

경기도 광주지역 천연낙엽활엽수림에 있어서 강우이동에 따른 양분동태

진현오¹ · 손요환² · 이명종³ · 박인협⁴ · 김동엽⁵

¹경희대학교 생명과학대학, ²고려대학교 환경생태공학부, ³강원대학교 산림자원학부,

⁴순천대학교 산림자원학과, ⁵성균관대학교 조경학과

(2005년 5월 2일 접수; 2005년 5월 24일 수락)

Nutrient Dynamics through Water Transports in Natural Deciduous Forests in Gwangju, Gyeonggi Province

Hyun-O Jin¹, Yowhan Son², Myong-Jong Yi³, In-Hyeop Park⁴ and Dong-Yeop Kim⁵

¹College of Life and Biotechnology, Kyunghee University, Yongin, Korea

²Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul, Korea

³Division of Forest Resources, Kangwon National University, Chunchon, Korea

⁴Department of Forest Resources, Suncheon National University, Suncheon, Korea

⁵Department of Landscape Architecture, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea.

(Received May 2, 2005; Accepted May 24, 2005)

ABSTRACT

The amounts and nutrient compositions in precipitation, throughfall, stemflow and soil solution of natural deciduous forests (*Quercus variabilis* and *Q. mongolica*) were examined in Gwangju, Gyeonggi Province. The proportion to gross precipitation was 85% for throughfall, 2-6% for stemflow, 53-54% for Ao horizon soil solution, 23-30% for A horizon soil solution, and 11-14% for B horizon soil solution, respectively. pH and K concentration increased in throughfall and only K concentration increased in stemflow. Canopy leaching appeared to influence these changes. pH, and Ca and Mg concentrations increased significantly in the Ao horizon soil solution, and Ca concentration was higher in the B horizon than in the A horizon. However, there were no significant differences in pH and other nutrient concentrations between A and B horizons. Litter decomposition and leaching from Ao horizon might explain the changes. K, Mg and Cl concentrations in throughfall and soil solution decreased with precipitation. Nutrient contents increased in the transports from precipitation, through throughfall, to Ao horizon soil solution, while they decreased in the transport from A to B horizon soil solution. Stemflow contained less than 10% of total (throughfall plus stemflow) nutrient contents.

Key words : Nutrient dynamics, Water transport, Deciduous forest, Gwangju

I. 서 론

산림생태계에 있어서 물질순환은 대부분 물을 통하여 이루어지게 된다. 이러한 물의 순환은 산림생태계

내에서 물질 및 양료순환의 주요한 매개체 역할을 하며, 이들 물질의 수직적 이동은 강우에 의해 크게 영향을 받는다(Katagiri and Tsutimi, 1975; Likens and Bormann, 1994). 산림생태계로 유입된 강우는 계 내

부로부터 다양한 생물학적, 화학적, 물리적 작용을 받아 화학적 조성이 변화한다. 임목의 수관, 임상의 낙엽층, 토양의 광물질층을 통과하는 강우의 수직적 이동 과정은 물리적, 화학적으로 큰 영향을 받기 때문에 임의우와 비교하여 수관통과우, 수간류, 토양수의 이온 농도가 크게 변화한다(Haibara and Aiba, 1982; Bellot and Escarre, 1991; Aron and Lund, 1994; Sengoku *et al.*, 1994; Joo *et al.*, 1999). 이러한 변화는 강우 자체의 이온성분과 대기로부터 유입된 건강강하물이 침착된 수체를 통과하면서 발생하는 이온의 흡수와 용탈, 세탈, 교환작용에 기인한다. 임상으로 도달한 임내우는, 미생물 활동이 활발한 A₀층을 통과하면서 그 이온조성이 달라지며, 더욱이 토양수로 되어 식물의 양분흡수, 토양 콜로이드와의 흡착 및 치환, 모재의 풍화, 계류수로의 유출 등 원소상태의 매개체로서 중요한 역할을 한다(Takahashi *et al.*, 1996). 산림생태계에서의 강우의 수량 및 농도의 변화는 식생, 계절, 토양의 성질 등 여러 생태환경에 따라 크게 달라진다(Helmissari and Malkonen, 1989; Lee and Jun, 1996; Jeong *et al.*, 1999). 이와 같이, 산림생태계 내에서의 강우이동에 따른 양분동태는 기후변화, 산림쇠퇴, 그리고 제반 산림사업에 따른 다양한 산림생태계 변화에 대한 지표로 사용될 수 있다(Fernandez *et al.*, 1995). 최근, 우리나라에 있어서 산성우의 원인물질인 황산화물이나 질소산화물의 배출량이 급속히 증가하고 있으며, 이러한 산성우 및 산성강하물이 산림생태계에 미치는 영향이 우려되고 있다. 따라서, 강우이동에 따른 양분동태에 관한 연구는 단순히 물질순환 연구의 측면에서 뿐만 아니라 지구환경 변화에 따른 산림생태계의 피해 예측을 위하여 중요하다고 할 수 있다(Marynard, 1997; Emmett *et al.*, 1998). 현재까지 국내에서는 강우 수질의 변화과정을 구명한 연구(Oh *et al.*, 1987; Lee and Kim, 1998; Joo *et al.*, 1999)는 있으나, 천연활엽수림의 물질순환을 체계

