

리기다소나무와 落葉松 人工造林地の 地上部 生體量, 窒素와 燐의 分布 및 落葉에 관한 研究¹

金鍾成² · 孫堯丸² · 林柱勳³ · 金眞水²

Aboveground Biomass, N and P Distribution, and Litterfall in *Pinus rigida* and *Larix leptolepis* Plantations¹

Jong-Sung Kim², Yowhan Son², Joo-Hoon Lim³ and Zin-Suh Kim²

요 약

경기도 양평지역의 사질식양토 위에 인접하여 생육하고 있는 37년생 리기다소나무와 낙엽송 인공조림지에서 지상부 식생의 생체량, 임목과 낙엽층 및 지표로부터 20cm 깊이까지의 토양내 질소(N)와 인(P)의 분포 그리고 낙엽량 등을 측정하였다. 리기다소나무와 낙엽송의 지상부 임목의 생체량은 각각 138.2t/ha와 127.2t/ha로 수종간의 차이는 없었다. 수피와 엽내 N의 농도는 낙엽송에서 리기다소나무보다 높았다. 하층식생이 지상부 식생의 총생체량에 차지하는 비율은 2% 이하이었으나, 양료량에서는 12.0%까지 차지하여 양료의 주요 분포장소로 나타났다. 토양내 N과 P의 농도는 낙엽송 임지에서 리기다소나무 임지에 비해 높게 나타났으며 생태계내 총N의 함량은 낙엽송에서 5,579kg/ha로 리기다소나무의 4,147kg/ha보다 많았다. 연간 낙엽량은 리기다소나무에서 6,020kg/ha로 낙엽송의 4,191kg/ha보다 많았으나 낙엽층 엽내 N의 함량은 낙엽송에서 2배정도 많게 나타났다. 본 연구결과 수종이 산림생태계내 양료의 분포와 순환에 중요한 영향을 미치고 있음이 나타났다.

ABSTRACT

Aboveground biomass, distribution of N and P in tree components, forest floor and the top 20cm of mineral soil, and litterfall were determined in adjacent 37-year-old plantations of *Pinus rigida* Mill. and *Larix leptolepis* Gord. on a sandy clay loam soil in Yangpyeong, Kyonggi Province. Total aboveground tree biomass for *P. rigida* and *L. leptolepis* were 138.2 and 127.2 t/ha, respectively, and did not differ between the two species. Nitrogen concentrations in stem bark and foliage were all greater in *L. leptolepis*. Understory biomass contributed less than 2.0% of the total aboveground biomass but contributed up to 12.0% of the aboveground nutrient contents. Soil below *L. leptolepis* had higher concentrations of N and P. Total ecosystem N content (kg/ha) was greater for *L. leptolepis* (5,579) than *P. rigida* (4,147). Litterfall dry mass (kg/ha/yr) was greater for *P. rigida* (6,020) than *L. leptolepis* (4,191) whereas N contents in leaf litterfall (kg/ha/yr) was almost twice as large in *L. leptolepis* (28) than *P. rigida* (16). This common garden experiment suggests a strong influence of tree species on nutrient distribution and cycling in a forest ecosystem.

Key words : aboveground biomass, forest floor, *Larix leptolepis*, litterfall, nitrogen, phosphorus, *Pinus rigida*, soil

* 接受 1996年 3月 7日 Received on March 7, 1996.

¹ 본 연구는 고려대학교 특별연구비 지원에 의하여 수행된 것임.

² 고려대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Korea University, Seoul 136-701, Korea.

³ 임업연구원 Forestry Research Institute

서론

리기다소나무(*Pinus rigida* Mill.)와 낙엽송(*Larix leptolepis* Gord.)은 우리나라에 널리 식재되어 국내 산림자원중 큰 비중을 차지하고 있는 바적절한 산림시업을 위하여 물질생산과 양료의 분포 및 순환에 기초를 둔 생태적 구조와 기능에 대한 이해가 필요하다. 그러나 이들 수종에 대하여 물질생산 관련 연구가 일부 수행되었으나(김갑덕 등, 1985; 김갑덕과 이경재, 1983; 김준호, 1971; 이경재 등, 1985; 임경빈 등, 1981, 1982) 아직까지 생태계내 양료의 분포와 순환을 바탕으로 물질생산과의 관계를 규명한 연구는 부족한 실정이다(김재근과 장남기, 1989; 문형태와 주환택, 1994).

리기다소나무는 잎의 수명이 1년 이상인 상록 침엽수로서 매년 잎의 일부를 낙엽으로 임지에 환원하는 반면 낙엽송은 매년 잎의 전부를 임지에 환원하는 낙엽성 수종이나 잎의 형태와 수관의 구조는 상록성 침엽수와 유사하다. 상록성이나 낙엽성과 같은 잎의 형태는 물질생산이나 양료의 분포 및 순환과 밀접한 관계가 있는 것으로 추정되어 이들 간의 관련성에 대한 많은 연구가 진행되어 왔으나(Chabot와 Hicks, 1982; Cole과 Rapp, 1981; Escudero 등, 1992; Field, 1983; Reich 등, 1992) 아직까지 명확한 결론에 이르지 못하고 있는 실정이다. 더우기 수종별 물질생산이나 양료순환의 차이 연구는 토양이나 다른 환경인자의 영향을 가능한 한 극소화시켜야 한다는 전제조건때문에 극히 제한적으로 실행되어 왔다(Binkley, 1995; Son과 Gower, 1992).

