

천연갱신과 인공조림된 강원지역 금강소나무의 지상부 성장특성 비교

나성준^{1,3} · 우관수¹ · 김장수¹ · 윤준혁² · 이현호³ · 이도형^{3*}

¹국립산림과학원 산림자원육성부, ²국립산림과학원 남부산림연구소, ³영남대학교 산림자원학과

Comparison of Above-ground Growth Characteristics Between Naturally Regenerated and Planted Stands of *Pinus densiflora* for. *erecta* Uyeki in Gangwon Province

Sung-Joon Na^{1,3}, Kwan-Soo Woo¹, Chang-Soo Kim¹, Jun-Hyuck Yoon², Heon-Ho Lee² and Do-Hyung Lee^{3*}

¹Department of Forest Resources Development, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-847, Korea

²Southern Forest Research Center, Korea Forest Research Institute, Jinju 660-300, Korea

³Department of Forest Resources, Yeungnam University, Gyongsan 712-749, Korea

요약: 본 연구는 천연갱신과 인공조림에 의해 성립된 I영급 금강소나무 임분의 유지성장 특성을 비교하기 위하여 강원도 대기와 보광지역에서 천연갱신된 임분과 인공조림된 임분을 대상으로 임목의 각 부위별(줄기, 가지, 침엽, 뿌리) 건조량과 구성비를 비교하고, 수고와 직경생장량을 비교함으로써 두 임분간의 성장특성을 비교 분석하였다. 7년간 평균 직경생장량은 대기지역에서는 두 임분이 유사한 값을 나타내었지만, 보광지역에서는 천연갱신 임분(4.66 cm)이 인공조림 임분(2.61 cm)에 비하여 그 값이 높게 나타났으며, 두 임분간에 통계적 유의차가 인정되었다($p < 0.01$). 또한 7년 평균 수고생장은 두 지역 천연갱신된 임분이 인공조림된 임분보다 유의적으로 높은 생장을 나타내었다($p < 0.01$). 각 부위별(줄기, 가지, 침엽, 뿌리) 지상부와 지하부의 구성비에서 대기와 보광지역 모두 천연갱신 임분에서는 줄기의 구성비가 가장 높게 나타난 반면, 인공조림 임분에서는 침엽의 구성비가 가장 높게 나타나, 두 임분간에 차이를 나타내었다. 뿌리 대 지상부의 건조량비는 대기와 보광지역 모두 인공조림 임분(0.25-0.30)이 천연갱신 임분(0.17-0.18)보다 그 값이 매우 높게 나타났다. 줄기당 침엽의 비율(N/S), 줄기당 가지의 비율(B/S), 가지당 잎의 비율(N/B)은 두 지역 모두 인공조림된 임분이 천연갱신된 임분보다 유의적($p < 0.05$)으로 높은 값을 나타내었다. 본 연구의 결과 천연갱신과 인공조림의 성립방법에 따라 초기 금강소나무의 생장에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 인공조림 시 올바른 조림방법의 필요성을 제시하고, 수목의 환경적응성 연구에서 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

Abstract: This study was undertaken to compare early growth characteristics, such as height, diameter at root collar (DRC), and the dry weights of stem, branches, needles and roots between naturally regenerated and planted stands of *Pinus densiflora* for. *erecta* in Dae-gi and Bo-gwang site, Gangwon province, Republic of Korea. Average DRC growth was similar between the naturally regenerated and the planted stands in Dae-gi area, however, difference was statistically significant ($P < 0.01$) between the naturally regenerated and the planted stands in Bo-gwang area, 4.66 cm and 2.61 cm, respectively. Average height of the naturally regenerated stands was significantly greater ($P < 0.01$) than that of planted stands in both Dae-gi and Bo-gwang areas. The composition ratio of the dry weights for each part of measured trees was the highest in the stem in the naturally regenerated stands, but in the planted stands, the needle was the highest in both sites. The root/shoot ratio in the Dae-gi and Bo-gwang areas in the planted stands were much greater than those in the naturally regenerated stands, 0.25-0.30 and 0.17-0.18, respectively. The ratio of needle to stem biomass (N/S), branch to stem biomass (B/S), and needle to branch biomass (N/B) was significantly greater in the planted stands than those in the naturally regenerated stands in both sites. The results of this study represent that the regeneration methods, natural and artificial regenerations, can have an influence on the early growth of *P. densiflora* for. *erecta*. This results not only provide the need for a correct planting method, but also will be useful in studies on the environmental adaptability of trees.

Key words : *Pinus densiflora* for. *erecta*, naturally regenerated stand, planted stand, DRC growth, composition ratio

*Corresponding author
E-mail: dhlee@yu.ac.kr

서 론

천연갱신이란 산림에서 벌채 또는 다른 손질을 가하여 자연적으로 낙하 산포하는 종자의 발아 또는 근주, 뿌리, 지하경 등에서 나오는 맹아 등의 발생을 촉진시키는 등 임목의 번식력과 재생력을 최대한 이용하여 후계림을 조성하는 것으로, 이 중 천연하종갱신은 자연적으로 낙하되어 산포된 종자가 발아·생육하여 새로운 임분으로 갱신 되도록 하는 방법이다. 반면, 인공조림은 벌채한 곳이나 미입목지에 묘목을 식재하여 임분을 조성하는 것으로써 조림하고자 하는 나무가 잘 자라기에 적합한 토양에 적지 적수를 행하는 것이다. 일반적으로 인공조림은 그 실행이 용이하고 후계림 조성이 시업적으로 신속하다는 점에서 지금까지 널리 실시되어 왔으나, 최근에는 산림을 생태적으로 보다 안정된 갱신방법으로 조성하는 산림시업법의 개발이 요구되고 있는 실정이다(산림청, 2000).