적으로 구명한 연구는 의외로 미미한 실정이다.

본 연구는 국내에 넓은 분포면적을 가지고 있는 유용 활엽수종으로 굴참나무와 신갈나무가 주종을 이루는 천연낙엽활엽수림을 대상으로 물질순환의 과정뿐만 아니라 향후 산림환경 변화를 예측하기 위한 강우의 이동에 따른 양분동태를 구명할 목적으로 실행되었다. 본 연구결과는 낙엽활엽수림의 수질정화 및 낙엽활엽수림 조성 및 이용가치 증대에 크게 기여할 것으로 기대된다.

II. 재료 및 방법

2.1. 시험지 개황

시험지는 경기도 광주지역의 경희대학교 연습림내 참나무 천연림 가운데 굴참나무(*Quercus variabilis*)와 신갈나무(*Q. mongolica*)가 우점종으로, 서로 인접한(약 30 m) 2개의 임분을 대상으로 각 임분 내에 400 m² (20 m×20 m)크기의 조사구를 설치하였다. 두 임분 모두 남동사면에 위치하고 있는데, 이들 임분은 지표면의 침식에 영향을 많이 받는 경사도 80% 이상의 급경사지에 위치하고 있다. 수관용폐도는 두 임분 모두 70%로 차이를 보이지 않았다. 조사지의 임분 개요는 Table 1과 같다.

2.2. 조사방법

조사임분 내에 수관통과우, 수간류 채취장치를 3개씩 설치하였다. 수관통과우 채취장치는, 수관에 가까운 수관부, 수관중앙부 및 수관과 수관사이 하부의 지표면에 설치하였다. 그리고, 수간류는 각 임분별 흉고직경 등급별로 상, 중, 하에 해당하는 임목을 대상으로 하였으며, 수종은 굴참나무와 신갈나무의 본수비율(약 2:1)을 고려하여 굴참나무 2본, 신갈나무 1본으로 하였다. 조사임분에 근접한 소개지에 임의우 채취장치 1개를 설치하였다. 임의우 및 수관통과우 채취장치는

Table 1. The characteristics for the study stands.

| Site | Tree species | Altitude | Aspect | Slope | Stand age | Stand density | Tree height | Average DBH | Basal area |
|------|----------------------|----------|--------|-------|-----------|---------------|-------------|-------------|----------------------|
| | | (m) | (°) | (%) | (yr) | (No./ha) | (m) | (cm) | (m ² /ha) |
| I | <i>Q. variabilis</i> | 180 | 165 | 82 | 31 | 1,425 | 18.7 | 12.1 | 20.5 |
| | <i>Q. mongolica</i> | | | | | | | | |
| II | <i>Q. variabilis</i> | 180 | 140 | 84 | 33 | 1,475 | 18.3 | 13.7 | 24.6 |
| | <i>Q. mongolica</i> | | | | | | | | |

25L 플라스틱 용기에 직경 200 mm 깔대기를 부착하여 제작하였으며, 채취장치의 깔대기에 망을 설치하여 이물질이 용기 내부로 들어가지 않게 하였다. 수간류 채취장치는 주름호스를 실리콘을 이용하여 수간에 부착한 후 PVC 호스를 통해서 185L의 플라스틱 용기에 집수되도록 제작하였다. Ao층토양수 및 A, B층토양수는 임분내 3개소에 토양단면을 작성한 후, Ao(2-3 cm), A(약 20cm), B층(약 20-70 cm) 밑에 각각 1 개씩의 zero tension lysimeter를 설치하였다.

