

광릉 천연활엽수 성숙림에서 주변 인공림으로부터 잣나무 치수의 침입 정착

姜好相¹ · 林鍾煥^{2*} · 千政和² · 李壬均² · 金暎傑² · 李在鎬³

¹서울대학교 농업생명과학연구원, ²국립산림과학원 산림환경부,
³국립환경과학원 자연생태과

Invasion of Korean Pine Seedlings Originated from Neighbour Plantations into the Natural Mature Deciduous Broad-leaved Forest in Gwangneung, Korea

Ho Sang Kang¹, Jong-Hwan Lim^{2*}, Jung Hwa Chun², Im Kyun Lee²,
Young Kul Kim² and Jae Ho Lee³

¹Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

²Department of Forest Environment, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

³Nature and Ecology Research Department, National Institute of
Environmental Research, Incheon 404-170, Korea

요 약: 주변 인공림으로부터의 종자유입에 따른 치수발생현상은 향후 천연림의 임분동태의 향방에 매우 중요한 역할을 한다. 본 연구는 광릉 천연활엽수 성숙림내 천연갱신된 잣나무 치수의 침입과 이의 동태를 파악하기 위해 수행되었다. 조사지내에는 잣나무 성목이 분포하고 있지 않으나, 천연갱신된 잣나무 치수의 밀도는 ha당 총 345본으로 전체 치수의 56%가 2개 이상씩 모여서 분포하고 있었다. 2003년 1월 IKONOS 위성영상을 이용한 조사지와 주변 잣나무 성목 및 조림지까지의 거리를 조사한 결과, 잣나무 성목과는 최소 200m, 잣나무 조림지와는 최소 270m 이상 떨어진 것으로 나타났다. 천연갱신된 잣나무 치수의 평균 묘고와 근원경은 각각 34 cm, 7 mm 이었으며, 수령 5년 이하의 치수가 207본(60%)이었다. 잣나무 치수와 토양 수분 및 엽면적지수(LAI)와의 관계를 분석한 결과 토양수분은 16~20%, 엽면적지수는 3.1~3.5 구간에서 잣나무 치수의 분포가 가장 많았다. 광릉 천연활엽수림내 잣나무의 동태 및 종자 분산 경향을 파악하기 위해서는 앞으로 잣나무 치수의 생장과 고사율에 대한 장기적인 모니터링과 함께 방사성 동위원소와 분자유전학적 방법 등을 활용한 추가적인 연구도 필요할 것으로 판단된다.

Abstract: Establishments of the seedlings inside the natural forest from adjacent artificial forests would be an important factor in forest stand dynamics. This study was conducted to see the invasion of Korean pine (*Pinus koraiensis*) seedlings which is not native in this region, into the natural deciduous broad-leaved forest in Gwangneung, Korea. There is no mother tree at the 1 ha study site while the number of naturally regenerated *P. koraiensis* seedlings was 345 trees and 56% of them were clumped with more than two seedlings at each point. Applying the image segmentation method to IKONOS satellite image of January, 2003, the distance from the center of 1 ha study site to the nearest mother tree and plantation of Korean pine were 200 m and 270 m, respectively. The average height and root-collar diameter of the seedlings were 34 cm and 7 mm, respectively and the age of 207 seedlings (60%) were below 5 years old. Most abundant range of soil moisture gradient and LAI (leaf area index) were from 16 to 20% and those of LAI were from 3.1 to 3.5. To understand the dynamics and seed dispersal pattern of Korean pine in the Gwangneung natural deciduous broad-leaved forests, additional studies not only long-term monitoring of growth and mortality of naturally regenerated Korean pine seedlings but also application of stable isotope analysis and molecular genetic techniques was recommended.

Key words : *Pinus koraiensis*, seedling distribution, forest stand dynamics, deciduous broad-leaved forest, natural regeneration, soil moisture, LAI, IKONOS satellite image

*Corresponding author

E-mail: limjh@foa.go.kr

본 연구는 국립산림과학원 박사후연수생 지원으로 수행되었으며, “지구환경변화에 대응한 장기생태연구” 결과의 일부임.

서 론

잣나무(*Pinus koraiensis* Sieb. & Zucc.)는 한반도, 중국 동북부, 극동러시아에 주로 분포하며, 일본 혼슈와 시코쿠, 우리나라 고산지대에 일부 산생 또는 소규모 집단으로 분포하고 있다(Mirov, 1967). 잣 종실은 약 15년생부터 열리지만 30년생까지는 생산량이 많지 않다고 한다(Hyun, 1969). 우리나라의 잣나무림은 대부분 목재와 잣 생산을 위한 인공조림지로서 2005년까지 잣나무 조림면적은 우리나라 전체 인공조림면적 약 120만ha의 18.8%인 34만ha를 차지하고 있다(산림청, 2006).

