

최 종  
연구보고서

잣나무의 새로운 유전자원 탐색 및  
다수확품종 개발에 관한 연구

A Study on The Development of New Genetic Resources  
and High Yielding Varieties of Korean Pine

연 구 기 관

영 남 대 학 교

고 려 대 학 교

임 업 연 구 원

농 립 부

# 최 종 보 고 서

190mm×268mm

2001 년도 농림기술개발사업에 의하여 완료한 잣나무의 새로운 유전자원 탐색 및 다수확 품종 개발에 관한 연구에 관한 연구의 최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

첨부 : 1. 최종보고서 10부

2. 최종보고서 디스켓 1매

2001 년 10 월 29 일

주관연구기관 : 영 남 대 학 교

총괄연구책임자 : 황 재 우

주관연구기관장 : 영 남 대 학 교 총 장 직 인

농 립 부 장 관 귀 하

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “잣나무의 새로운 유전자원 탐색 및 다수확품종 개발에 관한 연구”  
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2001 년 10 월 일

주관연구기관명 : 영남대학교

총괄연구책임자 : 황 재 우

연 구 원 : 이 도 형

연 구 원 : 박 재 철

협동연구기관명 : 고려대학교

협동연구책임자 : 김 진 수

연 구 원 : 권 해 연

연 구 원 : 권 용 락

협동연구기관명 : 고려대학교

협동연구책임자 : 이 우 균

연 구 원 : 서 정 호

연 구 원 : 김 윤 경

연 구 원 : 정 기 현

연 구 원 : 양 수 영

협동연구기관명 : 임업연구원

협동연구책임자 : 김 태 수

연 구 원 : 한 상 역

연 구 원 : 송 정 호

# 요 약 문

## I. 제 목

잣나무의 새로운 유전자원탐색 및 다수확품종 개발에 관한 연구

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

1. 잣나무의 천연림과 인공림의 입지환경인자, 식생구조 등을 파악하며, 물질생산을 추정하는 회귀식을 개발하고 이들간의 관계를 구명하며, 시비와 간벌의 시업이 침엽과 소지의 생장과 양분 상태에 미치는 영향을 연구하여 이를 시업시 활용하도록 한다.
2. 미조사된 국내외 잣나무 천연림의 유전자원을 탐색하고, 천연집단과 다수확개체군에서의 유전적 다양성과 구조를 추정하여 이를 기초로 잣나무 유전자원의 보존을 위한 구체적이고도 실질적인 전략을 제시하도록 한다.
3. 잣나무 다수확 개체를 선발하고, 영양번식방법에 의하여 증식하고, 수형 유도에 의하여 수형을 왜성화하여 구과채취를 손쉽게 하여 수확량을 증대시키는 방법을 모색하여 생산을 극대화할 수 있는 시업방안을 모색한다. 이러한 잣나무의 다수확 개체와 수형조절법은 산촌 농가에서 과수목처럼 소득원으로 활용될 수 있으리라 기대된다.
4. 인공식재림에 대해 관리방법에 따라 생장 및 수확량을 다양하게 예측할 수 있는 동적생장모델과 천연림의 생장을 예측할 수 있는 단목생장모델을 우선적으로 구축하고, 이를 기반으로 경영모델을 구축하여 잣나무림의 생산성 및 수익성을 경영형태 및 목표별로 분석하여, 자원의 현존량, 생장량, 예상되는 수요 및 가능성 등의 인자를 토대로 경제성분석을 실시하여 앞으로 잣의 생산경영에 필요한 적정규모를 선정하며 잣나무와 관련된 정책결정에 필요한 자료를 제공한다.

### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 생태입지분야에서는 잣나무 인공림과 천연림의 식생구조 및 유기물과 무기광물 토양층의 물리, 화학적 성질을 연구하며, 이를 토대로 잣나무의 성장, 특히 지상부의 생체량에 영향을 미치는 주요 인자를 밝힌다. 또한 잣나무의 물질생산량을 추정하기 위한 allometry 회귀식을 개발하여 성장의 지수로 활용하도록 한다. 그리고 일반적으로 잣나무에 대하여 널리 실행되는 시비와 간벌의 효과를 분석한다. 이를 위하여 질소 단독 비료와 질소와 인의 복합비료를 시용하고 당년 및 차년도에 침엽과 소지의 성장 및 양분 변화를 측정하며, 세 가지 강도의 간벌 후 침엽과 소지의 성장과 양분의 변화상태를 연구한다.

