

잣나무 장령식재림에서 산벌작업 적용 후의 후계림 발달 양상

김지홍^{1*} · 강성기²

¹강원대학교 산림환경과학대학, ²산림청 산림인력개발원

The Developmental Pattern of Succeeding Regeneration after the Application of Shelterwood System in a Thrift-Mature *Pinus koraiensis* Plantation

Ji Hong Kim^{1*} and Sung Kee Kang²

¹College of Forest & Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

²Forest Human Resources Development Institute, Korea Forest Service, Namyangjoo 472-860, Korea

요약: 이 연구는 잣나무(*Pinus koraiensis*) 장령식재림에 대한 생태적으로 건전한 산림작업종 개발의 필요성을 인식하여 부분 벌채 후 하층 식생의 이주와 성장을 시험하였다. 1997년 당시 강원대학교 학술림의 VII영급 잣나무림에서 약 50%의 임관을 소개하는 산벌작업을 실시하고 임지정리작업을 수행하여 하층에 갱신치수가 발생하도록 유도하였다. 10년 후, 많은 활엽수가 이주 정착하여 하층림을 형성하였으며, 10개의 10 m × 10 m 영구표본구를 설정하고 주기적으로 수종구성, 종다양성, 그리고 직경과 수고의 성장과 분포를 조사하였다. 임관 소개에 의해서 2007년에 22종의 교목 수종과 20종의 관목 수종에 의해서 완전 울폐된 하층식생을 형성하였다. 산뽕나무의 중요치가 29.6%로 가장 높았고, 층층나무의 중요치는 17.0%로 산출되었으며, 이어서 쪽동백나무, 갈참나무, 신갈나무, 고로쇠나무, 잣나무의 순으로 구성 비율이 높았다. 2000년에 교목 26종이 출현하면서 종다양성지수가 2.547로 가장 높았고 그후 감소 추세를 나타내어 2007년에는 22종의 교목으로 2.220의 종다양성지수를 나타내었다. 후계림이 점차 울창해지고 성장하면서 일부 내음성이 약한 수종들이 사라짐으로써 종다양성을 낮추는 결과를 초래하였다. 2007년에 하층목 중에서 직경이 가장 큰 나무는 11.3 cm의 갈참나무였고, 수고가 가장 큰 나무는 9.8 m의 층층나무였다. 후계림의 직경급과 수고급에 대한 숫적 분포는 역 “J”자 모양을 나타내어 전형적인 이령림 분포가 이루어진 것으로 판단된다.

Abstract: Recognizing the necessity of the development of ecologically sound silvicultural system for the mature Korean pine (*Pinus koraiensis*), this study was carried out to examine the invasion and growth of understory vegetation after partial cutting. In 1997, the age class VII Korean pine forest in the Experimental Forest of Kangwon National University was opened up about 50% by modified shelterwood cutting with site preparation to induce succeeding regenerations. After 10 years, plenty of hardwood have come to the stand, forming understory vegetation. The abundance and composition of understory vegetation was periodically investigated in the ten 10 m × 10 m permanent sample plots, estimating importance values, species diversity index and the distribution of diameter and height of the understory vegetation. Encouraged by canopy opening, the coverage of understory reached perfect closure, composed of 22 tree species and 20 shrub species in 2007. *Morus bombycis* occupied 29.6% of the total importance value and *Cornus controversa* was 17.0%, followed by *Styrax obassia*, *Quercus aliena*, *Quercus mongolica*, *Acer mono*, and *Pinus koraiensis*. In the year of 2000 the species diversity was highest as 2.547 with 26 tree species and decreasing thereafter, showing 2.220 with 22 tree species in 2007. As understory layer was thickly covered and got grow bigger, some shade intolerant species were disappeared, lowering species diversity. In 2007 the biggest tree was a *Quercus aliena* with 11.3 cm of DBH and the tallest tree was a *Cornus controversa* with 9.8 m of height. The frequency distribution of number of trees by diameter and height classes formed the inverted-J-shaped curve, supposed to be typical uneven-aged stand.

Key words : *Pinus koraiensis*, regeneration, species composition, species diversity

이 논문은 2007년도 강원대학교 학술연구조성비로 연구되었음.

*Corresponding author

E-mail: kimjh@kangwon.ac.kr

서 론

잣나무(*Pinus koraiensis*)는 우리나라 중부지방에 널리 식재되어 있는 대표적인 조림수종으로, 용재로서의 가치가 클 뿐만 아니라 잣이라는 종실 생산에 의해 경제성이 높은 수종으로 호평 받고 있다. 특히 강원도와 경기도 일대에는 일제 강점기 시대부터 인공으로 식재되기 시작하였으며, 그 동안 산촌지역의 주요 소득을 담당했던 잣나무 장령림들이 많은 면적을 차지하고 있다. 그 중 수령이 이미 70~80년에 달한 임분에서는 점차로 잣 생산량이 감소하고, 재적 성장률도 감퇴할 것으로 예상된다. 따라서 잣나무 장령식재림에 대한 수확과 후계림 조성을 위한 적절한 갱신 방안 모색이 시급한 실정이나, 벌채 연령에 도달한 잣나무림에 대한 적당한 수확 방법과 수확 후의 갱신 방안에 대한 연구가 이루어지지 않은 실정이고, 대부분 일시에 모든 임목을 벌채하고 인공조림에 의해서 후계림을 조성하는 개별작업에 의존하고 있다.

