

山地 물환경過程에 있어서 酸度, 電氣傳導度 및 溶存酸素量의 變化¹

李憲浩 · 全宰弘²

Water Quality Variations of pH, Electrical Conductivity and Dissolved Oxygen in Forest Hydrological Processes¹

Heon-Ho Lee and Jae-Hong Jun²

要 約

본 연구는 산지유역을 대상으로 하여 임지의 수질정화능을 구명하고자 실시했다. 대한리 및 박달리의 2개 유역에서 임외우 및 수관통과우, 수간류, 토양수, 계류수의 산지 물순환 각 과정에 대한 수량과 산도, 전기전도도, 용존산소 등을 측정하여 수질변화를 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 임외우의 평균 pH는 박달리 7.6, 대한리 6.4로 나타났다.
2. 적송과 리기다소나무의 수간유하수와 수관통과우의 수질을 비교한 결과, 평균 pH는 대한리에서 각각 4.32와 4.22, 박달리에서 각각 3.34와 4.81로 나타났으며, 평균 전기전도도는 박달리에서 각각 230.0 μ S/cm, 82.0 μ S/cm 이었고, 대한리에서 각각 119.7 μ S/cm, 96.8 μ S/cm로 나타났다.
3. 계류수의 pH는 유출량의 증가에 따라 감소하였으나, 전기전도도 및 용존산소량은 값이 높아지는 것으로 나타났다.
4. 적송의 임내우(수간류와 수관통과우)가 상수리나무의 임내우보다 pH는 낮게 나타났으며, 전기전도도는 높게 나타났다.
5. 두 시험지의 산지 물순환 과정 중에서 산림토양의 수질정화능력이 가장 높은 것으로 나타났다.
6. 물순환 과정에 따라 수질 변화를 분석한 결과, 습성 강하물에 의한 오염물질의 부하보다는 전성강하물에 의한 부하와 수목의 수피에 의한 영향이 더 큰 것으로 판단되었다. 그러나 산성 임내우도 토양을 거치면서 모암에 의해 중화되고 토양입자에 의한 침착이 일어나면서 계류로 유출되는 유출수의 수질은 양호하게 나타났다.

ABSTRACT

This study was carried out to reveal the forest land effect on water purification in mountainous watersheds. Rainfall, throughfall, stemflow, soil and stream water were monitored by pH, electrical conductivity(EC), and dissolved oxygen(DO) in Daehan-Ri and Parkdal-Ri catchments. The results were summarized as follows;

1. Rainfall pH values of Parkdal-Ri and Daehan-Ri were 7.6 and 6.4, respectively.
2. Comparing stemflow and throughfall of *Pinus densiflora* with *Pinus rigida*, the pH values of *Pinus densiflora* were 4.32 and 4.22 and the pH of *Pinus rigida* were 3.34 and 4.81, respectively. The EC values of *Pinus densiflora* were 119.7 μ S/cm and 96.8 μ S/cm and EC of *Pinus rigida* were 230.0 μ S/cm and 82.0 μ S/cm.
3. All pH values were decreased as the streamflow increased except long-term runoff in Daehan-Ri. The EC values also were increased as the streamflow increased, but EC of short-term runoff in

¹ 接受 1996年 7月 15日 Received on July 15, 1996.

² 영남대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Youngnam University, Kyoungsan 712-749, Korea.

Daehan-Ri was gradually decreased as the streamflow increased due to entrance of throughfall which has high EC values at the beginning of rainfall events. The DO concentrations of all experimental plots were elevated as the streamflow increased, because reaeration occurs at the surface of the stream as the increased discharge make turbulence.

4. pH of Stemflow and throughfall in *Pinus densiflora* were lower than in *Quercus acutissima*, but EC values were higher in *Pinus densiflora*.
5. Water purification was mostly influenced by forest soil in forest hydrological processes.
6. Stemflow and throughfall were more influenced by dry deposition and organic acid in crown and bark than those of wet deposition. During the stemflow and throughfall passed forest soil, these acidic stemflow and throughfall were neutralized, and stream water quality was neutral or slightly alkaline.

Key words : *Water purification, Precipitation, Throughfall, Stemflow, Soil water, Stream water, Runoff, Pinus densiflora, Pinus rigida, Quercus acutissima*

緒 論

자연계의 물순환과정 중에서 수목은 수량 및 수질의 양면에서 중요한 역할을 하고 있는데, 수목의 수문학적 역할에는 수관부에 의한 수량과 용질의 재분배 기능, 수목 뿌리의 침투촉진 혹은 억제기능, 집합체로서의 임관에 의한 에너지 및 물질교환기능 등을 생각할 수 있다. 또한 산림은 산성강우와 산성 건성강하물을 걸러주는 필터 역할을 하고 있어서 자연생태계중 정화기능이 상당히 큰 것으로 알려져 있으며(大類清和, 1994), 최근에는 모재의 풍화가 산성우를 중화시키는 기구로 보고 모재풍화와의 관련성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Reynolds 등, 1986). 산림 지역에서 지표면에 도달한 강우는 몇개의 다른 경로를 거쳐서 계류로 집수되므로, 그 이동경로에 따라 유출량에 포함되는 물질농도의 변화가 일어난다(Tatemass와 Kohji, 1986). 질소와 인에 대한 산림의 완충정화능을 조사한 보고가 발표되면서 추적자(tracer)로 전기전도도(Pilgrim 등, 1979), 초산태질소(竹内邦良 등, 1984), 수온(Kobayashi, 1981), 동위원소(Sklash와 Farvolden, 1979) 등이 주로 이용되고 있다.

佐佐朋幸 등(1993)은 너도밤나무와 류유럽나무의 수간유하수에서는 pH가 5.9-6.1 정도로 나타나 pH 3.5-4.1를 나타내는 삼나무보다 산성화 중화능력이 있는 것으로 보고하였으며, Neikes 등(1989)은 사암과 석회암을 각각 모암으로 하는 두 인접 너도밤나무 임분의 수관에서 양이온의 교환량을 조사한 결과, 석회암 지역에서 수관통

과우의 pH가 높다는 결론을 얻었다. 坂本康(1993)은 임내수에 대해 수량과 수질의 공간분포 및 시간변동을 조사한 결과, 수간유하수는 건성 강하물의 침착 등으로 인해 pH값은 낮고 전기전도도값은 높게 나타났으며, 강우로 부착물이 세탈되는 정도는 수간에 가까울수록 감소의 폭이 크다고 하였다. Beier 등(1993)은 수관통과우의 채수위치에 따른 이온량의 차이를 보고 하였으며, Novo와 Buffoni(1992)도 강우와 수관통과우를 대상으로 수량과 이온량의 상관관계를 조사한 결과, 수관통과우에서 이온 강하량의 증가원인은 건성강하물 및 수관의 양분용탈에 의한 것이라 하였다.