2. 유전변이 분야에서는 우선 기존에 조사·보고되지 않았던 잣나무 천연림의 새로운 유전자원 탐색을 위하여, 국내에서는 태백산과 팔공산 지역, 국외로는 중국의 흑룡강성 3개 지역과 러시아 하바로프스크 지역의 보호림을 탐사하여 자원의 현황을 조사하고 유전자원 확보의 가능성을 타진한다. 또한 등위효소와 RAPD 표지자를 사용하여, 국내 4집단, 중국 5집단, 러시아 3집단의 변이를 각각 조사·분석하여 이들 집단의 유전적 다양성과 구조, 분화 정도를 추정하며, 다수확개체로서 선발된 그룹의 유전적 특성에 대한 정보를 얻기 위해 RAPD 표지자로 유전분석을 실시하고 그 결과를 일반 수형목 그룹, 설악산 권금성 천연림의 결과와 비교한다. 마지막으로 조사된 집단의 유전변이의 특성과 구조를 종합하여 유전자원 보존 전략을 제시한다.

3. 신품종개발분야에서는 잣나무의 종자생산원을 과수원처럼 관리하기 위하여 조기에 개화시키는 방법으로 고접을 통한 증식방법을 구명하며, 구과채취방법을 용이하게 하기 위하여 채종목을 왜성화 및 다간 유도를 통한 변칙주간형으로 조절, 관리방안을 조사하며 조성된 잣나무 다수확 종자생산원은 유전변이 분석을 통하여 기존의 잣나무보다 지속적으로 개량효과를 증진시킬 수 있을 것이며, 생태입지분야의 연구결과를 적용하여 관리방법을 합리적으로 유도하고, 경영모델을 적용하여 농가에서 과수원처럼 잣 생산을 할 수 있도록 하여 농촌소득에 기여하고자 한다.

4. 경제적인 측면에서 잣나무는 목재와 잣을 동시에 생산해 낼 수 있는 주요 경제수종의 하나이다. 따라서 목재와 잣을 동시에 생산해 낼 수 있는 복합경영형태로 잣나무 임분의 생산성을 높일 필요가 있다. 이러한 복합적인 산림경영을 위해서는 임분의 성장 및 수확량을 임상 및 경영목표에 따라 다양하게 예측할 수 있어야 한다. 이를 위해 경영분석 분야에서는 인공식재림에 대해 관리방법에 따라 성장 및 수확량을 다양하게 예측할 수 있는 동적성장모델과 천연림의 성장을 예측할 수 있는 단목성장모델을 우선적으로 구축하고, 이를 기반으로 경영모델을 구축하여 잣나무림의 생산성 및 수익성을 경영형태 및 목표별로 분석코자 한다.

## IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 생태임지분야의 주요 연구 결과는 다음과 같다. 잣나무 천연림의 출현식생을 임관의 층위별로 보면 상층과 중층에는 신갈나무와 당단풍 그리고 하층에는 진달래, 산철쭉, 철쭉, 싸리 종류가 가장 빈번하게 나타나고 있다. 또한 잣나무 천연림이 출현하는 임지는 대부분 해발고도가 800m 이상이고, 일반적으로 남향 또는 남동향의 사면이다. 유기물층의 깊이는 국부 지형에 따라 차이가 있으나 10cm 이상 되는 곳이 많은데, 이는 잣나무 순림의 인공림에서보다 혼효되어 있는 낙엽활엽수의 낙엽 공급량이 많고 또 고지대의 경사지에 위치하여 낙엽의 분해속도가 느리기 때문인 것으로 보인다. 강원도 철원군, 경기도 가평군과 양평군, 경기도 의정부시 등의 잣나무 인공조림지 하층식생은 지역에 따라 약간의 차이는 있으나, 신갈나무, 갈참나무, 당단풍, 국수나무, 생강나무, 산뽕나무, 산초나무, 팔배나무, 물푸레나무, 졸참나무, 진달래 등이 일반적으로 출현하고 있다. 잣나무 인공림의 하층식생은 천연임분에 비하여 매우 빈약하며, 임관의 율폐도가 높아질수록 내음성이 강한 종들이 출현하는 현상을 보이고 있다. 잣나무 인공조림지는 천연림에 비하여 고도와 경사가 낮은 지대에 분포하고 있기 때문에 무기광물을 구성하는 입자가 천연림의 경우보다 미사와 점토의 비율이 높은 양토에 가까운 성질을 보이고 있다. 그러나 유기물이 대부분 잣나무의 침엽에서 유래하고 이로부터 발생하는 유기산의 농도가 높은 때문에 pH는 천연림에서보다 낮은 경향을 보이고 있다. 즉 무기양분의 농도가 비교적 높은 낙엽활엽수의 계속적 공급이 있는 천연림의 유

기물층과 무기광물 토양층의 pH가 상대적으로 높다. 매년 토양으로 유입되는 유기물의 양은 낙엽활엽수와 혼생하고 있는 잣나무 천연림에서 많을 것이므로 무기광물토양 내의 유기탄소 (유기물)의 함량 또한 잣나무 인공림에서 낮게 나타나고 있다. 잣나무 인공림에서 미사와 점토의 함량이 높아 염기성 양이온의 흡착, 보유력이 높고 이에 따라 토양 내 양이온의 농도와 CEC가 천연림에서보다 높다.

지상부 생체량을 추정하기 위하여 잣나무 임목을 벌채하고 부위별로 건량을 측정한다. 다음 흉고직경을 이용하여 생체량을 추정하는 회귀식을 조제하였다. 이 회귀식으로 천연림과 인공림에서의 생체량을 추정한 결과는 다음과 같다. 천연림 내의 잣나무 생체량은 118 t/ha이고, 인공림의 생체량은 임령과 직선적으로 비례하는 관계에 있으며 2영급의 52.3 t/ha에서 7영급의 317.9 t/ha까지 범위를 보이는 것으로 나타났다. 지상부 전체의 생체량에 대한 수간목부와 수피의 비율은 임령이 증가할수록 감소하나 가지와 침엽의 비율은 증가하였다. Specific leaf area는 35.2-52.1 cm<sup>2</sup>/g으로 수간의 위치와 침엽의 연령에 따라 차이가 있는 것으로 나타났고, 일반적으로 수간 하부의 당년생 침엽에서 가장 높은 값을 보였다. 잣나무에서 일반적으로 무기광물 토양 성질 가운데서 주로 Mg, Ca, 유기탄소 등이 생체량에 영향을 미치는 중요한 인자이며, 유령림에서는 Ca, Mg, K 등의 양이온이, 장령림에서는 양이온 외에 CEC, 총인, 유기탄소, 유효인산 등이 중요한 인자로 나타났다. 토양의 유기물과 생체량간에서는 유령림인 경우 K, pH 등이 중요한 인자이며, 장령림에서는 Na, Ca, K 등이 중요한 것으로 나타났다. 시비와 간벌이 잣나무 당년생 침엽과 소지의 성장 및 양분 상태에 미치는 영향을 연구하기 위하여 용인과 춘천지역에 조성된 잣나무 다수확 품종 클론보존원에서 세 수준의 질소 비료를 2개 임령의 임분에 처리하였고, 양평지역 2개 임령의 임분을 대상으로 세 수준의 간벌을 실시하였다. 질소 시비와 간벌의 효과는 지역과 임령에 따라 큰 차이를 나타내었는데, 질소 시비의 경우는 높은 임령의 소량시비목에서 침엽과 소지의 건량이 증가하였으며, 간벌의 경우는 12년생 임분의 중도 간벌 후 소지의 성장과 소지 내 질소의 농도가 증가하는 현상을 보였다. 시비 후 1년에 경과한 다음의 해의 침엽 건량이 시비구에서 대조구보다 높게 나타나 시비효과가 침엽의 건량 증가에 2년에 걸쳐 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 소지의 경우도 건량이나 길이 증가 효과가 시비 후 2년에 걸쳐 나타났다. 질소와 인의 복합비료를 사용한 경우 당년에 나타난 효과는 침엽의 건량 및 질소 농도, 그리고 소지의 건량과 질소 농도를 증가시켜 질소 단독 시비

