

江原道 地方 잣나무 人工林의 林齡變化에 따른 地上部 現存量과 養分蓄積¹

李 明 鐘²

Changes in Aboveground Biomass and Nutrient Accumulation of the Korean-pine (*Pinus koraiensis*) Plantation by Stand Age at Kangwondo Province¹

Myong-Jong Yi²

요 약

강원대학교 연습림 내에서 지위지수가 13.5-14.2인 임지조건에서 생육하는 임령 9년에서 66년까지 임령이 서로 다른 잣나무 인공식재림에 대하여 지상부 현존량과 양분량(질소, 인, 칼륨, 칼슘, 마그네슘)을 측정했다. 지상부 잣나무의 현존량을 추정하기 위하여 줄기, 가지 및 잎의 건조중량과 흉고 직경 간의 상대성장식($\log Y = a \log X + b$, Y는 각 기관의 건조중량, X는 흉고직경)을 구하였다. 지상부 잣나무의 전체 현존량은 9년생 임분의 21.8t ha⁻¹에서 66년생 임분은 130.8t ha⁻¹으로 임령이 높아짐에 따라 증가하였다. 지상부 잣나무 현존량은 가지의 현존량보다 잎의 현존량이 더 큰 9년생 임분을 제외하면, 줄기>가지>잎의 순서로 분배되어 있었다. 임령이 높아짐에 따라 줄기의 현존량은 상대적으로 증가하였다. 하층식생의 현존량은 목본과 초본이 각각 0.4-3.9t ha⁻¹ 및 0.05-0.6t ha⁻¹였으며, 잣나무림의 임령과의 관계는 보이지 않았다. 고사목질부 유기물과 임상유기물은 각각 0.59-1.54t ha⁻¹ 및 6.0-21.63t ha⁻¹였다. 잣나무 지상부의 양분축적은 임령이 높아짐에 따라 증가하였으며, 질소>칼슘>칼륨>인>마그네슘의 순서였다. 평균 양분축적율은 임분의 초기 발달과정에서 가장 컸으며 임령의 증가와 함께 낮아졌다. 각 기관별로 양분농도는 잎>가지>줄기 순서였다. 임상유기물과 광질토양의 양분함량은 임령과의 상관성이 없었다. 하층의 식생은 잣나무림의 양분 저장소로서의 역할이 작았다. 광질토양은 잣나무림의 계내 여러 구성요소 중에서 가장 큰 양분원이었다.

ABSTRACT

The aboveground biomass and nutrient content (N, P, K, Ca and Mg) of *Pinus koraiensis* S. et Z., aged 9, 22, 34, 46, 66 years, were measured in the Experiment Forest of Kangwon National University of Kangwondo province. The site index of the stands ranged from 13.5 to 14.2. Allometric equations ($\log Y = a \log X + b$, where Y, X is oven-dry mass and DBH, respectively) relating dry weights of stem, branches and needles to diameter at breast height (DBH) were developed to estimate aboveground tree biomass. Total above ground tree biomass increased with stand age from 21.8 t ha⁻¹ in the 9-year-old stand to 130 t ha⁻¹ in the 66-year-old stand. Aboveground biomass was allocated as follows: stem>branch>foliage, except for the 9-year-old stand which had a greater proportion of foliage biomass than branch biomass. As stand age increased, an increasing proportion of annual biomass increment was allocated to stems. The aboveground biomass of shrubs and herbs ranged from 0.4 to 3.9 t ha⁻¹ and from 0.05 to 0.6 t ha⁻¹, respectively. No relationship was found between aboveground understory

¹ 接受 1998年 3月 6日 Received on March 6, 1998.

² 江原大學校 山林科學大學 林學科 Department of Forestry, College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea.

biomass and stand age. The mass of woody debris and forest floor varied between 0.59 to 1.54 t ha⁻¹ and 6.0 to 21.63 t ha⁻¹, respectively. Nutrient accumulation in aboveground tree biomass increased with stand age and was in the order of N>Ca>K>P>Mg. Average rates of nutrients accumulation in biomass were greatest in the early stages of stand development, and less marked as stand aged. The nutrient concentrations in different tree components decreased in the order of needle>branch>stem. There were no detectable trends in nutrient content of the forest floor and mineral soils with stand age. Understory vegetation contributed little to the nutrient pool of these Korean pine ecosystems. Mineral soil contained the greatest proportion of nutrient capital of the various ecosystem compartments.

Key words: Pinus koraiensis; nutrient concentration; aboveground biomass; nutrient accumulation; understory vegetation; mineral soil

서 론

산림생태계로부터의 목재의 생산, 물 공급, 환경조성 등과 같은 산림의 유용성은 산림생태계의 물질 생산과 순환에 의한 것이다. 산림에서 임지에 환원된 낙엽·낙지 등의 litterfall은 그 곳에서 분해되어 자신의 임지를 개선하고 방출된 무기양분은 다시 임목에 흡수되어 임목의 생육에 기여하게 된다. 이렇게 하여 산림의 임령의 증가와 함께 그의 현존량과 무기양분을 지상부에 축적하며 그와 평형을 이루는, 일정 수준의 유기물과 무기물질을 지표와 표층토양 중에 축적하게 된다.