수목에 있어서 종자의 분산은 임분의 천이와 갱신 그리고 미래 임분의 수종 구성과 구조를 결정짓는 주요 요소이다(Wang and Smith, 2002). 특히, 종자의 분산은 개체군 내에 유입되는 새로운 개체들의 수, 집단 내 각 개체들의 공간적인 분포, 적절한 서식 조건에서 새로운 집단 구성에 대한 잠재성, 서로 다른 개체군들 사이의 유전적 교류 등에 중요한 역할을 한다(Griffith and Forseth, 2002). 이러한 종자의 분산은 크게 일차적 전파(primary dispersal)와 이차적 전파(secondary dispersal)로 나뉘는데, 일차적 전파는 중력에 의해 모수 아래로 떨어지는 것을 말하고, 이차적 전파는 땅에 떨어진 뒤, 바람이나 동물, 그리고 비 또는 수계에 의해 운반되는 것을 말한다(Griffith and Forseth, 2002). 많은 종자들이 일·이차적 전파로 적절한 입상위로 운반되지는 않지만 최종적으로 발아되는 곳이 주로 이차적 전파에 의한 것이 대부분이기 때문에 일차적 전파 보다는 이차적 전파가 천연갱신에 있어 더 중요한 역할을 한다. 특히 잣나무와 참나무류와 같이 주로 동물에 의해 종자가 전파되는 수종의 경우 이차적 전파가 더욱 중요하다(Hayashida, 1989; Li and Zhang, 2003). 실제로 열대림의 경우 이러한 바람이나 야생동물(새, 원숭이, 박쥐 등)에 의해 전파되는 종자의 발아율이 훨씬 높다고 하였다(Fleming and Heithaus, 1981). 이처럼 전파된 종자가 발아하기 위해서는 입상 조건 즉, 토양수분, 양분, 광 등이 대상 수종에 적합해야 하며, 발아된 치수들이 성공적으로 정착하기 위해서는 위의 다양한 환경조건과 더불어 초본 및 관목과 다른 수종간의 경쟁, 병·해충, 초식동물 등도 중요한 요인으로 작용한다(Hayashida, 1989; Howe and Westley, 1997).

종자가 유입되어 발아하면 그곳에 이미 있던 나무와 경쟁과정을 거쳐 그 임분의 입상에서의 정착여부가 결정된다. 그런데 여기에서 경쟁대상이 되는 주요 자원으로는 햇빛, 기온, 토양수분 등이며 숲이 닫혀있을 경우에는 내음성이 약한 수종은 살아남지 못하고 강한 수종이 버티어 살아 있다가 숲이 열리는 기회가 오면 그 임분의 상층을 점유하게 된다(Oliver and Larson, 1996).

국토의 64%가 산림인 우리나라는 그동안 황폐된 산림의 복구 및 녹화에 노력해 왔으며 대부분 인공조림지 조성에 대한 연구를 많이 수행해 왔다(Lee and Suh, 2005). 최근 천연활엽수림의 갱신에 대한 연구가 진행되어 왔으며, 장기간의 임분 변화 및 동태에 대한 연구가 일부 진행되고 있다(김지홍 등, 1999). 특히 침엽수 인공림내 자생 활엽수들의 갱신에 대한 연구는 일부 보고된 바 있지만, 주변 침엽수 인공조림지로부터 천연활엽수림내에 침엽수종의 침입 및 정착에 대한 연구는 상대적으로 많지 않다(이상훈, 2002; Lee et al., 2004; Yeo and Lee, 2006).

현재까지 우리나라에서 잣나무에 대한 연구는 용재생산과 잣 생산을 위한 인공적으로 조림된 잣나무의 수형 조절(이재선 등, 1999), 잣나무 인공조림지의 초기생장과 미기후와의 관계(전상근 등, 1999) 등 주로 잣나무 인공림에 대한 연구가 대부분이다(Shin, 1989). 잣나무 천연림에 대한 연구는 임주훈(1989)이 우리나라 고산지역의 잣나무 천연임분에 대한 생태적 특성을 조사하였고, 홍경락 등(1999)이 점봉산 지역에서 잣나무의 유전적인 공간변이를 분석하였으며, 이원섭(2002)이 강원도에서 입상별 잣나무 자연발생 치수의 분포 및 생장을 연구한 바 있으나 주변 조림지에서 천연 활엽수림내에 유입된 잣나무의 치수발생과 정착에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 특히 그동안의 대면적 조림으로 인해 앞으로 조림수종이 조림지주변 임분의 천연갱신 양상에 영향을 미칠 것으로 판단되나 이에 대한 연구가 부족하다.

따라서 본 연구는 우리나라에서 비교적 오랫동안 인위적인 간섭이 없이 보전되어 온 광릉 천연활엽수 성숙림의 장기생태조사지내에서 주변의 잣나무 인공조림지로부터 종자가 유입되어 발생한 것으로 추정되는 잣나무 치수의 분포 특성과 토양수분 및 광조건과의 관계를 파악함으로써 천연활엽수림내에서 잣나무의 치수발생 특성을 파악하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구지 개황

연구대상지(북위 37° 45' 25", 동경 127° 09' 12")는 우리나라에서 비교적 오랫동안 인위적인 교란을 받지 않은 천연활엽수 성숙림이 있는 것으로 알려진 경기도 광릉 소리봉 지역으로 지난 1998년 국립산림과학원에서 장기생태조사지를 설치하고 생물다양성 및 산림생태계의 변화를 장기적으로 모니터링하고 있는 지역이다. 조사지의 방위는 주로 동향으로 표고는 340m 내외이다. 연평균 강수량과 기온은 각각 평균 1,365 mm와 11.3°C이다. 조사지의 모암은 화강 편마암으로 토성은 사질양토 혹은 양토이며, 약간 건조하거나 습윤한 갈색 산림토양이다(Lim et al.,

2003). 주요 수종은 졸참나무, 서어나무 그리고 까치박달 나무 등으로 총 출현 종수는 33종이며, 임분 밀도는 1,488 본/ha, 흉고단면적은 28.34 m²이다(Lim *et al.*, 2003).