와 큰 차이가 없었다. 시비의 생장 및 양분에 대한 효과는 소량시비에서 뚜렷한 현상을 보였다. 또한 간벌 후 1년이 경과한 다음의 침엽과 소지 생장도 중도간벌에서 효과가 큰 것으로 나타났다.

2. 유전변이 분야의 주요 성과는 다음과 같다. 우선 국내에서 아직 조사 보고되지 않은 잣나무 천연림 2지역 (팔공산, 태백산)을 발굴하여 기초조사를 수행하였다. 또한 국외로는 잣나무 자원이 매우 풍부한 중국의 흑룡강성을 중심으로 3곳의 자연보호구를 탐사하였으며, 러시아 하바로브스크를 방문하여 그 곳의 잣나무 자원의 현황과 연구동향을 파악한 후, 이 지역의 유전변이 분석을 위한 식물재료의 확보방안을 강구하였다.

동위효소와 RAPD 표지자를 이용하여 지리산, 팔공산, 태백산, 설악산 등 국내 4집단, 草河口, 露水河, 汪清, 小北湖, 凉水 등 중국 5집단, Nizhnetambovsk, Amur Kur-Umi, Amur Komsomolsk 등 러시아 3집단으로부터 채취한 잣나무 종자를 이용하여 유전변이를 분석하였다. 12개 동위효소 18개 다형적 유전자좌로부터 대립유전자 빈도 분포를 조사한 결과 대부분의 유전자좌에서 지역(국가)에 상관없이 공통의 대립유전자가 주대립유전자인 것으로 나타났으나, 일부 유전자좌(*Lap-A*, *Mdh-B*, *Mnr-A*)의 경우 지역에 따라 주대립유전자가 바뀌거나 위도가 증가함에 따라 특정 대립유전자의 빈도가 증가하는 경사 (cline)를 나타냈다. 또 한국이나 러시아 집단에 비해서 중국집단이 보다 많은 unique allele을 보유하는 것으로 나타났다. 잣나무 전 집단의 유전적 다양성은  $A/L=1.95$ ,  $P_{95}=46.8$ ,  $H_o=0.158$ ,  $H_e=0.169$ 로 나타났는데, 지역(국가)별로는 한국의 경우  $A/L=2.0$ ,  $P_{95}=45.8$ ,  $H_o=0.156$ ,  $H_e=0.181$ 이었고, 중국에서는  $A/L=2.0$ ,  $P_{95}=50.0$ ,  $H_o=0.172$ ,  $H_e=0.173$ 이었으며, 러시아에서는  $A/L=1.8$ ,  $P_{95}=42.6$ ,  $H_o=0.136$ ,  $H_e=0.148$ 이었다. 이는 한국과 중국이 러시아에 비해서 상대적으로 많은 유전변이를 보유하고 있음을 나타낸다. Wright의  $F$  분석 및  $\chi^2$  분석결과 잣나무는 대체로 Hardy-Weinberg 평형상태에 있는 것으로 나타났다. 집단의 유전적 분화를 나타내는  $F_{ST}$  값은 12개 집단 전체에서 0.069로 나타나, 전체 유전변이 가운데 약 7%는 집단 간 차이에서, 나머지 93%는 집단내 개체간 차이로부터 비롯됨을 알 수 있었다. 한편, 각 국가별  $F_{ST}$  값은 한국이 0.061, 중국이 0.052, 러시아가 0.033으로 한국이 중국이나 러시아의 값보다 높게 나타났는데, 이는 한국의 경우 잣나무 천연림이 집단



