

全南 母后山地域 소나무-굴참나무 混生林의
種間競爭 및 物質生産^{1*}

朴仁協² · 文珖宣³

Species Competition and Productivity in a Natural Mixed
Forest of *Pinus densiflora* and *Quercus variabilis*
at Mt. Mohu Area^{1*}

In Hyeop Park² and Gwang Sun Moon³

요 약

전남 모후산지역 소나무-굴참나무 혼효림을 대상으로 종간경쟁의 양상과 물질생산력을 파악하기 위하여 10m×10m 조사구 10개를 설치한 후 매목조사를 실시하고 소나무와 굴참나무 각 8주씩 총 16주의 표본목을 선정 별목하여 성장특성, 물질생산구조, 현존량, 순생산량 등을 조사하였다. 평균 수령은 소나무 33년, 굴참나무는 26년이었으며, 소나무림 초기에 굴참나무가 침입한 후 상층입판에서 종간경쟁을 하고 있는 초기단계의 임분이었다. 굴참나무는 동일 수령일 때의 소나무에 비하여 수령 15년 이전까지는 흉고직경과 수고가 모두 컸으며, 수령 15년 이후에는 흉고직경은 작은 반면 수고는 수령 15년 이전보다 큰 차이로 높았다. 동일 흉고직경일 때 생산기관인 잎의 건중량은 수종간 별 차이가 없었으나, 측적기관인 줄기의 목질부, 수피, 가지의 건중량은 흉고직경이 증가할수록 굴참나무가 소나무에 비하여 큰 차이로 많아지는 경향이였다. 굴참나무는 소나무에 비하여 순동화율이 높고 현존량축적율이 낮았다. 이상을 종합하면 소나무-굴참나무 혼효림에서 굴참나무는 소나무에 비하여 수고성장이 빠르고, 동일 흉고직경일 때 잎의 건중량은 유사한 반면 생산능률이 높으며, 현존량축적율이 낮기 때문에 종간경쟁에서 우위에 있는 것으로 나타났다. 소나무-굴참나무혼효림의 지상부 전체 현존량은 87.7t/ha, 순생산량은 8.3t/ha/yr이었다.

ABSTRACT

A natural mixed forest of *Pinus densiflora* and *Quercus variabilis* in Mt. Mohu area was studied to investigate patterns of species competition and productivity. Ten 10m×10m plots were set up and eight sample trees of each *Pinus densiflora* and *Quercus variabilis* were harvested for dimension analysis. Mean tree age of *Pinus densiflora* was 33 years and that of *Quercus variabilis* was 26 years. DBH and height of *Quercus variabilis* were larger than those of *Pinus densiflora* until tree age 15. After tree age 15, height of *Quercus variabilis* was higher than height of *Pinus densiflora* while DBH of *Quercus variabilis* was smaller than DBH of *Pinus densiflora*. For a tree of a given DBH, there was little difference in leaf dry weight between *Pinus densiflora* and *Quercus variabilis*. For a tree of a given DBH, dry weights of stem wood, stem bark and branches of *Quercus variabilis* weighed more than those of *Pinus densiflora*, and the differences between the dry weights of the two species became

¹ 接受 1999年 6月 14日 Received on June 14, 1999.

² 순천대학교 농과대학 산림자원학과 Department of Forest Resources, College of Agriculture, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea.

³ 국립공원관리공단 지리산관리사무소 남부지소 Southern Park Office, Chirisan National Park, National Parks Authority, Gurye-gun 542-850, Korea.

* 이 논문은 1994년도 순천대학교 공모과제 학술연구비에 의하여 연구되었음.

greater as DBH increased. Net assimilation ratio of *Quercus variabilis* was higher than that of *Pinus densiflora*, and biomass accumulation ratio of *Quercus variabilis* was lower than that of *Pinus densiflora*. It may be given as a conclusion that *Quercus variabilis* was superior to *Pinus densiflora* in species competition owing to faster height growth, higher net assimilation ratio, and lower biomass accumulation ratio. Aboveground stand biomass was 87.7t/ha and aboveground stand net production was 8.3t/ha/yr.

