

강원도 중왕산 지역 낙엽활엽수림과 낙엽송 조림지에서 수관통과우와 수간류 및 낙엽낙지에 의한 양분 유입의 차이

정문호¹ · 이돈구¹ · 엄태원²

¹서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부, ²상지대학교 생명자원과학대학 산림과학과

Differences of Nutrient Input by Throughfall, Stemflow and Litterfall between Deciduous Forest and *Larix kaempferi* Plantation in Mt. Joonwang, Kangwon-do

Mun-Ho Jung^{1,*}, Don-Koo Lee¹, and Tae-Won Um²

¹Department of Forest Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Korea

²Department of Forest Sciences, College of Life Science & Natural Resources, Sangji University, Korea

The objectives of this study were to compare nutrient input by throughfall, stemflow and litterfall and concentration of nutrient in soil water between deciduous forest stand and *Larix kaempferi* plantation at Mt. Joongwang, Pyongchang-gun, Gangwon-do. The amount of rainfall interception during study period in deciduous forest stand and *L. kaempferi* plantation was 12% and 36%, respectively. Concentrations of cation (Na^+ , Mg^{2+} , K^+ and Ca^{2+}) in throughfall were not different, while concentration of Cl^- in stemflow was higher in *L. kaempferi* plantation. The results indicated that annual nutrient inputs by rainfall with the exception of Cl^- were significantly greater in deciduous forest stand. In soil water, concentrations of anion (Cl^- , NO_3^- and SO_4^{2-}) in A-layer, and Ca^{2+} and Cl^- in B-layer were higher in *L. kaempferi* plantation. Litterfall input during study period was 2,589 kg ha^{-1} in deciduous forest stand and 1,046 kg ha^{-1} in *L. kaempferi* plantation. Concentration of N was higher in *L. kaempferi* plantation, while N input from litterfall was greater in the deciduous forest stand (36.81 $\text{kg ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$) than *L. kaempferi* plantation (16.16 $\text{kg ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$). Na^+ , Mg^{2+} , K^+ and Ca^{2+} in litterfall collected from deciduous forest stand were found to be higher than those from the *L. kaempferi* plantation. Also, input of those were greater in deciduous forest stand. Thus, total nutrient input by throughfall, stemflow and litterfall was greater in deciduous forest stand than *L. kaempferi* plantation, significantly.

Key words : Nutrient input, Soil water, Deciduous forest, *Larix kaempferi* plantation

서 론

최근 산림이 가지는 다양한 공익적 기능과 환경보전 및 사회에 대한 산림의 역할과 활용의 수요가 높아짐에 따라, 산림의 지속 가능성을 유지하고 복원력을 훼손하지 않도록 산림을 관리하는 생태적인 산림관리 방안의 필요성이 대두 되었다 (Lee, 1996; Toman and Ashton, 1996). 이를 위해서는 산림생태계를 생태적으로 안정하고 건전한 산림구조로 이끌어 가는 기술 등이 확립되어야 하며, 산림의 생리·생태적 특성, 생산구조, 입지, 임상 및 생산성 등에 대한 보다 정확한 자료수집과 더불어, 임분의 생산성에 영향을 미치

는 물질순환에 대한 보다 깊은 연구가 필요하다.

산림생태계는 물질순환의 일환인 양분유입을 통해 산림생태계 내 물질 생산량을 축적시키고 산림생태계를 안정적으로 유지한다 (Chang, 2001). 산림생태계의 양분유입 경로는 크게 강우에 의한 유입과, 낙엽낙지에 의한 유입으로 구분할 수 있다. 강우는 생태계 외부로부터 내부로 유입된 후, 다양한 경로를 거쳐 토양으로 이동하는데, 일부는 수관층에서 가지와 수피, 잎 등과 접촉한 후 수관통과우의 형태로, 일부는 나무줄기를 따라 수간류의 형태로 유입되며, 수관과 수간은 토양으로 유입되는 물질을 조절하는 역할을 한다 (Matzner and Meiwes, 1994; Roberston et al., 2000; Shibata and Sakuma, 1996). 낙엽낙지에 의한 양분 유입은 산림생태계 내 양분의 자체순환 기능을 하는데, 여러 토양 생물 및 미생물에 필요한 에너지와 양

접수 : 2006. 11. 7 수리 : 2007. 1. 5

*연락처 : Phone: +82028804760,

E-mail: jungmh2@hanmail.net

분을 공급하고, 산림토양의 물리적, 화학적 성질 변화에도 큰 영향을 미쳐 (Kim et al., 1997), 수목의 생장이나 생산성을 조절하는 역할을 한다 (Albrektson, 1988; Kavvadias, 2001). 따라서 양분유입에 대한 정보는 궁극적으로 생태적으로 안정하며 지속가능한 산림관리를 하기 위해 필요하며, 또한 산림쇠퇴나 양분의 용탈 등으로 인한 조림 실패지의 복구나 훼손된 산림지역을 복원하는데도 활용 될 수 있다.

2005년 현재, 우리나라의 산림은 6,393,949 ha로, 침엽수림이 2,698,574 ha (41.7%), 활엽수림이 1,659,128 ha (25.9%)를 차지하고 있어(Korea Forest Service, 2006), 지난 20년 동안 침엽수림은 486,971 ha가 감소하였는데 비해, 활엽수림은 512,411 ha가 증가하였는데, 이러한 경향은 앞으로도 계속될 것으로 전망된다. 따라서 우리나라 산림생태계의 관리를 위한 양분유입에 대한 연구는 침엽수림과 활엽수림에서의 양분유입이 어떠한 차이를 보이는 가를 밝혀 조림 및 산림관리가 침엽수림 위주에서 활엽수림 위주로 전환하였을 때, 산림의 양분유입에 미칠 수 있는 영향을 규명해야 할 것으로 생각된다.

본 연구는 강원도 평창군에 위치한 중왕산 지역을 대상으로 활엽수림의 60%를 차지하는 낙엽활엽수림과 침엽수림의 35.1%를 차지하는 낙엽송 조림지를 비교하여 두 임분 간 수관통과우, 수간류 및 낙엽낙지에 의한 양분의 유입량이 차이를 보이는 지를 알아보고자 한다.