산림유역에서의 유출수와 수질과의 관계에 대한 연구는 인위적 영향이 작은 하천수의 수질을 대상으로 20세기 초부터 지구화학분야에서 시작되었으며, 연구가 본격적으로 시작된 것은 1960년대부터였다. Likens 등(1967)과 岩坪五良과 堀利夫(1968)은 강우와 유출수에 대한 수질을 조사하여 산림생태계의 물질수지를 밝혔으며, Johnson 등(1969)은 유출수의 수질변화 모델화를 시도한 바 있다. Reynolds 등(1986)은 5개의 유역에서 계류수 산도를 조사한 결과, 같은 토양과 모암을 가지는 산림과 초지에서 유출되는 계류수의 pH는 크게 다르지는 않았으며, 大類清和 등(1994)은 산지유역에서 토양을 통과하여 하천으로 유입되는 물의 화학적 변화를 측정된 결과, Na^+ 와 HCO_3^- 의 농도가 산림토양을 통과하는 동안 증가하였으며, 토양수의 pH가 4-7의 범위를 가지는 반면 계류수는 pH 7 전후로 나타난다고 하였으며, 그리고 산지 계류의 수질에 영향을 미치는

요인을 조사한 결과, 시비, 해발고, 임상 등에 의해 이온농도의 변화가 일어나는 것을 밝혔다. Roda 등(1990)은 강우, 수관통과우, 토양수, 그리고 계류수를 대상으로 해서 수량과 수질을 조사한 결과, 물순환과정에서 따라 각 이온의 농도가 다르게 나타나고, 토양과 모암계의 중화능력은 다소 높게 나타나는 것으로 보고하였다.

국내외의 관련 연구는 대부분 산림물순환과정인 임의우, 토양수, 계류수 등에 대해 장기적으로 일정 기간을 두고 수집된 샘플에 대해서 물질분석과 수질분석을 독립적으로 실시하고 있다. 단순히 산지유역으로부터 유출하는 오염물질량을 알기 위해서는 계류수의 수량과 물질의 농도를 측정하면 되지만(岩坪五良과 堤利夫, 1968), 실제로 산지로부터의 강우 - 물질 유출기구는 입지하는 환경인자에 따라 다르며 매우 복잡하다. 장래 산지유역으로부터 범용성 있는 수량과 물질의 종합적 유출모델을 개발하여 산림의 수질정화능을 계량화하기 위해서는 강우로부터 계류에 도달할 때까지의 물순환의 각 과정에 대해 수량과 물질의 이동경로 및 특성을 추적하는 것이 중요한 과제로 판단된다. 본 논문에서는 산지 물순환 과정에 있어서 각 단위강우에 대해 경시적으로 침엽수와 활엽수, 산림토양 등이 수질정화에 미치는 영향을 분석하고, 동시에 계류수의 장기측정을 통해서 수질의 변화에 직접적으로 영향을 미치는 산림지의 정화능을 구명하고자 수행했다.

材料 및 方法

1. 조사지 선정 및 연구 재료

경산북도 경산시 와촌면 대한리(동경 128° 44' 00"~128° 44' 30", 북위 35° 59' 00"~35° 59' 30")와 경상북도 경주시 내남면 박달리(동경 129° 06' 00"~129° 06' 30", 북위 35° 43' 00"~35° 43' 30")의 2개 지역에서 각 1개 소유역(그림 1)을 시험지로 선정하였다. 두 시험지의 지질 분포는 신라층군(경상계, 백악기)이다. 계류수의 채수 장소는 각 시험지의 상류에 농지와 인가가 없는 곳을 택하고, 연중 계류수가 계속해서 흐르는 유역을 선정했다. 대한리의 계류수 채수 장소는 정상 670m 지점으로부터 약 150m 하류에 위치해 있으며, 하상은 주로 암반으로 구성되어 있고 평상시 유량측정지점의 계류폭은 약 1m이며, 평균

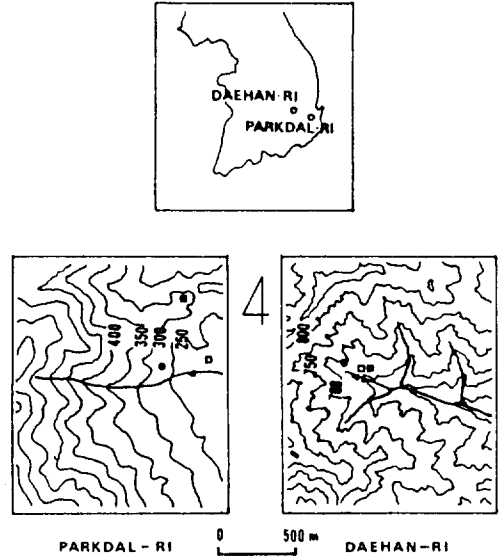


Fig. 1. Location map of experimental sites.

- : precipitation gauging site.
- : precipitation sampling site.
- ▲ : stream gauging and sampling site.
- : stemflow and throughfall sampling site.

유량은 약 2.09m³/hr로 흐르고 있다. 대한리의 임상은 소나무, 참나무류 등 침활혼효의 천연림이며 연강수량은 1,132mm이다. 박달리의 계류수 채수 위치는 해발 230m 지점으로, 수원지로부터 약 978m 하류에 위치하고 있고, 하상은 토양 및 암반으로 구성되어 있다. 평상시의 유량측정지점의 계류폭은 약 2m이며, 평균유량은 약 3.58m³/hr로 흐르고 있다. 박달리의 임상은 리기다소나무, 소나무, 상수리나무 등 침활혼효 임지이고, 연강수량은 1,251mm이었다.

(1) 연구 대상 강우

1994년 9월부터 1995년 5월까지 약 9개월 동안 내린 단위강우 중 강우 개시기부터 채수한 강우만을 대상으로 분석하였다. 분석 대상 강우는 대한리에서 두개, 박달리에서 한개 강우이며, 각 강우에 대한 개시일, 강우량, 강우지속시간, 강우강도, 그리고 임내우의 pH와 전기전도도에 영향을 미치는 중요한 인자인 선행강우량을 표 1에 나타내었다.

(2) 연구 대상 수목

각 시험지에서 임내우 채수를 위해 계류수 채수 장소 부근의 임내에서 실험 대상목을 선정하였다. 대한리에서는 계류수 채수지에서 북쪽으로

Table 1. Characteristics of analyzed precipitation.

No.	Site	Date	Precipitation (mm)	Elapsed time (hr)	Rainfall intensity (mm/hr)	Antecedent precipitation (mm)
1	Daehan-Ri	94.10.11	76.5	21.5	3.6	2.2(94.10.10)
2	Parkdal-Ri	95.03.09	38.5	15	2.5	3.0(95.03.07)
3	Daehan-Ri	95.05.20	37	26.2	1.41	4.9(95.05.15)

Table 2. General description of selected trees.

Site	Daehan-Ri				Parkdal-Ri		
	Individual	Quercus ^a	Quercus ^b	Pinus ^a	Pinus ^b	Pinus ^c	Pinus ^d
Age(year)		30	31	30	27	30	29
Height(m)		7	9	10	9	10.5	10.3
DHB(cm)		13.1	15.3	21.0	17.8	20.1	19.2

약 50m 떨어진 해발고 700m 지점의 입내에서 적송(*Pinus densiflora*) 두 개체와 상수리나무(*Quercus acutissima*) 두 개체를 선정하였으며, 각 수목을 Quercus^a, Quercus^b, Pinus^a, Pinus^b로 표시하였다. 박달리에서는 계류수 채수 위치에서 북서쪽으로 약 20m 떨어진 해발고 240m 지점의 입내에서 리기다소나무(*Pinus rigida*) 두 개체만을 선정하였으며 각 수목을 Pinus^c, Pinus^d로 표현하였다. 각 수목의 수고, 흉고직경, 수령 등을 표 2에 나타내었다.