최근 들어 조림은 주로 시설양묘를 통한 용기묘를 많이 사용하고 있는데, 단기간에 우량 묘목을 생산할 수 있고 뿌리 발달이 충실한 묘목을 생산할 수 있는 이점이 있지만, 용기묘의 가장 큰 문제점인 나선형 뿌리(Spiraling root)는 식재되었을 때 수목의 활착과 생장에 부정적인 영향을 주는 것으로 잘 알려져 있다(Burden and Martin, 1982; Marler and Willis, 1996; 산림청, 2006). 따라서 나선형 뿌리의 발생을 방지하기 위해 물리적·화학적 방법들이 시행되고 있으나, 인공조림에 있어 가장 큰 문제점은 올바르게 못된 조림방법이다. 일반적으로 묘목을 조림할 때 40-70 cm 정도로 길게 자란 주근을 현지에 식재하기 위하여 20 cm 이하로 단근하기 때문에 현지 식재 후에 활착 및 생육이 저조한 경우가 많이 발생한다. 또한 용기묘를 나지에 조림할 때 알맞지 않은 구덩이의 크기와 깊이로 인해 주근이 구부러진 채 식재되거나 지면 쪽을 향하여 식재되었을 때 주근의 성장을 저해하는 요인이 된다(산림청, 2006).

우리나라는 세계가 인정하는 조림 성공국가이고(Lester, 2006), 현재도 많은 면적에 다양한 수종이 조림되고 있지만, 인공조림과 천연갱신에 따른 수목의 성장발달 비교연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구는 I영급 금강소나무를 대상으로 용기묘를 통해 양묘된 후 조립된 임분과 모수에 의해 천연하종갱신된 두 임분의 성장량과 연년 직경·수고생장을 비교 분석함으로써, 성립방법이 다른 두 임분에 대해 유시성장 발달특성을 밝히는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 연구대상지 및 조사목 선정

본 연구는 강원도 강릉시 왕산면(37° 36'N, 128° 45'E)

과 성산면(37° 46-53'N, 128° 42-45'E)에 자생하는 I영급 금강소나무를 대상으로 각 지역의 임분에서 대기환경에 의한 성장 차이를 최소화하기 위해 지리적으로 가장 가까운 두 임분을 선택하여 조사하였다.

대기지역의 천연갱신된 임분은 모수간벌을 통해 천연하종갱신된 임분으로 수령이 2년에서 10년 이하의 금강소나무 치수가 다양하게 분포하고 있었고, 해발고는 865 m, 사면경사 20°, 방위는 남향, 임분밀도는 2,600본/ha이었으며, 인공조립된 임분은 2003년에 금강소나무 1-1묘를 3.1 ha 조립한 지역으로써 해발고 893 m, 사면경사 25°, 방위는 남서향, 임분밀도는 2,200본/ha 이었다.

또한 보광지역의 천연갱신된 임분은 잣나무 조립지역에 상층목으로 소나무가 우점 분포하여 모수에 의해 소나무 치수가 다수 발생된 임분이었으며, 매년 풀베기 작업을 실시하여 생장이 좋은 임분이었다. 해발고는 496m 이었고, 사면경사는 20°, 방위는 남향이었고, 임분밀도는 2,800본/ha이었다. 한편 인공조립된 임분은 대기 인공조립된 임분과 같이 금강소나무 1-1묘를 2003년에 2.0 ha 조립한 지역이었으며, 해발고 485 m, 사면경사 15°, 사면방향은 남향, 임분밀도는 2,200본/ha로 각각 조사되었다.

조사목의 선정은 강릉지역 산림조사부를 참조하여 그동안 인위적, 자연적 교란이 없었거나 미미하였던 것으로 추정되는 임분에 대하여 10 m×10 m의 방형구를 설치하여 피압목, 폭목, 정단부 피해목 등의 성장불량목을 제외한 생육이 건전한 임목을 대상으로 각 임분에서 10본씩 총 40본을 선정하여 조사하였다. 선정된 조사목의 평균 수령은 대기와 보광지역의 천연갱신된 임분이 각각 7.3(±0.5), 7.9(±0.3)년이었으며, 인공조립된 임분은 두 지역 모두 7.0년 이었다.

2. 토양의 화학적 특성 조사

토양 조사 항목은 토양 pH, EC(전기전도도), 치환성 양이온(K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Ca^{2+})과 음이온(PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-)을 조사하였다. 토양 시료의 채취 지점은 10 m×10 m 방형구 내에서 낙엽층과 지표면의 교란을 받지 않고 주위 임분을 대표할 수 있는 3곳을 선택하여 3반복 실시하였다. 또한 토양교란을 최소화하기 위하여 조사목을 굴취하기 전에 토양조사를 먼저 수행하였으며, 채취도구는 용적이 400 cc인 간이토양시료채취기(Soil core sampler)를 이용하였다. 채취된 토양은 실험실로 운반하여 결합된 토괴를 고무망치로 가볍게 분쇄하여 환기가 잘되는 장소에서 항량이 될 때까지 풍건시켰다.