재료 및 방법

연구 대상지 본 연구는 강원도 평창군 진부면과 대화면, 그리고 정선군 경계에 위치하고 있는 중왕산 지역에서 수행되었다(Fig. 1). 대상 임분의 특성을 Table 1에 나타냈다. 두 임분 모두 북사면이며, 해발고도는 각각 1,100 m와 1,070 m에 위치하고 있다. 낙엽활엽수림은 신갈나무(*Quercus mongolica*), 거제수나무(*Betula costata*), 음나무(*Kalopanax septemlobus*) 등이 우점하고 있으며, 낙엽송 조림지는 1972년에 조림되었다. 이곳에 30 m × 30 m 크기의 조사구를 각각 2개씩 2002년도 4월에 설치하고, 수관통과우, 수간류, 토양수 및 낙엽낙지 채취장치를 설치하였다.

조사구가 위치한 지역의 기온과 습도를 측정하기 위해 낙엽송 조림지와 낙엽활엽수림 부근에 기상관측

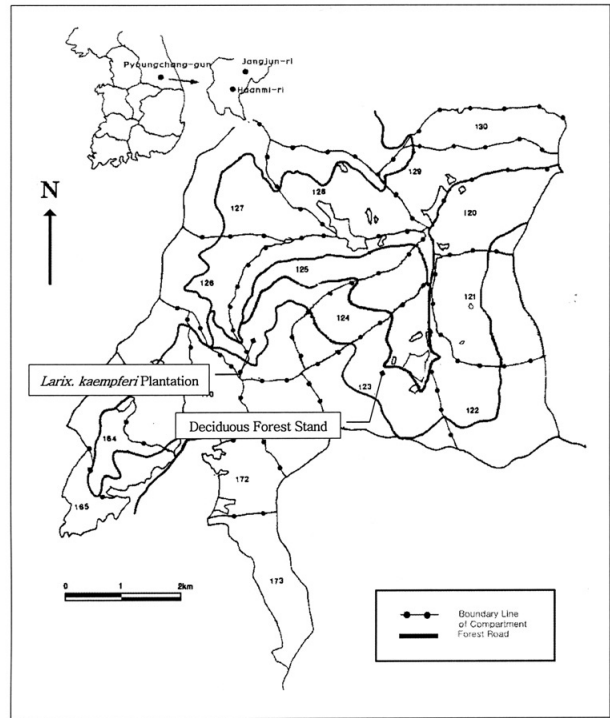


Fig. 1. Location of study sites at Mt. Joongwang, Gangwon-do.

장치 (CR10X, Campbell Scientific, Inc.)를 설치하고 매년 조사가 끝나는 11월 말에 관측자료를 수집하였다. 조사대상지인 중왕산 지역의 3년간 월평균 기온은 -8.1~19.4°C, 습도는 52.8~91.9%로 Fig. 2와 같으며, 기후대는 온대 중부 및 북부에 속한다 (Korea Forest

Table 1. Characteristics of study sites in deciduous mixed forest and *Larix kaempferi* plantation.

Site	Deciduous	<i>Larix kaempferi</i>
Altitude (m)	1,100	1,070
Direction	N45°E	N10°W
Slope (°)	28°	15°
Topography	Ridgeline Slope	Ridgeline Slope
Stand age (yr)	70~80	30
Major Species	<i>Quercus mongolica</i> <i>Betula costata</i> <i>Ulmus japonica</i> <i>Acer trifolium</i> <i>Kalopanax septemlobus</i>	<i>Larix kaempferi</i>
Number of tree (trees ha ⁻¹)	988	778
Total Basal Area (m ² ha ⁻¹)	19.2	19.5
Litter layer depth (cm)	6.7	13.4
Soil A-layer depth (cm)	15.5	32.4

Table 2. Soil chemical properties(Kim, 2006).

	C/N ratio	pH	CEC (mol g ⁻¹)	Na (μg g ⁻¹)	Mg (μg g ⁻¹)	K (μg g ⁻¹)	Ca (μg g ⁻¹)
Deciduous	11.00	5.65	2.1	4.5	232.8	105.8	2074.3
<i>L. kaempferi</i>	11.83	5.34	1.9	3	102.7	102.9	1204.9

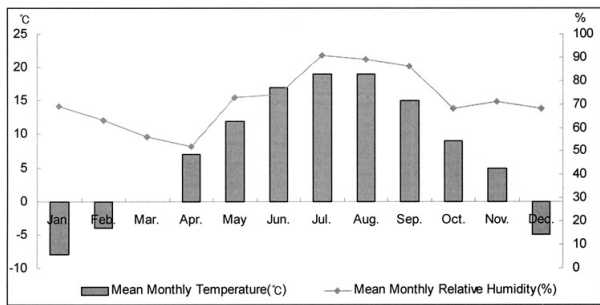


Fig. 2. Climate diagram of study site.

Service, 1999).

시료 채취 및 분석 임외강우와 수관통과우, 수간류 및 토양수의 채취는 2002년 6월부터 2004년 10월까지 매월 1일과 15일 경에 실시하였다 (Fig. 3). 임외강우는 연구 대상 임분과 인접한 개별작업지, 임도 등 5곳에서 채취하였다. 임외강우 채취를 위하여 직경 217 mm의 깔때기를 부착한 집수통을 설치하고, 임외강우 시료 채집 시 전체 강우량을 조사한 뒤, 플라스틱 시료채취통에 시료를 채집하였다. 수관통과우는 각 조사구마다 임외강우와 동일한 집수통을 6개씩 무작위로 설치하여 수관통과우량을 측정하고, 시료를 채취하였다. 수간류 조사를 위해, 대상 임분에서 평균목 6본을 선정하였다. 평균목 선정은 조사구내 모든 임목의 흉고직경을 조사한 다음, 평균흉고직경을 기준으로, 천연활엽수 임분에서는 신갈나무 (*Q. mongolica*), 거제수나무 (*B. costata*), 층층나무 (*Corunus controversa*), 난티나무 (*Ulmus laciniata*), 고로쇠나무 (*Acer pictum*), 물푸레나무 (*Fraxinus rhyncophyla*), 음나무 (*K. septemlobus*)을 선정하였으며, 흉고직경이 각 24 cm~35 cm, 평균수고는 22 m였다. 낙엽송 조림지에서 대상목의 평균 흉고직경은 24 cm, 평균 수고는 19 m였다. 선정목마다 1.2~1.5 m 높이에서 수간의 수피를 약간 벗겨낸 후, 그 부위를 실리콘 왁스로 도포하고, 폭 20 cm의 코팅된 양철판을 나선형으로 수간에 부착한 후 부착된 양철판과 수피 사이에 실리콘 왁스를 다시 도포하고, 양철판 아래쪽에 고무호스를 부착하여 물통에 연결하였다. 토양수 채취는 Tension Lysimeter (Soil Solution Access Tubes, IRROMETER)를 이용하였다. Tension Lysimeter는 조사구마다 무작위로 토양 층위별 (A, B 층)로 5반복으로 설치하였으며, 채취 시 Vacuum pump를 이용하여 Tension Lysimeter 내부와 외부의 압력차를 이용하여 채취하였다. 임상에 유입되는 낙엽과 낙지의 채취를 위해 각 조사구마다 5개의 낙엽낙지 채취장치 (채취면적 1 m²)를 설치하였다. 낙엽낙지의 채취는 낙엽낙지량이 많은 9월부터 11월까지

