

최 종
연구보고서

잣나무 전생치수 발생 임분의 생태적 특성 및 경영모델 개발

Analysis of Ecological Characteristics and Development of
Forest Management Model for Korean Pine (*Pinus koraiensis*)
Advance Growth Occurring Stand

연구 기관
강 원 대 학 교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “잣나무 전생치수 발생 임분의 생태적 특성 및 경영모델 개발”에 관한 연구 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2006 년 7 월 14 일

주관연구기관명 : 강원대학교
총괄연구책임자 : 이 명 중

(제1세부과제)

연구기관명 : 강원대학교
세부연구책임자 : 이 명 중
연구원 : 김 용 석, 지 동 훈, 신 동 민, 정 미 정
 김 인 수, 김 남 영, 김 영 설

(제2세부과제)

연구기관명 : 강원대학교
세부연구책임자 : 김 지 흥
연구원 : 이 원 섭, 강 성 기, 정 상 훈

(협동과제)

연구기관명 : 고려대학교
협동연구책임자 : 손 요 환
연구원 : 김 래 현, 황 정 옥, 서 금 영, 구 진 우
 서 경 원, 노 남 진, 경 지 현, 이 미 향
 전 호 현

요 약 문

I. 제목

잣나무 전생치수 발생 임분의 생태적 특성 및 경영모델 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

잣나무는 지구상에 분포하는 100여개의 소나무 속 수종 가운데 유일하게 한국산 (*koraiensis*)이란 종명을 가진 수종으로 양질의 목재를 생산하는 경제수종으로써 우리나라에서 주요 조림수종으로 선정되어 제주도를 제외한 거의 전역에 식재되고 있다. 또한 식용이나 약용으로 이용되는 잣을 생산할 수 있으므로 타 수종에 비하여 조림 선호도가 높은 수종이다. 잣나무는 1960년도부터 시작하여 지금까지 꾸준히 많은 면적에 조림되어 왔으며 현재도 전체 조림면적의 30%정도를 차지하며, 1960년부터 2001년까지의 잣나무 조림면적은 약 45만 ha로 남한 전체 산림면적의 약 7%를 차지하는 중요한 경제수종이다.

이와 같은 대면적의 잣나무 인공조림지는 현재 장령림에 이르러 높은 구과 생산력을 갖고 있는데, 이러한 구과의 일부는 청설모 등의 산림동물에 의해 잣나무 인공조림지 주변에 있는 산림 내부로 옮겨져 그 곳에서 잣나무 치수가 천연발생하게 되며, 이러한 면적은 점차 확대되고 있다.

잣나무로부터 목재와 잣을 생산하기 위해서는 기존의 산림을 벌채하고 인공조림으로 단순림을 조성하는 방식이 현재까지 널리 실행되어 왔다. 그러나 이러한 잣나무 단순림 인공조림은 비용의 경제성에서 뿐만 아니라 생태환경적인 측면에서도 바람직하지 않다는 지적이 많다. 더욱이 원래 잣나무의 천연림 상태는 순림보다 활엽수와의 혼효상태가 일반적이라는 사실을 감안하면, 위와 같이 산림동물에 의해 발생한 잣나무 치수를 기존의 산림과 혼효시키는 산림사업의 방법을 개발하는 것은 그 의의가 크다고 생각한다.

이런 경우 잣나무의 전생치수 발생 임분을 면밀히 조사, 연구하여 그 생성기작과 생장과

관련된 임분구조와 입지환경인자를 파악하고, 물질생산과 양분순환의 측면을 중심으로 한 생태적인 기초 연구가 필수이며, 이를 고려한 산림 관리 방법을 체계화 할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 잣나무 치수 발생 임분에 대하여 i) 입지환경과 임분구조와 ii) 물질생산 및 임분순환의 특성을 파악하고, iii) 조림작업종 및 갱신모델을 개발하는데 목적이 있다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

잣나무치수 발생 임분의 입지환경 및 임분구조를 해명하기 위해서 춘천지역, 홍천지역 및 가평지역을 대상으로 임분의 수직·수평적 구조, 종다양성과 우점도 분석, 잣나무의 영급별, 수고별, 직경급별 밀도 관계, 표준화 모리시타 지수(standardized morista index)에 의한 잣나무의 분포양상 파악 등의 임분구조를 구명하고, 입지요인 및 토양의 화학성과 물리성을 파악하였으며, 이들 자료를 이용하여 잣나무 치수의 발생 양상과 토양·입지인자들의 관계를 해명하기 위해 ordination 분석을 실시하였다.

잣나무 전생치수의 생장 불량 문제를 해결하기 위한 시업의 기초자료를 확보하기 위해 잣나무가 천연갱신되고 있는 주요 임분인 신갈나무림, 신갈나무와 굴참나무의 혼효림, 소나무림 등 3개 임분을 대상으로 물질생산량 분포를 분석하여 임분 내에서 잣나무 전생치수의 물질생산 위치를 파악하고, 토양을 포함한 임분 전체의 양분 분포, SLA와 엽록소 함량 분석 등을 통해 다른 수종과 혼효된 상태에서 잣나무 전생치수의 생장이 불량한 원인을 구명하였다.

한편 모수림 주위에 위치한 네 가지 임상(천연활엽수림, 일본잎갈나무림, 리기다소나무림, 소나무림) 하층 부위에 자연 발생되어 자라고 있는 잣나무 전생치수를 조사하여 임상별로 분류하고 그 임상에서 생육하고 있는 잣나무 치수의 밀도와 수령에 따른 분포 및 생육 상태를 파악하여 현존 임분의 임분 상태를 파악하였다. 전생치수가 발생한 네 가지 임상 가운데 가장 치수의 발생량이 높은 천연활엽수림 임분에 대해서는 상층목에 대한 실제 간벌을 적용하여 벌채 강도에 따른 잣나무 치수의 연년 절간 생장 양상을 파악하였다. 이와 같은 내용을 기초로 네 가지 임상(천연활엽수림, 일본잎갈나무림, 리기다소나무림, 소나무림)에 대하여 조림작업종 및 천연갱신 방안을 제시하였다.

IV. 연구개발 결과

1. 잣나무치수 발생 임분의 임분구조 및 입지환경 특성

춘천, 홍천 및 가평지역의 잣나무 치수의 밀도(본/ha)는 각각 2800-7800, 1400-13800 및 1200-6600의 범위이며 평균은 각각 5971, 4862 및 3883이었다. 각 지역의 최대수령(년)은 각각 36, 34 및 27년이었다. 영급, 직경급 및 수고급의 분포는 대부분 역 J자형을 나타냈다. 각 지역에서 비교적 수고가 높은 잣나무치수들은 임분의 중층을 이루어 수직구조에 영향을 미치는 한편 중간 경쟁 상태에 있었다.

잣나무 치수의 수고 성장은 매우 느렸으며 1m와 2m 성장하는데 각각 15년과 23년이 걸렸다. 임분의 종다양성은 상층과 중층보다 관목과 초본층에서 높았으며, 잣나무치수의 공간 분포 양상은 집중분포경향을 나타냈다.

상층 간벌림의 잣나무치수의 현존량은 비간벌림의 현존량에 비해 7정도 증가하였다. 잣나무치수는 인공조림지의 잣나무에 비해 잎과 가지로의 물질분배율이 현저히 높았으며, 지상부 현존량에 대한 지하부의 현존량의 비(root/shoot ratio)는 현저히 낮았다.

잣나무치수의 LMA와 Chl/N 비는 비간벌지에 비해 간벌지에서 높았다. 대부분의 토양의 이화학적성은 우리나라와 강원지역 산림토양의 수준과 크게 다르지 않았으나, 염기포화도가 낮은 것이 특징이었다.

가평지역의 장령의 잣나무 인공림(모수림)내의 잣나무치수를 조사한 결과 밀도는 주변 잣나무림내의 치수 밀도보다 낮았으며, 약한 집중분포 양상을 보였다. 모수림에 1,8km 거리 내의 밀도는 평균 4200본/ha였다. 모수림내 치수들은 가지가 발생한 개체가 발견되지 않았고, 세근의 발달도 매우 빈약하고 부후가 진행되는 상태였다.

천연활엽수림 내 자연 발생하는 잣나무치수의 발생 특성을 구명하기 위하여 춘천, 홍천, 가평 세 지역에 조사구를 설치하고 임분구성 및 환경인자들을 조사한 자료를 이용하여 ordination 분석을 하였다. 잣나무치수의 밀도, 근원경합, 총수고합, 총수령합을 잣나무치수 발생 정도를 평가하는 척도로 하였다. 환경인자는 임분구성(생물학적 인자)과 입지환경, 토양의 물리적 성질, 토양의 화학적 성질(비생물학적 인자)로 구분하여 CCA ordination 분석을 실시하였다. 그 결과 천연활엽수림 내 자연 발생한 잣나무 근원경 면적은 물박달나무의

흉고단면적, 해발고도, 토양의 최대용수량, 기상값이 높고, 점토함량, Mg 함량이 낮은 곳에서 그 값이 높았고, 밀도는 해발고도가 높고 점토함량이 낮은 곳에서 높았으며, 총수고함은 해발고도 및 점토함량이 낮은 곳에서 높게 나타났다.

2. 잣나무치수 발생 임분의 물질생산 및 양분순환 연구

잣나무 전생치수는 하층식생의 구성원으로, 상층 임관에 의해 광선이 차단되고 하층의 다른 식생들과의 심한 경쟁 상태에 있는 것으로 나타났다. 따라서 잣나무 전생치수는 광합성 효율을 최대화하기 위해 물질 생산과 양분을 잎에 집중시키고 엽록소 함량을 높게 유지하는 등의 성장 전략을 보여주었다. 잣나무 전생치수를 상층식생으로 유도하기 위해 하층식생의 광 조건을 개선하고 잣나무 전생치수와 다른 하층식생 간 경쟁을 완화해야 할 것으로 보인다. 따라서 점진적으로 상층 임목의 밀도를 낮추고, 하층식생을 고려하여 잣나무 혼효림으로 유도할 필요가 있다. 한편 잣나무 전생치수의 양분 함량은 잣나무 인공림보다 낮게 나타났는데, 이것은 잣나무 전생치수의 물질 생산량이 잣나무 인공림보다 낮기 때문에 나타난 결과이다. 잣나무 전생치수 발생 임분에서 광조건과 하층 식생 간 경쟁 관계를 개선하여 잣나무 전생 치수가 원활하게 성장할 수 있게 되면, 현재 잣나무 전생치수가 보유한 양분보다 더 많은 양분이 필요할 것으로 보이며, 시비 관리를 고려해야 할 것이다.

3. 잣나무치수 발생 임분의 조립작업종 및 갱신모델 개발

본 연구는 잣나무 모수림 주위에 위치한 네 가지 임상(천연활엽수림, 일본잎갈나무림, 리기다소나무림, 소나무림) 하층 부위에 자연 발생되어 자라고 있는 잣나무 전생치수를 조사하여 임상별로 분류하고 그 임상에서 생육하고 있는 잣나무 치수의 밀도와 수령에 따른 분포 및 생육 상태를 파악하여 현존 임분의 임분구조를 분석하였다. 전생치수가 발생한 네 가지 임상 가운데 가장 치수의 발생량이 높은 천연활엽수림 임분에 대해서는 상층목에 대한 실제 간벌을 적용하여 벌채 강도에 따른 잣나무 치수의 연년 절간성장 양상을 파악하였다. 이러한 시업적 방법의 적용을 통해 향후, 전국에 분포된 잣나무 전생 치수 임분에 대한 적절

한 조림학적 시업 방법 및 모델을 수립하는데 중요한 생태적 정보를 제공하고자 본 연구를 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

가. 임분 유형별 임분구조 및 잣나무 전생치수의 천연갱신 양상

임상별 수종 및 그 구성 비율을 보면 활엽수림의 구성은 상층은 15가지 수종으로 구성되어 있으며 신갈나무가 74%로 가장 많았으며 다음이 떡갈나무 10%, 굴참나무 8%, 물박달나무 3%의 순으로 참나무류가 90%를 차지하는 것으로 파악되었다. 일본잎갈나무림의 상층은 일본잎갈나무가 96%를 차지하였으며 다음은 리기다소나무 2%, 신갈나무 2%로 세 수종만이 상층을 구성하고 있으며, 리기다소나무는 일본잎갈나무와 함께 인공 식재한 것으로 인정되는 일본잎갈나무 순림으로 신갈나무만이 자연 발생 수종으로 사료된다.

천연활엽수림 내 잣나무 전생치수 발생 임분에 대한 간벌 처리구별 하층 식생 조사 결과 전체 대상지 출현 종수는 64종으로 파악되었으며, 약도간벌구가 45종으로 가장 적었으며, 무처리구가 50종, 그리고 강도 간벌지가 53종으로 가장 많은 수의 종이 분포하는 것으로 파악되었다. 그러나 간벌 강도에 따른 뚜렷한 종수의 변화는 관찰 되지 않았다. 반면 일본잎갈나무림, 리기다소나무림, 소나무림에서는 상대적으로 적은 수의 하층 식생이 출현하는 것으로 파악되었다.

임분 유형별로 잣나무 전생치수의 현존 밀도는 천연활엽수림이 ha당 8,800본으로 가장 높았으며, 소나무림(4,700본/ha)→일본잎갈나무림(4,500본/ha)→리기다소나무림(2,500본/ha)의 순으로 파악되었다. 네 가지 임상 모두에서 사면경사도가 25°미만의 태양광선의 수광 조건이 양호한 사면에서의 발생량이 높았으며, 모수림과의 거리가 멀어질수록 잣나무 치수의 발생량이 감소하는 경향을 보이는 것으로 파악되었다.

나. 자연발생 잣나무와 인공조림된 잣나무의 성장 차이 및 천연갱신된 잣나무 상층에 대한 벌채 효과

비교된 모든 연령에서 인공림의 직경생장은 천연 발생된 잣나무보다 월등히 높으며, 연령의 증가와 함께 그 차이도 커지는 경향이였다. 이는 인공조림지의 경우는 연령의 증가와

함께 개개목이 광선 등 환경에 대한 경쟁이 치열해지고 수관급 분화가 일어나면서 그 차이가 심해지는 것으로 판단된다. 또한 천연갱신된 잣나무 치수와 인공조림된 잣나무에 대한 수고 성장 비교에서 모든 연령에서 인공림의 수고성장도 천연 발생된 잣나무보다 월등히 높으며, 연령의 증가와 함께 그 차이도 커지는 경향을 나타내었다.

연령과 수고의 관계는 시간에 따른 산림의 수직적 구조 변화를 예측하고 산림 시업 등 산림경영의사 결정에 중요한 정보가 될 것이다. 따라서 활엽수림 내에 천연 발생한 잣나무의 연령과 수고의 관계 파악은 현재 하층 및 중층에 생육하고 있는 잣나무 치수들이 금후 몇 년 후에는 산림의 수직적 구조를 어떻게 변화시킬 것인가라는 것을 예측 할 수 있을 것이다.

그러므로 간벌 또는 부분 벌채와 같은 적절한 시업은 천연 갱신된 잣나무 치수의 수고생장을 개선하고, 인공 조림된 임목에 가까운 성장에 접근하는 좋은 방법이라고 판단된다.

잣나무 전생치수의 발생본수가 가장 높았던 천연활엽수림 상층 임관에 대한 강도, 약도, 무처리의 간벌 강도를 실시한 결과, 간벌 강도가 높을수록 절간 생장이 높은 경향을 보였으며, 치수의 연령별 간벌에 따른 절간생장은 15년생부터 간벌 효과가 발생하여 치수의 연령이 높을수록 상층 수관의 소개 효과가 높은 것으로 파악되어 향후, 인공조림된 잣나무 모수림 주변 임상에서 천연갱신된 잣나무 치수의 성장을 향상시키기 위해서는 상층 수관 울폐도를 잔존 본 수 대비 최소 35%이상의 비율과 소규모의(0.1~0.3ha)의 군상개별작업을 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

상층 임목의 벌채에 따른 하층의 잣나무 치수의 연령별 개체수를 파악한 결과, 상층 임목의 벌채와 상관없이 5년생 미만 치수의 밀도가 현저하게 감소하는 경향을 보였다. 이것은 간벌에 따른 영향이라기보다는 치수 간 심한경쟁으로 인해 도태되었을 가능성과 모수림에 대한 최종 수확벌채로 인해 모수에서 공급되는 종자의 공급량이 현저하게 줄어들었기 때문인 것으로 판단된다.

다. 잣나무 전생치수의 수하 파종조림 및 성장과 발달에 영향을 미치는 인자

파종실험 결과, 지형적인 요인 가운데 사면경사의 경우, 종자가 받아하는데 제한요소로 작용할 가능성은 있지만, 대부분의 천연발생 잣나무 치수림이 광선조건이 좋은 남 또는 남

서, 남동 사면에 집중된 것으로 봐서 광선조건이 종자의 발아에 미치는 요인 가운데, 가장 중요한 요인으로 작용하고 있는 것으로 짐작할 수 있다.

상층임관이 울폐된 상태에서 임분 내부에 도달하는 광선 투과량은 대부분 전광대비 5% 미만이었다. 그러나 이러한 조건은 벌채를 통해 상당히 개선 될 수 있으므로 상층 임관에 대한 적절한 밀도 조절이 잣나무 등 천연갱신된 치수의 생장에 결정적 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

천연활엽수림 내 파종된 잣나무 수하 조립 시험 결과 파종된 종자 숫자에 대한 발아율에서 몇 퍼센트를 성공적 발아율로 보는지에 대한 정확한 정보나 기준이 없기 때문에 향후 이에 대한 기준 제시가 필요할 것으로 판단된다. 또한 관점에 따라 그 결과를 다르게 해석하겠지만, 남사면을 제외한 다른 사면에서는 거의 발아한 개체가 없으므로 순수한 잣 종자를 임지에 파종한 본 실험은 실패의 가능성이 높다는 결론을 내렸다. 잣 종자에 대한 수하 파종 실험의 가장 큰 실패 원인은 설치류와 같은 동물의 1차적 피해와, 발아조건(토양수분, 태양광선 등)의 미비에서 이러한 결과가 발생되었을 것으로 판단된다. 그러나 파종 종자에 대한 포식을 억제하는 약품 처리를 통한 직파 방법을 고려해 볼 수 있지만, 추가적인 비용 지출 측면에서는 인공 조립된 모수림 인근 산림에서 천연갱신으로 유도하는 것이 가장 바람직한 후계림 갱신 방법이 될 것이라고 제안하는 바이다.

라. 잣나무 전생치수 발생 임분의 조립 작업종 및 천연갱신 방안

1) 천연활엽수림

잣나무 전생치수가 생육하고 있는 신갈나무 우점 천연활엽수림의 경우, 실제 간벌 시험에서 잔존 본수의 100%를 벌채 하였을 때, 하층 치수의 생육이 가장 왕성하였다. 그러나 임업 생산적인 측면에서 잣나무 치수의 천연갱신을 위해 상층 임목을 대면적으로 벌채 할 수는 없는 일이므로 소면적(0.1-0.3ha) 개별작업을 군상으로 실시하는 방법을 적용하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

천연활엽수림의 경우, 상층 임목의 연령이 약 40년생에 도달하였을 때 군상 개별작업으로 상층 임목을 매 20년 마다 벌채 하도록 계획하였으며, 상층목의 윤벌기는 100년으로 설

정하였다. 현존 임분 밀도가 ha당 1,450본에서 점차 밀도를 줄여나가며, 매 20년 마다 ha당 600본(40년생)→400본(60년생)→200본(80년생)→20본(100년)으로 임분 밀도를 조절할 수 있을 것이다. 잣나무 전생 치수의 현존 밀도는 ha당 약 8,800본으로 네 가지 임분 가운데 가장 높은 치수가 발생하였음을 알 수 있다. 치수 연령이 15년생 일 때 시업에 착수하여 본수를 매 20년 마다 ha당 3,000본(15년생)→1,500본(35년생)→500본(55년생)→250본(75년생)으로 조절하여 향후 천연 갱신된 활엽수종과 잣나무 유령목을 혼효림으로 유도하는 것이 생태적으로 바람직 할 것으로 판단된다.

2) 일본잎갈나무림

잣나무 전생치수가 자라고 있는 인공조림된 일본잎갈나무림의 현존 본수는 ha당 약 1,450본으로 조사되었다. 조림 초기 ha당 3,000본으로 조림되었음을 감안할 경우, 그동안 1-2회 정도 간벌작업이 수행되었을 것으로 판단된다. 일본잎갈나무림에서는 임분 연령이 30년생일 때 ha당 700본으로 간벌을 실시해주고 매 10년 마다 ha당 500본(40년생)→400본(50년생)→300본(60년생)으로 추가 간벌을 실시해 주며, 윤벌기인 60년에 도달하였을 때는 상층 임목 모두를 벌채하여 257.4m³의 재적수확이 기대된다.

하층에서 생육하는 잣나무 치수는 주변 임분에서 유입된 천연활엽수종과 혼효를 시켜 후계림을 유도하도록 하였으며, 현존 치수의 본수는 ha당 4,500본으로 천연활엽수림의 8,800본/ha의 절반 수준이지만 소나무림의 4,600본/ha과 유사한 발생량을 보였다. 잣나무의 연령이 15년생일 때 시업에 착수를 하여 매 10년 마다 잣나무 치수에 대한 본수를 제거 하도록 계획하였는데, 25년생일 때 ha당 2,500본의 치수를 남기고 1,600본(35년생)→800본(45년생)→400본으로 잣나무 치수의 밀도를 조절해 주어 활엽수림과 혼효림을 이루도록 유도하는 방법을 고려해 보았다. 천연갱신된 치수의 경제성이 없을 것으로 판단될 경우, 내음성이 강한 수종으로 인공조림하는 것도 하나의 방안이 될 수 있을 것이다.

3) 리기다소나무림

인공조림된 리기다소나무림의 현존 임분 밀도는 ha당 1,450본으로 초기 3,000본 식재 후

1-2회의 간별이 수행되었을 것으로 판단된다. 윤별기를 60년으로 설정하고 시업 착수는 30년생일 때 밀도조절을 실시하여 ha당 800본(30년생)→500본(40년생)→300본(60년생)으로 상층 임목에 대한 밀도 조절을 실시하여 윤별기인 60년에 도달하였을 때 ha당 251.8m²의 재적수확을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

상층임관 아래 생육하고 있는 잣나무 전생치수의 현존 밀도는 ha당 2,500본으로 조사가 이루어진 네 가지 임상 가운데 가장 적은 밀도를 보이고 있다. 상층목의 밀도조절 시기와 같이 10년 마다 치수의 밀도를 조절하도록 하여 1,800본(25년생)→1,200본(35년생)→800본(45년생)→400본으로 밀도를 조절하는 방안을 제시하였다.

4) 소나무림

소나무림의 윤별기는 60년으로 설정하였다. 현존 임분밀도가 ha당 2,000본으로 임령이 30년일 때 시업에 착수하여 군상개별 작업을 매 10년마다 실시함으로써 800본(40년생)→500본(50년생)→250본(60년생)으로 상층 임분에 대한 밀도조절을 수행하여 윤별기인 60년에 도달하였을 때는 ha당 199m²의 재적수확을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

하층에 생육하는 잣나무 치수는 ha당 4,700본으로 천연활엽수림의 절반수준에 해당된다. 상층목의 밀도조절 시기와 마찬가지로 매 10년마다 2,500본(25년생)→1,600본(35년생)→800본(45년생)→400본으로 잣나무 치수의 밀도조절을 수행하도록 계획하였다.

임분 유형별로 잣나무 치수의 성공적인 천연갱신과 중·상층림으로의 유도를 위해서는 상층목에 대한 적절한 밀도조절과 함께 치수 층에 자라고 있는 덩굴성 식물과 경쟁목에 대한 어린나무가꾸기 수준의 작업이 필요할 것으로 판단되며, 옹이 없는 고급재를 목표로 한다면, 상층임목과 잣나무 유령목에 대한 가지치기 작업을 병행해 주는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

SUMMARY

I . The Title of Study

Analysis of Ecological characteristics and Development of Forest Management Model for the Korean Pine (*Pinus koraiensis*) Advance Growth Occurring Stand

II . Objectives and Necessity of Study

Korean pine (*Pinus koraiensis*) is native to Korea, produces valuable wood, and has been planted as a major tree species throughout the country except for Cheju Island. Also the species produces nuts for food and medicine, and consequently, the species is preferred to other coniferous species. The species occupies about 30% of total plantation area, and the planted area from 1960 through 2001 is estimated to 450,000ha which is equivalent to 7% of total forest land area in south Korea.

The plantation is mature to produce nuts, and the nuts are carried to adjacent areas by animals and birds. Seedlings from these nuts occur naturally and the area of advance growth is increasing rapidly.

To produce wood and nuts previously the species was planted as a pure stand after harvesting natural forests. However, it was pointed out that the practice is costly and ecologically unsound. Furthermore, natural Korean pine forests are found to be mixed forests with deciduous species rather than pure forests. Developing a practice for advance growth with other tree species would be useful.

To achieve the goal it is necessary to study the advance growth with emphasizing stand structure, environmental factors, production and nutrient cycling for seedlings and also to investigate forest management systems for the species.

The objective of the study is to investigate 1) stand structure and environmental factors, 2) production and nutrient cycling, and 3) silvicultural practice and regeneration model for Korea pine.

III. Contents and Scope of Study

To study stand structure and environmental factors, three stands (Chuncheon, Hongcheon, and Gapyeong) were selected, stand characteristics including horizontal and vertical structure, diversity and dominance analysis, densities with age, height, and diameter classes, and standardized morista index were studied, environmental factors and soil chemical and physical properties were examined, and the ordination analysis was employed to investigate the relationship between advance growth and environmental factors.

To collect data for improving advance growth three stands (*Quercus mongolica*, mixed *Q. mongolica* and *Q. variabilis*, and *Pinus densiflora*) were selected. Allometric equations were developed to estimate production and biomass allocation. Also nutrient distribution including soils was studied and SLA and chlorophyll contents were measured to investigate possible causes for poor advance growth for the species.

Four stands (natural deciduous stand, *Larix leptolepis* stand, *Pinus rigida* stand, and *Pinus densiflora* stand) adjacent to plantations were selected to study naturally occurring advance growth in understory vegetation. Seedlings were classified depending on stand types, densities, and stand age classes. Thinning was applied to the natural deciduous stand to investigate the relationship between thinning intensity and seedling growth. Silvicultural practices and regeneration model were presented for the other stand types based on the results of thinning for the natural deciduous stand.

IV. Results

1. Characteristic of Stand Structure and Environmental Factors for the Korean Pine Advance Growth Occurring Stand

Seedling density range and average density (number per ha) were 2800-7800 and 5971 for Chuncheon, 1400-13800 and 4862 for Hongcheon, and 1200-6600 and 3883 for Gapyeong. Maximum seedling age (year) was 36, 34 and 27, respectively. In general, there was a reverse J shape pattern for age, diameter and height classes. Seedlings with moderately high height classes were found with codominant trees and competing with other species.

Seedling growth was very slow and heights of 1m and 2m were reached at the ages of 15 and 23 years. Species diversity was higher in the shrub and herbaceous layers than in the overstory layers, and seedlings were distributed as clumped patterns.

Seedling biomass in the thinned stands was 7 times higher than those in the unthinned stands. Allocation to needles and branches was higher in advance growth than in plantations, and root to shoot ratio was significantly lower in advance growth.

Ratios of LMA and Chl/N for seedlings were higher in the thinned stands than in the unthinned stands. Soil chemical and physical properties were similar to those for common forest soils, however, base saturation was low.

Seedling density in plantations of Gapyeong was lower than in other adjacent stands, and also showed weak clumped patterns. Average seedling density from 1.8km from the plantation was 4200 per ha. Advance growth had undeveloped branches and fine roots, fine roots were under decomposition.

Taking into consideration of naturally regenerated *Pinus koraiensis* wildlings in the deciduous stand, this study was carried out to investigate the stand composition and environmental factor of temporally established sample plots in Chuncheon, Hongcheon and Gapyeong. The density, total collar area, total height and total age of *Pinus koraiensis* were used as evaluating factor for analyse the occurrence degree of *Pinus koraiensis* wildlings. Ordination by the method of CCA

was examined for evaluate the occurrence degree of *Pinus koraiensis* with four environmental factors, stand composition(bio-environmental), site condition, soil physical properties and soil chemical characteristics, respectively. The collar area are higher in region with larger basal area of *Betula davurica*, high altitude, larger soil water holding capacity, high gaseous and in region with high altitude and lower clay concentration. The total height are higher in region with lower altitude and clay concentration.

2. Production and nutrient cycling for the Korean pine Advance Growth Occurring Stand

Natural regeneration of *P. koraiensis* would be economically and environmentally sound compared to artificial plantation. To collect the basic information for natural regeneration of the species biomass and nutrient cycling for *P. koraiensis* advance growth were investigated in *Q. mongolica*, mixed *Q. mongolica* and *Q. variabilis*, and *P. densiflora* stands. *P. koraiensis* seedlings were suppressed with limited sunlight by overstory and understory vegetation. The seedlings allocated more biomass and nutrient into foliage compared to other overstory vegetation. Practices to increase seedling growth for natural regeneration would be 1) to improve light condition with thinning and weeding and 2) to supply nutrient.

3. Development of Silvicultural Tending Methods and Regeneration Model for the Korean Pine Advance Growth Occurring Stand

The natural occurrence of Korean pine offsprings in the four (natural deciduous forest, *Larix kaempferi* forest, *Pinus rigida* forest, and *Pinus densiflora* forest) different forest types was investigated to develop silvicultural tending methods and regeneration model by understanding stand structure such as distribution and growth. The canopy of the natural deciduous forest, in which greatest number of Korean pine offsprings occurred among studied forest types, has been opened by different thinning level to examine internode growth of Korean pine seedlings for various stand density levels. This practical and field oriented study was carried out to provide

essential information so as to establish the appropriate scheme for silvicultural treatment and to develop model for the Korean pine advance growth occurring stand.

A. The stand structure and regeneration pattern in the Korean pine advance growth occurring stand.

The Korean pine advance growth occurring natural deciduous forest was composed of 15 tree species. The most dominant species was *Quercus mongolica* estimated as 74%, followed by *Q. dentata* (10%), *Q. variabilis* (8%), and *Betula davurica* (3%), occupying (90%) of the canopy. In *Larix kaempferi* forest, the larch was composed of 96% of the canopy density, in addition 2% of *Pinus rigida*, once supposed to be planted, and 2% of naturally grown *Quercus mongolica*.

Sixty four understory plant species were presented all of the area in the Korean pine advance growth occurring natural deciduous forest. The plots of light thin supported 45 understory plant species, 50 species in control plots, and 53 species in heavy thin plots, but there was not statistically significant difference among treatment plots. On the other hand, relatively small number of understory plant species were growing in the *Larix kaempferi* forest, *Pinus rigida* forest, and *Pinus densiflora* forest.

The number of naturally grown Korean pine offsprings per hectare were estimated 8,800 in the natural deciduous forest, 4,700 seedlings in the *Pinus densiflora* forest, 4,500 seedlings in the *Larix kaempferi* forest, and 2,500 seedlings in the *Pinus densiflora* forest. The number of Korean pine offsprings was largest in the area of less than 25° of slope with favorable sun light condition in all four forest types. On the contrary, the occurrence of Korean pine seedlings was decreased as the study stand located far from the stand of seed source.

B. The comparison of growth of the Korean pine seedlings between natural occurrence and artificial plantation and the effect of canopy openings.

The diameter and height growth of Korean pine trees in artificial plantation was much higher

than those of naturally occurring trees in all age classes, and the differences were getting greater as the trees were older. Mainly because those Korean pine trees in artificial plantation that could be more vigorous or better adapted to the environment were most likely to survive the intense competition for light, moisture, and nutrients, generating crown classes and bigger differences as trees got older.

The relationship between age and height of the trees would be used in the prediction of the change of stand structure as time went by and become important information in the decision making process of forest management. Accordingly, we could predict how the stand structure of the natural deciduous forest would be changed by the understanding of the relationship between age and height of naturally occurring Korean pines. From this point of view, we suggest appropriate thinning or partial cutting of hardwood canopy to improve the site condition within the stand to enhance height growth of naturally occurring Korean pine trees, catching up the growth of plantation.

In order to investigate the growth of Korean pine offsprings by canopy opening, we thinned the Korean pine advance growth occurring natural deciduous forest with three different levels, light thinning, heavy thinning, and control. The general results indicated that the growth rate of internode of the offspring was increased as thinning intensity was increased. The canopy opening for the growth of internode became effective at the age of 15, getting increased as offsprings were older. The results of study recommend that the canopy coverage would be maintained at least more than 35% or the target stand would be clear-cut in small patch of 0.1-0.3 hectare to enhance the growth of naturally occurring Korean pine trees.

The number of younger than 5 years of Korean pin seedlings tended to be sharply decreased regardless of thinning intensity. It is not because of thinning itself but because of the competition among seedlings for survival or insufficient amount of seed supply by harvesting of adjacent seed source stands.

C. The influencing factors on the direct seeding, growth, and development of Korean pine

Recognizing the concentration of naturally occurring Korean pine seedling on the aspect of south, southeast, and/or southwest, the result of seeding experiment of the Korean pine showed that light condition was supposed to be the most decisive factor to influence on the germination of Korean pine seeds.

In the stand of closed canopy transmitted sunlight to the inside of the stand was less than 5% of full sunlight. However, since the amount of transmitted sunlight can be considerably increased by the opening of the canopy, appropriate regulation of stand density can promote the growth rate of regenerated Korean pine offsprings.

Showing that only few seeds germinated except on the south facing slope, seeding experiment of Korean pine was hardly successful. Unsatisfactory germination results were presumably owing to the predation of pine seeds by rodents and other seed-eating animals and unfavorable germinating conditions (soil moisture, light, etc.) of the experimental site. It can be considered the application of chemicals to seeds before sowing, which might prevent rodents and seed-eating animals from consuming Korean pine nuts, but requiring extra cost and labor. Reviewing all the results and findings from this study, it is more desirable to induce natural regeneration of Korean pine from the seed source of adjacent mature Korean pine stands.

D. The silvicultural system and regeneration scheme for the Korean pine advance growth occurring stand.

1) The natural deciduous forest

In the Korean pine advance growth occurring natural deciduous forest which was dominated by *Quercus mongolica*, 100% cutting of overstory hardwoods showed best result in the growth of naturally occurring Korean pine trees. However, clearcutting of large area sometimes produce adverse environmental and social effect in spite of economical and convenient, small patch (0.1-0.3 ha) clearcutting is recommended to enhance the growth of pine seedlings and yield the hardwood timber.

Setting the rotation of 100 years, the overstory trees of the natural deciduous forest was planned to apply small patch clearcutting at the age of 40, continuously cutting every 20 years. Present stand density was 1,450 trees per hectare, reducing the number of trees at every 20 years, regulating as 600 trees per hectare (40 years) → 400 trees (60 years) → 200 trees (80 years) → 20 trees (100 years). Present number of naturally occurring Korean pine seedlings were recorded as 8,800 per hectare, largest among four forest types. The thinning or improvement cutting operation would be started at the age of 15, reducing the number of trees at every 20 years, regulating as 3,000 trees per hectare (15 years) → 1,500 trees (35 years) → 500 trees (55 years) → 250 trees (75 years), and finally establishing the hardwood-Korean pine mixed stand.

2) The *Larix kaempferi* forest

The number of trees per hectare in the Korean pine advance growth occurring *Larix kaempferi* forest was about 1,450. Under the assumption of initial planting of 3,000 trees per hectare, it can be noticed that thinning practices have been performed once or twice until this time. The thinning or improvement cutting operation would be started at the age of 30, being 700 trees per hectare of stand density, and continuous thinning at every 10 years, making 500 trees per hectare (40 years) → 400 trees (50 years) → 300 trees (60 years). At the rotation of 60 years, all timber will be harvested, expecting to produce 257.4m³ of timber.

Naturally occurring Korean pine trees in the understory would be mixed with some hardwoods from adjacent forests, inducing the mixed stand. The number of Korean pine offsprings were 4,500 per hectare, half of those in the natural deciduous forest but similar to those in the *Pinus densiflora* forest. The thinning or improvement cutting operation would be started at the age of 15, reducing the number of trees at every 10 years, regulating as 2,500 trees per hectare (25 years) → 1,600 trees (35 years) → 800 trees (45 years) → 400 trees (55 years), and finally establishing the hardwood-Korean pine mixed stand. Alternative regeneration method could be artificial planting with shade tolerant tree species.

3) The *Pinus rigida* forest

The number of trees per hectare in the Korean pine advance growth occurring *Pinus rigida* forest was about 1,450. Under the assumption of initial planting of 3,000 trees per hectare, it can be noticed that thinning practices have been performed once or twice until this time. The thinning or improvement cutting operation would be started at the age of 30, being 800 trees per hectare of stand density at the age of 30, continuously making 500 trees per hectare (40 years) → 300 trees (60 years). At the rotation of 60 years, all timber will be harvested, expecting to produce 251.8m³ of timber.

The number of Korean pine offsprings were 2,500 per hectare, showing the least density among four surveyed forest types. The thinning or improvement cutting operation would be started at the same time for the overstory trees, reducing the number of trees at every 10 years to become 1,800 trees (25 years) → 1,200 trees (35 years) → 800 trees (45 years), and eventually leaving 400 Korean pine trees.

4) The *Pinus densiflora* forest

The rotation of *Pinus densiflora* was established as 60 years. The overstory trees of the *Pinus densiflora* forest was planned to apply small patch clearcutting at the age of 30, continuously cutting every 10 years. Present stand density was 2,000 trees per hectare, regulating as 800 trees per hectare (40 years) → 500 trees (50 years) → 250 trees (60 years). At the rotation of 60 years, all timber will be harvested, expecting to produce 199m³ of timber.

The number of Korean pine offsprings were 4,700 per hectare, showing half amount of those in the natural deciduous forest. The thinning or improvement cutting operation would be started at the same time for the overstory trees, reducing the number of trees at every 10 years to become 2,500 trees (25 years) → 1,600 trees (35 years) → 800 trees (45 years), and eventually leaving 400 Korean pine trees.

It is recommended that the silvicultural activity should be done for such practices of the

appropriate opening of canopy trees and weed control and/or release cutting of the offsprings simultaneously, so as to make successful regeneration and better stocked stands originated from naturally occurring Korean pine seedlings. On the basis of economical analysis, pruning should be considered as additional treatment to produce better quality of timber for canopy trees and Korean pine offsprings.

CONTENTS

Chapter I . Introduction	52
Paragraph 1. Necessity of study	25
Paragraph 2. Purpose of the study	27
Chapter II . Current situation of domestic and foreign development technology	82
Paragraph 1. Current situation and problem of the related technology	28
Paragraph 2. Prospect to the front	28
Paragraph 3. Adequacy of the technology introduction	29
Chapter III. Contents and results of study	103
Paragraph 1. Characteristic of Stand Structure and Environmental Factors for the Korean Pine Advance Growth Occurring Stand	30
1. Objectives and contents of study	30
2. Results	37
A. Stand structure	37
B. Production	52
C. Environmental factors and soils	59
D. Ordination	67
3. Conclusions	76
Paragraph 2. Production and nutrient cycling for the Korean pine Advance Growth Occurring Stand	78
1. Objectives and contents of study	78
2. Results	81
A. Vegetation structure and characteristics	81

B. Production	94
C. Nutrient distribution	98
D. Production and nutrient contents for stands	109
3. Conclusions	111
Paragraph 3. Development of silvicultural tending methods and regeneration model for the Korean pine advance growth occurring stand	112
1. Objectives and contents of study	112
2. Results	128
A. Analysis of ecological structure for the Korean pine advance growth occurring stand	128
B. Model of cutting treatment for the Korean pine advance growth occurring stand	137
C. Analysis of regeneration pattern for seeding of Korean pine	151
E. The influencing factors on growth and development of seedlings of Korean pine	157
F. Silvicultural tending methods for the Korean pine advance growth occurring stand	163
G. Natural regeneration scheme for the Korean pine	165
3. Conclusions	169
Chapter IV. Target achievement rates and contributions in associated field	871
Paragraph 1. Accomplishment	178
Paragraph 2. Contribution	181
Chapter V. Foreign technology data collected in the development study process	381
Chapter VI. References	186

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	25
제 1 절	연구개발의 필요성	25
제 2 절	연구개발의 목적	27
제 2 장	국내외 기술개발 현황	28
제 1 절	국내·외 관련기술의 현황과 문제점	28
제 2 절	앞으로의 전망	28
제 3 절	기술도입의 타당성	29
제 3 장	연구개발 수행 내용 및 결과	30
제 1 절	잣나무치수 발생 임분의 입지환경 및 임분구조의 특성	30
1.	연구개발 목표 및 내용	30
가.	연구결과 목표 및 내용	30
나.	연차별 연구개발 목표와 내용	31
다.	연구개발 방법 및 설계	32
2.	연구결과	37
가.	임분구조	37
나.	물질생산	52
다.	입지와 토양	59
라.	Ordination	67
3.	결 론	76
제 2 절	잣나무치수 발생 임분의 물질생산 및 양분순환 연구	78
1.	연구개발 목표 및 내용	78
가.	연구결과 목표 및 내용	78

나. 연차별 연구개발 목표와 내용	78
다. 연구개발 방법 및 설계	79
2. 연구결과	81
가. 식생구조 및 특성	81
나. 물질생산	94
다. 양분분포	98
라. 임분별 물질생산량과 양분함량 비교	109
3. 결 론	111
제 3 절 잣나무치수 발생 임분의 조림작업종 및 갱신모델 개발	112
1. 연구개발 목표 및 내용	112
가. 연구결과 목표 및 내용	112
나. 연차별 연구개발 목표와 내용	115
다. 연구개발 방법 및 설계	117
2. 연구결과	128
가. 잣나무 전생치수 발생 임분의 생태계 구조 분석	128
나. 잣나무 전생치수 발생 임분의 시업적 처리 모델	137
다. 잣나무 수하 파종조림에 의한 갱신 양상 분석	151
라. 잣나무 수하 치수의 성장과 발달에 영향을 미치는 요인	157
마. 잣나무 전생치수 발생 임분의 조림작업종	163
바. 잣나무 천연 갱신 방안	165
3. 결 론	169
제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도	178
제 1 절 연구개발 목표 달성도	178
제 2 절 관련분야에의 기여도	181
제 5 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	183
제 6 장 참 고 문 헌	186

제 1 장 연구개발 과제의 개요

제 1 절 연구개발의 필요성

잣나무는 지구상에 분포하는 100여개의 소나무 속 수종 가운데 유일하게 한국산 (*koraiensis*)이란 종명을 가진 수종이다. 잣나무는 자연적으로는 한국, 일본, 만주, 시베리아 등지에 분포하는 수종으로서 우리나라에서는 중부 이북지방에 주로 분포하고 중부 이남지방에서는 고산지대에 불연속적으로 분포한다.

잣나무는 양질의 목재를 생산하는 경제수종으로써 우리나라에서 주요 조림수종으로 선정되어 제주도를 제외한 거의 전역에 식재되고 있다. 또한 식용이나 약용으로 이용되는 잣을 생산할 수 있으므로 타 수종에 비하여 조림 선호도가 높은 수종이다. 잣나무는 1960년도부터 시작하여 지금까지 꾸준히 많은 면적에 조림되어 왔으며 현재도 전체 조림면적의 30%정도를 차지하는 가장 중요한 조림수종이다. 1960년부터 2001년까지의 잣나무 조림면적은 약 45만 ha로 남한 전체 산림면적의 약 7%를 차지하는 중요한 경제수종이다.

이와 같은 대면적의 잣나무 인공조림지는 현재 장령림에 이르러 높은 구과 생산력을 갖고 있는데, 이러한 구과의 일부는 청설모 등의 산림동물에 의해 잣나무 인공조림지 주변에 있는 기존의 산림 내부로 옮겨져 그곳에서 잣나무 치수가 천연 발생하게 되며, 이러한 면적은 점차 확대되고 있다.

장령림에 이른 잣나무 인공 조림지 안에서는 분해가 어려운 두꺼운 침엽수 임상의 유기물과 임내 광선의 부족 등으로 치수의 발생 또는 생육이 어렵지만, 상대적으로 활엽수림이나 상층의 유효도가 낮은 산림에서는 임상 유기물의 분해가 상대적으로 빠르고 임내의 광환경이 비교적 양호하게 되어 잣나무 치수의 발생 및 성장이 용이하다.

이와 같은 상황에 놓여있는 산림에 대한 연구의 필요성을 i) 기술적 측면, ii) 경제·산업적 측면, 그리고 iii) 사회·문화적 측면에서 살펴보면 다음과 같다.

1. 기술적 측면

잣나무로부터 목재와 잣을 생산하기 위해서는 기존의 산림을 벌채하고 인공조림으로 단순림을 조성하는 방식이 현재까지 널리 실행되어 왔다. 그러나 이러한 잣나무 단순림 인공조림은 비용의 경제성에서 뿐만 아니라 생태환경적인 측면에서도 바람직하지 않다는 지적이 많다. 더욱이 원래 잣나무의 천연림 상태는 순림보다 활엽수와의 혼효상태가 일반적이라는 사실을 감안하면, 잣나무를 천연적으로 안정된 혼효림으로 유도할 필요가 있다.

특히 우리나라의 잣나무 인공조림지 인근 산림에서 흔히 볼 수 있는 활엽수림 또는 침엽수림과의 혼효상태는 이러한 가능성이 충분하다는 사실을 내포하는 것이다. 그러나 현재까지 잣나무 천연림의 갱신, 성장 증대를 위한 구체적인 연구가 거의 진무한 실정이다.

따라서 잣나무의 전생치수 발생 임분을 면밀히 조사, 연구하여 그 생성기작과 성장과 관련된 임분구조와 입지환경인자를 파악하여, 이를 조림경영적인 기초자료로 활용할 필요가 있다. 특히 산림경영과 관리에서 생태계 안정성이 매우 중요하게 취급되고 있으므로, 생태계의 물질 생산과 양분 순환의 측면에서 잣나무 전생치수 발생 임분을 집중적으로 연구할 필요성이 있다.

2. 경제·산업적 측면

목재자원으로써 잣나무는 물론이고 우리나라 중요한 임산물의 하나인 잣은 중국산에 비하여 비록 가격면에서 경쟁력이 낮다하더라도 품질은 매우 우수하여 앞으로 경제적인 여건의 변화에 따라 잣나무는 농산촌의 소득증대에 큰 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 전망을 기초로 잣나무의 인공림 조성과 관리에 소요되는 비용을 절약하는 천연혼효림을 조성하고 이를 바탕으로 성장을 증대할 수 있는 시업방안이 도출되면 경제성은 더욱 향상될 것이다. 합리적인 시업방안은 생태계 기능이 적절하게 유지되는 방향으로 정해져야 하므로 본 연구를 통하여 잣나무 전생치수 발생 임분의 형성에 미치는 제반 입지환경 인자 및 물질 생산 구조가 밝혀지면 현재보다도 경제적인 면에서 효율적인 각종 시업방안을 제안할 수 있을 것이다.

3. 사회·문화적 측면

사회에서 자연환경에 대한 관심이 고조되면서 이전과 같은 대면적의 산림을 일시에 개별하고 인공단순림을 조성하는 산림조성 방법을 적용하는 것은 매우 어렵다. 따라서 주변 기존 임분에서 천연적으로 혼효된 상태의 잣나무림을 성공적으로 조성, 관리하고 이로부터 수익을 얻을 수 있다면 산림의 친환경적인 이용관리에 대한 사회적인 인식을 제고할 수 있는 계기가 될 것이다.

제 2 절 연구개발의 목적

위와 같이 우리나라에 대면적으로 인공조림된 잣나무림은 대부분이 결실 연령에 이르러 주변의 산림은 우리가 원하건 아니건 산림동물의 생태적 습성에 의해 잣나무 치수가 발생하여 혼효하게 되고 점차 확산될 것이다.

이러한 산림에 대하여 위와 같은 기술적, 경제·산업적 및 사회·문화적 측면의 필요성을 고려한 산림관리 기술의 기반확립이 필요하다. 산림 관리에 있어서는 생태계의 특징을 파악하고 이를 고려한 관리기술의 개발이 필요하므로, 본 연구에서는 잣나무 치수 발생임분에 대하여, i) 입지환경과 임분구조와, ii) 물질생산 및 임분 순환의 특성을 파악하고, iii) 조림작업 종 및 갱신 모델을 개발하는데 목적이 있다.

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

제 1 절 국내·외 관련기술의 현황과 문제점

잣나무순림을 대상으로 한 입지환경과 생장에 대한 연구는 있으나(이, 1998 ; 정, 1981) 현재까지 천연갱신되고 있는 잣나무 치수림에 대한 구체적인 연구가 수행된 결과는 극히 일부이다. 외국의 경우 Barnes 등(1992)이 중국 장백산에서 잣나무 천연림의 구조를 연구한 결과가 있으나, 이 역시 임분상태를 조사한 내용 위주이다. 비록 손 등(2001)에 의해 잣나무 천연림에서의 물질생산량 추정을 위한 회귀식 조제연구가 일부 이루어졌으나, 잣나무 전생치수 발생 임분에서의 입지환경 인자 분석이나 생태계 내 잣나무와 다른 임목간의 물질생산 분배구조 및 양분순환 측면의 연구는 전혀 이루어진 바가 없다. 한편 이원섭(2002)은 잣나무 천연발생 임분을 임상별로 구분하고 밀도와 분포, 성장상태를 파악하고 성장 및 분포상태와 환경인자의 관계를 분석하고 이들 임분에 대한 조림학적 처리를 제안하였으나, 구체적인 작업종과 갱신작업의 실연연구에 의한 뒷받침이 결여되어 있다.

이와 같이 본 연구에서 지향하는바와 같이, 잣나무 전생치수 발생 임분을 유형별로 구분하여 입지환경, 임분구조, 물질생산 및 물질순환과 같은 생태적 특성을 심도있게 분석하고, 이를 토대로 작업종 및 갱신방법의 수준을 달리하는 실연연구를 바탕으로 경영모델의 개발을 목적으로 하는 통합적 연구는 없다. 따라서 잣나무 인공조림지의 확대와 임령의 증가에 따라 인접한 기존 산림 내에 잣나무 천연치수 발생지역이 점차 확대되어 가는 현실을 감안할 때 본 연구는 시의성이 매우 크다고 생각된다.

제 2 절 앞으로의 전망

잣나무림의 전생치수 발생 임분을 통한 갱신이 성공적으로 이루어지게 되면 조림에 의한 인공갱신보다 비용을 절약을 할 수 있게 되고, 인간의 개입 없이 자연적으로 이루어지는 갱신으로 자연 친화적인 산림 경영을 할 수 있게 된다. 이렇게 형성된 잣나무림은 생태적으로 안정된 상태를 유지하기 때문에 앞으로 닥쳐올지 모르는 자연환경이나 생태계 변화에 대해

보다 효과적인 대처를 할 수 있게 될 것이다.

이와 같이 잣나무치수 발생림의 생태적 특성을 충분히 고려한 산림관리 모델을 구축한다면 안정된 생태계를 유지하면서 경제성 면도 기대할 수 있는 산림으로 유도할 수 있을 것이다.

제 3 절 기술도입의 타당성

전체적으로 국내의 학문적 수준으로 보아 본 연구를 수행하는데 기술도입의 필요성은 크지 않다. 더욱이 잣나무는 우리의 고유수종이기 때문에 그 동안에 축적된 학문적, 기술적인 지식과 경험이 외국에 비해 풍부한 편이기 때문에 이를 바탕으로 충분히 연구를 수행할 수 있다고 생각된다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

본 연구는 다음과 같이 크게 3가지 주제로 구성되어 있다.

- i) 잣나무치수 발생 임분의 입지환경 및 임분구조의 특성 구명
- ii) 잣나무치수 발생 임분의 물질생산 및 양분순환 연구
- iii) 잣나무치수 발생 임분의 조림작업종 및 갱신모델 개발

따라서 본 장에서는 위의 3가지 주제별로 각각의 연구수행 내용 및 결과를 기술한다.

제 1 절 잣나무치수 발생 임분의 입지환경 및 임분구조의 특성

1. 연구개발 목표 및 내용

가. 연구개발 목표 및 내용

장령의 잣나무 인공림 조림지 주변의 기존 산림 내에는 청설모와 같은 산림동물이 옮겨 저장된 잣나무 종자에 의해 잣나무 치수가 발생하는데, 이와같은 산림에서 잣나무의 혼효등을 고려한 시업을 계획할 때 이들 잣나무 치수발생 임분의 입지환경 및 임분구조를 해명하는 것은 중요한 기초정보가 된다. 따라서 본 절의 연구에서는 춘천지역, 홍천지역 및 가평지역을 대상으로 임분의 수직 수평적 구조, 종 다양성과 우점도 분석, 잣나무의 영급별, 수고별, 직경급별 밀도 관계, 표준화 모리시타 지수(standardized morista Index)에 의한 잣나무의 분포양상 파악 및 임분구조를 구명하고, 입지요인 및 토양의 화학성과 물리성을 파악하였으며, 또한 광환경을 가늠하기 위해 잣나무치수의 LMA, 엽록소, 엽록소/N비율, 간벌지와 비간벌지의 현존량을 측정하였다. 또한 잣나무치수의 발생 양상과 토양·입지인자들의 관계를 해명하기 위해 ordination 분석을 실시하였다.

나. 연차별 연구개발 목표와 내용

구 분	1 차 년 도 (2003)
연구개발 목표	잣나무 치수 발생 임분의 임분구조 파악
연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 종구성 분석 : 수관층별 중요치 산출 및 초본류의 출현빈도 파악 ▪ 종다양도 및 우점도 분석 : 임분별 Shannon-Wiener의 종다양도 분석 및 상대 우점도 산출 ▪ 분포지수 산출 : Standardized Morisita Index 산출 ▪ 자연 발생 잣나무의 밀도, 생육양상 파악
연구개발 결과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 임분의 수평적, 수직적 구조 파악 ▪ 주요 수종의 생육 특성 및 갱신 기작 파악 ▪ 임분별 잣나무의 발생 및 생육 상태 비교

구 분	2 차 년 도 (2004)
연구개발 목표	잣나무 치수 발생 임분의 입지환경 구명
연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지형인자 분석 : 경사도, 사면방위, 지형적 위치, 해발고 등 파악 ▪ 광선 조건 분석 : 엽록소, LMA, 엽록소/N비율, 비간별지와 간별지의 현존량 추정 ▪ 입지 분석 : 산림청과 USDA 요령에 의거한 산림입지 조사 ▪ 토양의 물리적 성질 분석 : 토양수분, 토양비중, 투수계수, 토양3상, 공극률, 토성 등을 파악 ▪ 토양의 화학적 성질 분석 : 토양 pH, N, 유효태 P, 지환성 K, Ca, Mg 및 CEC, C 등 분석
연구개발 결과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 임분의 지형조건 및 광선조건 파악 ▪ 토양단면도 작성, 토양의 이화학성 파악

구 분	3 차 년 도 (2005)
연구개발 목표	잣나무 치수 발생 임분의 입지환경과 임분구조와의 관계 분석
연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 입지별 잣나무의 수령 분포 파악 및 평균 성장량 산출 및 비교 ▪ 잣나무 발생에 따른 입지특성 차이 파악 ▪ Ordination 분석: 잣나무 발생과 입지환경과의 관계 규명을 위한 ordination 분석
연구개발 결과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 잣나무 발생 및 생육에 적합한 임분구조에 대한 정보 제공 ▪ 잣나무 발생 및 생육에 적합한 입지특성에 대한 정보 제공

다. 연구개발 방법 및 설계

1) 연구대상지

잣나무 치수가 발생하고 있는 강원도 춘천시 동산면(춘천지역), 강원도 홍천군 북방면(홍천지역) 그리고 경기도 가평군 상면(가평지역) 등 3개 지역에서 각각 7개소, 8개소 및 8개소에 조사구를 선정하였다. 3개 지역 각 조사구의 입지환경 개요를 표 1.1에 나타냈다.

표 1.1. 조사지의 입지개요.

조사 지역	조사 구	입종 (상층우점)	표고 (m)	사면방향 (방위°)	경사도 (%)	경사 형태	지형	퇴적 양식
춘천 지역	C 1	단순림 (신갈)	350	서남서 (257)	40	평형	능선	잔적
	C 2	단순림 (굴참)	377	서남서 (250)	27	평형	능선	잔적
	C 3	혼효림 (굴참 + 신갈)	370	서남서 (224)	30	평형	능선	포행
	C 4	단순림 (굴참)	430	서남서 (267)	33	상승	산복	포행
	C 5	단순림 (굴참)	430	서남서 (267)	33	평형	산복	포행
	C 6	혼효림 (굴참 + 신갈)	440	서남서 (260)	30	상승	산복	포행
	C 7	혼효림 (굴참 + 신갈)	440	서남서 (260)	29	평형	산복	포행
홍천 지역	H 1	혼효림 (굴참 + 신갈)	560	서남서 (260)	15	하강	산복	포행
	H 2	혼효림 (굴참 + 신갈)	585	서남서 (262)	30	상승	산복	포행
	H 3	혼효림 (굴참 + 신갈)	590	서 (270)	45	상승	산복	포행
	H 4	단순림 (굴참)	630	남남서 (190)	35	평형	산복	포행
	H 5	단순림 (굴참)	635	남남동 (178)	30	평형	산복	포행
	H 6	단순림 (신갈)	660	남남서 (182)	39	평형	산복	포행
	H 7	단순림 (굴참)	631	남남동 (170)	35	평형	산복	포행
	H 8	단순림 (신갈)	604	북북서 (330)	25	평형	산복	포행
가평 지역	G 1	단순림 (신갈)	290	서남서 (267)	32	평형	산복	포행
	G 2	단순림 (신갈)	300	서남서 (257)	39	상승	산복	포행
	G 3	혼효림 (졸참 + 다릅)	330	서북서 (308)	12	상승	능선	잔적
	G 4	단순림 (신갈)	350	북북동 (44)	34	평형	산복	포행
	G 5	단순림 (신갈)	376	북북서 (320)	20	평형	산복	포행
	G 6	혼효림 (신갈 + 졸참 + 산벚)	412	서북서 (275)	34	평형	산복	포행
	G 7	단순림 (신갈)	385	서북서 (290)	28	평형	산복	포행
	G 8	혼효림 (신갈 + 산벚)	312	서 (270)	22	평형	산복	포행

춘천지역(C), 홍천지역(H) 그리고 가평지역(G)의 조사구는 각각 350-440m, 560-660m 및 290-385m 범위의 표고에 위치하고 있으며, 전반적으로 상층임관을 구성하는 우점수종은 신갈나무와 굴참나무 또는 이들 수종이 혼효되어 있는 낙엽활엽수림이다.

춘천과 홍천지역의 조사구 주변은 IV영급과 VIII영급의 잣나무 인공림지가 군상으로 산재되어 있으며, 가평지역은 VIII영급의 잣나무 인공림이 산록 부분에 식재되어 있다.

표 1.2. 각조사지역의 온량 및 한랭지수.

조사지역	온량지수 (WI)	한랭지수 (CI)
춘천(C)	94.5	-24.0
홍천(H)	90.1	-28.7
가평(G)	99.9	-21.1

최근 30년간 지상 자료에 의한 춘천, 홍천, 가평지역의 연평균 기온(°C)과 강수량(mm)은 각각 10.9와 1266.8, 10.1과 1294.6 및 11.6과 1436.9로 춘천과 홍천은 큰 차이가 없었으며, 가평지역이 상대적으로 다소 높았다. 온량지수(WI)와 한랭지수(CI)도 유사한 경향이었으며 각각 94.5와 -24.0, 90.1과 -28.7 및 99.9와 -21.1이었다(표 1.2). 그 밖의 기후지수들은 기후도(그림 1.1)에 나타냈다.