산림생태계의 현존량에 대해서는 많은 자료가 해석되고 상당한 정보가 밝혀져 있다. 또한 생태계서의 양분순환연구의 일환으로서 litterfall에 의한 토양으로의 양분환원량 및 생태계의 양분축적과 양분분포에 대해서도 많은 연구가 이루어졌다. 이러한 연구는 산림토양의 생산력을 임목의 각 양분의 양적인 면에서 고려할 경우 또는 임목의 영양생리 및 산림생태학적인 입장에서 중요한 문제이다(河田, 1989). 한편, 경제적 가치와 관련하여 임목의 뿌리, 줄기, 가지, 잎 등 수체 각 기관의 현존량의 상대분포는 조림학적인 면에서도 중요하다(Kimmins, 1997).

수목의 생장은 광합성작용에 의한 동화물질의 생산, 축적 및 이용의 결과이며, 산림에 있어서 이러한 성장현상은 그 산림의 물질생산과 분배를 파악함으로써 구명될 수 있는 것이므로 산림의 물질 생산에 관한 연구는 그 의의가 크다(권태호, 1982).

소나무류는 고온건조한 지역에서 한랭습윤한 지역에 이르기까지 다양한 환경에서 생육하여 경제적

또는 생태적인 면에서 중요한 수종이다(Knight 등, 1994).

우리나라의 소나무류의 물질생산과 관련하여, 김준호와 윤성모(1972)는 춘천지방의 소나무림의 생산구조와 생산력을 신갈나무와 비교하였으며, 이수옥(1985)은 강원도 홍천지방의 소나무림에 대한 현존량 및 생산력을 파악하였다. 또한 경북, 전남, 전북, 강원도의 4개 지역에서 각각 소나무림의 물질현존량 추정식(박인협과 김준선, 1989) 및 물질생산에 관한 연구(박인협과 이석면, 1990) 등이 있다. 한편 우리나라 고유의 향토수종이며 중요한 조림수종중의 하나인 잣나무에 대한 물질생산면의 연구로는 이경재(1983), 권태호(1982), 송정호(1998) 등이 있으며, 또한 잣나무림의 현존량과 함께 양분현존량을 파악한 연구는 신준환과 이돈구(1985), 이경재와 박인협(1987) 등이 있다.

이 연구는 강원도 지방의 잣나무림의 양분순환에 관한 연구의 일환으로 지위지수가 13.5-14.2인 임지에 생육하는 임령이 서로 다른 5개 잣나무 인공식재림에 대하여, 1) 전 임령과 직경급을 일괄하는 상층의 잣나무 현존량을 추정식의 도출, 2) 임령별 잣나무의 기관별(줄기, 가지, 잎) 및 하층식생의 현존량의 추정, 3) 상층 및 하층식생의 기관별 양분함유율 및 양분함량의 측정 및 4) 광질토양 및 유기물의 양분함유 및 양분함량을 정량하여 잣나무림의 임령변화에 따른 지상부 현존량과 양분 축적량의 변화를 파악하는데 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 조사지

조사지는 강원도 홍천군 북방면과 춘천군 동산

면에 걸쳐 소재하는 강원대학교 연습림 (위도 : 37° 46' -51' N, 경도 : 127° 48' -52' W)이다. 수종은 신갈나무, 굴참나무, 졸참나무 등 주로 참나무류가 우점종을 이루고 있으며, 잣나무와 일본잎갈나무가 인공식재되어 있다. 기후는 온대 대륙성으로 하계는 고온다습하고 동계는 저온건조하며, 연 평균 강수량은 1289mm로 연중 6-8월에 집중하고 있다. 연평균 기온은 9.2°C로 1월이 최저 (-6.1°C), 7월이 최고 (24.8°C)이며, 상대공중습도는 연중 62-84%의 범위로 평균 75%이다 (장경식과 최인화, 1995). 화강암과 편마암을 모암으로 하여 풍화생성된 토양은 대부분 양토 또는 사질양토를 이루고 있다. 인공식재된 잣나무림 중 이 연구를 위해 선정된 5개 임분의 개요는 Table 1과 같다. 임령의 범위는 9-66년이며, 흉고직경과 임분밀도는 각각 4.6-31cm 및 375-4400본/ha이다. 흉고단면적은 7.3-30.9m²/ha의 범위였다.

조사지는 잣나무림 지위지수분류곡선도 (산림청, 1995)에 의해 각 임령별로 가능한 지위지수가 유사한 임분을 선정하였으며, 지위지수의 범위는 13.5-14.2였다. 조사 임분 중 9년생 임분은 신갈나무림의 벌채 후 조림지이며, 그 밖의 임분은 과거 1-2회 정도의 제벌작업이 있었으나, 명확한 임분관리내력의 파악은 불가능했다.

2. 방법

2.1 지상부 현존량

1997년 6-8월에 걸쳐 각 임령별 조사 임분내에 10×10m 또는 20×20m의 플롯을 설정하고 잣나무에 대한 매목조사를 실시한 후 현존량과 양분분석을 위하여 전 임분으로부터 21본을 지상부 0.0m에서 벌도하였다. 벌도 후 0.2m 부위를 절단하고, 그 후부터는 1m 단위로 절단한 후 줄기, 가지, 잎을 나누고 생중량을 측정하였다. 각 기관별로 함수율 및 양분분석용 시료를 채취하여

생중량을 측정된 후, 건조기 (70±5°C)에서 항량이 될 때까지 건조시킨 후 함수율을 구하여 21본의 벌도목에 대한 각 기관별 건중량 환산에 사용하였다. 이들 자료는 상대성장식을 구하는데 이용하였다.