본 연구는 리기다소나무와 낙엽송의 물질생산과 주요 양료 분포 및 순환의 차이를 구명하기 위하여 경기도 양평지역의 유사한 입지 환경에 동일한 시점에 인공조림되어 생육하고 있는 37년생 임분을 대상으로 1)지상부 식생의 생체량, 2)지상부 임목, 낙엽층 및 20cm 깊이까지의 토양내 질소와 인의 분포, 그리고 3)낙엽(litterfall)을 통한 양료의 입지 환원량 등을 분석하였다.

재료 및 방법

연구대상지 개황

본 연구는 경기도 양평군 양동면 고송리일대의

고려대학교 연습림(북위 37° 25' 48" - 37° 30' 8", 동경 127° 40' 48" - 127° 40' 154") 내 큰골지역의 리기다소나무와 낙엽송 임분에서 실행되었다. 이들 임분은 1956년 참나무류 천연림을 개벌한 후 토양과 입지여건이 유사한 지역에 인공조림에 의하여 성립된 37년생(1993년 현재)으로 임분의 주요 특성은 Kim 등(1995)에 나타나 있다.

하층식생으로는 리기다소나무림에서 신갈나무(*Quercus mongolica* Fisch.), 졸참나무(*Q. serrata* Thunb.), 상수리나무(*Q. acutissima* Carruth.), 개울나무(*Rhus trichocarpa* Miq.) 등이, 낙엽송림에서 갈참나무(*Q. aliena* Bl.), 신갈나무, 난티알개암나무(*Corylus heterophylla* Fisch.), 그리고 노린재나무(*Symplocos chinensis* for. *pilosa* Ohwi.) 등이 출현하였다. 지난 10년간(1984-1993)의 1월과 7월 평균 기온은 각각 -7.9℃와 24.1℃이었고, 연평균 강수량은 1,365mm였다(중앙기상대, 1984-1993). 토양형은 갈색전조 산림토양(B1)으로 분류되었다.

시료채취 및 분석

리기다소나무와 낙엽송 임분에 각각 3개씩의 15m×15m 방형구를 설치하고 방형구내의 리기다소나무와 낙엽송의 흉고직경을 측정하였으며 생체량 추정 회귀식을 조제하기 위하여 수종별로 10본씩 총 20본을 방형구 밖에서 벌채하였다(Kim 등, 1995). 벌채목을 부위별(수간복부, 수피, 가지, 잎)로 분류하고 양료분석을 위하여 수간의 매 2m 간격으로 채취한 원판으로부터 수피와 수간복부 시료를 취하고 가지와 잎은 수간의 3개 부위에서 1개씩 채취한 가지로부터 채취하였으며, 흉고직경을 이용하여 기 조제된 회귀식(Kim 등, 1995)으로 임목부위별 생체량을 추정하였다. 리기다소나무의 경우 잎을 당년생과 1년생 이상 등 2가지로 분류하여 생체량을 추정하고 양료분석용 시료를 취하였다.

하층식생의 생체량을 추정하기 위하여 각 방형구내에 2개씩의 2m×2m의 소형 방형구를 설치하고 연구대상 수종을 제외한 모든 임목과 관목 그리고 초본을 지표면에 근접하여 절단하고 70℃에서 향량이 될 때까지 건조시켰다. 또한 방형구내 4개소에서 900cm²의 낙엽층 전체의 시료를 채취하여 70℃에서 건조시켜 건조량을 측정하고 이를 낙엽층내 양료량 추정을 위한 시료로 사용하

였다. 방형구내 4개소에서 직경 5cm, 깊이 25cm의 토양 채취기를 이용하여 지표로부터 20cm 깊이까지의 토양시료를 채취하여 토양의 물리·화학적 성질의 분석에 사용하였다.

연구대상 임분의 방형구내 4개 지점에 직경 31cm, 높이 15cm의 원통형 플라스틱 littertrap을 지표면에 수평이 되도록 설치하여 1993년 6월 27일부터 1년동안 낙엽 낙지 및 기타 시료를 채취하였다. 낙엽시료 채취 일자는 1993년 8월 27일, 9월 20일, 10월 19일, 11월 5일, 11월 22일, 12월 8일, 1994년 4월 30일, 6월 27일 등으로 총 8회였다. 낙엽 시료는 채취시기별로 연구대상 수종의 잎, 목질부, 기타(타 수종의 잎, 꽃, 곤충의 사체, 분류가 불가능한 미세물질 등) 등으로 분류하여 건중량을 측정하였다. 양료분석에 필요한 낙엽시료량을 확보하기 위하여 채취한 낙엽을 생육기(6월말-9월말, 익년 4월말-6월말), 낙엽기(9월말-11월말), 휴지기(11월말-4월말) 등 3시기로 구분하였다.

지상부 임목의 부위별 시료와 하층식생, 낙엽층 및 낙엽시료에서 일정량을 취하여 분쇄기로 분쇄하고 양료분석에 사용하였다. 식물체 및 토양 양료분석은 농업기술연구소(1988)에 따라 실행하였다. 토양의 산도는 토양과 증류수를 1:5의 비율로 섞어 pH meter로 측정하였으며, 토성은 비

중계법(Gee와 Bauder, 1986)으로 측정하였다. 전질소는 Kjeldahl법으로 측정하고, 인은 Vandate법으로 비색(Hitachi, v-2000 spectrophotometer) 측정하였다. 유기탄소는 Tyurin법으로 측정하였으며, 치환성염기(K, Ca, Mg, Na)는 1-N Ammonium acetate로 침출하여 ICP(Inductively Coupled Plasma, lantam-8440)를 이용하여 측정하였다.