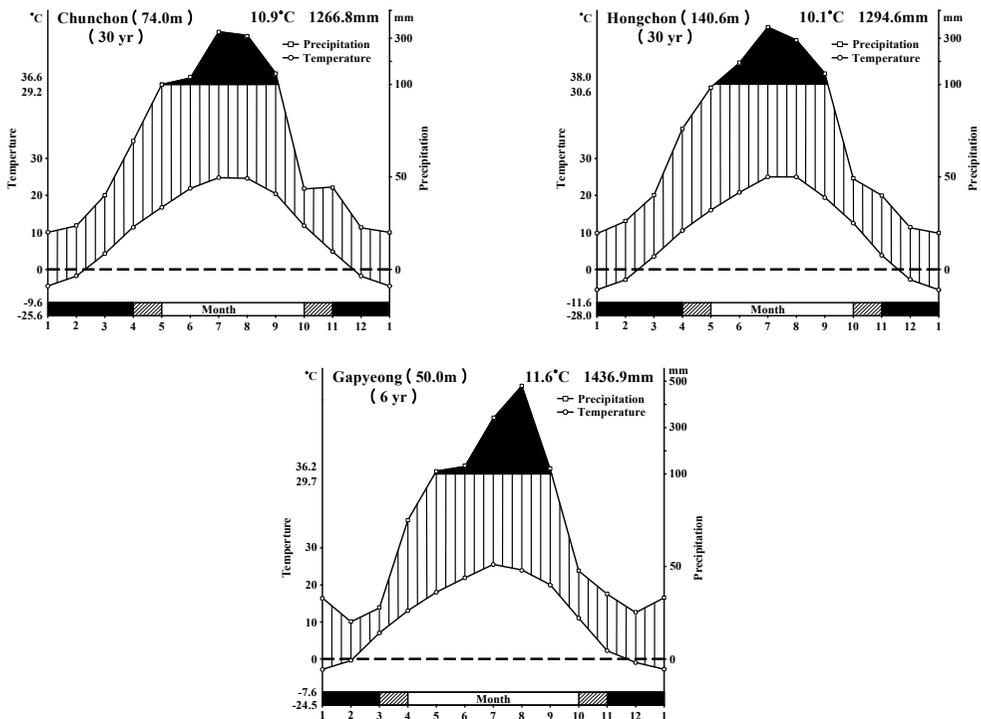


그림 1.1. 각 조사지역의 기후도.

2) 식생조사

잣나무 전생치수가 발생하고 있는 3개 지역(춘천, 홍천, 가평)에서 10m×10m 및 20m×20m의 조사구를 설치하고 식생조사를 실시하였다. 출현한 수종에 대해서 수고와 흉고직경을 측정하였으며, 잣나무 치수에 대해서는 근원직경을 측정하였다.

한편 잣나무 치수의 연령을 추정하기 위해 절간수를 조사하였다. 조사한 절간수는, 본연구의 조사대상지역에서 발생한 잣나무 치수를 절단하여 실측한 실제연령과 절간수로부터 도출한 관계식(이원섭, 2000)에 적합시켜 본연구조사지의 각 잣나무 개체에 대한 실제연령을 추정하였다.

3) 종다양성 및 상대우점도 곡선 분석

각 지역 및 각 조사구에 대한 Shannon-Wiener 종다양성 지수(Krebs, 1999)를 다음 식으로 구하였다.

Shannon-Wiener 다양성지수 (H')

$$H' = -\sum p_i \log e p_i$$

p_i : 수종 i 의 총 개체수에 대한 비율 (n_i / N)

n_i : 수종 i 의 개체수

N : 총 개체수

H'_{\max} : $\log e S$

S : 종의 총수

균재도 (J')와 우점도 ($1-J'$)는 다음과 같이 구했다.

$$J' = H' / H'_{\max}$$

$$1-J' = (1 - H' / H'_{\max})$$

상대우점도 곡선은 각 지역별 조사구에 대하여 수종별 종 순위와 상대 우점율을 도화하

여 분포경향(Magurran, 1988)을 파악하였다.

4) 공간분포지수 분석

각 지역별로 잣나무 치수에 대한 공간분포 양상을 표준화 모리시타 지수(Standardized Morisita Index) 분석법(Krebs, 1999)에 의해 분석하였다. 이 방법은 개체군 밀도와 조사구의 크기에 영향을 받지 않는 특징이 있다(Myers, 1978).

$$I_d = n \left[\frac{\sum xi^2 - \sum xi}{(\sum xi)^2 - \sum xi} \right]$$

$$M_u = \frac{X^2_{0.975} - n + \sum xi}{(\sum xi) - 1} \quad M_c = \frac{X^2_{0.025} - n + \sum xi}{(\sum xi) - 1}$$

$$I_d \geq M_c > 1.0 \Rightarrow I_p = 0.5 + 0.5 \left(\frac{I_d - M_c}{n - M_c} \right)$$

$$M_c > I_d \geq 1.0 \Rightarrow I_p = 0.5 \left(\frac{I_d - 1}{M_u - 1} \right)$$

$$1.0 > I_d \geq M_u \Rightarrow I_p = -0.5 \left(\frac{I_d - M_c}{n - M_c} \right)$$

$$1.0 > M_u > I_d \Rightarrow I_p = -0.5 + 0.5 \left(\frac{I_d - M_u}{M_u} \right)$$

여기서, I_d 는 모리시타 지수(Morisita's index), M_u 는 규칙분포지수, M_c 는 집중분포지수, I_p 는 표준 모리시타 지수(standardized Morisita's index), $X^2_{0.975}$ 와 $X^2_{0.025}$ 는 X^2 분포표 0.975와 0.025에서 M_u 와 M_c 의 임계점, n 은 샘플규모, x 는 개체수이다.

5) 현존량 추정

홍천지역 중에서 표 1.1에 제시한 조사지를 제외한, 잣나무 치수가 발생하고 있는 임분 중에서 간벌을 실시한 임분과 인접한 비간벌지의 물질 생산량을 추정하였다. 신갈나무와 굴참나무의 현존량 추정은 본 연구지와 인접한 임분을 대상으로 조제된 회귀식(박인엽 등, 2003)을 이용하였으며, 잣나무에 대한 현존량 추정식은 새롭게 조제하였다. 이를 위하여 이

들 조사구 밖에서 직경과 수고급이 서로 다른 30본을 선정하고, 지상부와 지하부의 현존량을 추정하기 위해 뿌리까지 굴취 하였다. 굴취 한 개체목들은 부위별(뿌리, 줄기, 가지, 잎)로 분류하고 건조중량을 구하고 현존량 추정식, $Y = aX^b$ 을 조제하였다.

여기서 Y는 건조중량, X는 조원직경이며, 조사구내 매목조사의 결과를 이식에 적용하여 현존량을 추정하였다.

6) LMA와 엽록소 분석

상층우점수종의 간벌지와 비간벌지에 발생한 잣나무 치수의 잎을 연령별로 채취하고 그 중 100개의 잎을 선정하여 WinNeedle(Regent Instruments Inc. Canada)로 엽면적을 측정하고 건조중량을 구하여 엽의 단위면적당 중량 비로 LMA를 구하였다. 엽록소의 분석방법은 「제 2절」의 다 - 1)의 분석방법과 같다. 한편, 엽록소/질소(Chl/N)를 구하기 위한 N의 분석은 「제 2절」의 다 - 3)의 분석방법과 같다.

7) Ordination

환경인자를 생물학적 인자와 비생물학적 인자로 구분하였는데, 이 연구에서는 생물학적 인자를 임분의 증상층을 구성하고 있는 기타 구성 수종으로 하였으며, 입지환경, 토양의 물리적 성질, 토양의 화학적 성질을 비생물학적 인자로 하였다. 입지환경은 해발고도, 사면방향, 경사도, 경사형태, 지형적 위치, 퇴적양식 등 6개 인자, 토양의 물리적 성질은 용적밀도, 토성 즉 입경분포(모래, 미사, 점토), 토양 3상(고상, 액상, 기상), 공극, 수분함량, 최대용수량 등 10개 인자, 토양의 화학적 성질은 pH, 유기물, 전질소, 유효인산, 치환성 양이온(K, Na, Ca, Mg), 염기치환용량, 염기포화도 등 10개 인자를 측정하였다. 따라서 잣나무의 발생에 미치는 환경인자를 파악하기 위하여 잣나무 밀도, 근원경면적, 수고합, 수령합으로 구성된 행렬과 생물학적 인자인 구성수종, 비생물학적 인자 중 입지환경, 토양의 물리적 성질, 토양의 화학적 성질 및 모든 생물적·비생물적 환경인자들을 포함한 환경인자와 각각 CCA(Canonical Correspondence Analysis) Ordination 분석을 실시하였다(Ter Braak, 1986). 자료의 분석은 MVSP 3.12(Kovach, 2000)를 이용하였다.

2. 연구결과

가. 임분구조

1) 잣나무 치수의 밀도와 영급, 직경급 및 수고급의 관계

춘천, 홍천 및 가평지역의 각조사구별 밀도와 영급, 직경급 및 수고급의 관계를 각각 그림 1.2-4에 나타냈다. 춘천, 홍천 및 가평의 잣나무 치수의 밀도(본/ha)는 각각, 2800-7800, 1400-13800 및 1200-6600으로 조사구간 차이가 컸으며, 지역별 평균은 각각 5971, 4862 및 3883으로 춘천지역의 밀도가 비교적 높았다. 최대 수령(년)은 춘천, 홍천 및 가평지역에서 각각 36, 34, 및 27년 이었다.

각 지역의 조사구별 5년 간격의 영급 분포는, 춘천지역의 C2, C6, C7, 홍천지역의 H7, H8, 가평지역의 G1, G3, 조사구는 역 J자형 분포경향이 뚜렷하며 보다 유령의 치수가 많이 발생하고 있으며, 5년생 이하의 치수가 다소 낮으나 역 J자형을 나타내는 조사구는 C1, C4, H1, H2이다. 전반적으로 역 J자형 영급분포가 많이 나타나는 지역은 춘천지역이며, 이에 비해 가평지역은 정규분포형과 유사한 영급분포를 보이고 있다.

각 지역의 평균 영급분포를 보면(그림 1.2), 춘천지역은 보다 시간의 경과에 따른 잣나무 치수의 발생본수가 뚜렷하게 증가하고 있으며, 홍천과 가평지역은 5-10년과 10-15년생의 밀도가 높으나 5년생 이하의 밀도가 전체평균보다 낮지 않았다.

각 조사구의 식생조사 시 고사했거나 고사중인 또는 고사한 것으로 예상되는 개체는 없었으며, 한편 최하부의 지엽이 고사했거나 고사중인 경우를 볼 수 없었다. 따라서 3개지역 모두 정도의 차이는 있으나 시간의 경과에 따른 잣나무 치수의 발생면적은 점차 확장될 것으로 생각된다.

직경급별의 분포는 각 지역의 거의 모든 조사구가 역 J자형을 나타냈으며(그림 1.3), 최대 근원직경급(cm)은 춘천, 홍천 및 가평지역에서 각각 11-12, 14-15 및 11-12로 나타났다.

수고급별 분포 역시 직경급별 분포와 매우 유사한 뚜렷한 역 J자형을 나타냈다(그림 1.4).

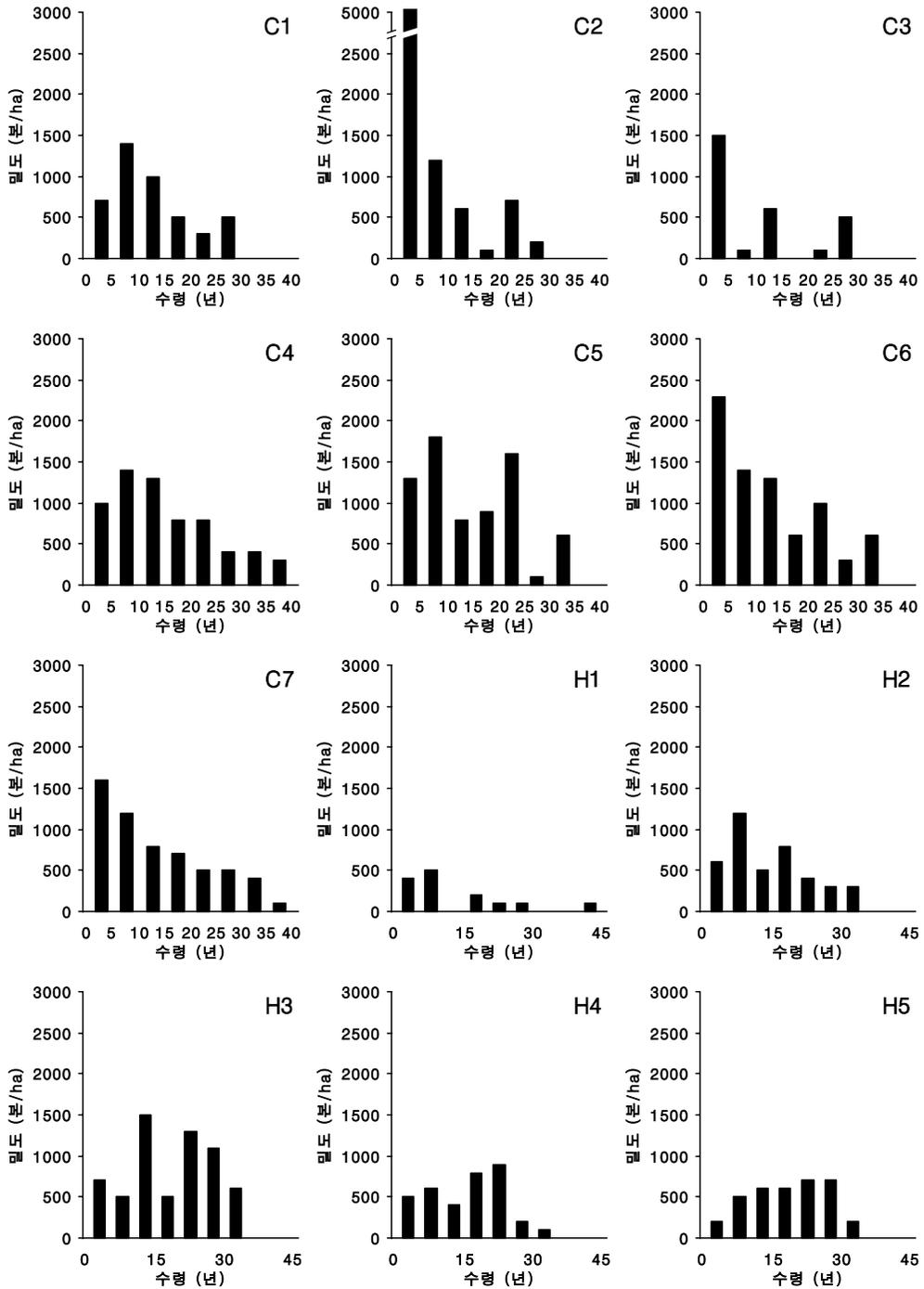
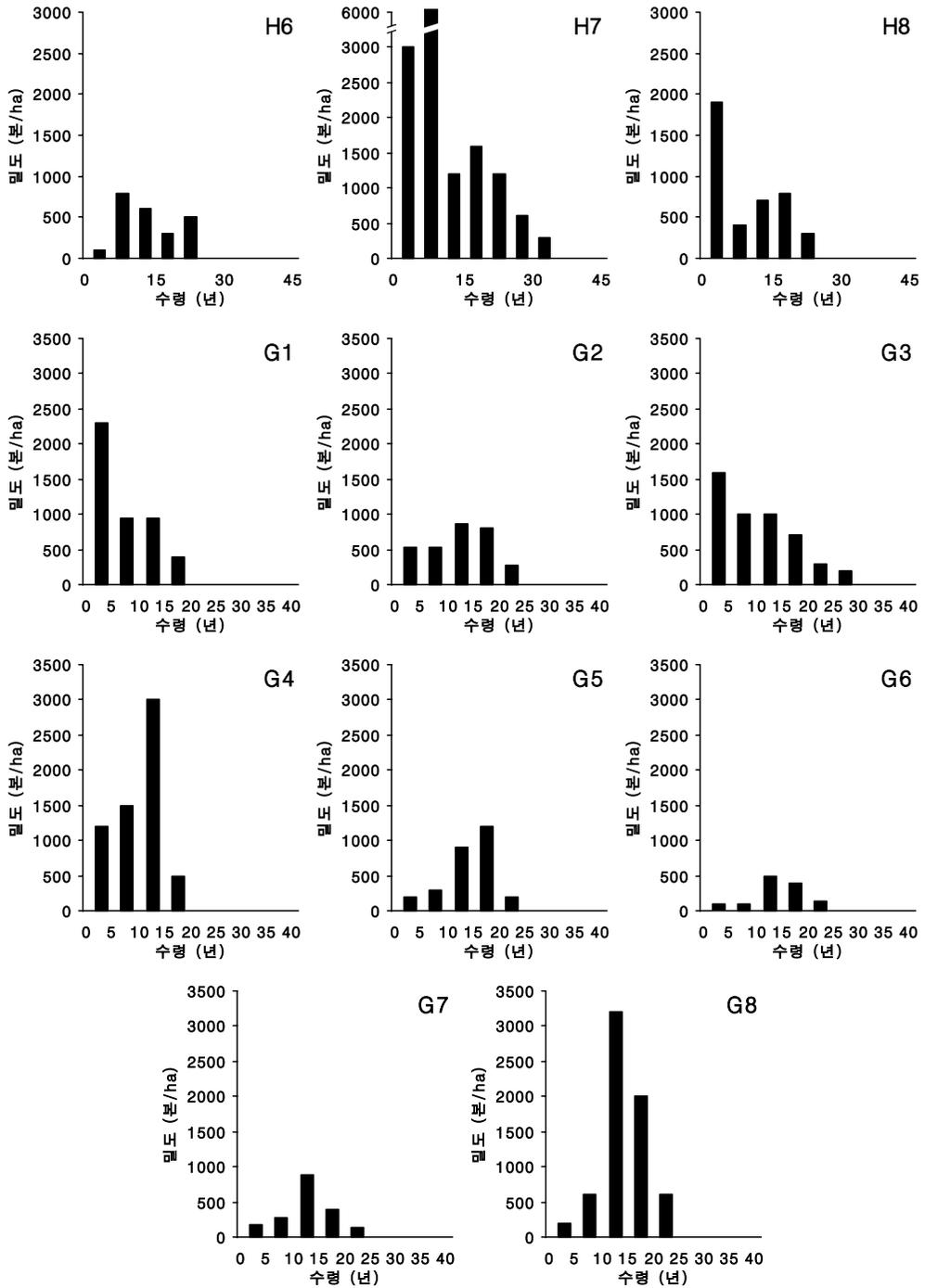


그림 1.2. 춘천(C), 홍천(H) 및 가평(G)지역의 각 조사구별 영급분포. 숫자는 각 지역의 조사구 번호.



(그림 1.2의 계속.)

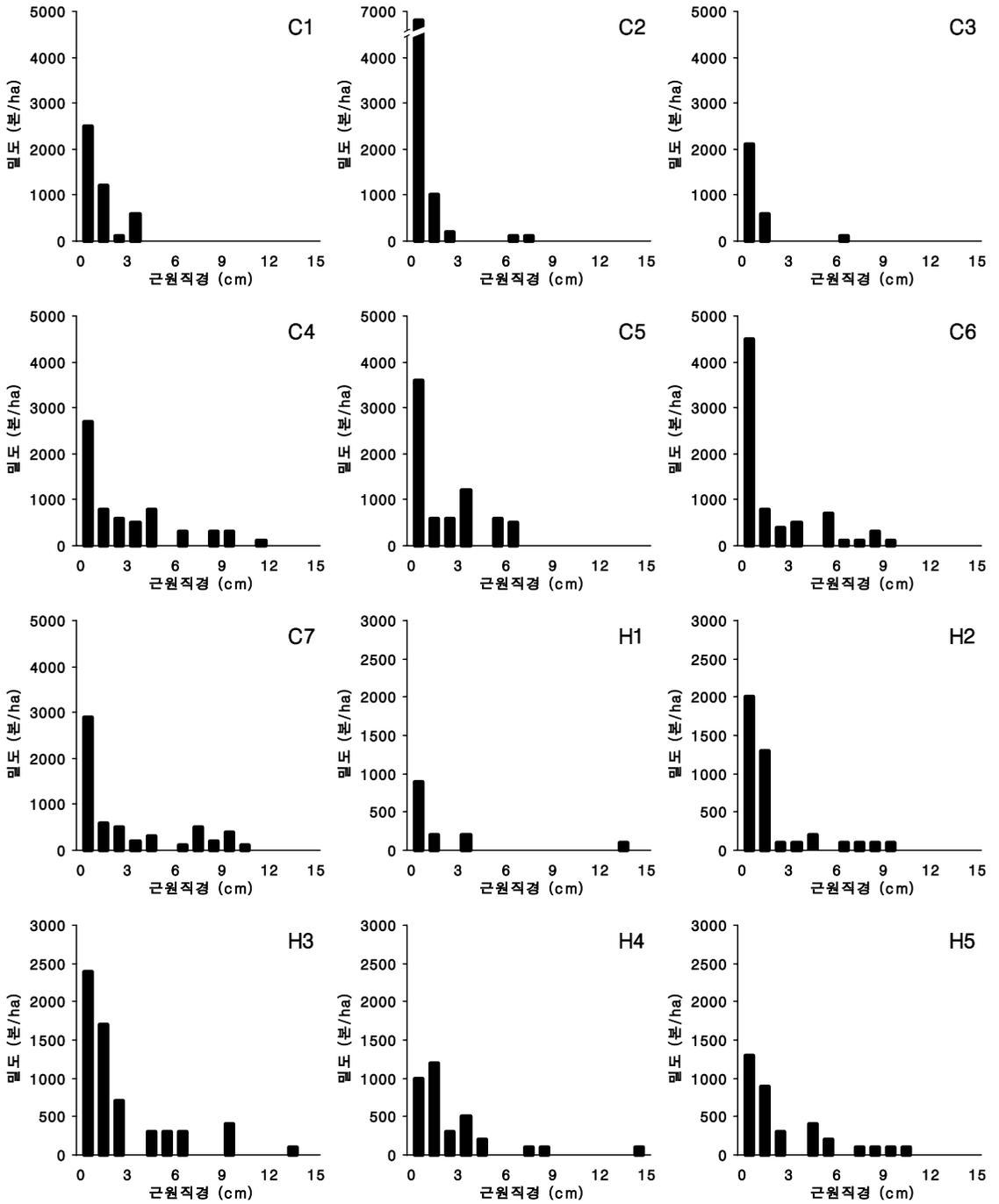
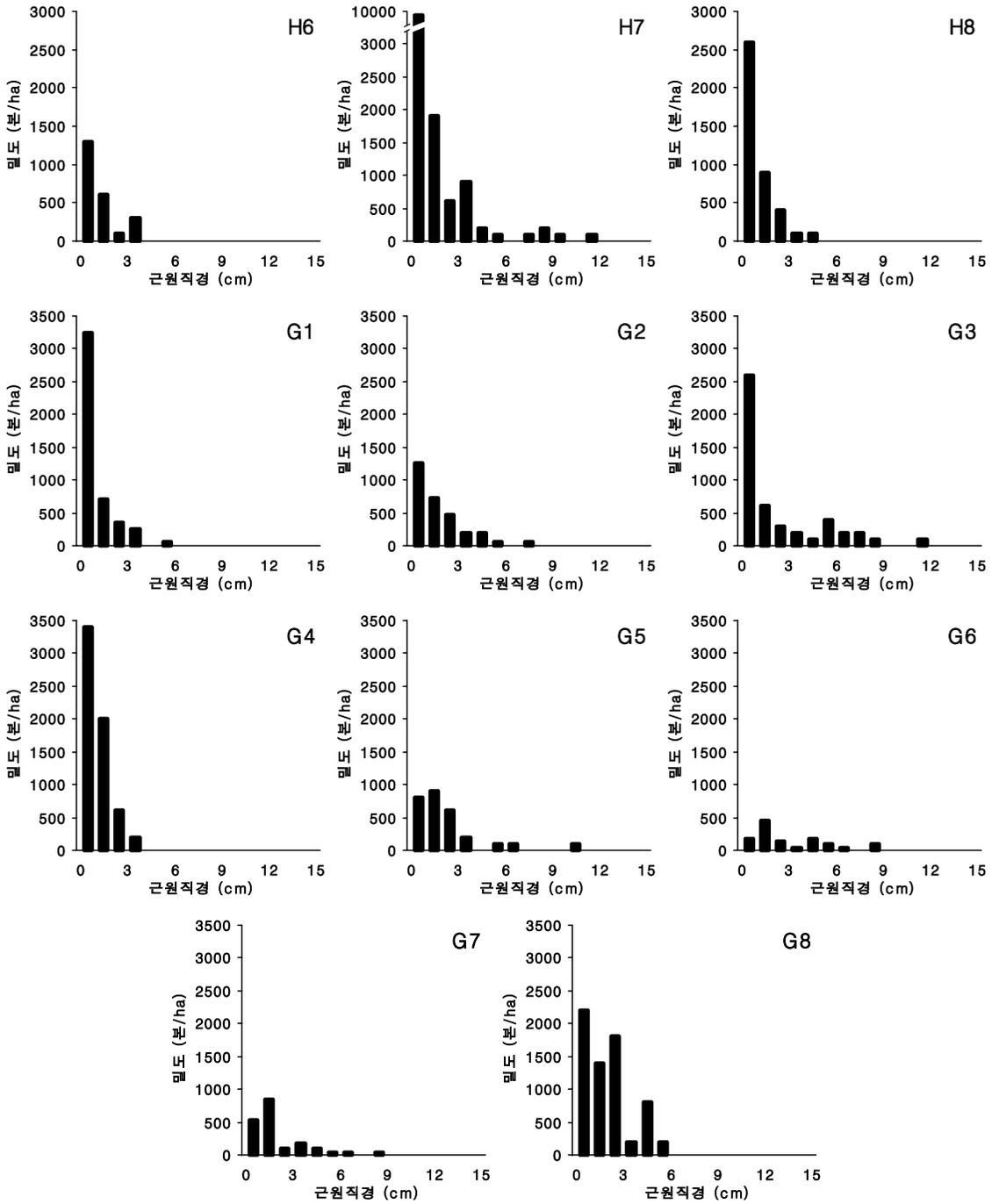


그림 1.3. 춘천(C), 홍천(H) 및 가평(G)지역의 각 조사구별 직경급 분포. 숫자는 각 지역의 조사구 번호.



(그림 1.3의 계속.)

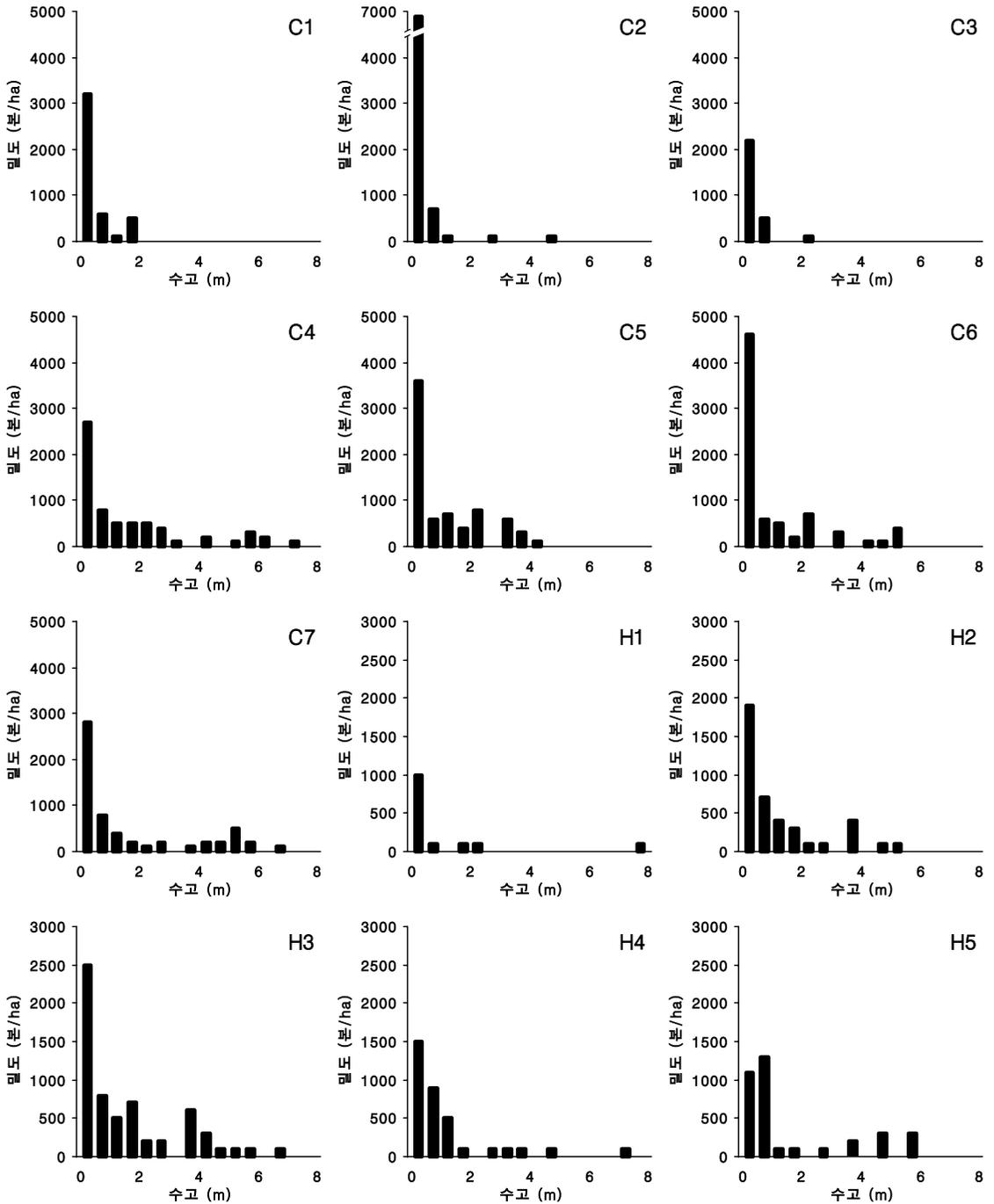
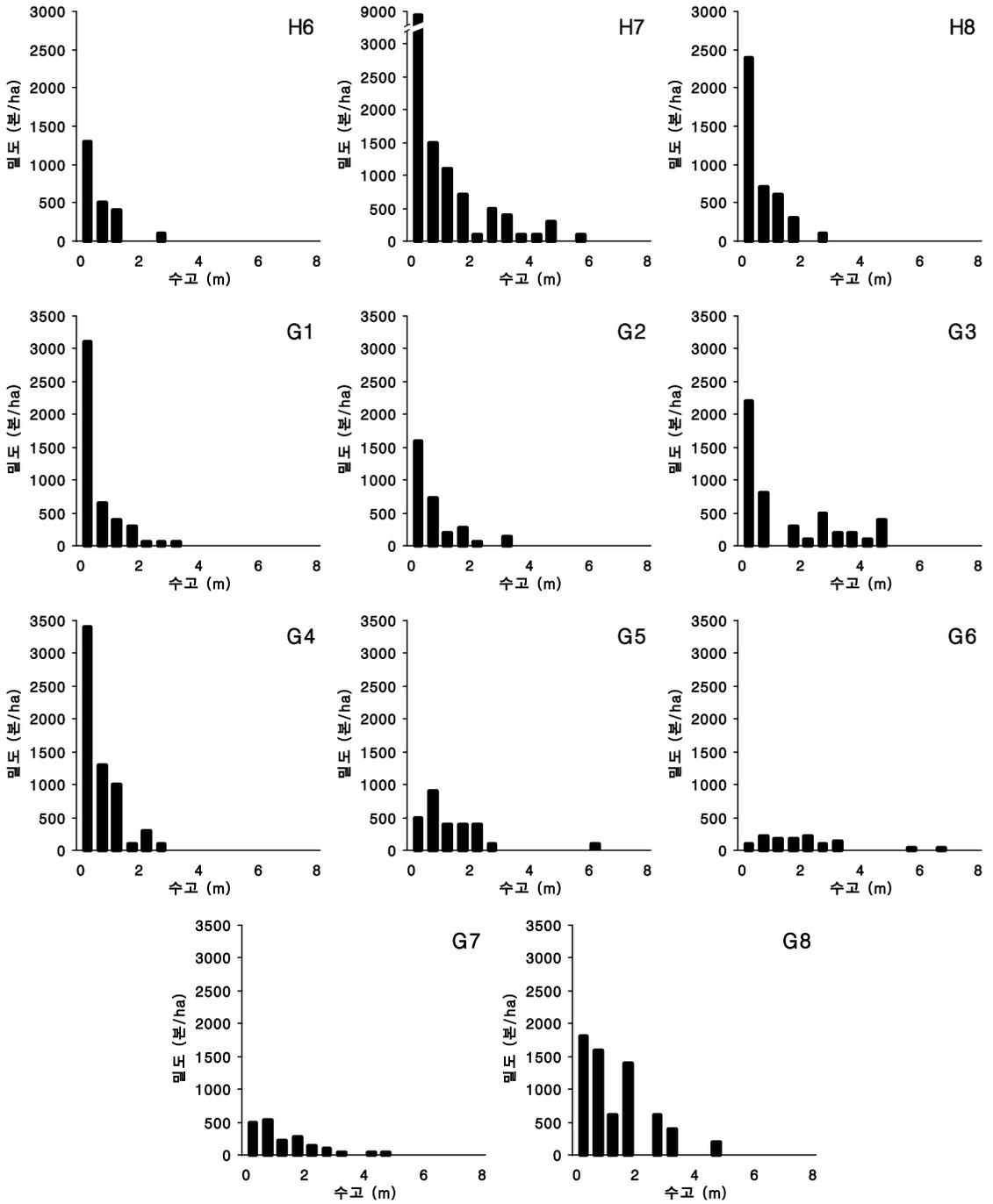


그림 1.4. 춘천(C), 홍천(H) 및 가평(G)지역의 각 조사구별 수고급 분포. 숫자는 각 지역의 조사구 번호.



(그림 1.4의 계속.)

춘천, 홍천 및 가평지역의 최대 수고급(m)은 각각, 7-7.5, 7.5-8 및 6.5-7.0이었다. 이들 최대 수고급의 잣나무 치수들은 그 밖의 중층-상층의 다른 수종의 수관층에 이르고 있어서 잣나무 치수의 수고성장이 저해되거나 수관상층의 줄기나 shoot가 구부러지는 현상이 나타나고 있다. 또한 잣나무 치수의 줄기나 가지가 상층임관과 물리적 마찰이 있어서 상해를 받는 개체가 나타났다.

위와 같이 각 지역에서는 많은 잣나무 치수가 발생하고 있으며, 영급, 직경급 및 수고급의 분포형태는 역 J자형을 나타내어 내음성이 강한 수종임을 확인할 수 있었으며 잣나무치수의 집단은 증가형군집임을 알 수 있었다.

2) 상층 및 중층의 수종구성

표 1.3. 홍천지역의 상층 및 중층의 수종구성.

수 종	상 층			중 층		
	밀도 본/ha (%)	흉고단면적 m ² /ha (%)	DBH	밀도 본/ha (%)	흉고단면적 m ² /ha (%)	DBH
굴참나무	637.5 (69.9)	22.26 (69.8)	$\frac{19.9 \pm 6.9}{8 \sim 38}$	37.5 (4.1)	0.12 (4.3)	$\frac{6.3 \pm 1.5}{5 \sim 8}$
물박달나무	25 (2.7)	1.23 (3.8)	$\frac{25}{25 \sim 25}$	-	-	-
신갈나무	237.5 (26.0)	8.20 (25.7)	$\frac{18.5 \pm 10.1}{9 \sim 45}$	162.5 (17.6)	0.96 (33.6)	$\frac{8.2 \pm 3.0}{5 \sim 14}$
잣나무	12.5 (1.4)	0.19 (0.6)	$\frac{14}{14 \sim 14}$	725 (78.4)	1.78 (62.1)	$\frac{4.8 \pm 2.9}{1.2 \sim 14}$
합계	912.5 (100.0)	31.88 (100.0)	$\frac{19.6 \pm 7.7}{8 \sim 45}$	925.0 (100.0)	2.87 (100.0)	$\frac{5.5 \pm 3.1}{1.2 \sim 14}$

홍천 지역의 상층 임관은 굴참나무가 본수(637본/ha, 상대밀도 69.9%)나 흉고단면적(22.26m²/ha, 상대피도 69.8%)에 있어서 절대 우위를 차지하며, 신갈나무(237본/ha, 8.2m²/ha), 물박달나무(25본/ha, 1.23m²/ha), 잣나무(12본/ha, 0.19m²/ha) 등이 출현하고 있었다. 총 912본/ha의 임목이 생육하고 있었고, 흉고단면적은 31.88m²/ha이었으며, 평균 흉고직경은 19.6cm이고 최대 흉고직경은 신갈나무 45cm이었다. 중층은 잣나무 725본/ha(상대밀도 78.4%), 신갈나무 162본/ha(상대밀도 17.6%), 굴참나무 37본/ha(상대밀도 4.1%)의 순으로 나타났는데, 총 925본/ha의 임목이 생육하고 있어 밀도에 있어서는 상층과 비슷하였으나 흉고

단면적은 2.87m²/ha으로 현저히 낮았으며, 평균 흉고직경은 5.5cm이었다(표 1.3). 특히, 타 지역과는 대조적으로 기타 수종의 치수는 거의 관찰할 수 없었는데, 이는 잣나무 치수의 대량 발생과 상관성이 있을 것으로 생각된다. 이상과 같이 이 지역은 설치류에 의해 갱신된 잣나무는 중층에서 생존영역을 확보하고 있을 뿐만 아니라 상층까지 진입하게 되어, 임분의 구성에 큰 변화를 가져왔음을 알 수 있었으며, 기타 수종의 갱신에도 매우 큰 영향을 주고 있는 것으로 생각된다.

중층과 상층에서는 모두 고사목이 발생하였는데, 상층에서는 굴참나무(37본/ha)와 신갈나무(12본/ha), 중층에서는 굴참나무(112본/ha)와 잣나무(12본/ha)로 상층에서 50본/ha, 중층에서 125본으로 총 175본/ha 발생하여 중층에서의 광선 등 생육공간에 대한 경쟁이 심하게 일어나고 있음을 시사하고 있다. 특히 중층에서 흉고직경 10cm의 잣나무가 고사한 것이 조사되었는데, 중층으로의 진입한 잣나무 종간의 경쟁 또는 다른 수종과의 일어나고 있음을 알 수 있다. 상층 고사목의 평균 흉고직경은 12.3cm, 중층은 11.2cm인 것으로 나타나, 이들은 모두 9-15cm에서 발생하였다(표 1.4).

표 1.4. 활엽수림의 상층 및 중층의 고사목.

수 종	상 층			중 층		
	밀도 본/ha (%)	흉고단면적 m ² /ha (%)	DBH	밀도 본/ha (%)	흉고단면적 m ² /ha (%)	DBH
굴참나무	37.5 (75.0)	0.47 (79.9)	$\frac{12.7}{12\sim 13}$	112.5 (90.0)	1.16 (92.2)	$\frac{11.3}{9\sim 15}$
신갈나무	12.5 (25.0)	0.12 (20.1)	$\frac{11}{11\sim 11}$	-	-	-
잣나무	-	-	-	12.5 (10.0)	0.10 (7.8)	$\frac{10}{10\sim 10}$
합계	50.0 (100.0)	0.59 (100.0)	$\frac{12.3}{11\sim 13}$	125.0 (100.0)	1.26 (100.0)	$\frac{11.2}{9\sim 15}$

춘천 지역의 상층은 총 3종의 수종이 출현하였는데, 굴참나무가 600본/ha(상대밀도 73.7%), 흉고단면적 26.96m²/ha(상대피도 75.0%)으로 가장 우점하고, 신갈나무가 200본/ha(상대밀도 24.6%), 흉고단면적 8.84m²/ha(상대피도 24.0%)로 그 뒤를 이었으며, 소수의 떡갈나무가 생육하고 있었다. 상층에서 제일 높은 우점률을 보인 굴참나무는 중층에서는 찾아 볼 수 없었으며, 잣나무가 1,029본/ha(상대밀도 87.8%), 흉고단면적 1.55m²/ha(상대피도 64.1%)로 가장

높았고, 다음은 소나무, 신갈나무, 떡갈나무, 물박달나무 등의 순으로 나타나, 잣나무가 비록 상층에는 아직 진입하지 못하였지만, 중층에서는 매우 높은 우점률을 보여 임분의 수직적 구조에 매우 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다(표 1.5).

표 1.5. 춘천지역의 상층 및 중층의 수종구성 상태.

수종	상 층			중 층		
	밀도 본수/ha(%)	흉고단면적 m ² /ha (%)	DBH	밀도 본수/ha(%)	흉고단면적 m ² /ha (%)	DBH
굴참나무	600 (73.7)	26.96 (75.0)	$\frac{23.0 \pm 5.1}{12 \sim 34}$	-	-	-
떡갈나무	14 (1.7)	0.31 (1.0)	$\frac{16.7}{16.7 \sim 16.7}$	43 (3.7)	0.18 (7.5)	$\frac{7.3 \pm 0.8}{6.8 \sim 8.2}$
물박달나무	-	-	-	14 (1.2)	0.04 (1.8)	$\frac{6.3}{6.3 \sim 6.3}$
소나무	-	-	-	29 (2.4)	0.51 (21.3)	$\frac{15.0 \pm 2.8}{13 \sim 17}$
신갈나무	200 (24.6)	8.84 (24.0)	$\frac{21.9 \pm 9.4}{13 \sim 47}$	57 (4.9)	0.13 (5.3)	$\frac{6.3 \pm 2.9}{3.5 \sim 11}$
잣나무	-	-	-	1029 (87.8)	1.55 (64.1)	$\frac{3.8 \pm 2.2}{0.9 \sim 9.2}$
합계	814 (100.0)	36.12 (100.0)	$\frac{22.7 \pm 6.3}{12 \sim 47}$	1171 (100.0)	2.42 (100.0)	$\frac{4.4 \pm 2.9}{0.9 \sim 17}$

3) 전체 임분의 직경급 분포와 수고급 분포

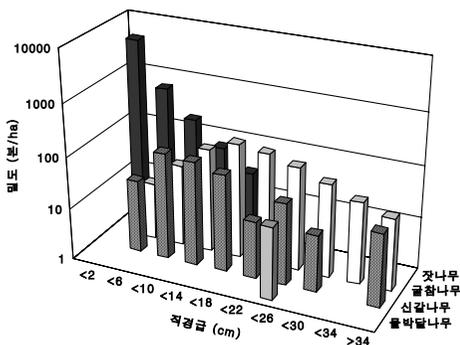


그림 1.5. 홍천 지역 임분의 직경급 분포.

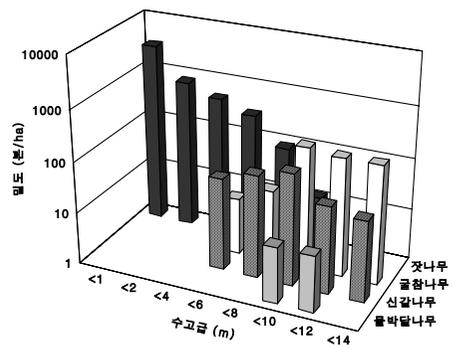


그림 1.6. 홍천지역 임분의 수고급 분포.

홍천지역은 상층과 중층에서 모두 현저한 우점률을 보인 굴참나무는 흉고직경 2-6cm급

에서부터 점차 증가하여 14-18cm급에서 피크를 나타내고 있으며 그 이상에서는 점차 감소하여 정규분포형의 분포를 나타내고 있으며, 신갈나무도 2-6m급에서부터 시작하여 6-10cm급에서 피크를 보이는 정규분포형의 모양을 하고 있어 후계목의 부족으로 이들 군집은 점차 쇠퇴할 것으로 예상된다. 한편 잣나무는 2cm이하에서 4,013본으로 최고를 보이며 6cm이하에서 563본으로 점점 줄어드는 전형적인 역 J자형 분포를 하고 있어 증가형 군집임을 알 수 있다(그림 1.5).

이러한 경향은 수고급 분포에서도 알 수 있다. 굴참나무는 4m이상에서 시작하여 8-10m에서 최고값을 보이며 그 후는 비교적 완만한 분포를 보이고 있어 대체로 정규분포형 분포를 하고 있으며, 신갈나무도 4m이상에서 시작하여 8-10m에서 최고값을 보이며 그 후는 점점 감소하여 정규분포형 분포를 보이고 있다. 잣나무는 1m이하에서 3,188본, 1-2m사이에 775본, 2-4m는 475본 등으로 전형적인 역 J자형 분포를 하고 있어 직경급 분포와 유사한 경향을 나타내었다(그림 1.6).

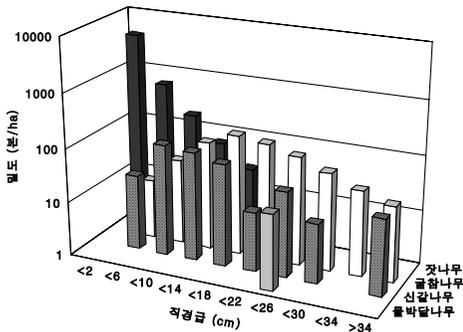


그림 1.7. 춘천지역 임분의 직경급 분포.

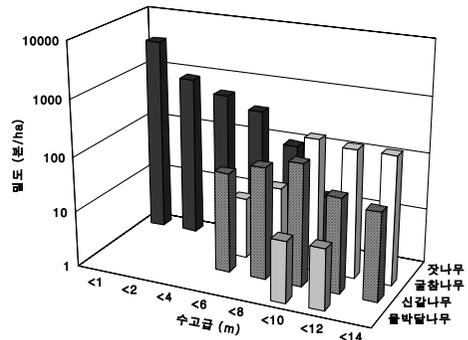


그림 1.8. 춘천지역 임분의 수고급 분포.

춘천지역의 굴참나무는 흉고직경 12cm에서 시작하여 직경급 증가와 함께 증가하다가 22-26cm급에서 243본/ha의 최고값을 보이며 그 후 점차 감소하는 정규분포형 모양을 하고 있다. 신갈나무는 2-6cm급에서 시작하여 18-22cm급과 30-34cm에서 피크를 나타냈다. 한편 잣나무는 2cm이하에서 5,157본/ha으로 최고를 보이며 6cm이하에서 571본/ha, 10cm이하에서는 257본/ha으로 점차 감소하는 전형적인 역 J자형 분포를 하고 있어 증가형 군집임을 나타내고 있으며, 흉고직경 10cm이하에서는 잣나무가 절대적인 세력을 확보하고 있다(그림 1.7).

이러한 경향은 홍천지역의 상황과 비슷한 상황으로 잣나무치수의 대량 발생 및 생장으로 후계목으로서의 자리 매김을 하고 있음을 알 수 있다.

수고급 분포에서 굴참나무, 신갈나무는 모두 비교적 완만한 정규분포형을 보이고 있으며, 각각 8-18m, 2-18m사이에 분포하고 있는 반면에 잣나무는 8m이하에 분포하면서 72%이상 이 1m미만에 분포하는 역J형을 보이고 있다(그림 1.8).

4) 잣나무 갱신치수의 수령과 수고와의 관계

연령과 수고의 관계는 시간에 따른 산림의 수직적 구조 변화를 예측하고 산림 시업 등 산림경영 의사 결정에 중요한 정보가 될 것이다. 따라서 활엽수림 내에 천연 발생한 잣나무의 연령과 수고의 관계 파악은 현재 하층 및 중층에 생육하고 있는 잣나무 치수들이 금후 몇 년 후에는 산림의 수직적 구조를 어떻게 변화시킬 것인가라는 것을 예측할 수 있을 것이다.

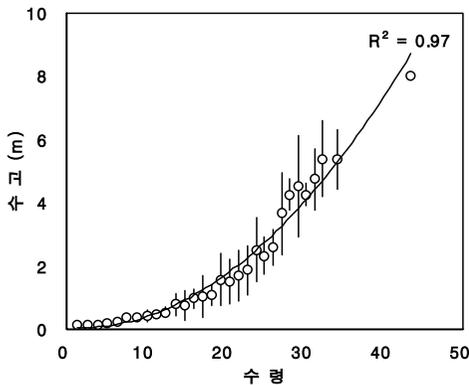


그림 1.9. 홍천지역 잣나무의 수령과 수고와의 관계.

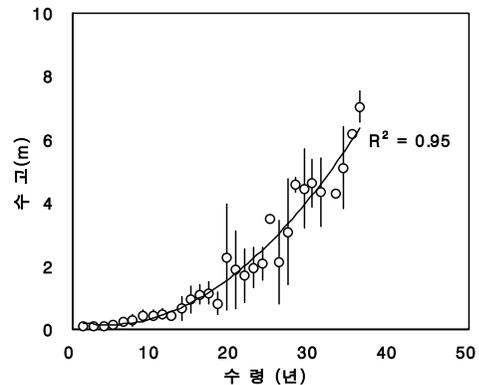


그림 1.10. 춘천지역 잣나무의 수령과 수고와의 관계.

인공 식재된 잣나무는 활엽수 수관 하에서 천연 갱신되는 잣나무에 비해 직경생장, 수고생장은 현저히 빠르지만, 수형과 재질면에서는 많이 떨어지고 병충해에도 약한 것으로 보고된 바 있다(葛劍平 등, 1993). 이 연구에서도 홍천 지역에 있는 잣나무 인공림 30여년생의

최저 수고가 16m, 최고 수고 21m, 평균 수고 18m인 것에 비하여(강원대학교 산림과학대학 연습림, 1999), 천연 갱신된 30년생의 잣나무 치수의 최고 수고는 4.5m, 43년생의 수고가 8m인 것으로 나타나 인공림보다는 많은 차이가 있음을 알 수 있다(그림 1.9).

이 지역의 잣나무치수의 성장속도도 매우 낮은 것으로 나타났는데, 대체로 15년생 이상이 되어서 평균 1m에 달했고, 23년을 넘어야 2m에 달했다. 특히 이 지역은 수령에 따른 수고생장의 기복이 비교적 심하여 나타났고, 표준편차도 크게 나타났다(그림 1.10). 이러한 심한 기복은 특히 청설모등의 설치류가 잣 종자를 매립 저장할 때, 몇 개의 잣 종자를 같이 묻는데, 발아 후 성장속도의 차이로 직접적인 원인중의 하나로 생각된다.

5) 임분의 종다양성과 종서열 상대우점도

산림군집에 얼마나 많은 종들이 생육하고 있는가 하는 정도를 나타내는 종다양성은 산림군집의 구조상의 복잡성, 외부의 교란 요인으로 부터의 안정성, 그리고 천이진행과 발달과정상의 성숙도와 정비례하는 경향이 강하다(Odum, 1969). 특히 우리나라와 같이 복잡한 지형에 조성된 활엽수림은 미세지형의 요인에 따라 차이를 보이는데(김지홍, 1996; 김광택, 2002), 종다양지수는 일반적으로 남사면보다 북사면이 높고(최기용과 임양재, 1983; 신현철과 이강녕, 1990) 산복지역이 계곡이나 능선보다 높으며(강성기, 2000), 훼손된 지역보다는 자연상태로 보전된 지역이 높다(김지홍 등, 1996). 이러한 다양성의 변이 원인은 시간적 변화, 종분화율, 포식관계, 환경안정도, 환경의 동질성 및 이질성에 의한 것으로 알려져 있다(Kimmmins, 1996).

표 1.6. 홍천 및 춘천지역 임분의 수직적 구조에 따른 종다양성.

다양성지수	홍천지역			춘천지역		
	상층	중층	관목/초본층	상층	중층	관목/초본층
종풍부성	4	3	54	3	5	7
Shannon의 종다양성지수 (H')	0.756	0.795	2.118	0.604	1.030	2.286
최대다양성지수 (H_{max}')	1.386	1.099	3.989	1.099	1.609	4.249
균재도 (J')	0.545	0.723	0.531	0.549	0.640	0.538
우점도 ($1-J'$)	0.455	0.277	0.469	0.451	0.360	0.462

홍천지역에 대하여 임분의 수직적 구조에 따른 상층, 중층 그리고 관목층 및 초본층의 종다양성을 산출한 결과(표 1.6), 상층과 중층의 종풍부성은 각각 4와 3으로 낮게 나타났는데 이것은 조사지역이 능선과 산복 상부에 위치한 비교적 건조한 지역으로 주로 굴참나무와 신갈나무가 우점하고 있기 때문으로 생각된다. 특히, 상층과 중층에서 설치류에 의해 자연 갱신된 잣나무의 출현으로 종풍부성은 각각 1씩 높아졌는데, 이는 잣나무의 갱신으로 종다양성이 높아졌다고 판단하기는 어려우며, 잣나무치수의 대량 발생으로 광선 등 물리적 환경을 많이 변화시켜 광선에 보다 민감한 초본층에 상당한 영향을 미치기 때문에 이에 대한 결론은 보다 장기적인 연구가 필요하다고 생각된다. 관목층 및 초본층은 종풍부성이 상대적으로 높았으나 균재도는 낮았는데 이것은 건조지역에 생태적 지위를 점유한 일부 종의 피도가 높은 것과도 관련 있을 것으로 사료된다.

춘천지역(표 1.6)은 상층, 중층, 관목층 및 초본층으로 갈수록 종풍부성은 높게 나타났고, Shannon의 종다양성지수와 최대다양성지수도 높게 나타났다. 특히 춘천지역의 표본구는 사면방향이 모두 남서방향이고, 미세지형의 차이가 크지 않음에도 불구하고 관목층과 초본층에는 7개의 표본구에 총 70종이 출현하였는데, 이에 대해서는 보다 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 균재도에 있어서는 중층, 관목층 및 초본층, 상층의 순서였다.

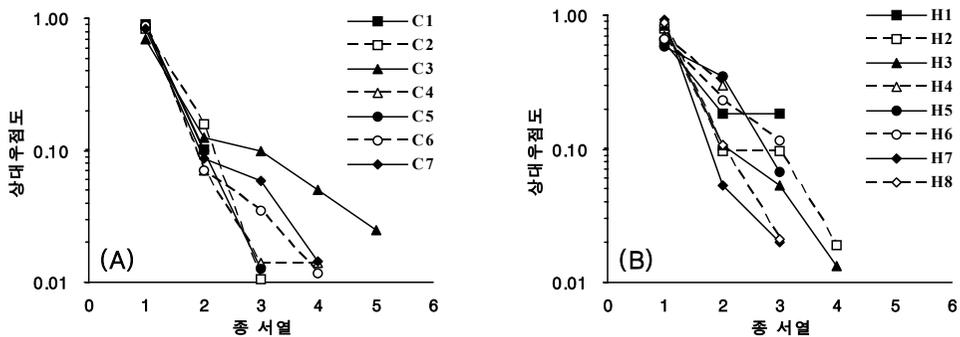


그림 1.11. 종서열 - 상대우점도 곡선. (A) 춘천지역, (B) 홍천지역.

두 지역의 각조사구별로 교목성수종에 대한 종서열 - 상대우점도 곡선을 그림 1.11에 나타냈다. 홍천지역의 조사구 H7을 제외하면 전체적으로 홍천지역보다 춘천지역이 잣나무 치수 한 종이 우점하는 비율이 컸다. 각 조사지의 상대우점도의 균재성은 종서열 1위인 잣나

무 치수에 의해 크게 좌우되고 있으며, 홍천지역과 춘천지역에서 각각 H1과 C3조사구의 균재성이 비교적 크다고 할 수 있으나, 전체적으로는 등비급수적분포(Magurran, 1988)를 보이고 있다. 따라서 이들 지역은 소수의 교목성 수종들이 우점하며, 종서열 별로 환경적 자원을 이용하는 계급적 분포를 하고 있는 것으로 생각된다(Ludwig and Reynolds, 1988).

6) 잣나무 치수의 공간분포 양식

춘천지역과 홍천지역의 잣나무 치수 전체에 대한 공간분포 양상을 파악하기 위해 모리시타의 분산지수(I_d)와 표준화 모리시타의 분산지수(I_p)를 구했다(그림 1.12).

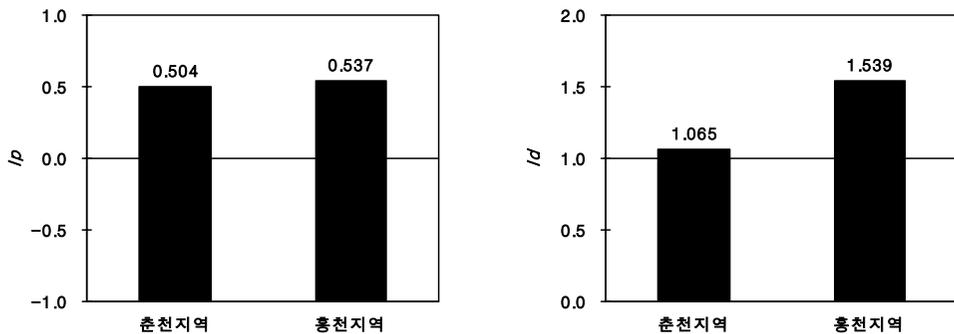


그림 1.12. 잣나무치수의 I_p 와 I_d .

I_d 와 X^2 검정결과 두 지역 모두 집중(clumped)분포를 보였는데 홍천지역이 다소 집중성이 높았다. I_p 에 의한 공간분포 양상은 춘천지역과 홍천지역이 각각 0.504와 0.537로 춘천은 랜덤(random)과 집중분포의 중간적 양상, 홍천지역은 약한 집중분포를 나타냈다.

한편, I_d 와 F-검정을 사용하여 잣나무 치수 연령별로 그의 공간분포 양상을 분석한 결과, 춘천지역에서는 대부분의 연령대에서 집중분포를 나타냈다. 즉 23년과 29년생의 규칙(regular)분포와 2년, 19년, 43년생의 랜덤분포를 제외하면 대부분 집중분포 경향을 보였다.

홍천지역도 대부분 집중분포 연령대가 많았다. 6년, 11년, 15년, 16년, 21년, 34년, 36년생은 규칙분포, 10년, 31년생은 랜덤분포를 보였다. 이와 같은 공간분포 양상은 공간패턴 결정인자 중의 하나인 생식패턴(Ludwig와 Reynolds, 1988), 즉 설치류에 의한 잣 종자의 복수매

장 습성도 하나의 원인으로 생각된다(그림 1.13).

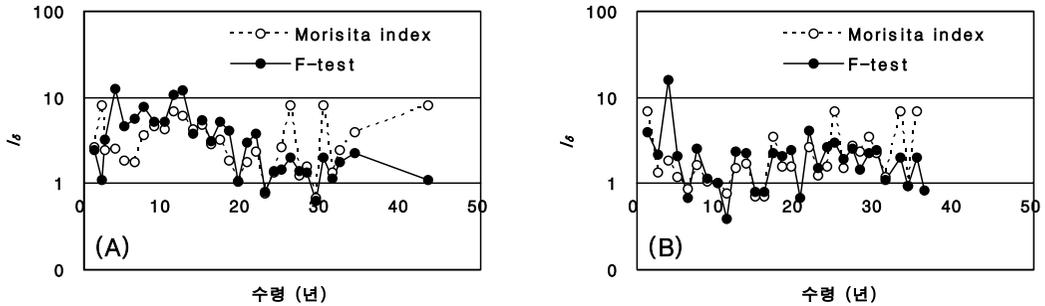


그림 1.13. 지역별 잣나무의 수령에 따른 공간분포 양상. (A) 춘천지역, (B) 홍천지역.

나. 물질생산

1) 지상 및 지하부의 현존량

비간벌지 잣나무 치수의 현존량은 새로운 추정회귀식을 조제하였다. 비간벌지 잣나무 치수의 기관별 중량과 직경의 상대성장 관계는 그림 1.14와 같으며 회귀식은 표 1.7에 제시하였다.