조사기간은 2001년 3월부터 2002년 11월까지 2년간이었으며, 시료는 강우시료 채취가 어려운 결빙기를 제외하고 원칙적으로 월 2회 채취하였다. 채취한 시료는 부피를 측정하고 1차 여과를 거쳐 pH, 양이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) 및 음이온(NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-)의 농도를 측정하였다. pH 측정은 pH meter, 양이온 농도는 atomic absorption spectro-photometer 그리고 음

이온 농도는 ion chromatography를 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 수량변화

조사기간 중 강우의 이동에 따른 수량과 임외우량에 대한 비율은 Table 2와 같다. 조사기간 중의 총 강우량(임외우)은 2001년과 2002년 각각 1,305 mm, 2,586 mm였으며, 임외우량에 대한 수관통과우량의 비율은 각 임분 평균 85%이었다. 이 값은 일본 낙엽활엽수림의 수관통과우량/임외우량 비율인 60~80% (Katagiri *et al.*, 1977)에 비해 약간 높았다. 또, 임외우량에 대한 수간류량 비율은 2001년 2.2%, 2002년 6.3%로 Parker(1983)가 발표한 세계 각국 산림 평균값 12%보다 낮았다. 임외우량에 대한 Ao층 토양수량은 53~54%, A, B층 토양수량은 28~30%, 11~14%로 나타났다.

Table 2. Annual amounts of water in precipitation, throughfall, stemflow and Ao, A, B soil solutions

| Period | Site | Tree species | Precipitation | Throughfall | Stemflow | Ao | A | B |
|---------|------|----------------------|---------------|-------------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 2001.3 | I | <i>Q. variabilis</i> | 1,305(100)* | 1,001(76.7) | 25(1.9) | 731(56.0) | 364(27.9) | 149(11.4) |
| | | <i>Q. mongolica</i> | | | | | | |
| 2001.11 | II | <i>Q. variabilis</i> | 1,305(100) | 1,190(91.2) | 33(2.6) | 691(52.9) | 423(32.4) | - |
| | | <i>Q. mongolica</i> | | | | | | |
| 2002.3 | I | <i>Q. variabilis</i> | 1,456(100) | 1,172(80.5) | 91(6.3) | 787(54.1) | 372(25.7) | 233(16.0) |
| | | <i>Q. mongolica</i> | | | | | | |
| 2002.11 | II | <i>Q. variabilis</i> | 1,456(100) | 1,299(89.2) | 92(6.3) | 755(51.9) | 444(30.5) | 176(12.1) |
| | | <i>Q. mongolica</i> | | | | | | |

*The numbers in parentheses denote percentage.

Table 3. Annual nutrient concentrations of dissolved elements in precipitation, throughfall, stemflow and Ao, A and B soil solutions