임분 갱신을 위한 생태학적 정보 파악과 시업학적 접근 방안 모색을 위해 고영주(1992)와 신만용 등(1992)은 침엽수 및 천연활엽수류의 혼효 임분에 대한 갱신 및 무육 방법, 천연 혼효 임분 하에서 갱신된 전나무 개체군의 구조 파악 등의 연구를 수행한 바 있으며, 김태욱(1968)은 천연갱신을 위한 잣나무를 비롯한 침엽수종의 생태적 정보를 파악하고, 전상근과 정현배(1971)와 마상규(1982)는 잣나무 식재를 위한 산림의 생태학적 정보와 적정 식재 시기에 관한 연구 등을 수행한 바 있다. 외국의 경우 미래 임분 갱신을 위한 시업적 처리 및 방안에 대한 연구는 상당히 진척되어 응용단계에까지 이르고 있으며, 대표적으로 Smith(1986), Shepherd(1986), Nyland(1996) 등이 장기적이고 실험적인 연구를 통해 여러 산림작업종의 장기적인 갱신 양상을 파악하고, 임지정리작업 등의 산림시업학적 처리가 임분 갱신에 미치는 영향을 고찰하여 후계림 조성을 위한 다각적인 갱신 정보를 제공하고 있다. 그러나 국내의 경우에는 미래 임분 조성을 위한 장기간에 걸친 단계적 연구는 거의 없는 실정인바, 앞으로 산림생태적 정보나 산림시업적 처리에 대한 방안을 종합적으로 응용한 후계림 조성을 위한 연구의 수행이 요구된다.

우리나라 대부분의 식재림이 그러하듯이 잣나무림 또한 거의 모두 순림으로 구성되어 있다. 순림은 산림 조성 과 산림내 작업, 그리고 이용 측면에서 매우 편리하고 경제적이란 장점을 지니고 있지만, 지력 유지의 측면과 각종 위해에 대한 저항력을 제고시키는 생태적 산림 관리에는 적합하지 않다. 따라서 병충해 및 위해에 의한 우리나라 침엽수 순림들의 피해를 최소화하고, 생태계 안정성 등을 고려할 때 미래의 산림 구성은 순림보다는 혼효림의 형태로 전환되어야 한다는 목소리가 높아가고 있다. 중국

동북부 지방의 잣나무-활엽수 혼효림 유존군집의 구조를 참작할 때(Jin *et al.*, 2006; Jin *et al.*, 2007) 우리나라 미래의 잣나무림도 순림보다는 잣나무와 활엽수의 혼효림을 조성할 수 있는 가능성을 타진해야 하며, 이에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

따라서 이 연구는 강원대학교 학술림내 VIII영급 잣나무 장령식재림을 대상으로 잣나무와 활엽수가 혼효된 후계림 갱신을 모색하고자 실시되었다. 산림의 토지생산력을 유지하고, 산림의 내부 환경 변화를 최소화하며, 동시에 상층목에 의해 갱신될 치수를 보호할 수 있는 하층벌이 생략된 변형된 산벌작업을 실시한 후 10년간의 후계림 발달 양상을 파악하였다. 이러한 조림생태학적 정보를 바탕으로 건전한 잣나무-활엽수 혼효림 조성의 가능성을 타진하는 것이 본 연구의 목적이다.

재료 및 방법

1. 연구대상지

이 연구는 강원도 홍천군 북방면에 위치한 강원대학교 산림환경과학대학 학술림 7임분에 조성된 VIII영급 잣나무 장령림 약 2.4 ha를 대상으로 실시되었다(Figure 1).

본 연구대상지는 태백산맥 서쪽에 위치한 산악지대로써 하절기에는 고온 다습하고 동절기에는 저온 건조한 전형적인 온대 대륙성 기후를 나타낸다. 근래 30년 동안의 기상 자료에 의하면(Kang and Kim, 2008) 연평균 기온은 10.6°C이며, 연평균 강우량은 1,271 mm로서 약 71%가 6월부터 9월 사이에 내린다. 경사면은 서~북서사면으로 향하고 경사도는 4~26°로서 국부적으로 변이가 많으며 해발고는 375~455 m 범위에 있다. 표층토는 사질양토~양토이며 하층토는 사질식양토의 갈색 토양으로 배수가 양호하고 임지 생산력은 비교적 상급에 속한다.

2. 차세대 갱신 여건 조성 및 파종조림의 실패

1997년 12월 변형 산벌을 적용할 당시 연구 대상 잣나무 임분은 VII영급(67년생 추정)으로써 1950년대 산불의 피해를 입었으며, 그로 인해 수간 부후 현상이 심하여 형질 개선 작업이 요구되는 것으로 판명되었다. 그 당시 임분 조사 결과 임목 간 평균 거리 약 5.2 m, 평균 흉고직경 40.0 cm, 평균수고 23 m이며 상층 울폐도는 95% 이상이었다. 울폐된 상층 임관에 의한 광선 차단과 두꺼운 유기물층에 의한 종자 발아 장애로 인하여 하층식생은 매우 빈약하였다(Figure 2A) (김지홍 등, 1998).