토양 pH는 각 임분의 층위별 토양에 대해 토양시료 5 g와 증류수 25 mL를 취하고 유리막대로 잘 저어준 뒤 1시간이 경과한 후 pH 표준액으로 보정한 pH-meter

를 이용하여 60초 이내에 그 값을 읽어주는 방법으로 3 반복 측정하여 그 평균값을 구하였고, 토양 EC는 풍건 토양 10 g에 증류수 50 mL을 가하고 왕복진탕기에 넣고 분당 60 stroke 진탕 후 여과지(Toyo No. 2)로 여과한 후 여액을 EC meter를 이용하여 측정하였다(농촌진흥청, 2000).

또한 식물생장에 중요한 역할을 하는 주요 양이온과 음이온을 분석하기 위해 토양 및 식물체 분석법(농촌진흥청, 2000)에 따라 토양을 전처리 하였다. 치환성 양이온은 토양 5 g에 1N-초산암모늄(pH 7.0)용액 25 mL을 넣고 30 분간 진탕 추출 후 원자흡광분석기(Analyst 400, Perkin Elmer 社, USA)로 분석하였으며, 치환성 음이온은 EC측정에 사용한 여액을 Sepak C18 카트리지에 통과시켜 용존 유기물을 제거하고, 0.45 μ m Membrane filter로 여과한 후에 이온크로마토그래피(DX-500 system, Dionex Co. 社, USA)를 이용하여 분석하였다.

3. 현존량 분석

선정된 조사목은 각 입목을 중심으로 반경 50 cm의 토양을 파고 모든 뿌리를 굴취하여 흙을 털어낸 후 실험실로 운반하였고, 각 부위별 Biomass를 측정하기 위해 지표면에 가장 인접한 뿌리를 기준으로 약 2 cm 정도 간격을 두고 절단하여 지상부와 지하부로 구분하였으며, 지상부는 다시 줄기, 가지, 잎으로 구분하였다.

지상부에 대한 조사로는 수고와 근원경(Diameter at root collar, DRC)을 측정하였으며, 입목의 연년별 생장을 알아보기 위해 2 cm 높이의 근주부분에서 약 1.0 cm 두께의 원판을 채취하여 연년 직경성장량을 측정하였고, 절간과 절간 사이의 간격을 측정하여 연년 수고성장량을 측정하였다. 각 부위별 건중량은 줄기와 가지, 잎, 뿌리로 구분하여 종이봉투에 담아 건조기(Dry-oven)에 90°C에서 48시간 동안 건조하여 0.1 g 단위까지 측정하였다. 측정된 직경과 수고성장량, 각 부위별 건중량은 두 입분간의 차이를 비교하기 위해 SPSS 17.0 프로그램을 이용하여 T-test를 실시하였고, 각 부위별 평균차이를 비교하기 위해 Duncan's new multiple range test를 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 조사대상지 토양의 화학적 특성

산림토양의 이화학적 성질과 임목생장과는 밀접한 관련이 있는 것으로 많은 연구가 보고되었으며(정영관 등, 1980; 김태훈 등, 1988; 1991), Klock 등(1984)은 임목생장에 관계하는 내적 환경 인자로 토양의 이화학적 성질이 임목생장에 주된 영향요인이라고 하였다. 또한 정인구(1981)는 토양의 물리적 성질이 임목생장에 미치는 영향이 크지만 토양의 화학적 성질도 매우 중요한 임목생장의 요인이 된다는 것을 입증한 바 있다. 따라서 본 연구에서도 천연갱신된 입분과 인공조립된 입분에서 토양의 화학적 성질이 상이하다면 이는 조립방법에 따른 생장의 차이로 볼 수 없기 때문에 조사 입분 간의 토양의 화학적 성질을 비교분석하였다.

대기지역의 토양 pH는 천연갱신 입분에서 pH 5.5, 인공조립된 입분이 pH 5.7로 나타났으며, 보광지역의 pH는 천연갱신 입분과 인공조립 입분 모두 pH 5.4로 같은 값을 나타내었다(Table 1). 정진현 등(2002)은 우리나라 산림토양의 평균 pH가 A층이 5.48, B층이 5.52로 보고하였고, 이수옥(1981)은 우리나라 산림토양의 지형별 모체에 따른 산림토양의 평균 pH는 5.5라고 보고하였다. 또한 대부분 침엽수의 생육범위가 토양 pH 4.8-5.5인 것(이천용, 2000)을 감안할 때, 각 조사 입분의 토양 pH는 금강소나무의 생장에 적합한 범위인 것으로 판단되며, 토심별 평균 EC도 모든 입분에서 0.10 ds/m으로 같은 수치를 나타내어, 토양 환경 차이로 인한 두 입분 간 생장에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

주요 치환성양이온 함량은 두 입분 모두 Ca^{2+} 가 가장 많이 존재하는 것으로 나타났으며, 다음으로 $Mg^{2+} > K^+ > Na^+$ 순이었다(Table 1). 이러한 결과는 일반적으로 치환성양이온은 $Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+$ 순으로 감소한다는 보고(河田 弘, 1989; 정진현 등, 2002)와 일치하였다.

대기지역의 치환성양이온 함량 차이는 Na^+ 의 경우 두 입분이 같은 값을 나타내었고, K^+ (Nrs:0.25, Ps:0.22), Mg^{2+} (Nrs:0.51, Ps:0.34), Ca^{2+} (Nrs:0.86, Ps:0.66)는 모두

Table 1. Chemical properties of soil depends on the soil depth between naturally regenerated and planted stands of *P. densiflora* for. *erecta*. in two studied sites.

