

설악산 잣나무(*Pinus koraiensis*) 천연림의 해발고별 임분구조 및 생장특성

김현섭 · 배상원 · 장석창 · 정준모

국립산림과학원 산림생산기술연구소

Stand Structure and Growth Characteristics at Different Elevations of the Korean Pine(*Pinus koraiensis*) Natural Forest on Mt. Seorak

Hyun Seop Kim, Sang Won Bae*, Seok Chang Jang, and Jun Mo Jeong

Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute, Pocheon 487-821, Korea

ABSTRACT : This study was conducted to analyze the stand structure and growth characteristics along different elevations of *Pinus koraiensis* natural forests located at mean elevation 1,300 m (site1), 900 m (site2) and 600 m (site3) on Mt. Seorak. Mean DBH and height of *P. koraiensis* were 25.4 cm and 12.3 m in site1, while that of site2 and 3 were over 40 cm and 20 m, respectively. For this reason, there was 5 times difference of single tree volume between site1 and other sites($p<0.05$). Mean ringwidth increment of *P. koraiensis* was 1.1 mm/yr in site1, 1.5 mm/yr in site2 and 2.6 mm/yr in site3. However, recent growth of ringwidth has increased by 8.6% in site1, whereas site2 and 3 have fallen by approximately 50% over the last 10 years. These results signify that the growth and distribution of natural *P. koraiensis* are effected by different climatic environment along elevations.

Keywords : *Pinus koraiensis*, Elevation, Stand structure, Growth characteristic

서 론

산림의 생장은 입지의 영향을 크게 받는다. 임업에서 자연적 입지의 개념은 주로 기후, 토양, 지형에 의해 영향을 받는 산림내 자연적인 환경영향의 총체를 의미한다(Kramer, 1976). Walter(1960)는 식물생존에 주로 영향을 주는 기본 인자를 빛, 온도, 수분, 화학 및 기계적 인자로 분류하였고, Erteld and Hengst(1966)는 산림생장에서 동화작용과 호흡 과정에 결정적인 역할을 하는 인자로 빛, 복사광선, 온도, 수분, 이산화탄소 등을 들었다. 즉, 식물의 생존과 생장에 빛, 온도, 수분 등의 요인이 결정적인 영향을 미치는 것으로 요약 되는데 이 중 온도는 태양광선의 영향을 크게 받으며, 해발고 및 지형의 기록 역시 온도에 영향을 미친다(Byun *et al.*, 1996). 특히, 해발고는 기온과 습도, 바람의 속도에 직접적으로 영향을 주며 식물의 생장과 분포를 결정하는 인자

로 알려져 있다(Kimmins, 1996; Zhang *et al.*, 2005).

이와 관련해 Park *et al.*(2006)은 지리산의 해발고에 따른 임분구조 연구에서 임분의 상층수고는 해발고가 높아짐에 따라 낮아졌고 임령분포도 해발고에 따라 차이가 있었다고 보고하였으며, Lee *et al.*(2010)은 한라산의 해발고별 식생변화 연구를 통해 해발고에 따라 종조성과 식생구조가 뚜렷이 구분되었음을 보고하였다. 또한, Kong(1999)은 한라산의 수직적 기온분포 연구를 통해 $-0.58^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 의 평균 기온체감율을 보고하며 기온이 온난화될 경우 한대수종의 생육범위가 감소할 것으로 예측하였으나 잣나무를 비롯한 한대수종의 해발고에 따른 생장특성에 대한 연구사례는 충분하지 못하다.

잣나무(*Pinus koraiensis*)는 자연 상태에서 한반도를 비롯해 러시아 아무르, 하바로브스크, 연해주, 중국 북동부 헤이룽장, 지린, 일본 혼슈, 시코쿠 등에 분포하는 한대수종으

로 한반도에서는 수평적으로 북쪽의 차유산과 남쪽의 지리산까지 나타나고 수직적으로 해발 100~1,900 m 사이에 분포한다(Kong, 2004).

잣나무천연림과 관련하여 Lee and Hwang(2000)은 팔공산 잣나무천연림의 식생구조 연구에서 천연집단의 영급구성이 다양하고 신갈나무와의 경쟁이 심하다는 결과를 제시하였고, Song and Yun(2006)은 설악산 잣나무천연림의 군락유형 연구를 통해 군락내 중간경쟁이 심하며 차대림은 다른 종으로 천이될 것으로 내다봤다. 한편, 장백산지역 잣나무천연림의 천연갱신 특성과(Jin *et al.*, 2005) 극동러시아의 잣나무-활엽수 극상림의 임분구조가 국내에 소개되기도 하였으나(Kang *et al.*, 2004) 관련 연구는 양적으로 매우 부족하며 특히, 해발고에 따른 생태적 특성과 분포구조 및 생육상황이 종합적으로 비교·분석된 연구는 시도된 사례가 거의 없다.

이에 본 연구는 해발고에 따른 잣나무천연림의 수종구성 및 임분구조와 생장특성을 구명하여 보호의 필요성이 있는 잣나무천연림의 해발고별 기초 생장자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

조사지는 한반도의 고산식물 분포상 북중부아고산 식생대로 분류되는 강원도 설악산의 잣나무천연림이며(Kong, 2002), 해발고에 따라 3개 지역으로 구분하였다. 조사지1(N 38° 06'59"~35", E 128° 27'48"~36")은 설악폭포와 대청봉 아래의 잣나무천연림으로 평균해발 1,300 m(1,200~1,450 m), 경사 15~40°의 남향 및 남서향사면에 위치하고

있다. 조사지2와 조사지3(N 38° 07'51"~08'60", E 128° 24'28"~25'20")은 가야동계곡과 나한봉 일대의 잣나무천연림이며 그 중 조사지2는 평균해발 900 m(840~1,040 m), 경사 10~38°의 동, 남동 및 남서향 사면에 위치하고 있으며, 조사지3은 평균해발 600 m(570~680 m), 경사 5~35°의 남향 및 남서향사면에 자리하고 있다(Table 1).