차세대 혼효림 조성을 겨냥하여 잣나무와 참나무류 파종조림을 시도하였다. 약 50%의 수관울폐도를 유지할 목표, 밀도를 고려하여 산불에 의한 수간 피해목을 중심으로 벌채 작업을 수행하였다. 파종 작업을 쉽게 하고 벌

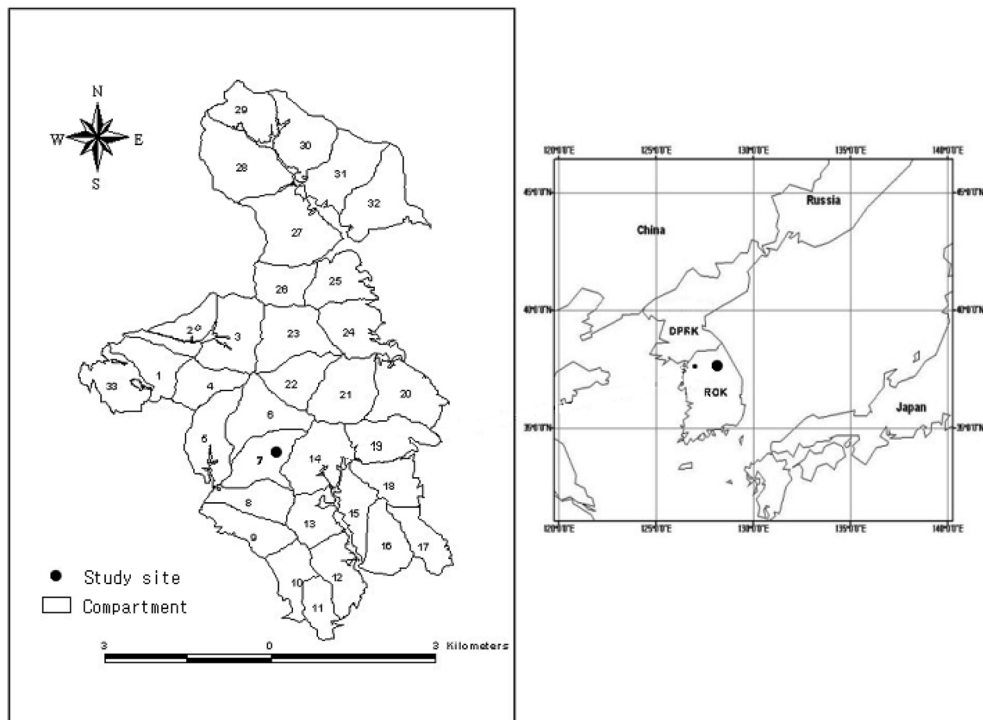


Figure 1. The location map of the study area.

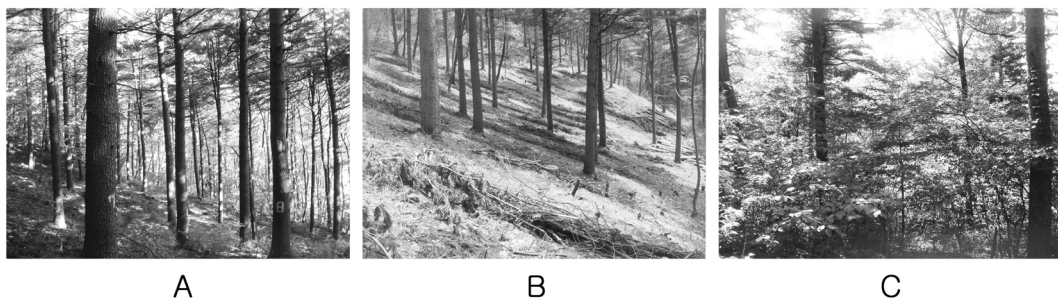


Figure 2. Scenes of the study area before cutting in the summer of 1997 (A), after cutting and site preparation in the winter of 1997 (B), and after 10 years since cutting in the summer of 2007 (C).

아한 묘목과 자연 발생 치수의 활착을 돕기 위하여 벌채 잔여물과 잡목을 제거하는 조림지정리작업(site preparation)을 실시하였다. 조림지정리작업은 포크레인에 케이블 윈치를 장착하여 벌채목을 집재하는 과정에서 부수적으로 이루어졌고, 이것이 여의치 않은 지역은 인력에 의해서 도구를 사용하여 벌채 잔여물을 대상으로 늘어놓는 기계적인 방법을 취하였다(Figure 2B) (김지홍 등, 1998).

1998년 4월 중순, 벌채 작업과 조림지정리작업을 완료한 연구 대상 임지에 노천매장해 놓았던 잣나무, 상수리나무, 졸참나무 종자를 열식으로 파종조림을 실시하였다. 그러나 파종된 종자들이 동물에 의해서 거의 모두가 포식당함으로써 파종조림은 성과를 거두지 못하였다. 파종된 종자를 포식한 동물들은 청설모, 다람쥐, 생쥐 등의 설치동물 및 어치와 잣까마귀 등의 조류가 관찰되었다. 특히, 종자의 노천매장으로 인하여 종피가 열리고 발아할 태세

를 갖춘 잣나무 종자의 경우, 냄새가 더욱 많이 풍겼기 때문에 여러 가지 동물에 의해서 거의 대부분 포식당한 것으로 판단된다. 발아를 촉진시키기 위하여 수행한 노천매장이 역효과를 가져왔다고 볼 수 있다(김지홍 등, 1998). 그후 연구 대상 임분에는 자연적인 산림천이에 의해서 대부분의 활엽수와 잣나무에 의해서 하층림이 형성되었다(Figure 2C).