Key words : growth, biomass, net production, net assimilation ratio

서 론

한국의 산림천이는 지역에 따라 차이가 있으나 일반적으로 소나무림, 참나무류림, 음수의 활엽수림으로 진행되며, 기존의 소나무림이 점차 참나무류림으로 이행됨에 따라 중간 단계인 소나무-참나무류 혼효림의 면적이 증가하고 있다(임경빈 등, 1980; 박인협 등, 1992). 산림천이는 장기적인 식생과 환경의 상호작용 결과이며, 단기적인 차원에서의 임상 변화는 산림내 구성종들의 중간 경쟁 결과이다. 외형적인 임상 변화는 산림구조를 조사함으로써 파악할 수 있으나, 임상 변화의 근간이 되는 중간경쟁의 양상은 경쟁하고 있는 수종들의 성장특성, 물질생산구조 등을 비교 분석함으로써 효율적으로 해석할 수 있다(Pastor와 Bockheim, 1981). 한편, 임업적인 측면에서 볼 때 종합적인 생산성 즉, 물질생산력이 중요한 과제라고 할 수 있으며, 물질생산력은 물질의 생산, 이용 및 축적의 결과라는 관점에서 수목 각 기관 및 임분 전체의 현존량, 순생산량 등에 의하여 구명될 수 있다(Whittaker와 Marks, 1975).

본 연구는 전남 모후산지역 소나무-굴참나무 혼효림을 대상으로 소나무와 굴참나무의 성장특성, 물질 생산구조, 현존량, 순생산량 등을 조사 분석함으로써, 혼효림내 소나무와 굴참나무의 중

간경쟁의 양상 및 소나무-굴참나무 혼효림의 물질생산력을 구명하는데 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

본 연구는 전라남도 순천시 송광면 모후산지역에 위치하고 있는 순천대학교 연습림내 소나무-굴참나무 혼효림을 대상으로 실시하였다. 조사지의 해발고는 230m이었으며, 경사도는 30°로서 비교적 경사가 급한 남동방향의 능선부이었다. 평균 수령, 평균 흉고직경, 임목밀도는 소나무가 굴참나무보다 높았으며, 평균 수고의 경우 유사하였다(표 1). 고목층에서는 소나무와 굴참나무 외에 다른 수종이 거의 출현하지 않았으며, 하층 식생으로는 히어리, 진달래, 개울나무 등이 80% 정도의 식피율을 보였다.

매목조사시 설정한 10개 조사구 중 5개 조사구의 중앙부에서 유기물층을 걷어낸 후 0~20cm 깊이의 토양시료를 취하여 분석한 결과 토양산도는 4.5로서 강산성 토양이었다(표 2). 전질소함량, 유효인산함량, 양이온치환용량, 주요 치환성 염기량등은 인간의 간섭이 비교적 심한 순천의 도심공원인 봉화산 지역 소나무-참나무류 혼효림(임행진 등, 1988)보다 대체로 적었다. 이것은 본 조사지가 능선부의 급경사지로서 토양침식이 비

Table 1. Stand description of the studied forest

	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Quercus variabilis</i>	Stand total
Mean tree age(yr)	33	26	30
Mean DBH(cm)	14.0	9.3	11.7
Mean height(m)	8.9	8.8	8.9
Tree density(trees/ha)	1,250	1,188	2,438
Basal area(m ² /ha)	21.57	9.32	30.89

Table 2. Soil characteristics of the studied forest

Soil moisture (%)	Organic matter (%)	pH (H ₂ O, 1:5)	Total N (%)	Available P ₂ O ₅ (ppm)	CEC (me/100g)	Exchangeable bases(me/100g)		
						Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺
29.7	2.88	4.5	0.11	25.67	8.35	0.43	0.33	0.15

교적 심하였다는 것을 시사하고 있다.

2. 조사방법

1) 매목조사 및 표본목 선정

임의표본추출법에 의하여 10m×10m 조사구 10개를 설치하여 매목조사를 한 후 소나무와 굴참나무 8주씩 총 16주의 표본목을 선정하였다. 매목조사는 흉고 이상의 모든 개체목을 대상으로 흉고직경과 수고를 측정하였으며, 표본목은 수종별 흉고직경 범위내에서 흉고직경급별로 고르게 분포하도록 선정하였다.