2. 연구 방법

(1) 물순환 과정에서의 채수 및 수질 측정

임외우, 수간유하수, 수관통과우, 토양수, 계류수 등의 채수과정의 모형을 개략적으로 그림 2에 나타내었다.

1) 임외우

임외우량은 박달리 시험지의 경우, 계류수 채수 장소로부터 약 550m 떨어진 연습림 연구강의 동 옥상에 설치한 전도형 자기우량계를 이용하여 측정하였으며, 기록지의 교체는 7일 단위로 매주 금요일 오전 8시에 실시하였다. 대한리는 계류수 채수 장소에서 동쪽으로 약 100m 떨어진 공지에 보통우량계를 설치하여 강우량을 측정하였다. 수질 분석을 위한 강우의 채수는 박달리와 대한리 두 곳에서 수질측정이 가능한 약 40mm 이상의 양이 수집되었을 때마다 500ml 용량의 polyethylene 통으로 수거하였다. 그리고 pH와 전기전도도를 측정 후 우량계 내의 채수통을 증류수로 씻어서 다시 설치하였다.

2) 수간유하수

수간유하수는 임목의 수관에 저류된 강우가 수관을 따라서 흘러내리는 입내우를 가르킨다. 수간유하수의 채수는 수질측정이 가능한 약 40mm 이상의 양이 수집될 때마다 채수 시간을 기록하고 수질분석인자를 대상으로 수질변화를 측정하였다. 수간유하수의 수질분석은 임외우와 동일하게 한 강우에 대해 pH와 EC를 일정시간 간격으로 실시하였다.

3) 수관통과우

수관통과우는 임목의 잎이나 가지에 저류되지 않고 직접 지표면에 떨어지는 직접통과우와 일단 잎이나 가지에 저류되었다가 중력이나 바람의 영향으로 떨어지는 적하우로 구분할 수 있지만, 현실적으로 2가지 성분을 구분하여 수집할 수 없기 때문에 수관의 바로 밑에 설치한 수관통과우 채수통(그림 2)으로 채수하였다. 수관통과우의 채수 및 수질측정은 수간유하수의 경우와 동일하게 실시하였다.

4) 토양수

토양수는 각 시험지에서 입내우를 수집한 적송과 리기다소나무의 수관하에서 채수하였다. 토양수의 채수는 이미 존재하고 있는 토양수의 영향을 최소화하기 위해서 강우가 약 30mm를 넘을 때부터 실시하였다. 토양수채취기(soil water extractor)의 설치에 auger를 이용해서 collecting cup을 Ao층에서 약 15cm 아래에 설치한 후, 진공펌프를 이용(-20~-40cmHg)해서 측정이 가능한 약 500ml의 양을 채수하였다. 수질분석은 pH와 EC의 측정에 의해 실시하였다.

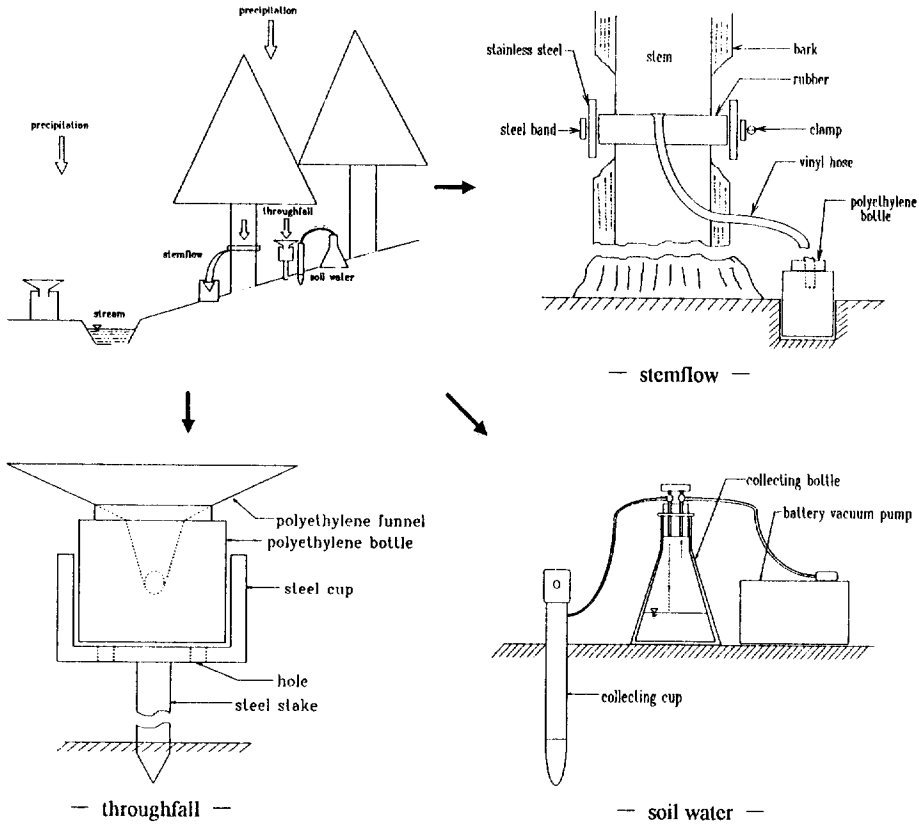


Fig. 2. Schematic diagrams of devices for collecting water samples in forest hydrological processes.

5) 계류수

계류수에 대한 측정은 장기유출 및 단기유출을 대상으로 실시하였다. 계류의 장기유출은 매주 금요일에 유출량과 수질분석인자를 측정하였고 단기유출은 유출량과 수질분석인자에 대해 한 강우의 개시기부터 강우 종료후 수질분석인자들이 강우 개시시의 값으로 안정될 때까지 일정시간 간격으로 측정하였다. 유출량은 유속계(Swoffer 사 Model 2100)를 이용하여 전 수심의 60%인 점에서 유속을 측정하고 유적을 구하여 계산하였다. 수질은 pH, 전기전도도, 그리고 용존산소량에 대해 채수한 즉시 측정하였다.

(2) 수질 측정 항목 및 방법

1) pH

pH는 수질측정시 반드시 필요한 기본 인자로서 평상시 산지 계류수의 pH는 거의 일정하게 유지되나 산지유역에서 산불, 임도전설, 산사태 발생 등에 의해 계류수의 pH가 영향을 받을 수 있으며(Whitehead 등, 1988), 강우가 산지 물순

환과정을 각각 거치면서 pH값도 변화한다. 강우의 pH는 토양에서의 H₂S, 화산에서의 H₂SO₄, HCl, 유기물의 분해로 인한 유기산 등이 대기로 방출되기 때문에 인위적인 오염이 없더라도 pH 5.6 이하로 되는 경우도 있고, 또 바람이나 계절적인 영향에 의해 pH 5.6이상으로 되는 경우도 있다. 따라서 자연강우는 환경에 따라 pH 5~pH 8까지의 넓은 범위의 값을 지닌다.

2) 전기전도도(EC : Electronic Conductivity)

EC는 물이 함유하고 있는 이온 용해염의 농도를 종합적으로 표시해 주는데 수온, pH의 측정과 더불어 수질의 변화 상태를 쉽게 파악할 수 있는 지표이다. 오염의 정도가 크면 클수록 용존이온농도값이 증대하여 EC값이 높아지며 물이 깨끗할수록 EC는 낮아지는데, 산지 계류에 있어서 EC는 보통 30-150 μS/cm로 알려져 있다(Whitehead 등, 1988). EC의 측정으로 특정한

무기이온의 증감 여부는 알 수 없지만 홍수발생 전후에 변화한 EC값의 차이에 의해 계류수의 혼탁의 정도를 비교할 수 있으며, 나아가 자세한 화학적 분석을 할 수 있는 근거를 제공한다.