2. 연구방법

1) 잣나무 치수 발생량, 크기 및 수령 조사

조사 대상지역은 국립산림과학원 장기생태조사지(100m × 100m)내로 2004년 3월과 4월에 조사지내의 모든 잣나무 치수들에 대하여 위치좌표를 측정하였다. 또한 이들의 성장특성을 파악하기 위해 묘고와 근원경을 조사하였고, 마디 숫자를 조사하여 수령을 추정하였다.

2) 잣나무 조림지와 독립적으로 생육하는 성목 분포 분석

잣나무 조림지에 관한 정보는 산림청에서 보유하고 있는 임상도와 정사보정된 IKONOS 영상(2003년 1월)을 이용하여 육안판독에 의해 갱신된 임상도에서 추출하였다. 독립적으로 생육하는 잣나무 성목을 영상으로부터 판독해내기 위해서 고해상도 위성영상의 이미지 처리 기법 중 하나인 Image segmentation 기법을 이용하였다. 이 기법은 일반적으로 영상에서 나타나는 화소값(digital number)의 차이나 질감(texture)의 차이 등이 가지는 기하학적 거리(Euclidian distance)에 바탕을 두고 그 값들의 유사성을 기준으로 서로 이웃한 화소들을 묶어 영역화하는 방법으로서(Kettig and Landgrebe, 1976) 최근 고해상도 영상이 상용화되면서 영상분류작업에 주로 사용되고 있다. 본 연구에서는 영상의 RPC(Rational Polynomial Coefficients) 정보와 1:5,000 수치지도로부터 추출한 5m 셀 크기의 DEM(Digital Elevation Model)을 이용하여 정사보정된 겨울철 IKONOS 영상을 이용하여 활엽수림 내에 독립적으로 분포하는 침엽수를 구분해내고 이를 토대로 작성된 지도를 다시 DGPS(Differential Geographic Positioning System)의 단말기에 탑재한 후 현장 확인을 통해 잣나무인지 아닌지를 확인하였다. 또한 이와 같이 생성된 자료를 토대로 조사지로부터 거리에 따른 잣나무 모수의 개체수와 수관투영 면적 및 잣나무 조림지와와의 거리 등을 분석하였다.

3) 잣나무 치수의 분포와 토양 수분 및 광환경과의 관계 조사

잣나무 치수와 토양 수분 함량 및 광 환경과의 관계를 파악하기 위해 토양 수분은 TDR(Time Domain Reflectometry) 센서(HydroSense soil water measurement system, Campbell Sci. Inc.)를 이용하여 10m × 10m 단위의 세조사구의 각 모서리 인근 4지점(총 440지점)에서 측정하였다. 엽면적지수인 LAI(Leaf Area Index)는 어안렌즈(fisheye lens)를 이용해서 10m × 10m 단위의 세조사구의 모서리(총 110개 지점)에서 디지털카메라(Nikon Coolpix-950)로

촬영한 다음 HemiView Canopy Analysis Software ver. 2.1(Delta-T Devices Ltd., UK)를 이용하여 분석하였다. 공간적인 내삽은 Spline 내삽 방법을 이용하였는데 이는 비교적 완만한 굴곡을 가진 경향면(trend surface)을 생성하면서 측정된 지점의 값들을 정확하게 통과하는 장점을 가지고 있어 토양의 수분과 같이 측정치가 급격하게 변화하지 않는 경우 전체적인 경향의 파악에 매우 적합한 것으로 알려져 있다.

결 과

1. 잣나무 치수와 모수의 공간적 분포 특성

조사지내에 분포하는 천연갱신된 잣나무 치수는 226지점에 총 345 본/ha이 조사 되었으며, 각 지점별 잣나무 치수의 평균 개수는 약 1.5본이었다. 전체 345본의 잣나무 천연갱신치수 중 한 본씩 분포하는 것은 152곳으로 전체 치수량의 44%를 차지하고 있으며, 최고 5본이 한곳에 출현하였다. 잣나무 치수가 2, 3, 4 그리고 5본씩 나타나는 지점은 각각 38, 29, 5, 2곳으로 전체 치수량의 22%, 25%, 6% 그리고 3%를 차지하는 것으로 나타났다.

2003년 1월의 IKONOS 위성영상과 함께 현장확인을 통하여 구분한 잣나무조림지와 독립적으로 생육하고 있는 잣나무 성목들을 구분한 결과를 Figure 1에 나타내었다. 조사지가 설치된 천연활엽수림에서 약 400~500m 외곽지역에 잣나무조림지가 분포하고 있으며 인근 천연림내에 잣나무 성목들이 일부 산재해 있는 것을 볼 수 있다.

조사지 중심부에서부터 가장 가깝게 위치한 잣나무 성목과의 거리는 약 200m이었고, 가장 가까운 서쪽 편의 조림지와의 거리는 약 370m인 것으로 나타났다. 그런데 서쪽 편에는 독립적으로 정착한 성목은 거의 없었고 주로 동쪽과 북동쪽에서 가장 많이 나타났다. 이는 서쪽편의 조림지는 능선을 넘어서서 분포할 뿐 만 아니라 임령이 낮은 것도 그 원인일 것으로 생각된다. 조사지 중심부에서부터 거리별로 독립적으로 자라고 있는 성목들의 개체수와 수관점유면적 비율을 분석한 결과 Figure 2에서와 같이 거리가 멀수록(조림지와의 거리는 가까워짐) 단위 면적당 분수와 점유면적비율이 증가하였다.

