_4^+						.828**	.864**	.882**	-.360	-.205	.084	.024	-.229	.322	.357	.411	.131	-.266	-.298
	K^+							.576**	.843**	-.296	-.080	.203	.066	-.058	.518*	.619**	.615**	.304	-.119	-.238
	Mg^{2+}								.843**	-.322	-.248	.060	.010	-.449*	.077	.015	.159	.219	-.446*	-.267
	Ca^{2+}									-.348	-.299	.252	.125	-.273	.419	.355	.308	.328	-.275	-.287
	Amount										.743**	-.339	-.301	.162	-.375	-.381	-.202	-.190	-.221	.967**
Stream water	H^+											-.532**	-.515*	.309	-.480*	-.379	.048	-.140	-.341	.708**
	Cl^-												.590**	-.002	.409*	.475*	.279	.134	.673**	-.282
	NO_3^-													-.214	.334	.374	.029	.447*	.600**	-.363
	SO_4^{2-}														-.071	-.002	.022	-.270	.177	.080
	Na^+															.763**	.535**	.203	.272	-.322
	NH_4^+																.530**	.071	.396	-.271
	K^+																	.325	.215	-.185
	Mg^{2+}																		-.024	-.267
	Ca^{2+}																			-.258

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

증가에 따라 감소하였다고 하였으며, 본시험의 결과 H^+이 1% 유의 수준에서 유출량과 정의 상관관계를 보였다(Table 8). 그러나 강우의 H^+과 강우량과는 상관관계가 없었다.

강우에 용존되어 유입된 성분과 계류수에 용존되어 유출된 성분들에 대한 상관성을 분석한 결과 강우의 SO_4^{2-}과 계류수의 Na^+이 5% 유의수준에서 상관관계가 있었으며, 강우의 Na^+이 계류수의 Na^+, NH_4^+과 5% 유의수준에서 상관관계가 있었다.

박재현 등(1999)은 강우, 수관통과우, 토양수, 계류수에 용존되어 있는 Na^+에 대한 상호관계에 대하여 상관분석한 결과, 강우에 용존되어 있는 Na^+은 조사구의 수관통과우, 토양 A층, B층에서의 토양수, 계류수에 용존되어 있는 Na^+에 모두 5%, 1%수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내었다. 이는 강우에 용존되어 있는 Na^+은 조사구 모두의 수관통과우, 토양수, 계류수를 포함한 물순환 과정에 직접적인 영향관계가 있음을 의미한다고 하였는데 본 시험의 경우 이와 부합되는 결과이다. 또한 강우의 K^+이 계류수의 Na^+과는 상관계수 0.518로 5% 유의수준이며, NH_4^+과 K^+은 각각 상관계수 0.619, 0.615로 1% 유의수준에서 상관관계를 보였고, 강우의 Mg^{2+}은 계류수의 SO_4^{2-}과 Ca^{2+}에 각각 상관계수 -0.449, -0.446으로 부의 상관관계를 보였다(Table 8).

계류수의 H^+과 유출량과는 상관계수 0.708로 1%유의수준에 상관관계를 보여, 佐藤 등(1992)의 강우중에 용존성분의 양이 많으면 pH가 저하한다는 결론을 뒷받침한다. Morgan(1990)은 계류수에서의 산성화는 SO_4^{2-}의 영향이 가장 컸다고 하였으나 본 조사에서 강우, 계류수의 SO_4^{2-}과 계류수의 H^+과의 상관계수는 각각 -0.295, 0.309로 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 강우, 계류수의 NO_3^-과 유출량과의 상관계수는 각각 -0.319, -0.363으로 宗官功(1993)이 보고한 NO_3^-은 강수와 산림유출수량의 증가에 따라 증가한다는 연구결과에 비해 상반된 부의 상관계수를 보였으나 유의성은 없었다(Table 8).

3. 강우, 계류수 성분의 유입-유출 수지

연간 강우로 유입된 양과 계류수로 유출된 각 성분들의 수지관계를 Table 9에 나타냈다. 9개 분석 항목 중 강우로 유입된 성분량의 크기는 SO_4^{2-}〉 NO_3^-〉 Ca^{2+}〉 NH_4^+〉 Cl^-〉 Na^+〉 K^+〉 Mg^{2+}의 순위 였으며, 계류수로 유출된 이온량의 크기순위는 NO_3^-〉 Ca^{2+}〉 SO_4^{2-}〉 Na^+〉 Cl^-〉 K^+〉 Mg^{2+}〉 NH_4^+ 와 같았다.

Table 9. Budgets of rainfall inputs and stream water outputs of dissolved substances on the watersheds. Unit : kg/ha

Substance(kg/ha)		Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
1998	Input	7.25	29.95	28.05	5.46	7.99	3.14	0.6	10.73
	Output	25.93	98.48	81.31	59.47	6.53	7.97	5.53	95.42
	Net	-18.68	-68.53	-53.26	-54.01	1.46	-4.83	-4.93	-84.69
1999	Input	10.09	23.56	27.73	6.86	11.13	4.32	1.47	10.43
	Output	11.15	48.99	43.47	30.71	2.01	3.63	4.15	33.23
	Net	-1.06	-25.43	-15.74	-23.85	9.12	0.69	-2.68	-22.8
Annual mean, kg/ha	Input	8.67	26.75	27.89	6.16	9.56	3.73	1.03	10.58
	Output	18.54	73.73	62.39	45.09	4.27	5.8	4.84	64.32
	Net	-9.87	-46.98	-34.5	-38.93	5.29	-2.07	-3.81	-53.74