3) 용존산소량(DO: Dissolved Oxygen)

DO는 수질을 평가하는 하나의 지표로서 물에 녹아있는 유리산소량을 나타낸다. 수중의 용존산소량을 아는 것은 수중의 생물·화학적 반응을 추정하는 데 대단히 중요하며, 적당량의 DO는 어류와 다른 수중 생물체의 생존을 위해 산지 하천에서 필수적이다. 일반적으로 수중 DO농도는 대기중 산소의 자연적 용해 및 조류나 수생생물의 광합성 작용에 의하여 증가하고, 수중 불순물의 환원작용, 동식물의 호흡작용, 그리고 미생물에 의한 유기물의 분해작용 등으로 감소한다(Brown, 1979). 산지 계류의 전형적인 DO는 7~10mg/l이며, 하류의 정체된 하천에서는 더 낮은 값을 가진다(Whitehead 등, 1988). 이상의 수질분석인자들은 Mettler-Toledo사에서 제작한 check mate 90을 이용해서 측정하였다. 이 기기는 측정기를 본체로 pH센서, EC센서, 그리고 DO센서 등을 부착하여 pH는 0~14, EC는 0.00~1999 μ S/cm, DO는 0~20mg/l까지 측정할 수 있다.

(3) 분석 방법

산지에서 수질분석인자의 동태를 파악하기 위해서는 먼저 산지로부터 유출량의 변화를 측정할 필요가 있다. 본 연구에서는 계류의 유출량 변화는 현지 측정을 통하여 구하였으나, 단목의 수관 통과 및 수간류의 양적 변화는 경시적으로 산출(김경하, 1993)하여 수질분석인자와 단순히 비교하여 분석하였다. 수종간의 수질정화능의 차이는 적송과 상수리나무에 대해 pH 및 EC값을 T-검정에 의해 밝히고, 토양수의 경시적인 수량변화는 측정이 불가능하여 채수된 토양수의 수질분석인자 값만으로 타 물순환과정의 정화능과 비교를 하였다. 계류수는 장기유출과 단기유출로 구분하고 채수 측정 위치의 간이측량을 통해 유적과 유속을 구하여 유출량을 산출하고, 유출량과 수질분석인자와의 상관관계를 구하였다. 또한 유출량과 수질과의 관계는 각 수질분석인자와 유출량과의 관계를 회귀식으로 분석하였다. 단 곡선 회귀식의 경우 결정계수 값이 극히 낮은 것은 이동평균을 취하여 수질변화의 경향을 분석했다. 물순환 과정에서 수질정화능의 크기는 각 수질분

석인자의 측정값을 비교하여 그 절대값의 차이에 의해 수질정화능의 크기를 구하였다.

結果 및 考察

1. 임외우의 수질변화

대한리와 박달리의 임외우에 대한 pH와 EC의 변화를 각 시험지의 임내우와 함께 그림 3~그림 6에 나타내었다. pH의 경우는 강우량에 비례하여 높아지는 경향을 보였으나, EC는 강우량의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 그리고 임외우의 pH와 EC간의 상관은 낮게 나타났는데, 이것은 임외우의 수질이 총강우량이나 강우강도에 의해 선형강우량 등에 의해 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다. 板本康(1990)도 일지적 강우의 수질은 총강우량이나 강우강도만으로는 설명할

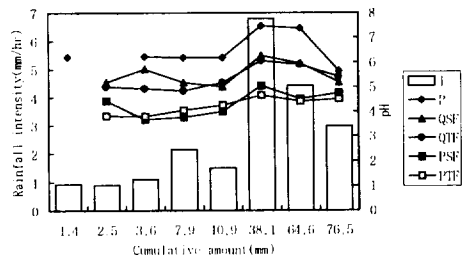


Fig. 3. pH values of precipitation, throughfall and stemflow by cumulative amount and rainfall intensity at Daehan-Ri. I : rainfall intensity, P : precipitation, QSF : Quercus stemflow, QTF : Quercus throughfall, PSF : Pinus stemflow, PTF : Pinus throughfall.

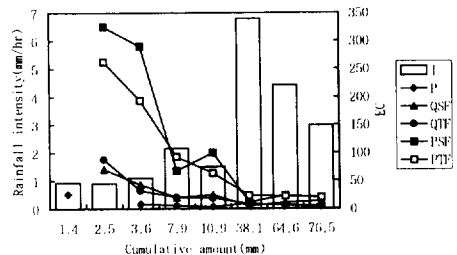


Fig. 4. EC values of precipitation, throughfall and stemflow by cumulative amount and rainfall intensity at Daehan-Ri. I : rainfall intensity, P : precipitation, QSF : Quercus stemflow, QTF : Quercus throughfall, PSF : Pinus stemflow, PTF : Pinus throughfall.

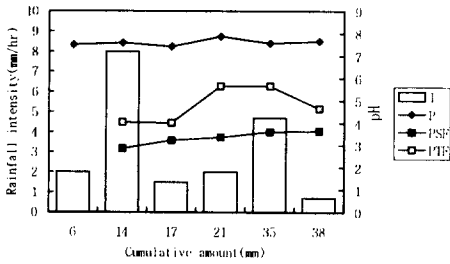


Fig. 5. pH values of precipitation, throughfall and stemflow by cumulative amount and rainfall intensity at Parkdal-Ri. I : rainfall intensity, P : precipitation, PSF : Pinus stemflow, PTF : Pinus throughfall.

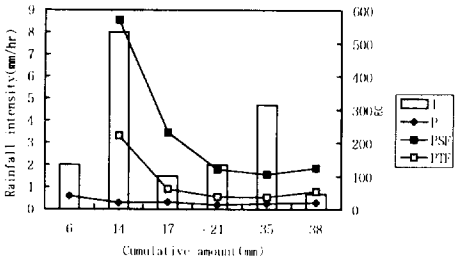


Fig. 6. EC values of precipitation, throughfall and stemflow by cumulative amount and rainfall intensity at Parkdal-Ri. I : rainfall intensity, P : precipitation, PSF : Pinus stemflow, PTF : Pinus throughfall.

수 없다고 하였다.