조사지의 기후특성을 알기 위해 1997년부터 2010년까지 14년간의 설악산 인근 5개 자동기상관측시스템(지점해발 253~1,597 m)의 기상자료를 참조한 결과 설악산의 연평균기온은 7.1°C, 강수량은 1,660 mm로 나타나 온대중부 아고산대의 기후특성을 보이고 있었다(Korea Meteorological Administration, 2010). 자동기상관측시스템 5개 지점의 해발고와 연평균기온간의 선형회귀식을 통해 3개 조사지의 연평균기온을 추정된 결과 -0.53°C/100 m의 기온체감율을 보였고 이에 따라 조사지1은 4.6°C, 조사지2는 6.8°C, 조사지3은 8.4°C로 추정되었다(Table 2).

2. 임분조사

조사지별 생육상황과 임분구조를 파악하기 위해 2009년 5~8월과 2010년 8월에 임분조사를 실시하였다. 조사는 임분내 우세목의 수고에 따라 반경 10.0 m(314 m²)와 12.62 m(500 m²)의 원형조사방법을 적용하였으며, 조사개소수와 면적은 Table 1과 같다. 조사항목은 수종, 흉고직경, 수고, 지하고, 수관면적 등이며 흉고직경은 전국산림자원조사요령에 의거 임업경영의 대상이 되는 6 cm 이상의 개체목을 모두 조사하였다(Korea Forest Service, 2000). 수고는 Vertex III 수고측정기를 이용하여 조사하였으며, 수관면적은 4방향(0°, 90°, 180°, 270°)의 수관반경을 측정할 후 Bae and

Table 1. General description of study sites.

Site	No. plots	Survey area (m ²)	Approximate elevation (m)	Elevation range (m)	Aspect	Slope (°)	Topography
1	17	4,550	1,300	1,200~1,450	S,SW	15~40	side, top
2	10	4,000	900	840~1,040	E, SE, SW	10~38	side
3	10	4,000	600	570~680	S,SW	5~35	side, bottom

Table 2. Regression formula between elevation and annual mean temperature of study sites.

Dependant Variable	Regression Equation	R	R ²	P
Annual mean temperature	Y = -0.0053 X + 11.561	-0.967	0.9585	0.000

Kim(2000)이 제시한 부분원형계산법에 따라 산출하였다. 또한, 천연잣나무의 수령과 연륜생장 특성을 파악하기 위해 흉고부위에서 총 58개의 목편을 추출하여 매년의 연륜폭을 1/100 mm 단위로 측정하였다.

3. 상대우점치 분석

임분조사 자료를 토대로 조사지별 각 수종의 상대적 우세를 비교하기 위해 Curtis and McIntosh(1951)의 중요치(Importance Value; I.V.)를 통합하여 백분율로 나타낸 상대우점치(Importance Percentage; I.P.)를 교목층과 아교목층에 대해 분석하였고(Brower and Zar, 1977; Choi and Cho, 2009) 이 때의 상대우점치는(상대밀도+상대피도+상대빈도)/3의 식으로 계산하였다.

4. 임분구조 및 생장특성 분석

임분 전체의 생육상황을 파악하기 위해 각 조사지의 층위별 상대우점치 상위 5개 수종을 대상으로 ha당 임목본수, 평균흉고직경, 평균수고, ha당 흉고단면적 및 재적을 분석하였으며, 이 때의 흉고단면적과 재적은 표준임업시험실시요령에 따라 산출하였다(Korea Forest Research Institute, 2002).

또한, 각 조사지별 임분구조를 파악하기 위해 교목층의 상대우점치 상위 5개 수종을 기준으로 교목과 아교목을 통합한 후 흉고직경은 4 cm 단위, 수고는 4 m 단위로 구분하여 수종별 직경급 및 수고급 분포특성을 분석하였다.

그리고, 조사지별 천연잣나무의 생장특성과 연륜생장량의 차이를 통계적으로 비교하기 위해 ANOVA와 Duncan 검정을 실시하였다. 연륜생장량은 수령 100년 이상의 우세목 연륜폭 측정 자료를 이용하였고, 자료간의 변이를 상대적으로 비교하기 위해 변이계수(CV)를 산출하였으며, 시계열자료의 우연오차에 의한 변동을 제거하기 위해 5년간의 이동평균을 산출한 후 각 조사지별 기본경향 및 추세를 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 상대우점치

3개 조사지의 교목층과 아교목층을 구성하는 출현종수는

총 27종이며 잣나무, 신갈나무, 전나무, 피나무, 당단풍나무, 고로쇠나무, 산벚나무, 쪽동백나무, 층층나무 등 9개 수종이 3개 조사지에서 공통적으로 출현하고 있다(Table 3). 수종별 상대우점치를 분석한 결과, 조사지1의 교목층은 잣나무(I.P. 37.7%)와 신갈나무(I.P. 34.2%)가 우점하고 있으며, 아교목층은 전나무(I.P. 31.8%)와 잣나무(I.P. 23.1%)의 상대우점치가 높았다. 교목층의 신갈나무 상대우점치는 조사지1과 해발이 유사한 오대산 비로봉 일대의 신갈나무와 유사하며(Lee *et al.*, 1996), 상왕봉 일대의 신갈나무 보다는 다소 낮았다(Kim *et al.*, 1996).

조사지2의 교목층은 잣나무와 신갈나무의 상대우점치가 각각 30.9%와 21.4%로 나타났으며, 아교목층은 청시닥나무와 당단풍나무가 각각 32.2%와 14.5%의 상대우점치를 보였고 잣나무는 출현하지 않았다. 조사지3의 교목층은 잣나무(I.P. 34.6%)가 우점종, 전나무(I.P. 15.2%)가 부수종으로 나타났으나 아교목층에서는 전나무(I.P. 41.0%)가 우점종, 쪽동백나무(I.P. 15.8%)와 당단풍나무(I.P. 13.9%)가 부수종으로 나타났으며 잣나무(I.P. 7.2%)의 상대우점치는 낮았다.