Site	Stand	pH	EC (ds/m)	Major cations(cmol+/kg)				Major anions(ppm)			
				K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻
Dae-gi	Nrs	5.5	0.10	0.25	0.51	0.18	0.86	0.10	14.00	0.30	13.70
	Ps	5.7	0.10	0.22	0.34	0.18	0.66	0.20	9.90	0.10	18.80
Bo-gwang	Nrs	5.4	0.11	0.24	0.44	0.20	0.76	0.13	11.87	0.22	13.64
	Ps	5.4	0.10	0.25	0.46	0.25	0.78	0.10	11.80	0.30	8.40

Nrs : Naturally regenerated stand, Ps : Planted stand.

천연갱신된 임분이 인공조림된 임분에 비하여 더 높은 값을 나타내었으며, 보광지역에서는 두 임분의 유사한 값을 나타내어 토양의 화학적 성질로 인한 두 임분간의 성장량 차이는 미비할 것으로 생각된다.

반면, 주요 치환성 음이온의 함량차이는 각 임분간에 조금 다르게 나타났는데, 대기지역에서 PO_4^{3-} (Nrs:0.10, Ps:0.20)과 Cl^- (Nrs:13.70, Ps:18.80)는 인공조림 임분이 천연갱신 임분보다 높은 함량을 보였으며, SO_4^{2-} (Nrs:14.00, Ps:9.90)와 NO_3^- (Nrs:0.30, Ps:0.10)은 천연갱신 임분이 인공조림 임분보다 함량이 높게 나타났다(Table 1). 보광지역의 PO_4^{3-} (Nrs:0.13, Ps:0.10)과 SO_4^{2-} (Nrs:11.87, Ps:11.80), Cl^- (Nrs:13.64, Ps:8.40)는 천연갱신 임분이 인공조림 임분보다 높은 함량을 보였고, NO_3^- (Nrs:0.22, Ps:0.30)은 인공조림지 임분이 더 높은 함량을 나타냈다.

2. 성장량 분석

수고는 두 지역에서 모두 천연갱신된 임분이 인공조림된 임분에 비해 매우 큰 값을 나타내었고($p<0.01$), 근원경은 보광지역에서만 천연갱신된 임분이 인공조림된 임분보다 더 좋은 성장을 나타내었다($p<0.01$)(Table 2). 각 부

위별 건중량 비교에서 대기지역은 줄기에서만 천연갱신된 임분이 더 높은 값을 나타내었고($p<0.01$), 가지와 잎, 뿌리, 전체 건중량은 두 임분간에 통계적 유의차가 인정되지 않았다. 하지만 보광지역에서는 모든 부위에서 인공조림된 임분보다 천연갱신된 임분의 건중량이 더 높은 값을 나타내었고 1% 수준($p<0.01$)에서 통계적 유의차가 인정되었다. 이러한 결과는 보광 천연갱신된 임분이 매년 풀베기 작업이 시행되어 수목의 성장에 좋은 영향을 미친 결과라 판단된다.

3. 각 부위별 구성비 분석

천연갱신된 임분의 각 부위별 구성비는 대기지역에서 줄기(34.5%) > 가지(26.8%) > 침엽(24.2%) > 뿌리(14.5%) 순으로 나타났으며, 보광지역은 줄기(33.4%) > 침엽(26.3%) > 가지(25.0%) > 뿌리(15.4%)의 순으로 나타나, 줄기의 구성비가 가장 높게 나타났으며, 뿌리의 구성비가 가장 낮은 것으로 나타났(Table 3). 반면, 인공조림된 임분은 대기지역에서 침엽(34.9%) > 가지(23.8%) > 줄기(21.5%) > 뿌리(19.8%)의 순이었으며, 보광지역에서도 침엽(28.2%) > 가지(25.4%) > 줄기(23.6%) > 뿌리(22.4%)의 순으로 나

Table 2. Average height, DRC and biomass components of the sample trees of *P. densiflora* for. *erecta*. in two studied sites.

Site	Stand	Height (cm, \pm S.D.)	DRC (cm, \pm S.D.)	Dry weight (g, \pm S.D.)				
				Stem	Branch	Needle	Root	Total
Dae-gi	Nrs	146.2 (\pm 25.0)	2.55 (\pm 0.5)	146.0 (\pm 50.5)	114.9 (\pm 46.2)	101.4 (\pm 37.5)	61.7 (\pm 23.7)	424.0 (\pm 147.6)
	Ps	83.9 (\pm 12.5)	2.53 (\pm 0.5)	91.4 (\pm 36.0)	101.2 (\pm 47.5)	148.7 (\pm 71.5)	84.3 (\pm 35.9)	425.7 (\pm 148.4)
	F-value	0.08**	0.16	0.23*	0.20	1.63	0.40	0.04
Bo-gwang	Nrs	199.0 (\pm 31.6)	4.66 (\pm 0.7)	529.1 (\pm 164.4)	389.8 (\pm 109.2)	404.5 (\pm 95.8)	243.0 (\pm 85.3)	1566.3 (\pm 410.3)
	Ps	93.1 (\pm 13.5)	2.61 (\pm 0.5)	109.6 (\pm 43.1)	126.3 (\pm 64.2)	133.5 (\pm 53.0)	113.8 (\pm 65.3)	483.1 (\pm 214.2)
	F-value	3.50**	0.91**	8.47**	2.57**	8.71**	0.44**	3.48**

DRC : diameter at root collar, Nrs : Naturally regenerated stand, Ps : Planted stand.

* and ** indicate significance at 5% and 1% levels, respectively.

Table 3. Dry weight component ratio between naturally regenerated and planted stands of *P. densiflora* for. *erecta*. in two studied sites.