간벌지의 잣나무 치수의 현존량은 간벌지의 잣나무 치수와 영급범위와 상층임관의 울폐정도가 50%로 비슷한 임분의 잣나무 치수에 대해 조제된 회귀식(지, 2004)을 이용하였다(표 1.8). 한편 간벌지 및 비간벌지의 상층의 신갈나무에 대한 현존량은 본 조사지와 인접한 신갈나무와 굴참나무 혼효림을 대상으로 조제한 회귀식(박 등, 2003)을 사용하였다(표 1.9).

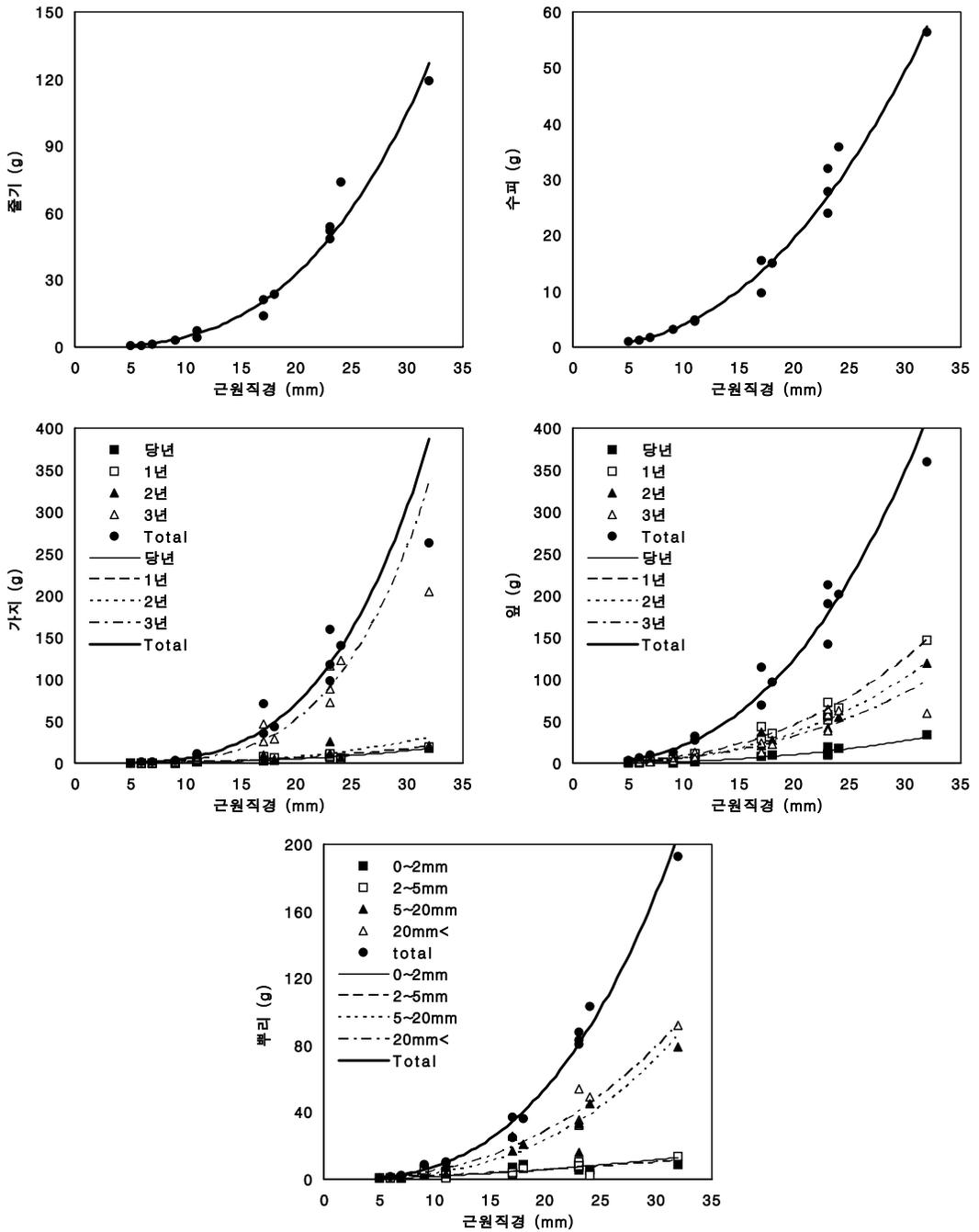


그림 1.14. 비간벌지 잣나무 치수의 근원직경과 기관별 중량의 상대성장 관계.

표 1.7. 비간벌지 잣나무 치수의 근원직경과 기관별 중량의 상대성장식*.

기 관		a	b	R ²
줄 기		0.0059	2.8799	0.99
가 지	당년	0.0018	2.6449	0.87
	1년	0.0018	2.6842	0.85
	2년	0.0006	3.1162	0.90
	>3년	0.0003	3.9812	0.98
잎	당년	0.0086	2.3685	0.94
	1년	0.0263	2.4881	0.99
	2년	0.0159	2.5753	0.98
	>3년	0.0218	2.4255	0.94
뿌 리	<2mm	0.0362	1.7032	0.87
	2-5mm	0.0698	1.4678	0.66
	5-20mm	0.0055	2.7863	0.91
	>20mm	0.0159	2.5021	0.77
수 피		0.0206	2.2895	0.99

* $Y = aX^b$; Y는 건조중량(g), X는 근원직경(mm)

표 1.8. 간벌지의 잣나무 치수의 근원직경과 기관별 중량의 상대성장식*(지, 2004).

기 관		a	b	R ²
줄 기		0.0491	2.4547	0.96
가 지	당년	0.0436	1.6980	0.93
	1년	0.0510	1.7584	0.93
	2년	0.0304	1.9469	0.95
	>2년	0.0063	2.8162	0.98
	고사	0.0014	2.4209	0.62
잎	당년	0.1665	1.9183	0.95
	1년	0.0841	1.9665	0.96
	2년	0.0344	2.1859	0.94
	>2년	0.0425	2.0572	0.89
뿌 리		0.0660	2.1416	0.95

* $Y = aX^b$; Y는 건조중량(g), X는 근원직경(mm)

표 1.9. 참나무의 흉고직경과 기관별 중량의 상대성장식*(박, 2003).

기 관		a	b	R ²	E
줄 기	목 부	1.892	2.536	0.973	1.257
	수 피	1.655	2.188	0.942	1.344
가 지	생가지	0.488	3.097	0.918	1.651
	고사지	0.820	1.379	0.148	6.016
	당년지	0.561	2.489	0.930	1.448
잎		0.121	2.489	0.930	1.448

* $\log Y = A + B \log X$; Y는 건조중량(g), X는 DBH(cm)

표 1.10. 비간벌지 신갈나무림의 잣나무 치수와 신갈나무의 현존량.

기 관		잣나무		신갈나무	
		ton/ha	%	ton/ha	%
줄 기	목부	0.182	14.4	200.90	67.0
	수피	0.059	4.7	36.20	12.1
가 지	당년	0.017	1.3	0.66	0.2
	1년	0.020	1.6	33.80(>1년)	11.6
	2년	0.031	2.4		
	>2년	0.380	30.6	0.16(고사지)	0.05
잎	당년	0.032	2.5	3.04	1.0
	1년	0.148	11.7		
	2년	0.121	9.6		
	>2년	0.099	7.6		
뿌 리	<2mm	0.015	1.2	25.01(전체)	8.4
	2-5mm	0.014	1.2		
	5-20mm	0.066	5.2		
	>20mm	0.075	5.9		
전 체		1.260	100.0	299.70	100.0

표 1.11. 간벌지 신갈나무림의 잣나무 치수와 신갈나무의 현존량.

기 관	잣나무		신갈나무		
	ton/ha	%	ton/ha	%	
줄 기	2.770	32.4	135.54	73.2	
가 지	당년	0.099	1.2	0.37	0.2
	1년	0.149	1.7	27.34(>1년)	13.8
	2년	0.195	2.3		
	>2년	1.713	20.1		
	고사지	0.068	0.8	0.25	0.1
잎	당년	0.948	11.1	1.78(잎전체)	0.9
	1년	0.587	6.9		
	2년	0.610	7.1		
	>2년	0.436	5.1		
뿌 리	0.969	11.3	23.45	11.8	
전 체	8.540	100.0	198.73	100.0	

비간벌지 신갈나무림의 전체 현존량은 299.7ton/ha이며 이 중 잣나무 치수의 현존량은 1.26ton/ha으로 약 0.4%를 차지하였다. 신갈나무의 현존량은 잣나무 치수의 약 230배로서 이 임분의 물질생산에 대한 기여도는 매우 낮았다(표 1.10).

한편, 간벌지 신갈나무림의 전체 현존량은 198.7ton/ha이며 이 중 잣나무 치수의 현존량은 8.54ton/ha으로 약 4%를 차지하여 신갈나무의 현존량은 잣나무 치수의 약 23배였다. 간벌지의 잣나무 치수의 현존량은 비간벌지의 7배 가까이 증가하였는데, 이는 상층임관의 소 개에 의한 광환경의 개선 때문으로 생각된다(표 1.11).

본 연구의 잣나무 치수의 영급 범위 내에 있는 9년생과 22년생의 잣나무 인공림의 경우, 지상부 줄기, 가지, 잎 현존량의 상대비율(%)은 9년생이 각각 52, 22 및 26, 22년생이 66, 22 및 12(이, 1998)로, 물질생산의 분배는 줄기 > 가지 > 잎의 순서였다. 본 연구의 잣나무 치수의 줄기, 가지 및 잎 현존량의 상대비율(%)은 비간벌지에서 각각 22, 41 과 37, 간벌지에서 37, 29와 34를 나타냈다.

잣나무 치수는 인공조림지의 잣나무에 비해 지상부 줄기에 대한 물질분배율이 현저히 낮았으며 상대적으로 잎과 가지로의 물질분배율이 현저히 높았다. 한편, 지상부 현존량에 대한 지하부 현존량의 비(root/shoot ratio)는 잣나무 인공림보다 잣나무 치수림이 현저히 낮아서 약 1/2 수준이었다(표 1.12).

표 1.12. 잣나무 인공림과 잣나무 치수림의 R/S 비.

임 형	지하부	지상부	R/S	출 처
	현존량(R)	현존량(S)		
ton/ha				
인공림(18년)	22.25	81.40	0.27	권태호(1982)
인공림(55년)	22.00	96.00	0.23	이경재(1984)
인공림(22년)	27.15	124.99	0.21	이경재, 박인협(1987)
천연갱신 치수림(간벌지)	0.97	7.57	0.13	본 연구
천연갱신 치수림(비갈벌지)	0.17	1.088	0.16	본 연구

2) 단위 엽면적당 무게(LMA)와 엽록소

상층 임관의 간벌지와 비간벌지의 잣나무 전생치수의 잎에 대하여 연령별로 면적당 잎 무게(LMA), 엽록소 및 엽록소/N비를 그림 1.15에 나타냈다. 간벌지와 비간벌지 간의 잣나무의 LMA는 차이가 인정되어 차광률이 높은 비간벌지의 잣나무 치수는 간벌지의 치수에 비해 유의적으로 낮은 값을 보였다. 각 처리 내에서 당년 잎과 2 이상 연령의 잎 간에는 차이가 있었으나 1년 이상의 연령들 간에는 차이가 인정되지 않았다. 총 엽록소 양과 엽록소 b는 비간벌지의 연령별 모든 잎이 간벌지 잎보다 높았으며, 잎 연령이 높아짐에 따라 증가 경향을 보였다. 또한 엽록소/N비로 상층 수관에 의한 비음도가 높은 비간벌지의 잎이 간벌지 잎보다 높았다.

이상과 같이 잣나무 전생치수의 물질생산에는 상층목의 간벌에 의한 광환경 개선효과가 나타났다. 잣나무 치수 개체 잎 수준에서의 광순화는 LMA로 나타났다. 광환경이 개선된 간벌지 잣나무 치수의 LMA가 증가하여 비간벌지 잣나무 치수의 잎보다 단위면적당 광합성 기관의 증가를 시사하고 있다.

빛을 포착하고 운반하는 엽록소의 양과 조성은 식물의 광합성 능력과 밀접한 관계가 있는데, 특히 집광부위와 결합한 엽록소 b의 양은 비간벌지의 잣나무 치수 잎에서 높았다. 이것은 상층 임관의 비음효과에 따른 집광능력의 증가를 의미하는 것으로 잣나무 치수가 광환경에 순응하면서 생육하고 있음을 알았다.

또한 광량이 비교적 부족한 비간벌지의 잣나무 치수 잎의 엽록소/N의 비율이 간벌지에서의 비율보다 높았는데, 이는 잣나무의 침엽은 광이 부족하게 되면 질소를 엽록소 쪽으로

분배함을 알 수 있었다.

이와 같은 광환경에 따른 잣나무 치수의 기능적 응답이 잣나무의 물질생산 및 분배에 영향을 미친 것으로 생각된다.

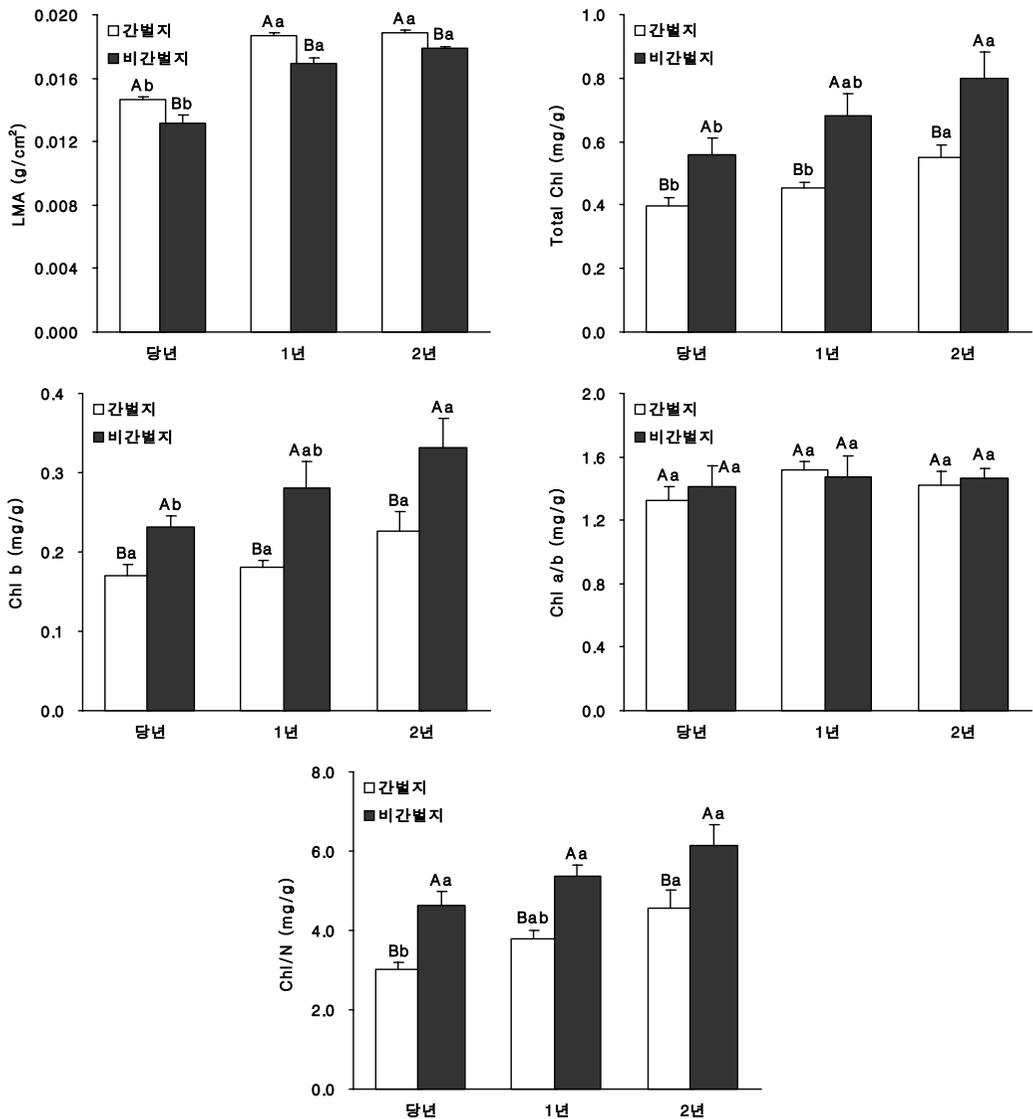


그림 1.15. 상층간벌지와 비간벌지의 잣나무 전생치수 잎의 연령별 LMA, 총엽록소, 엽록소b, 엽록소 a/b 및 엽록소/N. 대문자와 소문자는 각각 시업처리간의 동일연령과 동일처리 내 연령간의 유의적 차이 여부를 나타냄. 서로 다른 문자는 p<0.05에서 유의적 차이가 있음.

다. 입지와 토양

1) 입지환경

춘천, 홍천 및 가평지역의 입지인자 조사결과를 표 1.13에 나타냈다.

표 1.13. 춘천, 홍천 및 가평지역의 입지환경.

조사 지역	조사 구	입종 (상층우점)	표고 (m)	사면방향 (방위°)	경사도 (%)	경사 형태	지형	퇴적 양식
춘천 지역	C 1	단순림 (신갈)	350	서남서 (257)	40	평형	능선	잔적
	C 2	단순림 (굴참)	377	서남서 (250)	27	평형	능선	잔적
	C 3	혼효림 (굴참 + 신갈)	370	서남서 (224)	30	평형	능선	포행
	C 4	단순림 (굴참)	430	서남서 (267)	33	상승	산복	포행
	C 5	단순림 (굴참)	430	서남서 (267)	33	평형	산복	포행
	C 6	혼효림 (굴참 + 신갈)	440	서남서 (260)	30	상승	산복	포행
	C 7	혼효림 (굴참 + 신갈)	440	서남서 (260)	29	평형	산복	포행
홍천 지역	H 1	혼효림 (굴참 + 신갈)	560	서남서 (260)	15	하강	산복	포행
	H 2	혼효림 (굴참 + 신갈)	585	서남서 (262)	30	상승	산복	포행
	H 3	혼효림 (굴참 + 신갈)	590	서 (270)	45	상승	산복	포행
	H 4	단순림 (굴참)	630	남남서 (190)	35	평형	산복	포행
	H 5	단순림 (굴참)	635	남남동 (178)	30	평형	산복	포행
	H 6	단순림 (신갈)	660	남남서 (182)	39	평형	산복	포행
	H 7	단순림 (굴참)	631	남남동 (170)	35	평형	산복	포행
	H 8	단순림 (신갈)	604	북북서 (330)	25	평형	산복	포행
가평 지역	G 1	단순림 (신갈)	290	서남서 (267)	32	평형	산복	포행
	G 2	단순림 (신갈)	300	서남서 (257)	39	상승	산복	포행
	G 3	혼효림 (졸참 + 다릅)	330	서북서 (308)	12	상승	능선	잔적
	G 4	단순림 (신갈)	350	북북동 (44)	34	평형	산복	포행
	G 5	단순림 (신갈)	376	북북서 (320)	20	평형	산복	포행
	G 6	혼효림 (신갈 + 졸참 + 산벚)	412	서북서 (275)	34	평형	산복	포행
	G 7	단순림 (신갈)	385	서북서 (290)	28	평형	산복	포행
	G 8	혼효림 (신갈 + 산벚)	312	서 (270)	22	평형	산복	포행

잣나무 치수는 대부분 참나무류를 주로 하는 임분 내에 발생하고 있으며 주요 상층우점 수종은 신갈나무와 굴참나무이다. 표고(m)는 춘천, 홍천 및 가평지역이 각각, 350-440, 560-660 그리고 290-412의 범위이다. 사면방향은 주로 남-서이지만, 방위각은 44-330까지 범위가 넓었다. 경사도(%)는 15-45로 다양했으며, 형태는 평행경사가 대부분이었다. 지형은 대부분 산복으로 능선부분에도 잣나무 치수가 발생하였다. 퇴적양식은 대부분 포행 이었으나 침식상태는 거의 인정되지 않았으며 토양배수 상태는 양호한 편이었다. 단, 이상의 내용은 잣나무 치수가 발생한 곳 중에서 조사구를 설치한 곳에만 국한된 내용이라는데 한계성이 있으나, 본 연구의 조사범위에서 보면, 잣나무 치수는 표고 290-660m 범위의 남 또는 서 사면에서 평형사면의 침식이 없고 배수가 원활한 곳에서 비교적 잘 발생하는 것으로 생각된다.

2) 토양의 물리성

각 지역별 조사구 토양의 물리성을 표 1.14에 나타냈다. 토양 단면의 A층을 기준으로 볼 때 용적밀도(g/cm^3)는 홍천, 춘천 및 가평지역이 각각, 0.81-0.89, 0.92-1.08 및 1.02-1.11이었으며 비교적 홍천지역에서 낮았다. 3개 지역의 평균은 각각 0.88, 1.00 및 1.06으로 홍천지역이 낮았는데 이것은 이 지역이 표토층의 침식현상이 비교적 적고 유기물의 혼입과 토양구조가 발달했기 때문으로 생각된다.

우리나라 산림토양의 A층의 평균치는 0.88인데(정, 2002), 홍천지역을 제외한 춘천과 가평은 이 수준보다 높았다.

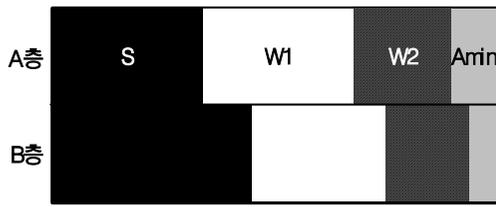
B층의 용적밀도(g/cm^3)는 측정된 일부 조사구에 국한할 때 0.88-1.22의 범위이며 평균은 1.07인데 우리나라 및 강원도 산림토양의 평균값 1.01과 같은 수준이었다.

토성은 주로 양토(L)와 사질양토(SL)이었으며 동일 조사구내 A층과 B층간의 토성은 대부분 동일하였다.

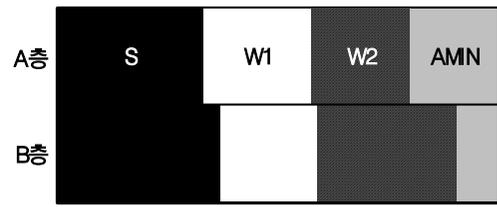
입경분포는 A층의 경우 모래, 실트 및 점토의 평균비율(%)은 홍천지역이 각각 51.0, 37.0, 12.0, 춘천지역이 44.8, 43.0 및 12.2 그리고 가평지역이 51.1, 36.3 및 12.7로 조사되어 3개지역간 점토의 비율은 크게 다르지 않았다. 춘천지역은 모래성분이 비교적 적었고 실트의 비율이 높았다.

표 1.14. 토양의 물리적 성질.

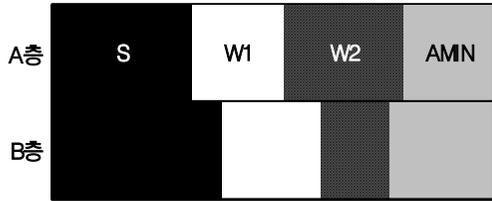
조사 지역	조사 구	층 위	용적 비중 (g/cm ³)	토성	입경분포 (%)			토양3상 (%)			전공극 (%)	포화 투수계수 (m/sec)	채취시 수분 (%)	최대 용수량 (%)
					모래	미사	점토	고상	액상	기상				
춘천지역	C1	A	1.01	양토(L)	40.2	45.3	14.5	37.6	24.2	38.2	62.4		29.5	50.6
	C2	A	0.98	양토(L)	45.2	42.6	12.2	30.2	37.3	32.5	69.8		30.9	55.9
	C3	A	1.00	양토(L)	48.6	41.0	10.4	30.0	29.9	40.1	70.0		35.5	54.2
	C4	A	1.05	양토(L)	50.1	37.4	12.5	34.8	22.2	43.0	65.2		31.4	60.3
	C5	A	0.92	미사질양토(SiL)	37.4	50.4	12.2	38.6	28.3	33.1	61.4	1.34×10 ⁻¹	32.6	52.4
		B	0.98	양토(L)	37.7	39.1	23.2	38.1	22.8	39.1	61.9	3.40×10 ⁻²	26.0	48.6
	C6	A	0.99	양토(L)	44.2	43.6	12.2	39.7	25.6	34.7	60.3	2.68×10 ⁻¹	32.1	50.0
B		1.19	양토(L)	48.3	39.5	12.2	37.4	18.8	43.8	62.5	1.49×10 ⁻¹	17.8	46.8	
C7	A	1.08	양토(L)	48.2	40.6	11.2	42.5	30.3	27.2	57.5		36.3	54.1	
홍천지역	H1	A	0.88	양토(L)	40.9	46.2	12.9	30.3	20.5	49.2	69.7	2.91×10 ⁻¹	32.4	62.0
		B	0.99	양토(L)	44.1	39.2	16.7	39.9	21.3	38.8	60.1	4.20×10 ⁻²	28.1	50.7
	H2	A	0.86	양토(L)	51.3	33.8	14.9	50.1	14.5	35.4	49.9		19.6	44.5
	H3	A	0.86	양토(L)	65.3	24.4	10.3	34.6	13.7	51.7	65.4	1.22×10 ⁻¹	19.5	58.0
		B	1.01	양토(L)	66.0	24.4	9.6	40.5	18.1	41.5	59.5	3.10×10 ⁻²	24.6	42.7
	H4	A	0.91	사질양토(SL)	54.0	36.0	10.0	36.9	20.5	42.6	63.1	2.30×10 ⁻²	27.5	60.8
		B	0.88	사질양토(SL)	49.5	37.6	12.9	32.9	24.6	42.5	67.1	7.30×10 ⁻²	24.0	57.1
	H5	A	0.81	양토(L)	44.2	43.0	12.9	34.4	17.1	48.5	65.6	1.11×10 ⁻¹	26.8	55.7
B		1.11	양토(L)	45.8	38.7	15.4	45.7	18.0	36.4	54.3	3.80×10 ⁻²	28.4	51.7	
H6	A	0.89	양토(L)	43.7	43.1	13.2	36.7	16.5	46.8	63.3	1.90×10 ⁻²	24.3	46.2	
	B	1.22	양토(L)	41.6	48.1	10.3	45.6	12.8	41.6	54.4	3.80×10 ⁻²	25.6	52.0	
H7	A	1.00	양토(L)	50.6	37.3	12.1	44.9	22.9	32.2	55.1		27.4	48.4	
H8	A	0.89	사질양토(SL)	57.6	32.4	10.0	34.6	25.8	39.6	65.4	1.90×10 ⁻²	28.6	44.3	
	B	1.20	사질양토(SL)	53.0	33.8	13.2	47.1	23.3	29.5	52.9	4.00×10 ⁻³	27.9	41.4	
가평지역	G1	A	1.10	양토(L)	51.2	39.0	9.8	48.2	26.2	25.6	51.8		27.9	45.4
	G1	A	1.02	양토(L)	49.8	36.6	13.6	43.6	29.8	26.6	56.4		32.0	49.2
	G3	A	1.08	사질양토(SL)	55.4	35.7	8.9	50.1	32.7	17.2	49.9		33.7	41.0
	G4	A	1.04	사질양토(SL)	52.8	31.0	16.2	49.4	36.2	14.4	50.6		40.5	39.5
	G5	A	1.05	양토(L)	50.5	38.6	10.9	42.7	37.1	20.2	51.3		39.7	46.5
	G6	A	1.06	사질양토(SL)	52.6	35.1	12.3	47.6	33.8	18.6	52.4		34.3	43.7
	G7	A	1.11	양토(L)	48.2	36.4	15.4	41.3	41.5	17.2	58.7		42.7	50.1
	G8	A	1.05	양토(L)	47.9	37.8	14.3	39.9	36.5	23.6	60.1		38.1	48.8



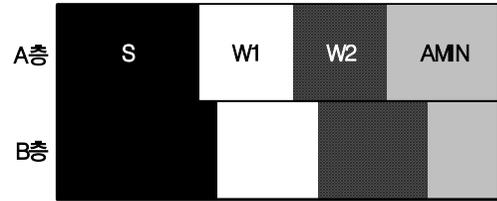
< H1 >



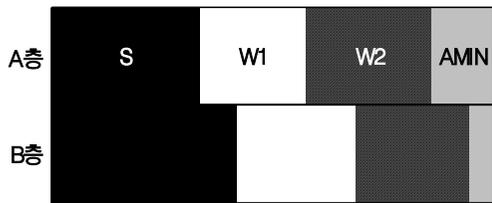
< H2 >



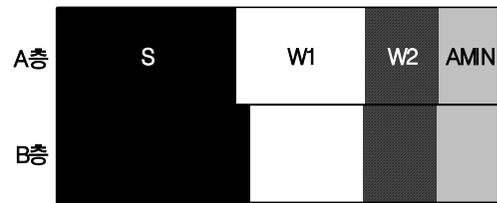
< H3 >



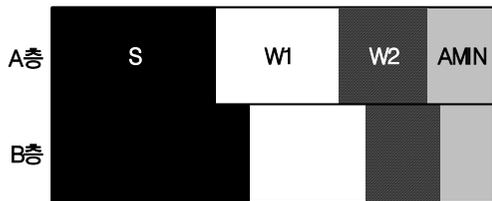
< H4 >



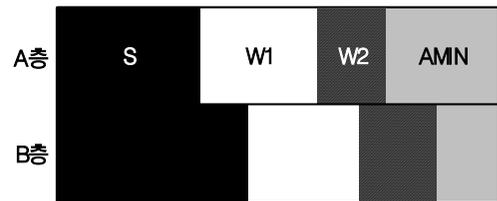
< H5 >



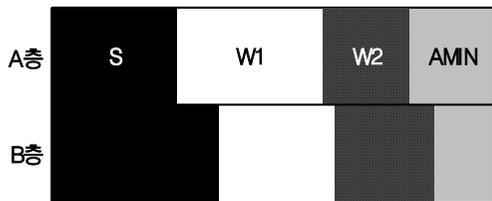
< H6 >



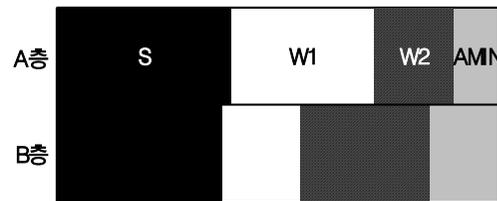
< H7 >



< H8 >



< C1 >



< C2 >

그림 1.16. 토양물리성의 용적비.

(S: 토양, W1: 채취시수분량, Amin: 최소용기량, W1+W2: 최대용수량, W2+Amin: 채취시공기량)

A층의 토양 3상중 가변성이 적은 고상률(%)의 평균은 홍천, 춘천 및 가평지역이 각각 39.4, 36.2 및 45.4로 나타나 가평지역이 비교적 높았으며, 공극률(%)은 각각 60.6, 63.8 및 53.9로서 비교적 가평지역에서 낮은 경향을 보였다.

우리나라 및 강원도 산림토양의 3상 조성 중에서는 기상은 비율이 높는데(정 등, 2002), 가평지역의 평균은 고상, 액상, 기상의 비율(%)이 각각 45.4, 34.2 및 20.4로 기상의 비율이 가장 낮았다.

전 공극률(%)은 홍천, 춘천 및 가평지역에서 각각 60.6, 63.8 및 53.9로 나타나 토양 용적의 절반 이상을 차지하였다.

최대용수량(%)의 지역별 평균은 홍천, 춘천 및 가평지역에서 각각 52.5, 53.9 및 45.5로 가평지역에서 비교적 낮은 것으로 나타났다.

토양단면의 A층과 B층이 조사된 조사구에 대한 토양의 용기율(%)을 채취 수분량, 최대용수량과 함께 그림 1.16에 나타냈다. 최소용기량(A_{min})은 대부분 A층에서 높았으며, 층위별 용기율은 변화폭이 큰 것으로 나타났다.

3) 토양의 화학성

각 조사지의 표토층(10cm) 토양의 화학성을 표 1.15에 제시하였다. 토양 pH(H₂O)는 춘천, 홍천 및 가평지역이 각각 4.99-5.46, 4.80-5.20 및 4.80-5.20의 범위이며, 평균은 각각 5.18, 4.98 및 4.88이었다. 이들 값은 우리나라 산림토양의 전국 및 강원도의 평균값(정, 2002) 5.48과 5.52에 비해 다소 낮은 수준이다.

토양유기물(%)은 춘천, 홍천, 가평지역의 평균값이 각각 3.79, 4.92 및 4.41로 춘천지역이 비교적 낮았으며, 우리나라 산림토양의 토양유기물함량 수준에 비해서도 낮았다. 전질소(%)는 춘천, 홍천, 가평지역에서 0.11-0.24, 0.16-0.27 및 0.16-0.25의 범위이며, 각 평균은 0.16, 0.21, 0.20으로 우리나라와 강원도 지역 산림토양의 평균값 0.19 및 0.21과 비슷한 수준이었다.

유효인산(mg/kg)은 조사구간 차이가 비교적 컸으며, 춘천지역이 16.5로 타 지역보다 높았으나, 우리나라와 강원도 산림토양의 평균값보다 낮았다.

치환성 K(cmol/kg)은 우리나라 및 강원도 지역 평균값 0.23과 0.26에 비하여 춘천지역은 다소 높았으나 홍천과 가평지역은 다소 낮았다. 치환성 Ca(cmol/kg)은 춘천, 홍천 및 가평

지역이 각각 0.71, 0.47 및 0.39로 비교적 춘천지역에서 높았으나, 이들 값은 우리나라 및 강원도 산림토양의 평균값에 비해 크게 낮았다.

치환성 Mg(cmol/kg)도 춘천지역의 평균값1.10은 우리나라와 강원도의 평균값과 비슷한 수준이었으나 홍천과 가평지역은 낮았다.

표 1.15. 토양의 화학적 성질.

조사 지역	조사 구	pH (H ₂ O)	유기물 (%)	전질소 (%)	유효인산 (mg/kg)	치환성 양이온(cmol/kg)				CEC (cmol/kg)	염기포화도 (%)
						K	Na	Ca	Mg		
춘천지역	C1	5.34	5.42	0.24	14.9	0.5	0.06	0.92	1.40	14.90	19.3
	C2	5.32	4.97	0.23	21.6	0.39	0.06	0.73	2.18	13.80	24.2
	C3	5.46	4.55	0.19	18.5	0.62	0.04	1.02	1.94	31.20	11.6
	C4	5.13	2.57	0.12	10.8	0.27	0.10	0.38	0.61	11.00	12.4
	C5	5.02	3.08	0.13	22.6	0.17	0.08	0.43	0.49	14.30	7.1
	C6	5.00	3.25	0.11	15.4	0.24	0.12	0.60	0.42	13.64	10.1
	C7	4.99	2.70	0.11	12.2	0.33	0.16	0.87	0.64	16.06	12.5
홍천지역	H1	4.84	5.95	0.27	3.79	0.11	0.06	0.46	0.23	22.22	3.8
	H2	5.03	5.01	0.21	5.00	0.18	0.05	0.54	0.31	17.65	6.1
	H3	4.84	3.53	0.16	4.43	0.12	0.04	0.30	.19	15.84	4.1
	H4	5.09	4.93	0.22	3.82	0.27	0.04	0.49	0.22	19.14	5.3
	H5	5.10	3.92	0.17	5.19	0.26	0.05	0.38	0.21	20.68	4.4
	H6	4.96	4.99	0.19	6.57	0.10	0.04	0.49	0.24	18.00	4.7
	H7	5.20	4.75	0.23	3.98	0.21	0.06	0.61	0.35	23.41	5.3
	H8	4.80	6.28	0.26	9.45	0.16	0.04	0.47	0.24	14.36	5.7
가평지역	G1	4.88	3.69	0.18	4.11	0.15	0.03	0.28	0.30	19.62	3.9
	G2	4.96	4.34	0.17	3.84	0.17	0.05	0.43	0.33	23.21	4.2
	G3	5.14	4.01	0.21	3.60	0.09	0.04	0.35	0.28	16.60	4.6
	G4	4.71	5.33	0.25	6.01	0.20	0.05	0.39	0.34	23.63	4.1
	G5	4.65	5.18	0.23	4.70	0.23	0.02	0.50	0.45	21.09	5.7
	G6	4.83	4.55	0.18	3.37	0.16	0.04	0.31	0.29	18.14	4.4
	G7	5.05	3.67	0.16	4.08	0.24	0.06	0.41	0.33	19.00	5.4
	G8	4.86	4.49	0.20	3.23	0.21	0.04	0.47	0.40	16.72	6.7

CEC(cmol/kg)는 춘천, 홍천 및 가평지역이 각각 11.0-31.2, 14.4-23.4 및 16.6-23.6의 범위로 지역별 조사구간의 차이가 컸으며, 평균은 각각 16.4, 18.9 및 19.8이었다. 이들 값은 우리나라 및 강원도 산림토양의 평균값 12.5와 13.4에 비해 다소 높은 경향이였다.

염기포화도(%)의 지역별 평균값은 춘천, 홍천 및 가평지역이 각각 13.9, 4.9 및 4.9로서, 우리나라와 강원도의 평균값 31.2와 41.7에 비해 현저히 낮다.

본 연구의 조사지는 전국 산림토양의 평균 CEC에 비해 낮지 않았으나, 염기포화도가 매우 낮았는데 이것은 전체적으로 치환성 양이온이 결여되었기 때문인데, 특히 Ca의 농도가 현저히 낮았다.

4) 잣나무 인공림 내외의 치수 발생

장령의 잣나무 인공림(모수림)의 내부와 주변의 치수발생 빈도를 비교하기 위해 가평균 상동의 서리산(825m)의 산록부에 인공식재된 장령의 잣나무 인공림을 선정하였다. 춘천과 홍천지역은 조사구 주변에 장령의 잣나무림이 불규칙하게 다수 산재하고 있기 때문에 발생한 잣나무 치수에 대한 모수림의 판단이 불가능하고 모수림으로부터의 거리 등을 고려 할 경우에도 적절히 않다고 생각했기 때문이다.

가) 모수림내의 잣나무 치수 발생 상황

모수림 내에 5m × 5m의 조사구 16개를 설정하고 잣나무 치수의 개체수와 수고, 근원직경을 조사한 결과, 밀도(본/ha)는 2525, 평균 근원직경(mm)은 1.1, 수고(m)는 5.7이었다. 상층의 잣나무림은 VIII영급으로서 평균 흉고직경은 31.5cm, 밀도는 550본/ha이다. 근원직경과 수고의 1.0-2.0mm와 4.0-8.0cm의 범위로, 이상의 잣나무 치수는 발견되지 않았으며, 가지가 발생한 치수도 없었다. 또한 뿌리는 광질토양에 거의 이르지 못한 상태에서 세근의 발생도 매우 빈약하며, 부후되는 상태에 있었다.

한편, 임내의 O층은 7-12cm로 두껍고 상층모수림은 거의 울폐되어 있었다. 따라서 이러한 장령의 잣나무 인공림 내에서는, 잣 종자의 발아 후 치수의 성장을 일정한 단기간에 한정되고 있는 것으로 추정된다.

16개 조사구에 대하여 잣나무 지수의 공간분포 양상을 파악하기 위해 Morisita의 분산지수(Id)와 Standardized Morisita 지수(Ip)를 분석한 결과 각각 Id = 1.44 및 Ip = 0.51로서 약한 집중(clumped)분포 경향을 보였다.

나) 모수림 주변의 잣나무 치수 발생

약 1,8km 범위 내 모수림으로부터 거리에 따른 잣나무 치수 발생 빈도를 조사하였다(그림 1.17).

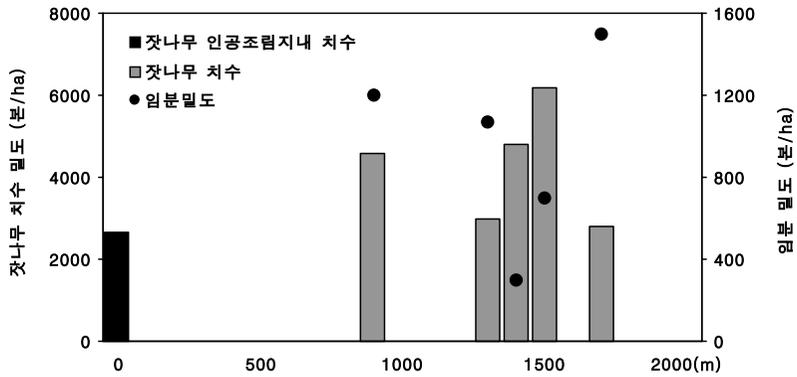


그림 1.17. 잣나무 조림지(VIII)로부터의 거리에 따른 잣나무 치수 발생.



사진 1.1. 잣나무 인공조림(가평상동 VIII영급).



사진 1.2. 잣나무 인공조림지 내 치수 발생.

모수림에서 1.8km 거리 내에서 5개 조사구에서 조사한 잣나무 치수의 밀도(본/ha)는 2800-6200 범위이며, 평균 4200으로 모수림내의 밀도보다 현저히 높았다. 거리에 따른 밀도

의 증·감 경향은 뚜렷하지 않았다. 하층식생으로서의 잣나무 치수의 발생이나 성장은 광선과 토양 양분 환경이 중요한 인자로 생각할 수 있는데, 동일 지역이므로 토양조건의 유사함을 고려할 때, 임내의 광환경에 미치는 상층목의 밀도는 잣나무 치수 발생과 상관관계가 있을 것으로 예측할 수 있으나 뚜렷한 경향을 볼 수 없었다. 이것은 잣나무 치수가 상층식생의 밀도는 물론 하층식생의 밀도에 보다 큰 영향을 받을 수 있음을 시사하는 것으로 볼 수 있으며, 이에 대한 상세한 조사가 필요하다고 생각된다.

라. Ordination

1) 잣나무치수 발생상황

활엽수림 내 잣나무 치수의 발생 상황은 단위 면적 내 개체수로 표현되는 밀도, 단위면적당 근원경 면적, 단위면적당 총수고, 단위면적당 총연령을 평가기준으로 정하여 춘천, 홍천, 가평지역의 조사구별 발생상황을 평가하였다(표 1.16). 잣나무의 수령은 마디수와 수령의 상관관계(이원섭, 2002)를 이용하여 추정하였다. 춘천지역은 밀도, 근원경합, 수고합 및 수령합에서 모두 제일 높은 값을 보였는데, 이것은 이 지역의 모수림이 홍천, 가평보다 일찍 조성됨을 시사해주고 있으며, 홍천과 가평은 큰 차이가 보이지 않았다.

표 1.16. 춘천, 홍천, 가평지역의 활엽수림 내 잣나무 발생상황.

		단위면적 : 1ha			
지 역	항 목	개체수	근원경합 (cm ²)	수고합 (m)	
춘 천	평균	59	128.58	57.12	
	표준편차	17.4	105.24	37.83	
홍 천	평균	49	115.34	51.14	
	표준편차	19.8	48.20	24.69	
가 평	평균	49	97.25	49.69	
	표준편차	38.75	128.85	38.52	

1) 잣나무치수의 발생과 생물학적 인자와의 상관관계

현재 구성수종이 잣나무 초기 발생 시의 임분 구성과는 완전히 같다고는 할 수 없지만 연구의 시간제한 상 현재 구성수종으로 비교하였다.

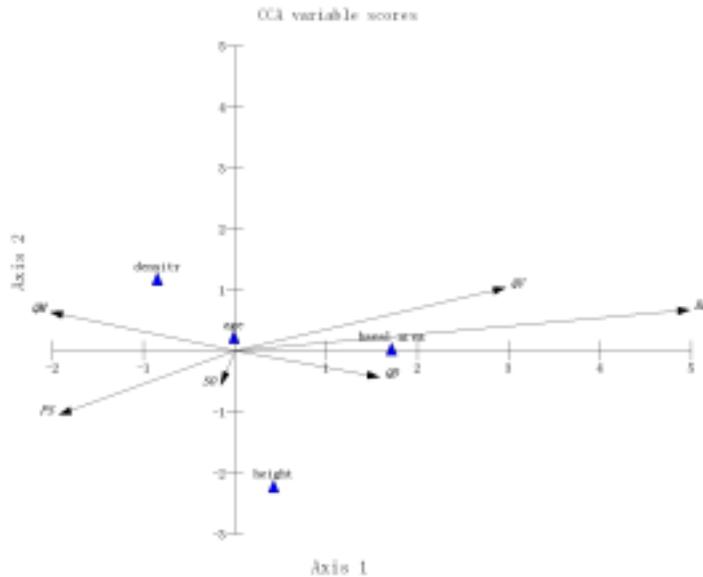


그림 1.18. 잣나무의 발생과 임분 구성 수종과의 상관관계.

표 1.17. CCA ordination 분석을 이용한 잣나무치수 발생에 영향을 미치는 생물학적 인자와 최초 1, 2축 간의 정준계수 및 상관계수.

인 자	정 준 계 수		상 관 계 수	
	축 1	축 2	축 1	축 2
굴참나무 (QV)	0.017	0.004	0.287	0.021
떡갈나무 (QD)	0.034	-0.016	0.187	-0.244
물박달나무 (BD)	0.071	-0.019	0.520**	-0.240
산벚나무 (PS)	-0.007	-0.008	-0.174	-0.112
신갈나무 (QM)	-0.028	0.018	-0.242	0.333
쪽동백나무 (SO)	0.016	-0.012	0.002	-0.136

** : $p < 0.01$

CCA ordination 분석의 특성상 변이가 0인 항은 분석이 불가하므로, 상층 및 중층에 있어서 한 개의 표본구에서만 출현한 노린재나무, 다릅나무, 상수리나무, 소나무, 졸참나무는 분석에서 제외하였고 최소한 2개의 표본구에 출현한 굴참나무, 떡갈나무, 물박달나무, 산벚나무, 신갈나무, 쪽동백나무의 흉고단면적을 변수로 하여 생물학적 환경 행렬을 작성하고, 구성수종들이 잣나무의 밀도, 근원경면적, 수고합, 수령합에 미치는 영향을 CCA ordination 분석을 이용하여 분석한 결과를 최초 1, 2축에 의한 2차원 평면상에 나타내었으며(그림 1.18), 각 인자와 최초 1, 2축 간의 정준계수 및 상관계수는 표 1.17에 나타내었다.

물박달나무, 굴참나무, 떡갈나무의 흉고단면적이 큰 곳에서 잣나무의 근원경 면적이 컸으며, 신갈나무, 산벚나무의 흉고단면적이 큰 곳에서 잣나무의 밀도가 높게 나타남을 알 수 있으며, 잣나무의 수고합과 수령합은 수종의 흉고단면적과 큰 상관성이 없음을 알 수 있다. 제1축은 대체로 물박달나무, 굴참나무, 떡갈나무와 정의 상관관계, 신갈나무, 산벚나무, 쪽동백나무와 부의 상관관계를 갖고 있는 것으로 나타났으나, 물박달나무만 높은 상관관계가 인정되었으며, 제2축은 높은 상관관계를 갖고 있는 수종이 없었다.

2) 잣나무의 발생과 입지환경과의 상관관계

입지환경은 그 특성에 따라서 각 구간별로 점수를 부여하여 environmental data matrix를 작성하였다(표 1.18). 해발고도는 자료의 4분위 점을 찾아 구간을 정하여 점수를 부여하였고, 사면방위, 경사도, 지형적 위치는 김광택 등(2002)을 참조하였으며, 경사형태와 퇴적양식은 기타 인자의 점수별 특성을 고려하여 수량화하였다.

표 1.18. 환경인자의 부여점수(Score values for environmental factors).

환경인자	부여점수			
	1	2	3	4
해발고	< 360m	361m-430m	430m-587.5m	> 587.5m
사면방위	N, NE	NW, E	W, SE	SW, S
경사도	< 15°	16°-30°	> 30°	
경사형태	하강	평행	상승	
지형적 위치	계곡	산복	능선	
퇴적양식	간적			포행

그림 1.19는 잣나무의 발생 상황 행렬과 수량화한 입지환경 인자 행렬에 대하여 CCA ordination 분석한 결과를 최초 1, 2축에 의한 2차원 평면상에 나타낸 것이다. 잣나무의 발생은 입지환경에 따라 분포하고 있으며, 해발고도가 높은 지역과 사면 방향에 있어서는 서, 동남, 서남, 남쪽 지역, 퇴적양식은 포행인 지역에 있어서 근원경 면적이 크며, 잣나무 밀도는 산복에서 능선지역으로 갈수록 높은 것으로 나타났다. 해발고도는 제1축과 제2축에서 높은 상관관계가 인정되어 잣나무의 근원경면적에 가장 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다(표 1.19). 또한 해발고도가 높을수록 밀도가 높고, 총수고합은 낮아지는 것으로 나타났다. 입지환경은 잣나무발생에 있어서 직접적인 요소라기보다는 광선, 수분, 영양분이 차이가 나게 함으로써 잣나무의 발생과 성장에 영향을 미치며, 더 나아가서는 갱신의 중요한 인자인 잣종자를 옮기는 청설모 등 산림동물의 습성에 영향을 미친다고 할 수 있다.

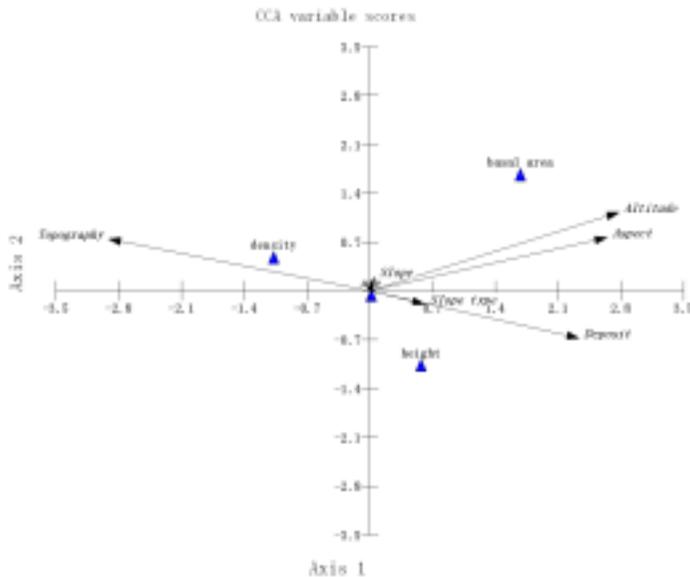


그림 1.19. 잣나무의 발생과 입지환경과의 상관관계.

표 1.19. CCA ordination 분석을 이용한 잣나무치수 발생에 영향을 미치는 입지환경과 최초 1, 2축 간의 정준계수 및 상관계수..

인 자	정 준 계 수		상 관 계 수	
	축 1	축 2	축 1	축 2
해발고	0.049	0.048	0.414*	0.459*
사면방위	0.063	0.048	0.370	0.389
경사도	-0.048	-0.034	0.022	0.037
경사형태	0.023	0.016	0.057	0.032
지형적 위치	-0.078	-0.043	-0.283	-0.178
퇴적양식	-0.052	-0.037	0.220	0.129

*: $p < 0.01$

3) 잣나무의 발생과 토양의 물리적 성질과의 상관관계

토양의 물리적 성질에 있어서 토양의 최대 용수량이 높은 지역, 기상 값이 높은 지역, 점토함량이 적은 지역은 잣나무 근원경 면적이 큰 것으로 나타났고, 점토함량이 낮은 곳에 밀도가 높고 총수고도 높음을 알 수 있다(그림 1.20, 표 1.20).

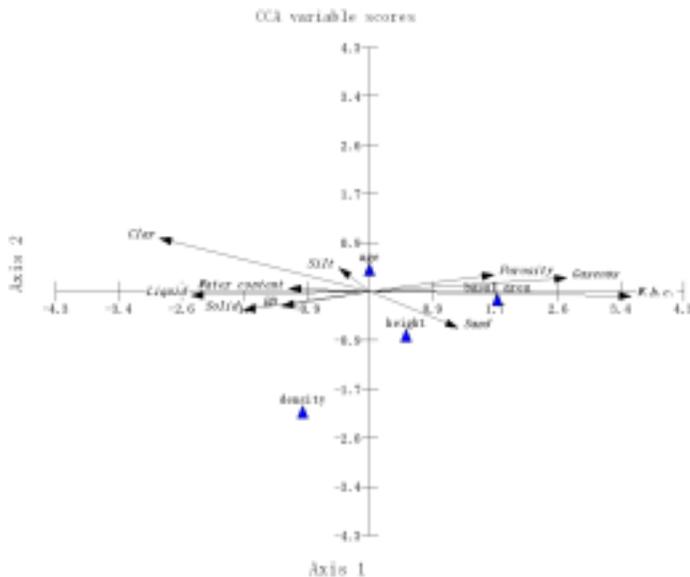


그림 1.20. 잣나무의 발생과 토양의 물리적 성질과의 상관관계.

표 1.20. CCA ordination 분석을 이용한 잣나무치수 발생에 영향을 미치는 토양의 물리적 성질과 최초 1, 2축 간의 정준계수 및 상관계수.

인 자	정 준 계 수		상 관 계 수	
	축 1	축 2	축 1	축 2
용적 비중	0.007	-0.013	-0.189	-0.232
모래 함량	0.007	-0.002	0.178	-0.341
미사 함량	0	0	-0.061	0.241
점토 함량	-0.049	0.015	0.431*	0.437*
고상	0.019	-0.045	-0.271	-0.305
액상	-0.121	-0.017	-0.377	-0.179
기상	0	0	0.417*	0.297
전공극	-0.002	-0.036	0.265	0.280
토양 함수율	0.111	0.016	-0.170	-0.029
최대 용수량	0.069	-0.005	0.548**	0.143

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

4) 잣나무의 발생과 토양의 화학적 성질과의 상관관계

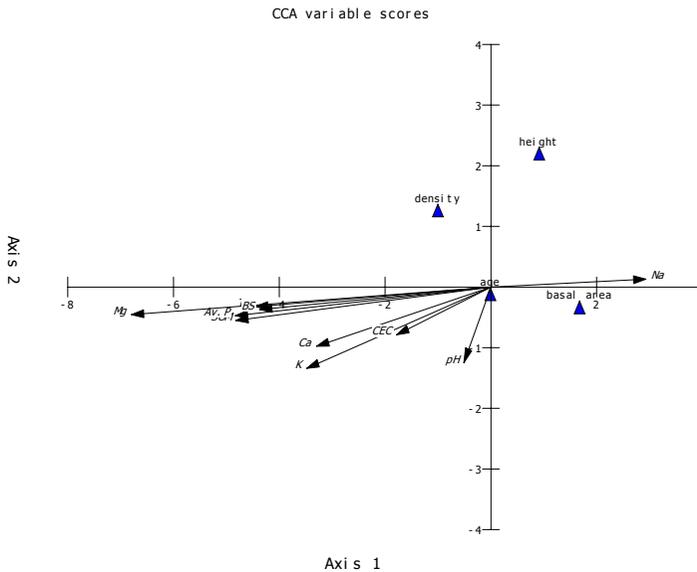


그림 1.21. 잣나무의 발생과 토양의 화학적 성질과의 상관관계.

그림 1.21은 잣나무의 발생 상황 행렬과 토양의 화학적 성질 행렬에 대하여 CCA ordination 분석한 결과를 최초 1, 2축에 의한 2차원 평면상에 나타낸 것이다. 잣나무의 발생은 토양의 화학적 성질에 분포하고 있으며, 근원경 면적은 Na 함량과 정의 상관관계, 기타 인자와는 부의 상관관계인 것으로 나타났으나, Mg 함량과 높은 부의 상관관계가 있는 것으로 나타났다(표 1.21).

표 1.21. CCA ordination 분석을 이용한 잣나무치수 발생에 영향을 미치는 토양의 화학적 성질과 최초 1, 2축 간의 정준계수 및 상관계수.

인 자	정 준 계 수		상 관 계 수	
	축 1	축 2	축 1	축 2
pH	0.047	-0.017	-0.026	-0.286
유기물	-0.043	-0.016	-0.323	-0.002
전질소	0.031	0.017	-0.299	0.043
유효인산	-0.062	-0.017	-0.324	0.018
치환성 K	0.020	-0.012	-0.227	-0.227
치환성 Na	0.052	0.017	0.198	-0.048
치환성 Ca	0.017	0.003	-0.216	-0.145
치환성 Mg	0.008	0.079	-0.457*	0.076
양이온 치환용량	-0.065	-0.025	-0.115	-0.141
염기포화도	-0.115	-0.059	-0.294	0.030

*: $p < 0.05$

이상의 32개 요인의 4개 주제별로 분석한 결과에서 천연활엽수림 내 자연발생한 잣나무 근원경 면적은 물박달나무의 흉고단면적, 해발고도, 토양의 최대용수량, 기상과 높은 정의 상관관계, 점토함량, Mg 함량과 높은 부의 상관관계가 있음을 알 수 있으며, 해발고도가 높을수록 밀도가 높고, 총수고합은 낮아지고, 점토함량이 낮은 곳에 밀도가 높고 총수고도 높음을 알 수 있다.

4개 주제별로 분석한 결과와 전체 환경인자를 하나의 행렬로 하여 잣나무의 발생과 CCA ordination 분석한 차이를 확인한 결과 제 1축과 높은 상관관계를 갖는 환경인자는 변

화가 없었으나, 제 2축과 높은 상관관계를 갖는 인자는 큰 차이를 보였다(그림 1.22, 표 1.22). 즉 각 주제별로 분석 시, 해발고도, 점토함량은 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났으나, 통합하여 분석 시에는 높은 상관관계가 없는 것으로 나타났고, 주제별로 분석 시 높은 상관관계가 인정되지 않았던 사면방향, 경사도, 용적밀도, 고상, 액상, 기상, 공극, 최대용수량과 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 즉 잣나무 근원경면적의 해석에 있어서는 일치하였으나 잣나무의 총수고 및 밀도에 있어서는 상이하게 분석되었는데, 사면방향, 경사도, 기상, 공극, 최대용수량 값이 높은 곳, 용적밀도, 고상, 액상 값이 낮은 곳에 잣나무의 총수고와 밀도가 낮고, 수령합은 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과의 차이는 CCA ordination 이 환경인자가 너무 많을 경우 분석결과에 있어서 차이가 있을 수 있다는 기존의 결과와 일치한다(Ter Braak, 1986).

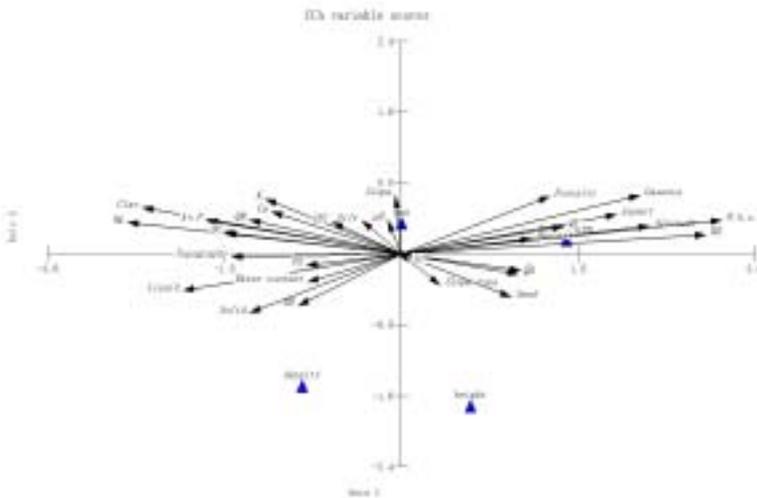


그림 1.22. 잣나무의 발생과 환경인자와의 상관관계.

표 1.22. CCA ordination 분석을 이용한 잣나무치수 발생에 영향을 미치는 인자와 최초 1, 2축 간의 정준계수 및 상관계수.