2. 잣나무 치수의 크기 및 수령

천연갱신된 잣나무 치수의 묘고는 최소 6 cm부터 최대 211 cm까지 출현하였으며 평균 33.5 cm였다. 근원경은 최대 40.4 mm까지 나타났으며 평균은 7.4 mm였다. 또한, 잣나무 치수에 붙어 있는 가지를 토대로 추정된 최대 수령은 34년이었으며, 평균 7.2년이였다. 그리고 최근에 갱신된 수령 5년이하의 어린 치수가 총 207본으로 전체 치수의 약 60%를 차지하였다(Figure 3).

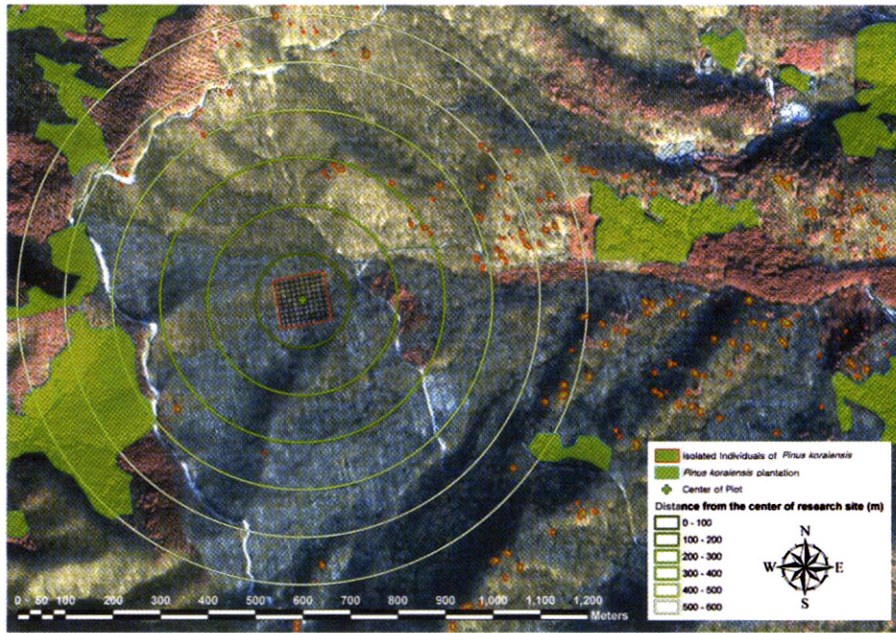


Figure 1. Location of 1 ha study site and the distribution of Korean pine mother trees and plantation. Isolated individuals were classified by image segmentation method using IKONOS satellite image of January, 2003.

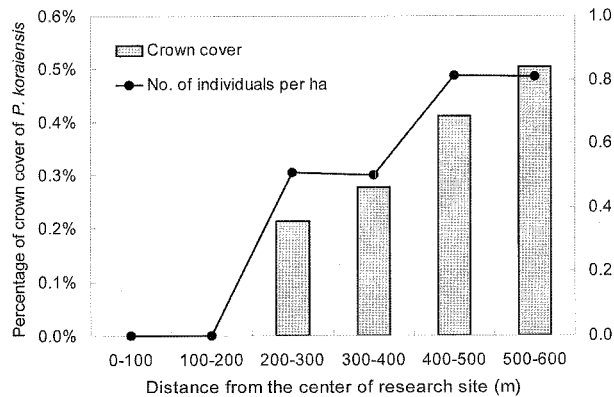


Figure 2. Number and crown coverage of the isolated individuals of Korean pine by distance from the center of the study site.

3. 잣나무 치수와 토양 수분 및 광 환경과의 관계

조사지에서 잣나무치수가 생육하고 있는 지역의 토양 수분 함량은 최소 10%에서 최대 35%까지 조사되었는데 각 범위별 단위면적당 잣나무 치수의 분포량을 분석하기 위하여, 토양 수분의 범위를 5% 단위로 구분하여, 해당 범위 내에 생육하는 잣나무 치수의 분수를 ha 단위로 환산하였다. 그 결과 토양 수분함량 10~15%에서 가장 많이 출현하였고 전체의 46.3%인 729본/ha이 나타났다. 다음으로 16~10%가 24.7%를 차지하여 388본/ha이 분포하고 있었다. 따라서 본 연구대상지내에서의 미세지형에 따른 토양수분함량 범주 안에서는 상대적으로 토양수분함량이 낮은 절지(凸地)에 주로 분포하고 있는 것으로 나타났다 (Figure 4). 또한 잣나무치수의 묘고를 30 cm 미만과 30 cm 이상으로 구분하여 토양수분과의 관계를 분석한 결과