통계분석

임목의 양료함량은 부위별 건중량에 양료의 농도를 곱하여 구하였다. 토양의 양분 함량은 각 양분의 농도, 가비중 및 층위의 두께로부터 구하였다. 연구대상 두 수종간의 토양의 물리·화학적 성질, 생체량, 양료농도 및 양료함량 등의 차이를 비교하기 위하여 t-test를 실시하였다. 모든 통계분석에 SAS(1988)를 사용하였다.

결과 및 고찰

낙엽층 및 토양의 물리·화학적 성질

연구대상 임분의 낙엽층과 토양의 물리·화학적 특성을 분석한 결과는 Table 1에 나타나 있다. 낙엽층의 건량, N과 P의 함량(kg/ha)은 리기다소나무에서 14, 110, 128, 15, 낙엽층에서

Table 1. Physical and chemical characteristics of forest floor and mineral soil(20cm depth) for *Pinus rigida* and *Larix leptolepis* plantations in Yangpyeong, Kyonggi Province(mean±one standard error). Values in the same row followed by a different letter are different at p=0.05.

	<i>P. rigida</i>	<i>L. leptolepis</i>
Forest floor		
dry mass(kg/ha)	14,110(290)a	12,150(390)a
N(kg/ha)	128(7)a	124(20)a
P(kg/ha)	15(1)a	17(1)a
Mineral soil		
texture	sandy clay loam	sandy clay loam
bulk density(g/cm ³)	1.08(0.06)a	0.95(0.04)a
pH	4.9(0.1)a	4.9(<0.1)a
organic C(%)	6.36(0.60)a	8.03(0.21)a
total N(%)	0.18(0.02)a	0.28(0.01)b
available P ₂ O ₅ (ppm)	15.34(0.39)a	18.54(0.72)b
exchangeable cation(me/100g)		
K	0.19(0.01)a	0.10(0.01)a
Ca	2.03(0.97)a	1.31(0.13)a
Mg	0.22(0.04)a	0.19(0.03)a
Na	0.08(0.01)a	0.06(0.01)a

12, 150, 124, 17로 수종간의 뚜렷한 차이는 없었다. 본 연구결과와 낙엽층 건량이나 N과 P의 함량은 일반적으로 온대지방 상록 또는 낙엽침엽수림에서 관찰되는 수치와 유사하다(Cole과 Rapp, 1981; Vogt 등, 1986). 또한 Perala와 Alban (1982)이 40년생 *Populus tremuloides*, *Picea glauca*, *Pinus resinosa*, *Pinus banksiana* 임분에서 낙엽층 건량이 차이가 없음을 보고한 결과와도 유사하다.

연구대상 임분의 토양은 모두 사질식양토였으며, 가비중, pH, 유기탄소, 치환성 K, Ca, Mg, Na 농도 등에서 수종간 차이는 없었다(Table 1). 그러나 전질소와 유효인산의 농도는 낙엽송 임지에서 리기다소나무 임지보다 높게 나타났다($p < 0.05$). 토양내 양료의 유효성은 지상부 또는 지하부 근계로부터 유입되는 유기물내 양료의 농도와 관련이 있는 것으로, 연구대상 임분에서 낙엽송 낙엽내 N, P의 농도가 리기다소나무보다 높은 점이나(아래 낙엽 부분 참조), 동일한 임지에서 측정된 토양 질소 무기화량이 낙엽송 임지에서 리기다소나무 임지보다 2배 정도 많은 연구결과(손요환, 1995, 미발표 자료)와 관련이 있는 것으로 보인다(Binkley, 1995; Boettcher와 Kalisz, 1990; Challinor, 1968).

또한 일반적으로 토양내 양료의 유효도가 상록성 침엽수보다 낙엽성 수종에서 높다는 과거의 연구결과와도 일치하는 것이다(Gosz, 1981).

동일한 시기에 유사한 임지조건에 각기 다른 두 가지 수종을 식재하고 37년이 경과한 다음 측정된 본 연구에서 토양의 성질 가운데 일부만이 수종간 차이를 보이고 있는데, 식생과 토양성질의 상호관련성에 대하여는 종전의 연구결과에서도 일치된 결론에는 이르지 못하고 있는 것으로 보인다. 즉 France 등(1989), Perala와 Alban(1982),

Son과 Gower(1993) 등은 식생에 의한 토양성질의 변화가 뚜렷하지 않음을 보고한 반면, Alban (1982), Binkley와 Valentine(1991), Brand 등 (1986)은 식생에 의해 변화된 토양성질을 보고하여 식생의 토양에 대한 영향정도는 수종, 임령, 토양조건 등에 따라 차이가 있음을 암시하고 있다(Binkley, 1995; Son과 Gower, 1992).

지상부위 생체량 및 양료량

지상부 임목의 생체량은 리기다소나무와 낙엽송이 각각 138.2와 127.2t/ha로 수종 간의 차이는 없었다(Table 2). 본 연구에서 측정된 리기다소나무의 지상부 생체량은 Kimmins 등(1985)이 전 세계지역을 대상으로 문헌을 통해 조사한 온대지방 20-50년생 소나무속 수종들의 50-300t/ha나, 국내에서 측정된 소나무속 수종들의 88-200t/ha 범위내에 있다(김준호, 1971; 박인협과 이석면, 1990; 이수욱, 1985; 이경재 등, 1985). 또한 김갑덕 등(1985)이 추정된 경기도 수원지역 50년생 리기다소나무림 126.7t/ha와 비교하여 큰 차이는 없다. 낙엽송의 생체량은 Kimmins 등(1985)과 Schulze 등(1995)이 조사한 일갈나무속의 추정치인 44-275t/ha 범주에 있다. 국내에서 임경빈 등(1981)이 경기도 광주지역 15년생 낙엽송에 대해 64t/ha를, 김갑덕과 이경재(1983)가 63년생 낙엽송에서 173t/ha를 보고한 바 있다. 동일한 토양에 각기 다른 수종을 식재하고 수종간의 생체량 차이를 비교한 연구로 Alban 등(1978)과 Gower 등(1993)이 있으며, 특히 Gower 등(1992)은 동령의 *L. decidua*가 *P. strobus*, *P. resinosa*, *Picea abies* 등보다 지상부 임목 생체량이 월등히 많음을 보고한 바 있으나 본 연구에서는 리기다소나무와 낙엽송간의 생체량 차이가 뚜렷하지 않았다. 지상부 임목 부위별 생체량의 수종간 차이는