월 1회 실시하였다. 낙엽낙지량의 측정을 위해 채취한 낙엽낙지를 건조기를 이용하여 85°C에서 48시간 이상 말린 후 건조량을 측정하고 평균을 구한 다음, 이를 다시 ha단위로 환산하였다. 양분유입량은 다음과 같이 계산하였다. 각 수관통과우와 수간류, 낙엽낙지 시료의 유입량과 시료 내 양분농도를 곱한 다음, 평균을 구하여 조사구 내 유입량을 계산한 다음, 이를 다시 ha단위로 환산하였다.

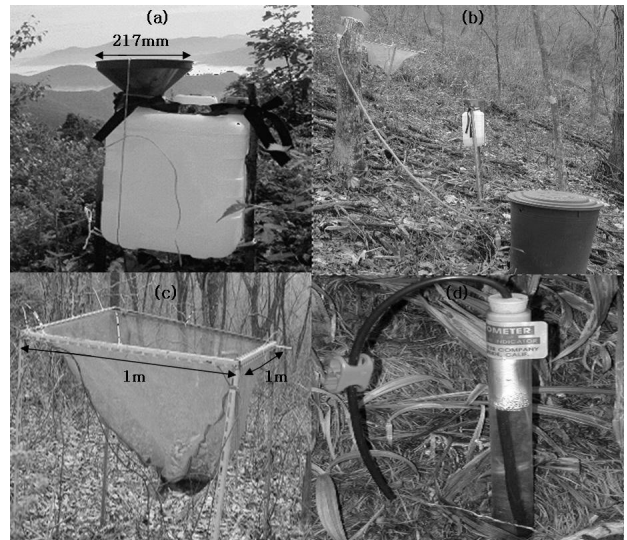


Fig. 3. Sample collectors (a : precipitation, b : throughfall and stemflow, c : litterfall, d : soil water).

채취한 강우 및 토양수 시료의 분석을 위해 여과지 (pore size 0.42 μm)로 여과 처리하였으며, 이온 분석 전까지 냉장고(4°C)에서 보관하였다. 화학성분은 양이온 (Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺)과 음이온 (Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻)을 분석하였다. 양이온 분석은 ICP (Inductively coupled plasma spectrometer, ICPS 100-IV, Shimadzu, Japan)를, 음이온은 IC (Ion Chromatography, DX-120, DIONEX)를 사용하여 분석하였다. 낙엽낙지의 화학성분 분석을 위해 채취한 낙엽낙지를 분말로 만들어 N과 양이온(Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺)을 분석하였다. 양이온 분석은 ICP (Inductively coupled plasma spectrometer, ICPS 100-IV, Shimadzu, Japan)를 이용하였으며, N은 습식 분해한 후, 자동분해/적정장치 (Tecator, Kjeltac, USA)를 이용하여 분석하였다. 임분의 양분유입량은 각 강우시료의 양분농도에 강우량을 곱한 다음, 이를 평균내서 조사구의 양분유입량을 계산하였고, 다시 이를 ha단위로 환산하였다.

임외강우와 임분별 수관통과우, 수간류의 유입량 및 양이온과 음이온의 농도를 비교하기 위해 Duncan의 다중 검정을 실시하였으며, 토양수 A층과 B층의 양이온과 음이온의 농도 및 임분별 낙엽에 의한 양분

유입량의 차이를 알아보기 위해 T-test를 실시하였다. 모든 분석에 SAS 8.0 프로그램을 이용하였다.

결과 및 고찰

강우차단손실 낙엽활엽수림과 낙엽송 조림지 내 입내강우량(수관통과우+수간류)과 입외강우량의 관계를 직선회귀식을 통하여 Fig. 4에 각각 나타냈다. 연구기간 동안 입외강우량은 연평균 1,653 mm였으며, 각 입분에 조사 기간동안 유입된 연평균 강우량은 낙엽송 조림지에서는 입외강우량의 64% (1,094 mm)가, 낙엽활엽수림에서는 88% (1,463 mm)가 유입되었다. 이 회귀식에서 직선의 기울기는 강우가 수관층에서 차단된 양을 뜻하며, 기울기가 클수록 차단량은 감소한다. 차단 손실률은 낙엽송 조림지에서 36%, 낙엽활엽수림에서 12%로, 낙엽송 조림지에서의 차단율이 더 높았으며, Duncan의 다중 검정에서 5%이내에서 유의성을 보였다 (Fig. 5). 본 연구의 결과는 Thurow et al. (1987)과 Kim (1993)이 활엽수 입분에서 강우 유입량이 침엽수 입분보다 많다고 보고한 것과도 일치하는 결과로, 낙엽송 조림지의 입분밀도가 낙엽활엽수림보다 더 낮았음에도 불구하고 차단율이 높은 것은 일반적으로 침엽수의 엽면적 지수가 활엽수보다 높고 (Harding et al., 1992), 수분의 계면장력이 활엽수보다 침엽수에서 더 높다는 특징 때문인 것으로 생각된다 (Thurow et al., 1987). 한편 입분을 구성하는 수중에 따른 강우차단율에 대해 여러 연구가 진행되었다. Woo (1993)가 서울대학교 농생대 남부 연습림에서 연구한 바에 의하면, 소나무림과 테다소나무림에서의 강우차단율이 각각 27%와 24.3%였으며, Toba and Ohta (2005)는 시베리아의 larch 입분과 red pine 입분에서 각각 29%, 36%라고 보고한 바 있다 (Table 6). 이와 비교해 볼 때 본 연구에서 낙엽송 조림지에서의 강우차단율은 비교적 높은 것으로 생각된다.