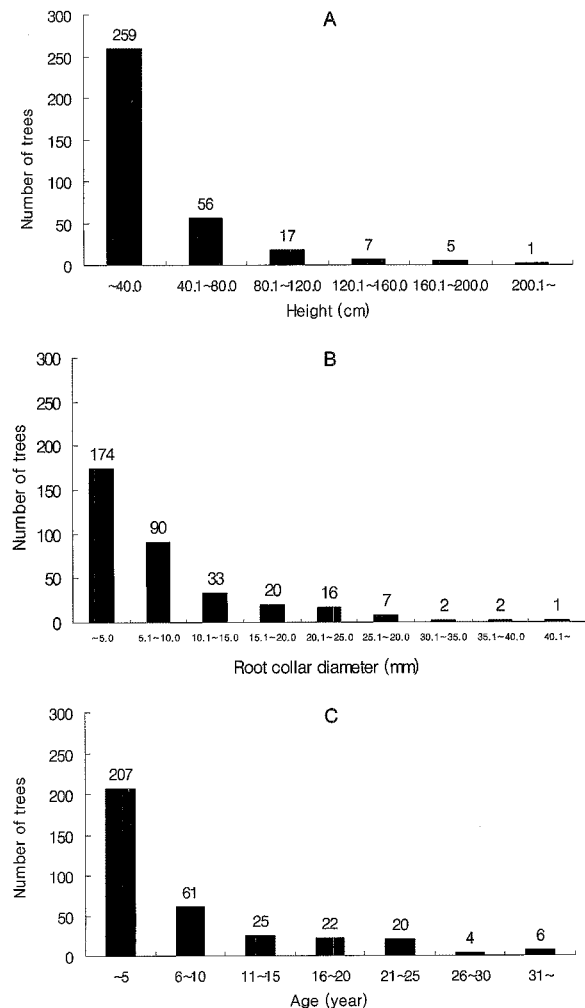


Figure 3. Number of naturally regenerated Korean pine seedlings by height, root collar diameter and age at the 1 ha study site in Gwangneung.

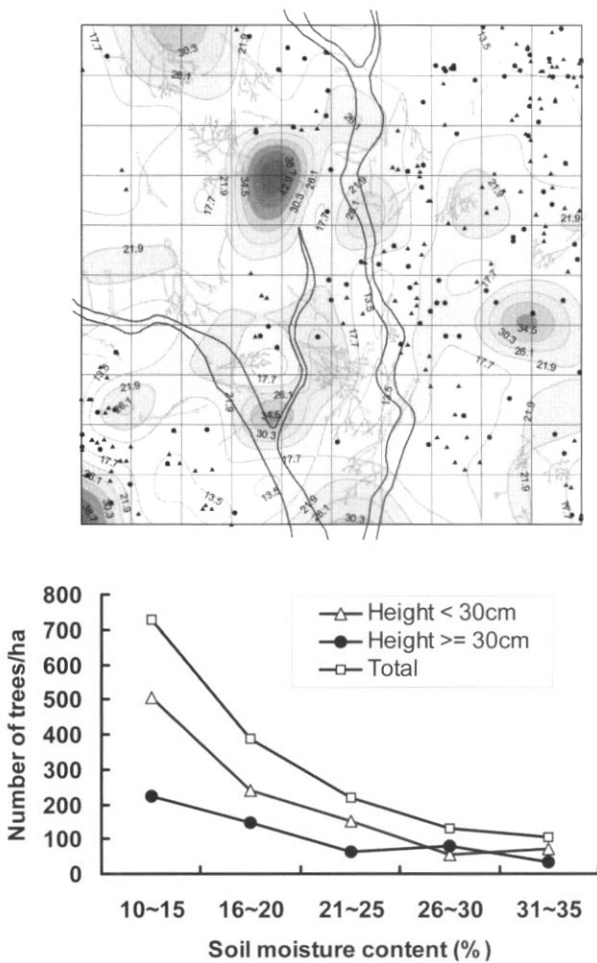


Figure 4. Distribution of naturally regenerated Korean pine seedlings on the contour maps of soil moisture content (above) and seedling distribution along the soil moisture gradient by seedling height (below). Circles: seedlings over 30 cm in height, triangles: below 30 cm in height.

토양수분함량 10~15%에서는 묘고 30 cm 미만의 개체수가 묘고 30 cm 이상의 개체수에 비해 두 배 이상 많았으나 토양수분함량이 높아짐에 따라 차이가 줄어들었다. 그러나 토양수분함량의 증가에 따른 개체수의 감소 경향은 두 그룹 간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

한편, 조사지 내 LAI의 측정 범위는 최소 2.6에서 최대 6.2까지 나타났는데 LAI의 범위를 0.5 단위로 나누어 범위별 단위면적당 개체수를 분석한 결과 가장 많은 치수가 분포하는 범위는 6.1~6.5로서 1551본/ha, 전체의 약 36%를 차지하였다. 다음으로는 5.6~6.0에서 782.3본/ha(전체의 18.1%), 5.1~5.5에서 472.7본/ha(전체의 10.9%)이 분포하고 있었다. 묘고를 고려하지 않은 경우 면적적이 가장 높은 지역에서 가장 많이 출현하였으나, 묘고 30 cm 미만과 묘고 30 cm 이상의 개체들로 구분하여 LAI와 개체수를 비교한 결과 두 그룹 간에 큰 차이를 나타내었다. LAI가 상대적으로 낮은 범위에서는 개체수에서 큰 차이를 보이지 않았으나 비교적 높아지는 5.1~5.5구간부터 묘고 30