인 자	정 준 계 수		상 관 계 수	
	축 1	축 2	축 1	축 2
굴참나무 (QV)	-0.162	0.002	0.274	0.316
떡갈나무 (QD)	0.197	-0.041	0.192	-0.088
물박달나무 (BD)	-0.121	0.007	0.510*	0.338
산벚나무 (PS)	-0.053	0.020	-0.160	-0.149
신갈나무 (QM)	-0.086	-0.007	-0.248	0.173
쪽동백나무 (SO)	0.005	0.028	0.010	-0.059
해발고	0	0	0.417*	0.372
사면방위	0.247	-0.074	0.365	0.442*
경사도	0.042	0.027	-0.001	0.458*
경사형태	-0.035	0.014	0.060	-0.223
지형적 위치	0	0	-0.283	-0.127
퇴적양식	-0.246	0.037	0.219	0.200
용적 비중	-0.478	0.011	-0.18	-0.471*
모래 함량	0	0	0.176	-0.271
미사 함량	-0.066	0.021	-0.061	0.237
점토 함량	-0.070	0.003	-0.425*	0.205
고상	0	0	-0.262	-0.556**
액상	0	0	-0.369	-0.422*
기상	-0.303	0.030	0.406*	0.608**
전공극	0.183	0.022	0.256	0.544**
토양 함수율	0	0	-0.161	-0.279
최대 용수량	0	0	0.539**	0.463*
pH	-0.255	0.079	-0.018	0.259
유기물	-0.239	0.022	-0.319	0.148
전질소	0	0	-0.296	0.059
유효인산	-0.122	-0.031	-0.320	0.143
치환성 K	-0.046	-0.015	-0.219	0.348
치환성 Na	0.066	0.040	0.197	-0.058
치환성 Ca	0.170	-0.001	-0.210	0.251
치환성 Mg	0	0	-0.452*	0.079
양이온 치환용량	0.115	0.010	-0.111	0.207
염기포화도	0	0	-0.289	0.058

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

3. 결 론

참나무류의 상층목의 밀도(본/ha)가 춘천지역이 500-1100, 홍천지역 800-2500, 가평지역 300-1600인 범위이며, 이들 지역의 산림에 침입한 잣나무 전생치수의 발생 밀도는 각각 2800-7100, 1400-13800, 1867-6600인 것으로 나타났다. 잣나무 전생치수의 영급, 직경급, 수고급의 분포양상은 역 J자형 곡선을 나타내고 증가형 임분임을 시사하고 있으며, 잣나무 잎의 LMI는 비간벌지에서 높고, 엽록소 및 엽록소/N 비는 간벌지에서 높았다. 또한 현존량(지상부+지하부)은 간벌지의 잣나무 치수가 현저히 높았다. 따라서 잣나무 전생치수는 상층목에 의한 제한된 광환경하에서 순응하며 생장을 억제하는 형태로 생육하고 있었다. 잣나무 치수의 생장은 매우 느렸지만 약 30년이 넘는 경우는 그 밖의 상층 수종의 임관대로 신장하여 수관 상부의 줄기나 가지가 구부러지거나 물리적 마찰로 인하여 기형이 되거나 고사하고 있다. 따라서 참나무류의 상층목을 소개하여 잣나무 치수의 수고성장을 피하는 인위적 수단이 필요하다.

남서 사면을 중심으로 발생하고 있는 잣나무 전생치수의 공간적 분포양상은 집중분포 형태를 나타냈으며, 따라서 성장에 따라 수관의 확장에 따른 개체 간 공간경쟁이 발생하고 있는 곳은 적절한 간벌이 필요하다. 토양의 CEC는 우리나라 산림토양의 평균 수준보다 낮지 않았으나 염기 포화도가 낮아서 생산력 증대를 위해서는 양분의 개선이 필요하다. 수관이 울폐되고 O층이 두껍게 발달한 장령림 잣나무림 내의 잣나무 전생치수는 인접한 참나무림 내의 치수보다 밀도와 성장이 낮았으며, 더욱이 생육기간도 수년간에 한정되어 있다.

Ordination 분석결과 잣나무 전생치수의 근원 단면적은 표고, 토양최대용수량, 토양의 가용물과, 높은 정의 상관관계가 있었으며, 점토함량과 마그네슘의 함량은 부의 상관관계를 보였다. 표고의 증가에 따라 밀도가 높고 총 수고의 함은 낮아졌으며, 점토함량이 낮은곳에서 밀도와 총 수고가 높았다.

< 참고표 >

지역	표본구 번호	개체수	근원경합 (cm ²)	수고합 (m)	수령합
춘 천	1	44	32.17	22.40	530
	2	78	36.00	24.75	569
	3	28	17.76	10.77	273
	4	64	257.13	103.28	965
	5	68	159.81	82.35	982
	6	72	131.55	64.27	832
	7	58	265.67	94.12	799
홍 천	1	14	88.58	15.32	182
	2	41	173.87	53.25	586
	3	62	425.83	104.48	1125
	4	35	141.53	42.57	537
	5	35	148.92	60.55	620
	6	23	20.17	15.63	295
	7	138	206.97	116.32	1473
	8	41	24.57	25.52	366
가 평	1	46	21.67	25.02	310
	2	30	44.42	23.05	357
	3	48	163.68	68.30	483
	4	62	30.58	41.36	612
	5	28	70.99	39.47	404
	6	12	49.34	24.74	173
	7	19	37.12	23.88	236
	8	66	109.57	89.90	916

제 2 절 잣나무치수 발생 임분의 물질생산 및 양분순환 연구

1. 연구개발의 목표 및 내용

가. 연구개발 목표 및 내용

잣나무 전생치수 발생 임분에서 잣나무 치수를 상층식생으로 유도하기 위해 잣나무 전생치수의 성장 불량 문제를 해결해야 한다. 본 연구는 잣나무 전생치수의 성장 불량 문제를 해결하기 위한 시업의 기초자료를 확보하기 위해 잣나무가 천연 갱신되고 있는 주요 임분인 신갈나무림, 신갈나무와 굴참나무의 혼효림, 소나무림 등 3개 임분을 대상으로 물질 생산량 분포를 분석하여 임분 내에서 잣나무 전생치수의 물질 생산 위치를 파악하고, 토양을 포함한 임분 전체의 양분 분포, SLA와 엽록소 함량 분석 등을 통해 다른 수종과 혼효된 상태에서 잣나무 전생치수의 생장이 불량한 원인을 구명하고자 수행되었다.

나. 연차별 연구개발 목표와 내용

구 분	1 차 년 도 (2003)
연구개발 목표	낙엽활엽수림 중 신갈나무가 위주인 산림에서 잣나무 전생치수 발생 임분의 물질생산과 양분순환 경로 구명
연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 생체량 분석 : 잣나무와 다른 수종의 부위별, 수종별 분배 비율 등 ▪ 침엽 내 엽록소량 분석 : 인공조림 잣나무와 전생치수 발생 임분 내 잣나무 간의 상호 비교 ▪ 엽면적 분석 : 단위 침엽 및 전체 엽면적 ▪ 양분 분석 : 임목 구성 부위별 주요 양분 농도
연구개발 결과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 잣나무 전생 치수 발생 임분 내 수종별 물질 생산량 및 분배비율 파악 ▪ 양분 부족 현상의 원인 구명

구 분	2 차 년 도 (2004)
연구개발 목표	참나무류가 혼효된 산림에서 잣나무 전생치수 발생 임분의 물질생산과 양분순환 경로 구명
연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 생체량 분석 : 잣나무와 다른 수종의 부위별, 수종별 분배 비율 등 ▪ 침엽 내 엽록소량 분석 : 인공조림 잣나무와 전생치수 발생 임분 내 잣나무 간의 상호 비교 ▪ 엽면적 분석 : 단위 침엽 및 전체 엽면적 ▪ 양분 분석 : 임목 구성 부위별 주요 양분 농도
연구개발 결과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 잣나무 전생 치수 발생 임분 내 수종별 물질 생산량 및 분배비율 파악 ▪ 양분 부족 현상의 원인 구명

구 분	3 차 년 도 (2005)
연구개발 목표	침엽수림에서 잣나무 전생치수 발생 임분의 물질생산과 양분순환 경로 구명
연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 생체량 분석 : 잣나무와 다른 수종의 부위별, 수종별 분배 비율 등 ▪ 침엽 내 엽록소량 분석 : 인공조림 잣나무와 전생치수 발생 임분 내 잣나무 간의 상호 비교 ▪ 엽면적 분석 : 단위 침엽 및 전체 엽면적 ▪ 양분 분석 : 임목 구성 부위별 주요 양분 농도
연구개발 결과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 잣나무 전생 치수 발생 임분 내 수종별 물질 생산량 및 분배비율 파악 ▪ 양분 부족 현상의 원인 구명

다. 연구개발 방법 및 설계

1) 식생 조사 및 엽분석

잣나무 전생치수가 발생한 신갈나무림, 신갈나무와 굴참나무의 혼효림, 그리고 소나무림 등의 3개 임분에 토양, 방위, 경사, 고도 등의 입지 여건과 과거 시업 과정이 동일한 4개의 20m × 20m의 조사구를 설치하고 식생 조사를 실시하였다. 또한 각 조사구마다 5m × 5m의 소형 방형구를 4개씩 설치하여 하층에 발생한 모든 잣나무 치수의 근원직경을 측정하였다.

광합성 유효 광량은 각 조사구마다 임의로 선택된 5개 지점에서 ceptometer(AccuPAR LP-80, Decagon Device Inc., USA)를 이용하여 동서남북 4개 방위별로 측정하였다. SLA는

침엽의 연령별로 시료 중 100개로 선발하여 Winseedle reg 2005b로 엽면적을 측정한 다음 엽면적을 측정한 시료는 건중량을 측정하여 엽 건중량 당 엽면적의 비로 구하였다. 엽록소 함량은 침엽 시료 생중량 1g을 80% acetone으로 엽록소를 추출하고, spectrophotometer (U-1100, Hitachi, Japan)를 이용하여 645nm와 663nm의 파장에서 흡광도 (A)를 측정하여 구하였다. 총 엽록소 함량, 엽록소 a 함량, 엽록소 b 함량 등을 구하는 식은 아래 1, 2, 3과 같다(Arnon, 1959). 한편 연구 대상 임분 인근의 잣나무 인공 조림지에서도 동일하게 광합성 유효 광량을 측정하였고, 침엽을 채취하여 엽록소 함량을 구하였다.

$$\text{총 엽록소 함량 (mg/ml)} = 0.00802 \cdot A_{663\text{nm}} + 0.0202 \cdot A_{645\text{nm}} \quad (1)$$

$$\text{엽록소 a 함량 (mg/ml)} = 0.0127 \cdot A_{663\text{nm}} - 0.00269 \cdot A_{645\text{nm}} \quad (2)$$

$$\text{엽록소 b 함량 (mg/ml)} = 0.0229 \cdot A_{645\text{nm}} - 0.00468 \cdot A_{663\text{nm}} \quad (3)$$

2) 물질 생산량 추정

연차별로 연구대상지의 방형구에서 흉고직경 2cm 이상이 되는 모든 수목의 흉고직경을 측정한 다음 물질 생산량 추정 회귀식을 이용하여 물질 생산량을 추정하였다. 이미 유사한 지역에서 개발된 동일한 수종에 대한 회귀식이 있을 경우 이를 이용하는 것을 원칙으로 하되, 잣나무 전생치수의 물질 생산량 추정 회귀식은 모든 임분을 대상으로 새로이 조제하였다. 이를 위하여 방형구 내에서 조사된 것과 근원직경 및 수고가 유사한 천연갱신된 잣나무 치수 30-40분 정도를 매 임분에서 선정하였고, 지하부의 물질 생산량 추정을 위하여 뿌리까지 굴취하였다. 벌채목을 부위별(뿌리, 수간, 가지, 잎)로 분류하여 생중량을 측정한 후 65℃ 건조기에서 48시간 이상 항량에 이를 때까지 건조시킨 후 건중량을 측정하여 물질 생산량을 구하였다. 이를 바탕으로 근원직경을 기준으로 하는 물질 생산량 추정 회귀식을 조제하였다.

3) 양분 농도 및 함량 측정

잣나무 물질 생산량 추정을 위하여 수확한 잣나무와 인근 인공조림지의 잣나무에서 채취한 침엽, 뿌리, 수간, 가지 등의 시료를 분쇄한 다음 block digester(BD-46, Lachat Ins., USA)를 이용하여 Kjeldahl 분해하고 자동이온분석기(QuickChem-AE, Lachat Ins., USA)로

전질소와 인의 농도를 측정하였다. 또한 토양의 경우 깊이별로 시료를 채취하고 기건 후 2mm의 체로 거른 다음 분해하여 전질소와 인의 농도를 구하였다. 양이온(K, Ca, Na, Mg)은 식물체의 경우 block digester(BD-46, Lachat Ins., USA)를 이용하여 Kjeldahl 분해하고, 토양의 경우 1N Ammonium acetate로 토양을 추출한 다음 Atomic Absorption Spectrophotometer (AA-6600, Simadzu, Japan)로 측정하였다(농업기술연구소, 1988).

2. 연구 결과

가. 식생 구조 및 특성

1) 식생구조

1차년도 연구 대상 임분인 신갈나무림은 강원도 홍천군 북방면 일대의 강원대학교 연습림에 위치하고 있다(N 37°49', E 127°5'). 연구대상지에 관한 개략적인 자료는 표 2.1에 제시하였다. 이 지역의 지난 30년간 평년 기온은 10.1℃이고, 연평균 강수량은 1294.6mm이다(기상청, 2004).

표 2.1. 신갈나무림 연구대상지 개황.

조사구	우점 수종	고도 (m)	사면	경사 (%)	임분 밀도 (본/ha)	흉고 직경 (cm)	흉고 단면적 (m ² /ha)
1	신갈나무	658	남서	20	650	18.8	22.0
2	신갈나무 굴참나무	667	남서	22	925	21.9	31.4
3	신갈나무	627	남서	20	975	16.6	22.4
4	신갈나무	618	남서	22	1125	16.8	26.8

신갈나무림은 주로 신갈나무가 상층임관에 우점하는 활엽수림으로 구성되어 있고 굴참나

무와 떡갈나무 등이 일부 섞여 있었다. 하층식생은 쪽동백, 노린재, 다릅나무, 개암나무, 난티잎개암나무, 개웃나무, 물박달나무, 잣나무 등으로 구성되어 있었다(표 2.2). 조사구 3과 4에선 상층 임목의 밀도가 비교적 높아 출현 임목은 낮은 직경급이 우세한 분포를 보였으며, 상대적으로 하층식생의 밀도는 낮은 것으로 나타났다. 이와는 대조적으로 조사구 1과 2에서는 조사구 3과 4에 비해 상층 임목의 밀도가 낮고, 하층식생의 임목 밀도는 높은 것으로 나타났다.

각 조사구가 서로 인접해 있고 토양과 유기물층 내 양분 함량 등의 차이가 거의 없음에도 불구하고 잣나무 전생치수의 밀도는 조사구간 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 조사구 내 신갈나무 밀도의 영향을 받은 것으로 조사구 내 신갈나무 밀도와 잣나무 전생치수의 밀도는 그림 2.1에서 보는 바와 같이 서로 반대의 경향을 보였다. Zhan 등(1986)은 잣나무 치수의 발생 및 성장에 광선과 토양 양분이 중요한 인자임을 보고하였고, Smith와 Ritters(1994)는 이러한 임분 내 하층식생에 대한 광조건은 임분의 위치나 임분구조에 의해 결정된다고 하였다. 따라서 토양 양분 조건이 유사한 잣나무 전생치수 조사구간 잣나무 전생치수 밀도 차이는 임분의 상층을 구성하고 있는 신갈나무의 밀도 차이에 의한 임내 유입 광량의 차이에서 기인한 것으로 볼 수 있다. 이러한 임분에서 잣나무 치수의 밀도를 증가시키는 시업이 필요할 경우 상층의 신갈나무를 적절히 조절함으로써 가능할 것으로 생각된다.

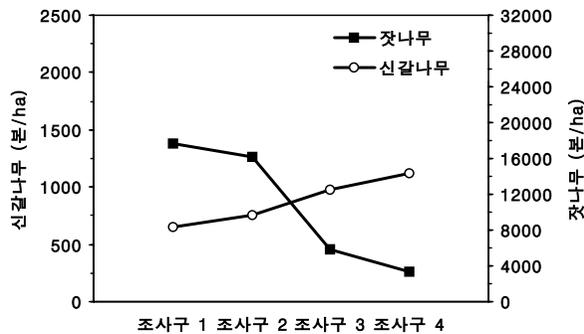


그림 2.1. 신갈나무림의 조사구별 신갈나무와 잣나무 밀도.

표 2.2. 신갈나무림 출현 식생.

조사구		수 종	밀도 (본/ha)
1	상 층	신갈나무	650
		굴참나무	50
		떡갈나무	25
		쪽동백	25
	하 층	난티잎개암나무	500
		노린재	100
잣나무		17700	
2	상 층	신갈나무	750
		굴참나무	175
	하 층	노린재	300
		잣나무	16100
3	상 층	신갈나무	975
		노린재	900
	하 층	다릅나무	200
		난티잎개암나무	300
		개웃나무	300
		잣나무	5800
4	상 층	신갈나무	1125
		물박달나무	25
		개암나무	25
	하 층	산뽕나무	100
		생강나무	200
		싸리	100
		잣나무	3400

2차년도 연구 대상 임분인 참나무류 혼효림은 신갈나무림 연구 대상 지역과 인접한 지역에 있었고(N 37°47', E 127°48'), 상층식생은 주로 신갈나무와 굴참나무로 구성되어 있다. 연구대상지에 관한 개략적인 자료는 표 2.3에 제시하였다.

표 2.3. 참나무류 혼효림 연구 대상지 개황.

조사구	우점 수종	고도 (m)	사면	경사 (%)	임분 밀도 (본/ha)	흉고 직경 (cm)	흉고 단면적 (m ² /ha)
1	신갈나무 굴참나무	402	남서	35	1125	15.2	23.6
2	신갈나무 굴참나무	391	남서	32	1300	16.2	33.7
3	신갈나무 굴참나무	402	남동	34	900	19.0	32.8
4	신갈나무 굴참나무	618	남서	33	575	18.8	12.7

표 2.4. 참나무류 혼효림 출현 식생.

조사구	수 종	밀도 (본/ha)	
1	상 층	소나무	125
		떡갈나무	25
		신갈나무	775
		굴참나무	200
2	하 층	잣나무	28000
		떡갈나무	50
		신갈나무	600
		굴참나무	400
3	상 층	소나무	25
		잣나무	20400
		산벚나무	25
		떡갈나무	25
4	하 층	신갈나무	275
		굴참나무	600
		잣나무	13600
		산벚나무	25
3	상 층	떡갈나무	25
		신갈나무	200
		굴참나무	350
		잣나무	10400
4	하 층	산벚나무	125

조사지역의 식생은 주로 신갈나무와 굴참나무가 상층임관에 우점하는 활엽수림으로 구성되어 있고, 하층식생은 소나무, 산벚나무, 잣나무 등으로 구성되어 있다(표 2.4). 조사구 1, 2, 3에 비해 조사구 4의 임분 밀도가 낮았으나 흉고직경은 다른 조사구와 차이를 보이지 않았다. 조사구 4의 잣나무 전생치수 밀도는 조사구 중 가장 낮았는데, 이는 이 임분이 최근 태풍 등에 의해 상층 임목이 일부 피해를 입어 참나무류의 밀도가 낮지만, 잣나무 전생치수가 발생하기까지는 시간이 경과하지 않은 것과 관련이 있는 것으로 보인다. 한편 참나무류 혼효림의 상층식생과 잣나무 전생치수간 밀도 관계는 1차년도 신갈나무림에서 보았던 것과는 다른 경향을 나타내었다(그림 2.2).

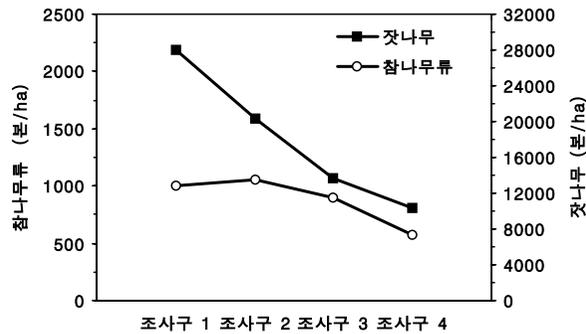


그림 2.2. 참나무류 혼효림의 조사구별 참나무류와 잣나무 밀도.

3차년도 연구 대상 임분인 소나무림은 경기도 가평군 상면 현리와 인접한 지역에 위치하였다 (N 37°49', E 127°51'). 연구 대상지에 관한 개략적인 자료는 표 2.5에 제시하였다.

표 2.5. 소나무림 연구 대상지 개황.

조사구	우점 수종	고도 (m)	사면	경사 (%)	임분 밀도 (No./ha)	흉고 직경 (cm)	흉고 단면적 (m ² /ha)
1	소나무	173	남동	32	850	16.7	20.3
2	소나무	178	남서	28	1025	18.2	24.6
3	소나무	187	남서	20	825	18.0	29.2
4	소나무	108	남동	25	2525	11.1	27.0

소나무림의 상층 우점 식생은 소나무로 구성되어 있고, 하층식생은 잣나무, 굴참나무, 신갈나무, 상수리나무, 떡갈나무, 졸참나무, 산벚나무, 노간주나무, 스트로브잣나무, 물박달나무, 개울나무 등으로 구성되어 있었다(표 2.6). 소나무의 밀도는 임분에 따라 ha당 800-2500본 정도이고, 하층의 잣나무 전생치수는 ha당 1800-7400본 정도로 나타났다. 잣나무 전생치수 평균 밀도는 ha당 4550본으로 신갈나무림의 잣나무 전생치수 밀도(18100본/ha)와 참나무류 혼효림의 잣나무 전생치수 밀도(10750본/ha)보다 낮은 것으로 나타났다. 한편 잣나무 전생치수 평균 근원직경(cm)은 신갈나무림 1.0, 참나무류 혼효림 1.9, 소나무림 2.3 등으로 나타났고, 이에 따른 잣나무 전생치수 흉고단면적(m^2/ha)이 신갈나무림 1.4, 참나무류 혼효림 1.6, 소나무림 0.8 등으로 나타났다. 소나무림의 잣나무 전생치수의 흉고단면적이 가장 낮았는데, 이는 소나무림 내 하층식생의 경쟁이 다른 임분에 비해 높아서 나타난 결과로 판단되며, 소나무림의 잣나무 전생치수를 제외한 평균 하층식생 밀도(950본/ha)는 신갈나무림(750본/ha)과 참나무류 혼효림(50본/ha)보다 높게 나타났다. 즉 소나무림 내 잣나무 전생치수는 하층의 다른 수종과 경쟁관계가 심하여 더욱 피압되어 생장이 느린 것과 관련이 있는 것으로 보인다.

소나무림 조사구 4의 임분 밀도는 다른 조사구보다 높았고, 평균 흉고 직경은 다른 조사구보다 낮았으나, 조사구 4의 잣나무 전생치수 밀도는 다른 조사구보다 높게 나타났다(그림 3.2.3). 이것은 조사구 4의 하층식생간 경쟁이 다른 조사구보다 낮은 것이 영향을 미친 것으로 보이는데, 조사구 4의 잣나무 전생치수를 제외한 하층식생 밀도가 다른 조사구보다 낮게 나타났다. 상층식생인 소나무의 밀도와 잣나무 전생치수의 밀도와의 관계는 1차년도 역의 상관관계를 보이지 않았는데, 소나무림 내 잣나무 전생치수의 밀도는 상층식생의 밀도보다 하층식생의 밀도에 더 큰 영향을 받는 것으로 사료된다. 따라서 잣나무 치수의 밀도를 높이기 위해서 하층식생을 제거하는 시업을 적용할 수 있음을 보이고 있다.

표 2.6. 소나무림 출현 식생.

조사구		수 종	밀도 (본/ha)		
1	상 층	소나무	850		
		노간주나무	25		
	하 층	잣나무	4200		
		산벚나무	275		
		상수리나무	675		
		떡갈나무	175		
		신갈나무	50		
		굴참나무	150		
2	상 층	소나무	825		
		노간주나무	50		
	하 층	잣나무	4800		
		스트로브잣나무	50		
		산벚나무	50		
		상수리나무	500		
		굴참나무	225		
		신갈나무	200		
3	상 층	소나무	1025		
		물박달나무	50		
	하 층	잣나무	1800		
		상수리나무	400		
		신갈나무	150		
		줄참나무	125		
		4	상 층	소나무	2425
				물박달나무	25
하 층	노간주나무		150		
	잣나무		7400		
	개웃나무		75		
	떡갈나무		50		
		신갈나무	200		

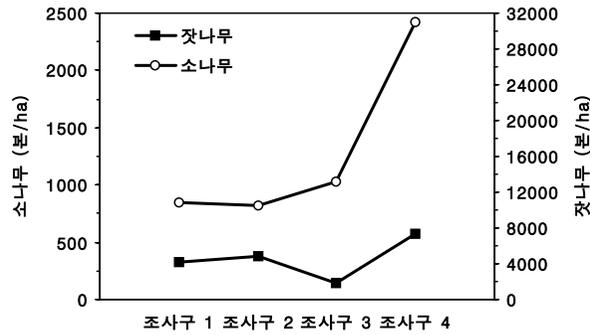


그림 2.3. 소나무림의 조사구별 소나무와 잣나무 밀도.

2) 광합성 유효 광량

지표면으로부터 30cm 높이에서 측정된 광합성 유효 광량은 신갈나무림의 조사구 1, 2, 3, 4, 그리고 인근 잣나무 인공림이 각각 35.5, 38.1, 18.5, 47.0, 10.7 등으로 나타났고, 120cm 높이에서 각각 43.2, 49.8, 19.8, 45.9, 10.7 등으로 나타났다(그림 2.4). 참나무류 혼효림의 경우 30cm 높이에서 조사구 1, 2, 3, 4, 그리고 인근 잣나무 인공림이 각각 52.9, 40.4, 49.4, 103.1, 14.6 등으로 나타났고, 120cm 높이에서 각각 64.5, 48.9, 47.3, 121.5, 15.6 등으로 나타났다(그림 2.5). 또한 소나무림의 경우 30cm 높이에서 조사구 1, 2, 3, 4, 그리고 인근 잣나무 인공림이 각각 191.5, 122.5, 105.9, 36.7, 31.9 등으로 나타났고, 120cm 높이에서 각각 197.5, 155.3, 89.2, 46.9, 36.4 등으로 나타났다(그림 2.6).

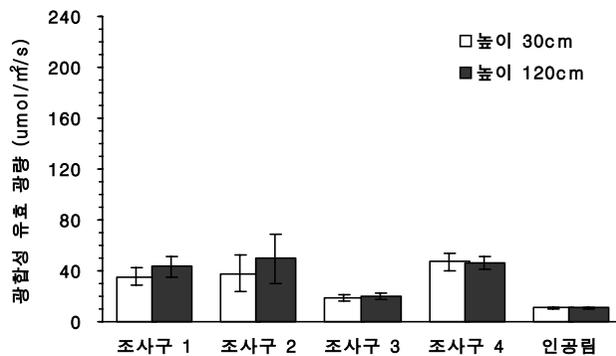


그림 2.4. 신갈나무림의 조사구별 광합성 유효 광량.

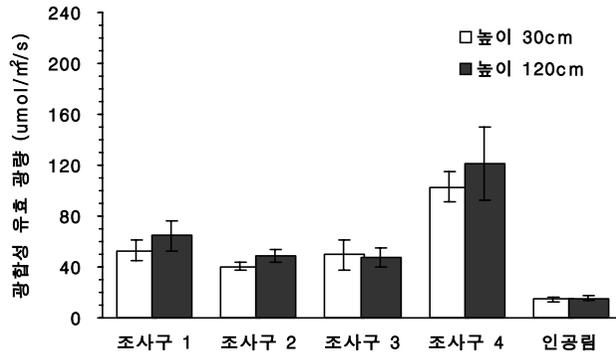


그림 2.5. 참나무류 혼효림의 조사구별 광합성 유효 광량.

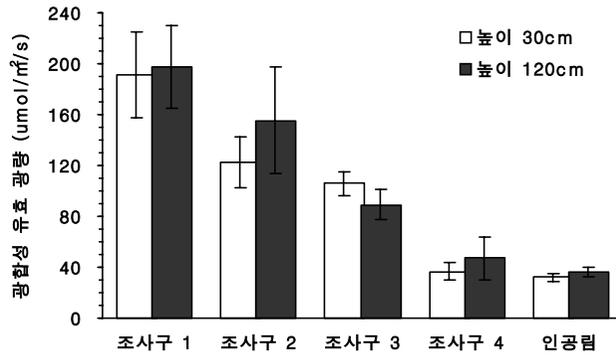


그림 2.6. 소나무림의 조사구별 광합성 유효 광량.

동일 임분 내 조사구간에도 광합성 유효 광량의 차이가 나타났는데, 신갈나무림의 경우 임분 밀도가 낮은 조사구 1과 2의 광합성 유효 광량이 높고 임분 밀도가 높은 조사구 3의 광합성 유효 광량이 가장 낮았다. 그리고 조사구 4의 광합성 유효 광량이 조사구 1, 2와 비슷하게 나타났는데, 이는 측정 시간의 차이에 영향을 받은 것으로 추정된다. 한편 참나무류 혼효림의 경우 조사구 중 임분 밀도가 가장 낮은 조사구 4의 광합성 유효 광량이 조사구 중 가장 높았고, 임분 밀도가 가장 높은 조사구 2가 가장 낮은 광합성 유효 광량을 보였다. 소나무림의 경우 임분 밀도가 가장 높은 조사구 4의 광합성 유효 광량은 조사구 중 가장 낮았으며, 조사구의 임분 밀도가 감소할수록 광합성 유효 광량이 증가하는 경향을 보였다. 지표로부터 120cm와 30cm 높이에서의 광합성 유효 광량은 차이를 보이지 않았다. 모든 임분과

인접한 잣나무 인공림에서 측정된 광합성 유효 광량은 조사구에 비해 매우 낮게 나타났다. 이는 잣나무림의 엽면적 지수가 참나무림류 임분이나 소나무림보다 높아서 나타난 결과로 판단된다. 잣나무 인공림 주변 임분 내 광량이 모수림보다 높은 것이 잣나무 인공림의 주변 임분에서 잣나무 전생치수가 많이 발생하는 것에 대한 원인 중 하나로 사료된다.

3) 단위 건중량당 엽면적 (SLA)

잣나무 전생치수의 침엽은 당년생부터 4년생까지 출현하였으며, 모든 침엽 연령에서 잣나무 전생치수의 SLA가 잣나무 인공림보다 높은 것으로 나타났다(그림 2.7, 2.8, 2.9).

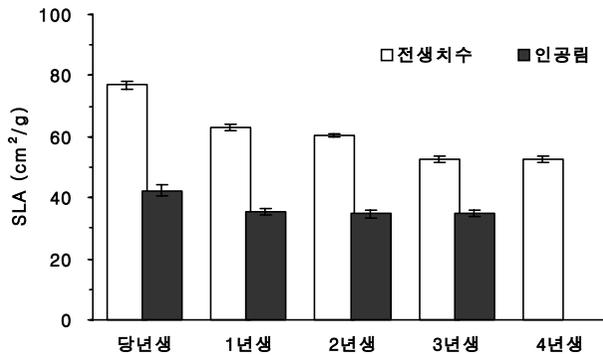


그림 2.7. 신갈나무림 내 전생치수와 인공림의 잣나무 침엽 연령별 SLA.

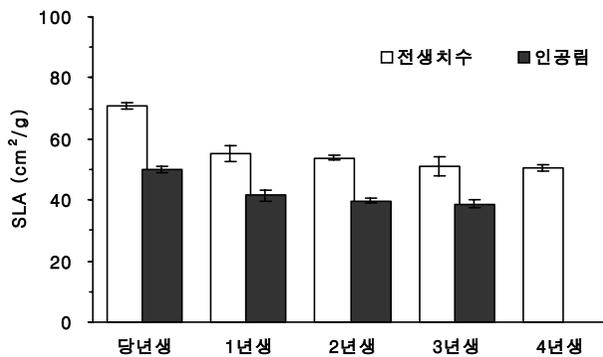


그림 2.8. 참나무류 혼효림 내 전생치수와 인공림의 잣나무 침엽 연령별 SLA.

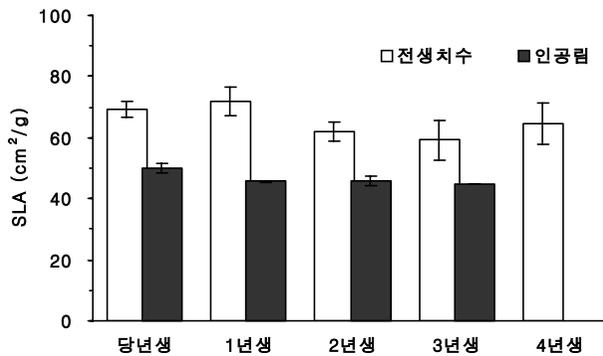


그림 2.9. 소나무림 내 전생치수와 인공림의 잣나무 침엽 연령별 SLA.

신갈나무림의 경우 잣나무 전생치수 침엽의 평균 SLA(cm²/g)는 52.6-76.9로 인공림 잣나무의 영급별 평균 SLA 35.0-42.4보다 높은 값을 보였고, 참나무류 혼효림의 경우 잣나무 전생치수 침엽의 평균 SLA(cm²/g)는 50.3-70.8로 인공림 잣나무의 평균 SLA 38.8-50.0보다 높은 값을 나타냈고, 소나무림의 경우 잣나무 전생치수 침엽의 평균 SLA(cm²/g)는 59.1-71.7로 인공림 잣나무의 평균 SLA 44.6-50.0보다 높은 값을 보였다.

잎의 연령이 낮을수록 엽내 세포의 발달과 분화가 성숙잎에 비하여 늦기 때문에 잎의 연령 증가에 따라 SLA가 감소되는 것으로 볼 수 있다. 또한 잎의 수명이 증가할수록 이동이 쉬운 N, P, K와 같은 원소는 감소하지만 이동이 용이하지 못한 Ca, Mg와 같은 무기영양소가 증가하고 광합성작용을 통해 합성된 탄수화물이 새로운 조직을 형성하고 호흡에너지원 등으로 사용된 후 엽록체에 축적이 이루어지기 때문에 잎의 무게는 증가하게 된다. 잣나무 전생치수의 침엽이 인공조립된 잣나무 침엽에 비해 SLA가 높은 것은 잎 내부 조직의 분화 및 발달이 덜 진행되고 광합성에 따른 부산물의 축적이 상대적으로 적게 이루어지고 있기 때문으로 판단된다.

4) 엽록소 함량

신갈나무림의 경우 잣나무 전생치수 침엽내 총 엽록소 함량(mg/g FW)은 당년생, 1, 2, 3, 4년생이 각각 1.08, 1.27, 1.18, 1.08, 1.06 등으로 나타났고, 잣나무 인공림의 경우는 당년생

생, 1, 2, 3 년생이 각각 1.16, 1.48, 1.05, 0.91 등으로 나타났다(그림 2.10). 총 엽록소 함량은 1년생이 가장 높게 나타났고, 다른 영급간 차이는 없었다. 잣나무 전생치수의 엽록소 a 함량(mg/g FW)은 잣나무 전생치수의 경우 당년생부터 4년생까지 0.52-0.62, 잣나무 인공림의 경우 당년생부터 3년생까지 0.47-0.67로 나타났으며, 엽록소 b 함량(mg/g FW)은 잣나무 전생치수에서 당년생부터 4년생까지 0.54-0.62, 잣나무 인공림에서는 당년생부터 3년생까지 0.44-0.81로 나타났다.

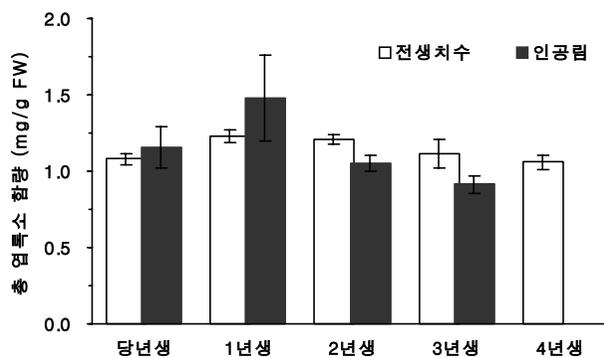


그림 2.10. 신갈나무림 내 전생치수와 인공림의 잣나무 침엽 연령별 총 엽록소 함량.

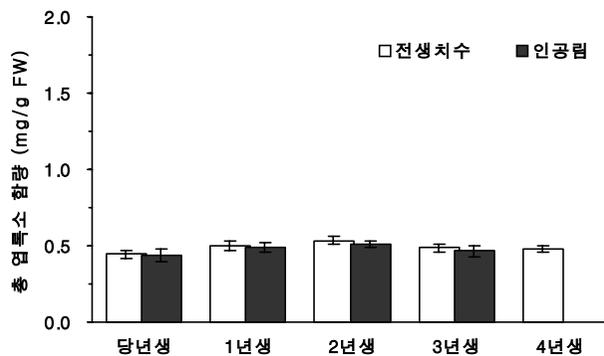


그림 2.11. 참나무류 혼효림 내 전생치수와 인공림의 잣나무 침엽 연령별 총 엽록소 함량.

참나무류 혼효림 내 잣나무 전생치수의 침엽내 총 엽록소 함량(mg/g FW)은 당년생, 1, 2, 3, 4년생이 각각 0.45, 0.50, 0.54, 0.49, 0.48 등으로 나타났으며, 잣나무 인공림의 경우는

당년생, 1, 2, 3년생이 각각 0.44, 0.49, 0.51, 0.47 등으로 나타났다(그림 2.11). 잣나무 전생치수의 총 엽록소 함량은 모든 침엽 연령에서 유의적 차이가 없었으나 2년생이 높고, 잣나무 전생치수의 총 엽록소 함량은 잣나무 인공림보다 높게 나타났다. 잣나무 전생치수의 엽록소 a의 함량(mg/g FW)은 잣나무 전생치수의 경우 당년생부터 4년생까지 0.25-0.30, 잣나무 인공림의 경우 당년생부터 3년생까지 0.24-0.29로 나타났으며, 엽록소 b의 함량(mg/g FW)은 잣나무 전생치수에서 당년생부터 4년생까지 0.16-0.19, 잣나무 인공림에서는 당년생부터 3년생까지 0.16-0.18 등으로 나타났다.

소나무림 내 잣나무 전생치수의 침엽내 총 엽록소 함량(mg/g FW)은 당년생, 1, 2, 3년생이 각각 0.56, 0.71, 0.80, 0.98 등으로 나타났으며, 잣나무 인공림의 경우는 당년생, 1, 2, 3년생이 각각 0.60, 0.58, 0.64, 0.62 등으로 나타났다(그림 2.12). 잣나무 전생치수의 총 엽록소 함량은 3년생 침엽에서 가장 높게 나타났다. 잣나무 전생치수의 총 엽록소 함량은 잣나무 인공림보다 높게 나타났다. 잣나무 전생치수의 엽록소 a의 함량(mg/g FW)은 잣나무 전생치수의 경우 당년생부터 3년생까지 0.26-0.47, 잣나무 인공림의 경우 당년생부터 3년생까지 0.26-0.38로 나타났으며, 엽록소 b의 함량(mg/g FW)은 잣나무 전생치수에서 당년생부터 3년생까지 0.24-0.43, 잣나무 인공림에서는 당년생부터 3년생까지 0.24-0.35로 나타났다.

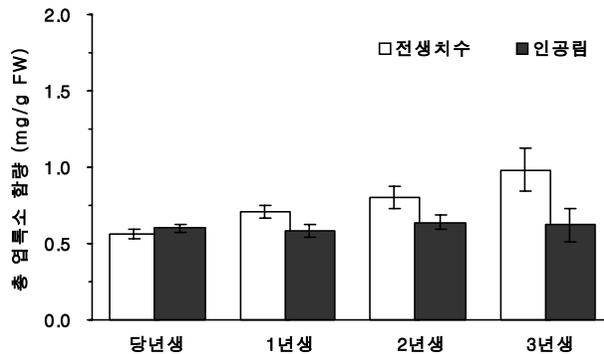


그림 2.12. 소나무림 내 전생치수와 인공림의 잣나무 침엽 연령별 총 엽록소 함량.

잣나무 전생치수와 잣나무 인공림의 침엽의 엽록소 a/b 비는 침엽의 연령별 차이가 보이지 않았고, 신갈나무림의 경우 각각 1.00과 0.96으로 나타났고, 참나무류 혼효림의 경우 각각 1.66과 1.66으로 나타났으며, 소나무림의 경우 각각 1.09와 1.09로 나타났다. 참나무류 혼효림

의 엽록소 a/b 비는 다른 임분보다 높게 나타났는데, 이는 Barnes 등(1992b)의 1.47-2.87의 범위에 포함되었다. 한편 모든 연구 대상 임분의 잣나무 침엽의 엽록소 a/b 비는 Thomas 등(1996)의 2.58-5.16의 범위보다 낮게 나타났다. 한편 양엽이 음엽에 비해 엽록소 a/b 비가 높다는 결과가 보고된 바 있다(Thomas 등, 1996; Kitajima와 Hogen, 2003). 따라서 임관이 울폐된 곳의 잎에서 낮은 엽록소 a/b 비를 갖게 되며, 이러한 음엽의 특성이 잣나무 전생치수의 침엽에서 나타날 것으로 예상하였다. 그러나 본 연구에서 잣나무 전생치수와 잣나무 인공림의 침엽의 엽록소 a/b 비의 차이가 없었다. 이는 주 등(1999)이 잣나무 임관 하부와 낙엽송 임분 아래 피압받고 있는 잣나무에서 채취한 침엽의 총 엽록소 함량(mg/g FW)이 각각 1.88과 1.80으로 차이를 보이지 않았다는 것과 유사한 결과이다.

잣나무 전생치수의 총 엽록소 함량은 신갈나무림의 당년생과 1년생, 소나무림의 당년생을 제외하고 잣나무 인공림의 총 엽록소 함량보다 높은 것으로 나타났다. 침엽 발생 초기에는 성장조건이 좋은 잣나무 인공림의 엽록소 함량이 잣나무 전생치수보다 증가된다. 그러나 침엽의 연령이 증가할수록 잣나무 전생치수 침엽내 엽록소 함량을 유지 또는 증가시키고, 잎의 수명을 증가시켜 물질 생산이 어려운 환경에 있는 잣나무 전생치수의 광합성 효율을 증가시키는 것으로 사료된다.

나. 물질 생산

1) 잣나무 전생치수의 물질 생산 추정 회귀식

표 2.7. 신갈나무림 내 잣나무 전생치수의 생체량 추정 회귀식 : $\log Y = A + B \log X$; Y는 건중량(g), X는 근원직경(cm).

수체 부위	A	B	R ²
목부	1.3631	2.1620	0.80
수피	1.0658	1.7150	0.92
가지	1.2628	2.3080	0.82
잎	1.7015	1.6436	0.94
뿌리	1.1984	2.1013	0.88

표 2.8. 참나무류 혼효림 내 잣나무 전생치수의 생체량 추정 회귀식 : $\log Y = A + B \log X$; Y는 건중량(g), X는 근원직경(cm)(지, 2004).

수체 부위		A	B	R ²
수	간	0.0491	2.4547	0.96
가지	당년생	0.0436	1.6980	0.93
	1년생	0.0510	1.7584	0.93
	2년생	0.0304	1.9469	0.95
	3년생 이상	0.0063	2.8162	0.98
	죽은 가지	0.0014	2.4209	0.62
잎	당년생	0.1665	1.9183	0.95
	1년생	0.0841	1.9665	0.96
	2년생	0.0344	2.1859	0.94
	3년생 이상	0.0425	2.0572	0.89
뿌	리	0.0660	2.1416	0.95

표 2.9. 소나무림 내 잣나무 전생치수의 생체량 추정 회귀식 : $\log Y = A + B \log X$; Y는 건중량(g), X는 근원직경(cm).

수체 부위	A	B	R ²
수간	2.4998	2.7952	0.97
산 가지	1.9843	3.5561	0.94
죽은 가지	-0.2213	2.4412	0.66
잎	2.6934	2.6182	0.94
뿌리	2.28.08	2.2727	0.95

잣나무 전생치수의 물질 생산 추정 회귀식을 표 2.7, 2.8, 2.9에 제시하였다. 신갈나무림과 소나무림의 물질 잣나무 전생치수 물질 생산 추정 회귀식은 본 연구에서 직접 조제하였으며, 참나무류 혼효림은 동일한 지역에서 추정된 회귀식을 이용하였다.

2) 현존량

신갈나무림의 현존량은 잣나무 전생치수의 물질 생산량 추정 회귀식과 본 연구 대상지와

인접한 신갈나무-굴참나무 혼효림을 대상으로 조제된 회귀식(박 등, 2003)을 이용하여 추정하였다. 임분 전체 현존량은 241.7ton/ha로 신갈나무 210.6ton/ha(87.1%), 굴참나무 28.4ton/ha(11.8%), 그리고 잣나무 전생치수 2.7ton/ha(1.1%)로 분포하였다(표 2.10). 신갈나무 물질 생산량이 잣나무 전생치수의 약 80배 정도로 나타나, 신갈나무 임분 구조에 대한 잣나무 전생치수의 영향은 미미한 것으로 보인다.

표 2.10. 신갈나무림 내 주요 수종의 부위별 생체량.

수체 부위	신갈나무		굴참나무		잣나무	
	(ton/ha)	(%)	(ton/ha)	(%)	(ton/ha)	(%)
수간	167.3	79.4	20.2	71.1	0.8	29.6
가지	17.1	8.1	4.6	16.2	0.6	22.2
잎	2.0	0.9	0.3	1.1	0.9	33.3
지상부	186.4	88.5	25	88.0	2.3	85.2
뿌리	21.2	10.1	3.4	12.0	0.4	14.8
전체	210.6	100.0	28.4	100.0	2.7	100.0

표 2.11. 참나무류 혼효림 내 주요 수종의 부위별 생체량.

수체 부위	신갈나무		굴참나무		잣나무	
	(ton/ha)	(%)	(ton/ha)	(%)	(ton/ha)	(%)
수간	103.8	72.1	83.6	72.1	1.2	30.8
산 가지	22.1	15.3	17.8	15.4	1	25.6
죽은 가지	0.2	0.1	0.1	0.1	0.03	0.8
잎	1.3	0.9	1	0.9	1.2	30.8
지상부	127.4	88.5	102.5	88.4	3.5	89.7
뿌리	16.6	11.5	13.3	11.5	0.5	12.8
전체	144	100.0	115.9	100.0	3.9	100.0

참나무류 혼효림 연구 대상지에서 조제한 잣나무 전생치수 회귀식과 본 연구 대상지와 인접한 신갈나무-굴참나무 혼효림을 대상으로 조제된 회귀식을 이용하여 추정한 잣나무 전생치수 발생 임분 내 총 현존량은 표 2.11과 같다. 임분 전체 현존량은 263.7ton/ha로 신갈

나무 144.0ton/ha(54.6%), 굴참나무 115.9ton/ha(43.3%), 그리고 잣나무 전생치수 3.9ton/ha(1.5%)로 분포하였다. 신갈나무와 굴참나무가 각각 임분 물질 생산량의 절반 정도 구성하고 있어서 혼효림의 특성을 보여주고 있으며, 잣나무 전생치수가 임분 전체 물질 생산량에서 차지하는 비율이 1.5%로 대상지 임분의 물질 생산에 대한 영향이 미미한 것으로 판단된다.

소나무림을 대상으로 조제된 회귀식(박과 김, 1989)과 잣나무 전생치수 물질 생산량 추정 회귀식을 이용하여 추정한 연구 대상 임분의 총 물질 생산량은 표 2.12과 같다. 임분 전체 물질 생산량(ton/ha)은 115.1로 소나무 108.3(94.1), 잣나무 치수 6.8(5.9%) 등으로 분포하였다. 잣나무 치수가 임분 전체 물질 생산량에서 차지하는 비율이 5.9%로 신갈나무림과 참나무류 혼효림에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

표 2.12. 소나무림 내 주요 수종의 부위별 생체량.

수체 부위	소나무		잣나무	
	(ton/ha)	(%)	(ton/ha)	(%)
수간	68.5	63.3	1.8	27.3
산 가지	18.0	16.6	1.6	23.3
죽은 가지	1.0	0.9	0.1	1.5
잎	5.3	4.9	2.1	30.6
지상부	92.8	85.7	5.6	82.7
뿌리	15.4	14.3	1.2	17.3
전체	108.3	100.0	6.8	100.0

표 2.13. 잣나무의 부위별 물질분배 비율의 비교.

임분 형태	상층 수종	수간	가지	잎	인용문헌
인공림	잣나무	67.3	22.5	10.2	이와 박, 1987
		79.1	17.8	3.1	Son 등, 2001
		58.7	23.5	17.7	김과 김, 1988
전생치수	신갈나무	34.8	26.1	39.1	본 연구
	신갈나무와 굴참나무	34.3	29.4	34.3	본 연구
	소나무	33.0	30.0	37.0	본 연구

잣나무 전생치수는 정상적으로 생육하고 있는 잣나무의 구성 비율과는 달리 잎의 비율이 수간의 비율과 유사하거나 크게 나타나 잎 ≥ 목부 > 가지 순으로 현존량 분배가 이루어졌

다(표 2.13). 이는 잣나무 전생치수가 아직 상층을 우점하지 못하여 본격적인 수고생장이 이루어지지 않았기 때문인 것으로 보인다. 결과적으로 울폐된 공간에서 최대의 광합성 효율을 얻기 위해 에너지와 물질 분배가 잎의 생산에 집중된 것으로 볼 수 있다.

다. 양분 분포

1) 식생

표 2.14. 신갈나무림 내 잣나무 전생치수의 부위별 양분 농도 (%).

수체 부위	N	P	K
목부	0.15	0.02	0.15
수피	0.64	0.08	0.15
산 가지	0.54	0.06	0.10
죽은 가지	0.79	0.07	0.10
잎	1.43	0.13	0.82
뿌리	0.49	0.05	0.34

표 2.15. 참나무류 혼효림 내 잣나무 전생치수 부위별 양분 농도 (%).

수체 부위	N	P	K	Ca	Mg	Na
수간	0.33	0.04	0.19	0.04	0.04	0.01
가지	0.53	0.05	0.24	0.09	0.05	0.01
잎	1.39	0.10	0.43	0.08	0.11	0.01
뿌리	0.33	0.04	0.18	0.05	0.03	0.01

표 2.16. 소나무림 내 잣나무 전생치수 부위별 양분 농도 (%).

수체 부위	N	P	K	Ca	Mg	Na
수간	0.46	0.05	0.14	0.04	0.04	0.02
가지	0.68	0.05	0.17	0.04	0.03	0.02
잎	1.78	0.08	0.56	0.02	0.06	0.01
뿌리	0.74	0.04	0.14	0.02	0.04	0.02

연구 대상 임분의 잣나무 전생치수의 부위별 양분 농도는 표 2.14, 2.15, 2.16과 같다. 생장에 중요한 N, P, K의 농도는 잎에서 가장 높게 나타났다. 참나무류 혼효림의 경우 Ca의 농도는 가지에서 가장 높았고, Mg와 Na의 농도는 잎에서 가장 높았다. 소나무림의 경우 Ca의 농도는 수간과 가지에서 높았고, Mg의 농도는 잎에서 높게 나타났다.

표 2.17. 신갈나무림 내 잣나무 전생치수의 부위별 양분 함량.

수체 부위	N		P		K	
	(kg/ha)	(%)	(kg/ha)	(%)	(kg/ha)	(%)
목부	2.28	11.6	0.29	14.8	1.20	11.4
수피	3.18	16.2	0.36	18.4	0.60	5.7
산 가지	12.14	61.9	1.10	57.0	7.38	70.0
죽은 가지	17.60	89.8	1.75	90.1	9.18	87.1
잎	2.01	10.2	0.19	9.9	1.36	12.9
뿌리	19.61	100.0	1.94	100.0	10.54	100.0

표 2.18. 참나무류 혼효림 내 잣나무 전생치수의 부위별 양분 함량.

수체 부위	N		P		K		Ca		Mg		Na	
	(kg/ha)	(%)										
목부	4.08	14.7	0.54	22.6	2.34	21.7	0.51	20.3	0.48	19.8	0.04	18.3
수피	5.27	19.0	0.54	22.6	2.37	21.9	0.85	33.8	0.51	20.8	0.04	22.4
잎	16.88	61.0	1.16	48.3	5.26	48.7	0.95	37.7	1.30	53.1	0.10	53.1
지상부	26.23	94.7	2.24	93.5	9.97	92.3	2.31	91.8	2.29	93.8	0.18	93.8
뿌리	1.46	5.3	0.16	6.5	0.83	7.7	0.21	8.2	0.15	6.2	0.01	6.2
전체	27.69	100.0	2.40	100.0	10.80	100.0	2.52	100.0	2.44	100.0	0.19	100.0

표 2.19. 소나무림 내 잣나무 전생치수의 부위별 양분 함량.

수체 부위	N		P		K		Ca		Mg		Na	
	(kg/ha)	(%)										
목부	8.44	12.9	0.87	22.2	2.60	13.9	0.30	29.4	0.78	37.8	0.65	22.3
수피	11.45	17.6	0.86	21.9	2.78	14.9	0.27	26.7	0.60	29.4	0.57	19.7
잎	36.71	56.3	1.67	42.8	11.64	62.3	0.21	20.6	0.48	23.1	1.26	43.5
지상부	56.61	86.8	3.40	86.8	17.03	91.1	0.77	76.7	1.85	90.3	2.48	85.5
뿌리	8.61	13.2	0.51	13.2	1.66	8.9	0.23	23.3	0.20	9.7	0.42	14.5
전체	65.22	100.0	3.91	100.0	18.69	100.0	1.00	100.0	2.05	100.0	2.90	100.0

표 2.20. 9년생 잣나무 인공림의 잣나무 부위별 양분 함량(이, 1998).

수체 부위	N		P		K		Ca		Mg	
	(kg/ha)	(%)								
수간	24.50	15.2	5.30	20.2	7.40	18.0	8.50	13.7	2.10	18.0
가지	20.30	12.6	5.70	21.7	7.50	18.3	15.00	24.2	2.60	22.3
잎	98.40	61.1	11.40	43.4	20.70	50.4	32.30	52.1	5.40	46.3
지상부	143.20	88.9	22.40	85.2	35.60	86.8	55.80	90.0	10.10	86.7
뿌리*	17.85	11.1	3.88	14.8	5.43	13.2	6.21	10.0	1.55	13.3
전체	161.05	100.0	26.28	100.0	41.03	100.0	62.01	100.0	11.65	100.0

* 뿌리/지상부 생체량 비율은 0.38 임(노남진 등, 2005).

연구 대상 임분의 잣나무 전생치수 양분 함량은 부위별 양분 농도에 부위별 물질 생산량을 곱하여 구하였고, 구해진 결과는 표 2.17, 2.18, 2.19와 같다. 3개 임분 모두에서 N의 경우 전체 양분 분포량의 56-62%, P의 경우 43-57%, 그리고 K의 경우 49-70% 정도가 침엽에 분포하고 있다. 이것은 진술한 바와 같이 잣나무 전생치수가 침엽에 물질 생산을 치중하고 이를 위해 양분 분포도 침엽에 집중한 결과인 것으로 보인다. 표 2.20은 잣나무 전생치수의 평균 임령과 유사한 잣나무 인공림(9년생)의 양분 함량을 나타낸 것이다. 잣나무 전생치수의 양분 함량이 잣나무 인공림보다 낮은 것으로 나타났는데, 이것은 양분 농도의 차이보다는 잣나무 인공림의 물질 생산량이 잣나무 전생치수보다 높기 때문에 나타난 결과이다.

2) 토양

신갈나무림의 토양 깊이별 시료의 분석 결과를 표 2.21에 제시하였다. 토양의 가비중은 토양 깊이별로 유의한 차이가 있었으나, 조사구간에는 차이가 없는 것으로 나타났다. 토양의 총 N의 농도는 조사구간 차이는 없었으나 토양 깊이에 따라 유의한 차이가 있었다. N의 농도는 모든 조사구의 0-10cm 깊이에서 가장 높은 농도를 나타내었으며, 토양 깊이에 따라 감소하는 경향을 보였다. P의 농도는 조사구간의 차이는 없었으나, 조사구 2를 제외한 나머지 조사구에서 토양 깊이별로 유의한 차이가 있었다. 각 조사구의 평균 가비중과 N의 농도는 기존에 다른 연구에서 측정한 참나무 임분의 수치와 비슷하게 나타났다(박 등, 2003). 토양 내 치환성 양이온 농도는 K의 조사구 2, Ca의 조사구 3을 제외하고 0-10cm와 10cm 이

상 깊이 간 유의적인 차이를 나타냈다. 조사구별로 Ca는 조사구 3, 4에서, Mg는 조사구 2에서 타 조사구보다 높은 농도를 나타냈다.

참나무류 혼효림의 토양 깊이별 시료의 분석 결과는 표 2.22와 같다. 토양의 가비중은 0-10cm와 10cm 이상 깊이 간 유의한 차이가 있었고, 조사구별로 깊이 10-20cm에서 차이가 나타났다. 토양의 N의 농도는 0-10, 20cm에서는 조사구간 차이는 없었으나 토양 깊이에 따라 유의한 차이가 있었다. N의 농도는 모든 조사구의 0-10cm 깊이에서 가장 높은 농도를 나타내며 10cm 이상의 깊이와 유의한 차이가 있었다. 또한 토양 깊이에 따라 감소하는 경향을 보였다. P의 농도는 조사구 4에서 가장 높게 나타났으며, 모든 조사구에서 토양 깊이별 차이가 없었다. 각 조사구의 평균 가비중과 N의 농도는 기존에 다른 연구에서 측정한 참나무 임분의 수치와 비슷하게 나타났다(박 등, 2003). 토양 내 치환성 K 농도는 조사구 4의 깊이 20cm 이상 외의 조사구에서는 깊이별 유의한 차이가 나타나지 않았고, 0-10cm에서는 조사구 1이, 10cm 이상의 깊이에서는 조사구 2가 가장 높았다. 치환성 Ca 농도는 조사구 1, 3에서 0-10cm와 10cm 이상 깊이 간 유의한 차이가 있으며, 0-10cm에서는 조사구 1이, 20cm 이상에서는 조사구 2가 가장 높았다. 치환성 Mg의 농도는 모든 조사구에서 깊이별 유의적 차이가 나타나지 않았고, 조사구 2가 다른 조사구보다 높았다. 치환성 Na 농도도 모든 조사구에서 깊이별 차이가 없었으며, 조사구 2가 다른 조사구보다 높은 농도를 보였다. 조사구 2가 치환성 양이온 농도는 높은데, N와 P의 농도는 낮게 나타난다. 이는 조사구의 2는 임목밀도가 조사구 4보다 약 2배 정도 높은 것으로 나타나, 밀집된 식생의 N, P의 흡수가 조사구 4보다 높은 것으로 사료된다.

소나무림의 토양 깊이별 시료의 분석 결과는 표 2.23과 같다. 토양의 가비중은 조사구 3을 제외하고 깊이 0-10cm가 10cm 이상의 깊이보다 높았고, 조사구 중 조사구 4의 가비중이 가장 높았다. N의 농도는 깊이 0-10cm가 깊이 중 가장 높은 값을 나타냈고, 조사구 1이 조사구 중 가장 높게 나타났다. P의 농도는 조사구 1에서만 깊이 0-20cm가 20cm 이상보다 높은 값을 보였고, 조사구 2, 3, 4는 깊이별 차이가 나타나지 않았다. 한편 조사구 3의 깊이 0-10cm가 가장 높은 P의 농도를 보였다. 토양의 치환성 양이온 농도는 Na의 조사구 3, 4를 제외한 모든 조사구에서 깊이 0-10cm가 가장 높은 값을 나타냈다. 깊이 0-10cm의 K의 농도에서 조사구 4가 조사구 1보다 높게 나타났고, Mg의 농도는 0-20cm 깊이에서 조사구 3이 가장 낮았다.