Table 2. Tree components biomass(t/ha) for *Pinus rigida* and *Larix leptolepis* plantations in Yangpyeong, Kyonggi Province(mean ± one standard error). Values in the same row followed by a different letter are different at $p=0.05$.

Species	Stemwood	Stembark	Branch	Foliage total	Current foliage	>1-yr-old foliage	Total
<i>P. rigida</i>	96.85a (1.53)	11.40a (0.18)	22.77a (0.22)	7.14a (0.10)	3.06a (0.11)	4.08a (0.02)	138.16a (2.03)
<i>L. leptolepis</i>	94.46a (4.13)	8.79b (0.32)	21.16a (0.98)	2.79b (0.13)	2.79a (0.13)		127.19a (5.54)

수간목부와 가지에서 유의하지 않았으나 잎과 수피에서 유의하였다(Table 2). 임목부위별 생체량은 두 수종 모두에서 수간목부>가지>수피>잎의 순으로 다른 연구결과들과 유사하였다(Alban 등, 1978; Perala와 Alban, 1982; Vanlear 등, 1984). 리기다소나무와 낙엽송에서 수간(수간목부+수피)이 지상부 임목 총생체량의 77과 80%를 각각 차지하고 있었으며, 상록성 수종인 리기다소나무의 경우 침엽을 연령에 따라 구분할 때 당년생 잎이 전체 잎 생체량의 43%를 차지하고 있었다. 하층을 구성하고 있는 관목 및 초본류의 생체량은 리기다소나무와 낙엽송에서 각각 2.7과 1.3t/ha로 이들이 지상부 전체 식생의 생체량에 차지하는 비율은 각각 2.0과 1.0%였다.

임목 각 부위별 N과 P의 농도는 두 수종 모두에서 잎에서 가장 높고 수간목부에서 가장 낮았으나 부위별 농도의 순위는 수종간에 차이가 있었다(Table 3). 즉 리기다소나무의 경우 N의 농도는 잎>가지>수피>수간목부의 순이었으며, P의 농도는 잎>수피>가지>수간목부의 순이었다. 반면 낙엽송의 경우 N과 P의 농도는 잎>수피>가지>수간목부 등의 순이었다. 임목 부위별 N과 P의 농도순위나 절대농도는 소나무속과 일갈나무속에 대한 다른 연구결과들(Son과 Gower, 1992; Schulze 등, 1995; Woodwell 등, 1975)과 유사하였다. 수피와 엽내 N의 농도는 낙엽송에서 리기다소나무보다 높게 나타났으며, 엽내 P의 농도 또한 낙엽송에서 높았다. 이는 동일한 기후내에서 엽내 N의 농도는 낙엽성 수종이 상록성 수종보다 높다는 일반적인 연구결과와 일치되며(Yin, 1993), 일갈나무속의 수종은 같은 침엽수임에도 불구하고 양료의 농도가 높다는 다른 결과와도 같다(Gower 등, 1989). 또한 리기다소나

무에서 당년생 잎과 1년생이상 잎의 N의 농도는 차이가 없었으나, P의 농도는 당년생 잎에서 1년생 이상 잎에 비해 높게 나타났다. Son과 Gower(1992)는 침엽수의 경우 침엽의 연령증가에 따라 N과 P의 농도가 감소하는 것으로 보고하였으나, 본 연구에서는 P의 농도만 감소하였다. 한편 Bockheim 등(1983)은 본 연구결과와 동일하게 *P. resinosa*에서 침엽의 연령 증가에 따라 P의 농도는 감소하나 N의 농도는 변화가 없음을 보고한 바 있다. Son과 Gower(1992)는 당년생 엽내 P의 농도는 잎의 수명이 긴 수종이 잎의 수명이 짧은 수종보다 높다고 보고하였으나 본 연구에서는 이러한 경향이 없는 것으로 보인다.

지상부 임목내 N과 P의 총량은 리기다소나무에서 201.9와 38.0kg/ha, 낙엽송에서 205.3과 30.0kg/ha로 수종간에 차이는 없었다(Fig. 1). 이 수치는 본 연구대상 임분과 유사한 생체량을 지닌 다른 임분에서 얻어진 결과와 비교하여 유사한 값을 보이고 있다. 즉 리기다소나무는 40년

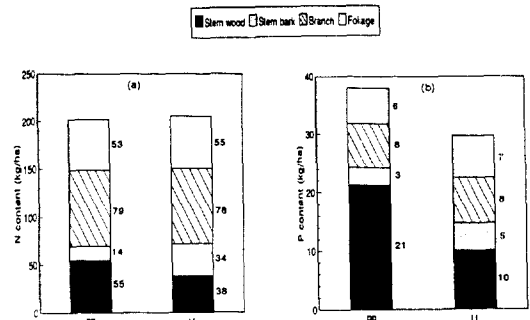


Fig. 1. N(a) and P(b) contents(kg/ha) of above-ground tree components for *P. rigida*(PR) and *L. leptolepis*(LL).