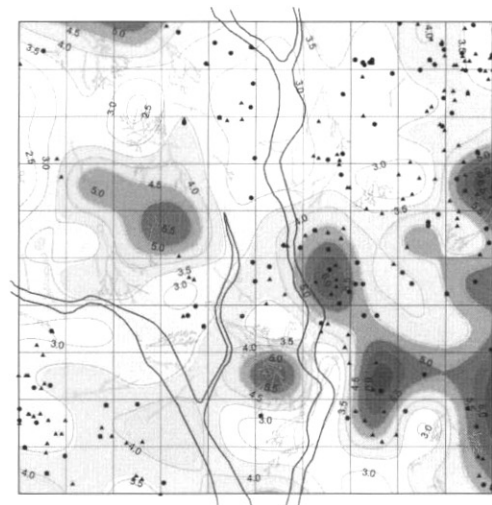


Figure 5. Distribution of naturally regenerated Korean pine seedlings on the contour maps of LAI (above) and seedling distribution along the LAI gradient by seedling height (below).

cm 미만의 개체수가 상승하여 6.1~6.5에서는 묘고 30 cm 미만의 개체수에 비해 무려 10배가 많은 것으로 나타났다 (Figure 5).

고찰

잣나무는 수간이 통직하고 목재의 재질이 좋아 용재로서 널리 활용되어 왔는데, 우리나라에서는 잣나무 천연림이 주로 고산지역에 소규모로 분포하고 있어 천연갱신에 관한 연구가 부족한 실정이다(송연희와 윤충원, 2006). 그러나 중국 동북부 지역과 극동러시아에는 잣나무 천연림이 많이 분포하고 있어 이에 대한 연구가 활발하다. 특히 러시아에서는 최근 잣나무의 과도한 개벌과 불법 벌채에 의한 서식지 파괴가 심각하여 지난 1990년부터 잣나무의 벌채를 공식적으로 금지하고 있으며, 이러한 잣나무-활엽수 혼효림의 생물다양성이 다른 임분에 비해 높고, 희귀 및 약용 식물들이 많이 분포하고 있을 뿐만 아니라 호랑

이, 표범 등 야생동물의 주요 서식지이기 때문에 잣나무-활엽수 혼효림에 대한 보전 및 복원에 많은 노력을 기울이고 있다(Owston *et al.*, 2000).

잣나무는 소나무처럼 구과가 열리지 않고 종자에 날개가 달려있지 않아 동물에 의한 도움을 받지 않고는 모수로부터 멀리 전파될 수 없다. 잣나무의 주요 분포지인 중국 동북 지역과 극동러시아의 연해주 지역에서는 잣나무 종자의 분산은 주로 북방청서(red squirrel)나 잣까마귀(nutcracker)에 의해 이루어진다고 알려져 있다(Li, 1986).

본 연구대상 지역에서도 조사지 주변의 잣나무는 한 본씩 산생하며 멀리 떨어져 있고 계류가 있어 일차적인 전파에 의해 조사지내로 유입되기는 힘들며, 2본 이상씩 나오는 잣나무 치수의 양이 56%를 차지하고 있는 것으로 보아 주로 야생동물에 의해 전파된 것으로 판단된다. 잣나무 치수의 평균 분포 개수가 1.5본으로 다소 작은 것은 잣나무 1년생 치수들이 아직 발아하기 이전이고, 전년도 발아한 치수들의 경우 여름철 집중강우나 겨울을 지나면서 대부분 고사하였기 때문으로 생각된다(Akashi, 1997). 잣나무 천연갱신 치수의 고사 원인은 야생동물과 곤충에 의한 피해, 곰팡이류에 의한 감염, 그리고 건조 등으로 본 조사지에서의 잣나무 치수들의 고사원인에 대해서는 앞으로 지속적인 모니터링이 필요하다(Hayashida, 1989).

종자의 장거리 확산은 새로운 개체군이 생성될 확률뿐만 아니라 단편화된 서식지가 계속 유지될 확률 및 메타개체군의 구조에도 영향을 미치기 때문에 생물학적으로 매우 중요한 사건이다. 최근 들어서는 분자유전학적인 방법을 이용하여 유전자 유동을 측정함으로써 간접적으로 종자의 확산을 측정하는 연구들이 많이 이루어지고 있다(He *et al.*, 2004; Mix *et al.*, 2004; Pollux *et al.*, 2007). 이러한 연구는 보통 세 가지의 단계로 나누어 살펴볼 수 있다. 첫 번째는 집단간의 유전적 분화를 측정하고 이를 통해 유전자 유동률을 계산하는 단계이며, 두 번째는 지리적 거리와 유전자 유동간의 회귀분석을 통해 유전적 확산 곡선을 얻어내는 단계, 마지막으로 종자에 의한 유전자 유동과 화분에 의한 유전자 유동을 분리하는 단계가 있다(Ouborg *et al.*, 1999). 이러한 접근 방법은 많은 가정을 필요로 하는데 이러한 가정들이 설득력을 가지기 위해서는 장기적인 모니터링을 통한 생태학적 정보와 집단유전학적 연구방법이 유기적으로 결합되어야 할 것이다.