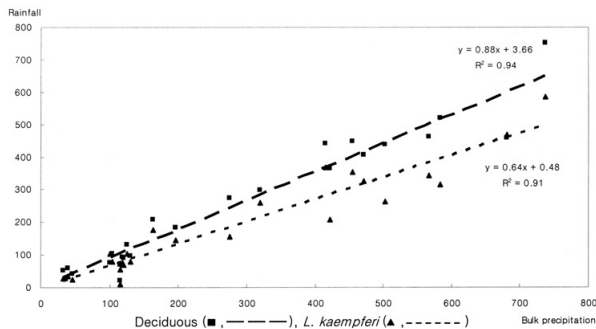


Fig. 4. Relationship between total rainfall(throughfall+stemflow) within forest and precipitation.

수관통과우 및 수간류 유입량 낙엽활엽수림과 낙엽송 조림지의 수관통과우량과 수간류량을 Fig. 5에 나타냈다. 두 입분 모두 수관통과우와 수간류의 유입 형태는 입외강우와 비슷하여 7, 8월에 유입량이 많았으며, 10월에 적었다. 수관통과우의 연간 유입량은 낙엽송 조림지에서 1,165 mm, 낙엽활엽수림에서 1,391 mm로 낙엽송 조림지에서 더 적은 양이 유입되었다. Harding et al. (1992)이나 Kim (1993)은 침엽수림보다 활엽수림에서 수관통과우량이 더 많다고 하였는데 이는 엽면적 차이에 의한 것으로 일반적으로 침엽수의 엽면적이 활엽수보다 넓기 때문에 수관층에서의 강우 차단효과가 더 큰 것으로 알려졌다 (Harding et al., 1992; Joo, 1999). 한편, 수간류의 경우, 낙엽활엽수림에서는 4.9 mm, 낙엽송 조림지에서는 4.6 mm가 유입되었으며, 수관통과우와 수간류 모두 Duncan의 다중 검정에서 5%이내에서 유의성을 보였다. Lee et al. (1997)은 경기도 광주지방에서 진행한 연구를 통해, 참나무림에서의 수간류량이 잣나무림이나 낙엽송림보다 많다고 하였는데, 이는 활엽수와 침엽수의 수형의 차이에 기인한 것으로, 활엽수는 가지가 위를 뻗어 있는 깔대기형을 이루고 있으나, 침엽수의 경우는 뾰족한 우산형을 이루고 있기 때문인 것으로 생각된다 (Joo, 1999; Lee et al., 1997; Otto, 1992).

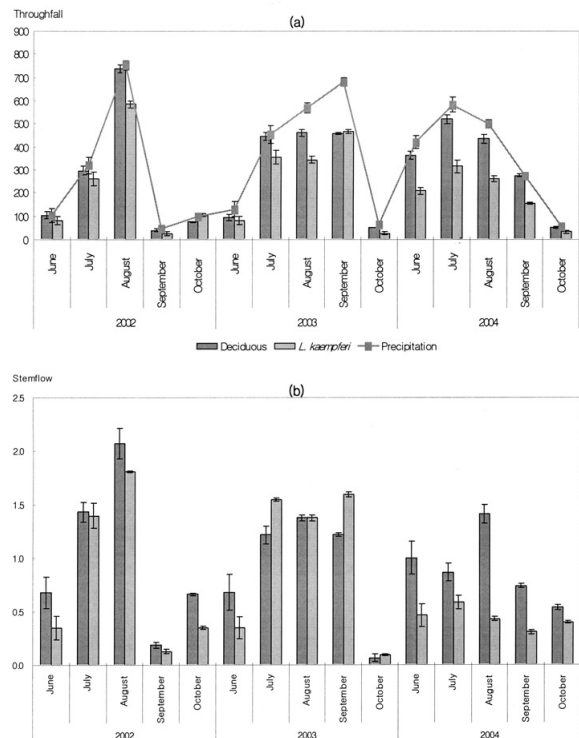


Fig. 5. Seasonal changes in throughfall (a) and stemflow (b) (unit : mm).

수관통과우 및 수간류에 의한 양분 유입 수관통과우와 수간류 내 양이온과 음이온의 농도를 Table 2에 나타냈다. 낙엽송 조림지와 낙엽활엽수림 모두 임외강우에 비해 수관통과우와 수간류 내 이온 농도가 증가하였다. 이는, 임외강우가 임분에 유입되면서 수관을 통과함에 따라 잎과 가지, 수피 등에 부착되어 있는 건조침착물을 세척하고 이온을 용탈시기 때문인 것으로 생각된다 (Cappelato et al., 1993). 임분별로 보면, 수관통과우의 경우, 양이온인 Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} 은 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 음이온인 Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} 이온 농도는 낙엽송 조림지에서 7.29 mg L^{-1} , 2.00 mg L^{-1} , 6.61 mg L^{-1} , 낙엽활엽수림에서는 5.48 mg L^{-1} , 1.99 mg L^{-1} , 6.32 mg L^{-1} 으로 낙엽송 조림지에서 더 높았다. Park et al. (1999)에 따르면 K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} 은 주 유입원이 대기로부터보다는 토양의 풍화에 의해서라고 하였는데, 본 연구의 결과도 이에 따른 것으로 생각된다. 수간류에서는 C^- 이온의 농도가 낙엽송 조림지에서 7.14 mg L^{-1} , 낙엽활엽수림에서는 4.97 mg L^{-1} 로 낙엽송 조림지에서 높은 농도를 보였다. You et al. (2002)이 연구한 결과에 의하면 활엽수림과 침엽수림에서 수관통과우와 수간류의 이온 농도를 비교한 결과, K^+ 이온을 제외한 모든 이온이 침엽수 임분에서 1.5~3배 이상 높은 값을 보였다. 이에 대해 Houle et al. (1999)이나 Robertson et al. (2000)은 침엽수의 엽면적이 활엽수 보다 넓어 강하물의 흡착능력이 높기 때문에 임내강우의 이온농도가 활엽수 임분보다 침엽수 임분에서 높다고 하였다.