Table 3. Nutrient concentrations of aboveground tree components in *Pinus rigida* and *Larix leptolepis* plantations in Yangpyeong, Kyonggi Province(mean + one standard error). Values in the same row followed by a different letter are different at p=0.05.

Species	Stemwood	Stembark	Branch	Current foliage	>1-yr-old foliage
Nitrogen					
<i>P. rigida</i>	0.06(0.01)a	0.13(0.02)a	0.35(0.01)a	1.59(0.04)a	1.43(0.06)
<i>L. leptolepis</i>	0.04(0.01)a	0.38(0.07)b	0.37(0.01)a	1.97(0.06)b	
Phosphorus					
<i>P. rigida</i>	0.02(<0.01)a	0.03(<0.01)a	0.03(0.01)a	0.20(0.02)a	0.15(0.01)
<i>L. leptolepis</i>	0.01(<0.01)a	0.05(0.01)a	0.04(0.01)a	0.26(0.01)b	

생 *P. banksiana*에서 측정한 N(259kg/ha)과 P(25kg/ha)의 함량(Perala와 Aiban, 1982)과 비슷하고, 낙엽송은 28년생 낙엽송의 N(230kg/ha)과 P(28kg/ha)의 함량(Kimmins 등, 1985)과 유사하다. 잎이 지상부 임목 생체량에 차지하는 비율은 리기다소나무와 낙엽송에서 각각 5.2, 2.2%였으나, 임목내 N과 P의 총량에서 차지하는 비율은 리기다소나무에서 26.4와 16.3%, 낙엽송에서 26.8과 24.4%로 생체량의 비중은 낮지만 엽내 양료의 농도가 높아 잎이 지상부 양료의 주저장부위를 보이고 있다. 하층식생내 N과 P의 함량은 리기다소나무에서 27.5와 3.5kg/ha, 낙엽송에서 10.5와 1.4kg/ha로 지상부 식생 전체 N 함량의 4.9-12.0%, P 함량의 4.5-8.5%를 차지하여 하층식생이 산림생태계내 양료의 분포와 순환에 매우 큰 비중을 차지함을 나타내고 있다. 이는 하

층식생의 생체량은 적으나 양료의 농도는 지상부 임목의 앞에서와 유사할 정도의 수준(N : 0.79-1.04%, P : 0.10-0.14%)이었기 때문이다.

생태계내 N과 P의 분포

리기다소나무와 낙엽송림의 생태계(지상부+낙엽층+토양) 전체 N의 함량은 각각 4,147, 5,579 kg/ha로 낙엽송에서 리기다소나무보다 높았으며 (P<0.01), P의 총량은 각각 86, 81kg/ha로 수종간 차이는 없었다(Fig. 2). 이러한 생태계내 양료의 함량은 Cole과 Rapp(1981)이 보고한 온대지방 침엽수림내의 양료양과 유사하다. 깊이 20cm까지의 토양은 생태계 N의 총량 중 리기다소나무에서는 92%, 낙엽송에서는 94%를 차지하고 있어 다른 비슷한 임령의 인공조림지에서 측정된 74-90%(Alban 등, 1978 ; Son과 Gower, 1992)와 큰 차이는 없는 것으로 나타나고 있다. 한편 토양내 P의 함량은 리기다소나무와 낙엽송에서 각각 39, 43%를 차지하고 있어 토양이 생태계내 N과 P의 대부분을 차지하고 있다.

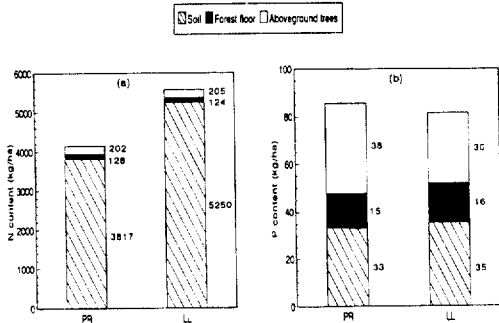


Fig. 2. Nitrogen(a) and phosphorus(b) contents(kg/ha) of aboveground trees, forest floor and mineral soils for *P. rigida*(PR) and *L. leptolepis*(LL).

낙엽을 통한 양료의 환원

연간 총낙엽량은 리기다소나무에서 6,020kg/ha로 낙엽송의 4,191kg/ha보다 많았다(P<0.05). 본 연구결과의 리기다소나무 연간 낙엽량은 서울 관악산에서 측정된 리기다소나무의 낙엽량 6,044kg/ha(김재근과 장남기, 1989)나 충남 공주의 25-30년생 리기다소나무림의 6,532kg/ha(문형태와 주환택, 1994)와 유사하였다. 식물체 부위별 낙엽비율은 리기다소나무 잎이 79%, 목질부가 17% 기

Table 4. Litterfall amount(kg/ha) for each litter components in the study stand(mean ± one standard error).