해발고에 따른 우점종 및 부수종의 점유 특성을 보면 교목층은 해발고가 높을수록 신갈나무의 점유정도가 높아지며, 아교목층은 해발고에 따라 잣나무의 점유정도에 차이가 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 설악산 대청봉 일대 잣나무천연림의 군락유형 연구결과와 일치하였다(Song and Yun, 2006).

2. 조사지별 생육상황

각 조사지의 층위별 생육상황을 분석한 결과, 조사지1의 교목층은 우점종인 잣나무와 신갈나무의 ha당 본수가 각각 285본과 193본으로 잣나무의 임분밀도가 높았다(Table 4). 그러나 평균흉고직경과 평균수고는 신갈나무가 더 큰 것으로 나타나 ha당 재적은 신갈나무가 107.6 m³, 잣나무가 97.3 m³이었다. 아교목층 우점종인 전나무와 잣나무의 ha당 본수는 각각 45본과 31본이며 평균흉고직경과 평균수고는 타 수종과 유사하였다.

조사지2의 교목층은 잣나무와 신갈나무가 주로 분포하는데 각각의 ha당 본수는 127본과 199본으로 신갈나무의 임분밀도가 높았다. 그러나 평균흉고직경이 잣나무 44.6 cm, 신갈나무 18.3 cm이고 평균수고가 20.2 m와 12.9 m로 나타났으며, 이에 따른 ha당 재적이 163.6 m³와 38.7 m³로 두

수종간 큰 차이를 보였다. 아교목층에는 청시닥나무와 당단풍나무의 ha당 본수가 각각 55본과 17본으로 나타났다.

조사지3의 교목층은 우점종인 잣나무의 ha당 본수가 187본이고 평균흉고직경과 평균수고가 41.7 cm와 22.5 m이며 ha당 재적이 299.9 m³인 것으로 나타나 부수종인 전나무의 ha당 재적과 큰 차이를 보이고 있다. 아교목층은 전나무가 ha당 42본의 밀도로 생육하고 있으며, 잣나무는 ha당 7본 정도 출현하고 있다.

해발고에 따른 전반적인 생육상황을 보면 해발고가 높은 지역은 우점종인 신갈나무의 생육상태가 같은 우점종인 잣나무 보다 우세하였다. 이는 상대우점치와는 다른 결과인데, 두 우점종간 흉고직경과 임분밀도 차이가 주 원인으로

판단된다. 또한, 해발고가 낮은 지역은 우점종인 잣나무의 생육상태가 부수종 보다 양호하였으며 상대우점치와 경향이 일치하였다.

3. 직경급 및 수고급 분포

조사지별 직경급 분포를 분석한 결과, 조사지1의 직경급 분포 범위는 8~72 cm이며 직경급 24 cm이하의 임분밀도가 높고 직경급이 커질수록 낮아지는 분포형태를 보여 전형적인 천연림의 직경급 분포 구조를 보이고 있다. 우점종인 잣나무와 신갈나무의 최대 직경급은 각각 52 cm와 72 cm로 나타났는데 잣나무는 주로 44 cm급 이하에서 연속적으로

Table 3. Importance percentage (IP) of woody plant (DBH≥6 cm) in each layer of study sites.

Tree species	Site1		Site2		Site3	
	Tree	Subtree	Tree	Subtree	Tree	Subtree
<i>Abies holophylla</i>	5.9	31.8	5.3	9.9	15.2	41.0
<i>Abies nephrolepis</i>	6.4					
<i>Acer barbinerve</i>			4.1	32.2		7.2
<i>Acer mono</i>		4.1	5.6		4.1	
<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>		9.2	2.0	14.5		13.9
<i>Acer tegmentosum</i>		4.1				
<i>Acer mandshuricum</i>		5.6				
<i>Alnus hirsuta</i>			1.7			
<i>Betula costata</i>	1.3	2.6				
<i>Betula davurica</i>			4.5		2.2	
<i>Carpinus laxiflora</i>			3.6		3.3	7.8
<i>Carpinus tschonoskii</i>			2.7			
<i>Cornus controversa</i>	1.1		2.0	7.5	1.9	
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>			7.4	7.3	7.9	
<i>Kalopanax septemlobus</i>			1.5		2.4	
<i>Maackia amurensis</i>			1.5			
<i>Pinus densiflora</i>					2.8	
<i>Pinus koraiensis</i>	37.7	23.1	30.9		34.6	7.2
<i>Prunus sargentii</i>	2.9		1.8	7.8	1.9	7.1
<i>Quercus mongolica</i>	34.2	6.2	21.4	7.9	4.4	
<i>Quercus serrata</i>	1.9				12.1	
<i>Sorbus commixta</i>				6.4		
<i>Styrax obassia</i>		4.1		6.6	5.5	15.8
<i>Taxus cuspidata</i>			2.7			
<i>Tilia amurensis</i>	6.0		1.4		1.8	
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	1.3	9.4				
<i>Ulmus laciniata</i>	1.0					

Table 4. Stand growth characteristics in each layer of study sites.