임내강우를 통해 임내로 유입되는 양분량을 Table 3에 나타냈다. Cl^- 이온을 제외한 다른 이온들은 낙엽송 조림지보다 낙엽활엽수림에서 더 많았다. 특히,

NO_3^- 과 SO_4^{2-} 이온의 경우, 농도는 낙엽송 조림지에서 높았으나, 전체 유입량은 적었다. 임내강우로 유입되는 양분량은 크게 임내강우 내 양분의 농도와 임내강우량에 의해 영향을 받는다. 본 연구에서 두 임분의 양이온 농도가 경시적인 차이를 보이지 않았고, 음이온의 농도는 낙엽송 조림지에서 더 높았음에도 불구하고, 양분 유입량은 양분 유입량은 더 적었던 것으로 미루어 볼 때, 본 연구에서는 강우량이 양분 농도보다 양분 유입량에 미치는 영향이 더 큰 것으로 생각된다. 강우에 의한 양분 유입은 임분의 밀도, 구성 수종 등 뿐만 아니라 지역에 따라 큰 차이를 보일 수 있으며, 같은 지역에서도 연구기간 동안의 강우 양상에 따라 큰 차이를 보인다. Joo (1999)의 연구에 따르면 경기도 광주지방에서 임내강우에 의한 NO_3^- 의 유입량은 참나무림과 낙엽송림, 잣나무림에서 각각 5.74 kg ha^{-1} , 8.51 kg ha^{-1} , 7.56 kg ha^{-1} 에 불과하다고 하였으나, Park et al. (1999)는 동일지역에서 참나무류 위주의 활엽수림과 잣나무림, 낙엽송림에서 NO_3^- 의 유입량이 25 kg ha^{-1} , 37 kg ha^{-1} , 36 kg ha^{-1} 라고 보고하였다. 특히 Joo (1999)와 Park et al. (1999), 그리고 본 연구에서 임분 밀도가 큰 차이를 보이지 않는 낙엽송림을 비교하면, 연중 임분에 유입된 강우량이 각각 1,524 mm, 1,299 mm, 1,094 mm였으며, NO_3^- 의 유입량은 본 연구에서는 조사기간 동안 약 17 kg ha^{-1} 가 유입되었는데, 이는 Joo (1999)의 연구결과보다 2배 정도이나 Park et al. (1999)의 연구결과보다는 절반 정도밖에 되지 않기 때문에 매우 큰 차이를 보였다. 따라서 임내강우에 의한 양분 유입량의 정확한 정보를 얻기 위해서는 여러 지역에서 장기간에 걸친 연구를 더 진행해야 할 것으로 생각된다.

Table 3. Mean annual (\pm standard error) cations and anions concentrations in throughfall and stemflow.

(unit : mg L^{-1})

		Deciduous	<i>L. kaempferi</i>	Precipitation
Throughfall	Na^+	1.13(± 0.47) ^a	1.28(± 0.56) ^a	0.76(± 0.18) ^b
	Mg^{2+}	0.11(± 0.04) ^a	0.11(± 0.03) ^a	0.10(± 0.01) ^a
	K^+	4.44(± 0.78) ^a	4.55(± 0.39) ^a	1.95(± 0.09) ^b
	Ca^{2+}	0.78(± 0.03) ^a	0.75(± 0.05) ^a	0.82(± 0.02) ^a
	Cl^-	5.48(± 0.64) ^b	7.29(± 0.53) ^a	1.64(± 0.04) ^c
	NO_3^-	1.90(± 0.03) ^b	2.00(± 0.04) ^a	1.38(± 0.03) ^c
	SO_4^{2-}	6.32(± 0.39) ^b	6.61(± 0.94) ^a	1.71(± 0.06) ^c
Stemflow	Na^+	1.27(± 0.12) ^a	1.36(± 0.13) ^a	0.76(± 0.18) ^b
	Mg^{2+}	0.23(± 0.01) ^a	0.26(± 0.03) ^a	0.10(± 0.01) ^a
	K^+	5.45(± 0.38) ^a	6.61(± 0.72) ^a	1.95(± 0.09) ^b
	Ca^{2+}	1.72(± 0.35) ^a	1.78(± 0.23) ^a	0.82(± 0.02) ^a
	Cl^-	4.97(± 0.62) ^b	7.14(± 0.83) ^a	1.64(± 0.04) ^c
	NO_3^-	2.19(± 0.08) ^a	2.05(± 0.06) ^a	1.38(± 0.03) ^b
	SO_4^{2-}	9.41(± 1.21) ^a	8.08(± 0.83) ^a	1.71(± 0.06) ^b

Different letters (a, b and c) indicate significant difference at 5% (Duncan's multiple range test)

Table 4. Mean annual (\pm standard error) input of cations and anions by rainfall - throughfall + stemflow. (unit : kg ha⁻¹)

	Deciduous	<i>L. kaempferi</i>	Precipitation
Na ⁺	13.12(\pm 1.21) ^a	12.32(\pm 2.52) ^b	11.23(\pm 1.82) ^c
Mg ²⁺	0.51(\pm 0.09) ^a	0.39(\pm 0.07) ^c	0.50(\pm 0.07) ^b
K ⁺	38.03(\pm 7.35) ^a	34.82(\pm 6.20) ^b	24.43(\pm 5.19) ^c
Ca ²⁺	11.24(\pm 3.27) ^a	6.73(\pm 0.88) ^c	8.86(\pm 1.01) ^b
Cl ⁻	76.65(\pm 9.32) ^b	99.10(\pm 11.21) ^a	34.71(\pm 6.20) ^c
NO ₃ ⁻	24.35(\pm 6.47) ^a	17.36(\pm 2.18) ^b	23.73(\pm 5.26) ^a
SO ₄ ²⁻	67.34(\pm 5.42) ^a	49.03(\pm 5.83) ^b	30.86(\pm 4.31) ^c

Different letters (a, b and c) indicate significant difference at 5% (Duncan's multiple range test)