2. 임내우의 수질변화

대한리의 임내우는 적송과 상수리나무, 그리고 박달리에서는 리기다소나무에 대해서 분석하였다. 평균 pH의 경우 대한리에서 상수리나무의 수간유하수(5.50), 수관통과우(5.31) 및 적송의 수간유하수(4.32), 수관통과우(4.22)가 임외우의 평균 pH 6.48보다 낮게 나타나고, 박달리에서도 리기다소나무의 수간유하수(3.34) 및 수관통과우(4.81)가 임외우의 평균 pH 7.60보다 상당히 낮게 나타났으며, 또한 적송 및 리기다소나무에서 상대적으로 낮은 값을 나타내었다. 이는 수목자체에 침착되어 있는 유기산과 함께 선형강우량에 의한 영향으로 판단된다. Roda 등(1990)도 강우의 pH가 5.0보다 낮을 때의 수관통과우의 pH는 강우보다 높게 나타나지만, 강우의 pH가 5.8이상일 때에는 강우보다 낮게 나타난다고 하였으

며, 이러한 현상은 건조강하물의 wash-out현상과 수피에 있어서 이온교환현상에 의한 것으로 보고한 바 있다. 그리고, 강우량과 수간유하수 pH와는 정상관, EC는 역상관을 나타내어 강우량이 임내우에서 수질인자의 변화에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

대한리에서의 강우량에 대한 임내우 pH의 경시변화를 그림 3에 나타내었다. 임내우 pH변화의 양상은 임외우와 유사하였으며, 특히 상수리나무의 수간유하수에서 임외우의 pH와 상관이 유의하게 나타난 것은 상수리나무의 수피가 비교적 편평하여 임외우 pH변화의 영향을 그대로 받기 때문으로 판단된다. 두 수종 모두 수간유하수의 pH값이 수관통과우보다 높게 나타났는데, 이는 수간유하수가 수관통과우보다 임외우의 완충기회가 증가하여 pH값이 높게 나타나는 것으로 생각되며, 또한 임내우의 산성화를 일으키게 하는 산성건성강하물과 유기산의 용탈의 정도를 나타내는 EC가 수간유하수와 수관통과우간에 큰 차이가 없기 때문인 것으로 판단된다(그림 4). 이러한 결과는 金英彩와 朱榮特(1990)의 연구결과와는 일치했으나, 수간유하수가 수관통과우보다 pH가 항상 높게 나타난다는 Cape와 Brown(1986)의 보고와는 상이했다. 이는 산성강하물 부하량의 지역적인 차이에 의해 나타나는 현상으로 산성강하물의 부하가 심한 곳에서는 산성강하물이 거친 수간부에 침착하기 쉬우므로 수간유하수의 pH가 수관통과우보다 항상 낮게 나타나는 것으로 생각할 수 있다.

임내우의 EC는 한 강우에 대해 강우량이 증가하면서 초기에는 급격하게 떨어지고 강우량이 40mm 이상이 되면서 적송에서는 약 $20 \mu\text{S}/\text{cm}$, 상수리나무에서는 약 $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ 정도를 유지하는 것으로 나타났다. 각 수종에서의 수간유하수와 수관통과우의 EC를 비교해 보면 상수리나무의 수간유하수 EC는 $26.57 \mu\text{S}/\text{cm}$ 이며 수관통과우는 $23.35 \mu\text{S}/\text{cm}$, 적송의 수간유하수는 $119.74 \mu\text{S}/\text{cm}$ 이며 수관통과우는 $96.78 \mu\text{S}/\text{cm}$ 로 두 수종 모두 수간유하수의 EC값이 수관통과우의 것보다 높게 나타났다. 이는 건성강하물의 영향과 함께 수목의 이온교환현상으로 증가된 이온의 영향에 의한 것으로 판단된다.

그림 5에 박달리의 한 강우에 대한 임내우 pH의 경시변화를 임외우와 함께 나타내었는데 강우

량이 증가함에 따라 pH가 증가하는 것을 알 수 있다. 그리고 수간유하수의 pH가 수관통과우의 pH값보다 낮게 나타나는 것은 수관과 수피에 존재하는 유기산의 용탈에 의한 것이라고 생각된다.

한 경우에 대한 EC의 경시변화(그림 6)는 강우량이 증가함에 따라 임외우와 임내우 모두 감소하였다. 대한리에서 적송의 EC가 수간유하수에서 119.74 μ S/cm와 수관통과우에서 96.78 μ S/cm인 것에 비해 박달리 소재 리기다소나무의 임내우 EC는 수관유하수에서 230.03 μ S/cm와 수관통과우에서 81.98 μ S/cm로 비교적 높게 나타난 것은 임외우에서처럼 대기중에 존재하는 건성강하물질의 영향이 큰 것으로 추정된다. 이러한 건성강하물질은 표면이 거친 수피에 쉽게 침착되어 선행강우량의 영향이 작게 나타날 때 수간유하수의 EC가 수관통과우의 EC보다 더 높게 나타나는 원인이 되는 것으로 볼 수 있다.

3. 토양수의 수질변화

각 시험지에서의 강우량을 가중평균한 수관통과우의 pH와 EC값, 그리고 토양수의 pH와 EC값을 표 3에 함께 나타내었다. 각 시험지의 토양수는 수관통과우에 비해 pH와 EC가 모두 높게 나타났다. 이러한 현상은 산성을 나타내는 임내우가 임상으로 유입되면서 임상에 존재하는 이온물질 등이 첨가되어 이온농도는 높아지게 되지만, 토양내에 존재하는 점토물질이나 공극 등에 의해 흡착 또는 치환되어 산도가 낮아지고 이때 치환된 무기이온들에 의해 EC는 더 높아지는 것으로 추정된다. 大類清和 등(1994)도 기암부근의

Table 3. Average pH and EC of stemflow and throughfall at each site.

Site	Daehan-Ri		Parkdal-Ri	
	through-fall	soil water	through-fall	soil water
pH	5.82	7.03	4.86	7.11
EC(μ S/cm)	34.24	41.1	107.84	183.4

Table 4. Average pH and EC of throughfall and soil water at each site.

Site	Daehan-Ri	Parkdal-Ri
Quantity(m^3/hr)	4.129	28.28
pH	7.34	7.53
EC(μ S/cm)	31.73	33.93
DO(mg/l)	9.67	9.14

깊은 토양층에 있어서 토양수는 광물의 풍화라는 물리화학적 반응에 의해 중성 근처의 산도를 가지는 지하수나 계류수로 된다고 하였다.

4. 계류수의 수질변화

(1) 장기유출

각 시험지에서의 장기유출에 대해 매주 측정된 수질분석인자들의 평균값을 표 4에 나타내었다. pH와 EC 모두 대한리보다 박달리에서 높게 나타났다. EC값의 차이는 박달리의 채수지가 수원지로부터 거리가 약 978m로 대한리의 150m보다 멀기 때문에 유입되는 이온이 증가하므로써 나타나는 현상으로 大類清和 등(1994)의 연구 결과와 일치하였다. 평균 DO는 박달리에서 9.14mg/l, 대한리에서 9.67mg/l로 나타나 두 곳 모두 어류생태계 유지기준인 7.5mg/l를 초과하였다(이천용과 원형규, 1994). 대한리에서 DO가 박달리보다 높게 나타난 것은 대한리의 계류가 수관으로 잘 피복되어 있어 수온이 박달리보다 낮은 것에 기인하는 것으로 판단된다.

그림 6은 pH와 유출량의 관계를 이동평균을 취하여 각 시험지의 유출량에 대한 pH의 경향선을 나타낸 것이다. 대한리의 경우 유출량 증가시 pH가 높아지는 경향을 보이고 있으며, 박달리의 경우 유출량이 증가함에 따라 pH는 감소하였다. 일반적으로 계류수보다 낮은 pH값을 가지는 임외우나 임내우가 계류에 유입되면 유출량의 증가와 함께 계류수의 pH가 낮아지게 되지만, 대한리의 경우 유출량과 pH가 비례하는 것은 장기유출에 대한 pH의 관측시에 나타난 측정오차에 의한 것으로 생각된다. 즉, 강우초기에 낮아진 pH값은 유출량이 첨두유량을 지나게 되면서 다시

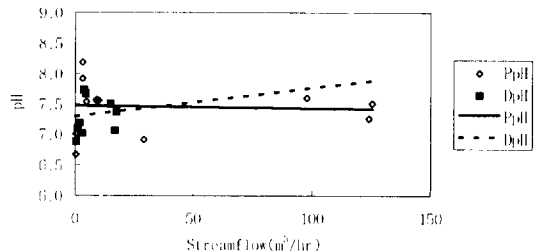


Fig. 7. Relationship between pH and long-term runoff.
PpH : stream pH at Parkdal-Ri, DpH : stream pH at Daehan-Ri

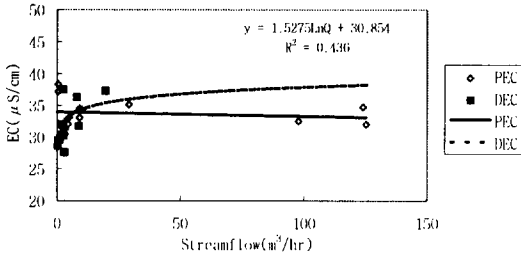


Fig. 8. Relationship between EC and long-term runoff.