그리고 Hayashida(1989)에 의하면, 천연갱신된 잣나무 치수는 벌채나 바람의 피해를 받은 어린 활엽수임분으로 광 조건이 양호한 지역에 많이 분포한다고 보고한 바 있는데, 본 조사지역내에 분포하는 졸참나무의 경우 흉고직경이 최대 102 cm가 되는 노령목들도 출현하고, 특히 태풍에 의한 도복이나 고사에 의한 숲틈이 많이 발생하는 바, 이러한 미세 환경변화에 따른 잣나무의 갱신 및 다른

수종과의 경쟁관계에 대한 지속적인 조사가 필요하다. 또한, 잣나무 종자의 분포패턴과 치수들의 모수를 파악하기 위해서는 방사성 동위원소비 또는 분자유전학적인 방법 등을 활용하여 보다 명확한 메커니즘을 구명하는 것도 필요할 것으로 생각된다(Wang and Smith, 2002).

본 조사 지역은 오랫동안 보전되어 왔고 우리나라에서는 드물게 남아 있는 낙엽활엽수 성숙림이다. 특히 주변 인공 조림지로부터 천연갱신 치수의 침입과 정착은 앞으로 이러한 천연림의 임분 발달과 동태를 예측하는데 중요한 정보를 제공할 것으로 생각된다. 특히 우리나라는 지난 1960년대부터 치산녹화를 위한 대면적 조림이 많이 이루어졌는데 이러한 조림목에서의 종자 결실과 전파가 앞으로 더 많아질 것이며 인공조림지에서 전파된 치수들에 의한 천연활엽수림에 대한 영향 또한 증가할 것으로 예상된다(Lee and Suh, 2005). 이 일대의 주요 우점 수종인 졸참나무는 내음성이 강하지 않고, 서어나무는 졸참나무나 잣나무와 같이 오래 살거나 크게 자라지 못한다(Lim, 1998). 따라서 이 천연림에 대한 직접적인 인간간섭이 아닐지라도 이와 같이 주변 조림지로부터 종자가 유입되어 새로운 개체들이 정착하는 현상이 발견되는 것은 향후 이 지역의 천연림의 동태에 있어 매우 중요한 의미를 시사하고 있다. 이 연구에서 조림지에 가까울수록 독립적으로 자라고 있는 성목들의 개체수와 수관점유면적 비율이 높았다는 것과 활엽수 성숙림 내부의 임상에서 많은 치수들이 발생하여 정착하고 있다는 사실이 이를 뒷받침하고 있다.

그러나 조사대상지역이 앞으로 잣나무림으로 변화할 것이라는 예측은 하기 어렵다. 즉, 100년 이상의 과정 중에 수목병원균과 해충, 태풍과 대형 고사목 발생에 의한 숲틈형성, 기후변화 등이 여러 생활사의 과정 중 어느 단계에 심각한 영향을 미칠 것인지를 예측하기는 단순한 것이 아니다. 한편, 우리나라 온대 중·북부와 비슷한 임분 특성을 보이고 있는 중국 백두산 지역과 극동러시아의 연해주 지역에서 잣나무는 주로 천연활엽수와 같이 혼효되어 나타나는 것이 대부분이다(김영환 등, 2005; Jin *et al.*, 2006; Man'ko *et al.*, 2004). 따라서 본 조사지는 장기생태 조사지이기 때문에 앞으로 지속적인 모니터링을 통해 천연활엽수 성숙림내에 천연갱신된 잣나무들과 활엽수들과의 공존 및 경쟁양상을 파악할 수 있을 것이다.

인용문헌

1. 김영환, 이돈구, 강호상. 2005. 장백산지역 잣나무-활엽수 천연림 택별 적지내 천연갱신 특성. 한국임학회지 94: 6-10.
2. 김지홍, 양희문, 김광택. 1999. 천연활엽수림의 세 가지 조림작업중에 따른 천연갱신 양상. 한국임학회지 88: 169-178.