별로 고립되어 불연속적으로 분포하기 때문에 집단 간 유전적 교류가 제한되어 기인된 것으로 사료된다. Nei의 유전적 거리를 이용하여 UPGMA법에 의한 유집분석을 실시한 결과, 한국의 4집단이 소 그룹을 형성한 후 중국의 草河口, 露水河, 凉水 집단과 하나의 그룹을 이루었으며, 러시아 3 집단과 중국의 汪清, 小北湖 집단이 또 다른 하나의 그룹을 이루었다. 일반적으로 지리적으로 가까운 집단들이 유전적으로도 가까운 것으로 나타났는데, 중국의 汪清, 小北湖 집단은 지리적으로 草河口, 露水河 집단에 가까웠으나 유전적으로는 러시아에 분포하는 집단들과 보다 가까운 것으로 나타났다. 이는 小興安嶺 산맥과 이어진 고산지대를 중심으로 汪清, 小北湖 집단은 동쪽에 草河口, 露水河 집단은 서쪽에 분포하여 두 그룹간에 유전적 교류가 상대적으로 제한되어 유도된 결과로 사료된다.

5개 primer로부터 얻어진 RAPD 42개 증폭산물 가운데서 38개가 다형성을 나타내었는데, 잣나무 전체 집단에 대한 Shannon's index의 평균값은 0.2933으로 나타났다. 이 값들을 국가별로 구해 보면 한국의 경우 0.3056, 중국의 경우 0.2912, 러시아의 경우 0.2804로 나타나 동위효소 분석결과와 마찬가지로 한국과 중국 집단이 러시아 집단에 비해서 유전변이가 높은 것으로 나타났다. AMOVA 분석 결과 전체 유전분산 가운데 국가 간이 3.4%, 국가내 집단 간이 10.08%, 집단내 개체간이 86.52%를 차지하는 것으로 나타났으며, 집단의 유전적 분화를 나타내는  $\Phi_{ST}$ 값은 한국 집단이 0.299로 중국집단의 0.283이나 러시아의 0.241보다 조금 높게 나타나 동위효소 분석을 통해 구한  $F_{ST}$  값과 동일한 경향을 나타냈다. Nei의 유전적 거리를 이용하여 유집분석을 실시한 결과 역시 동위효소 분석에서와 동일한 pattern을 보여주었다. 이상의 결과로부터 이미 다른 연구들에서도 보고된 바와 같이 동위효소와 RAPD 수준에서의 유전변이는 상당히 유사함을 알 수 있었으며, 공통적으로 한국에서 러시아로 위도가 높아질수록 변이량이 줄어드는 경향을 나타내었다. 한국, 중국, 러시아의 세 지역간 분화와 각 지역내 집단 간 분화는 적었으며, 유전자 이동 (gene flow)을 나타내는  $N_m$ 값이 3.4로 상당히 크게 나타난 것은 이와 같은 결과를 상당부분 뒷받침하는 것으로 보인다.

다수확 선발개체들의 기초적인 유전적 특성을 조사하기 위해 다수확 선발목 39개체, 일반 수형목 32개체, 권금성 천연림으로부터 32개체를 선발, 침엽을 채취한 후 RAPD 분석을 실시하였다. 7개 primer, 52개의 증폭산물로부터 유전변이를 조사한 결과 다수