PEC : stream EC at Parkdal-Ri, DEC : stream EC at Daehan-Ri

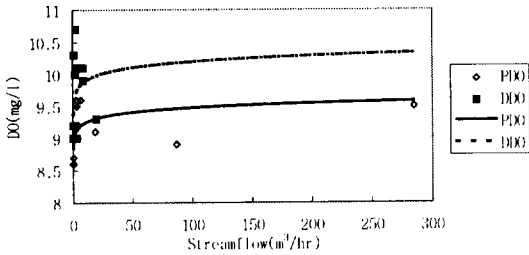


Fig. 9. Relationship between DO and long-term runoff.

PDO : stream DO at Parkdal-Ri, DDO : stream DO at Daehan-Ri

안정되므로 장기유출량의 pH 관측으로 유출량과 pH와의 관계를 파악하는 것은 부적당한 것으로 판단된다.

장기유출량에 따른 EC의 변화(그림 8)는 두 곳 모두 유출량이 증가함에 따라 EC가 증가하였다. 이는 강우초기에 유출량이 증가함에 따라 높은 이온농도를 가지는 지표류와 수관통과수 등이 계류수로 유입되기 때문인 것으로 판단된다. 장기유출량에 따른 DO의 변화(그림 9)는 유출량이 증가함에 따라 증가하였는데 이는 계류 유출량의 증가로 발생하는 난류로 인해 재통기 기회가 높아져서 나타나는 결과로 생각된다. 이는 Feller와 Kimmins(1979) 등의 유량이 증가하면 DO가 증가한다는 보고와 일치하였다. 두 시험지의 계류에 대해 계절에 따른 DO의 변화를 분석한 결과, 박달리에서의 DO는 12월과 1월에 약 9.6mg/l, 9월과 10월에는 8.8mg/l이었으며, 대한리에서의 DO는 12월에 10.3mg/l, 9월에 9.0 mg/l으로 나타났다. 이러한 계절 변화는 장기유출시 DO 변화의 가장 큰 요인으로 계절에 따른 계류

수의 온도변화를 생각할 수 있다. 이천용과 원형규(1994)는 국내 계류의 DO를 조사하여 여름철에 가장 낮은 값, 겨울철에 가장 높은 값을 나타낸다고 하였으며, Feller와 Kimmins(1979)도 같은 연구결과를 보고한 바 있다. Churchill 등(1962)은 DO를 온도에 대한 회귀식으로 나타내기도 하였다.

(2) 단기유출

각 시험지에서의 한 단위강우에 의해 발생하는 단기유출에 의한 수질분석인자들의 평균을 표 5에 나타내었으며, pH와 EC의 경우 장기유출시와 동일하게 박달리에서 모두 높게 나타났다. EC의 차이는 장기유출시와 동일하게 박달리의 채수지가 수원지로부터 거리가 978m로 대한리의 150m보다 멀기 때문에 유입되는 이온이 증가함으로써 나타나는 현상으로 판단된다. DO는 박달리와 대한리에서 큰 차이를 보이지 않았다. 한 강우의 단기유출량에 대한 pH의 경시변화(그림 10)는 유출량이 증가함에 따라 pH는 낮아지고, 특히 유출량이 최대로 된 후부터 pH는 강우전의 pH수준으로 회복하는 것으로 나타났다. 이는 강우 도중에 계류로 직접 유입되던 낮은 pH의 임외우와 임내우가 중당되고, 중성을 가지는 지중수의 유입이 증가하여 나타나는 현상으로 판단된다. 단기유출량에 대한 EC의 변화(그림 11)는

Table 5. Average quantity, pH, EC, and DO of long-term runoff at each site.

Site	Daehan-Ri	Parkdal-Ri
Quantity(mm)	33.44	98.01
pH	6.17	8.30
EC(μS/cm)	35.27	37.06
DO(mg/l)	9.43	9.52

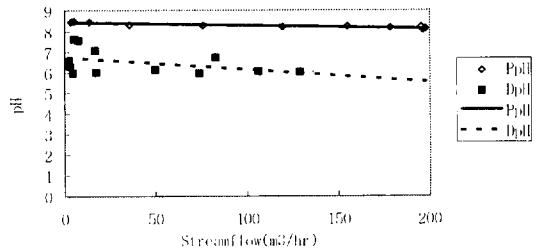


Fig. 10. Relationship between pH and short-term runoff.

PpH : stream pH at Parkdal-Ri, DpH : stream pH at Daehan-Ri

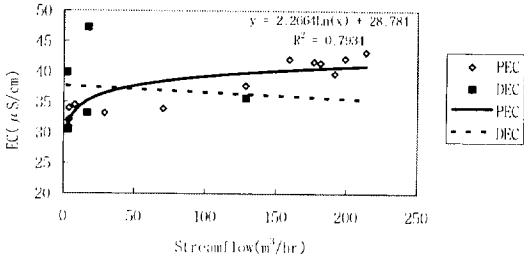


Fig. 11. Relationship between EC and short-term runoff.

PEC : stream EC at Parkdal-Ri, DEC : stream EC at Daehan-Ri

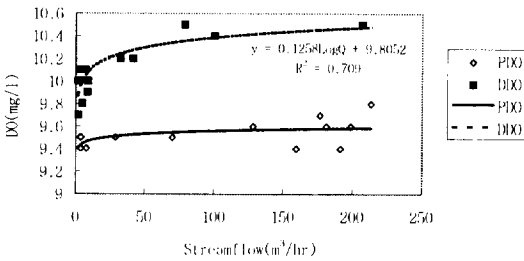


Fig. 12. Relationship between DO and short-term runoff.