Site	Stand	Stem	Branch	Needle	Root
Dae-gi	Nrs	34.5 \pm 4.9 A	26.8 \pm 2.3 B	24.2 \pm 3.5 B	14.5 \pm 2.6 C
	Ps	21.7 \pm 3.4 b	24.6 \pm 8.0 b	33.8 \pm 4.9 a	19.9 \pm 5.3 b
	F-value	2.66**	3.93	0.33**	3.27*
Bo-gwang	Nrs	33.4 \pm 4.6 A	25.0 \pm 2.7 B	26.3 \pm 3.2 B	15.4 \pm 2.8 C
	Ps	23.6 \pm 4.1 c	25.4 \pm 4.2 ab	28.2 \pm 3.1 a	22.8 \pm 4.0 c
	F-value	0.19**	1.06	0.44	1.96**

Nrs : Naturally regenerated stand, Ps : Planted stand.

Date were compared at two levels : (1) between two different stand types for each annual diameter growth with a t-test (and indicate significance at 5% and 1% levels, respectively), (2) between 1-7 years growth at site level with a Duncan's new multiple range test (Different letters mean statistical differences at 5% level).

타나, 침엽의 구성비가 줄기의 구성비 보다 많은 것으로 나타났으며, 천연갱신된 임분과 다른 구성비를 나타내었다.

박인협 등(1990, 2005)은 35년생과 20년생 이하의 금강소나무 부위별 구성비를 줄기 >가지 >뿌리 >침엽의 순이라는 보고하였는데, 1영급을 대상으로 한 본 연구에서 아직 뿌리가 성숙하지 못한 상태이고, 자연낙지와 낙엽이 이루어지지 않았기 때문에 천연갱신된 임분에서 침엽의 구성비가 뿌리의 구성비보다 많은 것으로 생각된다. 인공조립된 임분에서 줄기와 가지의 구성비보다 침엽의 구성비가 더 많은 것은 변화된 환경에 대한 적응과 뿌리의 활착을 위해 많은 에너지가 필요한 수목이 양분흡수 기관인 잎과 뿌리의 성장을 활발히 하였고, 그에 반해 상대적으로 줄기와 가지의 생장이 적게 일어난 결과라 생각된다. 또한 뿌리의 구성비에서도 두 지역 모두 천연갱신된 임분보다 인공조립된 임분의 구성비가 유의적($p < 0.01, 0.05$)으로 높은 값을 나타내었는데, 일반적으로 온대지방 산림 생태계에서 지하부의 중량은 지상부 중량의 약 20% 정도라는 보고(Rodin and Bacilevich, 1967; Johnson and Risser, 1974; Canadell *et al.*, 1999; Laclau, 2003)와 미국의 주요 수종들에 대한 뿌리의 평균 Biomass 구성비는 16.7%라는 연구결과(Koch, 1989)로 미루어 볼 때, 인공조립된 임분에서의 뿌리 구성비는 다소 높은 값이라 할 수 있다.

또한 각 부위별 대 지상부 비와 줄기당 잎과 가지의 비율에서도 두 지역 모두 천연갱신된 임분과 인공조립된 임분간에 상이한 결과를 나타내었는데(Table 4), 줄기 대 지상부 비(S/AB ratio)는 천연갱신된 임분이, 침엽 대 지상부 비(N/AB ratio)는 인공조립된 임분이 유의적($p < 0.01$)으로 큰 값을 나타내었으며, 가지대 지상부 비(B/AB ratio)에서는 천연갱신과 인공조립된 임분간에 통계적 유의차가 나타나지 않았다.

천연갱신된 임분의 뿌리 대 지상부 비(R/AB ratio)는 대기와 보광지역에서 각각 0.17과 0.18로 나타나 수목이 분포하는 위도와 토성 및 수목의 종류와 관계없이 뿌리 대

지상부 비가 약 0.2-0.3 범위에 속한다는 보고(Cairns *et al.*, 1997)와 일반적으로 수목의 평균값이 0.2라고 보고(Whittaker and Marks, 1975)한 결과와 일치하였으나, 인공조립된 임분의 뿌리대 지상부 비(R/AB ratio)는 각각 0.25와 0.30으로 나타나 천연갱신된 임분보다 유의적($p < 0.01, 0.05$)으로 큰 값을 나타내었다. 이러한 결과는 인공식재 후 활착 스트레스와 생육환경의 급변 등 뿌리의 초기생장에 불리한 요인으로 인하여 나타난 결과로 생각되며, 사막이나 수목한계선과 같은 열악한 환경에서 임목 전체에서 뿌리가 차지하는 비율이 높아진다는 보고(Rodin and Bacilevich, 1967; Caldwell and Fernandez, 1975; Rundel, 1980)가 이를 뒷받침하고 있다. 또한 천연갱신 임분과 인공조립 임분간의 초기 뿌리 생장이 수목의 후기생장에 지속적으로 미치는 영향을 파악하기 위해서는 다양한 영급에 대한 조사가 이루어져야 할 것이다.

줄기당 침엽의 비율(N/S)과 줄기당 가지의 비율(B/S)도 두 지역 모두 인공조립된 임분이 천연갱신된 임분보다 유의적으로 높은 값을 나타내었으며($p < 0.01, 0.05$), 가지당 잎의 비율(N/B)도 인공조립된 임분이 유의적($p < 0.01, 0.05$)으로 높은 값을 나타내었다. 이때 값이 크다는 의미는 가지당 잎의 수가 많다는 것을 의미하는데, 이는 소나무의 직파조립묘와 식재조립묘의 Biomass 생산을 비교한 결과(김동근과 서형민, 2005)와 일치하였다. 또한 이러한 결과는 인공조립된 임분의 수목이 토양과 환경에 적응하기 위해 보다 많은 양분이 필요함으로써 양분의 생산기관인 침엽을 많이 생성하였을 것으로 생각된다.