Site	Layer	Species	Stem density (trees/ha)	DBH (cm)	Height (m)	Clear-length (m)	Basal area (m ² /ha)	Volume (m ³ /ha)	
1	Tree	<i>Abies holophylla</i>	38	21.3	10.5	3.9	1.4	5.3	
		<i>Abies nephrolepis</i>	38	18.1	10.2	4.9	1.0	3.9	
		<i>Pinus Koraiensis</i>	285	27.0	12.9	4.8	18.3	97.3	
		<i>Quercus mongolica</i>	196	32.4	13.4	6.2	19.8	107.6	
		<i>Tilia amurensis</i>	31	18.7	10.4	3.7	1.0	4.4	
		others	55	16.5	10.2	5.2	1.4	5.5	
	Sub tree	<i>Abies holophylla</i>	45	11.6	6.0	2.8	0.5	1.0	
		<i>Acer pseudosieboldianum</i>	14	7.9	4.7	2.0	0.1	0.1	
		<i>Pinus Koraiensis</i>	31	10.6	6.6	3.0	0.3	0.7	
		<i>Quercus mongolica</i>	7	11.3	7.7	3.4	0.1	0.2	
		<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	10	13.1	7.3	3.0	0.2	0.4	
		others	27	9.6	6.7	3.4	0.2	0.5	
	Total		776	16.5	8.9	3.9	44.2	227	
	2	Tree	<i>Abies holophylla</i>	39	20.0	12.1	6.0	1.2	4.2
			<i>Acer mono</i>	39	11.8	12.9	7.4	0.5	2.4
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>			66	12.1	11.7	6.5	0.8	3.8	
<i>Pinus Koraiensis</i>			127	44.6	20.2	8.6	21.2	163.6	
<i>Quercus mongolica</i>			199	18.3	12.9	6.7	7.1	38.7	
others			160	15.9	10.9	5.1	4.5	21.6	
Sub tree		<i>Abies holophylla</i>	6	14.9	7.4	5.2	0.1	0.3	
		<i>Acer barbinerve</i>	55	7.6	7.3	3.3	0.3	0.7	
		<i>Acer pseudosieboldianum</i>	17	9.3	6.9	3.9	0.1	0.3	
		<i>Prunus sargentii</i>	6	10.9	7.9	4.9	0.1	0.1	
		<i>Quercus mongolica</i>	6	11.1	8.0	4.1	0.1	0.2	
		others	22	8.8	7.1	4.6	0.1	0.3	
Total			741	15.4	10.4	5.5	36.0	236.1	
3		Tree	<i>Abies holophylla</i>	125	27.7	18.3	5.3	9.4	82.6
			<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	62	11.9	12.7	7.8	0.8	4.5
	<i>Pinus Koraiensis</i>		187	41.7	22.5	10.7	30.7	299.9	
	<i>Quercus serrata</i>		90	24.7	20.6	11.8	5.2	46.1	
	<i>Styrax obassia</i>		49	8.3	9.9	4.9	0.3	1.0	
	others		132	21.8	16.4	8.1	6.6	49.3	
	Sub tree	<i>Abies holophylla</i>	42	10.8	6.8	3.7	0.4	0.9	
		<i>Acer pseudosieboldianum</i>	14	6.7	6.8	3.6	0.0	0.1	
		<i>Carpinus laxiflora</i>	7	8.7	7.0	4.6	0.0	0.1	
		<i>Pinus Koraiensis</i>	7	7.3	6.9	2.7	0.0	0.1	
		<i>Styrax obassia</i>	14	8.5	7.5	4.3	0.1	0.2	
		others	14	7.1	7.3	4.3	0.1	0.1	
	Total		743	15.4	11.9	6.0	53.6	484.8	

분포하고 있는 반면 신갈나무는 전체 범위에서 연속적인 분포를 보이고 있다.

조사지2의 직경급 분포 범위는 8~64 cm이며 오른쪽 꼬리를 가지는 분포형태를 보이고 있다. 우점종인 잣나무는 최소 16 cm급부터 최대 64 cm급까지 나타나고 주로 36 cm 이상의 직경급에 분포하며, 부수종인 신갈나무는 24 cm 이하의 직경급에 분포하고 있어 조사지1과는 다른 특성을 보였다.

조사지3의 직경급 분포 범위는 8~72 cm이며 전체적으로 조사지2와 유사한 분포형태를 보이고 있다. 특징적인 것

은 우점종인 잣나무가 모든 직경급에 고르게 나타나고 있어 2개 조사지와 다른 분포특성을 보였으며, 부수종인 전나무가 48 cm급에 일부 출현하나 대부분 36 cm이하의 직경급에 분포하고 있다(Fig. 1).

직경급 분포를 토대로 해발고별 수평적 임분구조의 특성을 살펴보면 해발고가 높은 지역은 신갈나무가 직경급의 상위를 점유하고 전체 범위에서 고른 분포를 보인 반면, 해발고가 낮은 지역은 잣나무의 상위 점유정도가 높고 하위수준까지 연속적으로 분포하고 있어 해발고간 차이가 있었다. 또한, 3개 조사지 모두 직경급 24 cm이하의 임분밀도가 높

