

## 질소와 인 시비가 리기다소나무와 낙엽송의 낙엽 생산량 및 양분 동태에 미치는 영향

이 임 균\* · 손 요 환<sup>1</sup>

국립산림과학원 산림환경부, <sup>1</sup>고려대학교 환경생태공학부

## Effects of Nitrogen and Phosphorus Fertilization on Nutrient Dynamics and Litterfall Production of *Pinus rigida* and *Larix kaempferi*

Lee, Im Kyun\* and Yowhan Son<sup>1</sup>

Department of Forest Environment, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

<sup>1</sup>Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

**ABSTRACT:** Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on nutrient dynamics and litterfall production were determined in adjacent 41-year-old plantations of *Pinus rigida* Miller and *Larix kaempferi* Gordon on a similar soil in Yangpyeong, Gyeonggi Province. Litterfall production were significantly different among sampling dates and between the tree species, whereas it was not significantly different among the treatments. Total annual litterfall production was 6,377 kg/ha for *P. rigida* and 4,778 kg/ha for *L. kaempferi*, respectively. Litterfall nutrient concentrations of *L. kaempferi* were higher than those of *P. rigida*. For both tree species, litterfall nutrient concentrations were highest in summer when the least litterfall production occurred, and lowest in late-autumn when the greatest litterfall production occurred, except for Ca in the *L. kaempferi* stand. The amount of total organic matter in the forest floor of *P. rigida* and *L. kaempferi* plantations were 24,296 kg/ha and 10,763 kg/ha, respectively. Forest floor N and P contents were 126, 10 kg/ha for *P. rigida* and 102, 8 kg/ha for *L. kaempferi*, respectively.

**Key words:** Fertilization, *Larix kaempferi*, Litterfall, Nutrient dynamics, *Pinus rigida*

### 서 론

대부분의 산림 생태계에 있어서 낙엽은 지상부 임목의 구성 성분으로부터 토양 표면으로 이동되는 양분들과 에너지의 주요 경로라 할 수 있으며, 이러한 낙엽이나 기타 유기 물질 내에 포함되어 있는 양분들의 순환 정도와 화학성 등을 이해하게 된다면, 생태계 각 기능들에 대한 다양한 측면에서의 중요한 정보들을 얻을 수 있게 된다.

낙엽의 생산량은 기온, 강수량 및 곤충 등에 의해 결정되며 (Lousier and Parkinson 1975), 산림이 평형상태에 도달하게 되면 생산량 또한 일정하게 유지된다(Turner and Lambert 1986). 박 등(1970)과 이(1980)는 기후와 고도가 같은 경우, 잎의 현존량은 침엽수림이 활엽수림보다 많지만 낙엽의 생산량은 활엽수림이 침엽수림보다 많다고 보고한 바 있다. 또한 Twilley 등(1986) 그리고 Sharma와 Ambasht(1987)는 낙엽의 생산량은 계절적으로는 각기 다른 양상을 나타내는데 비해 연간 비교에 있어서는 해마다 같은 경향이 유지되고 있다고 보고하였다. 따라서 연간

낙엽량은 1차 생산성의 표지자라 할 수 있으며(Bray and Gorham 1964, Vogt et al. 1986), 낙엽 내 양분 농도는 해당 임분의 양분 이용 효율 지수로서 이용될 수 있다(Vitousek 1982). Ovington과 Heitkamp(1960)는 낙엽은 임상에 축적된 유기물의 대부분을 구성하고 있다고 하였으며, 그 동안 낙엽을 통한 산림 내 물질 순환 연구의 토대가 되는 수리적 모델들이 여러 연구자들에 의해 제시된 바 있다(Minderman 1968, Howerd and Howerd 1974). Miller와 Miller(1976)는 최근에 떨어진 낙엽은 임목의 양분 상황 뿐 만 아니라 시비처리 후의 임목에 대한 반응을 나타내 준다고 한 바 있다. 지금까지 각종 양이온들을 함유하고 있는 비료들이 침엽수림 임분 내의 양분 체계를 향상시키기 위하여 폭 넓게 이용되어 왔으나, 이러한 시비가 임분 내 양분순환에 미치는 영향에 대해서는 연구된 바가 거의 없는 실정이다.

시비처리가 토양의 특성이나 양분 순환 체계에 미치는 영향 등이 수종별로 다르기 때문에 (Binkley 1986) 시비에 관한 연구는 수종간의 비교, 특히 같은 침엽수종 중에서도 상록성과 낙엽성 수종으로 구분하여 이를 비교하는 연구가 수종별 양분 이

\* Corresponding author; Phone: +82-2-9612-608, Fax: +82-2-9612-629, e-mail: iklee@foa.go.kr

용 효율에 대한 연구와 기타의 침엽수 조림지를 관리하는데 있어서 필요할 것으로 생각된다. 그러나 국내의 조림수종 중, 대표적인 상록성 침엽수인 리기다소나무와 낙엽성 침엽수인 낙엽송을 대상으로 실시된 양분순환 관련 연구는 그리 많지 않은 실정이며(김 1995, 김 등 1996, Son and Lee 1997), 특히 시비 후의 양분 순환과 관련한 연구는 거의 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구의 목적은 임목 생육 여건이 유사한 입지에서 동일한 시기에 식재되어 성장하고 있는 리기다소나무와 낙엽송 임분을 대상으로 시비 처리에 의한 두 임분에서의 연중 낙엽 생산량의 계절적 변이 및 낙엽 내 양분 농도의 변화 등에 미치는 영향을 구명하는 것이다.

## 재료 및 방법

### 조사지 개황

본 연구는 경기도 양평군 양동면 고송리에 소재한 고려대학교 생명환경과학대학 부속 연습림(북위 37° 30', 동경 127° 42', 평균 해발고 176 m)의 41년생 리기다소나무와 낙엽송 임분에서 수행되었다. 이들 임분은 1956년 참나무류 천연림을 개벌한 후 두 수종 모두 ha당 3,000본이 식재되었으며, 지금까지 3회에 걸쳐 간벌이 실시되어 현재는 리기다소나무가 ha당 약 667본 그리고 낙엽송이 ha당 약 578본 정도가 생육하고 있다.