한편, 잣나무를 제외한 하층식생을 목본과 초본으로 나누어 채취한 후, 목본을 다시 목질부와 잎을 구분하여 생중량을 측정하고 각 기관별로 함수율과 양분분석용시료를 일부 채취하여 이후 잣나무의 경우와 같은 절차를 따라 건중량을 환산했다. 단, 하층식생의 분포상태가 불균일하고 양적으로 적은 34년생 잣나무 플롯에서는 전체를 채취했으며, 그밖의 임령에서는 플롯안에 소형 방형구 (5×5m 또는 5×10m)를 설정한 후 채취하였다.

2.2 잣나무림의 현존량 추정

벌도한 잣나무 21본에 대한 흉고직경(DBH)을 독립변수(X)로 하고 각 기관별 건중량을 종속변수(Y)로 하는 상대성장식 $\log Y = a \log X + b$ 를 적용하여, 각 기관별 상대성장식을 도출하였다 (Table 2). 독립변수는 흉고직경 외에 수고(H)를 포함시켜 $DBH^2 \cdot H$ 등의 변수를 이용할 수 있으나, 매목조사시 정확한 측정이 어렵기 때문에 흉고직경만에 의한 상대성장식보다 추정오차가 클 수도 있으며 (Whittaker와 Marks, 1975; 박인협과 이석면, 1990), 또한 조사의 생력성을 고려하여 여기서는 흉고직경만을 사용했다.

2.3 임상유기물

각 조사구의 임상에 25×25cm의 방형틀을 3개씩을 설정하고 고사목질부 유기물을 제외한 O층의 유기물을 L, F-H로 나누어 채취한 후 채취시 중량을 측정하고 양분분석과 함수율측정을 위한 일부시료를 실험실로 운반한 뒤, 건조기에서 일정수치에 도달할 때까지 건조한 후 함수율을 구하여 건조중량환산에 사용했다. 또 임상 위의 고사한 목질부 유기물은 각 조사 플롯 내의 전체를 수습하였다.

2.4 광질토양

2.3의 O층 유기물 채취 후 토양단면을 작성하고, A층과 B층 두께 등을 조사한 후 각 층위에서 이화학성 분석을 위한 시료를 채취하였다. 층위의 두께 이외에 양분축적량의 추정에 필요한 물리적 성질 (함수율, 용적 밀도)분석을 위한 시

Table 1. Stand density (stems ha⁻¹), DBH (cm) and basal area (m²ha⁻¹) of Korean pine forest at different ages at Kangwondo province.

Stand characteristics	Stand age (yr)				
	9	22	34	46	66
Density	4400	1900	844	650	375
DBH	4.6	12.9	18.9	24.6	30.1
Basal area	7.31	24.8	23.7	30.9	26.1

료는 100cm³들이 토양채취원통을 사용했으며, 질소, 인과 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘의 분석용 시료는 별도 채취했다. 시료원통은 실험실 내에서 채취시 중량을 측정하고 건조기에서 (105 ± 5°C) 건조 후 건조량을 구하여 함수율과 용적밀도를 각각 구했다. 화학성 분석시료는 실내에서 풍건 후 분석에 제공했다.

2.5 화학분석

잣나무의 각 기관별 시료, 하층식생, O층 유기물 및 임상의 고사목질부 유기물은 분쇄기로 분쇄하여 20mm 메쉬 그물망을 통과한 시료에 대하여 질소, 인, 칼륨, 칼슘 및 마그네슘을 분석했다. 질소는 킬달법 (河田와 小島, 1976), 무기성분은 HNO₃-HClO₄의 혼합산에 의한 습식분해 후, 인은 메타바나드 몰리브덴엘로우법 (作物分析委員會, 1976), 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 원자흡광분석법을 적용했다.

토양은 풍건 후 2mm 이하의 세토에 대하여 질소는 식물체와 동일한 방법, 유효태 인은 Bray No.1법, 치환성 양이온은 NH₄AOc 추출 후 SrCl₂를 첨가한 용액에 대해 원자흡광분석법을 적용했다. 양분량 (kg ha⁻¹)은 식물체의 경우 각 기관의 현존량과 양분농도의 관계로 구했으며, 토양은 토양깊이 50cm까지를 기준으로 하여 토양층위의 두께, 용적밀도 및 양분농도의 관계로부터 구했다.

결 과

1. 지상부 현존량

잣나무의 지상부 총 현존량은 9년생 임분의 21.8t ha⁻¹에서 66년생 임분의 141t ha⁻¹ 범위로 임령이 높아짐에 따라 증가하였다 (Table 3). 각 기관별 현존량의 크기는 9년생 임분에서는 줄기

Table 2. Allometric relations between various parts and DBH in Korean pine at Kangwondo province.

Growth variables	a	b
Stem, kg	1.2152	-1.2889
Branch, kg	1.1649	-1.5980
Needle, kg	0.7819	-0.9539

* Allometric models of the form logY=logX+b. The Y and X indicate growth variables and DBH (cm) respectively.

Table 3. Aboveground biomass accumulation (t ha⁻¹) of Korean pine stands by stand age in study site.