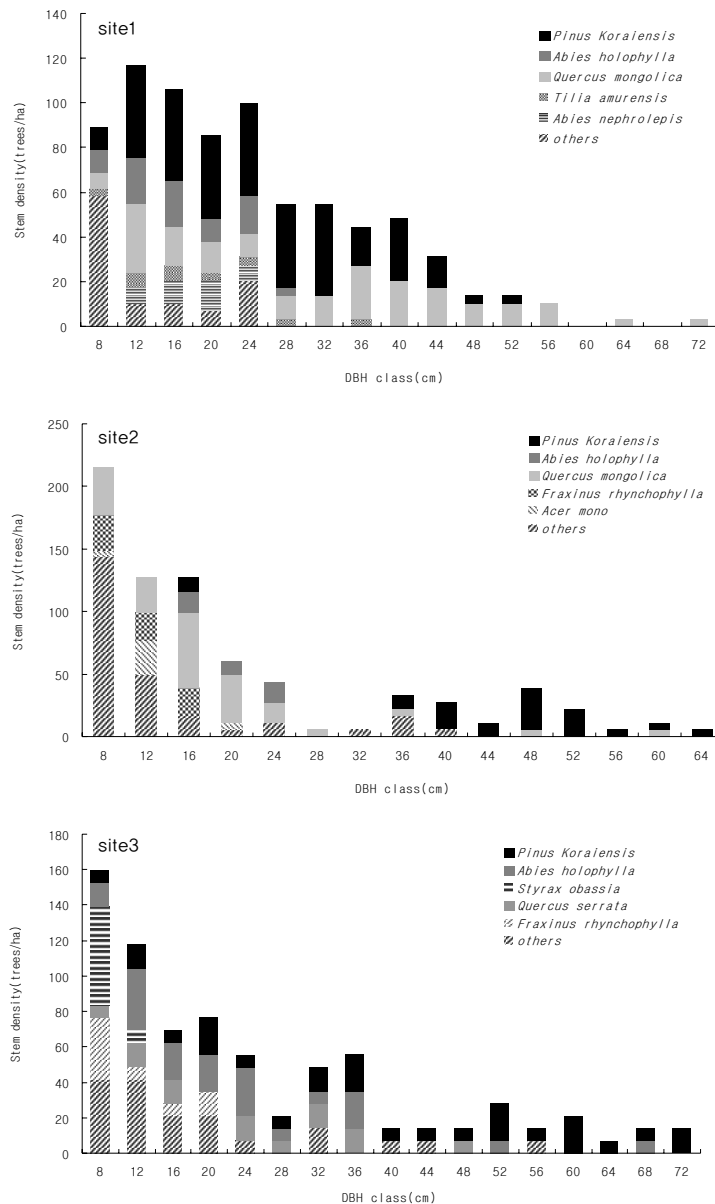


Fig. 1. DBH distribution of stems (DBH ≥ 6 cm) in each study sites.

아 역 “J”형(inverted-J-shaped)의 분포 구조를 보이는데 이는 고유의 생활형이 아교목인 활엽수와 내음성 수종인 잣나무와 전나무 중·소경목이 24 cm이하 직경급에서 높은 밀도를 보이기 때문이다. 이 중 잣나무와 전나무는 경쟁에 의해 일부 도태되고 잔존목은 지속적으로 직경생장을 촉진하므로써 향후에는 종형(bell-shaped)의 분포 구조를 보일 것으로 예상되나 해발고에 따라 그 기간은 상이할 것으로 판단된다(Kim and Kang, 2008).

한편, 조사지1의 수고급 분포 범위는 4~20 m이며 종형의 정규분포형태를 취하고 있다. 잣나무는 전체 수고급에

출현하나 주로 8~16 m급에 분포하며, 신갈나무가 8~20 m급에 분포하여 임관상층을 구성하는 것으로 보아 본 조사지는 중층에서 두 우점종간 수고경쟁이 계속되고 있는 것으로 판단된다. 특히, 평균해발고가 1,300 m인 본 조사지에서 수고 20 m가 넘는 신갈나무와 잣나무가 출현하였는데 이는 지리산 서부지역 해발고 1,000 m이상에서 수고 20 m 이상의 임목은 측정되지 않았다는 보고와는 차이가 있었다(Park et al, 2006).

조사지2는 4~24 m의 수고급 범위를 보이며 하위수고급의 임분밀도가 높아 좌측으로 치우친 분포형태를 보이고 있

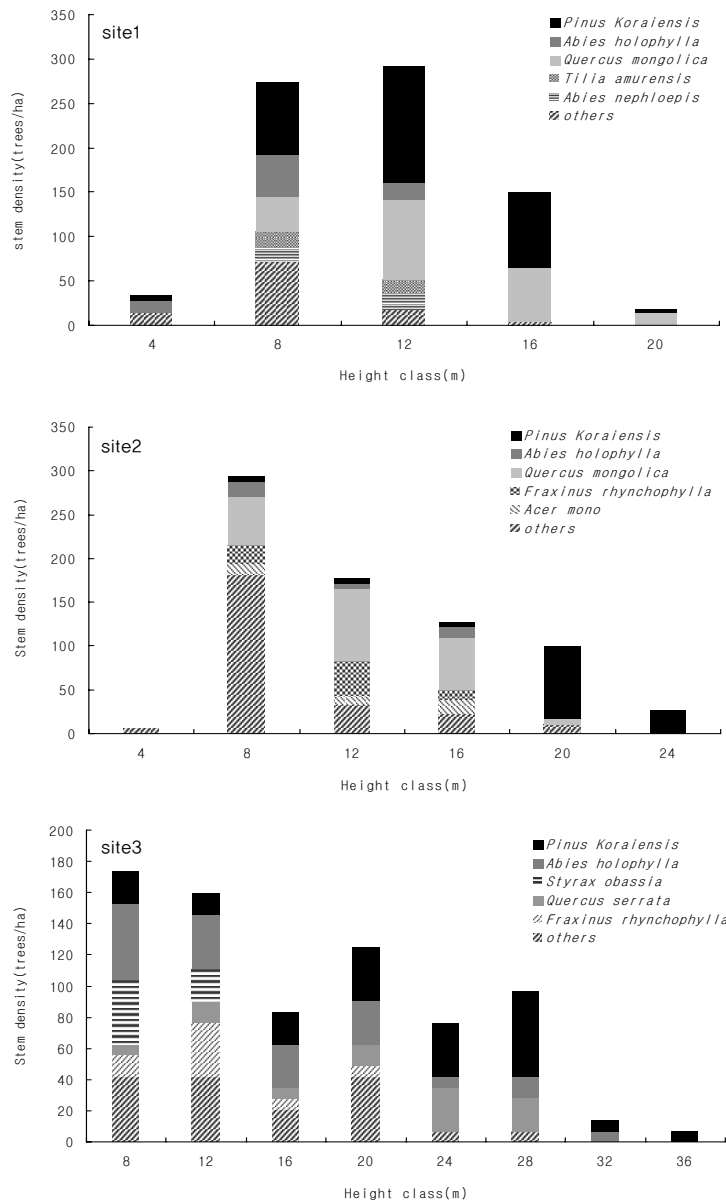


Fig. 2. Height distribution of stems (DBH ≥ 6 cm) in each study sites.

다. 우점종인 잣나무는 20 m급 이상의 상위 수고급에 주로 분포하여 상층을 점유하고 있으며, 부수종인 신갈나무는 16 m급 이하의 중·하위 수고급에 대부분 분포하고 있다. 조사지3의 수고급 분포 범위는 8~36 m로 조사지1, 2에 비해 폭이 크다. 우점종인 잣나무는 모든 수고급에 출현하고 부수종인 전나무는 32 m급 이하에 분포하며, 졸참나무가 28 m급 이하에 분포하고 있다. 하위수고급으로 갈수록 물푸레나무, 쪽동백나무 등 활엽수의 임분밀도가 높게 나타나고 있다(Fig. 2).