각 수종별 평균 흉고 단면적은 리기다소나무가 64.8 m<sup>2</sup>/ha, 낙엽송이 55.5 m<sup>2</sup>/ha이었으며(김종성 1995), 임관의 울폐도는 낙엽송에 비해 리기다소나무 임분에서 더 높은 것으로 나타났다. 본 연구를 위하여 토양, 방위, 경사, 고도 등의 입지 여건과 수령 및 과거 시업 과정이 동일하고 서로 인접하여 있는 41년생 리기다소나무와 낙엽송 임분을 선정하여 수종별로 6개의 15 m × 15 m 정방형 시험구를(총 12개) 설정하였다.

### 시비처리

임목 생장이 시작되기 전인 1996년 3월 각 수종별로 3처리 2반복의 split plot design으로 시비 처리를 하였으며, 처리구간의 상호작용을 최소화하기 위하여 시비 처리구간의 간격을 10 m 이상으로 하였다. 시비처리 직전에 하층식생에 의한 비료성분의 손실을 막기 위하여 (Park 1997) 15 m × 15 m의 조사구내 리기다소나무와 낙엽송을 제외한 모든 교목 및 관목류 등을 제거하였다. 시비는 수종별로 3처리 즉 대조구(control), 저수준 시비구(LNP, 200 N kg/ha + 25 P kg/ha), 그리고 고수준 시비구(HNP, 400 N kg/ha + 50 P kg/ha) 등으로 나누어 처리하였으며, 각 처리구별로 2개씩의 반복을 두었다. 본 연구에 사용된 질소 비료는 ammonium sulfate ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), 인 비료는 superphosphate (Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O)가 각각 사용되었고 손으로 직접 골고루 살포하였다.

### 연간 낙엽 생산량 및 낙엽 내 양분량 측정

시비처리 두 달 후인 1996년 6월 1일 각 조사구에 상부 직경

31 cm, 하부직경 22 cm, 높이 40 cm의 원통형 litterfall trap을 임의의 지점에 5개씩 설치하여 1997년 12월까지 1개월마다 낙엽량을 조사하였다. 시료 채취 일시는 1996년에는 6월 30일, 7월 30일, 8월 29일, 9월 30일, 10월 30일, 11월 30일, 12월 28일 등이었으며, 1997년에는 1월 25일, 3월 22일, 4월 26일, 6월 5일, 6월 29일, 7월 30일, 8월 29일, 9월 28일, 10월 28일, 11월 30일, 12월 28일 등으로 총 18회였다.

매월 수거된 낙엽은 해당 수종의 엽, 가지, 목본류(꽃+종자+수피) 그리고 곤충의 배설물과 해당 수종 이외의 낙엽 및 목본등을 포함한 기타 등 4종류로 구분한 다음, 수분 증발에 의한 양분 손실을 최소화하고자 낙엽 내 수분 함량이 약 5~8%에 도달될 때까지 실온에서 건조시키고 이를 다시 건조기에서 85°C로 48시간 동안 건조시켜 분쇄한 후 N과 P 등의 양분 분석에(3반복) 이용하였다.

또한 시비 처리 후 3년이 경과된 임분에서의 낙엽층 내 양분 축적량을 추정하기 위하여 1999년 8월에 조사구당 4개의 소형 방형구(900 cm<sup>2</sup>)를 설치한 후, 방형구 내에 있는 낙엽층 전체의 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 낙엽층에 묻어 있는 흙을 제거하기 위하여 물로 세척한 후 실내에서 4일 동안 음건시켰으며, 이를 다시 85°C에서 48시간 동안 건조시켜 건조량을 측정 후 분쇄하여 양분 분석을 실시하였다. 낙엽 내 질소는 Kjeldahl 법을(Wilde et al. 1979), 인은 습식으로 분해한 뒤 약간 변형된 Ascorbic acid법을 각각 이용하여 자동 분석기가 장착된 spectrophotometry로 분석하였다(John 1970).

### 통계 분석

시비처리가 낙엽량 및 낙엽 내 질소와 인 농도의 계절적 변이에 미치는 영향을 분석하기 위하여, split plot design을 이용한 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 또한 처리간 그리고 시료채취 기간 간에 차이가 인정될 경우에는 5% 유의수준에서 Duncan's multiple test를 실시하여 평균간의 유의성을 검정하였고 수종간의 차이를 검정하기 위하여 *t*-test를 각각 실시하였다. 모든 통계적 분석은 SAS(1988) 프로그램을 이용하였다.

## 결과 및 고찰

### 낙엽 생산량의 계절적 변이

조사 기간 동안의 시비처리에 따른 수종별 낙엽생산량의 계절적 경향을 Fig. 1에 나타내었다. 두 수종 모두 수종간( $p < 0.001$ ) 또는 계절간( $p < 0.001$ )에 고도의 유의성이 있는 것으로 나타났으나 처리간에는 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 1996년은 6월 이후부터 시료가 채취된 관계로 6월부터 12월까지의 낙엽 생산량을 연도별로 비교한 결과, 리기다소나무 임분의 경우 모든 처리구에서 1996년과 1997년의 낙엽량은 그 차이가 통계적으로 인정되었으나 ( $p < 0.01$ ), 낙엽송 임분에서는 모든 처리구에서 연도간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

6월부터 12월까지의 처리구간 평균 낙엽량은 리기다소나무

임분의 경우 1996년에는 4,313 kg/ha, 그리고 1997년에는 4,786 kg/ha를 나타내어 1997년의 생산량이 1996년에 비해 처리구 평균 9.9% 증가하였으며, 낙엽송 임분에서는 1996년에 4,324 kg/ha에서 1997년에 4,246 kg/ha로 1997년의 생산량이 1996년에 비해 1.8%가 감소되어 연도간에 차이가 없는 것으로 나타났다.

리기다소나무와 낙엽송의 경우, 수종간에는 낙엽의 낙하 양상이 서로 다르게 나타났으나 두 수종 모두 연도별로 수종 내 낙엽량의 계절적 경향은 거의 일치하고 있다. 이와 같은 결과는 *Alnus nepalensis*를 대상으로 낙엽 낙하 요인의 큰 변화가 없을 때에는 해마다 같은 양상의 월별 낙엽량을 보인다고 한 Sharma와 Ambasht (1987), 그리고  $K_2SO_4$ 와  $CaCO_3$ , 그리고  $Mg(CO_3)_2$  등을 본 연구와 유사한 수준으로 시비처리 한 후 낙엽량의 변화를 조사한 결과, 연도간에 매우 유사한 양상을 보였음을 보고한 바 있는 Fyles 등 (1994)의 결과들과 일치되는 것이다.