전체적으로 토양 가비중은 토양 깊이가 증가할수록 증가하였고, 토양 양분 농도는 토양 깊이가 증가할수록 감소하였다. 이는 낙엽낙지에 의한 유기물이 토양 표층으로 다량 유입되기 때문에 나타난 것으로 보이는데, 일반적으로 유기물은 토양 광물질보다 낮은 밀도를 나타내고 고농도의 양분을 포함하고 있다.

잣나무 전생치수 발생 임분 중 토양 가비중은 참나무류 혼효림가 가장 높았고, N의 농도는 신갈나무림이 가장 높았다. P, K, Ca, Mg, Na 등의 농도는 모두 소나무림에서 가장 높게 나타났다.

표 2.21. 신갈나무림의 토양 물리적, 화학적 성질.

	깊이	조사구 1	조사구 2	조사구 3	조사구 4
가비중 (g/cm ³)	0-10cm	0.69 Ca (0.03)	0.79 Ba (0.09)	0.67 Ca (0.01)	0.64 Ca (0.03)
	10-20cm	1.04 Ba (0.02)	0.97 Ba (0.11)	0.98 Ba (0.04)	0.94 Ba (0.03)
	>20cm	1.21 Aab (0.02)	1.24 Aab (0.03)	1.32 Aa (0.03)	1.16 Ab (0.05)
N (%)	0-10cm	0.37 Aa (0.02)	0.32 Aa (0.03)	0.38 Aa (0.06)	0.31 Aa (0.04)
	10-20cm	0.19 Ba (0.02)	0.17 Ba (0.03)	0.15 Ba (0.02)	0.19 Ba (0.03)
	>20cm	0.14 Ba (0.03)	0.09 Ba (0.01)	0.12 Ba (0.03)	0.11 Ba (0.01)
P (%)	0-10cm	0.03 Aa (0.00)	0.03 Aa (0.00)	0.03 Aa (0.00)	0.03 Aa (0.00)
	10-20cm	0.02 Ba (0.00)	0.03 Aa (0.00)	0.02 Ba (0.00)	0.02 Aa (0.00)
	>20cm	0.02 Ca (0.00)	0.02 Aa (0.00)	0.02 Ba (0.00)	0.01 Ba (0.00)
K (cmol ⁺ /kg)	0-10cm	0.58 Aa (0.18)	0.36 Aa (0.06)	0.40 Aa (0.04)	0.33 Aa (0.02)
	10-20cm	0.20 Ba (0.05)	0.25 ABa (0.01)	0.23 Ba (0.02)	0.20 Ba (0.01)
	>20cm	0.23 Ba (0.03)	0.20 Ba (0.01)	0.21 Ba (0.01)	0.20 Ba (0.01)
Ca (cmol ⁺ /kg)	0-10cm	1.31 Aa (0.31)	1.35 Aa (0.22)	0.34 Ab (0.10)	0.27 Ab (0.03)
	10-20cm	0.39 Ba (0.10)	0.29 Ba (0.08)	0.23 Aa (0.15)	0.09 Ba (0.02)
	>20cm	0.21 Ba (0.03)	0.18 Bab (0.04)	0.10 Abc (0.01)	0.07 Bc (0.01)
Mg (cmol ⁺ /kg)	0-10cm	0.79 Aa (0.09)	0.95 Aa (0.07)	0.55 Ab (0.12)	0.35 Ab (0.02)
	10-20cm	0.33 Bab (0.09)	0.42 Ba (0.07)	0.20 Bb (0.03)	0.15 Bb (0.01)
	>20cm	0.25 Bab (0.04)	0.33 Ba (0.04)	0.20 Bbc (0.01)	0.15 Bc (0.02)
Na (cmol ⁺ /kg)	0-10cm	0.39 Aa (0.01)	0.41 Aa (0.02)	0.36 Aa (0.01)	0.40 Aa (0.03)
	10-20cm	0.36 Aa (0.02)	0.36 ABa (0.02)	0.30 Bb (0.01)	0.36 Aab (0.02)
	>20cm	0.39 Aa (0.05)	0.36 Ba (0.02)	0.37 Aa (0.01)	0.42 Aa (0.01)

표 2.22. 참나무류 혼효림의 토양 물리적, 화학적 성질.

	깊이	조사구 1	조사구 2	조사구 3	조사구 4
가비중 (g/cm ³)	0-10cm	1.04 Ba (0.02)	1.02 Ba (0.07)	1.04 Ba (0.07)	1.07 Aa (0.09)
	10-20cm	1.56 Aa (0.03)	1.38 Abc (0.05)	1.45 Aab (0.01)	1.28 Ac (0.09)
	>20cm	1.39 Aa (0.12)	1.46 Aa (0.09)	1.47 Aa (0.05)	1.32 Aa (0.11)
N (%)	0-10cm	0.16 Aa (0.01)	0.16 Aa (0.03)	0.20 Aa (0.02)	0.22 Aa (0.02)
	10-20cm	0.09 Bbc (0.01)	0.07 Bc (0.01)	0.11 Bab (0.01)	0.13 Ba (0.01)
	>20cm	0.06 Ba (0.01)	0.06 Ba (0.01)	0.07 Ba (0.01)	0.09 Ca (0.01)
P (%)	0-10cm	0.02 Ab (0.00)	0.02 Ab (0.00)	0.03 Aa (0.00)	0.03 Aa (0.00)
	10-20cm	0.02 Ab (0.00)	0.02 Aab (0.00)	0.02 Aab (0.00)	0.03 Aa (0.00)
	>20cm	0.01 Ab (0.00)	0.02 Aab (0.00)	0.02 Aa (0.00)	0.02 Ba (0.00)
K (cmol ⁺ /kg)	0-10cm	0.43 Aa (0.09)	0.40 Aa (0.05)	0.30 Aa (0.12)	0.29 Aa (0.04)
	10-20cm	0.34 Ab (0.04)	0.45 Aa (0.05)	0.15 Ac (0.02)	0.20 ABc (0.02)
	>20cm	0.33 Ab (0.06)	0.50 Aa (0.04)	0.13 Ac (0.02)	0.16 Bc (0.02)
Ca (cmol ⁺ /kg)	0-10cm	0.92 Aa (0.28)	0.45 Ab (0.05)	0.43 Ab (0.02)	0.29 Ab (0.06)
	10-20cm	0.27 Ba (0.04)	0.24 Aa (0.02)	0.23 Ba (0.02)	0.28 Aa (0.10)
	>20cm	0.26 Ba (0.04)	0.69 Aa (0.37)	0.20 Ba (0.03)	0.12 Aa (0.01)
Mg (cmol ⁺ /kg)	0-10cm	0.77 Ab (0.10)	1.51 Aa (0.20)	0.54 Ab (0.05)	0.50 Ab (0.06)
	10-20cm	0.65 Ab (0.06)	1.59 Aa (0.14)	0.41 Ab (0.08)	0.42 Ab (0.11)
	>20cm	0.73 Ab (0.11)	1.53 Aa (0.15)	0.51 Abc (0.08)	0.36 Ac (0.07)
Na (cmol ⁺ /kg)	0-10cm	0.38 Aa (0.02)	0.43 Aa (0.05)	0.45 Aa (0.02)	0.40 Aa (0.03)
	10-20cm	0.35 Aa (0.03)	0.48 Aa (0.03)	0.37 Ab (0.03)	0.41 Aab (0.01)
	>20cm	0.44 Aab (0.04)	0.52 Aa (0.03)	0.40 Ab (0.03)	0.40 Ab (0.01)

표 2.23. 소나무림의 토양 물리적, 화학적 성질.

	깊이	조사구 1	조사구 2	조사구 3	조사구 4
가비중 (g/cm ³)	0-10cm	0.68 Bc (0.06)	0.81 Bbc (0.04)	0.87 Ab (0.07)	1.02 Ba (0.02)
	10-20cm	1.01 Ab (0.06)	1.14 Aa (0.03)	1.02 Ab (0.03)	1.20 Aa (0.03)
	>20cm	1.12 Aab (0.05)	1.09 Aab (0.04)	0.97 Ab (0.00)	1.27 Aa (0.05)
N (%)	0-10cm	0.39 Aa (0.09)	0.12 Ab (0.02)	0.23 Ab (0.05)	0.18 Ab (0.02)
	10-20cm	0.18 ABa (0.01)	0.21 Aa (0.05)	0.09 Ab (0.01)	0.14 ABab (0.01)
	>20cm	0.14 Ba (0.01)	0.10 Aa (0.04)	0.06 Aa (0.00)	0.11 Ba (0.01)
P (%)	0-10cm	0.04 Ab (0.01)	0.03 Ab (0.00)	0.07 Aa (0.01)	0.04 Ab (0.01)
	10-20cm	0.04 Aa (0.00)	0.05 Aa (0.01)	0.04 Aa (0.01)	0.05 Aa (0.01)
	>20cm	0.02 Ba (0.00)	0.04 Aa (0.00)	0.02 Aa (0.00)	0.05 Aa (0.01)
K (cmol ⁺ /kg)	0-10cm	0.82 Ab (0.10)	0.95 Aab (0.14)	0.94 Aab (0.10)	1.31 Aa (0.17)
	10-20cm	0.59 Aa (0.15)	0.57 Aa (0.14)	0.62 ABa (0.03)	0.65 Ba (0.09)
	>20cm	0.65 Aa (0.29)	0.49 Aa (0.17)	0.43 Ba (0.00)	0.44 Ba (0.09)
Ca (cmol ⁺ /kg)	0-10cm	5.51 Aa (2.33)	7.54 Aa (2.41)	2.35 Aa (0.89)	3.57 Aa (1.17)
	10-20cm	0.88 Aa (0.73)	0.37 Aa (0.03)	0.14 Aa (0.06)	0.06 Ba (0.25)
	>20cm	0.04 Aa (0.00)	0.26 Aa (0.23)	0.07 Aa (0.00)	0.45 Ba (0.17)
Mg (cmol ⁺ /kg)	0-10cm	4.66 Aa (1.20)	2.96 Aab (0.77)	1.74 Ab (0.48)	3.19 Aab (0.29)
	10-20cm	1.37 Bab (0.35)	1.15 Aab (0.39)	0.54 Ab (0.05)	1.86 Aa (0.51)
	>20cm	0.72 Ba (0.31)	1.72 Aa (0.71)	0.78 Aa (0.00)	4.24 Aa (1.98)
Na (cmol ⁺ /kg)	0-10cm	1.19 Aa (0.20)	0.87 Aa (0.08)	0.67 Aa (0.04)	1.02 Aa (0.28)
	10-20cm	0.79 ABa (0.05)	0.61 Ba (0.03)	0.71 Aa (0.23)	1.07 Aa (0.36)
	>20cm	0.57 Ba (0.12)	0.52 Ba (0.07)	0.31 Aa (0.00)	0.67Aa (0.13)

토양 양분 함량은 깊이별 토양 양분 농도와 가비중에 의해 추정된 깊이별 토양중량을 곱하여 구하였다. 연구 대상 임분별 토양 양분 분포는 표 2.24, 2.25, 2.26과 같다. N의 함량이 다른 원소보다 높게 나타났는데, 이는 N이 원소 중에 가장 높은 농도를 보여서 나타난 결과로 판단된다.

토양 N의 함량은 연구 대상 임분 중 신갈나무림에서 가장 높게 나타났는데, 이는 신갈나무림의 토양 N의 농도가 다른 임분의 토양보다 높은 것이 영향을 미쳐 나타난 결과로 판단된다. 토양 P, K, Ca, Mg, Na 등의 함량은 연구 대상 임분 중 소나무림에서 가장 높았는데, 이는 토양 P, K, Ca, Mg, Na 등의 농도가 다른 임분의 토양보다 높은 것이 영향을 미쳐 나타난 결과로 판단된다. 따라서 임분별 토양 양분 함량은 가비중보다 양분 농도에 영향을 받는 것으로 나타났다.

표 2.24. 신갈나무림의 조사구별 토양의 양분 함량(kg/ha).

	조사구 1	조사구 2	조사구 3	조사구 4
N	6223	5293	5600	5046
P	657	776	661	496
K	347	303	301	247
Ca	313	315	117	68
Mg	145	190	101	65
Na	257	257	235	249

표 2.25. 참나무류 혼효림의 조사구별 토양의 양분 함량(kg/ha).

	조사구 1	조사구 2	조사구 3	조사구 4
N	3902	3474	4704	5206
P	659	772	896	969
K	562	688	282	304
Ca	349	360	215	166
Mg	344	725	232	188
Na	357	428	366	341

표 2.26. 소나무림의 조사구별 토양의 양분 함량(kg/ha).

	조사구 1	조사구 2	조사구 3	조사구 4
N	6164	4456	3501	4913
P	918	1249	1211	1643
K	759	764	730	1046
Ca	939	1365	452	859
Mg	659	678	343	1321
Na	528	452	370	730

3) 유기물층

표 2.27. 신갈나무림의 조사구별 임상의 유기물량과 양분 함량.

		조사구 1	조사구 2	조사구 3	조사구 4
유기물량	(ton/ha)	9.7(1.14)a	11.6(1.08)a	8.2(1.93)a	10.1(0.73)a
N	(%)	1.57(0.09)ab	1.69(0.16)a	1.65(0.03)ab	1.39(0.05)b
	(kg/ha)	152.6	195.4	135.0	139.8
P	(%)	0.09(0.01)a	0.16(0.00)a	0.03(0.01)a	0.05(0.01)a
	(kg/ha)	8.7	18.5	2.5	5.0

표 2.28. 참나무류 혼효림의 조사구별 임상의 유기물량과 양분 함량.

		조사구 1	조사구 2	조사구 3	조사구 4
유기물량	(ton/ha)	17.5(0.50)a	7.8(0.23)b	15.4(0.18)ab	11.2(0.21)ab
N	(%)	1.03(0.00)a	1.15(0.10)a	1.16(0.10)a	0.87(0.05)a
	(kg/ha)	180.3	89.7	178.6	97.4
P	(%)	0.04(0.00)ab	0.03(0.00)b	0.04(0.00)ab	0.04(0.00)a
	(kg/ha)	7.0	2.3	6.2	4.5
K	(%)	0.25(0.05)a	0.41(0.21)a	0.29(0.02)a	0.42(0.06)a
	(kg/ha)	43.8	32.0	44.7	47.0
Ca	(%)	0.15(0.05)a	0.08(0.02)a	0.08(0.02)a	0.02(0.00)a
	(kg/ha)	26.3	6.2	12.3	2.2
Mg	(%)	0.15(0.02)c	0.15(0.03)c	0.22(0.01)b	0.33(0.03)a
	(kg/ha)	26.3	11.7	33.9	37.0
Na	(%)	0.05(0.00)b	0.07(0.00)a	0.06(0.00)ab	0.07(0.00)a
	(kg/ha)	8.8	5.5	9.2	7.8

표 2.29. 소나무림의 조사구별 임상의 유기물량과 양분 함량.

		조사구 1	조사구 2	조사구 3	조사구 4
유기물량	(ton/ha)	11.06(0.93)a	14.34(1.42)a	11.12(1.14)a	11.18(1.50)a
N	(%)	1.85(0.04)a	1.74(0.17)a	2.03(0.23)a	2.40(0.51)a
	(kg/ha)	204.6	249.5	225.7	268.3
P	(%)	0.07(0.00)a	0.06(0.00)a	0.07(0.00)a	0.06(0.01)a
	(kg/ha)	7.7	8.6	7.8	6.7
K	(%)	0.22(0.04)a	0.28(0.05)a	0.16(0.02)a	0.23(0.03)a
	(kg/ha)	24.3	40.2	17.8	25.7
Ca	(%)	0.08(0.02)a	0.05(0.01)ab	0.07(0.01)ab	0.03(0.01)b
	(kg/ha)	8.8	7.2	7.8	3.4
Mg	(%)	0.20(0.03)a	0.20(0.02)a	0.10(0.01)b	0.16(0.03)ab
	(kg/ha)	22.1	28.7	11.1	17.9
Na	(%)	0.07(0.00)a	0.08(0.00)a	0.07(0.00)a	0.07(0.00)a
	(kg/ha)	7.7	11.5	7.8	7.8

임상의 유기물량과 양분 함량은 표 2.27, 2.28, 2.29에 제시되었다. 소나무림의 유기물량은 신갈나무림과 참나무류 혼효림보다 높은 것으로 나타났는데, 이는 소나무림의 유기물 분해 속도가 참나무림보다 낮아서 나타난 결과로 사료된다. 한편 소나무림의 높은 유기물량은 소나무림 N의 함량이 다른 임분보다 높게 나타난 결과에 영향을 미친 것으로 판단된다. 한편 N의 농도가 다른 원소보다 높게 나타났는데, 이러한 결과는 N의 함량에 영향을 미친 것으로 판단된다.

연구 대상 임분별 평균 유기물량(ton/ha)은 신갈나무림 9.9, 참나무류 혼효림 13.0, 소나무림 11.9 등으로 나타났다. 연구 대상 임분별 평균 N의 함량(kg/ha)은 신갈나무림, 참나무류 혼효림, 소나무림 각각 155.9, 136.5, 237.0 등으로 나타났고, P의 함량(kg/ha)은 각각 8.7, 5.0, 7.7 등으로 나타났다. 연구 대상 임분 중 소나무림에서 유기물층의 N의 함량이 가장 높았는데, 이는 소나무림 유기물층의 N의 농도가 다른 임분보다 높게 나타난 것이 영향을 미친 것으로 보인다. P의 함량은 연구 대상 임분 중 신갈나무림에서 가장 높게 나타났는데, 이는 신갈나무림의 토양 P의 농도가 다른 임분보다 높게 나타났기 때문으로 판단된다. 참나무류 혼효림의 토양 K, Ca, Mg, Na 등의 평균 함량은 41.9, 11.8, 27.2, 7.8 등으로 나타났고, 소나무림의 경우 각각 27.0, 6.8, 20.0, 8.7 등으로 나타났다. 토양 K, Ca, Mg 등의 함량은 참나무류 혼효림이 소나무림보다 높게 나타났는데, 이는 참나무류 혼효림의 유기물량과 토양

K, Ca, Mg 등의 농도가 소나무림보다 높았기 때문이다.

라. 임분별 물질 생산량과 양분 함량 비교

잣나무 전생치수 발생 임분과 유사한 임령의 잣나무 인공림의 물질 생산량 및 양분 분포를 표 2.30에 제시하였다. 잣나무 전생치수 발생 임분 중 물질 생산량이 가장 많은 곳은 소나무림으로 나타났는데, 소나무림 내 잣나무 전생치수의 밀도는 다른 임분보다 낮으나, 근원 직경이 큰 전생치수가 다른 임분보다 많이 분포하여 나타난 결과로 판단된다. 잣나무 내 N의 함량이 가장 높은 곳은 물질 생산량이 가장 높은 잣나무 인공림이고, 그 다음은 물질 생산량이 높은 소나무림으로 나타났다.

표 2.30. 잣나무 전생치수 발생 임분과 잣나무 인공림의 물질 생산량과 양분 분포.

임분 형태	상층수종	물질생산량 (ton/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)	Na (kg/ha)	
전생치수	신갈나무	잣나무	2.7	19.6	1.9	10.5	-	-	-
		유기물층	9.9	155.9	8.7	-	-	-	-
		토양		5540.5	647.5	299.4	203.3	125.3	249.6
	굴참나무	잣나무	3.9	27.7	2.4	10.8	2.5	2.4	0.2
		유기물층	13.0	136.5	5.0	41.9	11.8	27.2	7.8
		토양		4321.5	824.0	458.8	272.5	372.1	373.0
	소나무	잣나무	6.8	65.2	3.9	18.7	1.0	2.1	2.9
		유기물층	11.9	237.0	7.7	27.0	6.8	20.0	8.7
		토양		4758.5	1255.3	824.6	903.6	750.2	520.2
인공림	잣나무	잣나무	28.32	161.0	26.3	41.0	62.0	11.7	-
		유기물층	6.0	86.1	7.9	5.1	50.3	6.6	-
		토양		3292.4	217.6	453.9	319.1	128.3	-

잣나무 전생치수 발생 임분에서 전생치수, 임상 유기물, 토양 중 양분이 가장 많은 곳은 토양으로 나타났다. 그러나 이 토양 양분 중 식물 생장에 이용될 수 있는 양분은 제한적이기 때문에 양분 결핍으로 인한 식물 성장 억제가 발생할 수 있다. 잣나무 전생치수의 양분 함량은 잣나무 인공림보다 낮은 것으로 나타났다. 이는 잣나무 전생치수의 물질 생산량이

잣나무 인공림보다 낮은 것이 영향을 미쳐 나타난 결과로 판단된다.

잣나무 전생치수 발생 임분의 경우 잣나무 전생치수의 물질 생산량은 임상의 유기물량보다 적었으나 잣나무 인공림의 잣나무의 물질 생산량은 임상의 유기물량보다 높게 나타났다. 이것은 잣나무 전생치수가 상층 식생에 피압되고 하층식생과 경쟁하여 나타난 결과로 판단된다. 잣나무 전생치수 발생 임분의 경우 N, P, K, Ca, Mg, Na 등의 함량은 토양에 가장 많았고, 임상 유기물층, 잣나무의 순으로 높았다. 그러나 잣나무 인공림의 경우 N, P, K, Ca, Mg, Na 등의 함량은 토양 다음에 잣나무가 높았고, 임상 유기물층은 가장 낮았다. 이것은 잣나무 전생치수 발생 임분의 경우 잣나무의 물질 생산량이 임상 유기물층보다 낮았고, 잣나무 인공림의 경우 잣나무의 물질 생산량이 임상 유기물량보다 높았기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

잣나무 전생치수 발생 임분에서 잣나무 전생치수의 생장을 촉진하기 위해 임관 소거나 하층식생 제거 등이 수행된 후 잣나무 전생치수는 적절한 광조건과 낮아진 경쟁 효과로 유사한 임령의 잣나무 인공림과 유사한 물질 생산량을 나타낼 것으로 보인다. 이때 잣나무 전생치수의 필요한 양분 함량은 잣나무 인공림의 잣나무가 보유한 양분 함량과 유사할 것으로 판단되며, 현재 잣나무 전생치수의 양분 함량과 비교하여 부족한 양분 함량을 추정할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 연구 대상 임분별 잣나무 전생치수 갱신 작업 후 부족할 것으로 예상되는 양분 함량을 잣나무 인공림의 잣나무 양분 함량에서 잣나무 전생치수 발생 임분의 잣나무 양분 함량을 제외시켜 구하였다(표 2.31). 신갈나무림과 참나무류 혼효림은 소나무림보다 높은 함량의 N, P, K가 필요한 것으로 나타났다. 이것은 신갈나무림과 참나무류 혼효림의 잣나무 전생치수의 물질 생산량이 소나무림보다 낮아서 나타난 결과로 판단된다. 잣나무 전생치수를 갱신하기 위해 필요한 양분 함량 중 부족한 것은 시비를 통해 해결될 수 있을 것으로 판단되며, 정확한 시비량을 측정하기 위해 다양한 시비 방법을 잣나무 전생치수 발생 임분에 적용하여 나타난 물질 생산량을 비교 분석할 필요가 있을 것으로 보인다.

표 2.31. 잣나무 전생치수와 잣나무 인공림과의 양분 함량 차이(kg/ha).

상층 수종	N	P	K	Ca	Mg
신갈나무	132.1	22.3	27.6	-	-
신갈나무와 굴참나무	124.0	21.8	27.4	56.2	8.4
소나무	86.5	20.3	19.5	57.7	8.8

3. 결 론

잣나무 전생치수는 하층식생의 구성원으로, 상층 임관에 의해 광선이 차단되고 하층의 다른 식생들과의 심한 경쟁 상태에 있는 것으로 나타났다. 따라서 잣나무 전생치수는 광합성 효율을 최대화하기 위해 물질 생산과 양분을 잎에 집중시키고 엽록소 함량을 높게 유지하는 등의 성장 전략을 나타내고 있다. 잣나무 전생치수를 상층식생으로 신속하게 유도하기 위해 하층식생의 광조건을 개선할 필요가 있으며, 이러한 작업은 간벌과 같은 무육작업과 택벌과 같은 갱신작업 등으로 수행될 수 있을 것이다. 또한 하층식생 내 경쟁을 감소시키기 위해 풀베기와 어린나무 가꾸기가 필요한 것으로 판단된다. 그러나 급작스러운 상층임관의 소개는 잣나무를 제외한 다른 하층 식생의 성장을 촉진시켜 오히려 잣나무 전생치수의 피압을 가져올 수도 있을 것이다. 따라서 점진적으로 상층 임목의 밀도를 낮추며, 하층식생을 고려하여 잣나무 혼효림으로 유도할 필요가 있다.

잣나무 전생치수의 양분 함량은 잣나무 인공림보다 낮게 나타났는데, 이것은 잣나무 전생치수의 물질 생산량이 잣나무 인공림보다 낮기 때문에 나타난 결과이다. 잣나무 전생치수 발생 임분에서 광조건과 하층 식생 간 경쟁 관계를 개선하여 잣나무 전생 치수가 원활히 성장할 수 있게 되면, 현재 잣나무 전생치수가 보유한 양분보다 더 많은 양분이 필요할 것이다. 잣나무 전생치수의 갱신 과정에서 필요한 양분은 유사한 임령의 잣나무 인공림의 잣나무와 잣나무 전생치수를 비교하여 추정할 수 있었다. 그러나 잣나무 전생치수가 성장하는데 부족한 양분을 보충하기 위한 시비량을 정확하게 밝혀내기 위해서는 택벌, 간벌 등의 작업과 함께 다양한 시비 방법을 분석하는 실험이 필요할 것으로 보인다.

제 3 절 잣나무치수 발생 임분의 조림작업종 및 갱신모델 개발

1. 연구개발의 목표 및 내용

가. 연구개발 목표 및 내용

잣나무(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.)는 한반도와 중국의 동북부, 시베리아의 동남부 그리고 일본의 혼슈와 시코쿠의 일부에 걸쳐서 분포하며(Critchfield and Little, 1966; Mirov, 1967) 한반도에서의 천연 분포는 대부분이 고산지대에 국한되어 있으며 중부 이남에서는 천연림으로는 설악산의 800m이상 되는 곳에서 일부 순림으로 군락을 이루고 있으며(임양재와 백순달, 1985) 지리산, 덕유산, 화악산, 속리산, 가야산 등에서는 활엽수나 다른 침엽수와 섞여서 자라고 있다(이강녕, 1977; 홍성호 등, 1983; 홍성호와 박형순, 1983; 임주훈, 1989).

잣나무의 인공조림은 1920년대부터 시작하였으며 현재 인공 식재림으로 가장 오래된 곳은 VII-VIII영급의 성림을 이루고 있으나 이는 일부 지역에 국한되어 있을 뿐 그 면적도 그리 크지는 못하다. 그 후 다시 본격적인 조림은 1960년도에서부터 시작하여 지금까지 꾸준히 많은 면적을 조림하였고 제주도를 제외한 전국에 걸쳐서 조림되고 있으며 현재도 전체 조림 면적의 32%를 차지하여 제일 많은 조림 수종이다(산림청, 2001). 잣나무의 1960년도 이후부터 2001년까지의 조림면적은 약 45만ha(산림청, 1968, 1979, 1982, 1991, 1998-2001)로서 이는 남한의 전체 산림면적의 약 7%를 차지하는 중요한 수종이다.

잣나무의 일반적 특성을 보면, 목재는 얇은 홍색 혹은 옅은 갈색을 띠며, 비틀림이나 수축, 팽창이 적고 적당한 강도와 통직성, 매끄럽고 균일한 나뭇결 그리고 건조성이 좋은 특성을 잘 겸비하고 있으므로 가장 좋은 목재로 크게 인정받고 있으며 국제 시장에서도 높은 명성을 얻고 있다(Xu et al., 1986; Ding, 1988; Li et al., 1988; Yeh, 1988; Yang and Wu, 1988; Wu, 1994; Wang et al., 1994). 잣은 자양 강장 효과가 있는 기호식품으로 널리 이용되고 있는 중요한 견과로 소나무속(Genus *Pinus*)에 속하는 나무의 열매로서는 가장 크다(Lanner, 1980).

식물은 갱신의 과정을 통하여 시간의 흐름에 따라 그들의 개체군을 유지하거나 확대시켜 나가는데 이는 종자의 생산, 산포, 발아, 활착의 단계를 걸쳐서 이루어지며 착상된 치수는 외부 환경에 적응하고 주위 식생과 치열한 경쟁을 하면서 각 개체의 생태지위(niche)에 맞는 위치를 점유하게 된다.

잣나무의 천연 갱신을 위한 종자의 산포는 설치류와 조류에 의해서 이루어지며 그 중에서도 주로 청설모(*Sciurus vulgaris*)와 잣까마귀(*Nucifraga caryocatactus*)에 의해서 이루어진다(Bromlei and Kostenko, 1970; Vander Wall and Balda, 1977; Bossema, 1979; Kawamich, 1980; Anonymous, 1982; Jensen, 1985; Li, 1986; Jensen a Nelsen, 1986; Miyaki, 1987; Li et al., 1988; Hayashida, 1989; Liu et al., 1994). 이러한 동물들에 의하여 모수림 주위의 숲에 널리 산포 은닉(scatter-hoarding) 된 종자는 다음해에 발아, 착상하여 치수로서 자라게 된다.

천연 갱신된 잣나무가 80~100년이어야 열매를 맺기 시작하는데 비해 인공 식재한 잣나무는 약 20년생 정도가 되면 열매를 맺기 시작하며(Li et al., 1988), 현재 전국에 걸쳐 IV영급 이하의 인공림 잣나무는 급격히 증가하여 많은 양의 잣을 생산하고 있으며 자연스럽게 많은 잣나무 치수들이 모수림을 중심으로 주위 숲에 널리 퍼져서 자라고 있다.

천연림 상태에서의 잣나무는 순림을 이루는 경우는 드물고 주로 활엽수 또는 침엽수들과 함께 혼효림을 이루고 있으며 특히 잣나무-신갈나무림이나 잣나무-피나무림을 잘 이루며(Li et al., 1989), 이렇게 혼효림을 이루며 자라는 잣나무는 순림일 때의 많은 단점 즉, 열매를 일찍 맺는 것, 수고 3-4 m에서 분지현상이 많이 일어남으로 인한 목재로서의 가치 상실, 질병의 감염이 쉬운 점, 생태적인 불안정함 등이 일어나지 않는다는 점이다(Wang and Xu, 1981; Xiang, 1985; Xu et al., 1986; Li et al., 1988; Li et al., 1989; Tan et al., 1994; Chi et al., 1994). 그러므로 잣나무는 혼효림을 이루어 서로 다른 여러 수종의 나무들이 그들의 생태지위에 따라 그것도 치수, 유령림, 장령림이 더불어 잘 짜여진 수직적 구도를 이루어야 순림일 때 보다 생태적으로 안정되고 생산성이 훨씬 높다(Xu et al., 1986; Chi et al., 1994).

천연갱신은 그 나무 자신의 속성에 의해서만 이루어지는 것이 아니라 광선, 온도, 습도, 양분과 같은 물리적인 환경 요소와 초식성 동물에 의한 섭식, 질병, 경쟁 등의 생물적 인자들과 밀접한 관계를 가지고 이루어진다(Barnes et al., 1998). 상층임관 밑에서 자라고 있는 잣나무 치수가 살아남아서 상층림으로 도약을 하기 위해서는 물리적 요인들 중에서 특히 광

선이 가장 중요한 인자이다(Yang and Wu, 1986; Li et al., 1988; Zang, 1988). 잣나무 치수는 내음성 잎(shade needle)을 가지고 있으므로(Yao, 1983) 발아하여 10년까지는 적은 양의 광선에도 잘 견디나 그 후부터는 광선의 요구량이 점차 늘어나기 시작하여 15년이 지나면서 부터는 꽤 많은 양의 광선을 필요로 하게 된다(Wang et al., 1988). 그러므로 자연 발생된 잣나무 치수들이 하층에서 중층 및 상층으로 도약하기 위해서는 자연적이거나 인위적인 교란이 있어서 필요한 량의 광선을 받아야 한다. 그러나 인위적인 교란을 가하기 위해서는 치수와 주위 식생에 대한 정확한 많은 정보를 가지고 수행되어야 한다.

지금까지는 오랜 동안 목재를 수확한 후 이를 복구하거나 혹은 수종갱신을 위하여 주로 인공조림을 해 왔고 특히 잣나무 조림을 많이 해왔다. 그러나 잣나무 순림은 여러 면에서 문제점을 가지고 있고 조림에 비용이 많이 드는 결점이 있다(Xu et al., 1986). 현재 잣나무 모수림 주위의 임상에 산포동물에 의하여 널리 산포, 발아되어 성장하고 있는 잣나무 후계목들의 생태적 상황을 잘 파악하여 앞으로는 천연갱신을 연구 검토하고 이를 잘 시행하면 잣나무가 현재와 같은 순림이 아닌 주위의 식생들과 혼효림을 이루어 생태적으로도 안정한 숲을 이룰 수 있을 것이다.

따라서 본 연구는 현재 잣나무 순림 주위 숲에 널리 산재하여 자라고 있는 잣나무 후계목들을 상층림의 임상별로 천연활엽수림, 일본잎갈나무림, 리기다소나무림, 소나무림을 대상으로 각 임상별 상층림의 정보를 분석하였으며, 그 상층림의 하층식생으로 조사된 잣나무 후계목들에 대한 임상별 밀도, 분포 및 성장 상태를 파악하였다. 임상별 잣나무 후계목의 성장 및 분포 상태와 주위 환경 인자들과의 관계를 구명함으로써 잣나무 천연갱신의 동태를 파악하였다. 특히 잣나무 전생치수의 출현 및 생육 상태가 다른 임상에서 보다 현저하게 좋은 천연활엽수림을 대상으로는 상층 임관에 대한 두 가지 강도 처리(강도, 약도)와 대조구 설정에 의한 밀도 처리구별 하층 잣나무 치수의 성장 및 치수 분포 파악을 통해 향후 잣나무 전생 치수 임분에 대한 임분 유형별 시업 처리 모델을 수립하고자 하였으며, 기타 일본잎갈나무림, 리기다소나무림, 소나무림을 대상으로는 잣나무 전생치수의 발생 밀도 및 성장 양상에 중점을 둔 연구가 수행되었다.

나. 연차별 연구개발 목표와 내용

구 분	1 차 년 도 (2003)
연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 잣나무 전생치수 발생 임분의 생태계 구조 분석 ▪ 잣나무 전생치수 발생 임분의 시업적 처리 모델 ▪ 잣나무 수하 파종조림에 의한 갱신 양상 분석
연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 상층림 구성 수종의 분포와 재원 파악 ▪ 임분의 종 다양성 분석에 의한 생태학적 특성 고찰 ▪ 상층 수종 간 상관관계 분석에 의한 군집 성격 규명 ▪ 조사구별 시업적 처리의 도입: A-상층 모두 벌채; B-상층 일부 벌채; C-대조구 ▪ 시업적 처리 후 임분 동태/입지 요인 및 잣나무 성장 변화 분석 ▪ 상층 임상 유형에 따른 잣나무 수하 파종조림 시험 ▪ 지형 및 토양 요인에 따른 치수 발생 파악 ▪ 파종조림 후, 종자잔존율, 발아세, 치수생존율과 임분 지형요인과의 연관관계
연구개발 결과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 연구 대상 임분의 조사구별 시업적 처리 완료 및 자료 분석 ▪ 잣 종자 수하 파종조림 완료 및 자료 분석

구 분	2 차 년 도 (2004)
연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 잣나무 전생치수 발생 임분의 시업적 처리 모델 ▪ 잣나무 수하 파종조림에 의한 갱신 양상 분석 ▪ 잣나무 수하 치수의 성장과 발달에 영향을 끼치는 요인 분석
연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 조사구별 시업적 처리의 도입: A-상층 모두 벌채; B-상층 일부 벌채; C-대조구 ▪ 시업적 처리 후 임분 동태/입지 요인 및 잣나무 성장 변화 분석 ▪ 상층 임상 유형에 따른 잣나무 수하 파종조림 시험 ▪ 지형 및 토양 요인에 따른 치수 발생 파악 ▪ 파종조림 후, 종자잔존율, 발아세, 치수생존율과 임분 지형요인과의 연관관계 ▪ 잣나무 치수의 성장 발달과 상층 및 하층 식생과의 관계 ▪ 천연 발생 잣나무 치수의 연령 추정 및 성장 환경 ▪ 천연 발생 잣나무에 대한 인공조림목과의 성장 비교와 예측
연구개발 결과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 시업적 처리에 따른 전생치수의 성장 및 요인 분석 ▪ 잣나무 파종조림의 갱신에 적용 가능성 타진

구 분	3 차 년 도 (2005)
연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 잣나무 수하 치수의 생장과 발달에 영향을 끼치는 요인 분석 ▪ 잣나무 천생치수 발생 임분의 조림작업중 제시 ▪ 잣나무의 천연갱신 모델 개발
연구개발 내용 및 범위	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 잣나무 치수(천연 발생 및 파종조림)의 생장 발달과 상층 및 하층 식생과의 관계 ▪ 천연 발생 잣나무 치수의 연령 추정 및 생장 환경 ▪ 천연 발생 잣나무에 대한 인공조림목과의 생장 비교와 예측 ▪ 임분 발달 및 동태 분석에 의한 미래 임분구조 예측 ▪ 시업 처리 결과에 의한 작업중 비교 ▪ 생태적 산림경영을 위한 조림 작업중 설계 ▪ 기존 상층 임형의 유형에 따른 천연 발생 잣나무의 육립 방안 제시 ▪ 천연 발생 잣나무의 활용 및 생장 촉진 방안 ▪ 잣나무의 천연 갱신 가능성 및 모델 제시
연구개발 결과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 연구 대상 임분의 적정 조림작업중 설계 ▪ 잣나무의 천연갱신 및 후계 임분 모델 제시

다. 연구개발 방법 및 설계

1) 연구대상지

본 연구 조사지들은 지리적 위치상 온도 중·북부 지방에 속해있는 강원도와 경기도의 동경 127°18' - 127°50' 과 북위 37°40' - 37°47' 사이에 위치하고 있으며 지리적 위치는 그림 3.1과 같다. 각 임상별 조사지 총 6개 조사지에서 수행되었으며, 대상지의 행정 구역상 위치 및 지황 현황은 표 3.1과 같다. 그러나 벌채 시업의 적용은 벌채 자체의 위험성과 작업단 이용의 어려움을 감안하여 강원도 홍천군 북방면 북방리 일대 강원대학교 학술림에 위치한 천연활엽수림 내 잣나무 치수 발생 임분의 고정조사구 9개의 조사구에서만 적용하였으며, 일본잎갈나무림, 리기다소나무림, 소나무림에서는 임분 유형별 잣나무 갱신치수의 발생 현황에 대한 결과 파악에 중점을 두었다.

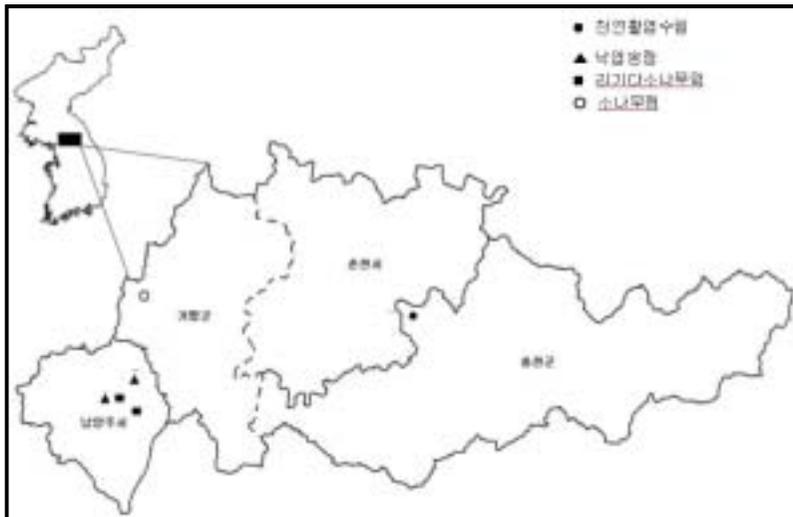


그림 3.1. 연구 대상지의 위치.

표 3.1. 잣나무 전생치수 발생 임분 연구 대상지의 임황.

번호	위치	임 형	조사구 수	해발고도 (m)	사면 경사도
1	강원도 홍천군 북방면 북방리	천연활엽수림	9	410-450	28°
2	경기도 남양주시 화도읍 가곡리 천마산	일본잎갈나무림	10	175-215	10°
3	경기도 남양주시 수동면 운수리	일본잎갈나무림	10	155-185	9°
4	경기도 남양주시 화도읍 가곡리 천마산	리기다소나무림	10	210-225	11°
5	경기도 남양주시 화도읍 가곡리 송라산	리기다소나무림	10	200-220	20°
6	경기도 가평군 상면 태봉리	소나무림	10	150-185	29°

가) 천연활엽수림(강원도 홍천군 북방면 북방리 강원대학교 학술림)

우리나라의 중부 이북 및 고산지 등에 잣나무를 조림하기 시작한 것은 1930년대부터 시작되어 최근까지 계속되었다. 경기도 가평군과 강원도 춘천시와 홍천군 등지에는 VII~VIII 영급에 이르는 잣나무 장령림을 찾는 것은 어렵지 않다. 이러한 장령림 주위에는 청설모 등의 설치류 동물과 잣까마귀 등의 조류에 의해서 잣나무 모수림 주위 숲의 임상에 산포·은닉·저장된 잣 종자가 발아하여 활착된 잣나무 치수들이 상층목 아래에서 생육하고 있는 산림을 연구 대상지로 선정하였다.



사진 3.1. 천연활엽수림내 잣나무 전생치수 발생.

연구 조사지 가운데 강원대학교 학술림의 총 면적은 3146ha이고 잣나무림의 면적은 522ha이며 그 대부분이 III영급 이상으로 구성되었고 VII영급 이상은 217.4ha나 된다. 이런 잣나무림은 작은 면적으로 학술림 내에 널리 분포되어 있다(강원대학교 산림과학대학 연습림, 1999).

대상지 중 유일하게 고정 조사구를 설치한 강원대학교 학술림에 위치한 천연활엽수림 내 잣나무 전생치수 발생 임분에 대한 임황자료 분석 결과, 조사구의 위치는 대부분 산복에 위치하고 있으며, 사면방향은 태양광선의 투광 조건이 좋은 남서 방향에 위치하며, 경사도는 30°미만으로 토성은 양토 또는 식양토로 분류 되었으며, 토양습도는 약 26%로 동일한 조건을 가지는 것으로 파악되었다.

조사구가 설치된 지역과 능선을 경계로 북동사면에는 모수림으로 보이는 VII~VIII영급의 모수림이 조성되어 있다. 그러나 2004년 겨울, 수확벌채가 이루어져 형질이 우수한 모수 몇 본 많이 존치 되어 있는 상태이다.

표 3.2. 강원대학교 학술림에 위치한 천연활엽수림 조사구별 지위 조건.

조사구 번호	지형적 위치	사면방위 (°)	경사도 (°)	토성	토양습도 (%)
1	능선	S45°W	22	양토-식양토	26
2	"	S55°W	22	"	"
3	"	S40°W	25	"	"
4	"	S53°W	30	"	"
5	"	S60°W	30	"	"
6	산복	S35°W	22	"	"
7	"	S23°W	25	"	"
8	"	S50°W	21	"	"
9	"	S50°W	27	"	"

나) 일본잎갈나무림, 리기다소나무림, 소나무림

강원대학교 학술림 내 천연활엽수림에서의 잣나무 전생치수 조사이외의 임상(일본잎갈나무림, 리기다소나무림, 소나무림)에 대한 조사는 3차년도(2005년)에 주로 조사가 수행되었으며, 자료 수집은 2005년 8월부터 시작하여 2006년 6월까지 고정 조사구가 아닌 정방형 조사

구를 대상지에 무작위로 선정하여 식생 자료에 대한 수집을 실시하였다.



사진 3.2. 낙엽송림에서의 잣나무 전생치수 발생.



사진 3.3. 리기다소나무림에서의 잣나무 전생치수 발생.



사진 3.4. 소나무림에서의 잣나무 전생치수 발생.

2) 조사방법

가) 식생조사

이 연구는 설치류에 의해 잣나무 갱신치수가 비교적 많이 발생된 강원대학교 연습림 32 임반 차소반 1보조소반의 활엽수림 고정 조사구에서 수행되었다(그림 3.2). 조사지역의 동쪽과 남쪽에는 1920년대에 조림되고 현재는 생장이 양호한 70여년생의 잣나무림이 있어 지리적으로 종자 공급이 용이한 곳이다. 대상 지역에서 10m×10m 정방형 영구 조사구 9개를 일정한 거리를 두고 설치하였다. 설정된 영구 조사구 네 곳의 모서리에 지름 약 5cm 길이 약 100cm의 금속제 파이프를 박아서 조사구 찾는 것을 쉽게 하였고, 장기적으로 계속 연구 조사를 통하여 잣나무 치수의 발생 경향과 발달 상황을 연구할 것이다. 조사구의 상층을 점유하는 모든 교목 수종에 대해서는 수종을 식별하고, 수고, 흉고직경, 수관폭을 실측하였으며, 그 중 잣나무 갱신치수에 대해서는 수고와 수간에 가지가 윤생하면서 층으로 나뉘어 있는 절간수를 별체가 이루어진 2003년을 기준으로 별체 이전인 2001년부터 2005년까지 최근 5년간의 절간수에 따른 연년 성장량을 측정하고, 뿌리 쪽으로 가지가 고사하여 탈락한 것은 마디 흔적을 세어 더해주었다.

임형 별 10m×10m 정방형 조사구 수는 천연활엽수림에서는 9개, 낙엽송림 20개, 리기다 소나무림 20개, 소나무림에서 10개씩 총 59개의 정방형 조사구를 설치하였다. 조사구 내에 출현하는 잣나무 치수에 대한 근원경, 수고, 절간수 등을 실측하였으며, 잣나무 울폐 임분 아래에서의 치수 발생 상황을 조사 하였다. 지형조사를 위해서는 각 조사구의 경사도, 사면 방향, 토성, 토양수분함량 그리고 임형 등의 자료를 수집하였다(표 3.2).

나) 인공조림지 치수와 천연갱신 치수에 대한 조사

자연적으로 발생한 잣나무와 인공 조림된 잣나무와의 생장(수고, 흉고직경 및 근원경) 차이를 비교하기 위하여 강원대학교 학술림 1임반 자소반에 조성된 잣나무 고정 조사구의 1982, 1984년, 1988년, 1991년, 1994년, 1997년에 조사된 자료(한상섭과 이재선, 1982; 한상섭과 이재선, 1984; 한상섭과 장중근, 1988; 최인화와 장중근, 1991; 최인화 등, 1994; 최인화 등, 1997)를 이용하였다.

다) 하층 출현 식생 조사

설치된 정방형 표분구내에 생육하는 모든 하층 식생에 대하여 수목도감(이창복, 1983)을 참고하여 수종을 식별하고, 종 리스트를 작성하였으며, Braun-Blanquet(1964)의 조사 방법을 이용하여 식생 현황을 파악하였다.

라) 천연활엽수림 상층 임목에 대한 간벌 적용

식생조사가 이루어진 네 가지의 모든 임상에 대하여 동일한 조건의 간벌 시업을 적용하는 것은, 조사지간의 원거리, 벌채 허가, 작업장 투입의 어려움에 따른 연구진에 의한 직접 벌채작업 수행 등의 여러 가지 현실적인 애로사항을 감안하여, 대상지 중 잣나무 전생치수의 출현 개체수와 생장이 가장 왕성하고 학술적 목적의 벌채 허가가 용이한 강원대학교 학술림 내 천연활엽수림에서만 간벌 시업을 적용할 수 있었다.

일반적으로 상층목 아래에서 생육하는 잣나무 전생치수의 생장이 저조한 이유는 상층 수

관 울폐에 의한 광량의 부족 현상이라는 것이 여러 문헌을 통해 확인된 바, 상층 임관에 대한 3가지 처리 방법(A-본 수 기준 상층목 모두 벌채; B-본 수 기준 상층 일부 벌채, 약 35%이상; C-무간벌지의 대조구)을 도입하여 상층 임관의 소개 정도에 따른 잣나무 치수의 성장 변화를 추적하였다. 상층 임관 처리를 위한 표본 단위는 10m×10m 정방형 조사구로 하고, 각 처리마다 3반복 조사구를 선정하고 난괴법(Randomized block design)에 의한 통계적 분산분석을 통하여 처리 방법에 따른 잣나무 치수의 성장과 발달 상황을 비교 분석하였다. 이를 바탕으로 잣나무 전생치수 발생 임분의 시업적 처리 방안을 진단하고 조림작업 중 선정을 위한 기본 자료로 활용하고자 하였다.

마) 기타 지형 자료 수집 및 잣나무 수하 식재 시험

지형조사를 위해서는 각 조사구의 경사도, 사면방향, 토성, 토양수분함량 그리고 임형 등에 대한 정보를 수집하였다. 벌채된 천연활엽수림에 대한 상층 수관울폐도와 간벌 처리구별 엽면적지수(LAI)에 대한 측정은 구름이 많이 낀 오후에 측정을 실시하였다.

바) 잣 종자 직파조림 시험

현재 관찰되는 잣나무 치수는 주로 청설모와 잣까마귀의 종자 습식 습성에 의한 것으로 판단된다. 이러한 현상과 유사하게, 잣나무의 갱신 양상을 파악하기 위하여 수하 파종조림을 실시한다. 잣나무 수하 파종조림 시험은, 연구 대상지에서 시험 가능한 모든 상층 임상 유형 및 지형과 토양 요인에 따른 치수 발생 현황을 파악하게 될 것이다. 각 임상 및 입지 조건 별로 1m²의 조사구에 50cm 간격을 둔 9개의 은닉처를 선정하고 각 은닉처에 다수의 순정 종자를 청설모가 은닉하는 깊이로 사료되는 2cm 깊이 파종하였다. 파종조림 후, 종자 잔존율, 발아세, 치수 생존율을 조사하고 임분, 지형, 토양 요인과의 연관관계를 중심으로 다중 비교를 통하여 최적의 수하 파종조림 가능성 및 방법에 활용하였다. 잣 종자의 활착에 방해되는 요인은 잣 종자가 가진 독특한 향기 때문에 이를 감지한 청설모, 쥐 등의 설치류에 의한 피해가 가장 높은 반면, 상층 임상에 따른 차이를 치수 활착과 성장에 큰 변수가 되지 못할 것으로 예상되어 본 연구에서는 천연활엽수림 내 하층에 사면 방향을 염두에 둔 파종

실험을 실시하였다.

3) 분석방법

가) 상층 우점 종에 대한 중요치 분석

식생조사를 통해 얻어진 자료를 근거로 연구 대상 지역의 수종 구성을 파악하기 위해 상층과 중층으로 층위를 구분하여 상대밀도, 상대빈도, 상대피도로 표현되는 중요치(Curtis and McIntosh, 1951)를 산출하였다.

$$IV = \frac{RD+RF+RC}{3}$$
$$RD = \frac{\text{어떤 수종의 개체수}}{\text{전체 수종의 개체수}} \times 100(\%)$$
$$RF = \frac{\text{어떤 수종의 빈도}}{\text{전체 수종의 빈도 총합}} \times 100(\%)$$
$$RC = \frac{\text{어떤 수종의 피복면적}}{\text{전체 수종의 피복면적}} \times 100(\%)$$

IV : 중요치(Importance Value)
RD : 상대밀도(Relative Density)
RF : 상대빈도(Relative Frequency)
RC : 상대피도(Relative Coverage)

나) 상층 우점 종에 대한 종다양성 지수 분석

종다양성은 산림군집에 ‘얼마나 많은 종의 식물들이 생육하고 있는 가’의 정도를 가리키며, 가장 간단하게 종의 수로 표시된다. 즉, 종다양성은 군집 내 식물 종들의 구성 양상을 평가하는 군집을 주제로 한 속성이며, 다른 군집과의 비교나 또는 같은 군집의 시간이 지남

에 따른 변화 등에 초점을 맞추는 비교 중심적인 개념이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 종다양성 분석방법 중, Shannon-Wiener의 종다양성 분석방법을 이용하여 연구대상 산림의 상층, 중층의 종다양성 지수를 산출하였다. Shannon-Wiener의 종다양성 분석방법은 산림군집 내에서 특정한 수종을 무작위로 선택한다고 할 때, 종의 구성상태의 변이가 심할수록, 즉 종다양성이 높을수록 한번 선택된 수종이 다시 선택될 가능성은 희박해지며 불확실성이 증가한다. 그러므로 한 가지 수종으로 구성된 산림군집의 종다양성 지수는 0으로 산출될 것이며, 수종의 무작위 선택상의 불확실성은 없어진다는 불확실성에 관련된 방법으로 산림군집에서의 종의 수와 종마다 출현하는 개체수를 매개변수로 하여 다양성 지수를 산출한다.

상층 임관이 소개되고 임지바닥에 도달하는 태양광선의 정도가 간벌 강도별로 각각 다르게 나타나게 되는데, 천연활엽수림의 경우, 간벌 전과 간벌 후에 주변 임분으로부터 유입되는 하층식생에 대하여 종다양성을 산출하였다. 종다양성 산출은 임분 구조가 조사 대상 네 가지 임상가운데 가장 복잡한 구조를 가지고 있는 천연활엽수림을 대상으로 2004년 8월에 조사가 이루어졌으며, 각 간벌 처리구별로 1m×1m 소조사구를 3개씩 총 9개의 고정 조사구 내에 출현하는 모든 식생의 종명을 밝히고 개체수에 대한 조사가 이루어졌다.

Shannon-Wiener의 종다양성 지수 산출 공식은 다음과 같으며, Kovach (1995)의 Multi-variate Statistical Package(MVSP)를 이용하여 다양성 지수를 산출하였다.

$$\text{Shannon-Wiener's index : } H' = -\sum P_i \log_e P_i$$

P_i : 수종 i 의 총 개체수에 대한 비율 (n_i / N)

n_i : 수종 i 의 개체수

N : 총 개체수

H_{\max} : $\log_e S$

S : 식물 종의 총수

각 수종들에 대한 개체들의 분포정도를 의미하는 균재도(J')는 $J'=H'/H_{\max}$ 에 의해서 산출되며, 우점도는 $1-J'$ 로써 표시된다.

다) 수종별 상관관계 분석

수종간 상관관계는 산림군집에 생육하는 수종의 생태적 속성을 밝히는 매우 중요한 분석 기법 중의 하나이다. 산림군집 내에는 수종들의 분포, 수, 그리고 상호작용에 중요한 영향을 미치는 무수한 생물적, 무생물적 요인들이 존재하며, 상관관계를 포함한 생태적 분석기법들은 수종의 분포, 수, 그리고 상호작용 현상을 통해 수종의 생물학적·환경적 주변요인들이 그 수종과 전체 산림군집에 미치는 영향을 밝히기 위해 사용된다.

두 수종이 같은 서식처를 공유하느냐, 혹은 다른 서식처 요구도를 갖느냐에 따라 수종간 상관관계의 결과는 정(+의 관계, 부(-)의 관계, 또는 상관없음 등 3가지로 국한되며, 상관관계의 정도에 따라 두 수종간의 서식처 요구도에 대한 정보를 보다 명확히 분석할 수 있다.

두 수종의 상관관계는 그 결과에 따라 중요한 생태적 의미를 갖는다. 수종간 상관관계가 정의 관계 또는 부의 관계일 때 두 수종의 상호작용에 따른 생태적 의미를 나타내고 있다. 연구 대상 산림에 생육하는 상층과 중층 수종에 대하여 조사구에서 출현과 비출현의 관계를 바탕으로 2×2 분할표에 의한 Chi-square 값으로써 수종간의 상관관계를 분석하였다.

라) 잣나무 전생 치수의 연령 추정

잣나무는 매년 한 개씩의 절간을 만들어냄으로써 개략적인 연령 추정이 가능하다. 그러나 상층이 울폐된 하층에서 자라는 잣나무는 인공 조립된 잣나무와 비교할 때 초기 생장이 극히 저조하기 때문에 절간수에 의한 연령 추정에는 오류가 많다. 그러므로 천연 발생한 잣나무에 대하여 현재의 성장 상태와 미래의 성장 예측을 위하여 수고급 별로 다수의 잣나무 치수를 대상으로 가능한 뿌리에 가깝게 원판을 채취하고, 채취한 원판을 실험실에서 확대경을 이용하여 연륜판독을 실시하였다. 이를 통하여 절간수와 연륜수에 의한 실제 나이와의 관계식을 도출하고, 직경 성장 및 수고 성장을 추적한다. 또한 천연 발생 잣나무 치수의 성장과 같은 나이의 인공조립 잣나무의 성장을 비교 분석하였다.

마) 상대조도 변화

임상별 상대조도에 대한 측정을 실시하였다. 태양광선의 측정은 구름이 적은 맑은 날을 택하여 하루 중 태양광선의 높이가 가장 높은 시간대인 오후 12시에서 오후 2시 사이에 모든 측정이 이루어졌으며, 각 표본점에서 2분 간격을 두고 측정이 이루어졌다. 임분 내부에서의 조사와는 반대로 상대조도를 산출하기 위해서는 임목이 없는 나지에서의 태양광선의 측정값을 이용한다. 각 임분별로 도로변 나지에서 임외 조도가 측정이 되었고, 각 임상별로 임도 변에서 측정한 값을 이용하여 임분 내부에서 측정한 값의 상대 비율로서 상대조도를 산출하였다.

바) 상층임관 율폐도 및 LAI 변화 분석

자연 발생된 잣나무의 초기 생장에 가장 큰 영향을 미치는 물리적 환경요소가 바로 태양광선인데, 이러한 태양광선이 임내에 도달하는데 있어서의 변수는 잔존 상층 임목의 수관율폐도 정도이다. 따라서 본 연구에서는 간벌 이후 시간적 변화에 따른 상층 임관의 엽면적지수(LAI, leaf area index)의 변화에 대한 관찰은 필수 요소라 할 수 있다. 기존의 상층 율폐도에 대한 조사는 조사자의 주관적 목측에 의한 비과학적 조사에 의존하였으나, 본 실연 연구에서는 실연지의 임관 율폐도 및 LAI에 대한 측정은 식생의 생장이 가장 왕성한 여름에 실시되었으며, 임목 간 율폐도는 방향에 따라서 상당한 변이를 보여 동-서-남-북 4방향을 측정하여 평균치로서 각 표본점의 율폐도로 간주하였다. 본 연구에서는 강원대학교 학술림에 위치한 천연활엽수림에서만 벌채 시업을 적용하였으므로 기타 임상에서는 적용하지 않았다.

율폐도 측정에는 수관율폐도 측정기(Spherical Densiometer)가 사용되었으며, 지상 1.2m 지점에 어안렌즈를 장착한 카메라를 설치하여 측정이 이루어졌다. 엽면적(LAI) 측정에 사용된 장비는 WinsCanopy 2005(Regent Inc., Canada)를 사용하였으며, 분석에는 Hemiview(Delta T Device, Cambridge, UK) 프로그램을 이용하였다.

사) 토양습도 변화

토양습도에 대한 간벌 후 시간의 경과에 따른 변화를 파악하기 위하여 잔존 밀도를 달리 하는 A, B, C구역의 가운데 부분에서 실시되었다. 측정은 측정 일을 기준으로 1주 전 동안 (7일 동안) 비가 오지 않은 날을 선정하여 설치된 각 고정 조사지점에서 5회씩 한 구역에서 실시하였으며, 평균을 계산하여 평균 토양습도를 산출하였다. 토양 습도의 측정에는 TDR-300이라는 장비를 이용하여 정밀 측정하였다.