본 연구의 수고급 분포는 해발고가 높아질수록 낮아지는 특징을 보이는데, 이는 높은 해발고의 낮은 온도가 수목의 물질분배에 영향을 미쳐 생장속도를 늦추고 임분수고를 낮추는 역할을 하기 때문이다(Oleksyn *et al.*, 1998). 또한, 3개 조사지 모두 다층위의 연속적 임관구조를 보이는데 이에 대해 Paluch(2007)는 소임분역동성 연구를 통해 층위의 구조적 다양성은 주로 임관 우점개체의 변화(교란)에 대한 적응이며, 하층부 개체 사이의 경쟁에 의존하는 것이 아니라고 언급하였다. 즉, 상층임관의 공간적 분포에 의해 임분 전체의 층위적 다양성이 영향을 받는 것으로 해석할 수 있다.

4. 해발고별 천연잣나무 생장특성 비교

각기 다른 해발에서 자생하는 천연잣나무의 생장특성을 비교한 결과, 조사지간 유의한 차이가 있었다(Table 5). 평균해발고 1,300 m인 조사지1의 잣나무는 평균흉고직경과 수고가 각각 25.4 cm와 12.3 m를 보인 반면, 평균해발고 900 m이하인 조사지2와 3은 40 cm이상의 평균흉고직경과 20 m이상의 수고를 보여 차이가 컸으며, 이에 따른 개체목의 단면적과 재적도 4~5배 정도 차이가 났다($p < 0.05$). 이

는 해발고가 높아질수록 바람, 온도 등의 기후조건이 수목의 생장에 역작용을 하기 때문이며(Woodward, 1993), 대구 팔공산 잣나무 천연림의 식생구조 연구결과(Lee and Hwang, 2000) 및 한라산의 해발고별 식생변화 연구결과와 경향이 일치하였다(Lee *et al.*, 2010).

한편, 잣나무의 평균수령은 조사지1이 153년으로 가장 많고 조사지2가 142년, 조사지3이 93년이었으며 최고수령은 조사지1이 401년, 조사지2가 213년, 조사지3이 165년으로 나타나 수령을 고려하면 해발고가 가장 높은 조사지1의 생장량이 조사지2와 3에 비해 매우 저조한 것으로 판단된다. 또한, 최저수령은 조사지1이 34년, 조사지2가 95년, 조사지3이 47년으로 나타나 천연갱신에 의한 후계림이 발달하고 있는 것으로 판단된다.

그러나, 장기간에 걸친 임분내 다양한 생육환경의 변화는 천연림의 세대교체에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Youn, 2009). 특히, 후계림 발달에는 임관의 변화와 교란이 직접적인 영향을 미치는 점과(Mori *et al.*, 2007), 음수수종은 모수의 그늘 아래서 타 수종의 간섭이 없을 때 후계림으로 연결이 용이하다는 점(Szymura, 2005) 고려하면 본 연구대상지의 연속적이고 다층적인 임분구조의 변화와 치수 및 소경목 생육상황 등에 대한 장기간의 모니터링을 기반으로 세대교체 완성여부를 판단해야 할 것으로 사료된다.

5. 해발고별 천연잣나무 연륜생장 비교

조사지별 연륜생장량을 분석한 결과, 조사지1의 평균연륜생장량은 1.1 mm/yr이고 조사지2가 1.5 mm/yr, 조사지3이 2.6 mm/yr의 생장량을 보여 3개 조사지간 유의한 차이

Table 5. Comparison of growth characteristics of natural *Pinus koraiensis* among study sites.

Site	Stem density (trees/ha)	DBH (cm)	Height (m)	Clearlength (m)	Basal area (m ²)	Volume (m ³)	Crown area (m ²)	Average age ¹ (year)
1	316	25.4 ^a ±10.4	12.3 ^a ±3.6	4.7 ^a ±1.6	0.06 ^a ±0.04	0.31 ^a ±0.32	28.0 ^a ±18.8	153 34~401
2	127	44.6 ^b ±11.7	20.2 ^b ±3.6	8.6 ^b ±1.9	0.17 ^b ±0.07	1.29 ^b ±0.66	31.1 ^a ±13.4	142 95~213
3	194	40.5 ^b ±19.8	21.9 ^b ±7.5	10.4 ^c ±4.3	0.16 ^b ±0.13	1.54 ^b ±1.47	59.6 ^b ±35.8	93 47~165

Means with different letter within same column are significantly different at $p < 0.05$.

¹Average age was based on annual tree ring of core by increment borer at 1.3m.

Table 6. Comparison of mean ringwidth increment of natural *Pinus koraiensis* among study sites.

Site	Total period		Recent 10 year		Variation rate of growth ² (%)
	Mean (mm)	CV ¹ (%)	Mean (mm)	CV ¹ (%)	
1	1.09 ^a ±0.34	31	1.19 ^b ±0.16	13	8.6
2	1.54 ^b ±0.43	28	0.83 ^a ±0.15	18	-46.4
3	2.61 ^c ±1.02	39	1.23 ^b ±0.20	16	-53.0

Means with different letter within same column are significantly different at $p < 0.05$.