1997년의 연간 총 낙엽 생산량은 리기다소나무 임분의 경우 대조구가 6,324 kg/ha, LNP 처리구가 6,573 kg/ha, HNP 처리구가 6,232.38 kg/ha였으며, 낙엽송 임분의 경우 대조구가 4,591 kg/ha, LNP 처리구가 4,991 kg/ha, HNP 처리구가 4,753 kg/ha 으로 두 수종 모두 LNP 처리구에서 낙엽 생산량이 가장 높은 것으로 나타났다. 또한 처리간 평균 연간 낙엽 생산량을 수종별로 비교한 결과, 리기다소나무가 6,377 kg/ha, 그리고 낙엽송이 4,778 kg/ha로 리기다소나무가 낙엽송에 비해 1.3배 정도 연간 낙엽생산량이 많았던 것으로 나타났다 ( $p < 0.01$ ).

이와 같은 결과는 리기다소나무의 경우 공주 근교의 30~40년생 리기다소나무림을 대상으로 조사된 6,532 kg/ha(문과 주, 1994), 그리고 같은 임지를 대상으로 조사된 6,020 kg/ha과 비슷한 결과이며(김 등 1996), 낙엽송의 경우 김 등(1996)에 의해 보고된 4,191 kg/ha, 그리고 온대지역 침엽수림을 대상으로 조사된 4,377 kg/ha (Cole and Rapp 1981) 보다는 높은 결과를 나타내었다. 이 밖에도 두 수종 모두 아한대와 온대지역을 대상

으로 조사된 3,000~7,000 kg/ha의 결과 (Bray and Gorham 1964)와 일치되고 있으며, 미국에서 *Pinus* 속의 낙엽 생산량의 경우, *P. banksiana*의 9,070 kg/ha (Foster and Morrison 1983)과 *P. contorta*의 1,680 kg/ha (Fahey 1983) 등의 결과와 비교할 때 중간 정도의 값을 가진다고 할 수 있다. 그러나 Olsen(1963)의 낙엽 생산량에 대한 기준 중에서 매우 높은 편이라 할 수 있는 4,000 kg/ha 이상이 낙하하였기 때문에 두 수종의 연간 낙엽 생산량은 매우 높았다고 할 수 있다.

또한 수종, 기후, 고도 그리고 낙엽 양상의 차이로 본 연구결과와 직접적인 비교는 어려우나 광릉의 서어나무림과 떡갈나무림의 2,756과 3,440 kg/ha (박 등 1970), 지리산 서어나무림과 줄참나무림의 2,982, 3,383 kg/ha (Chang and Kim 1983), 그리고 Northern Vancouver의 *Thuja plicata*와 *Tsuga heterophylla* 임분에서 조사된 3,094, 4,137 kg/ha (Keenan et al. 1995) 보다도 두 수종 모두 연간 낙엽 생산량이 많은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 기후와 고도가 같은 경우, 잎의 현존량은 상록 침엽수림이 활엽수림에 비해 많지만 낙엽의 생산량은 낙엽수림이 침엽수림에 비해 많았다고 보고한 박 등(1970)과 이(1980)의 결과와는 일치하지 않는 것이다. 일반적으로 낙엽 생산량은 임령이나 흉고직경 또는 임목밀도 등을 포함하는 임분 생장 상황(문과 주, 1994), 그리고 기온, 강우량 또는 해충 등을 포함한 곤충 등의 외부 환경적인 차이(Lousier and Parkinson 1975)에 따라 달라질 수 있다. 본 연구에서 수종별 낙엽 생산량이 다르게 나타난 것은 본 조사지의 경우 리기다소나무 임분과 낙엽송 임분이 토양, 경사, 방위 그리고 입지조건 등이 유사한 임지에 조성되어 있으나(김 1995, 김 등 1996), 리기다소나무 임분의 임목밀도가 ha당 667본 그리고 낙엽송 임분이 ha당 578본 정도가 식재되어 있어 본 조사지의 수종간 낙엽생산량의 차이는 수종의 차이 혹은 임목 밀도의 차이에 의한 것으로 추정된다.

또한 Van Cleve와 Noonan(1975)은 일반적으로 낙엽 생산은 흉고 단면적의 합(basal area) 그리고 임상의 수령 등과 밀접한 관련이 있다고 하였는데, 본 조사 임분의 경우 수령은 동일한데 비해 흉고 단면적의 합은 리기다소나무가 64.8 m<sup>2</sup>/ha, 그리고 낙엽송이 55.5 m<sup>2</sup>/ha로 리기다소나무 임분에서 더 높았던 것으로 나타났다(김 1995). 본 연구에서 낙엽 생산량 또한 리기다소나무 임분에서 더 많았으므로 흉고 단면적의 합이 낙엽 생산량을 예상할 수 있는 하나의 기준이 될 수 있을 것으로 판단되거나 지속적인 관찰이 요망된다.

1월부터 12월까지의 연간 총 낙엽 생산량에 대한 월별 낙엽량의 비율을 조사한 결과(Fig. 2), 두 수종 모두 낙엽 생산은 연중 계속되었으며, 리기다소나무의 경우에는 낙엽송에 비해 계절에 따라 큰 차이를 보이는 것으로 나타났으나 낙엽송은 주 낙엽기인 10월~12월을 제외한 나머지 기간의 월별 낙엽량의 비율은 7% 이하로(낙엽량 300 kg/ha 이하) 대체로 안정적이었다.