2. 연구결과

가. 잣나무 전생치수 발생 임분의 생태계 구조 분석

1) 임분 유형별 중·상층 임관의 수종구성

산림을 이루고 있는 수종은 같은 지역에서도 지형적 위치에 따라서 또는 천이의 진행 정도에 따라서 다르며 그 구성비율도 또한 다르기는 하나 천연림 상태에서는 일반적으로 관목 및 소교목 수종을 제외한 우점종 및 우점 가능 수종은 약 15-20 수종이 나타나며 산복에서 가장 많은 수종이 나타나며 다음이 계곡이고 능선에서 가장 적은 수의 수종이 출현한다(이원섭 등, 2000; 양희문, 2002). 이러한 현상은 지형에 따른 다른 환경적 요인과 우리나라의 산림을 이루는 지형이 일반적으로 산복이 차지하는 비율이 가장 높고 능선이 가장 적기 때문이기도 하다. 본 연구에서 조사구의 설정은 주로 잣나무 치수의 출현 비도가 높은 산복과 능선에서 이루어 졌으며 계곡 지역에서는 조사구를 설치하지 않았다. 이는 모수림이 산의 낮은 계곡이나 산복의 아래 부위, 또는 능선 반대방향에 주로위치하기 때문이며 계곡부위에서는 잣나무 치수의 발생이 거의 없었기 때문이다. 계곡은 지피식생이 왕성하게 자라고 있으므로 청설모가 종자를 저장하지 않거나(유병호와 김상욱, 1987; Hayashida, 1989) 저장하였더라도 발아 및 활착하기에 적합한 환경이 조성되지 않았기 때문이라고 사료된다.

임상별 수종 및 그 구성 비율을 보면 활엽수림의 구성은 상층은 15가지 수종으로 구성되어 있으며 신갈나무가 74%로 가장 많았으며 다음이 떡갈나무 10%, 굴참나무 8%, 물박달나

무 3%의 순으로 참나무류가 수종 구성의 약 90%를 차지하는 것으로 파악되었다.

일본잎갈나무림의 상층은 일본잎갈나무가 96%를 차지하였으며 다음은 리기다소나무(2%), 신갈나무(2%)로 세 수종만이 상층을 구성하고 있는 것으로 파악되었다. 리기다소나무는 일본잎갈나무와 함께 인공 식재한 것으로 일본잎갈나무 순림을 형성하고 조림 후 현재까지 떨어져 쌓인 두꺼운 낙엽층으로 인해 다양한 수종의 유입이 어려웠을 것으로 판단되나 단지 신갈나무만이 자연 발생 하여 현재의 중층의 층위에 생육하고 있는 것으로 판단된다.

표 3.3. 임형별 중·상층의 수종구성.

수종	상층				중층			
	천연 활엽수림	일본잎갈 나무림	리기다 소나무림	소나무림	천연 활엽수림	일본잎갈 나무림	리기다 소나무림	소나무림
갈참나무	1	-	-	-	-	-	-	-
개살구	-	-	-	-	1	-	-	-
개회나무	-	-	-	-	2	-	-	-
고로쇠나무	-	-	-	-	1	-	-	-
굴참나무	8	-	-	-	5	-	1	-
난티나무	1	-	-	-	2	-	-	-
다릅나무	1	-	-	-	1	-	-	-
당단풍	-	-	-	-	1	-	-	-
떡갈나무	10	-	-	-	15	-	1	11
리기다소나무	-	2	100	-	-	2	23	-
물박달나무	3	-	-	-	1	-	3	1
물푸레나무	1	-	-	-	1	12	13	-
사시나무	1	-	-	-	-	-	-	-
산벚나무	1	-	-	1	3	4	18	2
산뽕나무	-	-	-	-	1	6	1	-
상수리나무	1	-	-	10	-	-	-	12
생강나무	-	-	-	-	1	-	-	-
서어나무	-	-	-	-	-	1	3	-
소나무	2	-	-	86	2	1	1	45
소사나무	-	-	-	-	-	4	-	1
소태나무	-	-	-	-	1	2	-	-
신갈나무	74	2	-	3	55	47	30	27
신나무	-	-	-	-	-	1	-	-
오리나무	-	-	-	-	-	-	1	-
읍나무	-	-	-	-	1	-	-	-
일본목련	-	-	-	-	-	1	1	-
일본잎갈나무	1	96	-	-	-	19	1	-
자귀나무	-	-	-	-	-	1	-	-
졸참나무	-	-	-	-	-	1	-	-
쪽동백나무	-	-	-	-	8	-	1	-
층층나무	-	-	-	-	1	3	3	-

리기다소나무림의 상층은 리기다소나무외의 다른 수종은 전혀 없었으며 중층은 16가지 수종이 출현하여 다양한 수종으로 구성되어 있음을 알 수 있으며 신갈나무가 30%로 가장 높은 점유율을 보였고, 다음으로는 리기다소나무(23%), 산벚나무(18%), 물푸레나무(13%) 순이었다(표 3.3).

소나무림의 상층은 네 가지 수종으로 이루어져 있으며 소나무가 86%의 높은 우점율을 차지하였고 다음이 상수리나무(10%), 신갈나무(3%), 산벚나무(1%)의 순이었다. 중층에는 7가지 수종으로 구성되어 있었으며 소나무가 45%로 가장 높은 점유율을 보였고, 신갈나무(27%), 상수리나무(12%), 떡갈나무(12%)의 순으로 약50% 정도가 참나무류가 점유하는 것으로 파악되었다(표 3.3).

모든 임상의 중층에서 상층보다 많은 수종이 출현했으며, 전체적으로 신갈나무는 활엽수림의 상층과 소나무림을 제외한 모든 임상의 중층에서 우점수종이었으며, 소나무림은 중층에서도 소나무의 점유율이 가장 높았다. 중층에서는 소나무림에서 7가지의 교목수종이 출현하여 구성 종의 풍부성이 떨어지는 반면 활엽수림에서 17가지 수종, 일본잎갈나무림에서 12가지 수종, 리기다림에서 16가지 수종이 출현하므로 앞으로 인공림을 수확한 후 인위적 또는 자연적인 교란이 발생하지 않는다고 가정할 경우, 구성 종의 풍부성이 높게 유지되는 숲으로 이루어질 것으로 예측된다.

표 3.4. 천연활엽수림 벌채 이전의 중층목의 수종 구성.

수 종	상대밀도(%)	상대빈도(%)	상대피도(%)	중요치(%)
굴참나무	0.9	4.2	1.3	2.1
노린재나무	0.9	4.2	0.1	1.7
떡갈나무	10.4	25.0	25.9	20.4
신갈나무	20.9	29.2	54.2	34.7
잣나무	67.0	37.5	18.6	41.0

강원대학교 학술림에 위치한 천연활엽수림 임분의 상층 임관에서는 신갈나무(중요치 50.0%)가 상대밀도와 상대피도에서 절반 이상을 차지하는 우점종으로 조사되었고, 다음으로 굴참나무(22.6%), 떡갈나무(16.5%), 물박달나무(6.7%), 낙엽송(4.1%) 등의 순으로 모두 5가지 수종이 출현하였다(표 3.5). 조사구에 있는 낙엽송은 성장상태가 100m 정도 떨어져 있는 70여년생의 낙엽송 인공림과 거의 비슷해 이 보조 소반의 일부 지역은 낙엽송 조림 실패지에

형성된 천연활엽수 2차림으로 추정된다. 중층에서는 잣나무(41.0%), 신갈나무(34.7%) 떡갈나무(20.4%), 굴참나무(2.1%), 노린재나무(1.7%) 등 5가지 수종이 출현하였고 조사구마다 떡갈나무와 굴참나무 고사목이 3-5그루정도 관찰할 수 있어 중층에서는 광선을 포함한 생육공간에 대한 경쟁이 심하게 일어나고 있음을 시사해주고 있다(표 3.4).

표 3.5. 간벌에 따른 상층목 수종구성 변화.

수종명	상대밀도(%)		상대빈도(%)		상대피도(%)		중요치(%)	
	벌채 전	벌채 후	벌채 전	벌채 후	벌채 전	벌채 후	벌채 전	벌채 후
굴참나무	18.5	16.3	22.2	20.0	27.0	28.1	22.6	21.4
낙엽송	1.9	-	5.6	-	5.0	-	4.1	-
떡갈나무	16.7	20.9	22.2	20.0	10.7	14.7	16.5	18.6
물박달나무	3.7	2.3	11.1	10.0	5.3	5.8	6.7	6.0
신갈나무	59.3	60.5	38.9	50.0	52.0	51.4	50.0	54.0

2) 벌채 전/후 임분 자원 변화

잣나무 치수가 발생한 연구 대상 임분에 대한 수종별 단위 면적 당 임목 분수, 흉고단면적, 재적 및 평균 직경 평균 수고를 상층목은 표 3.6에, 중층목은 표 3.7에 각각 나타내었다.

표 3.6. 벌채 이전의 상층목 임목자원.

수종	밀도 (본/ha)	BA (m ² /ha)	재적 (m ³ /ha)	평균직경 (cm)	평균수고 (m)
굴참나무	111	5.41	34.1	<u>24.7</u> 19.0 - 30.0	<u>16.2</u> 15.0 - 20.0
낙엽송	11	1.01	10.3	<u>34.0</u> 34.0 - 34.0	<u>24.0</u> 24.0 - 24.0
떡갈나무	100	2.15	13.2	<u>16.4</u> 14.0 - 19.0	<u>14.6</u> 12.0 - 16.0
물박달나무	22	1.07	60.2	<u>24.0</u> 18.0 - 30.0	<u>14.5</u> 14.0 - 15.0
신갈나무	356	10.44	69.5	<u>19.0</u> 10.0 - 30.0	<u>16.1</u> 13.0 - 19.0
합계	600	20.07	133.1	<u>20.1</u> 10.0 - 34.0	<u>15.9</u> 12.0 - 24.0

표 3.7. 벌채 이전의 중층목 임목제원.

수 종	밀도		재적 (m ³ /ha)	평균직경 (cm)		평균수고 (m)	
	(본/ha)	BA (m ² /ha)		전	후	전	후
굴참나무	11	0.09	0.040	10.0	10.0 - 10.0	11.0	11.0 - 11.0
노린재나무	11	0.01	0.001	3.0	3.0 - 3.0	2.2	2.2 - 2.2
떡갈나무	133	1.76	0.839	12.2	6.0 - 16.5	11.7	10.0 - 15.0
신갈나무	267	3.69	1.680	12.6	2.0 - 19.0	10.8	3.0 - 16.0
잣나무	855	1.27	0.248	4.1	2.0 - 8.0	3.0	2.1 - 7.0
합 계	1,278	6.82	2,808	6.8	2.0 - 19.0	5.7	2.1 - 16.0

상층에서 우점도가 비교적 높았으나 중층에서는 현저히 떨어진 굴참나무의 상층 흉고직경은 대부분 19~30cm 사이에 분포하고 있었고 ha당 111본이 출현하였으며, 상층의 떡갈나무는 대부분이 14~19cm 사이에 분포하고 있었고 상층에서보다 중층에서 점유율이 높게 나타났으며 상층에서 ha당 133본이 출현하였다. 상층에서나 중층에서 모두 압도적으로 높은 우점률을 보인 신갈나무는 대부분이 10~30cm 사이에 분포하고 있고 상층에서 ha당 356본이 생육하고 있는 것으로 파악되었다. 중층 이상의 임분 밀도는 ha당 1,878본의 임목수에 약 136m²를 나타내어 양호한 임분 조건을 유지하는 것으로 판단된다.

표 3.8. 간벌에 따른 상층목의 임목 제원 변화.

수 종	밀도		BA		재적		평균직경		평균수고	
	(본/ha)		(m ² /ha)		(m ³ /ha)		(cm)		(m)	
	벌채 전	벌채 후	벌채 전	벌채 후	벌채 전	벌채 후	벌채 전	벌채 후	벌채 전	벌채 후
굴참나무	122	117	5.4	5.8	34.1	36.9	24.7	24.9	16.2	15.9
낙엽송	11	-	1.0	-	10.3	-	34.0	-	24.0	-
떡갈나무	233	150	3.8	3.1	14.1	13.5	16.4	16.1	14.6	11.0
물박달나무	22	17	1.1	1.2	6.0	5.7	24.0	30.3	14.5	13.4
신갈나무	623	433	17.3	10.7	71.2	62.5	19.0	17.2	16.1	12.4
합 계	388	717	11.3	10.1	64.5	56.1	20.1	22.2	15.9	13.2

간벌에 따른 상층목의 임목제원을 비교하여 표 3.8에 나타내었다. 벌채에 따라 연구대상의 상층목에 대한 ha당 본수는 약 30%의 감소를 가져왔다. 조사구 가운데 강도가 강했던 3, 6, 9번 조사구는 모두 벌채가 이루어 졌고, 나머지 6개의 조사구는 무간벌, 또는 약한 강도의 간벌이 실시되어 전체적으로는 비교적 적은 밀도가 감소된 것으로 보인다. ha당 흉고단면적, 재적은 벌채에 따라 자연적으로 감소경향을 보였으며, 평균 직경은 벌채 전 20.1cm에서 22.2cm로 증가하였다. 이것은 벌채 시 직경이 적고, 형질이 불량한 임목을 대상으로 벌채하였기 때문에 이러한 결과를 얻었다. 반면, 평균수고의 경우, 벌채 전 15.9m에서 벌채 후 13.2m로 상당히 감소한 결과를 보였는데, 이것 역시 벌채 시 형질을 좋은 것은 비록 수고가 낮더라도 남기고 수고가 높더라고 형질이 불량한 임목을 대상으로 벌채를 하였기 때문에 이러한 결과를 얻었다고 판단된다.

상층을 점유하는 활엽수에 대한 지속적인 모니터링을 통해, 하층에서의 잣나무 치수들과의 경쟁 및 향후 수종구성의 변화를 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

3) 천연활엽수 임분의 종다양성

표 3.9. 잣나무 치수 발생 활엽수림의 상층과 중층의 종 다양성 지수.

종 다양성 지수	상 층	중 층
출현 종 수 (S)	5	5
출현 개체수 (N)	54	115
샤논-위너의 종다양성 지수 (H')	1.12	0.91
최대 다양성지수 (H_{max}')	3.21	3.22
균재도 (J')	0.35	0.28
우점도 ($1-J'$)	0.65	0.72

표 3.9는 연구 대상 천연활엽수림의 종다양성 지수를 산출하여 나타낸 것이다. 상층 및 중층에서 각각 5가지의 수종이 출현하였으나, 상층의 샤논-위너의 다양도지수가 중층의 것보다 높게 나타난 것은 균재도에서 차이가 나기 때문이다. 즉, 중층에서는 잣나무와 신갈나무의 개체수가 다른 3가지 수종에 비해서 월등하게 많이 출현하여 우점도가 상층보다 상대적으로 높게 나타난 때문으로 판단된다. 종다양성지수가 시사하는 이와 같은 현상은 본 연

구 대상 산림이 출현종수가 적고 참나무류 위주의 천이 초기의 산림으로 추정된다. 천이 초기의 산림 구조 상 하층 생태지위 공간이 잣나무 치수가 침입할 수 있는 여지를 많이 조성한다고 간주될 수 있다.

4) 하층식생 유입종

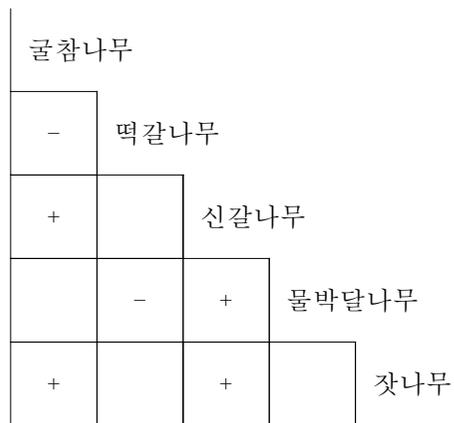
표 3.10. 천연활엽수림 내 간벌처리구별 하층식생 수종 list.

간벌 처리구		
무간벌지(1, 4, 7)	약도간벌(2, 5, 8)	강도간벌(3, 6, 9)
각시둥글레, 개다래, 개암나무, 고깔제비꽃, 고사리, 곰취, 굴참나무, 그늘사초, 긴잎갈퀴, 꼭두서니, 평의다리, 나비나물, 난티잎개암나무, 넓은잎외잎쭉, 네잎갈퀴나물, 노루오줌, 노린재나무, 담쟁이덩굴, 대사초, 도꼬로마, 둥글레, 말나리, 맑은대쭉, 머루, 복수초, 산딸기, 산박하, 산벚나무, 산뽕나무, 산초나무, 삼주생강나무, 선밀나물, 습대, 신갈나무, 싸리, 애기나리, 양지꽃, 우산나물, 으아리, 은대난초, 은방울꽃, 잔대, 잣나무, 참싸리, 천남성, 층층나무, 큰까치수영, 큰꽃으아리, 환삼덩굴	개다래, 개암나무, 개웃나무, 고깔제비꽃, 고사리, 곰취, 굴참나무, 그늘사초, 긴잎갈퀴, 난티잎개암나무, 넓은잎외잎쭉, 네잎갈퀴나물, 노루오줌, 노린재나무, 단풍마, 대사초, 둥글레, 떡갈나무, 말나리, 맑은대쭉, 머루, 무늬천남성, 산딸기, 산박하, 산벚나무, 산뽕나무, 산초나무, 삼주, 생강나무, 선밀나물, 신갈나무, 싸리, 애기나리, 양지꽃, 으아리, 은대난초, 은방울꽃, 잔대, 잣나무, 조록싸리, 참싸리, 천남성, 큰까치수영, 큰꽃으아리, 흰털제비꽃	각시둥글레, 개다래, 개암나무, 고깔제비꽃, 고사리, 곰취, 굴참나무, 그늘사초, 긴잎갈퀴, 평의다리, 나비나물, 난티잎개암나무, 넓은잎외잎쭉, 네잎갈퀴나물, 노루오줌, 노린재나무, 대사초, 더덕, 도꼬로마, 동의나물, 둥글레, 떡갈나무, 말나리, 맑은대쭉, 머루, 무늬천남성, 물봉선, 복수초, 산딸기, 산박하, 산벚나무, 산썸바귀, 삼주, 생강나무, 선밀나물, 신갈나무, 싸리, 알록제비꽃, 애기나리, 양지꽃, 으아리, 은방울꽃, 잔대, 잣나무, 제비쭉, 조록싸리, 졸방제비꽃, 참싸리, 천남성, 큰개별꽃, 큰까치수영, 큰꽃으아리, 흰털제비꽃
50종	45종	53종

강원대학교 학술림에 위치한 천연활엽수림 내 잣나무 전생치수 발생 임분에 대한 간벌 처리구별 하층 식생 조사 결과 전체 대상지 출현 종수는 64종으로 파악되었으며, 약도간벌구가 45종으로 가장 적었으며, 무처리구가 50종, 그리고 강도 간벌지가 53종으로 가장 많은 수의 종이 분포하는 것으로 파악되었다. 그러나 간벌 강도에 따른 뚜렷한 종수의 변화는 관찰 되지 않았으므로 지속적인 관찰이 필요할 것으로 판단된다(표 3.10). 반면 일본잎갈나무림, 리기다소나무림, 소나무림에서는 상대적으로 적은 수의 하층 식생이 출현하는 것으로 파악되었다.

5) 천연활엽수 임분의 수종간 상관관계

연구 대상 산림에 생육하는 상층과 중층 5가지 수종에 대하여 조사구에서 출현과 비출현의 관계를 바탕으로 2×2 분할표에 의한 Chi-square 값으로써 수종간의 상관관계를 분석하여 그림 3.4에 나타내었다. 일본잎갈나무는 개체수가 상대적으로 너무 적었기 때문에, 그리고 노린재나무는 관목이므로 분석에서 제외하였다.



+ ; 정의 상관관계, - ; 부의 상관관계

그림 3.4. 천연활엽수림 임분의 상·중층 수종간 상관관계.

“+”는 정의 상관관계, “-”는 부의 상관관계를 나타내는 것이다. 신갈나무는 굴참나무, 물박달나무, 잣나무와 정의 상관관계를 가지고 있어서 같은 장소에서 흔히 어우러져 생육하는

것을 알 수 있었다. 굴참나무는 잣나무와는 정의 상관관계, 그러나 떡갈나무와는 부의 상관 관계를 나타내었고, 물박달나무는 떡갈나무와 부의 상관관계를 나타내었다. 잣나무는 다른 참나무류 혹은 현존하는 활엽수종과 특별히 부의 상관관계를 나타내지 않았다. 이것은 잣 나무가 활엽수림 하층에 침입하여 내음성을 유지하면서 미래에 상층으로 도약하게 되면, 활엽 수들과 혼효림을 조성할 수 있는 가능성을 시사하는 현상으로 해석할 수 있다(그림 3.4).

나. 잣나무 전생치수 발생 임분의 시업적 처리 모델

1) 상층 임분에 대한 시업처리(천연활엽수림 내 상층목 간벌)

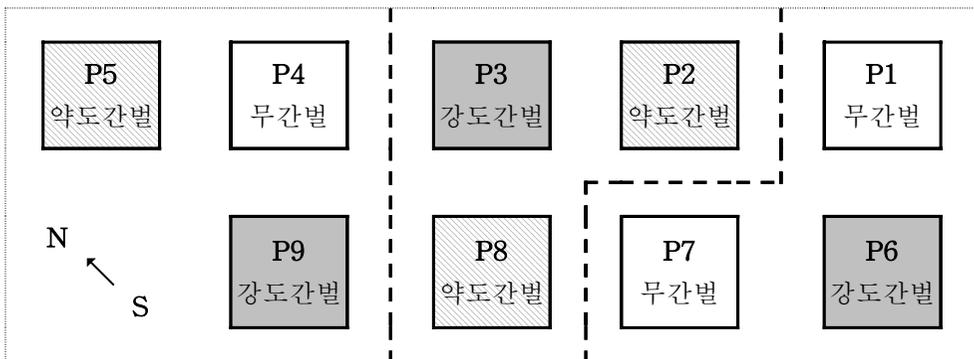


그림 3.5. 간벌 모식도.

천연활엽수림 내에서 상층을 점유하는 임관의 소개정도 즉, 밀도조절 정도와 임내에 도달하는 광선 량의 차이가 임관 하층에서 천연갱신 되는 잣나무 치수의 발생에 미치는 영향을 규명하기위해 그림 3.5와 같이 이미 설정된 10m×10m의 정방형 고정 조사구 9개를 대상으로 밀도조절을 실시하였다. 밀도조절은 강도간벌(100% 간벌), 약도간벌(33-40% 간벌), 그리고 대조구(무간벌)로 구분하여 3처리, 3반복으로 실시하였다. 임상에서 이루어지는 벌채의 경우, 대부분 임목의 생장이 휴면기에 들어가는 늦가을 또는 겨울에 이루어지므로, 벌채 시기는 2003년 12월 말에 실시하였다. 고정 조사구의 경우 대부분이 태양광선이 도달이 유리한 남-서 사면에 위치해 있으며, 능선을 경계로 7영급의 잣나무 인공림이 경계를 이루고 있다.

표 3.10. 천연활엽수 간벌 시험림의 조사구별 중층 및 상층목 간벌전/후의 임목 자원 현황.

조사구 번호	벌채 강도	간벌전					간벌후					간벌 제거목				벌채율 (%)
		본수/ ha	DBH (cm)	수고 (m)	재적 (m ³)	잔존 본수	본수/ ha	DBH (cm)	수고 (m)	재적 (m ³)	본수/ ha	DBH (cm)	수고 (m)	재적 (m ³)		
1	무	89	17.4	13.4	13.0	8	89	17.4	13.4	13.0	-	-	-	-	0	
2	약	156	15.2	11.3	14.7	9	100	17.3	11.9	11.9	56	11.6	10.2	2.8	36	
3	강	122	17.3	13.4	17.7	-	-	-	-	-	122	17.3	13.4	17.7	100	
4	무	78	22.6	15.7	19.6	7	78	22.6	15.7	19.6	-	-	-	-	0	
5	약	133	12.8	12.3	10.8	8	89	12.9	12.1	6.9	44	12.5	12.8	3.9	33	
6	강	100	16.4	13.8	14.9	-	-	-	-	-	100	16.4	13.8	14.9	100	
7	무	167	15.3	14.8	21.8	15	167	15.3	14.8	21.8	-	-	-	-	0	
8	약	111	19.4	17.2	25.1	6	67	22.5	17.7	19.3	44	14.8	16.5	5.7	40	
9	강	56	25.6	18.0	24.1	-	-	-	-	-	56	25.6	18.0	24.1	100	

천연활엽수 간벌시험림의 조사구별 중층 및 상층목의 간벌 전·후의 임목 자원을 표 3.11에 나타내었다. 9개의 고정 조사구 가운데, 9번 조사구는 상층의 임목 본수가 56본으로 가장 적었으며, 7번 조사구의 경우 167본으로 가장 높은 밀도를 보였다. 약도간벌이 이루어진 2, 5, 8번 조사구의 경우, 간벌목 제거이후에 평균직경, 평균수고 등이 약간 상승하여 잔존목의 형질이 개선되는 효과를 보였다(표 3.11).

상층임관에 대한 밀도조절이 이루어졌으므로, 향후 장기적인 관점에서 잔존 상층목의 생장의 변화 및 상층임관 소개에 따른 임내도달 광선량의 변화와 임내의 미세기후의 변화에 따른 하층의 잣나무 발생빈도 및 대조구와의 절간생장의 차이에 대한 지속적인 연구가 이루어질 계획이다. 이러한 연구를 통해 1960년대 말부터 전국적으로 조성된 잣나무 인공림지에서 설치류 및 조류에 의해 종자가 공급된 조림지 인근의 산림 즉, 천연활엽수림, 낙엽송림, 리기다소나무림 등의 기타 산림에서 자연 발생하는 잣나무 치수에 대하여 산림을 경영하고 관리하는데 있어서 중요한 조림학적, 생태학적 정보를 제공하고 책략을 세우는데 중요한 기초 자료로서 활용가치가 높을 것으로 기대된다.

2) 임상별 잣나무 치수의 생육 밀도 및 수령에 따른 분포

가) 천연활엽수림

(1) 잣나무 치수의 수령에 따른 현존 생육 밀도

치수의 발생에는 여러 가지 요인들이 영향을 미치게 된다. 우선 주위의 모수림으로부터 종자의 생산이 크게 중요하다. 잣나무는 3-4년마다 해거름을 하여 잣 종자의 생산이 매년 일정하지 않은 것으로 알려져 있는데(Yang and We, 1986; Li et al., 1988), 이와 같은 종자의 해거름 현상은 그 유전적 인자와 생리적 요인에 의해서(Downs and McQuilken, 1944; Beck, 1977) 뿐 만 아니라 광선, 온도, 습도나 영양과 같은 주위의 환경으로부터 많은 영향을 받는 것으로 알려져 왔다(Sarvas, 1962; Kozlowski, 1971; Sork et al., 1993). 이러한 해거름 현상은 자연히 모수림 주위의 잣나무 치수의 발생도 매년 일정하지 않게 되는 하나의 원인이 된다.

생산된 잣 종자는 산포 하는 동물의 여러 가지 조건에 따라서 산포의 양에도 큰 영향을 미친다. 잣이 몇 년을 계속해서 적게 생산되면 먹이가 줄어들어 산포동물, 특히 잣 산포를 주로 하는 청설모의 수는 일반적으로 줄어들게 되며, 그러다 다시 많은 양의 잣이 생산되는 해에는 자연히 먹고도 많이 남으므로 주위의 임상에 많은 양을 저장하게 되고 또 멀리까지도 저장하게 되는 것이다. 또한 이렇게 먹이가 풍부한 다음해에는 번식이 좋아져서 생산하는 한배 새끼 수도 많아지고 일 년에 2회의 번식도 가능하여(유병호와 김상욱, 1987; Thompson, 1977) 전체 청설모의 수가 급격히 증가하게 되는 등 산포하는 동물의 개체 수도 여러 가지 요인들에 의하여 일정하지 않게 되고 자연히 잣 종자의 산포량도 일정치 않게 되는 원인이 된다.

산포 되어 땅 속에 묻힌 종자는 주위의 물리적인 환경과 생물적 요인들의 복합적인 작용에 의하여 발아 및 활착을 하게 된다(Went et al., 1952; Lang, 1963; Barton, 1965; Schopmeyer, 1974; Johnson, 1975; Harper, 1977). 그러므로 이러한 변화하는 조건들에 의해서 잣나무 치수의 발생량은 달라지므로 치수는 매년 비슷한 양이 생산되는 것이 아니라 이러한 여러 가지 복잡한 요인들에 의하여 상당한 차이를 보이는 것이며 발생한 치수도 시간

이 지나면서 주위 환경과 생물적 요인들에 의하여 큰 영향을 받아 그 생존 개체수가 달라진다.

이러한 환경적 요인들 특히 산포 동물이 잣 종자를 은닉하기에 선호하는 주위 환경, 은닉한 잣 종자가 발아 및 활착하는데 많은 영향을 미치는 환경 등은 임상의 종류에 따라 다르리라고 가정하여 생육하는 치수들의 양을 서로 다른 네 가지 임상별로 분석하였다.

자연 발생된 잣나무 치수의 밀도를 임상별로 보면, 활엽수림에서 자라는 잣나무 치수의 밀도가 8,805본/ha로 가장 높게 나타났으며, 다음이 소나무림으로 4,676본/ha, 일본잎갈나무림 4,464본/ha, 리기다소나무림 2,535본/ha의 순으로 치수의 개체수 분포 형태를 보이므로 활엽수림의 잣나무 치수는 소나무림이나 일본잎갈나무림의 2배, 리기다소나무림의 3배 이상으로 높은 밀도를 보였으며, 천연림이 인공림보다 높은 밀도를 보였다. 이는 잣나무가 천연림에서 활엽수와 가장 잘 혼효림을 이루며 또한 활엽수가 잣나무 천연갱신에 가장 중요한 역할을 한다(Wang, 1980; Chen, 1982; Yang and We, 1986; Yeh, 1988; Chen et al., 1988; Li, 1988; Li et al., 1989; Liu et al., 1994; Zhou et al., 1994; Tan et al., 1994; Chi et al., 1994)는 것을 반증하는 것이다. 이러한 잣나무 치수들의 밀도는 각 임상의 상층림과 중층림의 밀도, 흉고단면적, 하층피복도와도 밀접한 관계를 가지고 있다. 청설모는 숲이 잘 발달된 곳에 잣 종자를 은닉하기를 좋아해서 수목이 없고 초본만 있는 곳은 피하는 습성이 있으며(Miyagi, 1987), 하층 피복도는 너무 높은 곳이나 너무 낮은 곳은 먹이를 저장하지 않는 경향이 있다(유병호와 김상욱, 1987).

임상별 잣나무 치수의 밀도는 상, 중층림의 밀도가 가장 높고(2,601본/ha) 하층피복도가 32%인 활엽수림에서 가장 높게 나타났으며, 상, 중층림의 밀도가 가장 낮았든(1,440본/ha) 리기다소나무림에서 가장 낮은 밀도를 보였다. 흉고단면적이 가장 낮은 소나무림(23.62m²/ha) 보다는 활엽수림(35.42m²/ha)에서 잣나무 치수의 생육밀도가 높았으며, 흉고단면적이 천연림보다 높은 인공림에서는 낮았다. 이는 임상이 수직적 구도가 잘 구성되어 있고 하층 피복도는 너무 높지 않은 곳이 청설모가 잣 종자의 은닉을 선호하는 곳으로 추정된다.

활엽수림에서의 조사는 조사지 1은 모수림에서부터 150m까지 조사되었으며 조사지 2는 110m, 조사지 3은 490m, 조사지 4는 1130m까지 조사된 것으로 보아 약 1,000m 이내에서 잣나무 치수의 밀도가 대단히 높다고 판단되며, 이는 현재 인공조림을 할 때 평균 1ha에 3,000본 내외를 조림하는 것과 비교하면 실제로 자연 발생되어 자라고 있는 치수가 활엽수

림에서는 3배정도 많으며 소나무림과 일본잎갈나무림에서는 1.5배, 리기다소나무림의 치수는 실제 조림시의 분수와 비슷한 양이다.

활엽수림인 조사지1에서는 전체 24개의 조사구에서 5,753본이 조사되어 조사지 중에서 가장 높은 밀도(23,971본/ha)를 보였다. Wang and Xu(1981)는 중국의 동북부지방에서 20-30년 주기로 택벌을 하는 산림에서 천연갱신이 잘 이루어지는 곳의 천연갱신 잣나무 치수가 최고 19,000본/ha의 밀도를 보였고, 다른 곳에서는 평균 3,500본/ha이었다고 하였으며, Chen 등(1988)은 중국동북부의 Lesser Xingan Mountains의 천연 활엽수림에서 면적이 각각 1ha 정도의 2곳의 숲틈에서 조사 한 보고에 의하면 잣나무 천연갱신 치수는 6,280본/ha 이었으며, 수령 46-80년인 것은 130본/ha로 대단히 높은 밀도임을 알 수 있다. 이것으로 미루어 보아 강원대학교 학술림 내 조사구에서 자라고 있는 잣나무 치수의 양은 중국동북부지방에서 조사된 천연 갱신된 치수의 발생량과 비교할 때 상대적으로 많은 양의 치수가 분포하고 있음을 알 수 있다. 예를 들은 표본보다 약 1.3-3.8 배의 양이며, 본 연구에서 조사된 모든 임상에서 발생하여 자라고 있는 치수도 많은 양으로 인정되며, 이들은 성장하면서 적당한 교란이 있어서 주위 환경이 개선된다면 미래에는 중층 및 상층으로 진입하여 주위의 교목수종들과 함께 다양한 숲을 이룰 수 있는 높은 가능성을 가지고 있다고 판단된다.

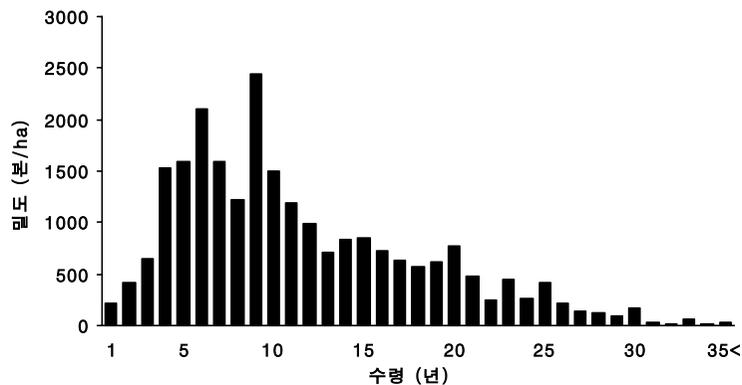


그림 3.6. 천연활엽수림에서의 잣나무 전생치수의 연령에 따른 개체수의 분포 양상.

잣나무 치수의 출현 분수를 서로 다른 네 가지 임상별로 수령에 따라 분석해 보면, 활엽수림에서는 6년생 치수가 1,334본/ha로 가장 높은 밀도를 보였으며 다음으로 8년생이 850본

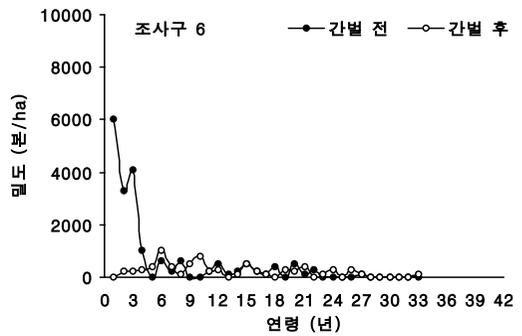
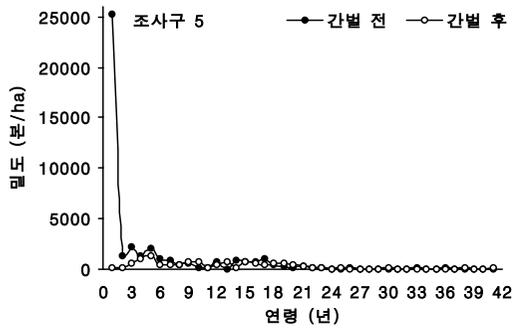
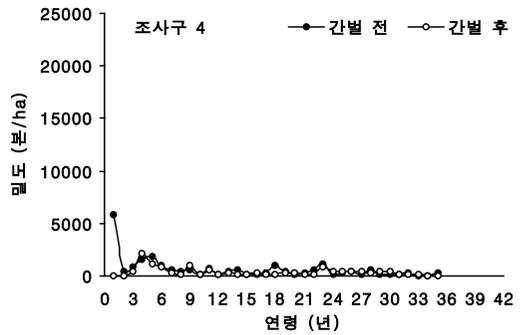
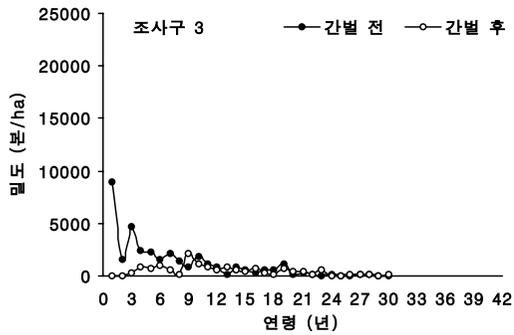
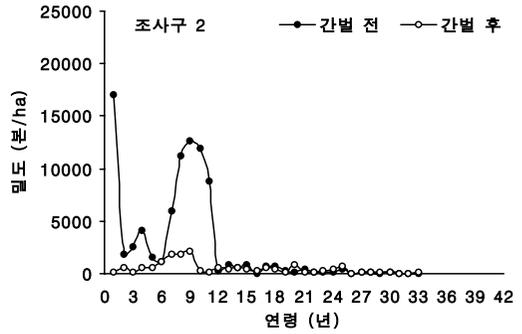
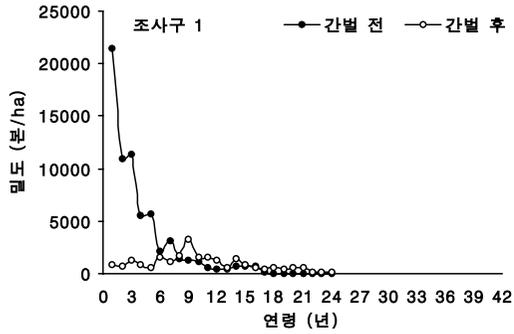
/ha, 5년생은 794본/ha, 1년생은 757본/ha의 순으로 나타나므로 수령에 따른 치수 발생량은 불규칙적이었다. 그러나 수령에 따라 적은 양의 굴곡은 있으나 6년생 이후부터는 전체적으로는 꾸준히 감소하였으며 수령 21년생부터는 가장 높은 밀도를 보인 6년생의 약 7% 정도로 줄어들고 계속 감소하여 30년생부터는 6년생의 약 1% 미만으로 감소하였으며 그 후로는 꾸준히 출현하기는 했으나 낮은 밀도를 보이며 43년생까지 출현하였고 그 이상 수령의 치수는 없었다(그림 3.6).

(2) 간벌 처리 후 조사구별 잣나무 치수 밀도 변화

천연활엽수림의 조사구에서 간벌이 이루어지기 전과 후의 조사구별 잣나무 치수 발생 현황을 그림 3.7에 각각 도시하였다. 잣나무 성숙림과 가장 가까운 위치에 있으며, 간벌이 전혀 이루어지지 않은 조사구 1의 경우, 벌채 전에는 ha당 68,100본의 치수가 출현하였고, 그 중 1년생 치수가 21,400본으로 제일 많이 분포되어 있으며, 2년생 치수는 10,900본, 3년생 치수는 11,300본으로 3년생까지 ha당 약 만 본 이상의 숫자를 유지하다가 4년생부터는 ha당 약 천 본 자리수로 떨어져 1-3년생까지의 개체수는 전체의 약 65%를 차지하고 있었으며 그 곡선은 역 'J'자형을 나타내고 있었으나, 1년의 시간이 경과 한 후에는 5년생 미만의 치수의 경우 상당한 변화가 발생하였다. 1년생은 ha당 900본, 2년생 치수가 700, 3년생 치수가 1,300본으로 전년도에 비해 90%이상의 개체수가 감소한 것으로 파악되었다. 9년생이 ha당 3,300본으로 가장 많은 개체수를 보였으나 전체적으로 상당한 개체수의 감소가 이루어진 것으로 파악되었다. 이러한 조사구 전체에서의 1-5년생 미만에 해당하는 치수 개체수의 급격한 감소는 다른 조사구에서도 관찰할 수 있었는데, 중층과 상층의 상당한 피압과 치수 간의 심한 경쟁으로 자연도태에 의한 결과에서 비롯되었을 것으로 사료되며 또한 그동안 치수의 종자 공급원이었던 모수림(춘천국유림 소유)의 최종 수확벌채에 의해 종자의 공급이 원활하지 못했던 것도 하나의 원인으로 작용했을 것으로 판단된다.

조사구 2에서는 약도 간벌이 이루어졌는데, 간벌이 이루어지기 전의 경우, 1년생과 8년생, 9년생, 10년생이 ha당 천 본으로 높게 나타났고 12년생부터는 현저히 떨어져 불규칙한 분포를 보이었으며 총 개체수는 45,700/ha이 출현하였고 최고수령은 30년생이었다. 약도간벌이 실시된 이후의 조사결과 조사구 1에서와 마찬가지로 90%의 개체수가 감소되는 결과를

가져왔다. 5년생에서 10년의 치수가 제2 조사구 전체(15,900본/ha)의 57%로 가장 많은 개체 수를 보이는 것으로 파악되었다.



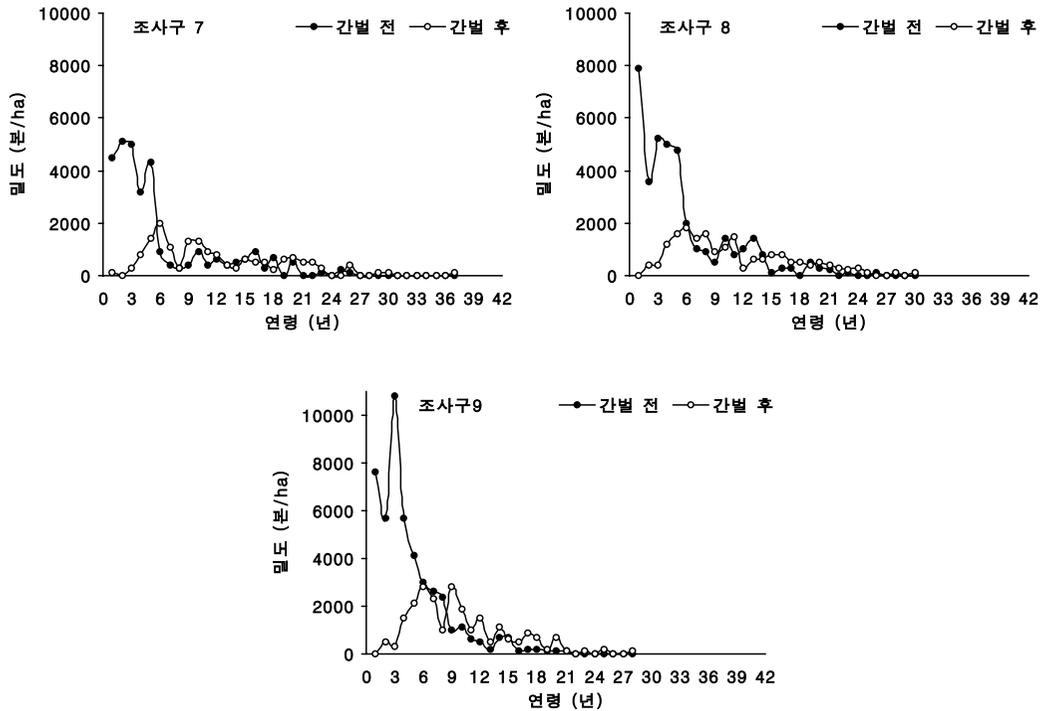


그림 3.7. 조사구별 간벌에 따른 치수 발생 변화.

조사구 3은 강한 간벌로서 상층의 활엽수를 모두 벌채한 조사구로서 벌채 전에는 1-5년생에 해당하는 치수의 개체수가 전체 출현 개체수에서 상당한 비율을 차지했었으나 벌채 후에는 9년생의 치수가 ha당 2,100본/ha으로 가장 높은 밀도를 보였다. 다른 조사구와 비교할 때 강한 간벌에 따른 개체수의 차이는 알 수 없는 것으로 파악되었으나 전체적인 치수의 감소는 동일한 경향을 보이고 있다.

조사구 4와 7은 조사구 1과 마찬가지로 상층 임목을 전혀 벌채하지 않은 조사구로서 간벌 후 전체적인 개체수의 감소는 다른 조사구들과 비슷한 경향을 보이고 있으나 다른 조사구와 다른 점은 3-5년생 치수의 개체수가 다른 연령의 치수들보다 많다는 것이 특이할 만하다.

약도 간벌이 이루어진 조사구 5와 8의 경우, 벌채 전과 후의 치수의 개체수가 상당히 다른 경향을 보이고 있다. 벌채 전에는 1년생 치수가 ha당 25,000본에 이를 정도로 상당히 많고 그 외 수령이 높아질수록 개체수가 감소하는 전형적인 역 'J'자형 밀도 구조를 보였으나,

간벌이 이루어진 이후의 조사에서 전체적인 개체수 감소는 있으나 연령별 분포에서 3년생에서 21년생에 이르기까지 넓은 연령분포에서 고른 개체수 분포를 보이고 있는 것이 다른 조사구와의 차이점이다.

이러한 결과에서 볼 때 약도간벌의 경우 하층에 약간의 광선조건의 개선으로 어린 5년생 미만의 치수들이 상당부분 생존하고 있는 조건을 갖추고 있게 된 것으로 판단된다.

강도간벌로 상층 임목이 모두 벌채된 조사구 6과 9의 경우, 간벌 전에는 5년생 치수의 개체수 비율이 상당히 높고 연령이 증가할수록 개체수가 감소하는 역 'J'자형 구조를 보였으나, 조사구 6의 경우 들쭉날쭉한 특이한 구조를 보여 지속적인 모니터링이 요구된다고 하겠다. 조사구 9의 경우, 3년생 미만의 치수들의 개체수는 상당히 감소하였으나 간벌로 인해 3년생 이상의 치수들에서 고른 개체수 분포를 보이고 있는 것으로 파악되었다.

이러한 결과를 종합해 볼 때, 간벌에 따른 개체수의 차이보다는 간벌과 상관없이 치수들 간의 수분 및 양분 경쟁으로 인해 상당한 치수들이 자연 도태되어 전체적인 치수의 현저한 감소가 나타났다고 판단되므로, 향후 지속적인 조사와 관찰이 요구된다고 사료된다.

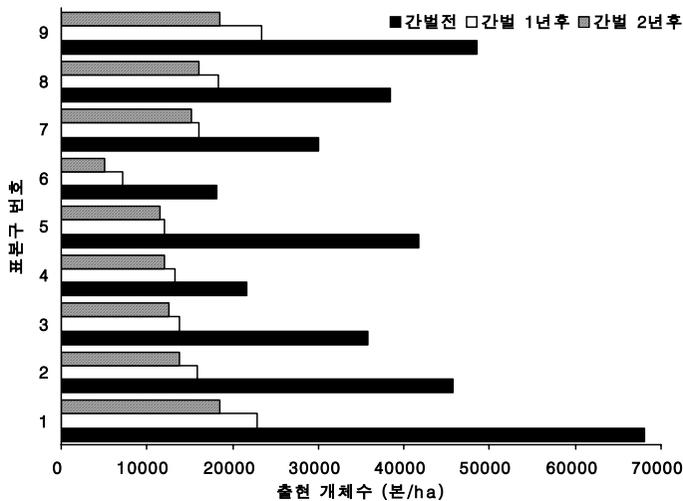


그림 3.8 간벌에 따른 잣나무 치수의 조사구별 발생치수 변화.

그림 3.8은 간벌에 따른 잣나무 치수의 조사구별 발생치수 변화를 도시한 것이다. 벌채 정도와 무관하게 전체적인 개체수 감소를 관찰하였다. 조사구 1의 경우, 가장 많은 개체수

감소가 진행되었으며, 전체적으로 90%이상의 치수 개체수가 감소된 것으로 조사되었는데, 그 원인은 치수들 간에 심한 자원경쟁에 의해 이러한 결과가 나타났을 것으로 판단되며, 향후 상당부분 까지 지속적인 잣나무 치수 개체수의 감소 현상이 발생할 것으로 판단된다.

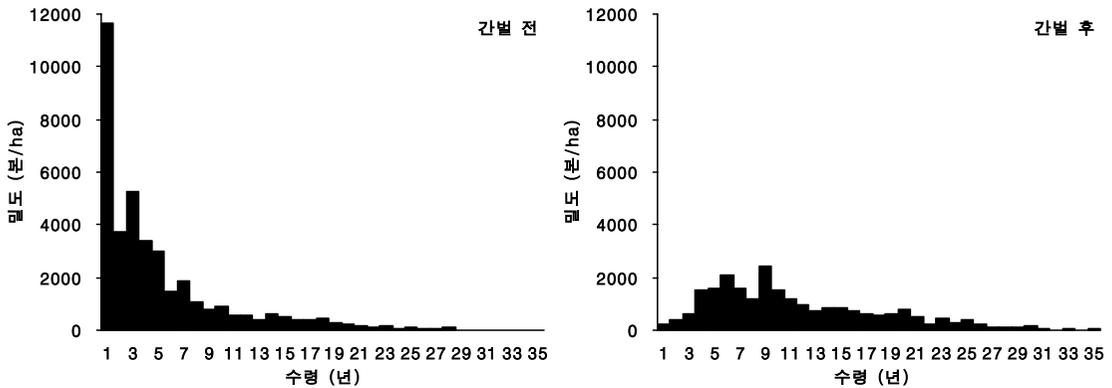


그림 3.9. 간벌 전·후 수령에 따른 잣나무 치수의 ha당 발생 개체수.

그림 3.9는 벌채 전·후의 조사구 전체의 치수에 대한 연령별 개체수 분포를 각각 도시한 그림이다. 시업적 처리와 상관없이 벌채 전의 경우, 1년생 치수의 개체수가 ha당 18,000본이었으나 1년 후에는 1년생 치수의 밀도가 ha당 약 200본 정도로 급격한 감소를 보였다. 이것은 중층, 및 상층의 피압에 따라 생겨난 1년생 치수가 심한 경쟁으로 상당수가 자연도태되었기 때문으로 판단되며, 그 외의 연령대에서도 심한 경쟁이 진행 중인 것으로 판단된다. 전체적으로 역 'J'자형 구조였으나 시간의 경과와 1년생 치수의 급감으로 4-11년생 치수의 개체수가 많고 연령이 증가할수록 점차 감소하는 경향을 보이는 것으로 조사되었다.

(다) 간벌에 따른 잣나무 치수의 수령과 수고, 수령과 근원경, 근원경과 수고와의 상관관계

밀도 처리구별 잣나무 치수의 수령과 수고, 수령과 근원경, 그리고 근원경과 수고와의 상관관계를 그림 3.10에 각각 도시하였다.

인공 조립된 잣나무의 경우, 상층 임관이 활엽수인 임관 아래에서 자연 발생하는 잣나무

에 비해 직경생장, 수고생장, 절간생장 등이 훨씬 빠르지만 재질이 연하고, 단순 인공림이어서 병충해에도 상대적으로 약한 것으로 보고 된 바 있다. 이 연구에서도 동일한 입지·환경 조건을 가진 지역에서도 인공 조림된 30년생 잣나무의 최저 수고가 16m, 최고 수고가 21m, 평균 수고가 18m 정도로 생장이 아주 양호한데 비해, 본 연구지에서 천연 갱신된 25년생의 수고 범위가 최소 1m에서 최대 4.2m까지 심한 편차를 보이고 있다.

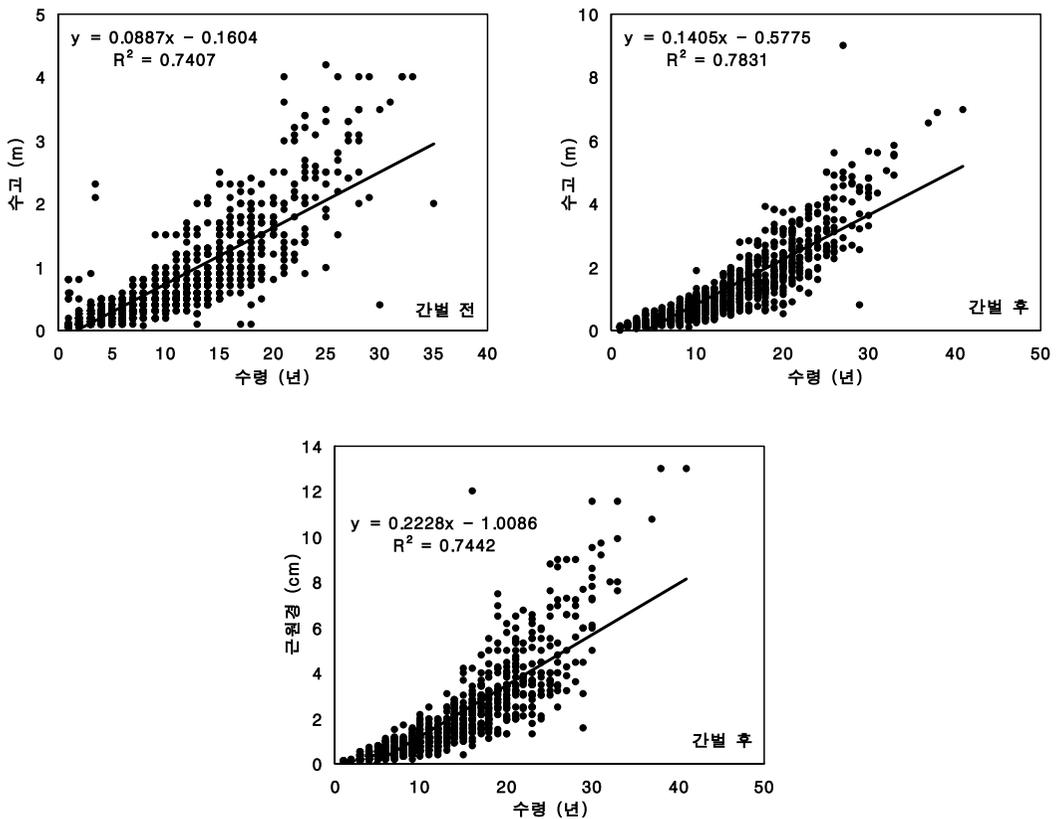


그림 3.10. 간벌 전·후 잣나무 치수의 수령과 수고 및 근원경과의 상관관계.

잣나무 수령과 수고와의 회귀식 추정에 있어서 결정계수가 0.7407로 비교적 높게 나타났으며, 조사된 25년생의 평균수고 2.49m로 회귀식에서 그려내는 25년생의 수고 2m에 비해 다소 높은 것으로 파악되었고, 수령이 증가할수록 평균수고의 편차가 심하게 나타나는 것으로 분석되었다(간벌 전). 간벌이 이루어진 이후 결정계수가 0.78로 벌채 전보다는 수치상으

로 약간 증가하였음을 알 수 있었으며, 간벌 전보다는 편차가 양호해진 결과를 얻었다.

치수의 연령이 증가함에 따른 근원경의 크기와의 상관관계식을 파악한 결과 결정계수는 0.7442로 비교적 높게 나타났으며 수령이 증가할수록 근원경의 편차가 심하였다.

천연발생한 잣나무는 흉고직경이 아직 너무 작아 근원경과 수고와의 관계를 조사하여 도출한 결과 근원경과 수고는 양적 선형관계를 보이었고, 변이가 적었으며, 회귀 방정식은 $y = 0.5786x + 0.1386$, 결정계수는 0.8854로 비교적 높게 나타났다. 근원경이 커질수록 수고 또한 증가하는 경향을 보였으며, 편차는 점점 커지는 경향을 보이고 있다(그림 3.11).

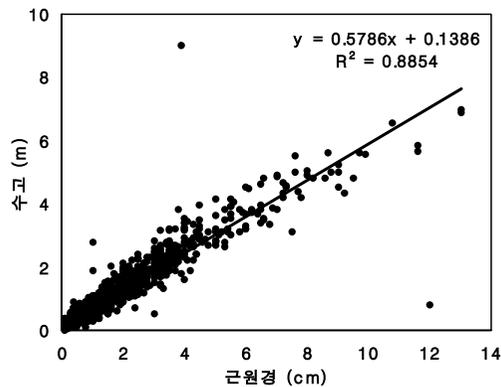


그림 3.11. 잣나무 치수의 근원경과 수고의 상관관계.

나) 일본잎갈나무림

일본잎갈나무림에서는 9년생 치수의 출현이 582본/ha로 가장 높은 밀도를 보였으며, 다음으로 10년생 치수가 441본/ha, 8년생 치수는 415본/ha, 1년생 치수는 350본/ha의 순으로 밀도의 분포를 나타냈다. 이 임상에서도 역시 수령에 따른 치수의 밀도는 불규칙했으나 9년생 이후부터는 전체적으로는 꾸준한 감소를 보였으며 21년생부터는 가장 높은 밀도를 보인 9년생의 약 16% 이하로 감소하였으며 30년생부터는 3%의 수준으로 감소하면서 출현하지 않은 수령(34, 37, 38, 42, 43, 44년생)이 많았다. 본 연구조사에서 가장 수령이 많은 45년생(3본/ha)까지 출현 하였다(그림 3.12).

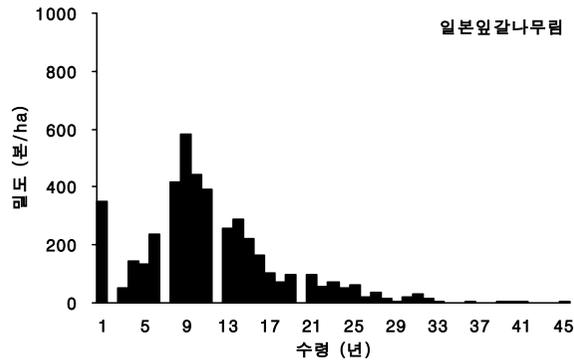


그림 3.12. 일본잎갈나무림에서의 잣나무 전생 치수의 연령에 따른 개체수 분포 양상.

다) 리기다소나무림

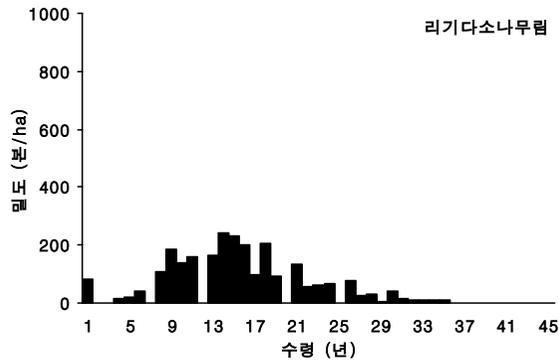


그림 3.13. 리기다소나무림에서의 잣나무 전생치수의 연령에 따른 개체수 발생 양상.

리기다소나무림에서의 치수의 발생은 조사 임상 중에서 가장 낮은 발생 밀도를 보였으며 8년생 미만에서는 특히 낮았으며 수령이 낮은 3년생에서 전혀 치수의 발생이 없었으며 25년생 치수도 출현하지 않는 현상을 보였다. 이 임상에서는 14년생이 240본/ha로 가장 높은 밀도를 보였으며 다음으로 15년생이 230본/ha, 18년생은 205본/ha, 16년생은 200본/ha의 순으로 나타났으며 II등급에서 I등급보다 훨씬 높은 밀도를 나타내는 특징을 보였다. 이 임상에서는 수령에 따른 치수의 밀도가 가장 불규칙 적이었으며 29년생의 발생이 적기는 하였으나 대체로 30년생까지는 가장 높은 밀도를 보인 14년생의 10% 이상의 밀도를 보였으나 그 후로는

갑자기 5% 이하로 낮은 밀도를 보이면서 35년생까지 출현하였다(그림 3.13).