확 개체에서만 특이적으로 나타나는 band는 발견할 수 없었다. Shannon's index를 구한 결과 일반 수형목의 경우 0.3035, 다수확 개체 0.3002, 권금성 집단 0.2898로 나타나 일반 수형목과 다수확 개체가 권금성 천연집단에 비해 유전변이가 다소 높은 것으로 나타났다. 이는 일반수형목과 다수확 품종의 경우 전국을 대상으로 개체들이 선발되었기 때문에 단일 지역에서 선발된 개체들에 비해서 유전적 base가 넓기 때문에 보다 다양한 유전변이를 보유하고 있는 것으로 사료된다. 잣나무의 경우 경제적, 생태적 가치 때문에 유전자원 보존의 중요성이 매우 크다고 보겠다. 한국에 자생하는 잣나무 집단의 경우 남방한계지에 분포하면서 그 분포가 불연속적이고 고립되어 나타남에도 불구하고 잣나무 자원이 풍부한 중국집단들과 비교할 때 유사한 정도(또는 보다 높은)의 유전적 다양성을 보유하고 있는 것으로 나타나 보존가치가 매우 큰 것으로 나타났다. 그런데, 중국이나 러시아 집단에 비해서 유전적 분화가 높은 것으로 나타나 현지 내 보존을 위한 집단 선정시 다수 집단 (가급적이면 전 집단)을 선정해야 하는 것으로 추정되었다. 러시아 집단의 경우 중국이나 한국에 비해서 유전변이는 적었으나 역시 북방한계지에 분포하고 유집분석 결과 중국이나 한국의 집단들과는 상이한 별개의 군락을 형성함으로써 보존의 가치가 큰 것으로 나타났다. 앞으로 잣나무에 대한 보다 정밀한 진화유전학적 특성을 구명하기 위해서는 북한 잣나무 집단을 대상으로 한 연구가 요망되며, 유전자원 보존 측면에서도 북한 잣나무 집단의 중요성이 클 것으로 사료된다.

3. 신품종 개발 분야에서의 주요 성과는 다음과 같다. 잣나무는 우리나라의 향토수종으로 양질의 목재와 식용으로 이용되는 종실 때문에 많은 관심을 받아 최근 5년간 우리나라 전체 조림면적의 약 30%를 차지하는 중요한 경제조림 수종중에 하나가 되었다. 그러나 중요한 임산물중의 하나이던 잣 종실은 구과채취의 위험성 및 인력 부족으로 인한 인건비 상승, 값싼 중국산 잣의 대량 수입 등의 문제로 인하여 농가 소득원으로서 중요도가 떨어지고 있어 애석하게도 조림 선호도가 점차 감소하고 있는 추세에 있다. 그러나 우리나라의 잣 종실은 중국산에 비하여 신선도, 품질 등이 우수하기 때문에 일부 지역에서 생산된 잣은 아직도 비싼 값에 거래되고 있어 우리나라의 우수한 품질의 잣을 손쉬운 방법으로 대량생산하여 보다 저렴한 가격으로 상품화하면 중국산과 경쟁력을 충분히 갖추면서 농가의 소득 증대나 산림자원 등 다목적 경영 측면에서

도 매우 고무적일 것이다. 따라서 이러한 환경여건에 대처하기 위해서는 다수확 잣 종실 생산을 목적으로 하는 품종선택, 재배·갱신기술 및 합리적인 관리방법 등의 근본적인 연구가 이루어져야 한다. 우리 나라도 가격 및 품질수준에서 경쟁력만 갖출 수 있다면 잣 종실은 임산물로서 중요한 위치를 차지할 수 있을 것으로 본다. 잣나무는 목재뿐만 아니라 종실로서도 이용가치가 높은 수종 중에 하나이다. 그러므로 이러한 활용가치가 높은 잣나무의 종실 다수확 개체를 우리나라의 주요 잣 종실 생산지인 3개 장소의 채종림(가평, 홍천, 춘천)과 생장 및 구과 결실 능력이 좋은 수형목의 클론보존원(용인, 춘천)에서 43본 선발하였다. 선발된 잣나무 다수확 개체는 접목 증식을 통하여 0.2ha의 종자생산원으로 조성되어 관리되고 있다. 또한 품질이 좋은 종실의 대량 생산은 물론 구과채취를 손쉽게 하기 위한 채종목의 수형 조절 방법을 체계적으로 구명하고자 잣나무의 역지위 단간과 2년지 주지 단간을 실시하여 채종목을 변칙주간형으로 유도하였다.