Biomass component	stand age (yr)				
	9	22	34	46	66
Stemwood	10.67	61.16	63.30	86.17	90.01
Branch	4.42	20.06	22.76	30.47	30.28
Needle	5.47	11.53	9.64	11.14	10.48
Total	20.56	92.75	95.70	127.78	130.77

>잎>가지의 순서였으며, 22, 34, 46 및 66년생 이상의 임분에서는 줄기>가지>잎의 순서였다. 9년생 임분에서는 가지보다 잎의 현존량이 더욱 컸다. 줄기의 현존량은 지상부 전체 현존량의 52-69%의 범위였으며, 또 가지와 줄기는 각각 21.5-24% 및 8-27%의 범위였다 (Fig. 1). 각 임분의 줄기의 상대현존량은 잎의 상대현존량과 반대의 경향을 나타냈으며, 9년생 임분에서는 52%였으나 22년생에 이르는 동안 급격히 증가하고 그 후는 완만한 증가경향을 보였다. 가지는 임령의 변화에 따른 뚜렷한 경향을 보이지 않았다.

지상부 하층식생의 전체 현존량은 0.6-4.6t ha⁻¹의 범위였으며, 목본 및 초본은 각각 0.4-3.9t ha⁻¹ 및 0.05-0.6t ha⁻¹의 범위를 나타냈다. 한편

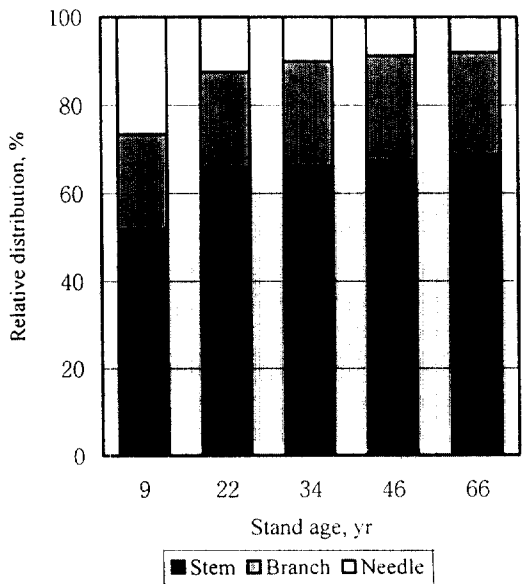


Fig. 1. Relative distribution of above-ground biomass accumulation of the tree components; stem, branch and needle by stand age of Korean pine stands.

Table 4. Biomass ($t\ ha^{-1}$) of aboveground understory vegetation, woody debris and organic matter of forest floor by stand age of Korean pine stands in study site.

Component	Stand age (yr)				
	9	22	34	46	66
Shrubs - woody	1.37	2.92	0.43	3.89	1.76
- foliage	0.80	0.28	0.13	0.54	0.45
Herbs	0.59	0.14	0.05	0.13	0.02
Subtotal (understory)	2.76	3.34	0.61	4.56	2.23
L layer	2.8	3.04	1.52	4.60	2.40
F-H layer	3.2	18.59	12.90	6.83	18.22
Subtotal (forest floor)	6.00	21.63	14.42	11.43	20.62
Woody debris	-	0.77	0.59	0.70	1.54
Total (forest floor)	6.00	22.40	15.01	12.13	22.16

지상부 상층식생인 잣나무의 현존량과 같은 임령과의 일정관계는 보이지 않았다 (Table 4).

임상의 고사목질부유기물은 $0.7\text{--}1.5t\ ha^{-1}$ 의 범위였으며 (Table 4), 최대 현존량은 66년생 임분이었다. 임상의 O층 유기물은 $6\text{--}21t\ ha^{-1}$ 의 범위였으며 9년생 임분에서 가장 적었고 22년과 66년생 임분에서 약 $21t\ ha^{-1}$ 으로 많았다. 각 임분 모두 L층보다 F-H층의 현존량이 많았으며, 이 두층의 상대 비율은 임분간에 차이가 있었다. 임상 전체 유기물의 총량은 $6\text{--}22t\ ha^{-1}$ 였다.

2. 양분 축적과 분배

잣나무의 각 기관, 하층식생 및 임상유기물에 대한 양분농도를 Table 5에 나타냈다. 잣나무는 각 기관별로 양분농도가 크게 달랐으며, 위에서 가장 높고 줄기에서 가장 낮았다. 하층식생에서 목본류도 목질부가 잎보다 낮았으며, 초본류는 목본류의 잎의 농도와 큰 차이가 보이지 않았다. O층 중 하층인 F-H층의 질소는 L층보다 높았으나, 그밖의 양분농도는 큰 차이가 없었다.

잣나무의 각 기관별 현존량, 하층식생 및 임상유기물의 현존량 (Table 3과 4)과 각각에 대한 양분농도 (Table 5)의 관계로부터 지상부의 양분량을 구했다 (Table 6과 7). 각 임령별 잣나무의 기관별 양분원의 분포를 Table 6에 나타냈다. 지상부 각 양분원소의 전체량은 지상부 현존량의 경향 (Table 3)과 같이 임령의 증가에 따라 증가하였다. 질소는 66년생 임분을 제외하고는 잎부분에 가장 많이 축적되어 있었다. 그러나 인, 칼슘, 마그네슘은 유령인 9년생 임분에서, 칼륨은 9년과 22년생 임분에서만 잎부분에 많이 축적되

Table 5. Average nutrient concentration (% of dry weight) of Korean pine tree biomass component, understory vegetation, organic matter on forest floor and wood debris for all sites and stand age combined.