| | Site | pH | Ca^{2+} | Mg^{2+} | K^+ | Na^+ | NO_3^- | SO_4^{2-} | Cl^- |
|---------------|------|-------------|------------------|------------------|--------------|---------------|-----------------|--------------------|---------------|
| | | | (meq / L) | | | | | | |
| Precipitation | I | 6.08(0.91)* | 0.062(0.011) | 0.045(0.036) | 0.042(0.020) | 0.021(0.003) | 0.076(0.064) | 0.107(0.109) | 0.031(0.027) |
| Throughfall | I | 6.36(0.86) | 0.130(0.023) | 0.083(0.070) | 0.203(0.115) | 0.026(0.006) | 0.153(0.125) | 0.168(0.214) | 0.065(0.054) |
| | II | 5.78(1.13) | 0.126(0.016) | 0.075(0.058) | 0.154(0.091) | 0.025(0.004) | 0.169(0.161) | 0.156(0.165) | 0.070(0.068) |
| Stemflow | I | 5.65(0.51) | 0.126(0.017) | 0.150(0.174) | 0.226(0.099) | 0.026(0.004) | 0.162(0.189) | 0.187(0.254) | 0.095(0.121) |
| | II | 5.81(0.44) | 0.221(0.334) | 0.104(0.105) | 0.156(0.097) | 0.026(0.004) | 0.116(0.153) | 0.191(0.274) | 0.064(0.073) |
| Ao | I | 6.13(0.69) | 0.440(0.071) | 0.143(0.077) | 0.123(0.092) | 0.026(0.003) | 0.186(0.221) | 0.158(0.151) | 0.077(0.095) |
| | II | 6.36(0.45) | 0.535(0.122) | 0.188(0.102) | 0.141(0.078) | 0.026(0.003) | 0.183(0.191) | 0.177(0.164) | 0.067(0.057) |
| A | I | 6.25(0.49) | 0.129(0.009) | 0.076(0.028) | 0.072(0.034) | 0.026(0.003) | 0.043(0.039) | 0.094(0.035) | 0.044(0.022) |
| | II | 5.65(0.94) | 0.125(0.011) | 0.110(0.078) | 0.129(0.069) | 0.026(0.004) | 0.304(0.365) | 0.143(0.071) | 0.071(0.034) |
| B | I | 5.87(0.38) | 0.063(0.004) | 0.109(0.141) | 0.075(0.039) | 0.026(0.004) | 0.028(0.020) | 0.126(0.030) | 0.023(0.010) |
| | II | 5.28(0.43) | 0.065(0.002) | 0.055(0.026) | 0.078(0.027) | 0.027(0.002) | 0.120(0.105) | 0.145(0.046) | 0.050(0.027) |

*Values in the parentheses are standard deviation of the means

3.2. 평균이온농도

조사기간 중 강우의 이동에 따른 평균 이온농도는 Table 3과 같다. 수관통과우 pH는 임외우 pH에 비하여 높은 값을 나타내었는데, 이는 산을 중화하는 건성 침착물의 용존, 엽표면에 존재하는 양이온과 H⁺과의 교환, 수체로부터 용출한 수용성유기물에 의한 H⁺의 소비에 기인한 결과라 생각된다(Madrappa, 1990; Cappelato *et al.*, 1993). 이러한 결과는, 활엽수가 침엽수에 비하여 산성물질에 대한 중화기능이 크다는 연구보고(Parker, 1990; Aron and Lund, 1994)와 일치

하였다.

양 임분에서 임외우는 다른 강우단계에 비해서 모든 원소에서 낮은 이온농도를 나타냈다. 수관통과우에서 임외우에 비하여 현저하게 높은 농도를 나타낸 원소는 K⁺(4~5배), 그 다음으로 NO₃⁻, Ca²⁺, Mg²⁺(2배) 순이었으며, SO₄²⁻가 1.5배 증가하였으나 Na⁺은 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다. 수간류의 pH는 임외우에 비하여 낮은 값을 보이고 있었으나, 양이온 농도는 2~5 배로 그 중 K⁺, Mg²⁺이 가장 높았으며, 음이온 농도는 1.5~2배로 Cl⁻이 가장 높은 값을 나타내었다.