4. 연년 직경성장 비교

대기와 보광지역의 천연갱신된 임분과 인공조립된 임분의 연년 직경생장을 비교한 결과(Table 5), 대기지역 전체 직경성장(7년간 성장)은 두 임분이 유사한 값(Nrs : 2.46 cm, Ps : 2.52 cm)을 나타내었지만, 보광지역의 직경생장은 천연갱신된 임분(3.90 cm)이 인공조립된 임분(2.61

Table 4. Ratio of growth characteristics between naturally regenerated and planted stands of *P. densiflora* for *erecta*. in two studied sites.

Site	Stand	S/AB ¹	B/AB ²	N/AB ³	R/AB ⁴	N/S ⁵	B/S ⁶	N/B ⁷
Dae-gi	Nrs	0.40 ± 0.05	0.31 ± 0.03	0.28 ± 0.04	0.17 ± 0.04	0.72 ± 0.21	0.80 ± 0.17	0.91 ± 0.14
	Ps	0.27 ± 0.04	0.30 ± 0.09	0.42 ± 0.07	0.25 ± 0.09	1.59 ± 0.30	1.19 ± 0.48	1.22 ± 0.16
	F-value	0.46**	2.30	0.42**	3.72*	3.12**	2.24*	0.86**
Bo-gwang	Nrs	0.39 ± 0.05	0.30 ± 0.03	0.31 ± 0.04	0.18 ± 0.04	0.81 ± 0.21	0.77 ± 0.17	1.06 ± 0.13
	Ps	0.30 ± 0.04	0.33 ± 0.06	0.37 ± 0.04	0.30 ± 0.07	1.22 ± 0.20	1.13 ± 0.39	1.20 ± 0.17
	F-value	0.13**	1.23	0.03**	4.31**	0.01**	1.46*	0.28*

Nrs : Naturally regenerated stand, Ps : Planted stand.

* and ** indicate significance at 5% and 1% levels, respectively.

¹S/AB : Ratio of stem biomass to aboveground biomass, ²B/AB : Ratio of branch biomass to aboveground biomass, ³N/AB : Ratio of needle biomass to aboveground biomass, ⁴R/AB : Ratio of root biomass to aboveground biomass, ⁵N/S : Ratio of needle biomass to stem biomass, ⁶B/S : Ratio of branch biomass to stem biomass, ⁷N/B : Ratio of needle biomass to branch biomass.

Table 5. Mean annual diameter growth between naturally regenerated and planted stands of *P. densiflora* for. *erecta*. in two studied sites.

Stand		Annual diameter growth(cm)							Mean	Total
		1	2	3	4	5	6	7		
Dae-gi	Nrs	0.26 c	0.19 bc	0.29 b	0.38 a	0.46 a	0.44 a	0.44 a	0.35	2.46
	Ps	0.38 ab	0.16 c	0.31 b	0.35 ab	0.40 ab	0.46 a	0.47 a	0.36	2.52
	F-Value	0.43	2.03	0.05	2.47	2.72	0.15	0.06	0.79	0.75
Bo-gwang	Nrs	0.34 e	0.29 e	0.42 de	0.50 cd	0.63 b	0.78 a	0.94 a	0.56	3.90
	Ps	0.40 b	0.15 d	0.21 cd	0.27 d	0.42 b	0.56 a	0.59 a	0.37	2.61
	F-Value	0.41	0.28**	1.98**	0.38**	0.01**	0.19*	3.97**	0.62**	0.66**

Nrs : Naturally regenerated stand, Ps : planted stand.

Date were compared at two levels : (1) between two different stand types for each annual diameter growth with a t-test (and indicate significance at 5% and 1% levels, respectively), (2) between 1-7 years growth at site level with a Duncan's new multiple range test (Different letters mean statistical differences at 5% level).

Table 6. Mean annual height growth between naturally regenerated and planted stands of *P. densiflora* for. *erecta*. in two studied sites.

Stand		Annual height growth(cm)							Mean	Total
		1	2	3	4	5	6	7		
Dae-gi	Nrs	9.1 c	10.4 c	11.0 c	16.0 b	26.9 a	28.9 a	26.6 a	18.3	128.2
	Ps	13.8 a	10.2 ab	9.1 b	13.4 ab	13.2 ab	11.8 ab	12.4 ab	12.0	83.9
	F-Value	1.74**	0.19	0.34	0.01	1.03**	4.15**	15.60**	1.75**	1.75**
Bo-gwang	Nrs	10.9 d	19.1 cd	14.7 d	24.4 bc	32.9 ab	37.6 a	29.6 ab	24.2	176.3
	Ps	15.8 ab	11.7 bc	8.4 bc	12.2 bc	13.0 bc	12.6 bc	19.4 a	13.3	93.1
	F-Value	1.92**	0.01**	2.13*	2.51**	5.37**	4.52*	0.67**	4.74**	4.74**

Nrs : Naturally regenerated stand, Ps : planted stand.

Date were compared at two levels : (1) between two different stand types for each annual height with a t-test (and indicate significance at 5% and 1% levels, respectively), (2) between 1-7 years growth at site level with a Duncan's new multiple range test (Different letters mean statistical differences at 5% level).

cm)보다 매우 우수한 성장을 나타내었다($p<0.01$). 이러한 결과는 자작나무와 가래나무의 천연림과 인공림의 직경 성장을 비교한 연구(김갑태, 2003; 2004)에서 천연림의 직경생장이 인공림보다 우수하였다는 연구와 일치하는 결과이다.