Component	N	P	K	Ca	Mg
Needle	1.80	0.21	0.38	0.59	0.10
Branch	0.46	0.13	0.17	0.34	0.06
Stem	0.23	0.05	0.07	0.08	0.02
Shrub, woody	0.56	0.18	0.36	0.49	0.06
Shrub, foliage	2.64	0.26	1.14	1.21	0.28
Herbs	2.44	0.28	1.41	1.09	0.34
L layer	1.19	0.10	0.08	0.93	0.10
F+H layer	1.65	0.16	0.09	0.76	0.12
Woody debris	0.50	0.08	0.05	0.95	0.09

었다.

잎의 현존량은 27%를 나타낸 9년생 임분을 제외하면, 각 임분별로 전체 현존량의 10%내외이지만 (Fig. 1), 질소는 36-45%, 인은 20-28%, 칼륨은 25-34%, 칼슘과 마그네슘은 각 25-35% 및 21-30%의 범위로 잎부분에 많이 축적되어 있다. 줄기는 9년생 임분을 제외하면 약 66%를 넘는 비율을 차지하지만 (Table 3과 Fig. 1), 질소는 33-38%, 인은 39-42%, 칼륨은 37-40%, 칼슘과 마그네슘은 각각 27-31% 및 35-38%의 범위로 적게 축적되어 있었다. 한편, 임령이 증가할수록 잎부분 보다는 목질부 조직에 각 양분원소가 저장되는 비율이 높은 경향을 나타냈다. 하층식생에서는 목본류가 초본류보다 양분축적량이 많았다 (Table 7). 한편, 칼륨을 제외하면 모든 임분에서 하층식생보다 임상유기물의 양분량이

많았다. 하층식생의 각 양분의 축적량은 잣나무의 축적량에 비하여 현저히 적었다. 하층식생 및 임상유기물의 양분량은 지상부 잣나무와 같이 임령에 변화에 따른 뚜렷한 경향은 보이지 않았다.

3. 잣나무림의 양분 분포

잣나무림의 임령별 양분량의 분포를 4개의 계대구성요소로 나누어 Table 6에 나타냈다. 지상부 하층식생의 양분함량은 질소가 7-43kg h⁻¹, 인은 1-8kg ha⁻¹, 칼륨은 4-24kg ha⁻¹, 칼슘과 마그네슘을 각각 4-23kg ha⁻¹ 및 1-5kg ha⁻¹의 범위였으며 임령의 차이에 따른 일정한 경향을 보이지 않았다. 임상유기물의 양분함량도, 지상부 잣나무의 양분축적량이 임령의 증가와 함께 증가하는 경향과는 달리 임령의 변화와는 관계가 없었다. 하층식생과 임상유기물의 각 양분량의 상대적인 크기는 질소>칼슘>인=마그네슘>칼륨이었다.

임상의 최대 양분함량은 22년생 임분에서 보이는데, 이것은 이 임분에서 O층의 유기물이 가장 많았기 때문이다 (Table 4). 각 양분량이 최대로 분포되어 있는 곳은 토양이었다.

고 찰

임분 발달에 관련한 내용을 직접 연구하는데는 매우 긴 시간을 필요로 하므로 실질적으로 불가능하다. 이를 대안으로 하는 연구방법은 연대학적 수법 (Sprugel, 1984; Ruark와 Bockheim, 1988) 또는 컴퓨터 모델링이다 (Aber 등, 1982). 그러나 연대학적 방법에 있어서 문제점은 조사지점 간의 임분내력의 같지 않거나 환경조건의 차이, 토양, 경사도, 방위, 식생 등에 차이가 있다는 점이다 (Crowell과 Freedman, 1994). 이러한 변이들은 제거할 수 없는 것이지만, 조사지의 선택에 신중을 기하면 많은 문제점을 조정할 수 있다. 본 연구에서는 조사지 선정에 Wang 등 (1995; 1996)의 방법을 참고로, 유사한 지위급을 가진 영급별 임분들을 지위지수 분류도 (산림청, 1995)에 의해 선정하였다.

1. 지상부 현존량

지상부 상층식생인 잣나무 임분의 전체 지상부 현존량은 임령의 증가에 따라 증가하였다. 이와

Table 6. Aboveground nutrient content (kg ha⁻¹) of the tree component Korean pine stands in age series.

Nutrient Component	Stands age (yr)					
	9	22	34	46	66	
N	Foliage	98.4	189.5	173.5	200.5	195.1
	Branch	20.3	92.2	104.6	140.1	139.2
	Stem	24.5	140.6	145.6	198.2	207.0
	Total	143.2	422.3	423.7	538.8	541.3
P	Foliage	11.4	22.1	20.2	17.8	22.7
	Branch	5.7	26.0	29.5	34.3	39.3
	Stem	5.3	30.5	31.6	37.9	45.0
	Total	22.4	78.6	81.3	90.0	107.0
K	Foliage	20.7	40.0	36.6	32.2	41.1
	Branch	7.5	34.1	38.6	44.8	51.4
	Stem	7.4	42.8	44.3	53.1	63.0
	Total	35.6	116.9	119.5	130.1	155.5
Ca	Foliage	32.3	62.1	56.8	50.0	63.9
	Branch	15.0	68.2	77.3	89.8	102.9
	Stem	8.5	48.9	50.6	60.7	72.0
	Total	55.8	179.2	184.7	200.5	229.8
Mg	Foliage	5.4	10.5	9.6	8.5	10.8
	Branch	2.6	12.0	13.6	15.8	18.1
	Stem	2.1	12.2	12.7	15.2	18.0
	Total	10.1	34.7	35.9	39.5	46.9

Table 7. Nutrient content (kg ha⁻¹) of the understory vegetation, organic matter on forest floor and woody debris by stand age of Korean pine stands.