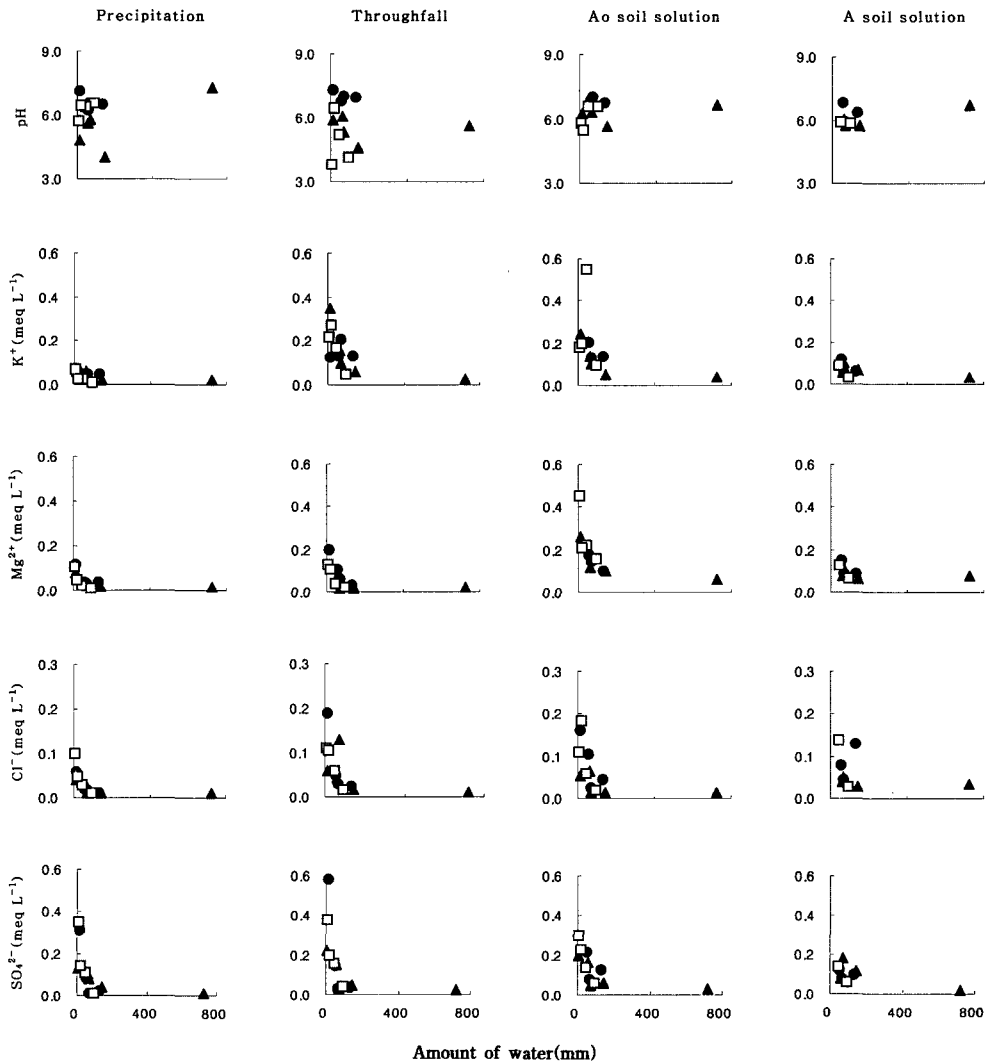


Fig. 1. Relationships between the amount of water and pH, K⁺, Mg²⁺, Cl⁻ and SO₄²⁻ concentrations in precipitation, throughfall and Ao, A and B soil solution in each season.

● : March, April and May ▲ : June, July and August □ : September, October and November

Ao층 토양수는 수관통과수에 비하여 Ca^{2+} , Mg^{2+} 농도가 크게 증가하였으나, 다른 이온 농도에서는 수관통과수와의 차이가 나타나지 않았다. 이와 같이, K^+ 가 수관통과수, Ca^{2+} 이 낙엽·낙지에 의해 임상으로 환원되는 비율이 높은 경향은 많은 연구에서 밝혀지고 있으며(Haibara and Aiba, 1982; Parker, 1983), 본 연구에 있어서도 K^+ 는 수관으로부터, Ca^{2+} 은 낙엽·낙지의 분해에 의해 Ao층으로부터 용탈되고 있음을 알 수 있었다. 또한, Mg^{2+} 농도는 Ca^{2+} 농도와 비슷한 경향을 보였다. A, B층 토양수의 pH는 Ao층 토양수에 비해 낮아지는 경향을 보였는데, 이는 토양중의 질산화 작용으로 인하여 생성된 H^+ 농도의 증가에 의한 결과로 생각된다. 또한, 토양수의 양이온에서는 Ca^{2+} , K^+ , 음이온에서는 SO_4^{2-} , Cl^- 농도에서 감소하는 경향을 나타내었다.