3. 자료 수집 및 분석

본 연구는 초기부터 상층 임관을 소개하여 잣나무와 참나무류를 혼합 파종하여 후계림 조성을 시도하였으나, 연구대상지의 생물적 구성의 특성상 파종 종자가 설치류와 조류에 의해서 피해를 많이 받음으로 인하여 처음 의도한 바의 성공을 거두지 못하였다. 하지만 상층의 잣나무 울폐도를 약 50% 소개하고 조림지정리작업을 한 결과 산림

천이 과정에 의해서 하층림이 조성되기 시작했다. 임상의 광선, 온도, 수분 조건이 변함에 따라서 많은 양의 활엽수와 잣나무가 자연적으로 발생하였다. 여기에 잣나무 장령림을 부분 벌채한 후에 발생한 갱신 치수를 장기적으로 연구 조사할 목적으로 10×10 m 정방형 영구 표본구(permanent plot) 10개를 설치하였다. 설정된 영구 표본구 네 곳의 모서리에 지름 약 5 cm, 길이 약 100 cm의 금속제 파이프로 박아서 표본구 찾는 것을 용이하게 하였다.

상층림의 부분 벌채가 이루어진 후 1998년, 1999년, 2000년, 2001년, 2003년 그리고 2007년에 각 표본구별로 상층목의 흉고직경, 수고, 수관폭을 측정하고 상층 임관의 울폐도를 추정하였으며, 모든 발생 목본식물에 대하여 수종을 식별하고 높이와 흉고직경 혹은 근원직경을 실측하였다. 임관을 소개시켜 갱신 공간이 확보되면서 임상의 온도가 올라가면 유기물의 분해가 촉진되고 충분한 광선이 투입되어 치수 발생이 용이하게 되는데, 이러한 여건 변화를 가능하기 위하여 벌채 전후와 2007년도에 임내외의 상대조도를 측정하여 비교하였다. 조도는 각 표본구마다 식생의 생장이 가장 왕성한 시기에 청명한 날을 택하여 조도계 ANA_F11 Illuminance Meter와 DX-200 Illumination Meter를 이용하여 임내외의 조도를 조사하였으며, 임내조도는 표본구내에서 장소를 달리하여 가슴 높이에서 임상의 조도를 20~30회씩 측정하고 산술 평균값을 대표 조도로 삼았다.

발생한 모든 교목 수종에 대하여 상대밀도, 상대빈도, 상대피도를 산출하고 이 자료를 바탕으로 중요치(importance value)를 산출하여, 발생 치수의 생태적 지표를 파악하였다. 또한 연구 대상 임분의 갱신 치수의 종다양성지수를 산출하여 장기적인 다양성 변화를 추적하였다. 중요치 산출은 Curtis와 McIntosh(1951)에 의한 방법을 따랐고, 종다양성지수의 산출은 Shannon의 다양성지수를 이용하였다. 자료의 정리와 분석은 Brower와 Zar(1977)를 참조하였다.

결과 및 고찰

1. 후계림의 발생과 구성

연구 대상 잣나무림(Figure 2A)을 벌채하고 임지정리작업을 시행한 후(Figure 2B) 10년이 경과한 하층에는 활엽수들이 무성하게 발생하여(Figure 2C) 후계림 조성의 발판이 마련되었다. 하층식생 발달을 용이하게 한 중요한 이유는 두 가지들을 들 수 있다. 첫째 벌채로 인한 임상 유기물층의 교란과 광물질 토양의 노출로 인하여 활엽수 종자의 발아가 쉽게 이루어졌고, 둘째 상층 임관의 소개로 인한 다량의 광선이 유입되어 하층식생의 생육 조건이 개선되었기 때문이다. 하층에 발생하여 상층 잣나무와 공존하

면서 미래에 이단림 혹은 혼효림으로 발달하는데 구성 요소가 될 수 있는 교목 수종을 중심으로 발생량과 구성 상태를 파악하였다.

영구 표본구의 식생 통계치를 바탕으로 연차별 교목 치수 발생량을 살펴보면, 1998년에는 12개 수종에 3,192그루/ha, 1999년에는 24개 수종에 7,190그루/ha, 2000년에는 26개 수종에 4,430그루/ha, 2001년에는 23개 수종에 7,060그루/ha, 2003년에는 25개 수종에 9,070그루/ha 그리고 최근의 2007년에는 22개 수종에 10,600그루/ha의 치수들이 발생한 것으로 조사되었다. 벌채 후 시간이 지남에 따라서 2년 후에 발생한 수종의 수(24개 수종)는 큰 변화를 보이지 않았으나, 개체수는 점차 증가하는 양상을 보였다. 하층 활엽수들의 크기가 증가하고 임분이 발달하면서 개체수는 줄어들어 안정상태를 유지할 것으로 추정되지만, 그 시기는 예측하기 어렵고, 지속적인 조사를 통하여 파

Table 1. Periodic change of importance values (%) for understory tree species.