또한 두 수종 모두 10월과 11월에 낙엽이 집중적으로 이루어졌는데, 이는 낙엽의 낙하 요인 중 기온의 강하 때문인 나타나는 현상이라고 할 수 있다(김과 장 1989). 리기다소나무임분의 연

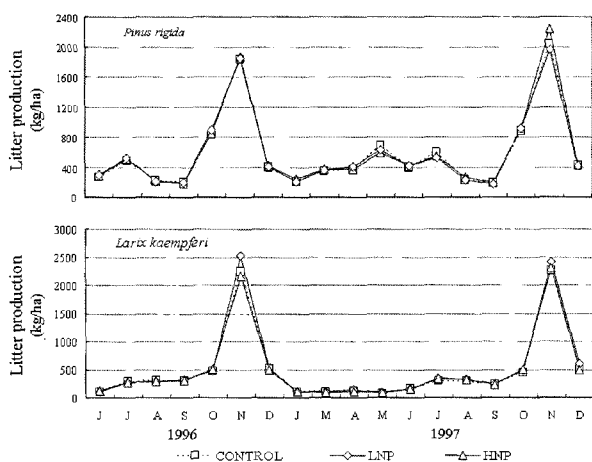


Fig. 1. Seasonal patterns of litterfall production (kg/ha) for 2 years in *P. rigida* and *L. kaempferi* plantations.

간 낙엽 생산량 중 46.7%가 이 시기에 이루어졌으며, 낙엽송 임분은 같은 시기에 58.8%가 낙엽되어 엽 주기가 1년이 안 되는 낙엽성 침엽수인 낙엽송에 비해 연중 낙엽이 계속되는 상록성 침엽수종인 리기다소나무의 특정 계절에 대한 낙엽의 집중도가 덜한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 리기다소나무의 경우 연간 총 낙엽량 중 52%가 10월과 11월에 낙엽된다고 보고한 김과 장(1989) 그리고 같은 임지를 대상으로 조사된 김 등(1996)의 결과와 유사하며, 낙엽송의 경우 같은 시기에 62%의 낙엽이 이루어진다고 보고한 김 등(1996)의 결과와도 유사하였다. 또한 본 연구에서 나타난 리기다소나무의 연간 낙엽생산의 계절적 양상은 문과 주(1994) 그리고 김과 장(1989)의 결과와 일치되는 것이다.

리기다소나무는 5월과 7월에 처리간 평균 633과 551 kg/ha로(연간 총 낙엽량의 9.9와 8.6%), 그리고 낙엽송은 7월에 처리간 평균 324 kg/ha로(연간 총 낙엽량의 6.8%) 연중 두 번째의 최대치를 보여 두 수종간에 유사한 계절적인 양상을 보였는데, 이 시기의 낙엽은 주로 장마철에 흔히 볼 수 있는 강풍이나 집중강우에 의해(월 강우량 387.5 mm) 일부 약한 가지나 엽 그리고 5월에 개화했었던 수꽃 등의 낙하가 이루어진 것으로 나타났다.

한편, 리기다소나무와 낙엽송 임분을 대상으로 낙엽 내 각 구성성분들에 대한 비율을 구한 결과는 Fig. 3과 같다. 리기다소나무와 낙엽송 임분 모두 낙엽의 구성 성분의 비율은 처리간에는 차이가 없었으나 수종간에는 고도의 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다( $p < 0.01$ ). 리기다소나무 임분의 낙엽 내 구성성분별 비율은 처리구 평균 침엽 90.4%, 가지 4.5%, 목본류 4.4%, 기타 0.8% 등이었으며, 낙엽송 임분은 침엽 78.7%, 가지 13.2%, 목본류 7.0%, 기타 1.0% 등이었다. 두 임분 모두 낙엽에서 침엽이 차지하는 비율이 가장 높았으며, 목본류와 하층 식생의 낙엽들을 포함한 기타의 경우는 대체로 유사하였으나 침

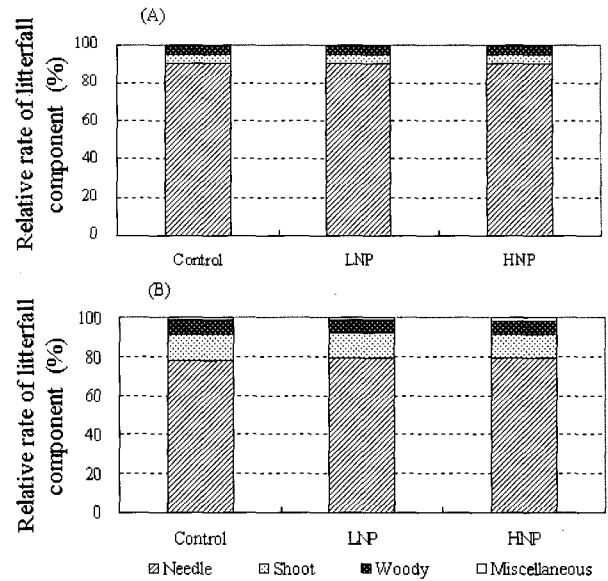


Fig. 3. Composition rates (%) of each component in litterfall for *P. rigida* (A) and *L. kaempferi* (B).

엽은 리기다소나무 임분에서, 그리고 가지의 경우에는 낙엽송 임분에서 많이 낙하하는 것으로 나타났다.

**낙엽 내 양분 농도의 계절적 변이**

시비 처리 후 낙엽 내 양분 농도의 계절적 변화를 Fig. 4와 5에 각각 나타내었다. 조사기간 동안의 계절별 평균 질소 농도는(Fig. 4) 리기다소나무의 경우 대조구가 0.51%, LNP 처리구가 0.57% 그리고 HNP 처리구가 0.54%, 그리고 낙엽송은 대조구가 0.86%, LNP 처리구가 0.97% 그리고 HNP 처리구가 0.90%로 두 수종 모두 시비 처리구간에 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ). 조사기간 동안의 수종별 평균 질소 농도는 리기다소나무가 0.54% 그리고 낙엽송이 0.91%로 수종간에 고도의 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다( $p < 0.001$ ). 본 연구에서 나타난 리기다소나무 낙엽 내 질소 농도는 28년생 *P. strobus*와 *P. resinosa* 림을 대상으로 조사된 0.72~0.82% (Gower and Son, 1992)에 비해서는 낮은 결과였으며, 낙엽송의 경우에는 *L. decidua* 림을 대상으로 조사된 Gower와 Son(1992)의 결과와는 대체로 유사하였다.

또한 본 연구에서 낙엽송 임분이 리기다소나무 임분에 비해 낙엽 내 질소 농도가 높았던 결과는 난대나 온대지역에의 경우에는 상록성 수종에 비해 낙엽성 수종의 낙엽 내 질소 함량이 높았다는 Vogt 등 (1986)의 결과와 일치되는 것이다.