2) 표본목 및 시료 측정

선정된 표본목을 벌목하여 줄기, 가지, 잎으로 구분한 후 다음의 각 항목을 조사하였다. 줄기는 지상 0.2m 높이에서 2m 간격으로 절단하여 생중량을 측정한 후 0.2m 부위와 2m 길이로 절단한 각 통나무의 중앙부에서 5-10cm 두께의 원판을 채취하였다. 원판은 생중량을 측정한 후 수피내 직경, 수피외직경, 수피재적, 연륜수 등과 수간석해용 자료를 측정하였다. 그리고 85℃에서 향량이 될 때까지 건조시켜 건중량을 측정한 후 수피를 분리하여 수피건중량을 측정하였다. 측정치에 의하여 각 원판의 건중량대 생중량비, 수피건중량대 수피재적비 등을 산정하였다. 가지와 잎은 표본목별 생중량을 각각 측정한 후 수종별 5주씩 각각 1,000g 정도의 시료를 취하여 건중량대 생중량비를 구하였다.

3) 표본목의 부위별 건중량

각 표본목의 줄기 건중량은 2m 길이의 통나무 생중량과 중앙부 원판의 건중량대 생중량비에 의하여 산출된 통나무 건중량의 합으로 하였다. 수피의 건중량은 원판 측정치에 의하여 산출된 통나무의 수피재적과 원판의 수피건중량대 수피재적비에 의하여 산출된 각 통나무의 수피건중량을 합산하였다. 목질부 건중량은 줄기의 건중량에서 수피건중량을 뺀 값으로 하였다. 가지, 잎의 건중량은 각각의 생중량과 시료의 건중량대 생중량비에 의하여 환산하였다.

4) 현존량

현존량은 수종별 8주씩의 표본목 측정치에 의하여 일반적으로 적합도 및 실용성이 높은 것으로 인정되고 있는 흉고직경(D)을 독립변수로 하고 부위별 건중량(Wt)을 종속변수로 하는 대수회귀식($\log Wt = A + B \log D$)을 수종별, 부위별로 유도한 후 매목조사시 측정된 수종별 조사구내 개

체목의 흉고직경 측정치에 의하여 추정하였다 (Pastor 등, 1984; Whittaker 등, 1974).

5) 순생산량

순생산량의 추정은 Grier와 Logan(1977)의 방법을 이용하였다. 줄기의 목질부, 수피, 가지의 연간 순생산량을 추정하기 위하여 수종별 1.5cm의 흉고직경급별 흉고부의 수피두께(B), 수피내 직경(Di), 최근 5년간 연평균수피내직경성장량(ΔDi)을 성장추를 이용하여 측정하였다. 목편은 최대직경부와 최소직경부의 중앙부에서 채취하였다. 각 조사구내 개체목별 전년도 흉고직경(d)은 매목조사시 측정된 전년도 흉고직경(D)과 흉고직경급별 목편의 측정치에 의하여 $d = D - (\Delta Di + \Delta B) = D - \Delta Di \times D / Di$ 식에 의하여 산정하였다. 줄기의 목질부, 수피, 가지의 순생산량은 개체목별 d를 현존량의 대수회귀식에 대입하여 전년도의 현존량을 구한 후, 전년도의 현존량에서 전년도의 현존량을 뺀 값으로 하였다. 잎의 순생산량은 소나무는 1년생 잎의 현존량, 굴참나무는 잎의 현존량으로 하였다.

결과 및 고찰

1. 성장특성

수종별 흉고직경급에 따른 임목 밀도는 그림 1과 같다. 소나무는 흉고직경급 20~24cm까지, 굴참나무는 흉고직경급 12~16cm까지 분포하고 있었으며, 2개 수종의 평균수령과 평균수고(표 1)를 고려할 때 본 조사지는 2차림의 소나무림 초기에 굴참나무가 침입하여 상층수관에서 중간경쟁을 하고 있는 초기단계라고 할 수 있다. 직경 분포는 2개 수종 모두 정규분포에 가까운 분포형으로써, 소나무와 굴참나무 모두 소경목의 밀도가 낮았다. 이것은 중간경쟁의 초기 단계로써 2개 수종 모두 상층수관에 밀집되어 있었던 점을 고려할 때, 상층수관의 울폐도가 높을 경우 상층수관 하부의 광조건이 나쁘기 때문에 소경목의 출현빈도가 낮다는 Nakashizuka(1984)의 보고에 의하여 설명될 수 있다.