토양수 낙엽송 조림지와 낙엽활엽수림의 A층과 B층 토양수 내 이온의 연간 평균 농도를 Table 4에 나타냈다. 두 임분의 토양수 내 이온 농도를 비교해 본 결과, A층의 경우, Cl⁻와 SO₄²⁻의 평균 농도는 낙엽활엽수림에서는 18.56 mg L⁻¹, 21.10 mg L⁻¹, 낙엽송 조림지에서는 20.69 mg L⁻¹, 21.97 mg L⁻¹였으며, B층에서는 Ca²⁺, Cl⁻ 이온이 낙엽활엽수림에서 22.01 mg L⁻¹, 19.35 mg L⁻¹, 낙엽송 조림지에서 25.72 mg L⁻¹, 21.19 mg L⁻¹로 낙엽송 조림지에서 더 높은 농도를 보였다. McColl (1972)이나 Park et al. (1999)의 연구에 따르면 활엽수 임분의 수목 양분 요구도가 침엽수 임분보다 상대적으로 높고, 양분의 유입량이나 유출량도 크기 때문에 활엽수 임분의 토양수 농도가 더 높다고 하였는데 본 연구의 결과는 이와 상반되었다. 이는 낙엽층의 깊이에 따른 차이로 생각되는데, 낙엽송 조림지의 낙엽층이 낙엽활엽수림보다 깊기 때문에 임내강우가 낙엽층을 통과하면서 양분이 용탈되어 농도가 더 높아진 것으로 생각된다. 토양수 내 양분 농도와 토양 내 양분의 집적은 임내강우나 낙엽낙지에 의한 유입량 뿐만 아니라 미생물에 의한 낙엽낙지의 분해율 등에 의해서도 영향을 받기 때문에 이들이 토양수 및 토양의 특성에 미치는 영향에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 생각된다.

낙엽에 의한 양분 유입 임분에 유입되는 낙엽량 (Fig. 6)과 낙엽에 의한 N 및 양이온(Na⁺, K⁺, Mg²⁺,

Ca²⁺) 유입량 (Table 5)을 조사하였다. 조사기간동안 낙엽량은 낙엽활엽수림에서는 2,951 kg ha⁻¹, 낙엽송 조림지에서는 2,419 kg ha⁻¹가 유입되어, 낙엽활엽수림에서 더 많이 유입되었다. Joo (1999)에 따르면, 참나무림과 낙엽송 조림지에서 9월부터 12월까지 낙엽 낙지량이 각각 3,246 kg ha⁻¹, 2007 kg ha⁻¹로 참나무림에서 임분밀도가 더 낮았음에도 불구하고, 낙엽낙지량이 더 많았는데, 본 연구의 결과는 이와 비슷하였다. 한편, 활엽수의 경우, 10월에서 11월이면 거의 대부분의 낙엽이 지지만, 낙엽송은 겨울철에도 지속적으로 낙엽량이 발생하기 때문에 이를 고려해야 할 것으로 생각된다. Kim et al. (1996)의 연구에 의하면 12월부터 이듬해 3월까지의 낙엽낙지량이 전체의 25%정도를 차지하였는데, 이를 고려하면 낙엽송 조림

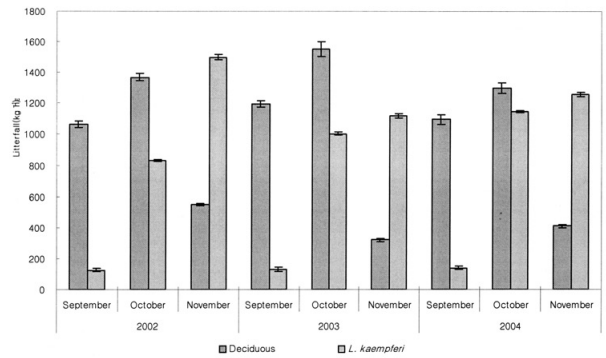


Fig. 6. Seasonal changes in litterfall.

Table 5. Mean annual (\pm standard error) concentration of cations and anions in soil water. (unit : mg L⁻¹)

	A-layer			B-layer		
	Deciduous	<i>L. kaempferi</i>	Pr	Deciduous	<i>L. kaempferi</i>	Pr
Na ⁺	1.53(\pm 0.16)	1.91(\pm 0.13)	0.86n.s	1.94(\pm 0.29)	1.88(\pm 0.09)	0.91n.s
Mg ²⁺	2.88(\pm 0.44)	4.12(\pm 0.42)	0.85n.s	2.81(\pm 0.14)	3.09(\pm 0.30)	0.62n.s
K ⁺	2.31(\pm 0.12)	2.10(\pm 0.18)	0.91n.s	3.00(\pm 0.29)	2.91(\pm 0.13)	0.02*
Ca ²⁺	22.15(\pm 1.77)	18.66(\pm 2.06)	0.38n.s	22.01(\pm 0.35)	25.72(\pm 0.33)	0.01*
Cl ⁻	18.56(\pm 0.14)	20.69(\pm 0.21)	0.002**	19.35(\pm 0.14)	21.19(\pm 0.21)	0.006**
NO ₃ ⁻	6.13(\pm 0.17)	5.20(\pm 0.30)	0.02*	6.64(\pm 0.58)	8.02(\pm 0.14)	0.52n.s
SO ₄ ²⁻	21.10(\pm 0.12)	21.97(\pm 0.57)	0.02*	15.94(\pm 0.39)	14.49(\pm 0.22)	0.17n.s

*, ** and n.s indicates at the 0.05, 0.01 and Not significant, respectively.

지에서 낙엽낙지량이 2,676 kg ha⁻¹로 다소 증가할 것으로 추정되나, 이 결과 역시 낙엽활엽수림에서의 유입량보다는 적은 것으로 나타났다.

낙엽낙지 내 N 함량은 낙엽송 조림지에서 1.6%였으며, 낙엽활엽수림에서는 1.1%로 낙엽송 조림지에서 높았으나, 양이온은 낙엽활엽수림에서 높았다 (Table 6). 활엽수와 침엽수의 낙엽 내 양분에 관한 많은 연구가 진행되었는데, Joo (1999)에 따르면 낙엽송 낙엽의 질소 함량이 참나무 낙엽보다 높는데 비해 Na, Mg, Ca 및 이온은 참나무에서 높다고 하였으며, Kavvadias et al. (2001)은 N은 너도밤나무 임분보다 전나무 임분에서 농도가 높았으나, Na과 Mg은 너도밤나무 임분에서 높다고 하였다. 또한 Pedersen and Hansen(1999)은 K의 농도는 가문비나무보다 너도밤나무 임분에서 높은 농도를 보인다고 하였는데, 본 연구의 결과는 기존의 이러한 연구결과와 비슷한 경향을 보였다.