라) 소나무림

소나무림에서는 8년생치수가 695본/ha로 가장 높은 밀도를 보였으며 4년생이 524본/ha, 6년생 467본/ha, 9년생 457본/ha의 순으로 나타났으며 수령에 따른 발생밀도는 불규칙적이기는 하나 8년생 이후로는 꾸준히 감소하였다. 21년생부터는 가장 높은 밀도를 보인 8년생의 약 3%이하로 줄었으며 그 후로는 더욱 감소하면서 32년생까지 조사되었다. 29년생과 30년생은 출현하지 않았으며 31년생(14본/ha)은 특이하게 주위 수령의 밀도에 비하여 높은 출현 밀도를 보였다(그림 3.14).

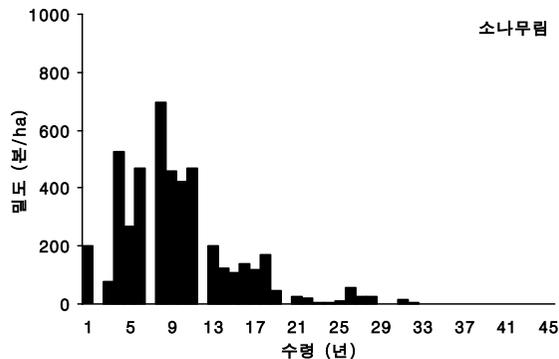


그림 3.14. 소나무림에서의 잣나무 전생치수의 연령에 따른 개체수 발생 양상.

I영급에서는 3년생 치수가 모든 임상에서 가장 낮은 발생 밀도를 보이는 공통된 현상이 나타났으며 특히 리기다소나무림에서는 전혀 출현하지 않았다. 리기다소나무림을 제외한 3가지 임상에서 가장 높은 밀도를 나타낸 수령은 6년생에서 10년생 사이에서 나타났으며 대체로 31년부터는 가장 높은 밀도를 보인 수령의 5% 수준 이하로 낮아 졌다.

I영급에서는 잣나무 치수의 발생이 임상에 따라 큰 차이를 보였으며 특히 활엽수림은 다른 임상에 비해 대단히 높은 밀도를 보였으나 II영급이 되면서는 줄어드는 율이 다른 임상에 비해서 높게 나타나므로 인해서 II영급에서부터는 모든 임상에서 ha당 밀도가 점차 비슷해지는 현상을 보였으며 III영급에서는 모든 임상에서 연령별 비슷한 생육량의 분포를 보

였다. 이는 활엽수림에서 치수의 도태율이 다른 임상에 비해서 높은 것인지 아니면 10년생 이하에서 활엽수림의 치수 발생이 특별히 많았는지는 확실하지 않다.

다. 잣나무 수하 파종조림에 의한 갱신 양상 분석

1) 천연활엽수림 임분에서의 잣 종자 수하 파종 시험

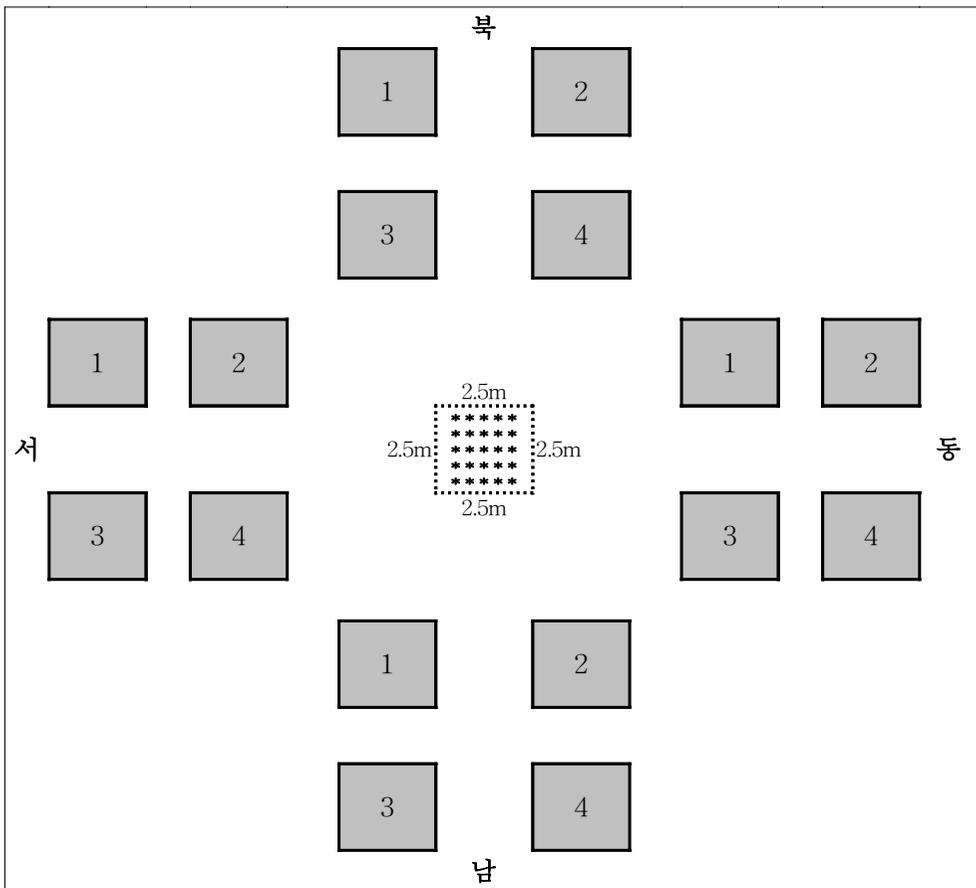


그림 3.15. 천연활엽수림 내 사면방위별 잣 종자 파종 모식도.

강원대학교 학술림에 위치한 천연활엽수 임지 내부에 사면방향에 따라, 잣 종자를 파종 실험을 실시하였다(그림 3.15). 파종 시기는 발아에 제한요소인 지피식생이 사라지고, 휴면의

과정을 거치기 위해 2003년 10월 말에 사면방향에 따라 2.5×2.5m의 정방형 조사구를 각각 4개소씩 총 16개소를 선정하여 50cm의 간격으로 잣 종자 5알씩 1,000개를 파종 하였다. 사면방향, 경사도, 지형적 위치, 관목 층의 유무 정도, 그리고 태양광선의 수광 조건에 따른 잣 종자의 발아율 차이를 관찰하고자 시도 하였다.

2) 파종된 잣 종자의 발아율 관찰

천연활엽수림 내에 파종된 잣나무 수하 조림 시험 결과, 남쪽 사면에서 10개체, 동사면에서 6개체를 제외한 나머지 지역에서는 갱신된 치수를 발견하지 못하였다. 남쪽 사면의 경우, 50cm 간격으로 100군데에 500개의 잣 종자를 파종하여, 6군데에서 10개체만이 갱신된 것으로 파악되어 파종대비 약 2%의 발아율을 보이는 것으로 조사되었으며, 동쪽 사면의 경우, 1군데에서 6개체로 1.2%의 극도로 저조한 발아율을 보이고 있다. 발아율이 현저히 낮은 첫 번째 이유로는 잣 종자에서 발생하는 잣 종자 특유의 냄새 때문에 이들을 주요 먹이로 취하는 청설모, 다람쥐, 쥐 등과 같은 설치류에 의해 쉽고, 자연스럽게 포식되는 결과를 가져온 것으로 판단된다. 실제로 파종된 구역 내에서 대부분의 잣 종자가 동물의 피해를 입은 흔적을 다수 발견할 수 있었다(사진 3.5 오른쪽 하단). 설치류의 피해가 없다고 가정할 경우, 일반적으로 잣 종자가 발아하는 데에는 토양, 토양습도, 광선조건, 그리고 기타 미세환경 조건 등과 같이 복잡·다양한 물리적 환경요인이 종자의 발아 조건에 부합하였을 때에만 높은 발아율을 보이는 것으로 예상하지만, 본 실험 결과에서처럼 발아 조건이 여의치 않을 경우 기대만큼의 결과를 얻기 어렵다고 판단된다.

잣 종자가 파종된 임상 및 지형적인 조건을 고려해볼 때, 1년생 치수가 발생된 남사면의 경우, 사진 3.5에서 보는 것과 같이 좋은 광선조건과 더불어 치수발달에 제한요소로 작용하는 관목층이 거의 발달되어 있지 않음을 알 수 있었다. 그러나 갱신된 치수라 할지라도 신초가 동물의 피해를 입어 고사위기에 있는 경우를 발견할 수 있었다. 또한 상대적으로 수분조건이 좋은 북사면의 경우, 상층 임관아래에 진달래, 철쭉, 싸리 등과 같은 발달된 관목층이 있어서 잣 종자가 발아하는데 제한요인으로 작용했을 가능성도 고려해 볼 수 있을 것이다.



【남쪽 사면】

【발생치수(1년생)】



【북쪽 사면의 관목층】

【동물에 의한 피해 발생】

사진 3.5 천연활엽수림 내 임상 및 잣 종자 파종 후 발생 치수와 동물에 의한 피해모습.

파종실험 결과, 지형적인 요인 가운데 사면경사의 경우, 종자가 발아하는데 제한요소로 작용할 가능성은 있지만, 대부분의 천연발생 잣나무 치수림이 광선조건이 좋은 남 또는 남서, 남동 사면에 집중된 것으로 봐서 광선조건이 설치류에 의한 종자의 피해와 함께 종자의 발아에 미치는 요인 가운데, 가장 중요한 요인으로 작용하고 있는 것으로 판단된다. 그러므로 천연활엽수림 내 파종된 잣나무 수하 조립 시험 결과 파종된 종자 숫자에 대한 발아율에서 몇 퍼센트를 성공적 발아율로 보는지에 대한 정확한 정보나 기준이 없기 때문에 향후 이에 대한 연구가 더욱 필요할 것으로 판단된다. 또한 관점에 따라 그 결과가 다르게 해석되었지만, 남사면을 제외한 다른 사면에서는 거의 발아한 개체가 없으므로 순수한 잣 종자림 임지에 파종하여 천연갱신 양상 및 가능성을 확인하기 위한 수하 파종 실험은 실패의 가능성이 높다고 판단되며, 가장 큰 이유는 설치류와 같은 동물의 1차적 피해와, 발아조건 미

비로 판단된다. 그러나 차후 지속적인 파종된 종자에 대한 모니터링과 임상을 달리하는 추가적인 파종 실험에 대한 연구와 파종 종자에 대한 포식을 억제하는 약품의 처리 등과 같은 파종방법에 대한 연구도 고려해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

3) 파종조립 후, 종자 잔존률, 발아세, 치수 생존률과 임분 지형요인과의 연관관계.

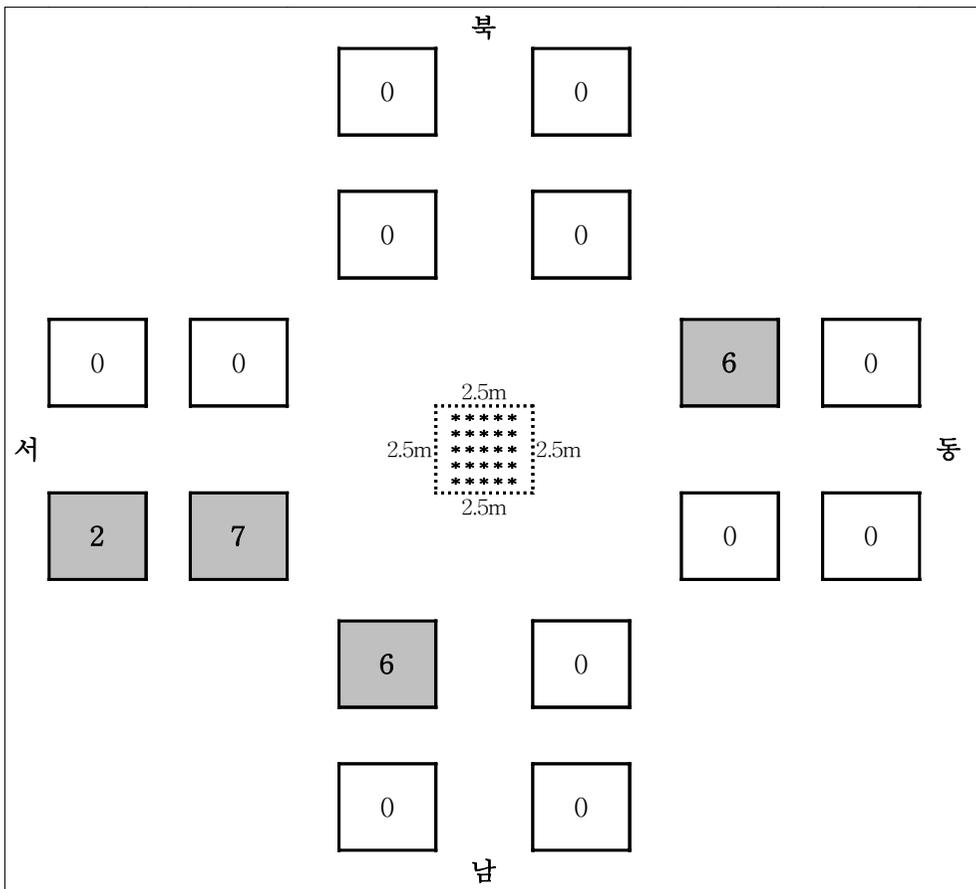


그림 3.16. 천연활엽수림내 사면방위별 잣 종자 파종 모식도.

※□의 숫자는 종자 파종 후 2년간 발아한 치수의 총 개체수를 의미함.

천연활엽수림 내에 파종된 잣나무 수하 조립 시험 2차년도 결과, 1차년도와 발생 개체수에서는 비슷한 양상을 보였으나, 서쪽사면에서의 추가 발생이 특이할 만하다. 1차 년도에는

남쪽 사면에서 10개체의 치수가 발견되었으나 2차 년도에는 6개체만 생존해 있는 것으로 조사되어 4개체는 미세기후, 동물의 피해 또는 경쟁에 의해 자연도태 되었을 것으로 판단된다. 동쪽사면에서는 1차년도와 마찬가지로 6개체가 생존하고 있는 것으로 조사되었다. 서쪽사면의 경우, 1차 년도에는 전혀 치수를 발견할 수 없었으나 2차년도 조사결과, 9개체가 추가로 발견되어 종자가 파종된 깊이와 발아조건에 따라 치수 발생에 시간이 소요된 것으로 판단된다. 북쪽사면의 경우, 갱신된 치수를 1차년과 마찬가지로 2차 년도에서도 전혀 발견하지 못하여, 치수발아에 필요한 환경조건이 충족되지 않는 것으로 보인다.

남쪽 사면의 경우, 50cm 간격으로 100군데에 500개의 잣 종자를 파종하여, 6군데에서 10개체만이 갱신되어 6개체만 생존하는 것으로 조사되어 파종대비 약 2%의 발아율, 60%의 생존율을 보이는 것으로 조사되었으며, 동쪽 사면의 경우, 1군데에서 6개체가 발아한 것으로 조사되어 1.2%의 극도로 저조한 발아율을 보였으며, 발생된 치수는 모두 생존하고 있는 것으로 봐서 일단 발아가 되면 생존율이 높은 것으로 판단된다. 1차년도의 결과에서와 마찬가지로 발아율이 현저히 낮은 첫 번째 이유로는 잣 종자에서 발생하는 잣 종자 특유의 냄새 때문에 이들을 주요 먹이로 취하는 청설모, 다람쥐, 쥐 등과 같은 설치류에 의해 쉽고, 자연스럽게 포식되는 결과를 가져온 경우와 비록 포식되지 않았다 하더라도 발아에 필요한 환경조건을 충족시키지 못한 경우 등으로 판단할 수 있다. 실제로 파종된 구역 내에서 대부분의 잣 종자가 동물의 피해를 입은 흔적을 다수 발견할 수 있었다. 설치류의 피해가 없다고 가정할 경우, 일반적으로 잣 종자가 발아하는 데에는 토양, 토양습도, 광선조건, 그리고 기타 미세환경 조건 등과 같이 복잡·다양한 물리적 환경요인이 종자의 발아 조건에 부합하였을 때에만 높은 발아율을 보이는 것으로 예상하지만, 본 실험 결과에서처럼 발아 조건이 여의치 않을 경우 기대만큼의 결과를 얻기 어렵다고 판단된다.

잣 종자가 파종된 임상 및 지형적인 조건을 고려해볼 때, 1년생 치수가 발생된 남, 서사면의 경우, 사진 3.6에서 보는 것과 같이 좋은 광선조건과 더불어 치수발달에 제한요소로 작용하는 관목 층이 거의 발달되어 있지 않음을 알 수 있었다. 그러나 갱신된 치수와 할지라도 신초가 동물의 피해를 입어 고사위기에 있는 경우를 발견할 수 있었다. 또한 상대적으로 수분조건이 좋은 북사면의 경우, 상층 임관아래에 진달래, 철쭉, 싸리 등과 같은 발달된 관목 층이 있어서 잣 종자가 발아하는데 제한요인으로 작용했을 가능성도 고려해 볼 수 있을 것이다.



사진 3.6. 2차 년도에 새로 발견된 치수(서사면).

과중실험 결과, 지형적인 요인 가운데 사면경사의 경우, 종자가 발아하는데 제한요소로 작용할 가능성은 있지만, 대부분의 천연발생 잣나무 치수림이 광선조건이 좋은 남 또는 남서, 남동 사면에 집중된 것으로 봐서 광선조건이 종자의 발아에 미치는 요인 가운데, 가장 중요한 요인으로 작용하고 있는 것으로 짐작할 수 있다. 그러므로 천연활엽수림내 과중된 잣나무 수하 조림 시험 결과 과중된 종자 숫자에 대한 발아율에서 몇 퍼센트를 성공적 발아율로 보는지에 대한 정확한 정보나 기준이 없기 때문에 향후 이에 대한 연구가 더욱 필요할 것으로 판단된다. 또한 관점에 따라 그 결과가 다르게 해석되겠지만, 남, 서쪽사면을 제외한 다른 사면에서는 거의 발아한 개체가 없으므로 순수한 잣 종자를 임지에 과중한 본 실험은 실패의 가능성이 높다고 판단되며, 가장 큰 이유는 설치류와 같은 동물의 1차적 피해와, 발아조건외 미비로 사료된다. 그러므로 과중된 종자의 발아에 중요한 영향을 미치는 요소가 임형 보다는 토양습도, 광선, 강우 등과 같은 미세기후적 요소인 것으로 판단되므로 다른 임상에서의 과중시험도 비슷한 경향을 보일 것으로 판단된다. 차후 지속적인 과중된 종자에 대한 모니터링과 추가적인 과중 실험에 대한 연구 그리고 과중 종자에 대한 포식을 억제하는 약품의 처리 등과 같은 과중방법에 대한 연구도 고려해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

라. 잣나무 수하 치수의 성장과 발달에 영향을 끼치는 요인

1) 상층 수관 율폐도 및 엽면적지수(LAI) 변화

전체 천연활엽수림 내 조사구에서 간벌처리구별 상층의 수관 율폐도를 측정하여 아래 그림 3.17에 도시하였다.

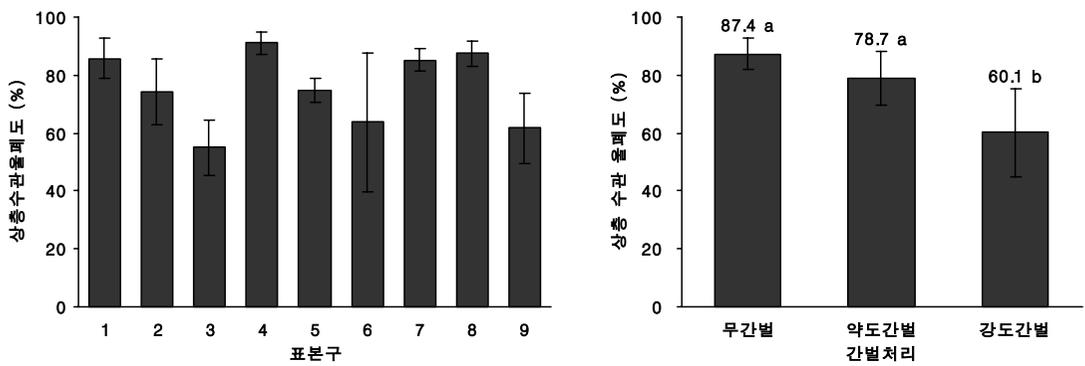


그림 3.17. 천연활엽수림의 조사구 및 간벌처리별 상층 수관 율폐도.

상층 율폐도의 측정은 전체 9개의 조사구의 중심점에서 동-서-남-북의 4개의 방위별로 각각 측정 하여 그 조사구의 평균을 구하였고, 각 처리구별로 평균을 구하여 산출하였다.

조사결과, 간벌이 전혀 이루어 지지 않은 1, 4, 7 조사구 상층 수관율폐도는 약 90%로 거의 율폐된 상태였으며, 약도간벌이 이루어진 2, 5, 8 조사구 상층의 수관율폐도는 75%, 상층의 임목이 거의 벌채된 3, 6, 9조사구 상층의 수관율폐도는 약 60%로 가장 낮게 나타났다. 상층 수관 율폐도의 차이는 하층에 광선 투과량의 차이를 유도하고 이에 따른 임내 온도 및 습도 등의 미세환경에 영향을 미치므로 하층 식생의 발달에 중요한 상대적 지표로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

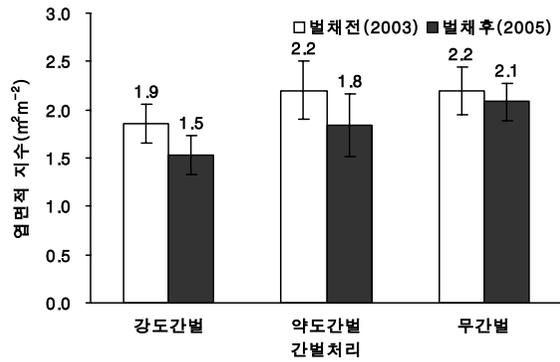


그림 3.18. 천연활엽수림에서의 벌채에 따른 엽면적 지수 변화.

잣나무 전생치수가 발생한 천연활엽수림에 대하여 벌채 전, 후의 엽면적 지수의 변화(그림 3.18)를 분석한 결과, 벌채 이전에는 간벌 대상 조사구 별로 약간의 차이가 발생 하였으나 평균 $2.08 m^2 \cdot m^{-2}$ 인 것으로 파악되었으며, 간벌 이후에는 간벌이 이루어지지 않은 대조구의 경우 벌채 이전의 엽면적 값과 비슷한 양상을 보였으나, 간벌 강도가 높을수록 엽면적 지수 또한 감소하는 것으로 파악되었다.

2) 임분별 상대조도 변화 및 토양습도변화

가) 상대조도 변화

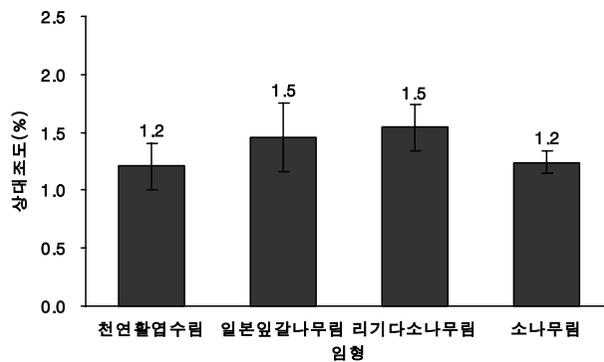


그림 3.19. 임형별 상대조도.

임분 유형별 잣나무 치수 증으로 유입되는 태양 광선의 나지에 대한 임내 상대조도를 조사한 결과(그림 3.19), 천연활엽수림은 평균 1.2%, 일본잎갈나무림, 리기다소나무림, 소나무림이 각각 1.5%, 1.5%, 1.2%인 것으로 조사되어 상당히 낮은 광선이 유입되고 있음을 알 수 있었다. 반면, 간벌 시업이 적용된 천연활엽수림의 간벌 처리구별 상대조도는 무간벌 조사구가 평균 3.4%로 파악되었으며, 약도 간벌지는 32.0%는 그리고 강도 간벌지는 약 58.2%의 상대조도를 보였다. 결국 무간벌지에서와 같이 약 1-2%의 낮은 광선조건에서 잣나무 치수가 치수 간의 심한 경쟁으로 생장이 좋지 못하다가 간벌 처리로 인해 충분한 광선이 유입됨으로써 생장 또한 증가하는 결과를 보였다. 따라서 전생치수의 성장에는 충분한 광선이 상당히 중요한 요인임을 다시 한 번 확인할 수 있었다(그림 3.20).

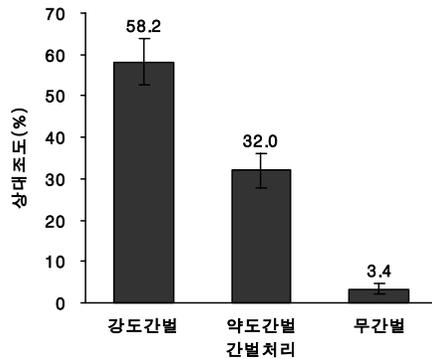


그림 3.20. 천연활엽수림의 간벌 처리구별 상대조도.

하층 수종들의 광선 환경의 특성에 대한 연구는 오랫동안 생태학자들의 연구 과제였다 (Chazdon and Field, 1987). 광선은 자연 발생한 잣나무 치수가 성장하고 살아남는데 영향을 미치는 가장 중요한 인자이므로(Zhan et al., 1986) 천연 갱신에서 가장 중요하게 다루어야 할 문제이다.

숲 하층에서의 광선 환경은 해발 고도나 기상조건, 임분 구조에 의하여 결정되며 (Chazdon, 1988; Canham et al., 1990; Percy, 1990; Chazdon and Percy, 1991; Smith and Ritters, 1994) 계절이나 낮의 길이와 같은 시간적인 차원에 의해서 변할 수 있고, 숲틈의 유무에 따라서, 수관과 주위 수목으로부터의 거리와 같은 공간적 차원에 의하여 변할 수 있으므로(Han et al., 1996) 하층식생이 광선을 받아서 광합성을 하면서 살아가는 데는 수많은

환경인자의 영향을 받아야 한다.

이러한 환경에 따라 임상에 도달하는 광선도 그 광질이나 광량도 다양하다. 임상에 도달하는 광선은 대부분이 광도가 낮은 산광이지만 윤편된 임관 사이로 햇빛이 자주 짧은 시간 동안에 임상에 직접 도달하기도 한다. 하층에 살고 있는 수목은 이러한 편광을 잘 이용하여 광합성을 한다. 일정한 임관 아래에서의 하층식생의 광합성 총 광량은 편광의 유무에 따라서 몇 초 내에도 100배나 증가하거나 감소 할 수 있으며(Chazdon and Percy, 1991) 이러한 편광 때문에 하층에 있는 치수의 광선 환경은 한 개의 잎에서 다른 잎으로 극적으로 변할 수 있다. 편광으로 인한 광합성은 하루 광합성 량의 20-60%에 달할 만큼, 편광이 하층식생의 광합성에 중요한 역할을 하고 있다(Pfitsch and Percy, 1989).

어떤 수종이 임상에서 생존 할 수 있는 최소 광량은 음수일수록 낮지만 수령에 따라 변하며 수령이 증가할수록 더 많은 광량을 필요로 한다. 일반적으로 수목이 수년간 살아남기 위해서는 최소한 전광의 20% 가량이 필요하다고 한다(Spurr and Barnes, 1980). 지상에서 햇빛 경쟁이 있는 것과 마찬가지로 지하에서는 영양과 수분에 대한 경쟁이 일어난다. 내음성은 낮은 광도에서 견디는 능력을 가진 것과 마찬가지로 토양내의 자원들에 대한 경쟁력을 반영할 수 있는 것인데(Oliver and Larson, 1996; Kimmins, 1996), 잣나무는 수명이 길고 내음성이 있는 편으로(Yao, 1983; Yang and Wu, 1986; Zhang, 1988; Li et al., 1994; Barnes et al., 1992) 상층림의 임관 밑에서도 어느 정도는 잘 견디지만 편광마저 극도로 억제된 상태에서는 오래 견디지 못할 것으로 판단된다.

숲에서 다른 조건이 적당하다면 광보상점은 전광의 1-2%이며(Barnes et al., 1998), Grasoovsky(1929)는 수분이 충분한 상태에서 스트로브 잣나무(*Pinus strobus*)에서 광보상점은 전광의 1.7%임을 밝혔고, 한상섭(1982)은 우리나라에서 잣나무의 광보상점이 1.0-1.3klux 라고 했다. 본 연구에서 잣나무 모수림에서 조사한 광도를 보면, 여름이 전광의 1-2%이며 봄은 2-5%, 겨울은 3-5%로 조사되었으며 특히 여름의 광도가 가장 낮아서 640-1,800 Lux로 나타나 광보상점의 전후로 조사되었다.

모수림에서 조사된 치수는 거의가 1년생 치수이며 그 이상은 별로 살아남지 못하였다. 이는 조사 시간이 일반적으로 한 낮이었음으로 미루어 볼 때 하루 중 임상의 광선이 광보상점에 도달하는 시간은 짧으므로 잣나무 치수가 잣나무 모수림에서는 1년 이상은 생존하지 못하는 것 같다. Li 등(1988)은 장령림의 잘 발달된 임관 밑에서는 잣나무 치수는 1-2년생

이었다고 한다.

모수림에서와는 달리 잣나무 치수가 자라고 있는 다른 4가지 임상에서는 여름에 소나무림에서 전광의 약 6%의 광도를 보여서 가장 낮았고 활엽수림에서는 약 11%의 광도를 보였고, 봄에는 활엽수림에서 29%로 가장 높았고 소나무림에서 12%로 가장 낮았다. 겨울은 일본잎갈나무림에서 36%로 가장 높았으며 소나무림이 22%로 낮았게 나타났으나 일반적으로 봄과 겨울은 높은 상대 광도를 보였다. 그러나 4가지 임상에서도 정도의 차이는 있지만 대체로 10년이 넘으면서 부터는 치수의 양이 꾸준히 감소함을 보였으며 이는 잣나무 치수가 수령이 많아지면서 필요로 하는 광량이 점차 증가하는데 이를 충분히 받지 못하기 때문일 것이다. Hirao(1940)와 Li 등(1984)은 잣나무 치수의 치사 원인은 동물이나 곤충에 의한 섭식과 곰팡이류에 의한 질병의 감염과 수분 부족이라고 했으나 모수림에서 1년생 이상의 치수가 없는 것은 광보상점 이하의 낮은 광도라고 생각되나 앞으로도 지속적인 연구가 되어야 할 것으로 판단된다.

나) 토양습도 변화

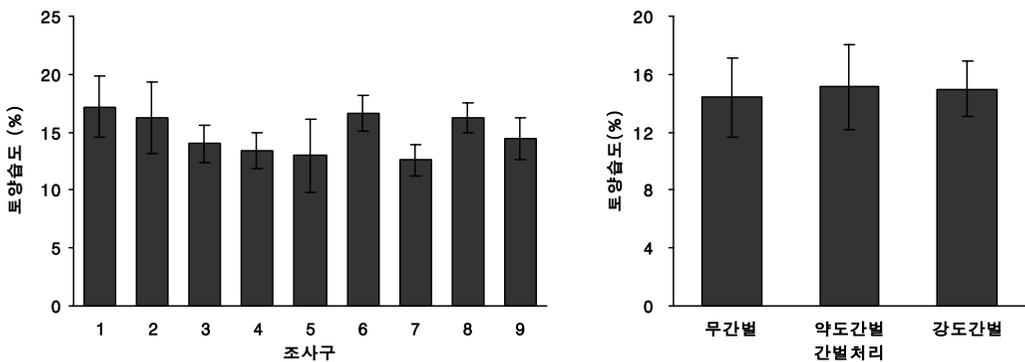


그림 3.21. 천연활엽수림의 조사구 및 간벌처리별 토양 습도.

천연활엽수림에서의 조사구별 토양 습도는 조사구의 위치와 사면 방위 및 경사 등의 지형적 위치에 따라 약간의 차이가 발생하는 것으로 조사되었다. 그러나 간벌 처리구별 토양 습도의 큰 차이는 발생하지 않았으며, 95%의 확률 수준에서 처리구별 유의적인 차이가 발생하지 않는 것으로 파악되어 일반적인 벌채지에서의 간벌에 따른 표토 층의 토양수분이 개

선되는 현상과는 상반되는 결과를 관찰할 수 있었다. 그 원인은 치수의 개체수가 활엽수 상층목 아래 상당히 많이 산포하고 있어서 치수 간 광선, 수분과 같은 생존에 필요한 자원경쟁이 활발하게 진행되고 있기 때문인 것으로 판단된다(그림 3.21).

3) 천연 발생 잣나무에 대한 인공조림목과의 성장 비교와 예측.

그림 3.22는 인공조림지의 고정 조사구를 조사하였을 때의 인공림의 연령을 기준으로 하여 천연 발생한 잣나무의 근원경과 인공조림지의 잣나무의 흉고직경을 나타내고 있다.

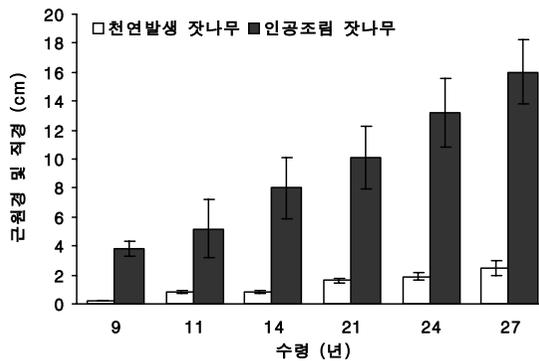


그림 3.22. 천연발생 잣나무와 인공조림 잣나무의 직경 성장 비교.

그림에서 14년생의 경우 천연 발생한 잣나무의 근원경은 평균 0.7cm, 표준편차는 0.34cm, 최소치는 0.5cm, 최대치가 1.0cm인 반면에 인공조림지 잣나무의 흉고직경은 평균 5.3cm, 표준편차 2.48cm, 최소치가 0.3cm, 최대치는 15.0cm로 큰 차이를 보였다. 24년생의 경우는 그 차이가 더욱 컸는데, 천연 발생한 잣나무의 근원경은 평균 1.4cm, 표준편차는 1.40cm, 최소치가 3.0cm, 최대치는 24.2cm로 더 큰 차이를 보였다. 이와 같이 비교된 모든 연령에서 인공림의 직경생장은 천연 발생한 잣나무보다 월등히 높으며, 연령의 증가와 함께 그 차이도 커지는 경향이였다. 이는 인공조림지의 경우는 연령의 증가와 함께 개개목이 광선 등 환경에 대한 경쟁이 치열해지고 수관급 분화가 일어나면서 그 차이가 심해지는 것으로 판단된다.

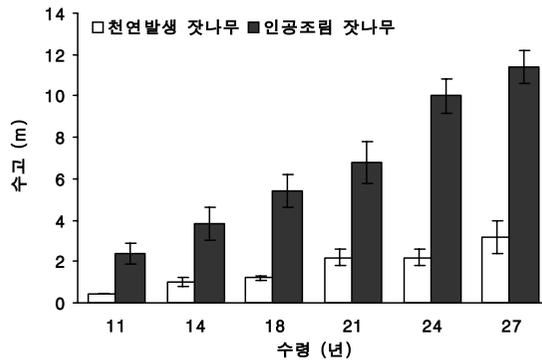


그림 3.23. 천연발생 잣나무와 인공조림 잣나무의 수고 성장 비교.

그림 3.23은 인공조림지의 고정조사구를 조사하였을 때의 인공림의 연령을 기준으로 하여 천연 발생한 잣나무와 인공조림지의 잣나무의 수고를 비교 도시한 것이다. 14년생의 경우, 천연 발생한 잣나무의 수고는 평균 1.10m, 표준편차는 0.424m, 최소치는 0.80m, 최대치가 1.40m인 반면에 인공조림지의 흉고직경은 평균 3.87m, 표준편차 1.196m, 최소치가 1.00m, 최대치는 7.25m로 큰 차이를 보였다. 24년생의 경우, 그 차이가 더욱 커졌는데, 천연 발생한 잣나무는 평균 2.44m, 표준편차는 0.799m, 최소치는 1.30m, 최대치가 3.80m인 반면에 인공조림지 잣나무는 평균 9.8m, 표준편차 1.164m, 최소치가 2.50m, 최대치는 12.10m로 더 큰 차이를 보였다. 이와 같이 비교된 모든 연령에서 인공림의 수고성장도 천연 발생한 잣나무보다 월등히 높으며, 연령의 증가와 함께 그 차이도 커지는 경향이였다.

연령과 수고의 관계는 시간에 따른 산림의 수직적 구조 변화를 예측하고 산림 시업 등 산림경영의사 결정에 중요한 정보가 될 것이다. 따라서 활엽수림 내에 천연 발생한 잣나무의 연령과 수고의 관계 파악은 현재 하층 및 중층에 생육하고 있는 잣나무 치수들이 금후 몇 년 후에는 산림의 수직적 구조를 어떻게 변화시킬 것인가라는 것을 예측 할 수 있을 것이다. 또한 간벌과 같은 벌채에 따른 수고생장의 차이를 비교하는 것도 이러한 임분을 경영하는데 중요한 시업 정보를 제공할 것으로 판단된다.

마. 잣나무 전생치수 발생 임분의 조림작업중

1) 간벌 처리별 연평균 절간(수고) 성장량 비교.

간벌 처리에 따른 특정 연령별(10, 15, 20, 21년생 이상) 연간 평균 절간 성장량을 비교하여 그림 3.24에 도시하였다. 간벌처리에 따른 절간성장비교는 본 연구대상지와 같이 청설모 등의 설치류와 조류에 의해 천연 갱신된 잣나무의 보유 시업을 수립하고 장차 산림경영에 중요한 시업학적 정보를 제공하는데 중요한 의의가 있다고 판단된다. 우선, 전체 조사구에서 시업처리 즉, 간벌 강도에 따라 전체 치수의 절간생장을 비교하는 것은 의미가 없는 일므로 같은 연령대를 선택하여 간벌 처리에 따른 비교를 시도하였다.

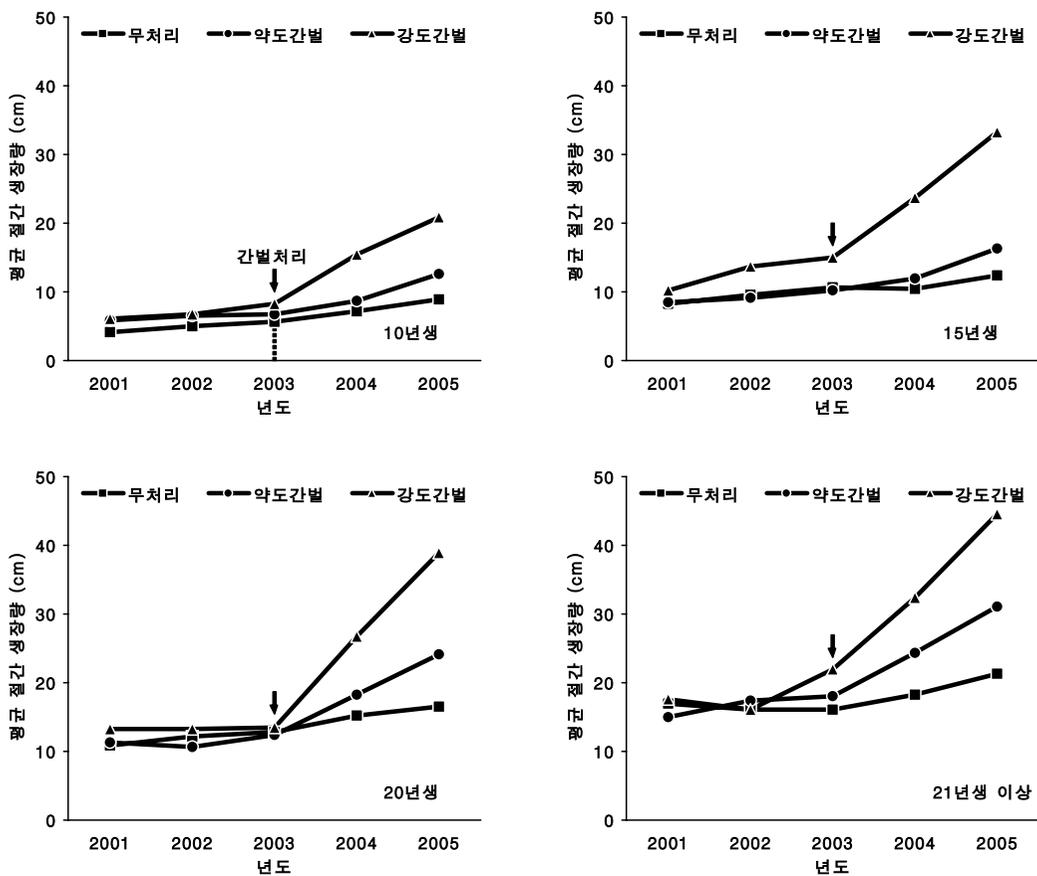


그림 3.24. 간벌처리에 따른 잣나무의 평균 절간성장 비교.

간벌처리구별 10년생의 최근 5년간의 절간생장을 관찰한 결과, 무처리구의 경우, 상당히 완만한 추세로 절간생장이 증가하는 경향을 보이고 있으며, 상층이 모두 벌채된 강도간벌

지역의 경우 간벌이 실시된 2003년 이전의 경우 무처리구와 비슷한 경향을 보였으나 간벌이 실시된 이후 급격한 절간생장이 이루어졌음을 알 수 있다. 그러므로 적절한 상층 수관의 소 개는 광선 조건을 개선시켜 하층의 잣나무 치수의 수고생장을 상당히 진행시키고 있다고 판 단된다. 이러한 결과는 잣나무 치수의 연령이 증가할수록 현저한 양상을 보이고 있다.

간벌처리구별 15년생의 최근 5년간의 절간 생장을 살펴보면 무처리구와 약도간벌 처리구 는 간벌처리와 무관하게 아주 완만한 절간 증가 경향을 보였으나, 강도간벌이 이루어진 처 리구에서는 상층 수목의 모두벌채 이후 급격한 절간 성장 증가경향을 보였다.

중층을 점유하고 있는 20년생의 최근 5년간의 절간 생장은 10년생과 15년생 보다는 높은 수관층을 형성에 따른 수광 조건의 개선의 영향으로 강도간벌이 이루어진 조사구의 벌채 이 후의 절간생장은 무려 20cm정도의 급격이 증가하였음을 알 수 있었다.

전체 조사구에 생육하는 잣나무 전생치수 가운데 가장 연령이 많은 21년생 이상의 치수 들의 최근 4년간의 평균 절간 생장은 무처리구의 경우 다른 연령대에 비해 증가폭이 컸으 며, 약도간벌 처리구에서도 시업처리에 대한 효과가 다른 연령대에 비해 현저하게 높은 것 으로 파악되었다. 가장 특이할 만한 사항은 연령이 많은 잣나무 치수의 경우, 어느 정도 수 직적 구조에서 중층 이상을 차지하므로 상층 임관의 소개에 따라 수광 조건에서 가장 유리 한 위치에 있으므로 가장 현저한 절간 성장량을 보였다는 것이다.

그러므로 간벌 처리에 따른 10, 15, 20, 그리고 21년생 이상의 연령대별로 최근 5년간의 절간생장을 조사한 결과, 간벌강도에 따라 그리고 임분 내부에서 어느 정도 층위를 차지하 고 있는 치수 일수록 수광 조건의 개선에 따른 절간생장이 두드러진다는 결론을 얻을 수 있 었다. 벌채 이후 지속적인 관찰을 통한 성장양상과 적절한 시업처리와의 상관관계를 찾는 것이 매우 중요하리라 사료된다.

바. 잣나무의 천연 갱신 방안

전통적인 목재 생산만을 위한 산림경영은 지난 수십 년 간 많은 변화를 겪으며 종다양성 보존 경영(Ehrlich and Wilson 1991; Hunter 1996), 경관 경영(Oliver 1992), 생태계 경영 (Grumbine 1994; Thomas and Huke 1996), 지속가능한 산림경영 등, 다양한 새로운 산림경 영의 패러다임들을 도입한 복합적인 산림경영으로 변해가고 있다(Potvin et al. 1999). 우리

도 이러한 개념들의 필요성을 충분히 인지하고 산림경영에 이러한 패러다임을 도입하려고 많은 노력들 하고 있지만 “산림경영”의 역사가 길지 않은 우리나라의 임업현실에서 새로운 산림경영의 패러다임을 적용하는 데는 아직 미흡한 면이 없지 않다. 이러한 측면에서 개별 이 산림경영에 많은 논쟁거리로 남아 있긴 하지만(Bloum and Comeau, 1991), 우리는 아직도 수종 갱신을 위해서 혹은 목재 수확을 위해 주로 이 작업방법으로 나무를 베고, 후계림 조성을 위해 인공조림을 적용하고 있으며, 조림수종으로는 일본잎갈나무, 리기다소나무 다음으로 현재까지도 잣나무가 가장 많이 조림되고 있다(산림청, 2005). 이는 대 면적으로 잣나무 순림을 만들게 되며, 인공조림에 의한 순림은 그 나름대로의 장점을 가지고 있지만 문제점 또한 적지 않다. 인공조림은 경제적인 면에서도 대단히 불리하다. 양묘, 묘목의 식림지로의 운반, 식목 등은 점차 증가하는 인건비로 인하여 많은 비용을 지불해야 하며 식목 후에도 갱신 치수의 성장을 억제하는 지피식생에 의해서 피압 받는 문제가 심각하며(Karlsson et al., 1998), 이를 해결하기 위하여 지불되는 비용도 적지 않다. 인공조림으로 이루어진 순림은 병충해 등에 의한 감염에 쉽게 노출되는 문제점이 있으며, 나아가 생태적으로도 안정되지 못한 특성을 지닌다. 그러므로 산림에서 자연 발생한 치수들을 천연갱신으로 유도하는 방법은 저렴한 비용으로 천연갱신의 우수성을 통하여 다양한 수종을 유지해 나가게 되는 것이며 이는 산림경영의 중요한 목적의 하나이다. 우리가 천연갱신에 영향을 미치는 요인들에 대한 연구나 경험을 바탕으로 산림경영을 수행한다면 인공 조림의 어려운 점들과 순림 조성으로 야기되는 문제점을 많이 해결을 해결해 나갈 수 있을 것으로 판단된다.

1) 천연활엽수림에서의 잣나무 치수의 천연갱신 방안

활엽수림에서 자연 발생한 잣나무 후계목들을 천연갱신 하기 위해서는 첫째, 상층림이나 주위 식생의 간벌 시기는 치수가 광선을 많이 필요로 하기 시작하는 15-25년 사이가 이상적이라 할 수 있겠다. 이때까지는 조사한 모든 임상 중에서 활엽수림에서 자라는 잣나무 치수들의 평균 수고나 평균흉고직경이 가장 잘 자라는 시기이며 수고가 약 1.10-1.54m인 시기로 충분한 광선을 받으므로 인한 초본 등의 지피식생의 왕성한 생육에도 잣나무 치수는 영향을 잘 받지 않는다. 둘째, 잣나무후계목이 전광의 약 50%의 광선을 받을 수 있게 주위의 식생을 소개 시켜줘야 한다(Li et al., 1988). 쾌청한 날 한낮의 광도가 약 10만 Lux로 본다

면 이는 약 5만 Lux의 광량을 받는 것이 된다. 한상섭(1982)은 잣나무의 광포화점이 4만 Lux 전후에서 일어난다고 한 것으로 미루어 전광의 50%를 받을 수 있는 양이면 광포화점 이상의 광량을 받으므로 충분하다고 인정된다. 셋째, 잣나무와 활엽수의 혼효림에서 그 비율은 개체수로는 6:4, 재적으로는 7:3의 비율일 때가 잣나무의 성장뿐만 아니라 전체 숲의 성장도 최고가 되며, 질병도 효과적으로 억제하고 토양도 비옥해지므로 인해 최고의 경제적 가치와 생태적 이익을 주는 가장 이상적 비율이다. 잣나무가 70% 이상이면 질병이 만연하게 되고 살아 있는 잣나무의 고사율이 높아지며 활엽수가 45% 이상일 때는 잣나무 생장률이 느려지기 때문이다(Li et al. 1994; Zhou et al 1994). 아직은 잣나무 후계목들은 치수나 소경목의 단계이므로 재적이 아닌 개체수로 계산해서 앞으로 전체 임목의 60% 정도가 될 수 있도록 하면 이상적인 혼효율이 될 것이다. 넷째, 한 무리에 1본 이상인 잣나무 후계목은 수형이 좋고 가장 생장이 왕성한 1본만 남기고 나머지는 베어버리는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 본 연구에서 수령이 15년경이면 아직도 무리수로는 1본 이상이 자라는 무리는 전체의 23%이며 개체수로는 40%인 시기이다. 25년경에는 1본 이상이 자라는 무리는 전체의 22%, 개체수로는 47%를 보이는 시기이므로 무리 당 1본씩만 남겨서 영양이나 광선의 경쟁을 제거해 주는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

2) 소나무림에서의 잣나무 치수의 천연갱신 방안

소나무림에서 자라고 있는 잣나무 후계목과 활엽수, 특히 참나무류들은 상층에는 소나무가 중, 하층에는 잣나무와 활엽수가 수직적 구조를 이루는 숲이 될 것으로 예측된다. 그러나 시간이 지남에 따라 자연스럽게 상층에서 소나무와 혼효림을 이룰 것이며 더 많은 시간이 흐르면 소나무는 피압을 받게 되어 결국 소나무의 우점률은 점차 감소하게 되며 내음성이 매우 약한 소나무와 내음성이 강한 잣나무와는 혼효림은 이루어지지 않을 것이다. 그러므로 이 임상은 경영 목적에 따라 소나무가 주위 식생으로 인하여 피압을 받아 성장이 저조한 적당한 시기에 소나무를 균상개별작업을 적용하여 수확벌채하고, 잣나무-활엽수 혼효림으로 유도하는 방안과, 소나무 순림으로 경영하는 방안을 고려해 볼 수 있을 것이다.

3) 일본잎갈나무림과 리기다소나무림에서의 잣나무 치수의 천연갱신 방안

인공조림에 의해 조성된 일본잎갈나무림과 리기다소나무림에서 자연 발생한 잣나무 후계목들은 중층이나 하층에서는 활엽수들과 혼재하여 자라고 있으므로 현재의 상층목이 미래에 수확 별채된 후에는 자연스럽게 상층에서 활엽수와 혼효림을 이루어 나갈 것으로 예측되므로 상층림은 수확 적기(윤별기)까지 인공림으로 육성하고 중, 하층에서는 활엽수림과 잣나무 치수들을 혼효로 후계림을 유도하도록 수종 구성 비율을 조정할 필요성이 있을 것으로 판단된다. 후계목의 광선 조건을 좋게 하기위하여 상층림을 제외한 주위의 식생에 대하여 도태간벌 또는 구제벌 수준의 벌채를 적용하여 활엽수와 혼효율을 이상적으로 유지하도록 한다. 그러면 상층에는 일본잎갈나무나 리기다소나무가 자라고 중층이나 하층에는 잣나무 후계목이 활엽수와 혼효를 이루며 수직적 구조로는 이단림으로 구성되어 안정된 층위를 구축할 수 있을 것으로 판단된다. 상층림을 수확한 후에는 자연히 혼효림으로 유지될 것이다.

이러한 관점에서 현재 중부지방의 많은 산림에서 다량으로 발생되고 있는 잣나무 후계목이 천연갱신에 성공할 수 있도록 경영을 한다면 이는 낮은 비용으로 갱신을 할 수 있는 좋은 기회이며, 천연갱신으로 유도된 잣나무 갱신 치수들은 앞으로 상층으로 진입하여 다양한 수종들과 함께 우점종으로 자리 잡아 경제성을 높일 뿐만 아니라 건전한 산림 생태계를 유지하게 될 것으로 예측된다.

3. 결 론

본 연구는 잣나무 모수림 주위에 위치한 네 가지 임상(천연활엽수림, 일본잎갈나무림, 리기다소나무림, 소나무림) 하층 부위에 자연발생되어 자라고 있는 잣나무 전생치수를 조사하여 임상별로 분류하고 그 임상에서 생육하고 있는 잣나무 치수의 밀도와 수령에 따른 분포 및 생육 상태를 파악하여 현존 임분의 임분구조를 분석하였다. 전생치수가 발생한 네 가지 임상 가운데 가장 치수의 발생량이 높은 천연활엽수림 임분에 대해서는 상층목에 대한 실제 간벌을 적용하여 벌채 강도에 따른 잣나무 치수의 연년 절간생장 양상을 파악하였다. 이러한 시업적 방법의 적용을 통해 향후, 전국에 분포된 잣나무 전생 치수 임분에 대한 적절한 조림학적 시업 방법 및 모델을 수립하는데 중요한 생태적 정보를 제공하고자 본 연구를 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

가. 임분 유형별 임분 구조 및 잣나무 전생치수의 천연갱신 양상

임상별 수종 및 그 구성 비율을 보면 활엽수림의 구성은 상층은 15가지 수종으로 구성되어 있으며 신갈나무가 74%로 가장 많았으며 다음이 떡갈나무 10%, 굴참나무 8%, 물박달나무 3%의 순으로 참나무류가 90%를 차지하는 것으로 파악되었다. 일본잎갈나무림의 상층은 일본잎갈나무가 96%를 차지하였으며 다음은 리기다소나무 2%, 신갈나무 2%로 세 수종만이 상층을 구성하고 있으며, 리기다소나무는 일본잎갈나무와 함께 인공 식재한 것으로 인정되는 일본잎갈나무 순림으로 신갈나무만이 자연 발생 수종으로 사료된다.

천연활엽수림 내 잣나무 전생치수 발생 임분에 대한 간벌 처리구별 하층 식생 조사 결과 전체 대상지 출현 종수는 64종으로 파악되었으며, 약도간벌구가 45종으로 가장 적었으며, 무처리구가 50종, 그리고 강도 간벌지가 53종으로 가장 많은 수의 종이 분포하는 것으로 파악되었다. 그러나 간벌 강도에 따른 뚜렷한 종수의 변화는 관찰 되지 않았다. 반면 일본잎갈나무림, 리기다소나무림, 소나무림에서는 상대적으로 적은 수의 하층 식생이 출현하는 것으로 파악되었다.

임분 유형별로 잣나무 전생치수의 현존 밀도는 천연활엽수림이 ha당 8,800본으로 가장 높았으며, 소나무림(4,700본/ha)→일본잎갈나무림(4,500본/ha)→리기다소나무림(2,500본/ha)의

순으로 파악되었다. 네 가지 임상 모두에서 사면경사도가 25°미만의 태양광선의 수광 조건이 양호한 사면에서의 발생량이 높았으며, 모수림과의 거리가 멀어질수록 잣나무 치수의 발생량이 감소하는 경향을 보이는 것으로 파악되었다.

나. 자연발생 잣나무와 인공조립된 잣나무의 생장 차이 및 천연갱신된 잣나무 상층에 대한 벌채 효과

비교된 모든 연령에서 인공림의 직경생장은 천연발생된 잣나무보다 월등히 높으며, 연령의 증가와 함께 그 차이도 커지는 경향이였다. 이는 인공조립지의 경우는 연령의 증가와 함께 개개목이 광선 등 환경에 대한 경쟁이 치열해지고 수관급 분화가 일어나면서 그 차이가 심해지는 것으로 판단된다. 또한 천연 갱신된 잣나무 치수와 인공조립된 잣나무에 대한 수고 생장 비교에서 모든 연령에서 인공림의 수고성장도 천연 발생된 잣나무보다 월등히 높으며, 연령의 증가와 함께 그 차이도 커지는 경향을 나타내었다.

연령과 수고의 관계는 시간에 따른 산림의 수직적 구조 변화를 예측하고 산림 시업 등 산림경영의사 결정에 중요한 정보가 될 것이다. 따라서 활엽수림 내에 천연 발생한 잣나무의 연령과 수고의 관계 파악은 현재 하층 및 중층에 생육하고 있는 잣나무 치수들이 금후 몇 년 후에는 산림의 수직적 구조를 어떻게 변화시킬 것인가라는 것을 예측 할 수 있을 것이다.

그러므로 간벌 또는 부분 벌채와 같은 적절한 시업은 천연 갱신된 잣나무 치수의 수고생장을 개선하고, 인공 조립된 임목에 가까운 생장에 접근하는 좋은 방법이라고 판단된다.

잣나무 전생치수의 발생본수가 가장 높았던 천연활엽수림 상층 임관에 대한 강도, 약도, 무처리의 간벌 강도를 실시한 결과, 간벌 강도가 높을수록 절간 생장이 높은 경향을 보였으며, 치수의 연령별 간벌에 따른 절간생장은 15년생부터 간벌 효과가 발생하여 치수의 연령이 높을수록 상층 수관의 소개 효과가 높은 것으로 파악되어 향후, 인공조립된 잣나무 모수림 주변 임상에서 천연 갱신된 잣나무 치수의 생장을 향상시키기 위해서는 상층 수관 울폐도를 잔존 본 수 대비 최소 35%이상의 비율과 소규모의(0.1~0.3ha)의 군상개별작업을 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

상층 임목의 벌채에 따른 하층의 잣나무 치수의 연령별 개체수를 파악한 결과, 상층 임

목의 벌채와 상관없이 5년생 미만 치수의 밀도가 현저하게 감소하는 경향을 보였다. 이것은 간벌에 따른 영향이라기보다는 치수 간에 심한경쟁으로 인해 도태되었을 가능성과 모수림에 대한 최종 수확벌채로 인해 모수에서 공급되는 종자의 공급량이 현저하게 줄어들었기 때문인 것으로 판단된다.

다. 잣나무 전생치수의 수하 파종조립 및 성장과 발달에 영향을 미치는 인자

파종실험 결과, 지형적인 요인 가운데 사면경사의 경우, 종자가 발아하는데 제한요소로 작용할 가능성은 있지만, 대부분의 천연발생 잣나무 치수림이 광선조건이 좋은 남 또는 남서, 남동 사면에 집중된 것으로 봐서 광선조건이 종자의 발아에 미치는 요인 가운데, 가장 중요한 요인으로 작용하고 있는 것으로 짐작할 수 있다.

상층임관이 울폐된 상태에서 임분 내부에 도달하는 광선 투과량은 대부분 전광대비 5% 미만이었다. 그러나 이러한 조건은 벌채를 통해 상당히 개선 될 수 있으므로 상층 임관에 대한 적절한 밀도 조절이 잣나무 등 천연 갱신된 치수의 성장에 결정적 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

천연활엽수림 내 파종된 잣나무 수하 조립 시험 결과 파종된 종자 숫자에 대한 발아율에서 몇 퍼센트를 성공적 발아율로 보는지에 대한 정확한 정보나 기준이 없기 때문에 향후 이에 대한 기준 제시가 필요할 것으로 판단된다. 또한 관점에 따라 그 결과를 다르게 해석하겠지만, 남사면을 제외한 다른 사면에서는 거의 발아한 개체가 없으므로 순수한 잣 종자를 임지에 파종한 본 실험은 실패의 가능성이 높다는 결론을 내렸다. 잣 종자에 대한 수하 파종 실험의 가장 큰 실패 원인은 설치류와 같은 동물의 1차적 피해와, 발아조건(토양수분, 태양광선 등)의 미비에서 이러한 결과가 발생되었을 것으로 판단된다. 그러나 파종 종자에 대한 포식을 억제하는 약품 처리를 통한 직파 방법을 고려해 볼 수 있지만, 추가적인 비용 지출 측면에서는 인공 조립된 모수림 인근 산림에서 천연갱신으로 유도하는 것이 가장 바람직한 후계림 갱신 방법이 될 것이라고 제안하는 바이다.