수종별 8주씩의 표본목 수간석해에 의한 흉고직경과 수고의 평균 성장은 그림 2와 같다. 굴참나무는 동일 수령일 때의 소나무에 비하여 수령 15년 이전까지는 흉고직경과 수고가 모두 컸으며, 수령 15년 이후에는 흉고직경은 작은 반면 수고는 수령 15년 이전보다 큰 차이로 높은 경향

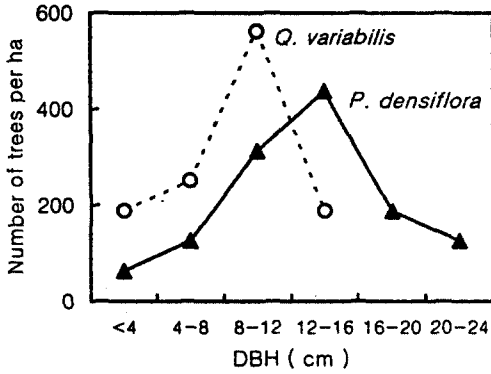


Fig. 1. DBH class distribution of the studied forest

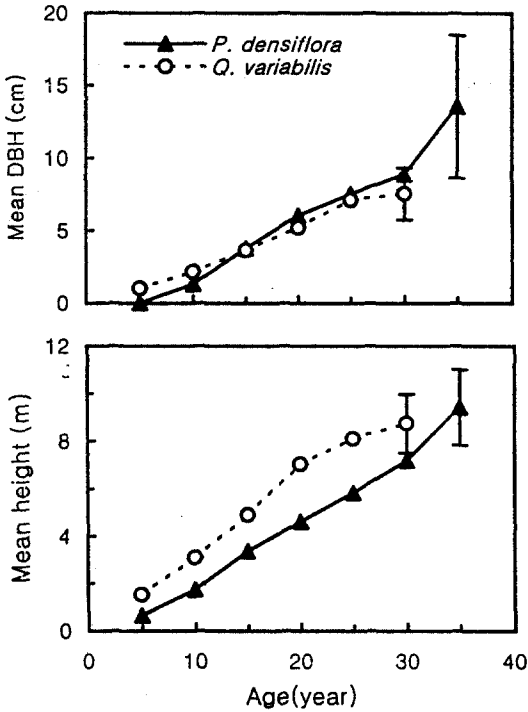


Fig. 2. Mean DBH and height growth of the sample trees at every 5-year periods

을 보였다. 이것은 굴참나무의 초기성장이 소나무 보다 빠르며, 상층수관에 도달하면 광선에 대한 경쟁 결과 수고 위주로 성장하는 특성을 보이고 있음을 시사하고 있다. 또한, 소나무는 최대 영급인 35년에서 굴참나무의 최대 영급인 30년에 비하여 흉고직경의 표준편차가 크게 나타남으로써, 소나무의 경우 쇠퇴목이 다수 출현하고 있는 것을 알 수 있다.