낙엽낙지에 의한 양분 유입은 낙엽활엽수림에서 유입량이 많았는데, 이는 양이온의 경우 농도가 낙엽활엽수림에서 높을 뿐만 아니라 낙엽낙지량 역시 낙엽활엽수림에서 더 많았기 때문이며, N은 낙엽송 조림지에서 농도가 더 높았으나, 낙엽량의 차이로 인해 낙엽활엽수림에서 더 많이 유입된 것으로 생각된다. Joo (1999)의 연구결과에 따르면 경기도 광주군의 잣나무림과 참나무림, 낙엽송림에서 질소 유입량이 각각 27.7 kg ha⁻¹, 27.2 kg ha⁻¹, 22.3 kg ha⁻¹이었으며, Kwak and Kim (1992)은 강원도의 신갈나무림에서 질소 유입량이 57.2 kg ha⁻¹라고 보고하였다. Kim et al. (1997)은 경기도 광릉의 상수리나무림과 잣나무림에서 각각 39.2 kg ha⁻¹, 21.6 kg ha⁻¹이 연간 유입되었다고 하였으며, Kim et al. (1996)은 경기도 양평지역의 리기다소나무림에서 질소 유입량이 15.9 kg ha⁻¹라고 보고하였다. 본 연구 결과를 이와 비교하면, 낙엽활엽수림은 신갈나무림이나 상수리나무림과 같은 단

일 수종 임분보다는 유입량이 적었고, 낙엽송 조림지는 잣나무림이나 리기다소나무림보다는 유입량이 많았다. 특히 낙엽송의 경우, Gower and Son (1992)은 잎갈나무속의 종들이 상록성 침엽수에 비해 낙엽량이 적더라도 낙엽 내 양분 농도가 높기 때문에 양분 유입량이 더 많다고 하였는데, 본 연구 결과도 이를 반영하는 것으로 생각된다.

Table 7. Literature values of nutrient cycling.

Reference	Canopy type	Stem density (trees ha ⁻¹)
Woo(1993)	<i>P. densiflora</i>	1,400
	<i>P. taeda</i>	1,600
Joo(1999)	<i>Quercus spp.</i>	980
	<i>P. koraiensis</i>	840
	<i>L. kaempferi</i>	1,150
Park et al.(1999)	<i>P. koraiensis</i>	900
	<i>L. kaempferi</i>	1,050
	Hardwood	2,350
Toba and Ohta(2005)	<i>L. canjandery</i>	840
	<i>P. sylvestris</i>	1,492

요 약

본 연구는 낙엽활엽수림과 낙엽송 조림지에서 양분 유입의 차이를 알아보고자 강원도 평창군에 위치한 중왕산 지역에서 임내강우와 임외강우, 낙엽낙지에 의한 양분 유입량과 토양수 내 양분 농도를 조사하였다. 조사 기간동안 연평균 강우 차단율은 낙엽활엽수림에서 12%, 낙엽송 조림지에서 36%로 낙엽송 조림지에서 높았다. 수관통과우 내 양이온 농도는 차이를 보이지 않았으나, 음이온 농도는 낙엽송 조림지에서 더 높았으며, 수간류에서는 Cl⁻ 이온이 낙엽송 조림지에서 높았으며, 다른 이온은 차이를 보이지 않았다. 수관통과우와 수간류에 의한 양분 유입량은 Cl⁻ 이온

Table 6. Mean annual (±standard error) cations concentrations and N content of litterfall.

		Deciduous	<i>L. kaempferi</i>	Pr
Concentration (mg kg ⁻¹)	Na	5.2(±0.04)	4.1(±0.23)	0.01**
	Mg	18.7(±0.27)	14.2(±0.12)	0.01**
	K	68.9(±0.48)	58.5(±0.32)	0.01**
	Ca	128.9(±2.34)	85.9(±0.62)	0.001**
	N(%)	1.0(±0.12)	1.4(±0.01)	0.001**
Nutrient Inputs (kg ha ⁻¹)	Na	1.6(±0.05)	1.1(±0.01)	0.02*
	Mg	5.6(±0.15)	3.3(±0.04)	0.03*
	K	19.9(±0.57)	14.3(±0.23)	0.02*
	Ca	37.1(±1.23)	20.1(±0.22)	0.001**
	N	30.9(±1.05)	33.7(±0.44)	0.03*

* and ** indicate significant at the 0.05 and 0.01, respectively.

을 제외한 다른 이온들의 유입량이 낙엽송 조림지보다 낙엽활엽수림에서 더 많았다. 토양수 내 이온 농도는 A층에서는 Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} 이온이, B층에서는 Ca^{2+} , Cl^- 이온이 낙엽송 조림지에서 다소 높았다. 연간 낙엽낙지량은 낙엽활엽수림에서 2,589 kg ha⁻¹로, 낙엽송 조림지의 1,046 kg ha⁻¹보다 많은 유입량을 보였다. 낙엽낙지내 이온 함유량은 N의 경우 낙엽송 조림지와 낙엽활엽수림에서 각각 1.6%와 1.1%로 낙엽송 조림지에서 더 높았으나, 양이온 함량은 낙엽활엽수림에서 더 높았다. 낙엽낙지에 의한 양분 유입량은 N의 경우, 낙엽활엽수림에서 36.81 kg ha⁻¹ yr⁻¹, 낙엽송 조림지에서 16.16 kg ha⁻¹ yr⁻¹였으며, 양이온의 유입량 역시 낙엽활엽수림에서 많았다. 이를 종합해 볼 때, 본 연구에서 수관통과수와 수간류 및 낙엽낙지에 의한 양분유입량은 낙엽활엽수림에서 더 많은 것으로 나타났다.

인 용 문 헌

Albrektson, A. 1988. Needle litterfall in stands of *Pinus sylvestris* in Sweden, in relation to site quality, standage and latitude. *Scand J Forest Res.* 3: 333-342.