라. 잣나무 전생치수 발생 임분의 조립 작업종 및 천연갱신 방안

1) 천연활엽수림

입 형		천연활엽수림(신갈나무 우점림)							
생산기간(윤벌기)		100년							
사업시기 및 임분제원	주요 임목 제원	시 업 착 수 (40년생)	40년생 사업 후 목표치	60년생 벌채 전	60년생 벌채 후	80년생 벌채 전	80년생 벌채 후	100년생 벌채 전	100년생 벌채 후
	평균흉고직경 (cm)	19.6*	21.6	26.8	28.1	32.0	33.5	36.5	36.5
	평균 수고 (m)	13.2*	14.2	15.6	16.2	17.0	18.5	19.5	19.5
	잔존본수 (본/ha)	1,450	600	600	400	400	200	200	20
	흉고단면적 (m ² /ha)	43.7	22.0	33.8	24.8	32.2	17.6	20.9	2.1
	재적 (m ³ /ha)	259.7	140.4	237.5	180.7	246.0	146.7	183.6	18.8
	잣나무 치수 (년)	15	-	35	-	55	-	75	-
	잣나무 치수 (본/ha)	8,800	3,000	3,000	1,500	1,500	500	250	250
기타 사업		임지정리 작업 (벌채 잔여물 정리)	119.31m ² 수확, 임지정리 작업 (벌채 잔여물 정리)	간벌, 가지치기	56.68m ² 수확, 임지정리 작업 (벌채 잔여물 정리)	간벌, 가지치기	99.26m ² 수확, 임지정리 작업 (벌채 잔여물 정리)	간벌, 가지치기	164.76m ² 수확, 임지정리 작업 (벌채 잔여물 정리)
갱신 방법		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 소면적 개별(0.1-0.3ha)을 여러 군데 작업하여, 20분 잔존시킴 ▪ 실생묘 발생과 왜림작업으로 이령·복층림 유도 							

*참고자료: 산림청(2000). 산림과 임업기술 III.

잣나무 전생치수가 생육하고 있는 신갈나무 우점 천연활엽수림의 경우, 실제 간벌 시험에서 잔존 본수의 100%를 벌채 하였을 때, 하층 치수의 생육이 가장 왕성하였다. 그러나 임업 생산적인 측면에서 잣나무 치수의 천연갱신을 위해 상층 임목을 대면적으로 벌채 할 수는 없는 일이므로 소면적(0.1-0.3ha) 개별작업을 군상으로 실시하는 방법을 적용하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

천연활엽수림의 경우, 상층 임목의 연령이 약 40년생에 도달하였을 때 군상 개별작업으로 상층 임목을 매 20년 마다 벌채 하도록 계획하였으며, 상층목의 윤벌기는 100년으로 설정하였다. 현존 임분 밀도가 ha당 1,450본에서 점차 밀도를 줄여나가며, 매 20년 마다 ha당 600본(40년생)→400본(60년생)→200본(80년생)→20본(100년)으로 임분 밀도를 조절할 수 있을 것이다. 잣나무 전생 치수의 현존 밀도는 ha당 약 8,800본으로 네 가지 임분 가운데 가장 높은 치수가 발생하였음을 알 수 있다. 치수 연령이 15년생 일 때 시업에 착수하여 본수를 매 20년 마다 ha당 3,000본(15년생)→1,500본(35년생)→500본(55년생)→250본(75년생)으로 조절하여 향후 천연 갱신된 활엽수종과 잣나무 유령목을 혼효림으로 유도하는 것이 생태적으로 바람직 할 것으로 판단된다.

2) 일본잎갈나무림

잣나무 전생치수가 자라고 있는 인공조립된 일본잎갈나무림의 현존 본수는 ha당 약 1,450본으로 조사되었다. 조립 초기 ha당 3,000본으로 조립되었음을 감안할 경우, 그동안 1-2회 정도 간벌작업이 수행되었을 것으로 판단된다. 일본잎갈나무림에서는 임분 연령이 30년생일 때 ha당 700본으로 간벌을 실시해주고 매 10년 마다 ha당 500본(40년생)→400본(50년생)→300본(60년생)으로 추가 간벌을 실시해 주며, 윤벌기인 60년에 도달하였을 때는 상층 임목 모두를 벌채하여 257.4m³의 재적수확이 기대된다.

하층에서 생육하는 잣나무 치수는 주변 임분에서 유입된 천연활엽수종과 혼효를 시켜 후계림을 유도하도록 하였으며, 현존 치수의 본수는 ha당 4,500본으로 천연활엽수림의 8,800본/ha의 절반 수준이지만 소나무림의 4,600본/ha과 유사한 발생량을 보였다. 잣나무의 연령이 15년생일 때 시업에 착수를 하여 매 10년 마다 잣나무 치수에 대한 본수를 제거 하도록 계획하였는데, 25년생일 때 ha당 2,500본의 치수를 남기고 1,600본(35년생)→800본(45년생)→400본으로 잣나무 치수의 밀도를 조절해 주어 활엽수림과 혼효림을 이루도록 유도하는 방법을 고려해 보았다. 천연 갱신된 치수의 경제성이 없을 것으로 판단될 경우, 내음성이 강한 수종으로 인공조립하는 것도 하나의 방안이 될 수 있을 것이다.

임 형		일본잎갈나무림							
생산기간(윤별기)		60년							
사업시기 및 임분제원	주요 임목 제원	시 업 착 수 (30년생)	30년생 사업후 목표치	40년생 별채전	40년생 별채후 목표치	50년생 별채전	50년생 별채후 목표치	60년생 별채전	60년생 별채후 목표치
	평균흉고직경 (cm)	18.7*	20.7	21.9	23.5	26.5	28.5	32.5	-
	평균 수고 (m)	16.8*	17.8	19.0	20.0	21.3	22.0	23.0	-
	잔존본수 (본/ha)	1,450	700	700	500	500	400	300	-
	흉고단면적 (m ² /ha)	39.8	23.6	26.4	21.7	27.6	25.5	24.9	-
	재적 (m ³ /ha)	300.9	188.6	225.3	195.0	264.2	252.5	257.4	-
	잣나무 치수 (년)	15	-	25	-	35	-	45	-
	잣나무 치수 (본/ha)	4,500	2,500	2,500	1,600	1,600	800	800	400
기타 사업	임지정리 작업 (별채 잔여물 정리)	112.26m ² 수확, 임지정리 작업 (별채 잔여물 정리)	어린나무 가꾸기 작업	30.27m ² 수확, 임지정리 작업 (별채 잔여물 정리)	간벌, 가지치기	11.71m ² 수확, 임지정리 작업 (별채 잔여물 정리)	간벌, 가지치기	257.40m ² 수확 임지정리 작업 (별채 잔여물 정리)	
갱신 방법	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 소규모 군상개벌(0.1-0.3ha)작업 ▪ 주변 임분에서 유입된 활엽수종과 혼효림 유도 								

*참고자료: 산림청(2000). 산림과 임업기술 III.

3) 리기다소나무림

인공조림된 리기다소나무림의 현존 임분 밀도는 ha당 1,450본으로 초기 3,000본 식재 후 1-2회의 간벌이 수행되었을 것으로 판단된다. 윤별기를 60년으로 설정하고 사업 착수는 30년생일 때 밀도조절을 실시하여 ha당 800본(30년생)→500본(40년생)→300본(60년생)으로 상층 임목에 대한 밀도 조절을 실시하여 윤별기인 60년에 도달하였을 때 ha당 251.8m²의 재적

수확을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

상층임관 아래 생육하고 있는 잣나무 전생치수의 현존 밀도는 ha당 2,500본으로 조사가 이루어진 네 가지 임상 가운데 가장 적은 밀도를 보이고 있다. 상층목의 밀도조절 시기와 같이 10년 마다 치수의 밀도를 조절하도록 하여 1,800본(25년생)→1,200본(35년생)→800본(45년생)→400본으로 밀도를 조절하는 방안을 제시하였다.

임 형		리기다소나무림							
생산기간(운벌기)		60년							
사업시기 및 임분제원	주요 임목 제원	시 업 착 수 (30년생)	30년생 사업 후 목표치	40년생 벌채 전	40년생 벌채 후 목표치	50년생 벌채 전	50년생 벌채 후 목표치	60년생 벌채 전	60년생 벌채 후 목표치
	평균흉고직경 (cm)	18.3*	20.3	22.3	24.3	25.6	28.5	32.5	-
	평균수고 (m)	14.7*	15.7	17.0	19.0	20.0	21.0	22.5	-
	잔존본수 (본/ha)	1,450	800	800	500	500	300	300	-
	흉고단면적 (m ² /ha)	38.1	25.9	31.2	23.2	25.7	19.1	24.9	-
	재적 (m ³ /ha)	252.2	182.8	238.9	198.2	231.5	180.8	251.8	-
	잣나무 치수 (년)	15	-	25	-	35	-	45	-
	잣나무 치수 (본/ha)	2,500	1,800	1,800	1,200	1,200	800	800	400
기타 사업		임지 정리 작업	69.32m ² 수확, 임지정리 작업 (벌채 잔여물 정리)	어린나무 가꾸기 작업	40.72m ² 수확, 임지정리 작업 (벌채 잔여물 정리)	간벌, 가지치기	50.7m ² 수확, 임지정리 작업 (벌채 잔여물 정리)	간벌, 가지치기	251.81m ² 수확, 임지정리 작업 (벌채 잔여물 정리)
갱신 방법		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 소규모 군상개별(0.1-0.3ha)작업 ▪ 주변 임분에서 유입된 활엽수종과 혼효림 유도 							

*참고자료: 산림청(2000). 산림과 임업기술 III.

4) 소나무림

임 형		소나무림							
생산기간(윤별기)		60년							
사업시기 및 임분제원	주요 임목 제원	시 업 착 수 (30년생)	30년생 사업후 목표치	40년생 별채전	40년생 별채후 목표치	50년생 별채전	50년생 별채후 목표치	60년생 별채전	60년생 별채후 목표치
	평균흉고직경 (cm)	18.2*	20.2	23.2	25.2	27.2	28.2	32.0	-
	평균수고 (m)	15.3*	16.3	18.4	19.4	20.5	21.5	22.0	-
	잔존본수 (본/ha)	2,000	800	800	500	500	250	250	-
	흉고단면적 (m ² /ha)	52.0	25.6	33.8	24.9	29.0	15.6	20.1	-
	재적 (m ³ /ha)	358.0	187.9	279.9	217.6	267.9	151.0	199.0	-
	잣나무 치수 (년)	15	-	25	-	35	-	45	-
	잣나무 치수 (본/ha)	4,700	2,500	2,500	1,600	1,600	800	800	400
기타 사업	임지 정리 작업	170.08m ² 수확, 임지정리 작업 (별채 잔여물 정리)	어린나무 가꾸기 작업	62.22m ² 수확, 임지정리 작업 (별채 잔여물 정리)	간벌, 가지치기	116.87m ² 수확, 임지정리 작업 (별채 잔여물 정리)	간벌, 가지치기	199.00m ² 수확, 임지정리 작업 (별채 잔여물 정리)	
갱신 방법	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 소규모 군상개별(0.1-0.3ha)작업 ▪ 주변 임분에서 유입된 활엽수종과 혼효림 유도 								

*참고자료: 산림청(2000). 산림과 임업기술 III.

소나무림의 윤별기는 60년으로 설정하였다. 현존 임분밀도가 ha당 2,000본으로 임령이 30년일 때 사업에 착수하여 군상개별 작업을 매 10년마다 실시함으로써 800본(40년생)→500본(50년생)→250본(60년생)으로 상층 임분에 대한 밀도조절을 수행하여 윤별기인 60년에 도

달하였을 때는 ha당 199m³의 재적수확을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

하층에 생육하는 잣나무 치수는 ha당 4,700본으로 천연활엽수림의 절반수준에 해당된다. 상층목의 밀도조절 시기와 마찬가지로 매 10년마다 2,500본(25년생)→1,600본(35년생)→800본(45년생)→400본으로 잣나무 치수의 밀도조절을 수행하도록 계획하였다.

임분 유형별로 잣나무 치수의 성공적인 천연갱신과 중·상층림으로의 유도를 위해서는 상층목에 대한 적절한 밀도조절과 함께 치수 층에 자라고 있는 덩굴성 식물과 경쟁목에 대한 어린나무가꾸기 수준의 작업이 필요할 것으로 판단되며, 옹이 없는 고급재를 목표로 한다면, 상층임목과 잣나무 유령목에 대한 가지치기 작업을 병행해 주는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구개발 목표 달성도

1. 제 1 세부과제

- 잣나무치수 발생 임분의 입지환경을 조사·파악함을 목표로 하였으며, 지형인자, 토양의 물리적 및 화학적 성질 분석 등을 예정대로 수행하였으며, 별도로 O층의 두께 및 무게와 치수발생상황의 관계를 추가 조사하였다.
- 잣나무 치수가 상대적으로 양호하게 발생하는 입지조건은 산복-산정의 평형 및 상승사면의 침식이 발생하지 않는 배수 양호한 것으로 파악되었으며, 한편 유기물의 퇴적량과 잣나무 치수의 발생본수의 상관성을 확인할 수 있었으므로 당초 입지환경 요인을 파악하기 위해 설정한 내용과 조사항목은 적절한 계획이었다.
- 각 조사지에서의 매목조사와 벌채를 통해 잣나무 전생치수의 근원직경에 대한 생체량 회귀식을 제조하였는데, 이 회귀식은 통계적으로 매우 유의한 결과를 보여주고 있다.
- 잣나무 치수외의 하층식생이 빈약한 임분에서는 잣나무 치수가 임분의 중층 이상까지 진입하여 임분구성에 큰 변화를 초래하고 있으며, 잣나무 치수는 본수와 직경급·수고급의 분포에서 역 J자형 분포를 하고 있는 증가형 군집으로 파악되어, 임분내에서 후계목으로서 자리 매김 하고 있음이 밝혀졌다.
- 토양의 물리적 성질 즉, 용적비중, 토양 3상, 전공극, 포화 투수계수, 수분함량, 최대용수량, 최소용기량 등을 조사·분석하여 우리나라 산림토양의 전국 평균 및 강원도 평균값을 비교하므로서 조사지의 물리적 성질을 특성을 가늠할 수 있었다.
- 토양의 화학적 성질(토양 pH, 토양유기물, 전질소, 유효인산, 양이온치환용량, K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} 등의 치환성 양이온, 염기포화도)을 조사·분석하여 우리나라 산림토양의 전국 평균 및 강원도 평균값을 비교하여 본 연구지의 토양특성을 파악할 수 있었으며, 특히 염기포화도가 일반적으로 낮은 경향이 파악되어 이 지역의 치환성 양이온이 임목의 생장에 크게 관여한 것으로 예상되었다.

- 임분의 수직·수평적 구조, 종다양성과 우점도 분석, 잣나무의 영급별, 수고별, 직경급별 밀도 관계, 표준화 모리시다 지수(standardized morista index)에 의한 잣나무의 분포양상 파악 등의 임분구조를 구명하고, 입지요인 및 토양의 화학성과 물리성을 파악하였으며, 이들 자료를 이용하여 잣나무 치수의 발생 양상과 토양·입지인자들의 관계를 해명하기 위해 ordination 분석을 실시하였다.

2. 제 2 세부과제

- 잣나무 전생치수 발생 임분의 시업적 처리 모델, 잣나무 수하 파종조림에 의한 갱신 양상 분석, 잣나무 수하 치수의 성장과 발달에 영향을 끼치는 요인 분석을 연구목표로 하였으며, 현재 계획했던 연구가 예정대로 수행되었다.
- 간벌에 따른 상층목 개체수의 감소에도 불구하고 임분의 중요치가 증대한 원인 및 간벌 후 종다양성 분석에 의한 잣나무 치수의 침입 공간 확보의 가능성 파악, 그리고 치수의 개체수 변화 등의 조사·분석하여 임분발달 및 동태해석에 유용한 기본정보로 활용하였다.
- 잣나무 종자의 수하파종 실험에서 광환경 등이 임분의 형태보다 치수의 발생과 성장에 큰 영향을 미치는 것으로 파악되어 인공조림 잣나무보다 생장이 현저히 낮은 자연발생 잣나무 치수의 성장에 유리한 환경 조성에는 인위적 임분처리에 의한 광환경 조정이 필요함을 알았다. 더불어 잣나무 치수와 인공조림 잣나무 간에 직경, 수고의 성장비교 및 간벌처리별 수관울폐도, 절간성장 등을 비교하였다.
- 상층 임관에 대한 3처리 수준(A: 모두 벌채, B: 부분 벌채, C: 대조구), 3반복의 관리법(randomized block design)의한 통계적 분산분석법은, 간벌구내에서 간벌목 제거 이후 직경 및 수고 등이 증가하는 등 잔존목의 형질 개선에 효과를 보이고 있으며, 또한 잣나무 전생치수 발달에도 유효할 것으로 예견되는 등의 결과를 얻는 등 적절한 실험설계였다.
- 모수림 주위에 위치한 네 가지 임상(천연활엽수림, 일본잎갈나무림, 리기다소나무림, 소나무림) 하층 부위에 자연 발생되어 자라고 있는 잣나무 전생치수를 조사하여 임상별로 분류하고 그 임상에서 생육하고 있는 잣나무 치수의 밀도와 수령에 따른 분포 및 생육 상태를 파악하여 현존 임분의 임분 상태를 파악하였다. 전생치수가 발생한 네 가지 임상가운

데 가장 치수의 발생량이 높은 천연활엽수림 임분에 대해서는 상층목에 대한 실제 간벌을 적용하여 벌채 강도에 따른 잣나무 치수의 연년 절간 성장 양상을 파악하였다. 이와 같은 내용을 기초로 네 가지 임상(천연활엽수림, 일본잎갈나무림, 리기다소나무림, 소나무림)에 대하여 조림작업종 및 천연생신 방안을 제시하였다.

3. 협 동 과 제

- 잣나무 전생치수가 발생한 참나무혼효림의 물질생산과 양분순환경로를 구명하는 것을 목표로 하였으며, 현재까지 계획했던 연구가 예정대로 수행되었다.
- 과거 잣나무에 대해 수행되어 온 연구결과를 토대로 잣나무 치수의 발생 및 성장에 영향을 미치는 중요한 환경요인으로 알려진 임분 내 하층식생의 광환경을 고려해 조사구를 적절히 처리 및 선정하였다. 또한 잣나무는 침엽수보다 활엽수와 혼효림을 이룰 때 성장량이 가장 좋다는 과거의 연구사례를 바탕으로 우리나라에서 우점하게 될 신갈나무, 굴참나무 혼효림에서의 잣나무 전생치수를 조사지로 선정한 것은 매우 올바른 선택이었다. 또한 우리나라 침엽수림 중 대표적인 임분이며, 잣나무 전생치수가 많이 나타나는 소나무림을 추가하였다.
- 잣나무를 인공 조림한 곳에서는 토양 유기물층이 두껍게 쌓여 하층식생이 발달하지 못하는데 비해 참나무림과 혼효되어 자라는 잣나무는 울폐된 임관이 열리면 언제든지 직경생장을 시작할 수 있다. 따라서 구과 생산뿐만 아니라 용재로서의 가치를 고려한다면 생태적 산림경영을 감안한 연구는 매우 시기적절하다. 따라서 참나무림에서 자라는 잣나무 전생치수의 생태계 양분순환상의 위치와 지위를 밝혀내는 것은 현재 자라고 있는 전생치수의 생육환경을 알아내는 가장 기초적인 단계가 될 수 있다.
- 상층 식생의 생체량은 연구 대상 지역과 인접한 임분에서 추정된 생체량 추정 회귀식에 식생 조사 자료를 대입하여 구하였고, 잣나무 전생치수의 경우 뿌리까지 채취한 시료목 30-40본의 부위별 생체량 측정을 통해 생체량 추정 회귀식을 직접 구하였다.
- 양분 분석은 부위별 생체량을 측정된 시료 전체를 분쇄하여 잘 혼합한 후 분해하였고 자동 이온 분석기와 AAS로 분석을 하였다. 분석된 결과를 관련 자료와 비교한 후 필요시 재분석을 실시하였다.

제 2 절 관련분야에의 기여도

1. 국내외 전문학술지 게재

Son Y., K.Y. Seo, R.H. Kim, J.W. Koo, M.J. Yi, and J.H. Kim. 2005. Biomass and nutrient distribution of *Pinus koraiensis* seedlings invading a mixed forest dominated by *Quercus mongolica*. Forest Research 1: 8-12.

서금영, 손요환, 구진우, 노남진, 이명종. 2005. 아세톤과 DMSO(Dimethylsulfoxide)로 추출하여 측정된 잣나무 침엽 내 엽록소 함량 비교. 한국임학회지 94:264-268.

2. 국내외 학술회의

지동훈, 이명종, 김용석, 한상균, 손요환. 2003. 잣나무치수와 굴참나무 혼효림의 지상부 생체량과 양분분포. 한국임학회 학술연구 발표논문집. pp. 129-130.

지동훈, 이명종, 김지홍, 손요환, 김용석, 신동민. 2004. 참나무림 내 천연발생한 잣나무치수의 생장과 지상·지하부 현존량. 한국임학회 학술연구 발표논문집. pp. 176-177.

이명종, 김용석, 신동민, 김지홍, 손요환, 이원섭. 2004. 강원도 홍천지역 잣나무치수 발생림의 임분구조. 한국임학회 학술연구 발표논문집. pp. 153-155.

서금영, 손요환, 김래현, 구진우, 서경원, 경지현, 이명종. 2004. 잣나무 전생치수 발생 신갈나무 임분의 물질생산 및 양분순환 연구. 한국임학회 학술연구 발표논문집. pp. 145-147.

申東慇, 李明鐘, 孫堯丸, 金知洪, 池東焄, 小池孝良. 2005. 韓國中部地域における朝鮮五葉松稚樹發生林の林分構造. 第116回日本山林學會大會學術講演集. pp. PA112.

Seo, K.Y., Y. Son, M.J. Yi, J.H. Kim. 2005. Biomass and Nutrients of Korean pine under a natural oak forest in Korea. 第116回日本山林學會大會學術講演集. pp. PA146.

구진우, 손요환, 김래현, 서금영, 서경원, 경지현, 노남진, 이명종, 김지홍. 2005. 참나무 혼효림 내 발생한 잣나무 전생치수의 물질 생산과 양분 분포. 한국생물과학협회 정기학술발표대회. pp. 173.

Yi, M.J. and Y. Son. 2005. Foliar nutrient dynamics, biomass and nutrient distribution of *Pinus*

koraiensis seedlings invading a mixed deciduous oak forest in Korea. Proceedings of international symposium on sustainable agriculture. pp. 17-19.

池東焄, 小林 眞, 李明鍾, 北岡 哲, 香山雅純, 小池孝良. 2005. 台風による攪乱地におけるチョウセンヨコウマツ前生稚樹の光合成応答. 第117回日本山林學會大會學術講演集. pp. D20.

구진우, 손요환, 김래현, 서경원, 노남진. 2006. 소나무림 내 발생한 잣나무 치수의 생체량과 양분분포. 한국임학회 학술발표 논문집 pp. 109-111.

지동훈, 이명종, 김용석, 신동민, 小池孝良. 2006. 태풍에 의한 교란이 잣나무치수의 광합성 특성에 미치는 영향. 한국임학회 학술발표 논문집 pp. 283-284.

이명종, 신동민, 손요환, 김지홍, 김용석, 정미정, 한상섭. 2006. 참나무림 내에 침입한 잣나무 치수 잎의 양분 동태. 한국임학회 학술발표 논문집 pp. 335-336.

3. 기타활용 실적

지동훈. 2004. 잣나무치수와 참나무 혼효림의 지상 및 지하부의 현존량과 양분분포. 강원대학교 석사학위논문.

신동민. 2006. 신갈나무림 내에 침입한 잣나무치수 잎의 양분동태와 양분이용효율. 강원대학교 석사학위논문.

제 5 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

중국에는 동북지방에 많은 천연 잣나무림이 극상의 상태로 활엽수림과 혼효되어 있는데 (Li, 1993; Zhou, 1994), 이들 산림은 양질의 목재 생산과 높은 물질 생산력을 갖고 있는 것으로 정평이 나있다(Li et al., 1981). 또한 식용이나 약용이외에도 생물다양성 유지나 수원 함양기능증진, 범람의 위험성 저감 등에도 큰 역할을 하고 있다(Zhang, 1999; Wang et al., 1985). 그러나 Fengin 자연보호 지역과 Liang Shui 보호 지역을 제외한 대부분의 지역은 천연 잣나무림이 벌채되어 임업과 환경분야에서 잣나무림의 복원이 중요한 문제로 대두되었다 (Wang et al., 2001).

많은 임업인들이 잣나무가 많았던 동북지방의 잣나무와 활엽수의 혼효림을 복원하기 위해 노력해왔는데 대표적인 그룹은 Chinese National Seven-Five Key Project(1985-1990) 팀이었다. 이 팀들은 동령의 일제림 잣나무림 조성을 피하고 천연갱신을 증진시키기 위해 활엽수 2차림 내에 대상벌채 방법을 채택했는데, 이 때문에 광환경과 수목의 성장속의 향상 (Nie et al., 1990), 토양양분 환경의 개선 및 생물다양성의 증가(Zhang, 1999) 등 전체 산림의 물질생산력이 증가되었다. 따라서 잣나무와 활엽수를 혼효시키는 시업법으로서는 대상벌채에 의한 방법을 주로 채택하고 있다.

이러한 시험지에서의 연구는 대부분 영급구조의 분석(Li, 1994), 물질과 에너지순환 (Wang, 1994), 성장모델(Li와 Löfgren 2000), 잣나무 치수의 내동 및 내건성(Yan et al., 1999) 등에 관한 연구는 있으나, 성장 및 생산력에 대해 생리생태학적인 측면에서 잣나무를 연구한 예는 거의 없었다(Wang, 2001).

따라서 Wang(2001)등은 광환경이 서로 다른 대상 벌채림의 유령의 잣나무에 대하여 미기후환경, 탄소(C)의 흡수력, 성장력 등의 순응력을 연구하였다. 주요 내용은 서로 다른 광환경에 있는 잣나무와 참나무의 광-광합성 곡선 해석에 따른 광자원 경쟁력의 평가, 서로 다른 대상벌채의 폭을 가진 곳에서 생육하는 잣나무의 생장에 미치는 영향들이며, 이들 내용을 기초로 잣나무가 많이 생육하고 있는 중국 동북지방의 잣나무림의 회복을 위한 최적의 대상폭을 제안하였다.

일본은 상대적으로 잣나무림이 적어서 잣나무를 대상으로 한 생리·생태적인 측면을 중심으로 한 연구에는 많지 않지만, 비음조건 하에서 생육하는 수종들에 대한 생리·생태적 반응을 파악하고 천연갱신이 가능한 환경을 인위적으로 조절하는 방안을 제시하는 면에서는 중국이나 우리나라에 비해 훨씬 심도 있는 생리·생태학적 수법의 연구를 수행하고 있다(池 등, 2005; 小池 등, 2004; 北岡, 2003; Kitaoka 와 Koike, 2004; Kitaok 등, 2004; Kitao 등, 2000; Koike 등, 2001; Koike, 1986; Lei 등, 1996). 최근 잣나무 치수에 대한 연구로는, 참나무림 하에서 생육하는 잣나무 치수의 태풍 교란 등 비정기적인 광환경의 변화에 따른 환경응답 능력을 광합성 기능의 중심으로 하여 연구가 진행되고 있다(池 등, 2006).

이상과 같이 상층의 비음조건 하에서 생육하고 있는 수목의 성공적인 천연갱신(때로는 인공갱신)을 위해서는 그 수종의 광환경의 생리생태적인 특성을 보다 심도 있게 연구한 후 그를 고려한 인위적인 임분구조의 조절이 필요하다.

< 관련 문헌 >

- 北岡 哲 等. 2003. 日本林學會 北支論文集 51:30-33.
- 小池 孝郎 等. 2004. 地球環境 9(2):191-202.
- 池東焄 等. 2005. 日本林學會 北支論文集 53:70-73.
- 池東焄 等. 2006. 日本林學會 學術講演集 D-20.
- Kitaoka, S. and T. Koike. 2004. *Physiol. Plant* 121:604-611.
- Kitaoka, S. and T. Koike. 2004. *Tree physiol.*
- Kitao, M. et al. 2000. *Plant Cell Environ.* 23:81-89
- Koike, T. 1986. *Environ. Cont. Biol.* 24:51-58
- Lei, T. T. et al. 1996. *Physiol. Plant* 79:411-418.
- Li, C, Z. and Löfgren, K. G. 2000. *Forest Science* 46:284-289.
- Li, J. Q. 1994. Long-term research on China's forest ecosystems, Northeast Forestry Univ., Harbin, China.
- Li, J. W. 1993. *The Forest Heilongjiang*. Northeast Forestry Univ. Press, Harbin, China.

- Li, W. H. et al. 1981. Res. Forest Ecosystem (Ⅱ) :34-50
- Nie, S. Q. et al. 1990. J. Northeast Forestry Univ. 18, Ecol. SP. ISS. :1-6.
- Wang, W. 2001. Eurasian J. For. Res. 3:27-48.
- Wang, W. H. et al., 1985. Long-term research on China's forest ecosystems, Northeast Forestry Univ., Harbin, China.
- Zhang, C. J. 1999. MS Thesis of Northeast Forestry Univ., Harbin, China.
- Zhou, Y. L. 1994. Science Press, Beijing, China.

제 6 장 참 고 문 헌

- 강성기. 2000. 점봉산 일대 천연활엽수림의 지형적 위치에 따른 군집 구조적 속성분석. 강원대학교 석사학위논문.
- 기상청. 2004. <http://www.kma.go.kr/>
- 김갑덕, 김철민. 1988. 국내 산림 biomass의 생산에 관한 연구와 동향. 임산에너지 8:94-107.
- 김광택, 이원섭, 강성기, 김지홍. 2000. 활엽수림내 천연 발생 잣나무의 생장에 관한 연구. 강원대 학술림 연구지 20:37-44.
- 김광택, 당 연, 김지홍. 2002. TWINSpan에 의해 분류된 점봉산 일대 천연낙엽수림의 군락 구조 해석. 한국임학회지 91:523-534.
- 김영채. 1987. 무기적 환경요인이 잣나무 유묘의 생육에 미치는 영향에 관한 연구(III). 한국 임학회지 76:218-229.
- 김영채. 1989. 잣나무 묘목의 생육환경 요인에 따른 생장 해석적 연구. 한국임학회지 78:314-322.
- 김지홍. 1996. 남산 및 광릉 산림생태계의 생물 종다양성의 비교 평가. 한국임학회지 85:605-618.
- 김지홍, 김광택, 심우섭, 장준근, 최인화. 1999. 활엽수림내 잣나무 치수 발생에 관한 연구. 강원대 학술림연구지 19:41-480.
- 김지홍, 최인화, 심우섭, 장준근, 양희문. 1998. 잣나무 성숙림의 갱신을 위한 산벌작업의 적용. 강원대 학술림연구지 18:1-12.
- 노남진, 손요환, 김래현, 서금영, 서경원, 구진우, 경지현, 김조성, 이영진, 박인협, 이경학, 손영모. 2005. 가평지역 잣나무 바이오매스 연구. 한국산림측정학회지 8:75-82.
- 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법: 토양, 식물체, 토양미생물. 농촌 진흥청 농업기술연구소. pp.450.
- 박만규, 박홍덕. 1972. 무주 구천동의 식물상. 한국자연보존연구회 조사보고 5:31-53.
- 박인협, 김준선. 1989. 한국산 4개 지역형 소나무천연림의 물질 현존량 추정식에 관한 연구. 한국임학회지 78:323-330.
- 박인협, 서영권, 김동엽, 손요환, 이명중, 진현오. 2003. 강원도 춘천지역 신갈나무 임분과 굴

- 참나무 임분의 물질 생산. 한국임학회지 92:52-57.
- 산림청, 1968. 임업통계요람. pp.144.
- 산림청, 1979. 임업통계요람. pp.248-249.
- 산림청, 1982. 임업통계요람. pp.344.
- 산림청, 1991. 임업통계요람. pp.226.
- 산림청, 1998. 임업통계연보. pp.416.
- 산림청, 1999. 임업통계연보. pp.159.
- 산림청, 2000. 임업통계연보. pp.160.
- 산림청, 2001. 임업통계연보. pp.152.
- 산림청, 2004. 임업통계연보. pp.434.
- 신현철, 이강녕. 1990. 금산의 남북사면에 따른 산림식생구조. 한국임학회지 79:245-254.
- 양희문, 2002. 천연활엽수림의 용재생산을 위한 군집 생태적 속성의 활용 방안. 강원대학교 대학원. 박사학위 논문 pp.158.
- 원병오. 1998. 하늘 빛으로 물든 새. 중앙일보. pp.277.
- 유병호, 김상욱. 1987. 청설모의 생태 및 방제에 관한 연구. 임업연보 35:130-138.
- 이강녕. 1977. 지리산 잣나무 집단학의 변이에 관한 연구. 한국임학회지 34:1-14
- 이경재, 박인협. 1987. 경기도 광주지방 22년생 잣나무 및 신갈나무림의 물질 생산량과 무기 영양 분포. 임산에너지 7:11-21.
- 이명중. 1998. 강원도 지방 잣나무 인공림의 임령변화에 따른 지상부 현존량과 양분축적. 한국임학회지 87:276-285.
- 이성숙, 배한홍, 여운홍, 김경희. 1996. 잣나무떨림병균(*Lophodermium maximum*)에 대한 저항성과 감수성 잣나무 잎 조직의 수용성 단백질 전기영동 패턴 비교. 산림과학논문집 53:124-130.
- 이원섭, 김지홍, 김광택. 2000. 점봉산일대 천연활엽수림의 지형적 위치에 따른 천이 경향 분석. 한국임학회지 89:655-665.
- 이원섭. 2002. 자연 발생한 잣나무 치수의 네 가지 임상별 분포 및 성장. 강원대학교 박사학위 논문.
- 이일구, 이호준, 변두원. 1984. 설악산 침엽수림의 분포와 유형. 설악산 학술조사 보고서. 강

- 원도. pp.136-168.
- 이창복. 1982. 대한식물도감. 향문사. pp.990.
- 임경빈. 1991. 잣나무. 산림. 산림조합중앙회. 311:49-52.
- 임경빈, 이경준. 1998. 임학개론. 향문사. pp.393.
- 임문교, 이은복, 최기룡, 전의식. 1983. 외설악의 자연식생에 관한 생태학적 연구. 자연보존연구 보고서 5:23-32.
- 임양재, 백순달. 1985. 설악산의 식생. 중앙대학교 출판국. pp.200.
- 임업연구원, 1996. 활엽수 자원 조사 보고서(전국 총괄). 임업연구원. pp.509.
- 임주훈. 1989. 잣나무 천연임분의 생태적 특성에 관한 연구. 고려대학교 대학원. 박사학위 논문 pp.95.
- 장남기, 이인숙, 김종희, 이웅상, 강혜순, 오인혜. 1997. 생태학. 도서출판 아카데미서적. pp.321.
- 전상근. 1976. 잣나무종자의 크기와 무게가 묘목의 초기생장에 미치는 영향. 한국임학회지 31:48-52.
- 전상근, 신만용, 정동준, 장용석, 김명수. 1999. 지역별 잣나무의 초기생장 특성과 미기후의 영향. 한국임학회지 88:73-75.
- 정상배, 김철수. 2000. 잣나무 넓적잎벌의 섭식량에 관한 연구. 한국임학회지 89:630-633.
- 정상배, 신상철. 1994. 잣나무넓적잎벌 피해가 잣나무 생장에 미치는 영향에 관한 연구. 한국임학회지 83:450-459.
- 정인구. 1981. 수량화에 의한 우리나라 삼림토양의 형태학적 및 이화학적 성질과 잣나무 및 낙엽송의 생장 상관분석. 한국임학회지 53:1-26.
- 조무연. 1989. 원색한국수목도감. 아카데미서적. pp.498.
- 주영특, 김영채, 정돈준, 김홍률. 1999. 경기도 광주지역 잣나무 침엽의 분광특성에 관한 연구. 한국농림기상학회지 1:103-109.
- 지동훈. 2004. 잣나무치수와 참나무류 혼효림의 지상 및 지하부의 현존량과 양분분포. 강원대학교. 석사학위논문.
- 최기룡, 임양재. 1984. 설악산 산림식생의 우점도와 다양성에 관하여. 한국식물학회지 27:25-32.
- 한상섭. 1982. 잣나무림의 물질생산력에 관한 연구(1) 엽의 광합성속도와 호흡속도에 미치는 광, 온도, 수분의 영향. 한국임학회지 55:55-58.

- 한상섭, 박완근. 1988. 잣나무와 소나무의 직경생장과 Key year. 한국임학회지 77:216-222.
- 홍성호, 박형순. 1983. 고산수종 개발 시험. 임목육종연구보고서. pp.192-202.
- 홍성호, 박형순, 전규상. 1983. 지리산 가문비나무 천연집단의 생태적 특성. 임육연보 19:60-65.
- Abbott, H.G. and T.F. Quink. 1970. Ecology of eastern white pine seed caches made by small forest mammals. Ecology 51:271-278.
- Abrams, M.D., D.G. Sprugel and D.I. Dickman. 1985. Multiple successional path-ways on recently disturbed jack pine sites in Michigan. Forest Ecology and Management 10:31-48.
- Anonymous. 1982. Korean pine forest. Institute of forestry and soil, Academia Sinica, Beijing, pp.200. (in chinese)
- Arnon. 1959. Conversion of light into chemical energy in photosynthesis. Nature 184:10-21.
- Barnes, B.V., X. Xu, and S. Zhao. 1992a. Forest ecosystems in an old-growth pine-mixed hardwood forest of the Changbai Shan Preserve in northeastern China. Canadian Journal of Forest Research 22:144-160.
- Barnes, J.D., L. Balagure, E. Manrique, S. Elvira and A.W. Davison. 1992b. A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophyll a and b in lichens and higher plants. Environmental and Experimental Botany 32:85-100.
- Barnes, B.V., D.R. Jak, Denton, S.R. Denton, and S.H. Spurr. 1997. Forest Ecology. 4th ed., John Wiley & Sons, Inc. pp.774.
- Barton, L.V. 1965. Seed dormancy: General survey of dormancy types in seeds and dormancy imposed by external agents. Encyclopedia of Plant Physiology 15:699-720.
- Bazzaz, F.A. 1983. Characteristics of population in relation to disturbance in natural and man-modified ecosystems, in H.A. Mooney and M. Godron (eds.), Disturbance and Ecosystem: Components of Response. Springer-Verlag, New York. pp.259-275.
- Beck, D.E. 1977. Twelve-year acorn yield in southern Appalachian oaks. USDA For. Serv. Res. Note SE-244, Southeastern For. Exp. Sta., Asheville, NC. pp.8.
- Blouin, G. and R. Comeau (Editors). 1991. Forestry on the Hill. Canadian Forestry Association, Ottawa, Ont.
- Bossema, I. 1979. Jay and oaks: An ecological study of a symbiosis. Behaviour 70: 1-117.

- Bray, J.R. 1956. Gap phase replacement in a maple basswood forest. *Ecology* 37: 598-600.
- Bromlei, G.F. and V.A. Kostenko. 1970. Relationship between rodents and Korean pine in central and southern Sikhote-Alin. In: V.L. Komarova (Editor), Small mammals in watershed of the Amur river and the Maritime province of Siveria. Academy Nauk. Vladivostok, pp.5-65. (in Russian)
- Cahalane, V.H. 1942. Caching and recovery of food by the western fox squirrel. *J. Wild animal management* 6:338-352.
- Canham, C.D., J.S. Denslow, W.J. Plarr, J.R. Runkle, T.A. Spies and P.S. White. 1990. Light regimes beneath closed canopies and tree-fall gaps in temperate and tropical forests. *Can. J. For. Res.* 20:620-631.
- Chao, G. 1988. Modeling optimal growth of the main species of mixed deciduous / *Pinus koraiensis* (Korean pine) forests. Northern Forest silviculture and management, IUFRO symposium proceedings. Northeast Forestry University Press IV. pp.28-31.
- Chazdon, R.L. 1988. Sunflecks and their importance to forest understory plants. *Adv. Ecol. Res.* 18:1-63.
- Chazdon, R.L. and C.B. Field. 1987. Photographic estimation of photosynthetically active radiation: evaluation of a computerized technique. *Oecologia* 73:525-532.
- Chazdon, R.L. and R.W. Pearcy. 1991. The Importance of sunflecks for forest understory plants. *BioScience* 41:760-766.
- Chen, D.K. 1982. The discussion on Korean pine / broad-leaved forest system genesis. *Journal of Northeast Forestry University* 11:12-19.
- Chen, D., S. Wang and J. Ge. 1988. Analyzing the structure of virgin Korean pine forests in The Lesser Xingan Mountains. Northern Forest silviculture and management, IUFRO symposium proceedings. Northeast Forestry University Press II. pp.88-91.
- Chen, D., C. Xu, H. Wang and C. Li. 1994. A study on the relationship between the community structure and the regeneration of natural Korean pine forests. Korean pine studies(I). Northeast Forestry University Press. pp.146-153.
- Chi, G., G. Yao and Z. Dong. 1994. A study on optimal forest types and benefits of broad-leaved

- Korean pine forests. Korean pine studies(I). Northeast Forestry University press. pp.106-115.
- Critchfield, W.B. and E.L. Little. 1966. Geographic distribution of the pines of the world. USDA For. Serv. Misc. Publ. 991. Washington, D.C. pp.97.
- Daubenmire, R.F. 1960. A seven year study of cone production as related to xylem layers in *Pinus ponderosa*. Am. Midl. Nat. 64:187-193.
- Ding, B. 1988. The correlation between seasonal growth of Korean pine and climatic factors. Northern Forest silviculture and management. IUFRO Symposium Proceedings. Northeast Forest University Press II. pp.69-74.
- Downs, A.A. and W.E. McQuilken. 1944. Seed production of southern Appalachian oaks. J. For. 53:439-441.
- Ehrlich, P.E. and E.O. Wilson. 1991. Biodiversity studies: science and policy. Science Washington, D.C. 253:758-761.
- Eis, S. 1976. Association of western white pine cone crops with weather variables. Can. J. For. Res. 6:6-12.
- Franklin, J.F. 1968. Cone production by upper-slope conifers. USDA For. Serv. Res. Paper PNW-60. Pacific Northwest For. and Rge. Exp. Sta., Portland. OR. pp.21.
- Furnier, G.R., P. Knowles, M.A. Clyde and B.P. Dansik. 1987. Effects of avian seed dispersal on the genetic structure of white bark pine populations. Evolution 4: 607-612.
- Ge, J., S. Wang and D. Chen. 1988. Northern Forest silviculture and management. IUFRO Symposium Proceedings. Northeast Forest University Press II. pp.47-52.
- Gleenn-Lewin, D.C., R.K. Peet and T.T. Veblen (eds.). 1992. Plant Succession: Theory and Prediction. Chapman and Hall, London. pp.352.
- Gong, W. 1988. Site quality evaluation and classification for Korean pine plantations on Maoershan mountain, Heilongjiang province, people's Republic of China. Northern Forest silviculture and management. IUFRO Symposium Proceedings. Northeast Forest University Press IV. pp.70-74.
- Grasovsky, A. 1929. Some aspects of light in the forest. Yale Univ. School For. Bull. 23, pp.53.
- Grumbine, R.E. 1994. What is ecosystem management? Conserv. Biol. 8:27-38.
- Han, Y., H. Chen, K. Klinka and G.J. Kayahara. 1995. Effects of light on growth, crown architecture,

- and specific leaf area for naturally established *Pinus contorta* var. *latifolia* and *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca* saplings. *Can. J. Res.* 26:1149-1157.
- Harper, J.L. 1977. *Population Biology of Plants*, Academic, London, pp.892.
- Hayashida, M. 1989. Seed dispersal by red squirrels and subsequent establishment of Korean pine. *Forest Ecology and Management* 28:115-129.
- Hirao, T. 1940. The reaction of *Pinus koraiensis* Seedlings to shade. *J. J. For. Soc.* 22:15-19.
- Holmsgaard, E. 1962. Influence of weather on growth and reproduction of beech. *Commun. Inst. Forst. Fenni.* 55:1-5
- Hoyer, G.E. 1980. Height growth of dominant western hemlock trees that had been released from understory suppression. *Washington State Department of Natural Resources Note. No. 33*, pp.5.
- Hunter, M.L.Jr. 1996. *Fundamentals of conservation biology*. Blackwell Science, Cambridge, Mass. pp.370.
- Izmodenov, A.G. 1967. The fruiting of *Pinus koraiensis* in the northern part of its range. *Rastit. Resur. Moskva*, 3:358-546. (in Russian)
- Jaeck, L.L., C.D. Oliver and D.S. DeBell. 1984. Young stand development in coastal western hemlock as influenced by three harvesting regimes, *Forest Science* 30:117-124.
- Janzen, D.H. 1969. Seed-eaters versus seed size, number, toxicity and dispersal. *Evolution* 23:1-27.
- Janzen, D.H. 1971. Seed predation by animals. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 2:465-492.
- Jensen, T.S. 1985. Seed-seed predator interactions of European beech, *Fagus sylvatica* and forest rodents, *Clethrionomys glareolus* and *Apodemus flavicollis*. *Oikos* 44:149-156.
- Jensen, T.S. and O.F. Nielsen. 1986. Rodents as seed dispersals in a health- oak wood succession. *Oecologia (Berlin)* 70:214-221.
- Jhang, D. 1988. The early growth of Korean pine. *Northern Forest silviculture and management. IUFRO Symposium Proceedings. Northeast Forestry University press III.* pp.58-60.
- Jiang, Y. 1985. The growth and growth models of *Pinus koraiensis*. *Journal of Northeastern forestry college* 3-2:10-15.
- Johnson, E.A. 1975. Buried seed populations in the subarctic forest east of Great Slave Lake, Northwest Territories. *Canadian Journal of Botany* 53:2933-2941.

- Karlsson, A., A. Albrektson, A. Forsgren and L. Svensson. 1998. An analysis of successful natural regeneration of downy and silver birch on abandoned farmland in Sweden. *Silva Fennica* 32(3):229-240.
- Kawamich, M. 1980. Food, food hoarding and seasonal changes of Siberian chipmunks. *J. J. Ecol.* 30:211-220.
- Kimmins, J.P. 1996. *Forest Ecology*. Macmillan Publishing Company, New York, pp.596.
- Kitajima, K. and K.P. Hogen. 2003. Increases of chlorophyll a/b ratios during acclimation of tropical woody seedlings to nitrogen limitation and high light. *Plant, Cell and Environment* 26:857-865.
- Kovach. 2000. Multivariate statistical package (Version 3.12). Kovach computing services.
- Kozłowski, T.T. 1971. Growth and development of trees, I. Seed germination, Ontogeny and shoot growth. Academic press, New York. pp.443.
- Krefting, L.W. and E.I. Roe. 1949. The role of some birds and mammals in seed germination, *Ecological Monographs* 19:269-286.
- La, Y.J. and C.K. Yi. 1975. The status of a White pine blister in Korea. *Journal of Korean forestry society* 28:97-100.
- Lamb, R.C. 1973. Apparent influence of weather upon seed production of loblolly pine, USDA Forest Service Research Note SE-183, pp.7.
- Lang, A. 1963. Effects of some internal and external conditions on seed germination. *Encyclopedia of Plant Physiology* 15:848-893.
- Lanner, R.M. 1980. Avian seed dispersal as a factor in the ecology and evolution of limber and white bark pines. In B.P. Dancik and K.O. Higginbotham (eds.), *Proc. Sixth North American For. Biol. Workshop*. Univ. Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.
- Larson, B.C. 1982. Development and growth of even-aged and multi-aged mixed stands of Douglas-fir and grand fir on the east slope of the Washington Cascades, unpublished Ph. D. dissertation, University of Washington, Seattle, pp.912.
- Lester, D.T. 1967. Variation in cone production of red pine in relation to weather. *Can. J. Bot.* 45:1683-1691.

- Li, J., H. Zhan and C. Liu. 1988. Regeneration and management of the Korean pine forest in the Lesser Xingan Mountains of Northeast China. Northern Forest silviculture and management. IUFRO Symposium Proceedings. Northeast Forest University Press III. pp.1-5.
- Li, J., C. Liu and H. Zhang. 1988. Dynamics of litterfall and its nutrient in mixed Deciduous / *Pinus koraiensis* forest in the Lesser Xingan Mountains. Northern Forest silviculture and management, IUFRO symposium proceedings. Northeast Forestry University Press II. pp.111-114.
- Li, J., C. Liu, G. Xu, J. Li and H. Zhan. 1984. Preliminary report on direct seeding of red pine (*Pinus koraiensis*) in forest stands. Journal of Northeast. Forest Institution 12:30-38.
- Li, J., C. Yao, G. Xin, J. Zhao and W. Liu. 1994. The development of Korean pine forest ecosystem. Korean pine studies(I). Northeast Forestry University press. pp.33-41.
- Li, J. 1976. The growth and tending in Korean pine plantation. Scientia silvae sinicae 2:39-46.
- Li, R., Y. Wang, X. Zhou and D. Chen. 1988a. The comparison studies between the quantitative and qualitative methods on the natural regeneration of broadleaved-Korean pine forest. Journal of northeast forestry university 16:11-16.
- Li, X., Z. Xu and D. Tao. 1989. Natural regeneration of Korean pine in broadleaved-Korean pine stands on Fenglin natural reserve of Xiaoxing Anling. Journal of Northeast forestry university 17:1-6.
- Li, J., C. Liu and C. Yao. 1990. Study on chlorophyll contents and growth of Korean pine seedlings under forest canopies. Journal of Northeast Forestry University 18:21-26.
- Li, J. 1986. The pattern and dynamics of *Pinus koraiensis* population. Journal of Northeast Forest Institution 14:33-38.
- Li, X., Q. Wang and X. Nian. 1994. Effects of different mixed proportions on stand quality of Korean pine plantations. Korean pine studies(I). Northeast Forestry University press. pp.55-61.
- Liu, B., J. Li and D. Liu. 1994. Animal position and protection in ecosystem of virgin broad-leaved forest of Korean pine. Korean Pine studies(I). Northeast Forestry University Press. pp.238.
- Magurran, A.E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

- Matthews, J.D. 1955. The influence of weather on the frequency of beech mast years in England. *Forestry* 28:107-115.
- Mirove, N.T. 1967. *The Genus Pinus*. Ronald Press, New York. pp.602.
- Miyaki, M. 1987. Seed dispersal of the Korean pine (*Pinus koraiensis*) by the red squirrel, *Sciurus vulgaris*. *Ecol. Res.* 2:147-157.
- Nixon, C.M., D.M. Worley and M.W. McClain. 1968. Food habits of squirrels in Southeast Ohio. *Journal of Wild animal management* 32:294-304.
- Odum, E.P. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 1964:262-270.
- Oliver, C.D. 1976. Growth response of suppressed hemlocks after release, in W. Atkinson and R. J. Zasoski (eds.), *Western hemlock Management*, University of Washington Institute of Forest Products Contribution No. 34, pp.266-272.
- Oliver, C.D. 1992. A landscape approach: achieving and maintaining biodiversity and economic productivity. *Journal of Forestry* 90:20-25.
- Oliver, C.D. and B.C. Larson. 1996. *Forest Stand Dynamics*. John Wiley & Sons, Inc. pp.520.
- Pearcy, R.W. 1990. Sunflecks and photosynthesis in plant canopies. *Annu. Rev. Physiol. Plant Mol. Biol.* 41:421-453.
- Pfiftsch, W.A. and R.W. Pearcy. 1989. Daily carbon gain by *Adenocaulon bicolor*, a redwood forest understory herb, in relation to its light environment. *Oecologia* 80:465-470.
- Pigott, C.D. and J.P. Huntrey. 1981. Factors controlling the distribution of *Tilia cordata* at the northern limits of its geographical range. III. Nature and causes of seed sterility. *New Phytol.* 87:871-839.
- Potvin, F., R. Courtois and L. Belanger. 1999. Short-term response of wildlife to clear-cutting in Quebec boreal forest: multiscale effects and management implications. *Can. J. For. Res.* 29:1120-1127.
- Rehfeldt, G.E., A.R. Stage and R.T. Bingham. 1971. Strobili development in western white pine: periodicity, prediction and association with weather. *Forest Science.* 17:454-461.
- Ridley, H.N. 1930. *The Dispersal of Plants Throughout the World*. L. Reeve & Co., Ashford, Kent. pp.744.

- Sarvas, R. 1962. Investigations on the flowering and seeds crop of *Pinus silvestris*. Comm. Inst. For. Fenn. 53:1-195.
- Schopmeyer, C.S. 1974. Seeds of woody plants in the United States, USDA Forest Service Agriculture Handbook No. 450, pp.883.
- Shao, G. 1988. Modeling optimal growth of the main species of mixed deciduous-*Pinus koraiensis* (Korean pine) forests. Northern Forest silviculture and management, IUFRO Symposium proceedings. Northeast Forestry University Press IV. pp.28-31.
- Shaw, M.W. 1968. Factors affecting the natural regeneration of sessil oak (*Quercus petraea*) in North Wales. 2. Acorn losses and germination under field conditions. J. Ecol. 56:647-660.
- Silvertown, J.W. 1980. The evolutionary ecology of mast seeding in trees. Biol. J. Linnean Soc. 14:235-250.
- Smith, C.C. 1970. The coevolution of pine squirrels (*Tamiasciurus*) and conifers. Ecol. Monogr. 40:349-371.
- Smith, C.C., and O.J. Reichman. 1984. The evolution of food caching by birds and mammals. Ann. Rev. Ecol. Syst., 15:329-351.
- Smith, E.R., and K.H. Ritters. 1994. A comparison of forest canopy transmittance estimators. Canadian Journal of Forest Research 24:188-192.
- Son, Y., J.W. Hwang, Z.S. Kim, W.K. Lee and J.S. Kim. 2001. Allometry and biomass of Korea pine (*Pinus koraiensis*) in central Korea. Bioresource Technology 78:251-255.
- Sork, V.L., J. Bramble and S. Owen. 1993. Ecology of masting-fruitletting in three species of North American deciduous oaks. Ecology 74:528-541.
- Spurr, S.H. and B.V. Barnes. 1980. Forest Ecology, 3rd ed., John Wiley, New York. pp.687.
- Stapanian, M.A. and C.C. Smith, 1978. A model for seed scatter-hoarding: Coevolution of fox squirrels and black walnuts. Ecology 59:884-896.
- Stebbins, G.L. 1970. Variation and evolution in plants: progress during the past twenty years. In Max K. Hecht and William C. Steere (ed.), Essay in Evolution and Genetics. Appleton-Century-Crofts, New York.
- Tan, X., F. Zhang and Z. Wang. 1994. A study on artificially inducing broad-leaved Korean pine

- forests. Korean pine studies(I). Northeast Forestry University Press. pp.99-105.
- Ter Braak, C.J.F. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67:1167-1179.
- Thomas, J.W. and S. Huke. 1996. The Forest Service approach to healthy ecosystems. *J. For.* 94(8):14-18.
- Thomas, T., R.T. Lei, M. Kitao and T. Koike. 1996. Functional relationship between chlorophyll content and leaf reflectance, and light-capturing efficiency of Japanese forest species. *Physiologia Plantarum* 96:411-418.
- Thompson, D.C. 1977. Reproductive behavior of the grey squirrel, *Can. J. Zool.* 55:1176-1184.
- Thompson, D.C. and P.S. Thompson. 1980. Food habits and caching behavior of urban gray squirrels. *Can. J. Zool.* 58:701-710.
- U.S. Department of Agriculture. 1974. Seeds of Woody plants in the United States. USDA For. Serv. Agr. Handbook No. 450. Washington, D.C. pp.883.
- Vander Pijl, L. 1972. Principles of Dispersal in Higher Plants. Springer-Verlag, New York. pp.162.
- Vander Wall, S.B. and R.P. Balda. 1977. Coadaptation of Clark's nutcracker and the piñon pine for efficient seed harvest and dispersal. *Ecol. Mongor.* 47:89-111.
- Wang, G., Y. Ning, S. Zhang and F. Shu. 1994. The necessity and feasibility of establishing seed orchard of Korean pine from plantations. Korean pine studies(I). Northeast Forestry University Press. pp.198-201.
- Wang, S., J. Ge and D. Chen. 1988. Response of understory Korean pine to partial overstory removal in the Lesser Xingan Mountains. Northern Forest silviculture and management, IUFRO Symposium proceedings. Northeast Forestry University Press II. pp.75-77.
- Wang, Z. 1980. The main forest type and their features of community structure in northern slope of the Changbai Mountain. *Forest Ecosystem Research* 1:25-42.
- Wang, Z. and Z. Xu. 1981a. Korean pine forest. Beijing; Chinese Forestry Press.
- Wang, Z. and Z. Xu. 1981b. Study on the law of stand growth in broad-leaved Korean pine forest after selective cutting. *Forest Ecosystem Research* 1:1-22.
- Wang, Z. 1983. Korean pine forest. Agriculture Press.

- Watt, A.S. 1947. Pattern and process in the plant community. *J. Ecology* 35:1-22.
- Went, F.W., G. Juaren and M.C. Juaren. 1952. Fire and biotic factors affecting germination, *Ecology* 33:351-359.
- Wu, Z. 1994. An overview on Korean pine studies. Korean pine studies(I). Northeast Forestry University press. pp.10-20.
- Xiang, C. 1985. Bleeding canker of Korean pine. *Journal of Northeast Forestry University* 4:28-42.
- Xu, Z., H. Dai and X. Li. 1986. Rational management of broad-leaved / *Pinus koraiensis* (Korean pine) forest and improvement of woodland productivity in north-east China. The Temperate Forest Ecosystem. Institute of Terrestrial Ecology. Natural Environment Research Council pp.59-67.
- Yamamoto, S. 1988. Seedling recruitment of *Chamaecyparis obtusa* and *Sciadopitys verticillata* in different microenvironments in an old-growth *Sciadopitys verticillata* forest. *The Botanical Magazine of Tokyo* 101:61-71.
- Yanag H. and Y. Wu. 1986. Tree composition, age structure and regeneration strategy of the mixed broad-leaved / *Pinus koraiensis* (Korean pine) forest in Changbai Mountain Reserve. The Temperate Forest Ecosystem. Institute of Terrestrial Ecology, Natural Environment Research council. pp12-20.
- Yao, Y. 1983. Preliminary study on physiology of seedlings of *Pinus koraiensis*. *Journal of Institute of Forestry and Soil Science, Academic Sinica*.
- Yeh, W. 1988. Character and Regeneration of Northern forests in Northeast China. Northern Forest silviculture and management. IUFRO Symposium proceedings. Northeast Forestry University Press I. pp.1-3.
- Zhan, H., S. Rhen and S. Shen. 1986. Light characteristics under shade conditions and growth of planted Korean pine seedlings. *Journal of Northeast Forestry* 2:25-33.
- Zhan, H., S. Rhen and S. Shen. 1989. Nutrient characteristics of Korean pine seedlings. *Journal of Northeast forestry university* 17:9-17.
- Zhang, D. 1988. The early growth of Korean pine. Northern Forest silviculture and management. IUFRO Symposium proceedings. Northeast Forestry University Press II. pp.58-60.

- Zhang, S. and Y. Chen. 1988. The relationship between the growth of Korean pine and climatic factors in the Lesser Xingan Mountains. Northern Forest silviculture and management. IUFRO Symposium proceedings. Northeast Forestry University Press II. pp.92-95.
- Zhou, Y., J. Wan, Y. Shang and F. Xiao. 1994. Recent situations of Korean pine plantations in Dailing Forestry Bureau and ideas about thinning measures in future. Korean pine studies(I). Northeast Forestry University press. pp.62-66.

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.