1996년 6월에서 12월까지 그리고 1997년 6월부터 12월까지의 낙엽내 질소 농도를 연도별로 비교한 결과, 리기다소나무 임분의 경우 대조구는 0.47%에서 0.56%로 LNP 처리구는 0.50%에서 0.65%로, 그리고 HNP 처리구에서는 0.48%에서 0.61%로 모든 처리구에서 조사년도간에 질소 농도의 차이가 통계적으

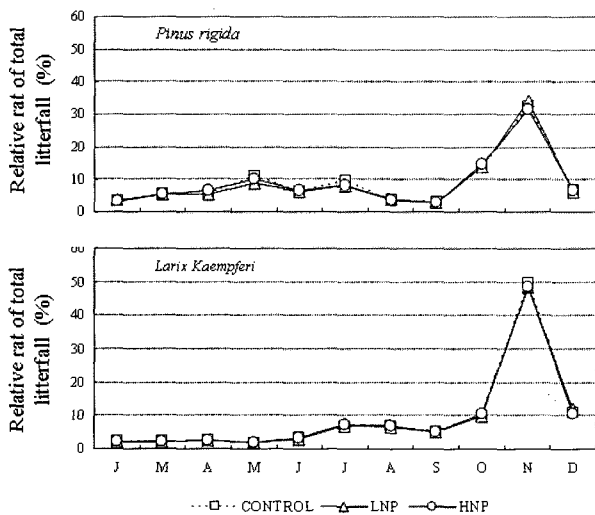


Fig. 2. Monthly litterfall rates (%) of annual total litterfall production in *P. rigida* and *L. kaempferi* plantations.

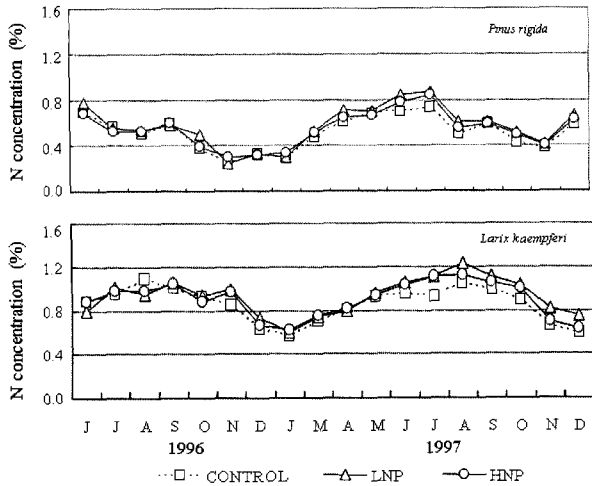


Fig. 4. Seasonal patterns of nitrogen concentrations (%) in litterfall for *P. rigida* and *L. kaempferi* plantations.

로 인정되었으며( $p < 0.01$ ), 시비 당년보다 시비 다음해의 낙엽 내 질소 농도가 더 높았던 것으로 나타났다. 낙엽송 임분의 경우에는 대조구가 0.90%에서 0.87%로, LNP 처리구가 0.99에서 1.02%로, 그리고 HNP 처리구가 0.91에서 0.95%로 낙엽내 질소 농도가 변화되었는데, 대조구에서는 시비 당년에 비해 시비 다음해에 감소하였으나 통계적인 차이는 없었으며, LNP 처리구와 HNP 처리구의 경우에는 시비 당년에 비해 다음해의 낙엽 내 질소 농도가 증가되었으나 리기다소나무와 같이 연도간에 유의적인 차이가 나타나지는 않았다.

두 수종 모두 낙엽 내 질소 농도는 봄부터 증가하기 시작하여 리기다소나무는 6월과 7월에 최고치를 보인 후(평균 0.82%), 낙엽생산이 최대였던 11월에는 처리간 평균 농도 0.40%로 감소하였는데, 이와 같은 결과는 공주 근교의 30~40년생 리기다소나무림을 대상으로 조사된 결과(문과 주, 1994)와 그 양상이 일치하였으나 계절별 질소 농도는 본 연구의 결과가 더 높은 것으로 나타났다. 또한 낙엽송은 7월에 최대치를 보인 후(평균 1.050%), 낙엽 생산량이 최대였던 11월에는 평균 0.72%를 그리고 12월에는 연중 최저치인 0.66%를 나타내어 두 수종 모두 유사한 계절적 양상을 보였다.

조사기간 동안의 낙엽 내 인 농도(Fig. 5)는 리기다소나무의 경우 대조구가 0.04%, LNP 처리구가 0.05% 그리고 HNP 처리구가 0.05%를 나타내었으며, 낙엽송은 대조구가 0.06%, LNP 처리구가 0.06% 그리고 HNP 처리구도 0.06%를 나타내어 두 수종 모두 시비처리구가 대조구에 비해 인 농도가 높았고 처리간에 유의적인 차이 또한 있는 것으로 나타났다 ( $p < 0.05$ ). 수종별 인 농도는 리기다소나무가 평균 0.05% 그리고 낙엽송이 평균 0.06%를 나타내어 낙엽송이 리기다소나무에 비해 낙엽 내 인 농도가 높았으며, 수종간에 유의적인 차이를 나타내었다 ( $p < 0.001$ ).

연도별 인 농도는 리기다소나무가 평균 0.04%에서 0.04%로,

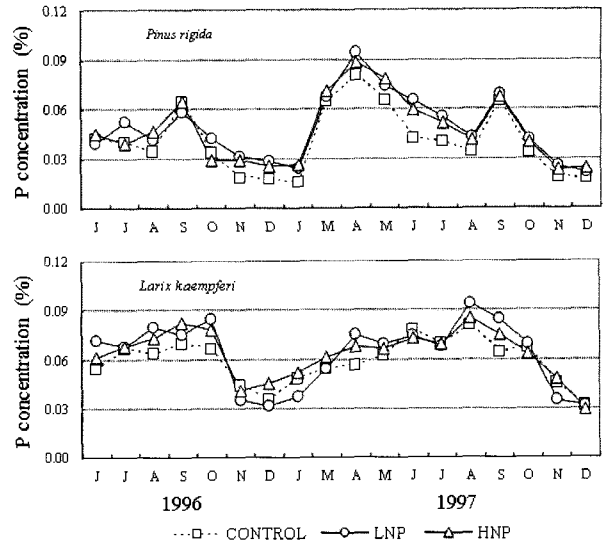


Fig. 5. Seasonal patterns of phosphorus concentrations (%) in litterfall for *P. rigida* and *L. kaempferi* plantations.