Nutrient Component		Stand age (yr)				
		9	22	34	46	66
N	Shrub, wood	7.67	16.35	2.41	21.70	9.85
	foliage	21.12	7.39	3.42	14.25	11.88
	Herbs	14.39	3.41	1.22	3.17	0.48
	L layer	33.32	36.17	18.08	54.74	28.56
	F-H layer	52.8	306.24	212.85	112.69	300.63
	Woody debris	-	3.85	2.95	3.5	7.7
P	Shrub, wood	2.46	5.25	0.77	7.00	3.16
	foliage	2.08	0.72	0.33	1.40	1.17
	Herbs	1.65	0.39	0.14	0.36	0.06
	L layer	2.8	3.04	1.52	4.6	2.4
	F-H layer	5.12	29.74	20.64	10.92	29.15
	Woody debris	-	0.61	0.47	0.56	1.23
K	Shrub, wood	4.93	10.51	1.54	14.00	6.33
	foliage	11.28	3.94	1.83	7.61	6.34
	Herbs	8.31	1.97	0.70	1.83	0.28
	L layer	2.24	2.43	1.21	3.68	1.92
	F-H layer	2.88	16.73	11.61	6.14	16.3
	Woody debris	-	0.38	0.29	0.35	0.77
Ca	Shrub, wood	6.71	14.30	2.10	19.06	8.62
	foliage	9.68	3.38	1.57	6.53	5.44
	Herbs	6.43	1.52	0.54	1.41	0.21
	L layer	26.04	28.27	14.13	42.78	22.32
	F-H layer	24.32	141.28	98.04	51.90	138.47
	Woody debris	-	7.31	5.60	6.65	14.63
Mg	Shrub, wood	0.82	1.75	0.25	2.33	1.05
	foliage	2.24	0.78	0.36	1.51	1.26
	Herbs	2.00	0.47	0.17	0.44	0.07
	L layer	2.80	3.04	1.52	4.60	2.40
	F-H layer	3.84	22.30	15.48	8.19	21.86
	Woody debris	-	0.69	0.53	0.63	1.38

같은 경향은 aspen (Ruark와 Bockheim, 1988; Wang 등, 1995)과 balsam fir (Sprugel, 1984)에 대한 연구에서도 있었다. 잣나무림의 전체 현존량은 9-22년생 사이에서 20.6t ha⁻¹에서 92.8t ha⁻¹으로 급격한 증가가 있었으며, 그 후 66년생에 이르기까지는 완만한 증가 경향을 나타냈다. 이와 같이 지상부 현존량의 축적속도는 특히 임관의 율폐와 자기간벌이 이루어지기 전인 초기 유령림에서 가장 컸으며, 이와같은 경향은 aspen (Wang 등, 1995)과 paper birch (Wang 등, 1996)에서도 나타났다. Paper birch의 경우는 2년생에서 8년생 사이에서 8배의 축적속도를 나타냈으나 (Wang 등, 1996), 본 연구의 잣나무림의 경우는

9-22년생 사이에 4배를 축적하여, 전자가 유령초기의 급속한 수고성장 (Simard와 Vyse, 1992)으로 인하여 현존량 증가속도와 시기가 빠른 것으로 생각된다. 46-66년 사이에는 128t ha⁻¹에서 131t ha⁻¹로 증가하여 전체 현존량의 증가속도는 매우 늦었다. 지위급 중 정도의 입지에 생육하는 잣나무 인공림은 임령 약 20년에 이미 경쟁에 의한 자기간벌이 있음을 알 수 있다. 잣나무림의 임목 밀도는 9년생 임분에서 4400본/ha였으나, 22년생 임분에서는 1900본/ha으로 감소했다 (Table 3). 이후도 임령의 증가와 함께 감소하였으며, 이러한 감소경향은 우리나라 잣나무 수확표 (산림청, 1995)의 경향과 유사하였다.

지상부 하층식의 현존량은 임령의 변화에 따른 일정 경향을 나타내지 않았다. 다소의 입지환경이나 간섭내력이 있어도 하층식생은 영향을 크게 받는다 (Wang 등, 1995; Kimmins, 1997). 위와 같은 충격원인이 없을 때 임령변화에 따른 상관성이 있을 것으로 생각되며, 이와 유사한 결과는 Ruark와 Bockheim (1988)도 보고하고 있다. 유령인 9년생 임분에서는 하층식생 전체 현존량이 2.8t ha⁻¹으로 다른 임분들 보다 결코 적지 않으며, 입지 전면에 분포하는 초본은 타 임분에 비하여 상대적으로 많다. 천연갱신을 유도하지 않는 잣나무 인공림이라는 면에서 고려한다면 이는 유령시기에 입지 보호에 유리한 역할을 할 수 있을 것으로 생각한다. 그러나 유령시기의 조림목과의 양분경쟁문제 및 양적인 면에서의 적정량의 유지 문제 등이 검토되어야 할 것이다.

2. 양분분포

토양은 각 양분에 대하여 최대의 공급원이다 (Table 8). 일반적으로 산림토양의 양분함량은 임분이 요구하는 연간 전체량보다 현저히 많지만, 수목의 성장은 양분에 의해 제한을 받는다. 이는 토양의 양분함량과 식물의 요구 사이의 불균형은 양분원소가 유효한 형태로 전환하는데 제한작용이 있음을 시사한다 (Landsberg와 Gower, 1997). 본 연구의 잣나무림은 지위지수가 유사한 단일 입지 조건만을 선택했으므로 위와 같은 내용을 파악하기 위해서는 지위급이 다른 입지 조건의 임분을 함께 비교하여, 토양 중의 유기물의 분해속도, 양분의 회전율 등에 관한 연구가 필요할 것이다.