3.3. 강우유입량에 따른 농도변화

강우유입량에 대한 pH, 양이온, 음이온 농도의 계절적 변화를 나타내면 Fig. 1과 같다. pH는 개엽기인 4, 5월이 다른 시기에 비하여 높은 값을 나타내는 것 이외에 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 양이온 K^+ , Mg^{2+} 과 음이온 Cl^- , SO_4^{2-} 등의 이온농도에서는 단계별 강우유입량이 증가할수록 이온농도가 감소하는 경향이 나타났다. 이러한 경향은 수량 100 mm를 기준으로 하여 100 mm미만에서는 이온농도가 증가하고, 100 mm이상에서는 일정 농도를 유지하는 것으로 나타났는데 이것은 강우유입량의 증가에 따른 이온농도의 희석 작용과 수관 및 Ao층에서의 용탈 및 세탈 등에 의한 물질 공급의 차이에 따른 영향에 기인하는 것이라 생각된다. Cl^- 은 농도의 계절적 변화에서 K^+ 및 Mg^{2+}

과 유사한 경향을 나타내는데, 이는 용탈에 의해 토양수로 유입되는 K^+ 및 Mg^{2+} 과 Cl^- 의 유사한 경향을 통해 이들 이온의 이동에서 Cl^- 가 중요한 역할을 하는 것으로 보인다. Margues와 Ranger(1997)는 Cl^- 가 수관통과수, Ao층 토양수에서 양이온과 같이 이동하는 것으로 보고 하였는데, 본 연구 결과도 이와 일치하는 것으로 보아 이는 세포내에서 K^+ 과 Cl^- 의 존재형태가 같아 함께 용탈되어 나타난 결과(Eaton *et al.*, 1973)라 판단된다.

3.4. 연간 양분량 변화

강우 이동에 따른 연간 양분량 변화는 Fig. 2와 같다. 일반적으로 모든 용존원소에 있어서 강우의 이동 과정을 통해 수관통과수, Ao층 토양수에서 양분량이 증가한 반면, A층, B층 토양수로 토심이 깊어짐에 따라 양분량이 감소하는 경향이 나타났다. 임외우에서 수관통과수까지의 단계에서는 양이온에서 K^+ , Mg^{2+} , 음이온에서는 NO_3^- , Cl^- 농도가 가장 두드러지는 증가 경향을 나타냈는데, 이는 수관통과수에서 수관으로부터의 용탈과 세탈에 의한 결과로 판단된다. 한편, 타 이온 양분량의 증가가 수관통과수 이후 단계에서 감소 추세를 보이는데 반해 Ca^{2+} 의 경우 Ao층 토양수에서도 2배 가까운 양분량의 증가를 보였다. 이는 전술한 바와 같이 Ao층에 있어서의 미생물에 의한 낙엽·낙지의 분해 및 용탈로 인한 Ca^{2+} 농도의 현저한 증가와 토양광물질 층에 있어서 식생에 의한 양분 흡수, 토양 콜로이드의 흡착 및 수량 감소 등의 복합적인 작용에 기인한 결과로 생각된다.

수관류에서의 물질량은 유입수량 자체가 적은 B층 토양수를 제외한 다른 강우에 비해 눈에 띄게 적은

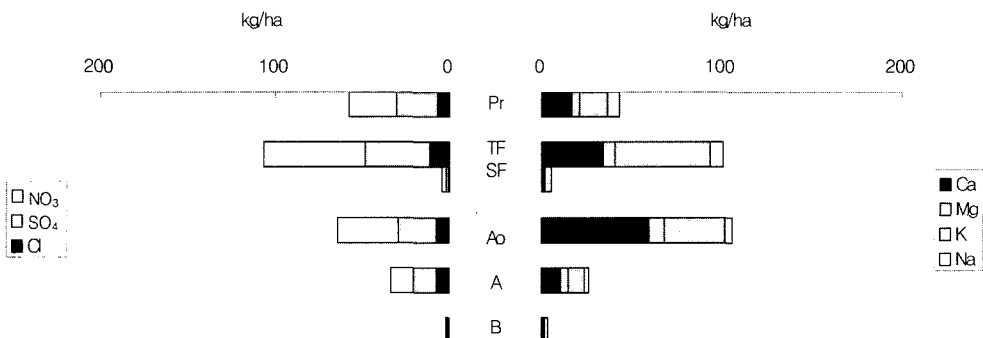


Fig. 2. Annual nutrient amounts in precipitation, throughfall, stemflow and Ao, A and B soil solutions (Pr : precipitation, TF : throughfall, SF : stemflow, Ao : Ao soil solution, A : A soli solution and B : B soil solution).