낙엽송이 0.06%에서 0.06%로 두 수종 모두 연도간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

리기다소나무 낙엽의 인 농도는 봄부터 급격하게 증가하기 시작하여 4월경에 최고치에 도달한 후(0.087%), 8월경까지 급격히 감소하였다가 9월에 연중 두 번째의 최고치를(0.067%) 보였으나 이후 다시 급격하게 감소하여 낙엽기인 11월과 12월에 연중 최저치(0.021%)에 도달되었다. 또한 낙엽송 낙엽 내 인 농도의 계절적 변화양상은 질소의 양상과 거의 일치하였으며(Fig. 11), 봄부터 증가하기 시작하여 8월에 최대치를 보인 후(평균 0.087%), 낙엽기인 11월과 12월에 연중 최저치에(0.030%) 도달되어 리기다소나무와 그 경향이 거의 일치되었다. 이와 같이 낙엽송의 경우 질소와 인의 계절적 양상이 유사함을 보이는 결과는 문과 주(1994)의 결과와 일치되는 것이다.

대부분의 양분들이 낙엽생산량이 적은 하절기에 그 농도가 높고 낙엽 생산량이 많은 가을 특히 11월이나 12월에 가장 낮았던 것은 성장기에 엽에 집중되어 있던 양분들이 낙엽기에 들어서면서 낙엽이 되기 전에 소지와 같은 타 부위로 이동되기 때문인 것으로 생각되는데, 이와 같은 양분의 이동은 결국 임목 자체에서 보면 낙엽에 의해서 발생하는 양분 손실을 최소화하기 위한 양분의 회수 기작이라 할 수 있는 것이다(Lea and Ballard 1982, Gholz et al. 1985).

#### 낙엽층에서의 총 유기물량 및 양분 축적량

본 조사의 임상에 축적되어 있는 낙엽층을 대상으로 낙엽을 포함하는 주요 양분의 축적량을 조사한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 낙엽층 내 질소와 인 농도 그리고 낙엽 축적량에서는 수종간의 차이가( $p < 0.001$ ), 그리고 질소와 인의 축적량에서는 수종간 그리고 처리간에 유의적인 차이가 있는 것으로 나타

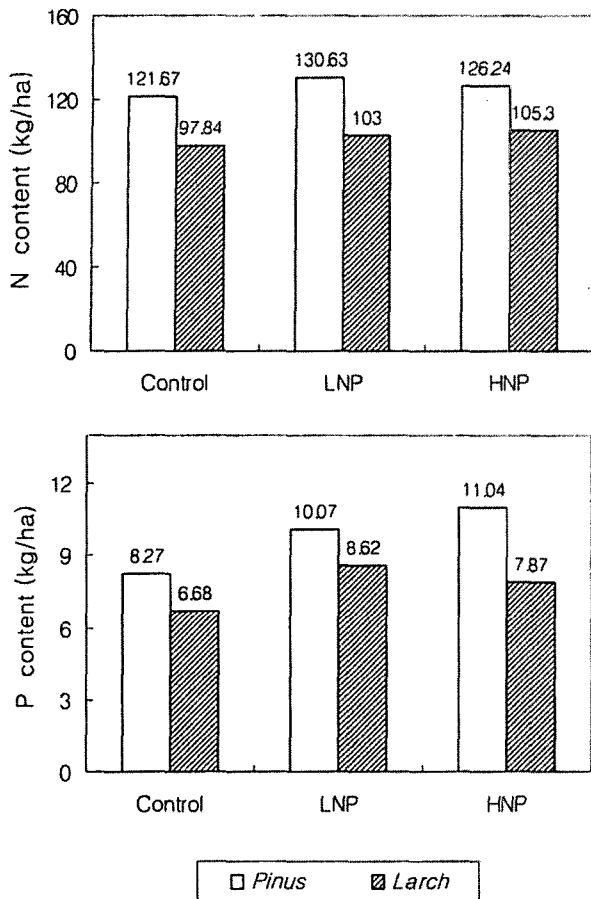


Fig. 6. Litterfall nitrogen and phosphorus contents (kg/ha) in forest floor for *P. rigida* and *L. kaempferi* plantations.

났다( $p < 0.01$ ).

리기다소나무 임분에서 추정된 낙엽층의 총 축적량은 대조구가 24,333 kg/ha, LNP 처리구가 24,555 kg/ha, HNP 처리구가 24,000 kg/ha였으며, 낙엽송 임분에서는 대조구가 10,600 kg/ha, LNP 처리구가 10,911 kg/ha, HNP 처리구가 10,778 kg/ha로 두 수종 모두 처리구간에 차이가 없었으며, 수종별로는 리기다소나무 임분이 낙엽송 임분에 비해 두 배 이상 낙엽층의 축적량이 많은 것으로 나타났다. 본 연구에서 나타난 리기다소나무 임상에서의 총 낙엽 축적량은 관악산에서 Chang과 Ko(1982)에 의해 조사된 27,010 kg/ha, 그리고 미국 위스컨신주의 28년생 *Picea abies* 림을 대상으로 Gower와 Son(1992)에 의해 조사된 24,700 kg/ha와 대체로 유사하였으며, 낙엽송의 경우에는 Australia의 30년생 라디아타소나무 임분을 대상으로 조사된 14,500 kg/ha (Turner and Lambert 1986)과는 유사하였으나 28년생 *L. decidua* 림을 대상으로 조사된 37,500 kg/ha (Gower and Son 1992)에 비해서는 대단히 낮은 결과이다. 또한 질소와 인의 축적량의 경우, 리기다소나무 임분에서는 대조구가 121.7, 8.3 kg/ha, LNP 처리구가 130.6, 10.1 kg/ha, HNP 처리구가 126.2, 11.0 kg/ha이었으며, 낙엽송 임분에서는 대조구가 97.8, 6.7 kg/

ha, LNP 처리구가 103.0, 8.6 kg/ha, 그리고 HNP 처리구가 105.3, 7.9 kg/ha으로 두 수종 모두 시비처리구가 대조구에 비해 질소와 인의 양분 축적량이 많은 것으로 나타났다.