Species	Jun. 27- Aug. 27	Aug. 28- Sept. 20	Sept. 21- Oct. 19	Oct. 20- Nov. 22	Nov. 23- Dec. 8	Dec. 9- Apr. 30	May. 1- Jul. 27	Total
<i>P. rigida</i>								
Total	355.52	190.12	993.46	2116.34	570.15	1314.52	432.91	6020.03
LS*	77.40 (8.96)	84.46 (10.50)	837.89 (78.16)	1985.70 (118.43)	522.01 (32.61)	1059.70 (144.58)	181.51 (14.48)	4748.67
WS**	250.63 (58.9)	98.04 (31.4)	118.69 (34.14)	76.51 (10.47)	43.28 (7.8)	186.37 (49.4)	251.40 (14.5)	1024.92
<i>L. leptolepis</i>								
Total	227.34	339.74	486.46	2113.32	147.94	325.71	550.38	4190.89
LS	158.33 (8.24)	288.17 (15.24)	409.28 (25.56)	2004.24 (53.96)	122.77 (27.55)	89.98 (7.81)	105.99 (8.04)	3178.76
WS	44.16 (13.15)	15.79 (7.83)	7.18 (3.66)	47.59 (37.79)	23.63 (16.06)	188.36 (43.27)	430.15 (93.43)	756.86

* LS : Leaf of study species, ** WS : Woody and miscellaneous parts of study species.

타 부위가 4%로써 잎이 가장 높았다. 낙엽송의 연간 낙엽량은 박봉규와 이인숙(1980)이 경기도 광릉지역에서 측정한 *Larix kaempferi*의 4,570 kg/ha와 큰 차이는 없었다. 낙엽송의 낙엽 가운데 잎이 76%, 목질부가 18%, 기타 부위가 6%를 차지하여 리기다소나무의 경우와 유사하였다. 이러한 결과는 다른 연구에서 보고된 낙엽량 중 잎이 차지하는 비율인 71-85%(Bares와 Wali, 1979; Gresham, 1982)와 거의 일치한다.

낙엽량의 계절적 분포는 Table 4에 나타나 있다. 일반적으로 낙엽량은 가을철 10월과 11월에 집중되어 연간 총낙엽량 가운데 이들 2개월의 낙엽량이 리기다소나무의 경우 52%를 낙엽송에서는 62%를 차지하고 있었다. 김재근과 장남기(1989)는 리기다소나무림에서 10월과 11월의 낙엽량이 연간 총량의 52%임을 보고하여 본 연구결과와 일치하였다. 리기다소나무림에서는 봄철(4월)에 낙엽량이 가을철에 이어 높게 나타났다. 낙엽송 잎의 계절적 분포는 총 낙엽량과 유사하며, 목질부 및 기타 부위는 잎과는 달리 봄과 여름철에 높게 나타나고 있는데 이는 봄철 옹화의 낙하와 여름철 강우나 바람으로 인한 가지의 낙하 때문인 것으로 보인다.

낙엽중 엽내 N과 P의 농도는 생육기, 낙엽기, 휴지기에 리기다소나무에서 0.55와 0.06%, 0.17과 0.03%, 0.29와 0.03%, 낙엽송에서 1.34와 0.22%, 0.69와 0.11%, 0.55와 0.18% 등으로 낙엽송에서 높게 나타나고 있다($p < 0.05$). 두 수종 모두에서 생육기 동안의 N과 P의 농도가 다른 시기에 비해 높은 것은 양묘의 농도가 높은 녹엽(Table 3)이 여름철 강우나 바람으로 인해 낙엽되어 유입된 때문으로 보인다. 낙엽중 목질부 및 기타 부위의 N의 농도는 리기다소나무에서 0.33%, 낙엽송에서 0.36%로 낙엽송이 높으나 P의 농도는 두 수종 모두에서 0.04%로 수종간 차이는 없었다. 본 연구결과와 낙엽내 N과 P의 농도는 Kimmins 등(1985)의 소나무속과 잎갈나무속 종들에 대한 조사결과치나 문형태와 주환택(1994)의 리기다소나무의 결과 수치, 그리고 박봉규와 이인숙(1980)의 광릉지역 *Larix kaempferi*의 보고결과와 유사하다. 또한 낙엽내 양료의 농도가 낙엽송에서 높은 결과는 낙엽송 수종 특히 잎갈나무속의 종들은 상록성 침엽수에 비해 낙엽내 양료의 농도가 높다는 종전의 Bares와 Wali(1979)

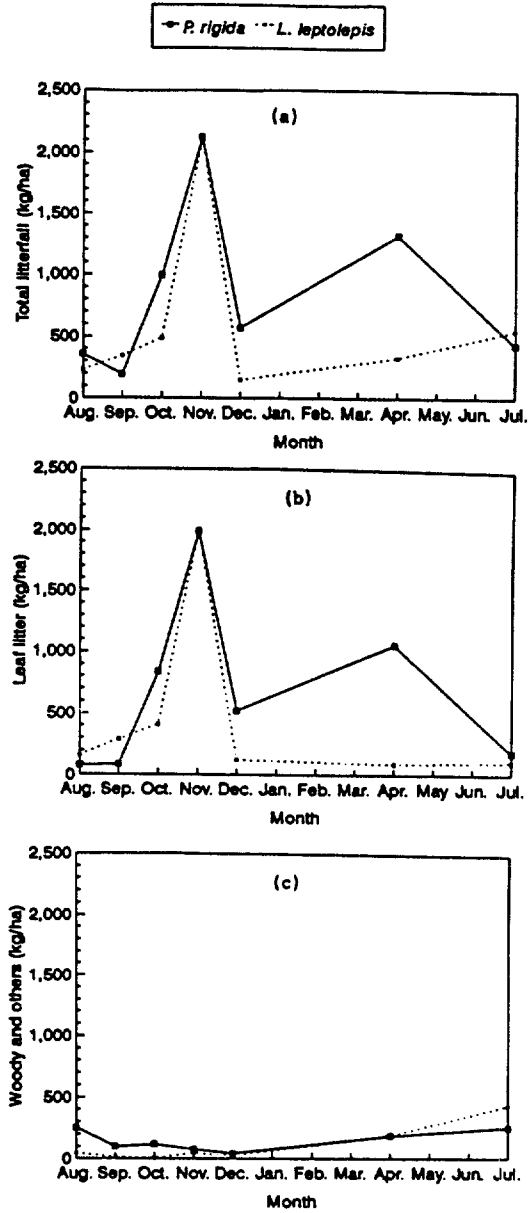


Fig. 3. Seasonal patterns for total litterfall (a), leaf litter (b) and woody and others (c) for *P. rigida* (PR) and *L. leptolepis* (LL).