#### 4. 생장 및 경영분석 분야의 주요 연구 성과는 다음과 같다.

##### 가. 임분조사 및 생장모델을 위한 자료준비

개체목 단위의 단목생장모델 및 임분단위의 동적생장모델의 구축에 필요한 자료를 동시에 마련하기 위해 위치종속조사방법과 6목법에 근거한 변형거리법(modified distance method)을 개발하여 산림조사를 수행하였다. 표본점에서는 중심목과 각 경쟁목 간의 방위 및 거리를 측정하여 경쟁목의 위치를 파악하였다. 중심목에 대해서는 흉고직경, 수고 및 수관폭을 측정함과 동시에 높이 1.2m에서 목편을 채취하였으며, 경쟁목에서는 흉고직경만을 측정하였다. 채취된 목편의 연륜폭은 연륜측정기(JohanTyp II)를 이용하여 수피 쪽에서 안쪽을 향해 1/100mm 단위로 측정하여 흉고직경의 연년생장자료를 마련하였다. 생장모델구축을 위해 영급이 고루 분포되도록 총 62개의 표본점을 선정하여 조사하였다. 각 표본점의 측정자료 통해 생장모델에 필요한 각종 성장인자를 추정하였으며, SAS의 비선형 회귀분석(NLIN) 및 단순선형분석(REG)을 통해 성장인자간의 함수식을 유도하였다.

##### 나. 생장모델구축

###### 1) 단목생장모델

본 연구에서는 경쟁지수와 연륜성장간의 관계를 분석하고 경기도 및 강원도지역 잣나무 임지에 대한 흉고직경성장모델을 구축하였다. 개체목의 흉고직경과 경쟁지수간의 영향관계 분석을 통해 개체목의 연륜반경생장량( $R'$ )을 종속변수로 설정하고 지위를 결정하는 임령( $age$ ) 및 우세목수고( $h_o$ ), 개체목의 흉고직경( $dbh$ ) 그리고 개체목의 Hegyi 경쟁지수( $HgCI$ )들을 독립변수로 설정하여 모델을 구성하였다. 상기의 변수로 구성된 여러 비선형 회귀식을 분석하여 다음과 같은 반경성장식( $R_h'$ )을 유도하였다.

$$R_h' = 2.5722 \cdot age^{-0.9409} \cdot h_o^{0.0333} \cdot dbh^{0.3116} \cdot HgCI^{-0.2294} \quad (\sqrt{MSE} = 0.059, R^2 = 0.57)$$

위 식은 평균적으로 0.6mm의 오차가 있음을 나타내고 있다. 식의 적합도를 나타내는 결정계수( $R^2$ )는 0.57로 나타났다. 위의 식은 다른 조건이 같다면 개체목의 흉고직경 및 우세목수고는 흉고직경생장에 유리한 영향을 미치는 반면 임령 및 경쟁지수의 증가에 의해서 흉고직경생장이 둔화된다는 일반생장법칙을 잘 나타내고 있어 흉고직경성장식으로 적합하다고 판단되었다.

위 식에서 우세목수고는 일반적으로 수고곡선식에 우세목흉고직경을 대입하여 산출된 것이므로 이 두 인자간에는 일정한 양의 상관관계가 있게 된다. 따라서 우세목수고( $h_o$ )를 우세목흉고직경( $d_o$ )으로 대체한 새로운 모델을 구성하여 새로운 반경성장식( $R_d'$ )을 유도하였다.

$$R_d' = 2.5553 \cdot age^{-0.9412} \cdot d_o^{0.0420} \cdot dbh^{0.3012} \cdot HgCI^{-0.2390} \quad (\sqrt{MSE} = 0.059, R^2 = 0.55)$$

우세목 흉고직경을 변수로 하는 성장식도 일반생장법칙에 부합되는 것으로 나타났다. 이와 같은 반경성장식으로부터  $n$ 년 후의 흉고직경( $dbh_{i+n}$ )은 다음과 같이 현재의 흉고직경( $dbh_i$ )과  $n$ 년 간의 직경성장 누적합으로 추정할 수 있다.

$$dbh_{i+n} = dbh_i + 2 \cdot \sum_{k=i}^{i+n-1} R'_k$$

## 2) 동적성장모델

동적성장 모델연구에서는 경기도 및 강원도 지역 잣나무 임지에 대해 임분 내 성장 인자들간의 상관관계를 구명하고 이를 기초로 동적 임분성장 및 경영모델을 구축하였

다.