이와 같은 결과는 같은 임지를 대상으로 조사된 리기다소나무 낙엽층에서의 질소와 인 함량인 128, 15 kg/ha, 그리고 낙엽송 임분에서의 124, 16 kg/ha(김 등 1996)에 비해 질소량은 유사하였으나 인 양은 다소 낮은 것이었으며, 30년생 라디아타소나무 임분을 대상으로 조사된 88, 4.2 kg/ha(Turner and Lambert 1986)에 비해서는 질소와 인 모두 높은 경향을 나타내었다. 그러나 경기도 수원시의 40년생 리기다소나무와 낙엽송 인공림을 대상으로 조사된 리기다소나무 710, 37.5 kg/ha, 그리고 낙엽송 585, 25 kg/ha의 결과(Kim and Lee 1998)에 비해서는 매우 낮은 결과를 나타내었다. 이와 같이 동일 수종이며, 임령도 비슷한 임지의 낙엽층에서 양분 축적량이 큰 차이를 보이는 것은 기후나 토양 등의 임지 환경적인 원인에 의한 것으로 사료되며, 특히 Kim(1996) 그리고 Kim과 Lee(1998)가 조사한 임지의 경우에는 수 회에 걸친 간벌, 식생 조절, 그리고 시비 등의 산림 무육 관리를 지속적으로 실시한 데 기인하는 것으로 판단된다.

한편, 낙엽송 임분 내 낙엽층에서의 총 낙엽 축적량은 리기다소나무 임분에 비해 50% 밖에 되지 않았으나 낙엽층에서의 주요 양분량은 질소가 리기다소나무 임분의 81%, 그리고 인은 79%를 차지하고 있어 낙엽송 임분에서의 낙엽층의 양분농도와 토양으로의 양분 환원량이 더 많은 것으로 나타났다. 또한 낙엽송 임분에서의 처리구간 평균 연간 낙엽생산량은 4,778 kg/ha로 6,376 kg/ha를 보인 리기다소나무 임분의 낙엽생산량에 75% 정도를 차지하고 있는데 비해, 낙엽층의 축적량이 50%밖에 되지 않았다는 것은 낙엽송 임분에서의 낙엽 분해가 리기다소나무 임분에 비해 상대적으로 빨리 이루어지고 있음을 의미하는 것이다.

본 연구에서는 낙엽의 분해에 관련해서는 조사하지 않았으나 Upadhyay(1988) 그리고 Rawat과 Singh(1995) 등이 낙엽의 분해 속도와 낙엽 내 양분 농도와는 고도의 정의 상관관계( $r^2 = 0.861 \sim 0.949$ )가 있음을 밝힌 바 있고, Hart 등 (1992)은 낙엽의 연간 유입량이 많은 임분에서는 유기 물질들의 과다 축적에 의해 낙엽의 분해율이 낮아진다고 보고한 바 있으며, 장과 박(1986)은 낙엽이 완전히 분해되는 데까지 걸리는 시간이 낙엽송은 약 4년, 그리고 리기다소나무는 약 5.5년이 소요된다고 보고한 바 있다. 이와 같은 결과들을 종합하여 볼 때, 본 연구에 있어서 낙엽송 임분에서의 낙엽 분해 속도가 리기다소나무 임분에 비해 빠를 것이라는 추정은 타당한 것으로 판단된다.

## 적 요

본 연구는 경기도 양평지역 내 서로 인접하여 있고 동일한 임지 환경 위에 생육하고 있는 41년생 리기다소나무와 낙엽송 조림지를 대상으로 질소와 인 시비처리가 리기다소나무와 낙엽송의 낙엽 생산량 및 양분 동태에 미치는 영향을 구명하기

위하여 수행되었다. 낙엽 생산량은 시료채취 시기와 수종간에 통계적으로 유의성이 인정된 반면, 시비 처리간에는 유의적인 차이가 없었던 것으로 나타났다. 연간 낙엽 생산량은 리기다소나무가 6,377 kg/ha 그리고 낙엽송이 4,778 kg/ha이었다. 낙엽 내 양분농도는 낙엽송이 리기다소나무에 비해 높았으며, 두 수종 모두 처리구간에 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한 낙엽 내 양분 농도는 낙엽송에서의 Ca 함량을 제외하고 두 수종 모두 연중 낙엽 생산량이 가장 많았던 늦가을에서 가장 낮았으며, 연중 낙엽 생산량이 가장 적었던 여름에 가장 높았던 것으로 나타났다. 또한 리기다소나무와 낙엽송 임분 임상의 총 유기물 함량은 24,296 kg/ha, 그리고 10,763 kg/ha였으며, 임상 내 질소와 인의 함량은 리기다소나무가 126, 10 kg/ha, 그리고 102, 8 kg/ha로 각각 나타났다.