| Species | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2003 | 2007 |
|---|------|------|------|------|------|------|
| <i>Acer ginnala</i> | -- | 1.2 | 1.9 | 1.7 | 0.5 | 0.5 |
| <i>Acer mono</i> | 6.5 | 4.3 | 5.8 | 4.4 | 5.1 | 5.7 |
| <i>Acer pseudo-sieboldianum</i> | -- | -- | -- | -- | 1.5 | -- |
| <i>Betula costata</i> | -- | -- | 0.6 | -- | -- | -- |
| <i>Betula davurica</i> | 7.8 | 4.3 | 5.4 | 6.3 | 4.6 | 4.4 |
| <i>Celtis jessoensis</i> | -- | 1.1 | -- | -- | -- | -- |
| <i>Celtis sinensis</i> | -- | 0.7 | 0.8 | -- | -- | 1.0 |
| <i>Cornus controversa</i> | 11.9 | 9.9 | 14.6 | 12.9 | 12.3 | 17.0 |
| <i>Fraxinus rhynchophylla</i> | -- | 1.8 | 0.6 | 2.4 | 2.0 | 0.8 |
| <i>Juglans mandshurica</i> | -- | -- | 2.2 | 5.4 | 4.2 | 2.1 |
| <i>Kalopanax pictus</i> | -- | 2.2 | 2.6 | 2.4 | 2.1 | 3.8 |
| <i>Larix leptolepis</i> | 1.3 | -- | -- | -- | -- | -- |
| <i>Maackia amurensis</i> | -- | 1.4 | 0.6 | 0.6 | 1.7 | -- |
| <i>Morus bombycis</i> | -- | 15.1 | 16.5 | 21.1 | 21.0 | 29.6 |
| <i>Phellodendron amurense</i> | -- | 0.5 | -- | 0.6 | 0.5 | 0.5 |
| <i>Pinus densiflora</i> | -- | 1.0 | 0.6 | 0.6 | 0.9 | 0.9 |
| <i>Pinus koraiensis</i> | 6.0 | 14.0 | 4.0 | 5.7 | 7.6 | 5.7 |
| <i>Populus tomentiglandulosa</i> | -- | -- | 0.6 | -- | -- | -- |
| <i>Prunus sargentii</i> | 4.9 | 2.3 | 3.8 | 1.6 | 2.2 | 1.0 |
| <i>Prunus padus</i> | -- | -- | -- | -- | -- | 0.6 |
| <i>Quercus acutissima</i> | 16.4 | 4.4 | 2.5 | 1.2 | 3.8 | -- |
| <i>Quercus aliena</i> | 8.3 | 9.4 | 3.8 | 5.1 | 4.2 | 6.1 |
| <i>Quercus dentata</i> | -- | 0.7 | 1.0 | 0.7 | 2 | 1.2 |
| <i>Quercus mongolica</i> | 2.1 | 4.3 | 8.2 | 6.7 | 5.8 | 5.8 |
| <i>Quercus serrata</i> | 23.7 | 1.1 | 0.6 | 0.6 | 0.9 | 0.5 |
| <i>Quercus variabilis</i> | 4.4 | 4.6 | 5.2 | 4.0 | 4.4 | 3.6 |
| <i>Salix glandulosa</i> | -- | -- | 1.2 | -- | -- | -- |
| <i>Salix hulteni</i> | -- | 2.9 | 5.9 | 5.5 | 3.8 | 1.2 |
| <i>Salix koreensis</i> | -- | 4.0 | 3.4 | 1.5 | 1.0 | -- |
| <i>Sorbus alnifolia</i> | -- | -- | -- | -- | 0.7 | 1.3 |
| <i>Styrax obassia</i> | -- | 5.7 | 6.2 | 5.8 | 4.9 | 6.6 |
| <i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i> | 6.7 | 3.0 | 1.8 | 3.4 | 2.4 | -- |
| Number of species | 12 | 24 | 26 | 23 | 25 | 22 |

Table 2. Comparison of relative illumination in the study area.

| | Before harvest (1997) | After harvest (1998) | 2007 |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| Outside of forest (Lux) | $\bar{X} = 29,167$ | $\bar{X} = 16,700$ | $\bar{X} = 71,360$ |
| Inside of forest (Lux) | $\bar{X} = 5,850$ | $\bar{X} = 12,225$ | $\bar{X} = 20,338$ |
| | 900 ~ 21,000 | 6,650 ~ 16,700 | 6,993 ~ 41,246 |
| Ratio(%) | $\bar{X} = 20.1$ | $\bar{X} = 73.2$ | $\bar{X} = 28.5$ |
| | 3.1 ~ 72.0 | 39.8 ~ 100 | 9.8 ~ 57.8 |

악할 수 있을 것이다.

영구 표본구의 식생 통계치를 바탕으로 수종별·연차별 중요치를 산출하여 Table 1에 나타내었다. 연차별로 산출된 중요치의 변이는 수종에 따라서 다양하게 나타났으며, 어떤 일정한 경향을 나타내는 수종 몇몇을 포함하여 식생천이는 활발하게 진행되고 있는 것으로 판단된다. 벌채 후, 10년이 경과한 현재 산뽕나무의 중요치가 29.6%를 나타내어 가장 높고, 다음으로 층층나무의 중요치가 17.0%를 나타내었다. 그 외에 구성 비율이 비교적 높은 수종은 쪽동백나무 6.6%, 갈참나무 6.1%, 신갈나무 5.8%, 고로쇠나무 5.7%, 잣나무 5.7% 등의 순으로 이어졌다.

산뽕나무와 쪽동백나무의 구성 비율이 높은 것은 거의 모든 영구 표본구에 출현하여 상대빈도가 높았고, 벌채 전에 생육하던 나무에서 발생한 다수의 그루터기 땅아 때문에 밀도 또한 높게 산출되었기 때문으로 사료된다. 그러나 하층림이 더욱 발달하면서 참나무류, 층층나무, 고로쇠나무 등의 교목 수종은 지속적인 수고 성장으로 우위를 점유하겠지만, 산뽕나무와 쪽동백나무는 고유의 생활형이 아교목으로서 상층 임관을 차지하지는 못하고 높은 내음성을 바탕으로 중층에서 중요한 자리를 차지할 것이다. 한 가지 특기 사항은 벌채와 조림지정리작업이라는 교란이 있는 후, 물푸레나무류, 자작나무류, 느릅나무류, 호랑버들 등과 같이 바람에 산포되는 종자를 가진 수종의 침입이 상대적으로 저조하였고, 조류나 설치류 동물에 의해서 산포되는 종자를 가진 수종들의 이주 정착이 두드러지게 많았다. 이것은 연구대상지 부근에 야생동물 개체군의 밀도가 높은 것을 시사하는 것으로서, 앞에서 언급한 파종 조림의 실패와도 관련이 있을 것이다.