3. 산림청. 2006. 임업통계연보. 제36호. 482p.
4. 송연희, 윤충원. 2006. 설악산 국립공원 잣나무 천연림의 군락유형 및 입분구조. 한국환경생태학회지 20: 29-40.
5. 이상훈. 2002. 백운산 지역 잣나무 및 낙엽송 인공림 내에서의 천연활엽수 발생과 생장 및 이에 관여하는 인자. 서울대학교 석사학위 논문. 53pp.
6. 이원섭. 2002. 자연발생한 잣나무 치수의 네가지 임상별 분포 및 생장. 강원대학교 박사학위 논문. 140pp.
7. 이재선, 송정호, 박문한, 한상익. 1999. 잣나무의 수형 조절 (III) -III영급 이하 인공림에서 잣과 목재 생산을 위한 수형-. 한국임학회지 88: 195-204.
8. 임주훈. 1989. 잣나무 천연 임분의 생태적 특성. 고려대학교 박사학위 논문. 95pp.
9. 전상근, 신만용, 정동준, 장용석, 김명수. 1999. 지역별 잣나무의 초기생장 특성과 미기후의 영향 -정기평균생장량과 미기후와의 관계-. 한국임학회지 88: 73-85.
10. 홍경락, 권영진, 정재민, 신창호, 홍용표, 강범룡. 2001. 점봉산 잣나무임분의 개체목 공간분포에 따른 유전구조. 한국임학회지 90: 43-54.
11. Akashi, N. 1997. Dispersion pattern and mortality of seeds and seedlings of *Fagus crenata* Blume in a cool temperate forest in western Japan. Ecological Research 12: 159-165.
12. Fleming, T.H. and Heithaus, E.R. 1981. Frugivorous bats, seed shadows and the structure of tropical forests. Biotropica 13: 45-53.
13. Griffith, A.B. and Forseth, I.N. 2002. Primary and secondary seed dispersal of a rare, tidal wetland annual, *Aeschynomene virginica*. Wetlands 22: 696-704.
14. Hayashida, M. 1989. Seed dispersal by red squirrels and subsequent establishment of Korean pine. Forest Ecology and Management. 28: 115-129.
15. He, T., Siegfried, L.L.K., Byron, B.L. Ben, P.M., Neal, J.E. and Enright, J. 2004. Long-distance seed dispersal in a metapopulation of *Banksia hookeriana* inferred from a population allocation analysis of amplified fragment length polymorphism data. Molecular Ecology 13: 1099-1109.
16. Howe, H.F. and Westley, L.C. 1997. Ecology of Pollination and Seed Dispersal. pp. 262-283. In: M.J. Crawley ed. Plant Ecology 2nd ed. Blackwell Science.
17. Hyun, S.K. 1969. Intrinsic qualities, growth-potential, and adaptation of white pine in Asia (*Pinus koraiensis* and *Pinus armandii*). International Symposium on Biology and International Aspects of Rust Resistance of Forest Tree, Moscow, Idaho, U.S.A., August 17-24, 1969.
18. Jin, G., Xie, X., Tian, Y. and Kim, J.H. 2006. The pattern of seed rain in the broadleaved-Korean pine mixed forest of Xiaoxing'an mountains, China. Journal of Korean Forest Society 95: 621-627.
19. Kettig, R.L. and Landgrebe, D.A. 1976. Classification of multispectral image data by extraction and classification of homogeneous objects. IEEE Transactions on Geoscience Electronics 14: 19-26.
20. Lee, D.K. and Suh, S.J. 2005. Forest Restoration and Rehabilitation in Republic of Korea. pp. 383-396. In: J.A. Stanturf and Madsen, P. eds. Restoration of Boreal and Temperate Forests. CRC Press. U.S.A.
21. Lee, D.K., Kang, H.S. and Park, Y.D. 2004. Natural restoration of deforested woodlots in South Korea. Forest Ecology and Management 201: 23-32.
22. Li, H.J. and Zhang, Z.B. 2003. Effect of rodents on acorn dispersal and survival of the Liaodong oak (*Quercus liaotungensis* Koidz.). Forest Ecology and Management 176: 387-396.
23. Li, J. 1986. The pattern and dynamics of *Pinus koraiensis* population. Journal of Northeast Forestry Institution 14: 33-38. (in Chinese with English abstract)
24. Lim, J.H. 1998. A Forest Dynamics Model Based on Topographically-Induced Heterogeneity in Solar Radiation and Soil Moisture on the Kwangneung Experimental Forest. Ph.D. Thesis, Seoul National University, Seoul. 145pp.
25. Lim, J.H., Shin, J.H., Jin, G.J., Chun, J.H. and Oh, J.S. 2003. Forest stand structure, site characteristics and carbon budget of the Kwangneung Natural Forest in Korea. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 5: 101-109.
26. Man'ko, Y.I., Lee, D.K., Kang, H.S. and Nyam-Osor, B. 2004. State of forests and biodiversity conservation in Primorsky Krai, Russian Far East. Journal of Korean Forestry Society 93: 388-396.
27. Mirov, N.T. 1967. The Genus *Pinus*. The Ronald Press Company, New York, 602pp.
28. Mix, C., Arens, P.F.P., Ouborg, N.J. and Smulders, M.J.M. 2004. Isolation and characterization of highly polymorphic microsatellite markers in *Hypochoeris radicata* (Asteraceae). Molecular Ecology Notes 4: 656-658.
29. Oliver, C.D. and Larson, B.C. 1996. Forest Stand Dynamics. John Wiley & Sons, Inc. New York, 520pp.
30. Ouborg, N.J., Piquot, Y. and van Groenendael, J.M. 1999. Population genetics, molecular markers, and the study of dispersal in plants. Journal of Ecology 87: 551-568.
31. Pollux, B.J.A., de Jong, M., Steegh, A., Verbruggen, E. van Groenendael, J.M. and Ouborg, N.J. 2007. Reproductive strategy, clonal structure and genetic diversity in populations of the aquatic macrophyte *Sparganium emersum* in river systems. Molecular Ecology 16: 313-325.
32. Owston, P.W., Schlosser, W.E., Efremov, D.F. and Miner, C.L. 2000. Korean pine-broadleaved forests of the Far East: Proceedings from the International Conference. Khabarovsk, Russian Federation. October 1996. USDA Forest Service. Pacific Northwest Research Station PNW-GTR-487. 313pp.
33. Shin, J.H. 1989. Growth Architecture and Differentiation, in Tree Classes, Their Growth Strategies and Growth Model in *Pinus koraiensis* S. et Z. Plantations. Ph.D. Thesis.

- Seoul National University. 138pp.
34. Wang, B.C. and Smith, T.B. 2002. Closing the seed dispersal loop. *Trends in Ecology and Evolution* 17: 379-385.
35. Yeo, U.S. and Lee, D.K. 2006. Early regeneration of *Fraxi-*

nus rhynchophylla in the understory of *Larix kaempferi* stands in response to thinning. *Forestry* 79: 167-176.

(2007년 1월 31일 접수; 2007년 2월 23일 채택)