임상유기물의 양분량은 임분의 발달에 따른 뚜렷한 변화의 경향을 나타내지는 않았으나, 상대

Table 8. Nutrient distribution (kg ha⁻¹) in Korean pine ecosystems by stand age at Kangwondo province.

Nutrient	Ecosystem component	Stand age (yr)				
		9	22	34	46	66
N	Overstory	143.2	422.3	423.7	538.8	541.3
	Understory	43.1	27.1	7.0	39.1	22.2
	Forest floor	86.1	346.2	233.8	170.9	336.8
	Soil (0-50cm)	5487.4	6148.9	7153.2	5813.4	8005.2
	Total	5759.8	6944.5	7817.7	6562.2	8905.5
P	Overstory	22.4	78.6	81.3	90.0	107.0
	Understory	6.1	6.3	1.2	8.7	4.3
	Forest floor	7.9	33.3	22.6	16.0	32.7
	Soil (0-50cm)	362.7	431.4	460.9	494.1	447.5
	Total	399.1	549.6	566.0	608.8	591.5
K	Overstory	35.6	116.9	119.5	130.1	155.5
	Understory	24.5	16.4	4.0	23.4	12.9
	Forest floor	5.1	19.5	13.1	33.6	18.9
	Soil (0-50cm)	453.9	636.8	344.5	273.1	496.4
	Total	519.1	789.6	481.1	460.2	683.7
Ca	Overstory	55.8	179.2	184.7	200.5	229.8
	Understory	22.8	19.2	4.2	27.0	14.2
	Forest floor	50.3	176.8	117.7	101.3	175.4
	Soil (0-50cm)	531.8	834.9	547.7	477.2	478.4
	Total	660.7	1210.1	854.3	806.0	897.8
Mg	Overstory	10.1	34.7	35.9	39.5	46.9
	Understory	5.0	3.0	0.7	4.2	2.3
	Forest floor	6.6	26.0	17.5	13.4	25.6
	Soil (0-50cm)	213.9	233.2	159.9	177.1	226.1
	Total	235.6	296.9	214.0	234.2	300.9

P is available content. K, Ca and Mg are exchangeable content.

적인 양분비율이 감소하는 경향이, 특히 9년생 임분과 그 밖의 임분간에 보인다. 상층식생인 잣나무현존량의 양분함량은 임령의 증가와 함께 증가하지만 하층식생, 임상유기물 및 광질토양의 양분량은 임령과의 상관관계가 보이지 않았다 (Table 8). 이러한 경향은 Wang 등 (1995)이 aspen 임분에서 조사한 결과와 같으며, 그는 이러한 상황에 대하여, 양분 분배의 주된 변화가 토양과 상층식생 사이에서 일어나고 있는 것으로 해석하였다.

임상유기물과 지상부 잣나무의 영구조직에 많은 양분이 많이 축적되어 있으나 (Table 6과 8), 임목의 성장과 관련하여 보다 중요한 것은 잎의 현존량과 하층식생에 함유되어 있는 양분함량이다 (Wang 등, 1996). 양분원의 빠른 순환은 잎에 의해 유지되며, 하층식생은 상층목 양분흡수를 어느 정도 상쇄시킨다. 이것은 하층식생이 벌채 수확 등 임지의 교란 후 양분의 손실을 감소시킨다는 점에서 상대적으로 중요하다는 것을 시사한다.

결 론

서로 다른 수체의 각 기관에 대한 양분의 분포 상태를 아는 것은 산림의 적정관리방법을 선택하는데 유용하다. 본 연구의 조사결과 양분농도는 앞에서 가장 높았으며, 줄기목질부는 가장 낮았다. 가지는 그 중간에 있었다. 한편, 하층식생의 양분축적량은 잣나무에 비해 현저히 적었다. 더우기, 일반적으로 칼슘을 제외하면 각 기관별 양분 농도는 임령과 기관의 크기가 증가하면서 감소하는 회석효과 (河田, 1987; Pritchette와 Fisher, 1987)를 고려한다면, 유령시기의 잣나무 식재림의 생태계 내에서, 혼효하는 다른 식생보다 잣나무는 계내 양분순환에 있어서 주된 역할을 할 수 있음을 시사한다. 유령시기에 있어서 밑가지와 제벌간벌과 같은 보육작업은 경쟁을 완화하고 임상에 양분을 보충하여 잔존목의 양분상태를 증진시킨다 (Daniel 등, 1976). 이러한 내용들은 하층식생이 빈약한 본 연구지와 같은 잣나무림에서는 자연간벌 이전에 임분관리의 필요성이 있음을 시사한다. 한편, 유령시기에는 대부분의 양분이 토양으로부터 흡수되어 수체 내에 축적되지만, 임령이 증가하면서 양분요구에 대한 수체내 순환의 기여도는 점차 커진다. 또한 심재의 형성이전과

엽량이 계속 증가하는 동안은 양분흡수와 체내축적속도가 litterfall에 의해 환원되거나 수체내 순환에 의해 전류되는 속도보다 크지만, 엽량이 안정되는 평형상태에 이르게 되면 새로운 조직에 저장되는 양분은 체내순환에 의한 양분량에 의존하게 된다 (Landsberg, 1986). 이와 같은 내용들에 기초할 때, 잣나무림의 장기적인 목재생산의 산림으로 이끌기 위해서는 보육의 강도를 임지환경의 조건에 따라 생육기 별로 적절히 조절하여 임내 환경이나 하층식생을 포함한 임분구조를 변화시킬 필요가 있을 것이다.