2007년에 조사된 관목은 높은 수도(數度) 순으로 산초나무, 생강나무, 작살나무, 개웃나무 등 20종이었다.

하층식생의 발생과 구성은 광선 조건이 많은 영향을 끼쳤을 것으로 판단되어, 벌채 전후와 2007년도 임상의 상대조도를 측정하여 Table 2에 요약하였다. 벌채 전 임관이 거의 완전히 울폐되었을 때 임상에 도달하는 광선의 양은 공한지 평균의 약 20% 밖에 미치지 못하였으나, 벌채 후의 광선의 양은 공한지 평균의 약 73%로 증가되어, 충분

한 광선에 따른 유기물의 빠른 분해작용과 주변 임분으로부터의 종자공급이 용이해짐으로 인해 갱신치수가 발달하는데 적절한 환경조건을 제공한 것으로 판단된다. 그러나 벌채 후 10년이 지난 2007년의 상대조도는 공한지 평균의 약 29%로 감소되어, 벌채 전 약 20%와 큰 차이를 나타내지 않았다(Table 2). 이것은 상층목 울폐율의 증가와 하층에 침입한 갱신수종들의 수고가 증가하여 상대조도 측정 높이인 가슴 높이를 훨씬 넘었기 때문이다.

임내 하층의 광선의 양이 30%까지 감소한 현상과 관련하여 두 가지 사항을 고려할 수 있다. 첫째, 하층을 선점한 활엽수들에 의해서 피음되므로 내음성이 약한 수종이 더 이상 들어오는 것은 차단될 것이다. 둘째, 이미 자라고 있는 활엽수들의 상층부에 유입되는 광선의 양은 벌채 직후 전광의 약 70%와 큰 차이가 없을 것으로 추정되기 때문에 하층에 조성된 후계림은 왕성한 성장을 계속할 것으로 예상된다.

Barnes 등(1998)은 일반적으로 수목이 수년간 살아남기 위해서는 최소한 전광의 20% 가량이 필요하다고 밝힌 바 있지만, 치수가 성장함에 따라 더 많은 광량을 요구하므로(이경준 등, 1999) 수광조건의 개선은 꼭 필요한 과정이라고 판단된다. 임목 종자의 발아와 치수 활착에 영향을 미치는 수많은 물리적·생물학적 요인들 중에서 산림경영자가 변형시킬 수 있는 환경 조건은 상층 임관의 울폐도를 조절하여 광선의 양을 증가시키는 것이 그 중의 하나이다. 울폐된 임관이 소개되어 임상에 도달하는 직사광선, 반사광선, 산란광선 등의 양이 증가하면 지표면의 온도는 증가하고 습도는 감소하는 효과가 있다. 이에 따라서 유기물의 분해 속도는 빨라지고, 종자 주위의 수분 조건이 적절한 경우 발아율도 증가한다. 광도의 증가에 따라서 특히, 내음성이 비교적 약한 수목들의 치수 활착에 큰 도움을 줄 수 있다(김지홍 등, 1998).

또한 임분 밀도 조절을 통하여 잔존목의 직경 성장률을 증가시켜 임목형질을 향상시키는 효과를 얻을 수 있기 때문에 개별이 아닌 부분 벌채를 적용하여 갱신 절차에 진입하는 산림 시업적 처리를 수행할 경우, 성숙목의 상층 임관 소개는 필요한 과정이라고 판단된다.

Table 3. Periodic change of species diversity for tree and shrub species.

| | | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2003 | 2007 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| H' | tree | 2.049 | 2.499 | 2.547 | 2.356 | 2.051 | 2.220 |
| | shrub | -- | 2.327 | 2.425 | 2.380 | 2.289 | 2.552 |
| H_{max} | tree | 2.484 | 3.178 | 3.258 | 3.135 | 3.219 | 3.091 |
| | shrub | -- | 3.296 | 3.401 | 3.466 | 3.332 | 2.996 |
| J' | tree | 0.825 | 0.786 | 0.782 | 0.751 | 0.637 | 0.718 |
| | shrub | -- | 0.706 | 0.713 | 0.687 | 0.687 | 0.852 |
| $1-J'$ | tree | 0.175 | 0.214 | 0.218 | 0.249 | 0.363 | 0.282 |
| | shrub | -- | 0.294 | 0.287 | 0.313 | 0.313 | 0.148 |
| S | tree | 12 | 24 | 26 | 23 | 25 | 22 |
| | shrub | -- | 27 | 30 | 32 | 28 | 20 |

H' : Shannon's species diversity index

H_{max} : Maximum species diversity index based on H'

J' : Evenness

$1-J'$: Dominance

S : The number of presenting species

2. 후계림의 종다양성

연구 대상지에 발생한 후계림의 안정성을 평가하는 한 가지 방편으로서 수종의 종다양성을 평가하였다. 영구 표본구의 식생 통계치를 바탕으로 연차별로 교목과 관목에 대하여, Shannon의 정보이론지수(information-theoretic index)를 바탕으로 산출된 종다양성지수, 최대다양성지수, 균재도, 우점도, 풍부도를 Table 3에 나타냈다.