양을 나타냈는데, 이는 수간류의 수량(임외우량의 2~6%)이 다른 단계에 비하여 현저히 적었기 때문이라고 판단된다. 수간류량이 증가하면 수간류의 이온농도가 감소하는 경향(Gao *et al.*, 2001)으로 볼 때, 강우유입수량의 증가로 수간류량이 증가하여도 양분량에서는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 추정된다.

IV. 적 요

본 연구에서는 경기도 광주지역 낙엽활엽수림(굴참나무, 신갈나무)에서의 강우의 이동에 따른 수량, 용존이온 농도 및 물질량 등을 조사하였다. 임외우량에 대한 수관 통과수량, 수간류량의 비율은 각각 85%, 2~6%로 이는 세계 각국 산림의 평균치와 비교하여 수관통과수량은 높으며, 수간류는 낮았다. 임외우량에 대한 A층 통과량은 53~54%를 A층, B층 토양수는 23~30%, 11~14%를 나타냈다. 임외우에 비해서 단계별 강우의 이동에 따라 pH 및 이온농도가 증가하였는데, 수관통과우에서 pH 및 K⁺, 수간류에서 K⁺, A층 토양수에서 Ca²⁺, Mg²⁺농도가 현저하게 증가하였으며 pH도 증가하였다. A층과 B층 토양수에서는 Ca²⁺농도가 감소한 것을 제외하고는 뚜렷한 경향이 나타나지 않았다. 이와 같이, K⁺의 증가는 주로 수관으로부터의 용탈에 의해서, Ca²⁺, Mg²⁺ 등의 농도증가는 A층에 있어서 낙엽과 낙지의 분해 및 용탈에 기인하는 것으로 판단된다. K⁺, Mg²⁺, Cl⁻는 수량 증가에 따라 이온농도가 감소하는 경향을 보였는데 이는 100 mm 미만에서 뚜렷하였다. 연간 양분량은 모든 원소에 있어서 임외우로부터 수관통과우, A층 토양수로 이동하는 과정에서 증가하였으나 A층, B층 토양수로 이동하는 과정에서는 감소하는 경향을 보였다. 수간류의 연간 유입 양분량은 입상으로 도달하는 전체 양분량(수관통과우+수간류)의 10% 미만으로 그 영향은 매우 적었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 “특정기초연구(과제번호 : R01-2000-000-00206-0)”의 지원에 의해 수행되었다.

인용문헌

Aron, D. B. and L. J. Lund, 1994: Factors controlling

throughfall characteristics of high elevation Sierra Nevada site, California. *Journal of Environmental Quality* **23**, 844-850.

Bellot, J. and A. Escarre, 1991: Chemical characteristics and temporal variations of nutrients in throughfall and stemflow of tree species in Mediterranean holm oak forest. *Forest Ecology and Management* **41**, 125-135.

Cappelato, R., N. E. Peters, and H. L. Ragsdale, 1993: Acidic atmospheric deposition and canopy interaction of adjacent deciduous and coniferous forests in the Georgia Piedmont. *Canadian Journal of Forest Research* **23**, 1114-1124.

Eaton, J. S., G. E. Likens, and F. H. Bormann, 1973: Throughfall and stemflow chemistry in a northern hardwoods forest. *Journal of Ecology* **61**, 495-508.

Emmett, B. A., B. Reynold, M. Silgram, T. H. Sparks, and C. Woods, 1998: The consequences of chronic nitrogen additions on N cycling and soil water chemistry in a sitka spruce stand, north Wales. *Forest Ecology and Management* **101**, 165-175.