나 Gower와 Son(1992)의 보고와도 일치한다.

낙엽을 통해 임지로 환원되는 양료의 양은 Fig. 3에 나타나 있다. 연간 N과 P의 총유입량은 리기다소나무에서 15.9와 2.4kg/ha, 낙엽송에서 27.9와 4.7kg/ha로 양료의 유입량이 낙엽송에

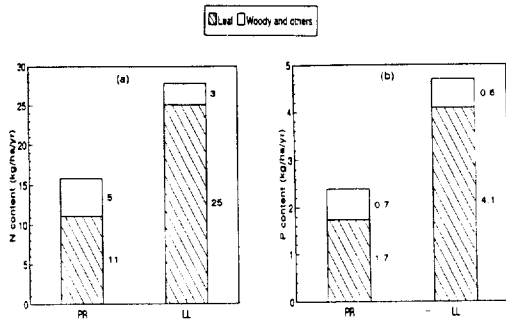


Fig. 4. Litterfall N(a) and P(b) contents(kg/ha) for *P. rigida*(PR) and *L. leptolepis*(LL).

서 많았는데 이는 낙엽송의 낙엽 가운데 잎의 N 과 P 농도가 높은 때문이다(Bares와 Wali, 1979). 낙엽내 양료의 함량은 온대지방 침엽수림하 낙엽이 갖는 일반적인 양과 큰 차이는 없다(Cole과 Rapp 1981). Bares와 Wali(1979)의 연구에서 *L. laricina*가 *P. mariana*보다 낙엽내 N과 P의 함량이 많은 것이나, Gower와 Son (1992)의 연구에서 *L. decidua*, *P. strobus*, *P. resinosa*의 N의 함량이 각각 40, 26, 32kg/ha로써 *L. decidua*의 N의 함량이 많은 것은 잎갈나무속의 수종이 상록성 침엽수에 비해 낙엽량은 적더라도 낙엽내 높은 양료 농도때문에 양료 함량이 많다는 결과와 본 연구에서의 결과는 유사하다.

인 용 문 헌

1. 김갑덕·박재욱·박인협·김철민·정성학, 1985. 리기다소나무와 아카시나무의 성장과 물질생산량에 관한 연구. 한국임산에너지학회지, 5(1) : 1-9.
2. 김갑덕·이경재, 1983. 63년생 낙엽송 임분의 물질생산량에 관한 연구. 서울대 연습림보고 19 : 30-36.
3. 김재근·장남기, 1989. 관악산에 식재된 리기다소나무림에서의 낙엽의 생산과 분해. 한국생태학회지 12(1) : 9-20.
4. 김준호, 1971. 산림의 생산구조와 생산력에 대한 연구. I. 리기다소나무 조림지에 대하여. 한국식물학회지 14(4) : 19-26.
5. 농업기술연구소, 1988. 토양화학분석법(토양, 식물체, 토양미생물). 농촌진흥청, 농업기술

연구소, pp.450.

6. 문형태·주환택, 1994. 상수리나무림과 리기다소나무림의 낙엽생산과 분해. 한국생태학회지 17(3) : 345-353.
7. 박봉규·이인숙, 1980. 광릉의 잎갈나무와 졸참나무 낙엽의 분해에 미치는 잎의 영양함량과 입지의 영향. 한국식물학회지 23(2) : 45-48.
8. 박인협·이석면, 1990. 한국산 4개 지역형 소나무 천연림의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지 79 : 196-204.
9. 이경재·김갑덕·김재생·박인협, 1985. 광주지방의 리기다소나무 및 리기테다소나무 조림지의 물질생산량에 관한 연구. 한국임학회지 69 : 28-35.
10. 이수옥, 1985. 강원도산 소나무 천연림생태계의 Biomass 및 Net primary production에 관한 연구. 한국임학회지 71 : 74-81.
11. 임경빈·김갑덕·이경재·권태호, 1981. 낙엽송 조림지의 생산 구조에 관한 연구. 서울대 연습림보고 17 : 31-37.
12. 임경빈·이경재·권태호·박인협, 1982. 리기다소나무 인공 조림지의 물질생산량에 관한 연구. 한국임산에너지학회지 2(2) : 1-12.
13. 중앙기상대, 1984-1993. 기상연보.
14. Alban, D.H. 1982. Effects of nutrient accumulation by aspen, spruce, and pine on soil properties. Soil. Sci. Soc. Am. J. 46 : 853-860.
15. Alban, D.H., D.A. Pelara and B.E. Schlaegel, 1978. Biomass and nutrient distribution in aspen, pine and spruce stands on the same soil type in Minnesota. Can. J. For. Res. 8 : 290-299.
16. Bares, R.H. and M.K. Wali, 1979. Chemical relations and litter production of *Picea mariana* and *Larix laricina* stands on an alkaline peatland on northern Minnesota. Vegetatio 40(2) : 79-94.
17. Binkley, D. 1995. The influence of tree species on forest soils-processes and patterns. Pages 1-24 in D. Mead, and G. Will, eds. Trees and Soil Workshop Proceedings. Lincoln University Press. Christchurch, New