PDO : stream DO at Parkdal-Ri, DDO : stream DO at Daehan-Ri

박달리에서는 유출량이 증가함에 따라 유입되는 이온량이 증가하여 EC가 증가하였으나, 대한리에서는 유출량과 EC가 역상관을 나타내었다. 이는 강우초기에 EC가 높은 임내수가 계류로 직접 유입되어 나타나는 결과로 판단된다. 두 시험지간에 나타나는 유출량에 따른 EC 증감의 차이는 모암의 성분에 따른 유출수에 존재하는 각 이온량의 차이에 의해 일어나는 것으로 추정된다. Edwards(1973)와 橋治國(1993)은 유출량의 증감에 따라 유출수에 존재하는 이온들을 구분한 바 있다. 유출량에 따른 DO의 변화(그림 12)는 계류의 유출량이 증가함에 따라 DO도 증가하였다. Feller와 Kimmins(1979)는 계류수의 화학적 특성을 조사하여, 대부분의 화학물질 패러미터들은 유출량이 증가하면 감소하지만 DO는 유출량의 증가와 함께 증가한다고 보고한 바 있다. 각 시험지에서 강우의 높은 pH에 비해 임내수의 pH는 낮게 나타났으며, 이는 다시 토양을 통과하면서 계류에서는 다소 pH가 높아져 중성 또는 약알칼리성으로 회복되는 것으로 나타나 산림토양의 산성 중화능력이 크다는 것을 알 수 있다. 이

것은 산성임내수가 산림토양을 통과하면서 유기산에 수소이온이 흡착되어 양이온이 치환하고, 규산염광물이 풍화하여 중성으로 변하는 것에 기인되며 중성으로 변한 지중수가 계류에 함유되어 나타나는 것으로 추정할 수 있다. Bottomley 등(1984)은 산성중화물질을 함유하는 지중수가 고갈되지 않으면 지하수가 산성유출을 중화시키는 작용은 계속될 것으로 보았다.

5. 산림지의 수질정화능의 평가

(1) 수종별 수질정화능

대한리 시험지에서 임외수의 평균 pH가 6.4인 경우, 동일 임분내의 적송과 상수리나무에 대해서 임내수 수질분석인자의 평균값을 조사한 결과, 상수리나무의 수간유하수 pH는 5.50이고 수관통과수 pH는 5.31이었으며, 적송의 수간유하수 pH는 4.32, 수관통과수는 pH 4.22로 적송이 상수리나무보다 높게 나타났다. EC의 경우 상수리나무의 수간유하수 EC는 26.57 µS/cm와 수관통과수는 23.35 µS/cm, 적송의 수간유하수는 119.74 µS/cm, 수관통과수는 96.78 µS/cm로 pH의 경우처럼 적송의 EC가 상수리나무의 EC보다 높게 나타났다. 두 수종 사이에 pH와 EC의 평균의 차이에 유의성이 존재하는가를 확인하기 위해서 두 수종간의 수질분석인자에 대한 T-검정을 실시한 결과, pH에 대해서는 수간유하수(T=4.45, P=0.00)가 매우 유의하게 나타나 수종간의 차이가 나타났으나, EC에 대해서는 수간유하수(T=-1.83, P=0.11)나 수관통과수(T=-1.88, P=0.10)는 수종간에 따른 유의한 차이는 나타나지 않았다. 임내수에서 적송이 상수리나무보다 EC는 높게, pH값은 낮게 나타난 것은 적송의 염면적이 크고 수피의 거침으로 인해 건조강하물의 침착이 쉽게 이루어지는 것에 기인하는 것으로 판단된다. 이러한 결과로 볼 때 수종간의 임내수 수질의 차이가 존재하는 것으로 생각되며, 수관하층식생과 토양에 미치는 수중에 따른 임내수의 영향이 구명되어져야 할 것으로 생각된다.

(2) 물순환 과정별 수질정화능

각 시험지에서의 물순환 과정을 통한 평균 pH값의 변화를 그림 13과 그림 14에 종합해서 나타내었다. pH의 경우 토양수, 계류수, 임외수에서는 비교적 비슷한 값을 나타내었으며, 임내수에서 가장 낮게 나타났다. pH 6-pH 7 정도의 임

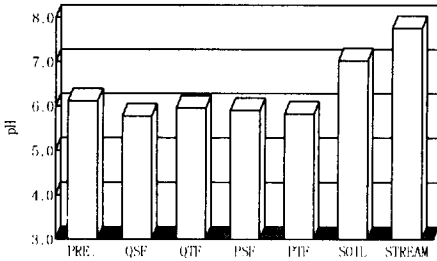


Fig. 13. pH values along hydrological processes at Daehan-Ri.

PRE : precipitation, QSF : Quercus stemflow, QTF : Quercus throughfall, PSF : Pinus stemflow, PTF : Pinus throughfall.

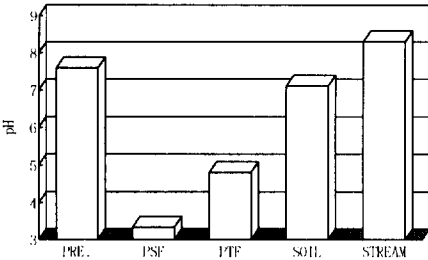


Fig. 14. pH values along hydrological processes at Parkdal-Ri.

PRE : precipitation, PSF : Pinus stemflow, PTF : Pinus throughfall.

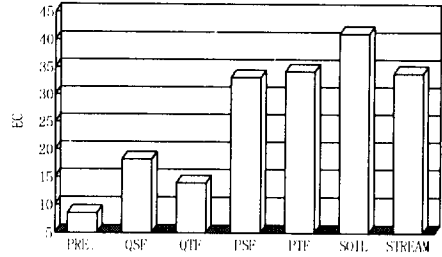


Fig. 15. EC Values along hydrological processes at Daehan-Ri.

PRE : precipitation, QSF : Quercus stemflow, QTF : Quercus throughfall, PSF : Pinus stemflow, PTF : Pinus throughfall.

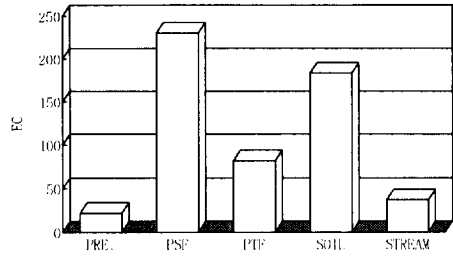


Fig. 16. EC values along hydrological processes at Parkdal-Ri.

PRE : precipitation, PSF : Pinus stemflow, PTF : Pinus throughfall.

외우가 산림지에 부하되면 수목자체의 유기산이나 수피와 수관 등에 침착되어 있던 전성강하물의 영향으로 인해 pH 3.5~pH 5.5 정도의 임내우로 된다. 계류수 등에 직접 부하되는 임내우는 계류수의 pH를 낮추는 원인이 되지만 임상에 떨어지는 임내우는 산림토양을 거치면서 pH 7 정도로 크게 중화되는 것으로 나타났다. 토양수는 침투능이 발달한 산림토양으로 침투되어 지중수의 형태로 계류에 합류되는데 이 지중수는 산림 계류가 항상 중성 또는 약알카리성을 유지시키는 역할을 하는 것으로 생각된다. 물순환 과정별 EC값의 크기(그림 15와 그림 16)는 토양수>임내우>계류수>임외우의 순으로 나타났다. EC 10~20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 값을 가지는 임외우가 수목을 통과하면서 수피나 수관 등에서 전성강하물의 세탈과 유기산 용탈작용이 일어나고 수중에 따른 차이는 존재하지만, 임내우의 EC는 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 에서 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 정도로 그 범위가 상당히 크게 나타났다. 그리고 토양수는 임상에 존재하는 이온물질의 첨가로 인해 임내우보다 EC가 10~80

$\mu\text{S}/\text{cm}$ 정도로 높아진다. 이러한 토양수는 토양 내에 존재하는 공극이나 점토입자 등에 의해 흡착되어 최종 단계인 계류수로 유출될 때는 EC가 35~40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 유지되는 것으로 생각된다.