검색어 : 낙엽, 시비, 양분동태, *Larix kaempferi*, *Pinus rigida*

### 인용문헌

- 김재근, 장남기. 1989. 관악산에 식재된 리기다소나무림에서의 낙엽의 생산과 분해. 한국생태학회지 12(1): 9-20.
- 김종성, 손요환, 임주훈, 김진수. 1996. 리기다소나무와 낙엽송 인공조림지의 지상부 생체량, 질소와 인의 분포 및 낙엽에 관한 연구. 한국임학회지 85(3): 416-425.
- 김종성. 1995. 양평지역 리기다소나무, 낙엽송, 졸참나무림의 물질생산과 질소와 인의 분포에 관한 연구(박사학위논문). 고려대학교, 서울.
- 문형태, 주환택. 1994. 상수리나무림과 리기다소나무림의 낙엽생산과 분해. 한국생태학회지 17(3): 345-353.
- 박봉규, 김준기, 장남기. 1970. 광릉 및 오대산의 주요 산림식물의 에너지 및 양분순환에 대하여. 한국생활과학연구원논총 4: 49-59.
- 이인숙. 1980. 남한의 산림생태계에 있어서의 낙엽의 분해모델(박사학위논문). 이화여자대학교, 서울.
- 이임균, 손요환. 2004. 질소와 인 시비가 리기다소나무와 낙엽송 침엽 및 소지에서의 부위별 양분의 계절적 변화 및 재분배에 미치는 영향. 한국생태학회지 27(4): 199-210.
- Binkley D. 1986. Forest Nutrition Management. John Wiley & Sons, New York. p 290.
- Bray JR, Gorham E. 1964. Litter production in forest of the world. Adv Ecol Res 2: 101-158.
- Chang NK, Kim IJ. 1983. A study of the matter production and decomposition of *Quercus serrata* and *Carpinus laxiflora* forests at Piagol in Mt. Jiri. Korean J Ecol 6(3): 198-207.
- Chang NK, Ko MH. 1982. Turnover rates of mineral nutrients of litters under *Pinus koraiensis* and *Pinus rigida* forests. Korean J Ecol 5(1): 28-33.
- Cole DW, Rapp M. 1981. Elemental cycling in forest ecosystems. p. 341-409. In : Reichle, D.E. (ed.). Dynamic Properties of Forest Ecosystems. IBP 23. Cambridge University Press, Cambridge.
- Fahey TJ. 1983. Nutrient dynamics of aboveground detritus in lodgepole pine (*Pinus contorta* spp. *latifolia*) ecosystems, southeastern Wyoming. Ecol Monogr 53: 51-72.
- Foster NW, Morrison IK. 1983. Nutrient recycling with respect to whole tree harvesting in natural stands. Pages 60-65. In : Robertson, D. (ed.). Proc. Coord. Sixth International FPRS Industrial Wood Energy Forum 1982. Vol. 1. Proc. 7334, Wisconsin, D.C., 8-10 Mar. 1982. For. Prod. Res. Soc., Madison, Wisconsin. 53705.
- Fyles JW, Côté B, Courchesne F, Hendershot, WH. 1994. Effects of base cation fertilization on soil and foliage nutrient concentrations and litter-fall and throughfall nutrient fluxes in a sugar maple forest. Can J For Res 24: 542-549.
- Gholz HL, Perry CS, Cropper Jr WP, Hendry LC. 1985. Litterfall, decomposition, and nitrogen and phosphorus dynamics in a chronosequence of slash pine (*Pinus elliotii*) plantations. Forest Sci. 31: 463-478.
- Gower ST, Son Y. 1992. Differences in soil and leaf litterfall nitrogen dynamics for five forest plantations. Soil Sci Soc Am J 56: 1959-1966.
- Hart SC, Firestone MK, Paul EA. 1992. Decomposition and nutrient dynamics of ponderosa pine needles in a Mediterranean-type climate. Can J For Res 22: 306-314.
- Howerd DM, Howerd PTA. 1974. Microbial decomposition of trees and shrub leaf litter. Oikos 25: 341-352.
- John MK. 1970. Colorimetric determination of phosphorous in the soil and plant material with ascorbic acid. Soil Sci 109: 214-220.
- Keenan RJ, Prescott CE, Kimmins JP. 1995. Litter production and nutrient resorption in western red cedar and western hemlock forests on northern Vancouver Island, British Columbia. Can J For Res 25: 1850-1857.
- Kim DY. 1996. Changes in nutrient distribution, cycling, and availability in aspen stands after an intensive harvesting. J Kor For Soc 85(4): 656-666.
- Kim DY, Lee DK. 1998. Distribution of ecosystem nutrients in pitch pine, Korean pine, larch and oak forests in Kyunggi-do, Korea. Proceedings of IUFRO Inter-Divisional Seoul Conference. Oct. 12-17. Seoul, Korea. pp 330-339.
- Lea A, Ballard R. 1982. Relative effectiveness of nutrient concentrations in living foliage and needle fall at predicting response of loblolly pine to N and P fertilization. Can J For Res 12: 713-717.
- Lousier JD, Parkinson D. 1975. Litter decomposition in a cool temperate deciduous forest. Can J Bot 54: 419-436.
- Miller HG, Miller JD. 1976. Analysis of needlefall as a means of assessing nitrogen status in pine. Forestry 49: 57-61.
- Minderman G. 1968. Addition, decomposition and accumulation of organic matter in forests. J Ecol 2: 355-362.
- Olsen JS. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. Ecology 44: 322-331.
- Ovington JD, Heitkamp D. 1960. Accumulation of energy in forest plantations in Britain. J Ecol 48: 639-646.
- Park GS. 1997. Soil chemistry changes after N, P, and K fertilization in a Willow (*Salix* spp.) bioenergy plantation. J Kor For Soc 86(3): 311-318.
- Rawat L, Singh SP. 1995. Leaf litter decomposition and nitrogen concentration in decomposing leaves of a *Quercus semecarpifolia* (Smith) forest stand of Kumaun Himalaya. Commun. Soil Sci Plant Anal. 26(3/4): 411-424.
- SAS. 1988. SAS/STAT User's Guide, 6.03 edition, SAS Institute, Cary,

- NC, USA.
- Sharma E, Ambasht RS. 1987. Litterfall, decomposition and nutrient release in an age sequence of *Alnus nepalensis* plantation stands in the eastern Himalaya. *J Ecol* 75: 997-1010.
- Son Y, Lee IK. 1997. Soil nitrogen mineralization in adjacent stands of larch, pine and oak in central Korea. *Ann Sci For* 54: 1-8.
- Turner J, Lambert MJ. 1986. Fate of applied nutrients in a long-term superphosphate trial in *Pinus radiata*. *Plant Soil* 93: 373-382.
- Twilley RR, Lugo AE, Patterson-Zucca C. 1986. Litter production and turnover in basin mangrove forests in southwest Florida. *Ecology* 67: 670-683.
- Upadhyay VP. 1988. Pattern of immobilization and release of nitrogen in decomposing leaf litter in Himalayan forest. *Proc Indian Acad Sci (Plant Sci.)* 98: 215-226.
- Van Cleve K, Noonan LL. 1975. Litterfall and nutrient cycling in the forest floor of birch and aspen stands in interior Alaska. *Can J For Res* 5:626-639.
- Vitousek PM. 1982. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. *Am Nat* 119: 553-572.
- Vogt KA, Grier CC, Vogt DJ. 1986. Production, turnover, and nutrient dynamics of above- and below-ground detritus of world forest. *Adv Ecol Res* 15: 303-377.
- Wilde SA, Corey RB, Iyer JG, Vioigt GK. 1979. *Soil and Plant Analysis for Tree Culture*. Oxford and IBH Publishing, New Delhi. p 224.  
(2006년 1월 16일 접수; 2006년 3월 3일 채택)