Cappelato, R., E.P. Norman, and L.R. Harvey. 1993. Acidic atmospheric deposition and canopy interactions of adjacent deciduous and coniferous forests in the Georgia Piedment. *Can. J. For. Res.* 23: 1114-1124.

Chang, K.S. 2001. Pattern of nutrient fluxes in deciduous forest ecosystem impacted by acidic deposition. *Kor. J. Env. Eco.* 15: 240-236.

Harding, R.J., C. Neal, and P.G. Whitehead. 1992. Hydrological effects of plantation forestry in North-Western Europe. P. 445-455 In Teller, A. et al.(ed.) Responses of forest ecosystems to environmental changes. Elsevier Applied Science of New York.

Houle, D., R. Quiment, R. Paquin, and J.G. Laflamme. 1999. Interactions of atmospheric deposition with a mixed hardwood and a coniferous forest canopy at the Lake Clair Watershed (Duchesnay, Quebec). *Can. J. For. Res.* 29: 1944-1957.

Gower, S.T., and Y. Son. 1992. Differences in soil and leaf litterfall nitrogen dynamics for five forest plantations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1959-1966.

Joo, K.Y. 1999. Nutrient input from rainfall into soils and its flow in the stands of *Pinus koraiensis*, *Larix leptolepis* and *Quercus* species located at Kwangju-Gun, Kyonggi-Do. Ph.D. Thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.

Kavvadias, V.A., D. Alifragis, A. Tsiontsis, G. Brofas, and G. Stamatelos. 2001. Litterfall, litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystems in northern Greece. *Forest Ecol Manag.* 144: 113-127.

Korea Forest Service. 1999. Statistical yearbook of forestry. 29th ed. Seoul, Korea.

Korea Forest Service. 2006. Statistical yearbook of forestry. 36th ed. Seoul, Korea.

Kim, J.H. 2006. Soil Carbon Accumulation and Soil Respiration of a deciduous Stand, *Larix kaempferi* and *Pinus koraiensis* Plantations in Mt. Jungwang, Pyungchang-gun, Gangwon-do. M.S. Thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.

Kim, J.S., Y.H. Son, J.H. Lim, and Z.S. Kim. 1996. Aboveground Biomass, N and P distribution, and litterfall in *Pinus rigida* and *Larix leptolepis* plantations. *Jour. Korean For. Soc.* 85: 416-425.

Kim, C.S. K.S. Koo, Y.K. Kim, W.K. Lee, J.H. Jeong, and H.S. Seo. 1997. Dynamics of litterfall and nutrient inputs in *Quercus acutissima* and *Pinus koraiensis* stands. *Fri. J. For. Sci.* 55: 13-18.

Kim, K.H. 1993. A Simulation model for estimating rainfall interception loss in a forest stand. Ph.D. Thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.

Kwak, Y.S., and J.H. Kim. 1992. Nutrient cycling in mongolian oak(*Quercus mongolica*) forest. *Korean J. Ecology* 15: 35-46.

Lee, D.K. 1996. Ecosystem Management Strategies for the Sustainable Production of Forest Resources. 96 International Symposium on Forest Science. Kangwon National University. pp 59-82.

Lee, D.K., G.T Kim, K.Y. Joo, and Y.S. Kim. 1997. Throughfall, stemflow and rainfall interception loss in *Pinus koraiensis* sieb. et zucc., *Larix leptolepis*(Sieb, et Zucc) gordon and *quercus* species stand at Kwangju-gun, Kyunggi-Do. *Jour. Korean For. Soc.* 86: 200-207.

Matzner, E., and K.J. Meiwes. 1994. Long-term development of element fluxes bulk precipitation and throughfall in two German forest. *J Environ Qua.* 26: 162-166.

McCull, J.G. 1972. Dynamics of ion transport during moisture flow from a Douglas-fir forest floor. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36: 668-674.

Otto, H.J. 1992. *Waldökologie*. Ulmer, Stuttgart 391pp.

Park, J.H., and B.M. Woo. 1997. Analysis of influential factors from rainfall to stream water quality in small forested watershed. *Jour. Korean For. Soc.* 86: 789-501.

Park, Y.D., D.K. Lee, and D.Y. Kim. 1999. Nutrient dynamics in the throughfall, stemflow and soil solution in Korean pine, Japanese larch and hardwood stands at Kwanju-gun, Kyonggi-do. *Jour. Korean. For. Soc.* 88: 541-554.

Pedersen, L.B., and J.B. Hansen. 1999. A comparison of litterfall and element fluxes in even aged Norway spruce, Sitka spruce and beech stand in Denmark. *Forest Ecol Manag.* 114: 55-70.

Remezov N.P. 1959. Method of studying the biological cycle of elements in forest. *Pochvovedenie* 1959: 71-79.

Robertson, S.M.C., M. Hornung, and V.H. Kennedy. 2000. Water chemical of throughfall and soil water under four tree species at Gisburn, Northwest England, before and after felling. *Forest Ecol Manag.* 129: 102-117.

Shibata, H., and H. Sakuma. 1996. Canopy modification of precipitation chemistry in deciduous and coniferous forest affected by acidic deposition. *Soil Sci Plant Nutr.* 42: 1-10.

Thurow, T.L., W.H. Blackburn., S.D. Warren, and C.A. Taylor Ur. 1987. Rainfall interception by midgrass, shortgrass, and live oak mottes. *J Range Manage.* 40: 455-460.

- Toba, T., and T. Ohta. 2005. An observational study of the factors that influence interception loss in boreal and temperate forests. *J. Hydrol.* 313: 208-220.
- Toman, M.A., and P.M.S. Ashton. 1996. Sustainable forest ecosystem and management : A Review Article. *Forest Sci.* 42: 336-377.
- Yoo, J.H., M.J. Yi, Y.K. Kim, Ch.H. Lee, J.K. Byun, S.W. Lee, and Ch.S. Kim. 2002. Throughfall and stemflow chemistry of coniferous and deciduous stands in Seoul, Ulsan and Hongcheon regions. *Jour. Korean For. Soc.* 91: 102-110.
- Woo, B.M. 1993. Influences of Forest Environment on the Water Yield from Small Forested Watersheds. *Jour. Korean For. Soc.* 82: 283-291.