교목 수종의 종다양성지수는 상층 임관 소개 후 3년이 경과한 2000년에 26가지의 수종 수를 바탕으로 2.547로 가장 높게 나타났으며, 그 후 거제수나무, 은사시나무, 버드나무류 등의 내음성이 낮은 수종들이 사라짐으로써 종다양성지수는 감소 추세를 보이다가 현재(2007년)에는 2.220의 다양성지수를 나타내었다. 2003년의 25가지 수종이 2.051의 낮은 지수를 보인 것은 상대적으로 낮은 균재도(0.637) 때문이며, 몇 가지 수종의 개체수가 많았던 것으로 판단된다. 관목 수종의 종다양성지수도 비슷한 양상을 보였다. 그러나 2007년에 가장 적은 20가지 관목 수종으로 가장 높은 지수인 2.552를 나타낸 것은 역시 높은 균재도(0.852) 때문이며, 수종별 개체수 분포의 변이가 상대적으로 적음을 알 수 있다.

교목 수종의 구성에서 알 수 있듯이(Table 1) 발생한 후계림은 대부분 내음성이 비교적 중간 이상인 수종들의 구성 비율이 높고, 시간이 지나면서 몇몇 수종이 도태되더라도 주위의 활엽수림에서 내음성이 강한 수종이 이주할 소지가 있기 때문에 현재의 종다양성이 유지되거나 혹은 증가될 가능성이 있다고 판단된다. 이러한 종다양성지수 상황은 천이가 상당히 진척된 활엽수림 군집의 종다양성지수(강성기, 2000; 김광택, 2002; 양희문, 2002)와 유사한 값을 나타냄으로써 잣나무 장령림과 공존하여 발달하게 될 하층 후계림으로서의 역할을 충분히 수행할 수 있을

것으로 사료된다.

3. 하층목의 생장

연구 대상림의 부분 벌채 후 10년이 경과한 시점의 모든 교목 수종의 직경과 수고 분포를 Figure 3과 4에 각각 도시하였다. 직경과 수고급에 대한 임목 본수의 분포는 공통적으로 작은 나무의 개체수가 많은 역 "J"자 모양(inverted-J-shaped)의 전형적인 이령림 구조를 나타냄으로써 생태천이의 과정에 의해서 이루어진 임분임을 시사한

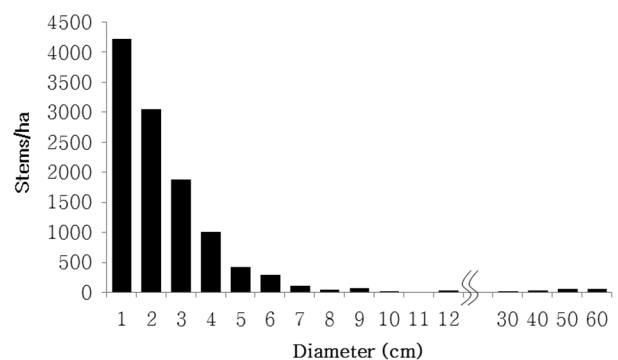


Figure 3. The distribution of diameter for all trees.

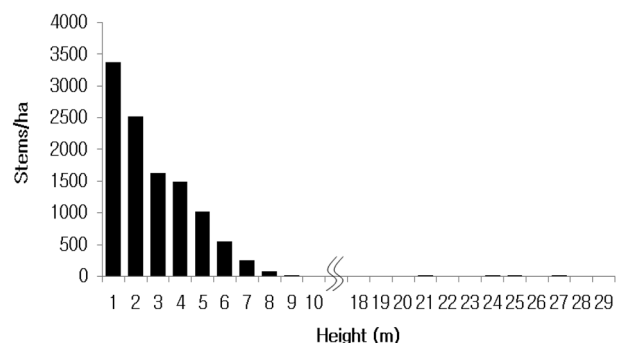


Figure 4. The distribution of height for all trees.

Table 4. The average and range of diameter and height for major tree species.

| Species | Stems/ha | Diameter (cm) | Height (m) |
|---------------------------|----------|-----------------|-----------------|
| <i>Acer mono</i> | 370 | \bar{X} =1.78 | \bar{X} =2.08 |
| | | 0.1 ~ 9.1 | 0.6 ~ 6.7 |
| <i>Cornus controversa</i> | 720 | \bar{X} =3.56 | \bar{X} =4.50 |
| | | 0.1 ~ 8.9 | 0.3 ~ 9.8 |
| <i>Morus bombycis</i> | 2,040 | \bar{X} =2.77 | \bar{X} =3.76 |
| | | 0.1 ~ 6.8 | 0.5 ~ 6.7 |
| <i>Pinus koraiensis</i> | 360 | \bar{X} =0.41 | \bar{X} =0.21 |
| | | 0.1 ~ 2.0 | 0.1 ~ 0.7 |
| <i>Quercus aliena</i> | 260 | \bar{X} =3.05 | \bar{X} =3.06 |
| | | 0.3 ~ 11.3 | 0.3 ~ 7.7 |
| <i>Quercus mongolica</i> | 410 | \bar{X} =0.85 | \bar{X} =0.95 |
| | | 0.1 ~ 5.5 | 0.1 ~ 4.2 |
| <i>Styrax obassia</i> | 480 | \bar{X} =2.91 | \bar{X} =3.17 |
| | | 0.1 ~ 7.5 | 0.1 ~ 5.6 |

다. 현재 ha당 10,000그루 이상의 하층목이 생육하고 있는 높은 밀도를 감안할 때, 시간이 지날수록 새로운 치수가 발생하여 작은 나무 부류에 편입하기는 어렵다고 판단된다. 반면에, 현재의 소경목들은 경쟁에 의해서 상당수가 자연 간벌(natural thinning)될 것이고, 살아남는 나무들은 지속적인 직경과 수고 성장을 이룸으로써 미래에는 종모양(bell-shaped)의 개체수 분포 구조를 가질 것으로 추정되지만 그 시기는 예측하기 어렵고, 지속적인 조사를 통하여 파악할 수 있을 것이다.