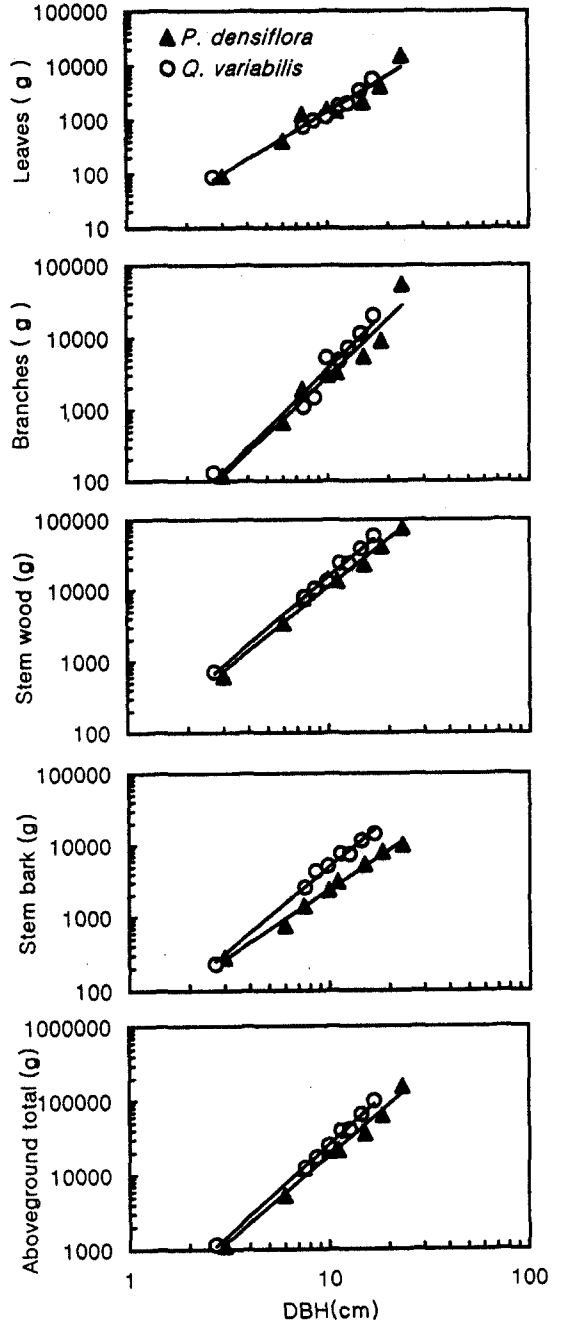


Fig. 3. Allometric relationship between dry weights and DBH for the sample trees

2. 물질생산구조

소나무와 굴참나무 각 8주씩의 표본목의 흉고 직경에 따른 부위별 건중량은 2개 수종 모두 대수

치에 의하여 직선관계를 보임으로써, 흉고직경이 증가함에 따라 건중량은 지수함수적으로 증가하는 경향이였다(그림 3). 그림 3의 수종별, 부위별 건중량 대수회귀식과 상대오차추정치(E)(Whittaker와 Marks, 1975)에 의한 적합도 검정결과는 표 3에 제시하였다. 동일 흉고직경일 때 생산기관인 잎의 건중량은 수종간 별 차이가 없었다. 축적기관인 줄기의 목질부, 수피, 가지의 건중량은 흉고직경이 증가할수록 굴참나무가 소나무에 비하여 큰 차이로 많아지는 경향이였으며, 그 결과 해당 부위별 건중량 대수회귀식의 기울기가 굴참나무가 소나무보다 높은 값으로 유도되었음을 알 수 있다. 이것은 잎의 생산능률이 굴참나무가 소나무에 비하여 높고 흉고직경이 증가할수록 그 차이가 더 커지는 것을 의미하며, 중간경쟁에서 굴참나무가 소나무보다 우위에 있음을 시사하고 있다. 한편, 건중량 대수회귀식의 상대오차추정치에서 잎의 경우 소나무 1.432, 굴참나무 1.151로서 비교적 큰 차이를 보였다. 이것은 소나무는 동일 흉고직경급내에서도 잎 건중량의 개체간 변이가 굴참나무보다 심한 것을 의미하며, 개체목의 광조건에 따른 낙엽량 등의 반응이 민감하기 때문이라고 판단된다.

3. 현존량과 순생산량

수종별 현존량, 순생산량, 순동화율, 현존량축적율 등은 표 4와 같다. 지상부 전체 현존량과 순생산량은 소나무가 굴참나무보다 많았다. 이것은 소나무림의 초기에 굴참나무가 침입하여 상층수관에서 중간경쟁을 하는 초기단계로서 소나무의 평균흉고직경과 임목밀도가 높기 때문이라고 할 수 있다. 본 조사지와 타 연구결과의 지상부 전체 임분 현존량과 순생산량을 종합 비교하면 평