- Zealand.
18. Binkley, D. and D. Valentine. 1991. Fifty-year biogeochemical effects of green ash, white pine, and Norway spruce in a replicated experiment. *For. Ecol. Manage.* 40 : 13-25.
 19. Bockheim, J.G., S.W. Lee and J.E. Leide. 1983. Distribution and cycling of elements in a *Pinus resinosa* plantation ecosystem, Wisconsin. *Can. J. For. Res.* 13 : 609-619.
 20. Boettcher, S.E. and P.J. Kalisz. 1990. Single-tree influence on soil properties in the mountains of Eastern Kentucky. *Ecol.* 71 : 1365-1372.
 21. Brand, D.G., P. Kehoe, and M. Connors. 1986. Coniferous afforestation leads to soil acidification in central Ontario. *Can. J. For. Res.* 16 : 1389-1391.
 22. Chabot, B.F. and D.J. Hicks. 1982. The ecology of leaf life spans. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 13 : 229-259.
 23. Challinor, D. 1968. Alteration of surface soil characteristics by four tree species. *Ecol.* 49 : 286-290.
 24. Cole, D.W. and M. Rapp. 1981. Elemental cycling in forest ecosystems. Pages 341-409 in D.E. Reichle, ed. *Dynamic Properties of Forest Ecosystems*. Cambridge University Press.
 25. Escudero, A., J.M. del Arco, I.C. Sanz, and J. Ayala. 1992. Effects of leaf longevity and retranslocation efficiency on the retention time of nutrients in the leaf biomass of different woody species. *Oecologia* 90 : 80-87.
 26. Field, C. 1983. Allocating leaf nitrogen for the maximization of carbon gain : leaf age as a control on the allocation program. *Oecologia* 56 : 341-347.
 27. France, E.A., D. Binkley, and D. Valentine. 1989. Soil chemistry changes after 27 years under four tree species in southern Ontario. *Can. J. For. Res.* 19 : 1648-1650.
 28. Gee, G.W. and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis. Pages 383-411 in A. Klute, ed. *Methods of Soil Analysis, part 1. Physical and Mineralogical Methods- Agronomy monograph. No. 9(2nd edition)*. Am. Soc. Agro., Madison, WI.
 29. Gosz, J.R. 1981. Nitrogen cycling in coniferous ecosystems. *Ecol. Bull.* 33 : 405-426.
 30. Gøwer, 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.
 31. Gower, S.T., P.B. Reich and Y. Son. 1993. Canopy dynamics and aboveground production of five tree species with different leaf longevities. *Tree. Physiol.* 12 : 327-345.
 32. Gower, S.T., C.C. Grier and K.A. Vogt. 1989. Aboveground production and N and P use by *Larix occidentalis* and *Pinus contorta* in the Washington Cascade, USA. *Tree Physiol.* 5 : 1-11.
 33. Gresham, C.A. 1982. Litterfall patterns in mature loblolly and longleaf pine stands in coastal South Carolina. *For. Sci.* 28 : 223-231.
 34. Kim, J.S., Y. Son and Z.S. Kim. 1995. Allometry and canopy dynamics of *Pinus rigida*, *Larix leptolepis* and *Quercus serrata* stands in Yangpyeong area. *J. Kor. For. Soc.* 84(2) : 186-197.
 35. Kimmins, J.P., D. Binkley, L. Chatarpaul and J. de Catanzaro. 1985. *Biogeochemistry of Temperate Forest Ecosystems ; Literature on inventories and dynamics of biomass and nutrients*. Petawawa National Forestry Institute Press. Canada.
 36. Pelara D.A. and D.H. Alban. 1982. Biomass, nutrient distribution and litterfall in *Populus*, *Pinus* and *Picea* stands on two different soils in Minnesota. *Plant Soil* 64 : 177-192.
 37. Reich, P.B., M.B. Walters, and D.S. Ellsworth. 1992. leaf life-span in relation to leaf, plant, and stand characteristics among diverse ecosystems. *Ecol. Monogr.* 62 : 365-392.
 38. SAS. 1988. *SAS/STAT User's Guide*. 6.03

- ed. SAS Institute Inc., Cary, NC.
39. Schulze, E.D. 외 11인. 1995. Aboveground biomass and nitrogen nutrition in eastern Siberia. *Can. J. For. Res.* 25 : 943-960.
 40. Son, Y. and S.T. Gower. 1992. Nitrogen and phosphorus distribution for five plantation species in southwestern Wisconsin. *For. Ecol. Manage.* 53 : 175-193.
 41. Vanlear, D.H., B.W. Jack and J.T. Michael. 1984. Biomass and nutrient content of a 41-year-old loblolly pine(*Pinus taeda* L.) plantation on a poor site in South Carolina. *For. Sci.* 30 : 395-404.
 42. Vogt, K.A., C.C. Grier and D.J. Vogt. 1986. Production, turnover, and nutrient dynamics of above and belowground detritus of world forest. *Adv. Ecol. Res.* 15 : 303-377.
 43. Woodwell, N.M., R.H. Whittaker and R.A. Houghton. 1975. Nutrient concentrations in plants in the Brookhaven oak-pine forest. *Ecol.* 56 : 318-332.
 44. Yin, X. 1993. Variation in foliar nitrogen concentration by forest type and climatic gradients in North America. *Can. J. For. Res.* 23 : 1587-1602.