Fernandez, I. J., G. B. Lawrence, and Y. Son, 1995: Soil-solution chemistry in a low-elevation spruce-fir ecosystem, Howland, Maine. *Water, Air and Soil Pollutio* **84**, 129-145.

Gao, H., H. Toda, and K. Haibara, 2001: Element amounts of throughfall, stemflow and Ao-percolation in a deciduous broad-leaved forest dominated by Mizunara Oak (*Quercus mongolica* var. *grosseserrata*). *Forest Resources and Environment* **39**, 19-30.

Haibara, K. and Y. Aiba, 1982: The nutrient circulation and budget for a small catchment basin of an established Sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) and Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* S. et Z.). *Journal of Japanese Forestry Society* **64**, 8-14.

Helmissari, H. S. and E. Malkonen, 1989: Acidity and nutrient content of throughfall and soil leachate in three *Pinus sylvestris* stand. *Scandinavian Journal of Forest Research* **4**, 13-28.

Jeong, Y., J. H. Park, K. H. Kim, and B. Lee, 1999: Influence of forest management on the facility of purifying water quality in *Abies holophylla* and *Pinus koraiensis* watershed. *Journal of Korean Forestry Society* **88**, 364-373. (in Korean with English abstract)

Joo, Y. T., H. O. Jin, Y. H. Son, J. M. Oh, and D.Y. Jung, 1999: The effect of the intraction between precipitation and tree species on the chemical properties of throughfall and stemflow. *Journal of Korean Forestry Society* **88**, 149-156. (in Korean with English abstract)

Katagiri, S. and T. Tsutumi, 1975: The relationship between site condition and circulation of nutrients in forest ecosystem(III) Above ground biomass and nutrient contents of stands. *Journal of Japanese Forestry Society* **57**, 412-419.

Katagiri, S., H. Ishii, N. Miyake, Y. Hoshino, and N.

- Mesaki, 1977: Studies on mineral cycling in a deciduous broad-leaved forest at Sanbe Forest of Shimane University(V): Rain fall and its nutrients in a forest. *Bulletin of Faculty of Agriculture, Shimane University* **11**, 73-80.
- Lee, C. K. and J. K. Kim, 1998: Studies on the relation of heavy metals between rainfall and soil in the forest. *Journal of Korean Forestry Society* **87**, 584-589. (in Korean with English abstract)
- Lee, H. H. and J. H. Jun, 1996: Water quality variations of pH, electrical conductivity and dissolved oxygen in forest hydrological processes. *Journal of Korean Forestry Society* **85**, 634-646. (in Korean with English abstract)
- Likens, G. E. and F. H. Bormann, 1994: *Biogeochemistry of Forested Ecosystem* (2nd ed.). Springer-Verlag, 159pp.
- Madrappa, M. K., 1990: Partitioning for rain water and chemicals into throughfall and stemflow in different forest stands. *Forest Ecology and Management* **30**, 65-72.
- Marynard, D. G., 1997: Soil nutrient dynamics in a boreal mixedwood cutover following the application of hexazone. *Ecological Applications* **7**, 416-430.
- Oh, J. H., Y. K. Kim, J. S. Chae, and C. K. Yi, 1987: Studies on the changes of pH and chemical composition of throughfall and stemflow under coniferous, deciduous forest stands due to acid in precipitation. *Research Reports of Forestry Research Institute* **34**, 159-195. (in Korean with English abstract)
- Parker, G. G., 1983: Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. *Advances in Ecological Research* **13**, 57-120.
- Parker, G. G., 1990: Evaluation of dry deposition pollutant damage and forest health with throughfall studies. *Mechanisms of forest responses to acidic deposition* Springer-Verlag, New York, 10-61.
- Sengoku, T., M. Hara, T. Morisawa and K. Ishizuka, 1994: Observation of acid rain at subalpine coniferous on Mt. Ontake. *Japanese Journal of Forest Environment* **36**, 64-72.
- Takahashi, T., M. Soeya and H. Toda, 1996. The characteristics of vertical movements of elements in artificially established Japanese cedar and Japanese cypress stands. *Journal of Japanese Forestry Society* **78**, 127-133.