인 용 문 헌

1. 김준호·윤성모. 1972. 산림의 생산구조의 생산력에 관한 연구(II). 춘천지방의 소나무림과 신갈나무림의 비교. 한국식물학회 15 : 1-8.
2. 권태호. 1982. 경기도 광주지방 잣나무 인공림의 물질현존량 추정식에 관한 연구. 서울대학교 석사학위 논문. 58pp.
3. 박인협·김준선. 1989. 한국산 4개 지역형 소나무 천연림의 물질 현존량 추정식에 관한 연구. 한국임학회지 78 : 323-330.
4. 박인협·이석면. 1990. 한국산 4개 지역형 소나무 천연림의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지 79 : 196-204.
5. 산림청. 1995. 산림임지조사요령. 86pp.
6. 송정호. 1998. 잣나무 접목재충원에 있어서 수형조절목과 비수형조절목의 물질분배 및 구재생산 특성에 관한 연구. 강원대학교 대학원 석사학위논문. 32pp.
7. 신준환·이돈구. 1985. 경기도 광주지방의 잣나무림에 있어서 전질소의 분포와 무기태질소의 계절적 변화. 한국임학회지 69 : 56-68.
8. 이경재. 1983. 잣나무 인공림에서 밀도조절에 따른 성장 및 물질생산의 비교연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문. 42pp.
9. 이경재·박인협. 1987. 경기도 광주지방 22년생 잣나무 및 신갈나무림의 물질생산과 무기영양물 분포. 임산에너지 7 : 11-21.
10. 이수욱. 1985. 강원도산 소나무 천연생태계의 Biomass 및 Net Primary Production에 관한 연구. 한국임학회지 71 : 74-81.
11. 作物分析法委員會. 1976. 栽培植物分析測定

- 法, 養賢堂, 東京, 545pp.
12. 장경식·최인화. 1995. 강원대학교 임과대학 연습림 기상보고 -1993년 11월부터 1995년 10월까지-. 강원대학교 임과대학 연습림연구보고 15 : 96-124.
 13. 河田 弘·小島後郎. 1976. 環境測定法 IV-山林土壤-. 共立出版, 東京, 166pp.
 14. 河田 弘. 1989. 森林土壤學. 博文社, 東京, 399pp.
 15. Aber, J.D., J.M. Mellio and C.A. Federer. 1982. Predicting the effects of rotation length, types of harvest and fertilization on sustainable yield in northern hardwood forests. *For. Sci.* 28 : 31-45.
 16. Crowell, M. and B. Freedman. 1994. Vegetation development in a hardwood forest chronosequence in Nova Scotia. *Can. J. For. Res.* 24 : 260-271.
 17. Daniel, T.W., J.A. Helms and F.S. Baker. 1976. Principles of Silviculture. McGraw-Hills. NY. 500pp.
 18. Kimmins, J.P. 1997. Forest Ecology 2nd ed. Macmillan Pub., NY. 596pp.
 19. Knight, D.H., J.M. Vose, V.C. Baldwin, K.C. Ewel and K. Grodzinska. 1994. Contrasting patterns in a pine forest ecosystem. *Ecol. Bull.* 43 : 9-19.
 20. Landsberg, J.J. 1986. Physiological Ecology and Forest Production. Academic Press, NY. 193pp.
 21. Landsberg, J.J. and S.T. Gower. 1997. Application of Physiological Ecology to Forest Management. Academic Press, NY. 354pp.
 22. Pritchette, W.L. and R.F. Fisher. 1987. Properties and Management of Forest Soils. John Willy & Sons, NY. 494pp.
 23. Ruark, G.A. and J.G. Bockheim. 1988. Biomass, net primary production, and nutrient distribution for an age sequence of *Populus tremuloides* Ecosystem. *Can. J. For. Res.* 18 : 435-443.
 24. Simard, S. and A. Vyse. 1992. Ecology and management of paper birch and black cottonwood in southern British Columbia. B.C. Min. For. Victoria, B.C., Land Manage. Rep. No 75. 73pp.
 25. Sprugel, D.G. 1984. Density, Biomass, productivity, and nitrogen cycling changes during stand development in wave-regenerated balsam fir forest. *Ecol. Monogr.* 54 : 165-186.
 26. Wang, J.R., A.L. Zhang, P. Comeau., M. Tszw and J.P. Kimmins. 1995. Aboveground biomass nutrient accumulation in an age sequence of aspen(*Populus tremuloides*) stands in the Borcal White and Black Spruce Zone, British Columbia. *For. Ecol. Manage.* 78 : 127-138.
 27. Wang, J.R., A.L. Zhong, S.W. Simard and J.P. Kimmins. 1996. Aboveground biomass nutrient accumulation in an age sequence of paper birch(*Betula papyrifera*) in the Interior Cedar Hemlock Zone, British Columbia. *For. Ecol. Manage* 83 : 27-38.
 28. Whittaker, R.H. and P.L. Marks. 1975. Methods of assessing terrestrial productivity, pages 55-118 in H. Lieth and R.H. Whittaker, ed. Primary productivity of the biosphere. Springer-Verlag, NY.