¹CV: Coefficient of Variation

²Variation rate of growth: rate of recent 10 year on total period of mean ringwidth increment

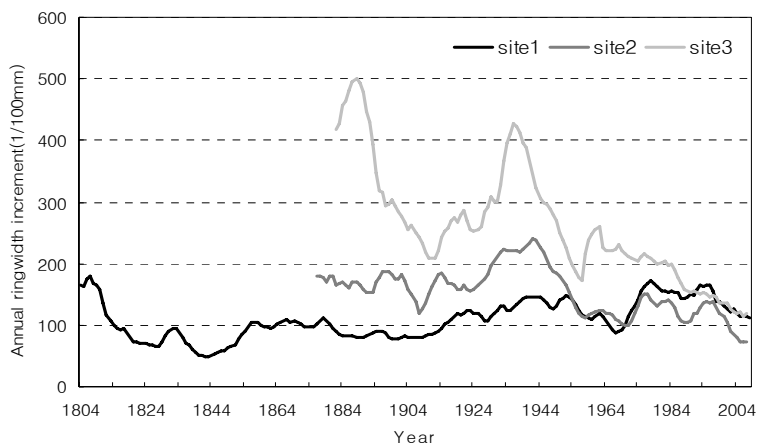


Fig. 3. Mean annual increment of ringwidth for natural *Pinus koraiensis* in study sites.

가 있었다($p < 0.05$). 평균연륜생장량에 대한 조사지별 변이 계수는 조사지1이 31%, 조사지2가 28%, 조사지3이 39%로 나타나 해발고가 가장 낮은 조사지3의 연륜생장 변동폭이 가장 컸다. 또한, 최근 10년간의 평균연륜생장량은 조사지1이 1.2 mm/yr, 조사지2가 0.8 mm/yr, 조사지3이 1.2 mm/yr의 생장량을 보여 해발고가 상대적으로 낮은 조사지2와 3에서 생장감소가 나타났고, 평균연륜생장량 대비 각각 46%와 53%의 생장감소율을 보였다(Table 6).

연륜생장패턴을 살펴보면 평균해발고 1,300 m의 조사지1은 0.5~1.8 mm의 범위 내에서 비교적 고른 생장을 지속하고 있으며, 평균해발고 900 m의 조사지2는 0.7~2.4 mm의 범위 내에서 조사지1보다는 빈번한 증감을 보이는데 최근 생장량의 감소가 타 조사지에 비해 컸다. 평균해발고 600 m의 조사지3은 1.2~5.0 mm의 범위를 보여 생장량의 증감폭이 가장 컸으며, 다수의 생장정점을 보여 조사지1의 완만한 생장패턴과 대조적이다. 상호비교가 가능한 1900년대 이후에는 조사지간 생장량의 차이는 있으나 전반적인 생장패턴이 유사하게 나타났는데 특히, 조사지2와 3은 생장

저점과 정점이 나타나는 시기가 대체로 일치하였으며, 조사지1과 2는 1920년 이후의 생장패턴이 유사하였다(Fig. 3).

이러한 패턴은 각기 다른 해발에서 자생하는 잣나무가 기온, 강수 등의 기후환경 변화에 동일한 반응을 보이는 것을 의미하며, 생장량의 차이는 그 반응 정도가 해발고에 따라 다르다는 것을 설명한다(Fritz, 1987). 또한, 해발고가 높은 지역의 잣나무는 장기간에 걸쳐 소폭의 일정한 생장을 지속하는 반면, 해발고가 낮은 지역은 단기에 큰 폭의 생장을 하고 급격한 감소를 하는 특징을 보이는데 이와 관련하여 Burk and Stuiver(1981)는 서로 다른 해발고에서 채취한 연륜의 동위원소 분석을 통해 해발고에 따른 차등적인 연평균기온과 연륜간에 유의한 상관관이 있음을 보고하였다. 한편, Park(1996)은 설악산 잣나무의 연륜기후학적 연구를 통해 고산(高山) 수종은 기온과 유의한 부(-)의 상관관계가 있음을 밝혔는데, 본 연구대상지의 해발고에 따른 차등적인 연평균기온과 연륜생장량 감소추세도 이와 동일한 것으로 유추되었다.

결 론

해발고에 따른 잣나무천연림의 수종구성과 임분구조는 다른 특성을 보였다. 평균해발고 1,300 m 지역의 잣나무는 신갈나무와 상대우점치는 유사하나 흉고직경과 수고분포에서 중·하위수준을 보인 반면, 평균해발고 900 m이하 지역은 잣나무가 우점종을 이루고 흉고직경과 수고가 신갈나무를 비롯한 부수종에 비해 상위를 점유하고 있다. 잣나무의 성장특성에도 해발고간 유의한 차이가 있는데 평균해발고 1,300 m 지역은 평균수령이 153년으로 가장 많은 반면, 흉고직경과 수고가 25.4 cm와 12.3 m에 불과해 평균해발고 900 m이하 지역에 비해 개체목의 평균단재적이 약 5배 정도 작았다. 연륜성장패턴도 차이가 있는데 해발고가 높은 지역의 잣나무는 소폭의 일정한 성장을 장기적으로 지속하는 반면, 해발고가 낮은 지역은 단기에 큰 폭의 성장을 하고 급격한 감소를 보이고 있다. 이러한 특징이 반영되어 최근 연륜생장에 있어 해발고 1,300 m 지역의 잣나무는 소폭의 증가를 보인 반면, 해발고 900 m 이하 지역은 약 50%의 성장감소를 보여 해발고에 따른 기온과 부의 상관관계가 유추되었다.

이러한 결과는 천연 잣나무의 해발고별 기초 성장자료로서 의미가 있을 것으로 사료되며, 잣나무를 비롯한 한대수종의 해발고에 따른 임분구조와 성장특성을 이해하는데 도움이 될 것으로 판단된다. 그리고, 범지구적 온난화 경향이 지속될 경우 점차 감소할 것으로 보이는 잣나무천연림의 관리방안 마련을 위해 개싹특성 및 후계림 조성에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