한편 보광지역의 천연갱신된 임분이 다른 임분에 비해 매우 큰 직경생장을 보인 것은 잣나무 조림지에 대한 풀베기 작업 등 무육작업이 실시되어 양분흡수에 대해 경쟁 관계인 하층식생이 제거되어 잔존 수목의 성장에 좋은 영향을 끼친 것으로 생각된다.

연년별 직경생장을 살펴보면, 대기지역 천연갱신된 임분에서의 성장량은 2-5년 사이에는 증가하였으나, 5-7년 사이에는 성장량이 다소 줄어드는 경향을 나타내었고, 인공조립된 임분에서는 1년째 성장량보다 2년째 성장량이 큰 폭으로 줄어드는 경향을 보였으며, 2년째 이후에는 꾸준히 증가하는 경향을 나타내었다. 보광지역 천연갱신된 임분에서의 성장량은 2-7년 사이의 생장이 큰 폭으로 증가하였으며, 인공조립된 임분에서도 2-7년 사이의 생장이 꾸준히 증가하였고, 6-7년에는 다소 줄어드는 경향을 보였다. 인공조립된 임분에서 1-2년 사이의 연년생장량이 대

기지역과 같이 큰 폭으로 줄어드는 경향을 나타내었는데, 이는 식재목이 이식되기 전 유묘 성장단계에서 주어지는 포지의 좋은 환경이 직경생장에 영향을 미친것이라 생각되며, 2-5년 사이에 성장량이 천연갱신 임분보다 적은 이유는 인공조립에 따른 생육환경의 급변과 이식 스트레스로 인해 초기 직경생장에 부정적 영향을 끼쳤을 것으로 생각된다.

5. 연년 수고성장 비교

대기와 보광지역의 천연갱신 임분과 인공조립 임분의 7년간 연년 수고성장량을 비교한 결과(Table 6), 대기지역의 천연갱신된 임분에서 전체 수고는 128.2 cm이었고, 연년생장량은 18.3 cm/year로 나타났으며, 인공조립된 임분에서의 전체 수고는 83.9 cm, 연년생장량은 12.0 cm/year로 나타나 전체 수고와 연년생장량 모두 인공조립된 임분보다 천연갱신된 임분이 우수한 성장을 보였다($p<0.01$). 보광지역에서도 천연갱신 임분(전체 수고:176.3 cm, 연평균:24.2 cm)이 인공조립된 임분(전체 수고:93.1 cm, 연평균:13.3 cm)보다 우수한 성장을 나타내었다($p<0.01$).

각 연년별 성장량을 비교해 보면, 1년째의 성장은 인공

조립된 임분의 생장이 더 우수하나, 2년째부터의 생장은 천연갱신된 임분의 생장이 더 우수한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 김동근과 서형민(2005)이 소나무의 직파조립묘와 식재조립묘의 수고생장을 비교한 연구에서 3년째부터 파종묘의 수고생장이 더 우수하다는 보고와 일치하는 결과를 나타내었다.

대기지역 천연갱신된 임분은 1-3년 사이에 다소 적은 성장을 보이다가 4-5년째에 큰 폭으로 증가하였고, 6-7년째에 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 인공조립된 임분은 1-3년 사이에 감소하는 경향을 보이다가 3-4년째에 다소 증가하였다가 그 후에 다시 감소하는 경향을 보였다. 보광지역 천연갱신된 임분은 2-3년과 6-7년 사이에는 성장량이 감소하는 경향을 보였고, 1-2년과 3-6년 사이에는 큰 폭으로 증가하는 경향을 보였다. 인공조립된 임분은 대기지역과 같이 1-3년 사이에는 감소하는 경향을 보이다가 3년 이후에 증가하는 경향을 보였다.

두 지역의 인공조립된 임분에서 1-3년 사이의 생장이 공통적으로 감소하는 현상은 이식에 따른 환경의 급변과 뿌리의 활착이 수고의 성장에 영향을 미친 것으로 생각되며, 4년째부터는 수고성장량이 다소 높아지는 것으로 보아, 뿌리가 활착되고 이로 인해 수고생장에 좋은 영향을 미치는 데 어느 정도 기간이 요구된다고 생각된다.

결 론

본 연구는 대기와 보광지역에서 직경과 수고성장량 및 각 부위별 건중량과 구성비를 비교하여, 천연갱신과 인공조림에 의해 성립된 금강소나무 임분의 초기성장 특성을 비교 분석하였다. 본 연구결과 금강소나무의 초기생장은 천연적으로 갱신된 임분과 식재에 의해 조립된 임분간에 차이가 있는 것으로 나타났다. 수고생장은 천연갱신된 임분이 인공조립된 임분보다 유의적으로 높은 성장을 나타내었고 각 부위별(줄기, 가지, 침엽, 뿌리) 지상부와 지하부의 구성비에서는 두 조사지역 모두 천연갱신 임분의 경우 줄기의 구성비가 가장 높게 나타난 반면, 인공조립 임분에서는 침엽의 구성비가 가장 높게 나타났다. 뿌리 대 지상부 건중량비, 줄기당 침엽의 비율, 줄기당 가지의 비율, 가지당 잎의 비율은 두 지역 모두 인공조립 임분이 천연갱신 임분보다 그 값이 높게 나타났다. 따라서 매년 많은 면적이 조립되고 있는 현 국내 여건을 고려할 때 추후 다양한 수종과 영급을 대상으로 천연림과 인공림의 성장특성과 뿌리발달 특성에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다. 또한 인공조림을 실시할 경우 야기되는 임목의 초기 수고생육의 저하, 각 부위별 구성비의 불균형 등을 해결할 수 있는 식재방법 등에 대한 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2008년도 영남대학교 학술연구조성비의 지원을 받아 수행하였습니다.