균수령 19년인 굴참나무 순림의 현존량 38.5t/ha, 순생산량 6.7t/ha/yr(김시경과 정좌용, 1985), 평균 수령 28년인 굴참나무 순림의 현존량 87.0t/ha, 순생산량 6.5t/ha(박인협 등, 1996), 평균 수령 30년인 본 조사지의 소나무-굴참나무 혼효림 현존량 87.7t/ha, 순생산량 8.3t/ha, 평균수령 33년인 소나무림의 현존량 93.6t/ha, 순생산량 9.5t/ha/yr(박인협과 이석면, 1990)로서, 유사한 산림군집의 경우 유령림에서는 임령이 증가함에 따라 현존량과 순생산량이 모두 증가한다는 Kimmins(1987)의 보고와 유사한 경향이였다. 한편, Parker와 Schneider(1975)는 혼효율이 높을수록 수관층을 달리하면서 공간을 효율적으로 이용하기 때문에 현존량과 순생산량이 많다고 하였다. 소나무-굴참나무 혼효림인 본 조사지의 경우 임령을 고려할 때 타 연구결과인 소나무 또는 굴참나무 순림에 비하여 큰 차이를 보이지 않는 것은 중간경쟁의 초기단계로서 2개 수종 모두 상층수관에 밀집되어 있는 임분구조적인 요인과 경사도가 비교적 급한 능선부에 위치하고 있는 환경적인 요인 때문이라고 추정된다.

표 4에서 보이듯이 순동화율 즉, 잎의 생산능률은 굴참나무가 2.14로서 소나무 1.07보다 높았다. 굴참나무 순림 2.75(김시경과 정좌용, 1985), 2.90(박인협 등, 1996), 소나무 순림 1.92(박인협과 이석면, 1990)와 비교하면 본 조사지의 순동화율은 굴참나무와 소나무 모두 각각의 순림에 비하여 낮았다. 이것은 혼효림인 본 조사지의 경우 중간경쟁의 초기단계로서, 임목밀도가 타연구의 굴참나무 또는 소나무 순림에 비하여 높으며 상층수관에 밀집되어 있어서 광조건이 나쁘기 때문이라고 판단된다. Whittaker와 Marks(1975)는 현존량축적율은 우점종의 수령과 환경에 대한

Table 3. Allometric regressions of dry weights on diameter for sample trees of *Pinus densiflora* and *Quercus variabilis* (Regression model : $\log Wt = A + B \log D$, Wt is dry weight in g, D is DBH in cm and E is the estimate of relative error.)

Tree component	<i>Pinus densiflora</i>				<i>Quercus variabilis</i>			
	A	B	R ²	E	A	B	R ²	E
Stem wood	1.787	2.257	0.987	1.191	1.807	2.376	0.995	1.097
Stem bark	1.543	1.832	0.993	1.110	1.406	2.284	0.991	1.131
Branches	0.791	2.664	0.954	1.474	0.802	2.760	0.959	1.387
Leaves	0.922	2.227	0.944	1.432	0.937	2.206	0.988	1.151
Aboveground total	1.983	2.275	0.985	1.203	2.002	2.404	0.997	1.074

Table 4. Biomass, net production, net assimilation ratio and biomass accumulation ratio of the studied forest

	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Quercus variabilis</i>	Stand total
Biomass(t/ha)			
Stem wood	34.58 (61.8)	19.12 (60.2)	53.70 (61.2)
Stem bark	6.00 (10.7)	6.05 (19.1)	12.05 (13.7)
Stem	40.58 (72.5)	25.17 (79.3)	65.75 (74.9)
Branches	11.02 (19.7)	4.90 (15.4)	15.92 (18.2)
Leaves	4.34 (7.8)	1.70 (5.3)	6.04 (6.9)
Aboveground total	55.94 (100%)	31.77 (100%)	87.71 (100%)
Net production(t/ha/yr)			
Stem wood	1.83 (39.3)	1.23 (33.7)	3.06 (36.8)
Stem bark	0.32 (6.8)	0.39 (10.7)	0.71 (8.5)
Stem	2.15 (46.1)	1.62 (44.4)	3.77 (45.3)
Branches	0.47 (10.2)	0.33 (9.1)	0.80 (9.6)
Leaves	2.04 (43.7)	1.70 (46.5)	3.74 (45.1)
Aboveground total	4.66 (100%)	3.65 (100%)	8.31 (100%)
Net assimilation ratio*	1.07	2.14	1.40
Biomass accumulation ratio**	12.00	8.70	10.55

* Total net production / leaf biomass

** Total biomass / total net production

적응도에 따라 다르다고 하였다. 박인협(1986)은 동일 군집내 우점종의 수령이 유사한 경우 수종별 현존량축적율은 환경에 대한 적응도의 지표이며, 현존량축적율이 낮은 수종은 현존량에 비하여 순생산량이 상대적으로 높은 것을 의미하는 것으로써 환경에 대한 적응도가 높다고 하였다. 본 조사지의 경우 소나무와 굴참나무의 수령이 비교적 유사하며, 굴참나무의 현존량축적율이 소나무보다 낮은 것은 현상태의 천이단계에서 굴참나무가 소나무보다 환경에 대한 적응도가 높으며 그 결과 중간 경쟁에서 우위를 차지하고 있다는 것을 시사하고 있다.