후계림을 구성하고 있는 교목 수종 중에서 점유 비율이 높은 7가지 수종에 대한 단위면적당 개체수 및 직경과 수고의 평균 성장량과 범위를 Table 4에 요약하였다. 층층나무, 갈참나무, 산뽕나무, 쪽동백나무 등이 직경과 수고에서 좋은 성장을 보이고 있다. 하층목 중에서 직경이 가장 큰 나무는 11.3 cm의 갈참나무였고, 수고가 가장 큰 나무는 9.8 m의 층층나무였다. 특히 층층나무와 갈참나무는 벌채 전 잣나무 장령림의 하층에 거의 출현하지 않았던 수종이었는데, 벌채 후 일찍이 이주 정착하여 자리 잡은 수종으로 사료된다. 이 두 수종의 종자 산포는 조류나 설치류에 의해서 이루어졌을 것이다. 벌채 후 바로 들어오기 시작하였던 잣나무는(Table 1) 직경과 수고 성장률이 상당히 저조하고, 시간이 지날수록 개체수가 감소될 것으로 예측하지만(이원섭, 2002) 살아남는 잣나무들은 미래의 후계림의 중요 구성 요소의 역할을 담당할 것이다. 우

리나라 활엽수림에서 우점도가 가장 높은 신갈나무의 구성 비율이 본 연구지에서는 다른 수종에 비해 많이 뒤져 있다. 그러나 신갈나무 고유의 강인한 번식력과 생존력을 바탕으로 성장률과 점유율을 지속적으로 높여 나갈 수 있을 것인가에 대하여 지속적인 관찰과 조사가 필요하다.

인용문헌

1. 강성기. 2000. 점봉산 일대 천연활엽수림의 지형적 위치에 따른 군집 구조적 속성 분석. 강원대학교 석사학위논문. pp. 61.
2. 고영주. 1992. 택벌림에 대한 고찰(II)-천연림의 예-. 국민대학교 산림과학연구소 산림과학 3: 1-24.
3. 김광택. 2002. 점봉산 일대 천연활엽수림의 군집유형별 생태적 구조 및 동태 분석. 강원대학교 박사학위논문. pp. 139.
4. 김지홍, 최인화, 심우섭, 장중근, 양희문. 1998. 잣나무 성숙림의 직파 갱신을 위한 산별작업의 적용. 학술림연구지 18: 1-12.
5. 김태욱. 1968. 천연갱신의 요건으로서의 소나무, 삼나무 및 잣나무의 내음성 조사. 서울대학교 농과대학 연습림 보고서 5: 119-126.
6. 마상규. 1982. 침엽수 식재시기별 활착 특성과 식재적기에 관한 연구. 한국임학회지 58: 34-40.
7. 양희문. 2002. 천연활엽수림의 용재생산을 위한 군집 생태적 속성의 활용 방안. 강원대학교 박사학위논문. pp. 158.
8. 신만용, 임주훈, 전영우, 고영주. 1992. 신갈나무-전나무 천연혼효임분의 갱신 및 무육방법(1) : 임분구조와 작업종. 한국임학회지 81(1): 21-29.
9. 이경준, 한상섭, 김지홍, 김은식. 1999. 산림생태학. 향문사. pp. 365.
10. 이원섭. 2002. 자연발생한 잣나무 치수의 네가지 임상별 분포 및 성장. 석사학위논문, 강원대학교 산림과학대학 산림경영학과 대학원. pp. 140.
11. 전상근, 정현배. 1971. 잣나무 식재림의 생태학적 연구 (I) -하층식생에 대하여-. 한국임학회지 12: 13-21.
12. Barnes, B.V., Zak, D.R., Denton, S.R., and Spurr, S.H. 1998. Forest Ecology (4th ed.). John Wiley & Sons, Inc. New York. pp. 774.
13. Brower, J.E. and Zar, J.H. 1977. Field and Laboratory Methods for General Ecology. W.M. C. Brown Co. Publ. Dubuque, Iowa. pp. 194.
14. Curtis, J.T. and McIntosh, R.P. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest boarder region of Wisconsin. Ecology 32: 476-498.
15. Jin, G., Xie, X., Tian, Y., and Kim, J.H. 2006. 10. The Pattern of Seed Rain in the Broadleaved-Korean Pine Mixed Forest of Xiaoxingàn Mountains, China. Journal of Korean Forest Society 95(5): 621-627.
16. Jin, G., Tian, Y., Zhao, F., and Kim, J.H. 2007. 4. The Pattern of Natural Regeneration by Canopy Gap Size in the Mixed Broadleaved-Korean Pine Forest of Xiaox-

- ing`an Mountains, China. Journal of Korean Forest Society 96(2): 227-234.
17. Kang, S.K. and Kim, J.H. 2008. 4. The Changes of Understory Vegetation by Partial Cutting in a Silvopastoral Practiced Natural Deciduous Stand. Journal of Korean Forest Society 97(2): 156-164.
18. Nyland, R.D. 1996. Silviculture : Concept and Applications. McGraw-Hill Co. Inc. New York. pp. 633.
19. Shepherd, K.R. 1986. Plantation Silviculture. Martinus Nijhoff Pub. Dordrecht. The Netherlands. pp. 322.
20. Smith, D.M. 1986. The Practice of Silviculture. John Wiley & Sons Inc. pp. 527.

(2008년 8월 25일 접수; 2008년 10월 2일 채택)