인용문헌

1. 김갑태. 2003. 생태적 숲관리와 조림 문제 -조림지와 천연림에서 자작나무 세 수종의 직경성장 비교-. 한국환경생태학회지 17(3): 224-231.
2. 김갑태. 2004. 생태적 숲관리와 조림 문제 -조림지와 천연림에서 가래나무의 직경성장 비교. 한국환경생태학회지 17(4): 309-315.
3. 김동근, 서형민. 2005. 삼척산불피해지에서 소나무 직파조립묘와 식재조립묘의 Biomass 생산과 성장특성. 한국농림기상학회 학술발표논문집 2: 240-246.
4. 김태훈, 정진현, 구교상, 김규현, 차순형, 김준섭, 이충화, 구창덕. 1988. 산림토양분류에 관한 연구. 임업연구원 연구보고 37: 19-34.
5. 김태훈, 정진현, 이충화, 구교상, 이원규, 강인애, 김사일. 1991. 토양형별 주요 수종의 성장. 임업연구원 연구보고 42: 91-106.
6. 농촌진흥청 농업과학기술원. 2000. 토양 및 식물체 분석법. 수원. pp. 202.
7. 박인협, 김준선. 1990. 한국산 4개 지역형 소나무 천연림의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지 79(2): 196-204.
8. 박인협, 박인수, 이경학, 손영모, 서정호, 손요한, 이영진. 2005. 소나무의 생태형과 임령에 따른 물질 현존량 확장계수. 한국임학회지 94(6): 441-445.
9. 산림청. 2000. 산림과 임업기술 II. 산림자원 조성. 한국. 대전 pp. 157-182.
10. 산림청. 2006. 소나무·상수리나무 용기묘와 노지묘의 생육연구 비교분석 및 효율적 조림방안 연구. 대전. pp. 221.
11. 이수욱. 1981. 한국의 산림토양에 관한 연구(II). 한국임학회지 54: 25-35.
12. 이천용. 2000. 산림환경토양학. 보성문화사. pp. 350.
13. 정인구. 1981. 수량화에 의한 우리나라 삼림토양의 형태학적 및 이화학적 성질과 잣나무 및 낙엽송의 성장 상관분석. 한국임학회지 53: 1-26.
14. 정영관, 홍병화, 김종만. 1980. 토양의 화학적성질과 임목생장과의 관계. 한국임학회지 46: 10-20.
15. 정진현, 구교상, 이충화, 김춘식. 2002. 우리나라 산림토양의 지역별 이화학적 특성. 한국임학회지 96(6): 694-700.
16. 河田弘. 1989. 삼림토양학개론. 박우사. pp. 399.
17. Burden. A.X. and Martin. P.A.F. 1982. Chemical root pruning of coniferous seedling. HortScience 17: 622-624.
18. Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H. and Baumgardner, G.A. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. Oecologia 111: 1-11.
19. Caldwell, M.M. and Fernandez. O.A. 1975. Dynamics of

- great basin shrub root system. pp. 38-51 in N.F. Hadley (ed). Environmental physiology of desert organisms. Halstead press. New York.
20. Canadell, J., Djema, A., Lopez, B., Lloret, F., Sabat, S., Siscart, D. and Gracia, C.A. 1999. Structure and Dynamics of the Root System. pp. 47-59 in F. Rod, J. Retana, C.A. Gracia and J. Bellot (eds). Ecology of mediterranean evergreen oak forests. Ecological studies 137. Springer.
21. Johnson, F.L. and Risser. P.G. 1974. Biomass, annual net primary production and dynamics of six mineral elements in a post oak-blackjackoak forest. Ecology 55(6): 1246-1258.
22. Klock, G.O., Cline R.G. and Swanston. D.N. 1984. Forest handbook (Second Edition). A Wiley-Interscience Publication, New York. pp. 83-96.
23. Koch, P. 1989. Estimates by species group and region in the USA of below-ground root weight as a percentage of overdry complete-tree weight and carbon content of tree portions. Wood science laboratory, Inc., Carvallis, MT. pp. 23.
24. Laclau, P. 2003. Biomass and carbon sequestration of ponderosa pine plantation and native cypress forest in northwest Patagonia. Forest Ecology and Management 180: 317-333.
25. Lester R. 2006. Plan B 2.0. USA. pp. 495.
26. Marler. T. E. and Willis. D. 1996. Chemical or air root pruning containers improve carambola, longan and mango seedling root morphology and initial root growth after transplanting. Journ of Environment Horticultural 14(2): 47-49.
27. Rodin, L.E. and Bazilevich. N.I. 1967. Production and Mineral Cycling in Terrestrial Vegetation. Oliver and Boyd, London. pp. 288.
28. Rundel, P.W. 1980. Adaptations of mediterranean climate oaks to environmental stress. pp. 43-54 in Ecology, Management, and utilization of california oaks. USDA for. serv. gen tech. Rep. PSW-44.
29. Whittaker, R.H. and Marks. P.L. 1975. Methods of assessing terrestrial productivity. pp. 55-118. in H. Lieth and Whittaker R.H. (ed.) Primary productivity of the biosphere. Springer-Verlag, New-York.

(2010년 2월 23일 접수; 2010년 3월 23일 채택)