이상을 종합하면 소나무-굴참나무 혼효림에서 굴참나무는 소나무에 비하여 수고성장이 빠르고, 동일 흉고직경일 때 잎의 건중량은 유사한 반면 생산능률이 높으며, 현존량축적율이 낮기 때문에 중간경쟁에서 우위에 있는 것으로 나타났다. 한편, 본 조사지인 소나무-굴참나무혼효림의 물질생산력은 임령을 고려할 때 타 연구결과인 소나무 또는 굴참나무 순림과 큰 차이를 보이지 않았다. 이것은 중간경쟁의 초기단계로서 2개 수종 모두 상층수관에 밀집되어 있는 임분구조적인 요인과 경사도가 비교적 급한 능선부에 위치하고 있는 환경적인 요인 때문이라고 추정되었으나,

결론을 얻기 위해서는 일련의 연구가 보완되어야 할 필요가 있다.

인용문헌

1. 김시경·정좌용. 1985. 굴참나무 천연림의 생산구조 및 물질생산력에 관한 연구. 한국임학회지 70 : 91-102.
2. 박인협. 1986. 백운산지역 천연림생태계의 삼림구조 및 물질생산에 관한 연구. 서울대 박사학위논문. 48pp.
3. 박인협·이돈구·이경준·문광선. 1996. 참나무류의 성장 및 물질생산에 관한 연구(I) - 경기도 광주지방의 굴참나무, 상수리나무, 떡갈나무, 신갈나무 천연임분을 대상으로-. 한국임학회지 85(1) : 76-83.
4. 박인협·이석면. 1990. 한국산 4개 지역형 소나무 천연림의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지. 79(2) : 196-204.
5. 박인협·최영철·김상구. 1992. 섬진강유역 소나무천연림생태계의 삼림구조에 관한 연구. 순천대 농업과학연구 6 : 101-111.
6. 임행진·박인협·김용환·김종홍. 1988. 봉화산공원의 자연환경과 이용객 실태 및 보전

- 대책, 순천시, 158pp.
7. 임경빈 · 박인협 · 이경재. 1980. 경기도지방 적송림의 식물사회학적 연구. 한국임학회지 50 : 56-71.
 8. Grier, C.C. and R.S. Logan. 1977. Old-growth *Pseudotsuga menziessii* Communities of a western Oregon watershed : Biomass and production budget. Ecol. Monogr. 47 : 373-400.
 9. Kimmins, J.P. 1987. Forest ecology. Macmillan Pub. Co., New York. 531pp.
 10. Nakashizuka, T. 1984. Regeneration process of climax beech forests IV -Gap formation-. Jap. J. Ecol. 34 : 75-85.
 11. Parker, G.R. and G. Schneider. 1975. Biomass and productivity of an alder swamp in northern Michigan. Can. J. For. Res. 5 : 403-409.
 12. Pastor, J. and J.G. Bockheim. 1981. Biomass and production of aspen-mixed hardwood-spodosol ecosystem in northern Wisconsin. Ca.. J. For. Res. 11 : 132-138.
 13. Pastor, J., J.D. Alber and J.M. Melillo. 1984. Biomass prediction using generalized allometric regressions for some northeast tree species. For. Ecol. Manage. 7 : 265-274.
 14. Whittaker, R.H., F.H. Boreman, G.E. Likens and T.G. Siccama. 1974. The Hubbard Brook ecosystem study; Forest biomass and production. Ecol. Monogr. 44 : 233-252.
 15. Whittaker, R.H. and P.L. Marks. 1975. Methods of assessing terrestrial productivity, pp.55-118. In H. Lieth and R.H. Whittaker (ed.) Primary productivity of the biosphere. Springer-Verlag, New York.