년간 ha당 유입된 성분은 NO_3^-와 SO_4^{2-}가 가장 많아 각각 26.75kg 및 27.89 kg 이였으며, 가장 적게 유입된 성분은 Mg^{2+}이 1.03kg이였다. 년간 계류수를 통해 유출된 성분은 NO_3^-이 73.73kg으로 가장 많으며, NH_4^+이 4.27kg으로 가장 적었다. 활엽수와 같은 패턴을 갖는 몇몇 수종(*Chamaecyparis, Thuja*)을 제외하고 대부분의 침엽수들은 질소의 흡수가 우세하다하는 결과(Kimmins. 1987)와 같이, 본 시험지는 산복이하 대부분이 일본잎갈나무와 소나무인 침엽수로 분포되어 NH_4^+의 임내 저장량이 큰 것으로 생각된다.

Ⅳ. 결 론

본 연구는 양평군 계정리의 산림내 소유역(35ha)에 유입되는 강우와 유출되는 계류수를 통해 산지 물순환 과정에서 水收支와 계류수질의 특성을 분석하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 계정리 산림내 소유역의 水收支는 1998년 유입량은 1,547㎜, 유출량은 958.6㎜, 유출율 46.4%이였으며, 1999년 유입량은 1,467㎜, 유출량은 872.4㎜, 유출율 52.2%이였다.
2. 조사기간동안 강우의 pH 평균은 5.6이였으며, 계류수의 pH 평균은 6.7로 강우에 비해 계류수의 pH가 높았다.
3. 9개 분석 항목 중 강우로 유입된 성분 총량(kg/ha)의 크기는 SO_4^{2-}〉 NO_3^-〉 Ca^{2+}〉 NH_4^+〉 Cl^-〉 Na^+〉 K^+〉 Mg^{2+}의 순위였으며, 계류수로 유출된 성분 총량(kg/ha)의 크기는 NO_3^-〉 Ca^{2+}〉 SO_4^{2-}〉 Na^+〉 Cl^-〉 K^+〉 Mg^{2+}〉 NH_4^+의 순위였다.
4. 계류수의 수질 분석항목 중 NH_4^+(net:5.29kg/ha)을 제외한 모든 이온이 강우로 유입된 양보다는 계류수로 유출된 양이 더 많았다.
5. 강우에 용존 되어있는 성분들 중 계류수 성분과 상관관계가 있는 것은 강우의 SO_4^{2-}과 계류수의 Na^+이 5% 유의수준에서 상관관계가 있었으며, 강우의 Na^+이 계류수의 Na^+, NH_4^+과 5% 유의수준에서 상관관계가 있었다. 또한 강우의 K^+이 계류수의 Na^+과는 5% 유의수준에서, NH_4^+과 K^+에서는 1% 유의수준에서 상관관계를 보였고, 강우의 Mg^{2+}은 계류수의 SO_4^{2-}과 Ca^{2+}에서 부의 상관관계를 보였다.
6. 강우속에 용존된 Cl^-등 8개 성분간에는 서로 1% 수준에서 유의한 정의 상관관계를 나타내었으나, 각 성분들과 pH, 강우량 사이에는 유의성이 없었다.
7. 계류수속에 용존된 pH와 양이온, 음이온의 상관관계를 알아본 결과 Cl^-, NO_3^-이 pH와 1% 수준에서 유의한 부의 상관관계를 보였다.

Ⅴ. 參考文獻

1. 姜炳瑞 등. 1997. 통계분석을 위한 SPSSWIN Easy.
2. 金景河・元亨圭・李天龍・程龍鎬. 1996. 山林 小流域의 水文特性(Ⅰ). 山林科學論文集 第54號 : 71-80.
3. 朴成宇 등. 1984. 應用水文學. 鄕文社. 172pp.
4. 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.
5. 禹保命 등. 1998. 서울大學校 農業生命科學大學 演習林硏究報告. No. 34 : 1-15.
6. 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.
7. 李憲浩. 1997. 山地 물循環過程에 있어서 水質變化의 追跡分析에 의한 山林의 環境的 淨化機能의 計量化 硏究. 韓國林學會誌 86(1) : 56-68.
8. 板本 康. 1993. 樹冠通過雨および樹幹流の水量と水質の空間分布と時間變動. 水文水資源學會誌 6(4) : 326-335.

9. 宗官 功. 1993. 自然の淨化機構. 技報堂出版. 252pp.
10. 大類淸和・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. 日林誌 76(5) : 383-392.
11. 佐藤冬樹・笹賀一郎・藤原一郎・本造志. 1992. 道北地方における降雨の化學性と小河川の水質(1)-冬期渴水期の小河川の水質-. 日林論 103 : 601-602.
12. Kimmins, J. P. 1987. Forest Ecology. 83pp.
13. Morgan, M.C. 1990. Streams in the New Jersey Pinelands directly reflect changes in atmospheric deposition chemistry. Journal of Environmental Quality 19 : 296-302.
14. Whitehead, P.G., S. Bird., M. Hornung., J. Cosby., C. Neal and P. Paricos. 1988. Stream acidification trends in the welshuplands-a modelling study of the Llyn Brianne catchments. J. of Hydrology 101 : 191-212.