結 論

산지 물순환 각 과정에 있어서 각 단위강우에 대해 유출량과 수질의 변화를 경시적으로 분석하여 적송, 리기다소나무, 상수리나무, 그리고 산림토양 등이 수질정화에 미치는 영향을 밝히고, 동시에 계류수의 장기관측을 통해서 수질 변화에 직접적으로 영향을 미치는 산림지의 수질정화능을 구명하고자 대한리 지역과 박달리 지역을 대상으로 수질변화를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 임외우의 평균 pH는 박달리 7.6, 대한리 6.4로 각각 나타났다.
2. 적송과 리기다소나무의 수간유하수와 수관통과우를 비교한 결과, pH는 대한리의 경우 각

각 평균 4.32와 4.22, 그리고 박달리에서는 3.34와 4.81로 나타나서, 이러한 수질인자값의 변화에 의해 강우가 수관과 수간을 거친 후 pH가 낮아지는 것을 알 수 있었다. 수간 유하수와 수관통과수의 전기전도도는 박달리에서 각각 230.0 μ S/cm와 82.0 μ S/cm, 대한리에서 119.7 μ S/cm와 96.8 μ S/cm로 나타나서, 강우에 대한 수관과 수간의 수질정화능력을 확인할 수 있었다.

3. 산지 계류에 대해 장기유출과 단기유출시의 pH, 전기전도도 및 용존산소량을 조사한 결과, pH의 경우 단기유출시에는 감소하였으나 장기유출시 대한리에서 미증의 경향을 나타내어, 단기유출시 침두유량이 지난 후 부터 pH가 안정되는 것을 알 수 있었다. 전기전도도의 경우 대한리의 단기유출시에서만 감소의 경향이 나타났는데, 이는 강우초기에 높은 전기전도도를 가지는 임내우의 영향으로 판단했다. 용존산소량의 경우 유출량의 증가로 발생한 난류에 의해 재통기 기회가 증가하여 그 값이 높아지는 것으로 생각되었다.
4. 적송과 상수리나무간의 임내우를 비교한 결과, 적송의 임내우가 상수리나무의 임내우보다 pH는 낮게 나타났으며, EC는 높게 나타났다. 이 결과로 산성 전성흡착물은 소나무에 더 많이 부착되는 것을 알 수 있었다.
5. 물순환 소과정에 따라 수질인자의 변화를 분석한 결과, 습성강하물에 의한 오염물질의 부하보다는 전성강하물에 의한 부하와 수목의 수피에 의한 영향이 더 큰 것으로 판단했다. 그러나 산성임내우도 토양을 거치면서 모암에 의해 중화되고 토양입자에 의한 침착이 일어나면서, 계류로 유출되는 유출수의 수질은 양호하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

引用 文 獻

1. 橋治國. 1993. 洪水時における水質と水質成分の流出特性. 水文水資源學會誌. 6(3) : 254-267.
2. 김경하. 1993. 산림의 강우차단손실량 추정 전산모형 개발에 관한 연구. 서울대 박사학위논문. : 32-33.
3. 金英彩 · 朱榮特. 1990. 樹木の 酸性雨 緩衝

能力에 대한 研究. 慶熙大學校論文集. 第19輯 725-736.

4. 佐佐朋幸 · 高橋忠幸 · 長谷川浩一. 1993. 特定樹種の樹幹流による土壤の酸性化抑制作用(II). 日林誌. 75(4) : 321-330.
5. 坂本康. 1990. 雨滴徑分布に基づく降雨水質の時間變化の解析. 水文水資源學會誌. 3(2) : 31-37.
6. 坂本康. 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.
7. 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. 日林誌 76(5) : 383-392.
8. 大類清和. 1994. 森林流出水の水質研究と森林の水質淨化機能を把握する上での課題. 森林科學. 12 : 34-41.
9. 岩坪五良 · 堤利夫. 1968. 森林内外の降水中の養分量について(III). 京大演報. 40 : 140-155.
10. 이천용 · 원형규. 1994. 산림유역내 계류수의 계절별 수질 변화. 임연연보. 49 : 81-86.
11. 竹内邦良 · 坂本康 · 本郷善彦. 1984. NO₃-を用いた流出成分の分離と他の方法分離による結果の比較. 第28回土木學會水理講演會論文集. : 557-565.
12. Beier, C., K. Hansen, and P. Gundersen. 1993. Spatial variability of throughfall fluxes in a spruce forest. Environ. Pollut. 81 : 257-267.
13. Bottomley, D.J., D. Craig, and L.M. Johnston. 1984. Neutralization of acid runoff by groundwater discharge to streams in Canadian precambrian shield watersheds. J. of Hydrology. 75 : 1-26.
14. Brown, G.W. 1979. Forestry and Water Quality. Oregon State Univ. 74p.
4. Cape, J.N. and A.H.F. Brown. 1986. The effects of different tree species on the amount and chemical composition of precipitation passing through the canopy. Interim and Final Reports to the Commission of the EC Contract ENN774UK(H). Commission of the EC, Brussels.
15. Churchill, M.A., R.A. Buckingham, and H.L. Elmore. 1962. The prediction of stream

- reaeration rates. Tennessee Valley Authority, Division of Health and Safety, Chattanooga. 98p.
16. Edwards, A.M.C. 1973. The variation of dissolved constituents with discharge in some Norfolk rivers. *J. of Hydrology*. 18 : 219-242.
 17. Feller, M.C. and J.P. Kimmins. 1979. Chemical characteristics of small streams near haney in southwestern British Columbia. *Water Resour. Res.* 15(2) : 247-258.
 18. Johnson, N.M., G.E. Likens., F.H. Bormann., D.W. Fisher. and R.S. Pierce. 1969. A working model for the variation in stream water chemistry at the Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire. *Water Resour. Res.* 5 : 1353-1363.
 19. Kobayashi, D. 1981. Separation of runoff components by stream temperature. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 21 : 150-154.
 20. Likens, G.E., F.H. Bormann., N.M. Johnson. and R.S. Pierce. 1967. The calcium, magnesium, potassium, and sodium budgets for a small forested ecosystem. *Ecology*. 48: 772-785.
 21. Neikes, N., M. Kazda. and R. Wittig. 1989. Different cation exchange in the canopy of two neighbouring beech stands with regard to soil chemistry. *Mechanisms and Effects of Pollutant-Transfer into Forests.* : 285-294.
 22. Novo, A. and A. Buffoni. 1992. Rain and throughfall chemistry in a Norway spruce forest in the Western Prealps. *Environ. Pollut.* 75 : 199-208.
 23. Pilgrim, D.H., D.D. Huff. and T.D. Steele. 1979. Use of specific conductance and contact time relations for separating flow components in storm runoff. *Water Resour. Res.* 15 : 329-339.
 24. Reynolds, B., C. Neal., M. Hornung. and P.A. Stevens. 1986. Baseflow buffering of streamwater acidity in five Mid-Wales catchments. *J. of Hydrology*. 87 : 167-185.
 25. Roda, F., A. Anna. and B. David. 1990. Precipitation, throughfall, soil solution and streamwater chemistry in a Holm-oak (*Quercus ilex*) forest. *J. of Hydrology*. 116 : 167-183.
 26. Sklash, M.G. and R.N. Farvolden. 1979. The role of groundwater in storm runoff. *J. of Hydrology*. 43 : 45-65.
 27. Tatemass, H. and M. Kohji. 1986. Study on water purification of forest from view of streamwater quality (II). Research report from the national institute for environmental studies. 95 : 37-55.
 28. 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. *J. of Hydrology*. 101 : 191-212.