인용문헌

- Bae, S. W., and P. G. Kim. 2000. A study on crown measure density and calculation of crown projection for red pine(*Pinus densiflora*) Stand. Korean Journal of Forest Measurements. 3(2): 28-34.
- Brower, J. E., and J. H. Zar. 1977. Field and Laboratory Methods for General Ecology. W.M. C. Brown Company. pp. 194.
- Burk, R. L., and M. Stuiver. 1981. Oxygen isotope ratios in trees reflect mean annual temperature and humidity. Science. 211. pp. 1417-1419.
- Byun, W. H., W. K. Lee, and S. W. Bae. 1996. 산림생장학. pp. 399.
- Choi, S. H., and H. S. Cho. 2009. Vegetation structure analysis from naesosa to naebyeonsan district of the byeonsan peninsula national park. Kor. J. Env. Eco. 23(2): 151-160.
- Curtis, J. T., and R. P. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. Ecology. 32: 476-496.
- Erteld, W., and E. Hengst. 1966. Waldertragslehre. Radebeul. pp. 287.
- Fritz, H. S. 1987. Tree rings Basic and Applications of Dendrochronology. pp. 276.
- Jin, Y. H., D. K. Lee, and H. S. Kang. 2005. Natural regeneration characteristics of *Pinus koraiensis*-broadleaved forests after selective cutting in mt. changbai. Jour. Korean For. Soc. Vol. 94, No. 1. pp. 6-10.
- Kang, H. S., D. K. Lee, A. I. Kudinov and Y. I. Manko. 2004. Stand structure of *Pinus Koraiensis*-broadleaved climax stand in ussurisk reserve area(zapovednik), russian far east. Proceedings of the Korean Forest Society. pp. 91-93.
- Kim, J. H., and S. K. Kang. 2008. The developmental pattern of succeeding regeneration after the application of shelterwood system in a thrift-mature *Pinus Koraiensis* plantation. Jour. Korean For. Soc. Vol. 97, No. 6, pp. 597-604.
- Kim, K. T., G. C. Choo, T. W. Um. 1996. Studies on the structure of forest community at turbong-sangwangbong area in odaesan national park-*Abies nephrolepis* and *Taxus cuspidata* forest-. Kor. J. Env. Eco. 10(1): 160-168.
- Kimmins, J. P. 1996. Forest ecology. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. pp. 569.
- Kong, W. S. 1999. The vertical distribution of air temperature and thermal amplitude of alpine plants on mt. halla, cheju island, korea. 대한지리학회지. 제34권. 제4호: 385-393.
- Kong, W. S. 2002. Species composition and distribution of korean alpine plants. 대한지리학회지. 제37권. 제4호: 357-370.
- Kong, W. S. 2004. Species composition and distribution of native korean conifers. 대한지리학회지. 제39권. 제4호: 528-543.
- Korea Forest Service. 2000. Forest & Forestry Technique(III) Forest Management. pp. 755.
- Korea Forest Research Institute. 2002. 표준임업시험실시요령. pp. 692.
- Korea Meteorological Administration. 2010. Annual Report of Automatic Weather Station Data. pp. 963.
- Kramer, H. 1976. Begriffe der Forsteinrichtung. SFFUG. pp. 48.
- Lee, D. H., and J. W. Hwang. 2000. A study for the site condition and vegetation structure for the natural stands of *Pinus koraiensis* S. et Z. mt. palgong. Journal of Resource Development. 19(1): 68-76.
- Lee, K. J., J. C. Jo, and Y. C. Choi. 1996. The community structure in old-growth forest of the sangwonsa-birobong area, odaesan national park. Kor. J. Env. Eco. 9(2): 166-181.
- Lee, S. C., S. H. Choi, H. M. Kang, H. S. Cho, and J. W. Cho. 2010. The change and structure of altitudinal vegetation on the east side of hallasan national park. Kor. J. Env. Eco. 24(1): 026-036.
- Mori, A. S., E. Mizumachi, and A. Komiyama. 2007. Roles of disturbance and demographic non-equilibrium in species coexistence, inferred from 25-year dynamics of a late-successional old-growth subalpine forest. Forest Ecology and Management. 241: 74-83.
- Oleksyn, J., J. Modrzynski, M. G. Tjoelker, R. Zytkowski, P. B.

- Reich, and P. Karolewski. 1998. Growth and physiology of *Picea abies* populations from elevational transects: common garden evidence for altitudinal ecotypes and cold adaptation. *Functional Ecology*. 12: 573-590.
- Paluch, J. G. 2007. The spatial pattern of a natural European beech(*Fagus sylvatica* L) silver fir(*Abies alba* Mill.) forest: A patch-mosaic perspective. *Forest Ecology and Management*. 253: 161-170.
- Park, P. S., J. I. Song, M. P. Kim, and H. K. Park. 2006. Stand structure change in different aged stands along altitudinal gradients in the western part of mt. chiri. *Jour, Korean For. Soc.* Vol. 95, No. 1. pp. 102-112.
- Park, W. K. 1996. Temperature patterns from width, densities and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ in tree rings of *Pinus koraiensis* from sorak mountain, korea. In: *Proceedings of IGBP-PAGES/PEPII Nagoya Symposium*. pp. 192-197.
- Song, Y. H., and C. W. Yun. 2006. Community type and stand structure of the korean pine(*Pinus Koraiensis*) natural forest in seoraksan national park. *Kor. J. Env. Eco.* 20(1): 29-40.
- Szymura, T. H. 2005. Silver fir sapling bank in seminatural stand: Individuals architecture and vitality. *Forest Ecology and Management*. 212: 101-108.
- Walter, H. 1960. *Einführung in die Phytologie III Grundlagen der Pflanzenverbreitung*. pp. 215.
- Whittaker, R. H. 1965. Dominance and diversity in land plant communities. *Science*. 147: 250-259.
- Woodward, F. I. 1993. The lowland-to-upland transition-modelling plant responses to environmental change. *Ecological Applications*. 3: 404-408.
- Youn, Y. I. 2009. The natural regeneration and stand characteristic of the korean fir stand in nae sorak-A study about the concept of the natural regeneration in a natural fir forest-. *Korean J. Environ. Biol.* 27(2): 176-182.
- Zhang, S., Z. Zhou, H. Hu, K. Xu, N. Yan, and S. Li. 2005. Photosynthetic performances of *Quercus pannosa* vary with altitude in the hengduan mountains, southwest china. *Forest Ecology and Management*. 212: 291-301.

(Received October 2011; Accepted December 9, 2011)