이를 위해 영급이 고루 분포되도록 62개의 표본점을 선정하였고, 각 표본점에서 임목의 흉고직경, 수고를 측정한 후 이를 분석하여 평균흉고직경, 평균수고, 우세목수고, ha당 본수, ha당 단면적, ha당 재적 등을 추정하였다. SAS의 비선형 회귀분석(NLIN) 및 단순선형분석(REG)을 통해 성장인자간의 함수식을 유도하였으며, 이들의 상호작용 하에 관리방법에 따라 임분의 성장 및 수확이 다양하게 예측될 수 있는 동적임분성장 및 경영모델을 구축하였다.

다양한 시업주기와 강도를 적용해 임분의 성장을 예측한 결과, 본 연구에서 구축된 동적임분성장 및 경영모델은 일반적인 성장법칙을 잘 나타내고 있어 임분의 성장 및 수확량 예측에 적합한 것으로 판단되었다. 이러한 동적 임분성장 및 경영모델은 실제 산림경영에서 다양한 관리방법에 따른 임분의 성장예측을 위하여 이용될 수 있을 것이며, 산림경영계획의 의사결정에 있어 의사결정을 위한 예측도구로서 이용될 수 있을 것이다.

### 3) 경영모델구축 및 경영분석

경영모델 구축 및 경영분석 연구에서는 관리방법에 따라 생산량 및 수확량이 다양하게 예측되는 동적임분성장모델을 기반으로 경영모델을 구축하여 관리방법에 따른 경영분석을 수행하였다. 잣나무림에서의 경영목표를 일반 잣나무림에서의 용재생산 및 용재와 잣 동시생산, 다수확품종조성림에서의 순수잣생산 등의 3가지로 설정하고, 이에 대한 경영분석을 관리방법(시업강도 및 주기), 산지원목가, 할인율, 시업보조율 등에 따라 다양하게 추정되는 순현재가치를 기준으로 실시하였다.

잣나무림에서의 간벌에 의한 수익성은 매우 낮은 것으로 판단되었다. 특히, 조림 및 각종 무육시업에 대한 보조가 없는 경우 간벌생산의 수익성은 없는 것으로 나타났다. 강도가 강하고, 주기가 빠를수록 수익성은 다소 개선되는 것으로 나타났다. 할인율 및 산지원목가는 간벌수익성 결정에 중요한 인자로 판명되었으며, 특히, 할인율에 따라 수익의 크기 및 발생시기가 크게 달라짐을 알 수 있었다.

간벌을 하다가 일정한 시점에서 주벌을 하는 경우, 즉 주벌을 포함시킬 경우 수익성은 다소 향상되는 것으로 나타났다. 대부분의 경우에 있어서 약 30-40년까지는 수익이 증가되다가 그 후에는 점차 감소하는 패턴을 보이고 있다.

용재와 잣 동시생산의 경우, 잣생산의 수익성은 주로 산지 잣가격 및 잣채취가에 영향을 받으며, 임분사업비용을 간벌생산수익으로 충당시킬 경우, 잣생산 수익성은 비교적 높은 것으로 나타났다.

다수확품종림에서의 순수잣생산은 용재와 잣 동시 생산과는 달리 무육비를 잣생산비에 포함시켜 분석하였다. 이와 같은 무육비에 대한 부담에도 불구하고 높은 잣생산량이 보장될 경우 수익성은 높은 것으로 판단되었다. 보조율 및 할인율에 대한 반응은 역시 민감했으며, 조림 및 무육사업에 대한 보조가 있는 상태에서 할인율이 3%가 되어야 비교적 높은 수익성이 보장되는 것으로 나타났다.

따라서 순수 잣생산을 위한 다수확품종림의 수익성 및 실현가능성을 높이기 위해서는, 현재 일반 용재생산에서와 같은 정부지원책 및 제도가 마련 또는 유지되어야 할 것으로 판단되었다.

# SUMMARY

## I. Title

A study on the development of new resources and high yielding varieties of Korean pine

## II. Purpose and Importance of Research

1. In the section of ecological characteristics, the objectives are to understand the environmental and ecological characteristics and vegetation structure of natural and artificial *P. koraiensis* forests, to develop allometric regression to estimate aboveground biomass, and to examine the effects of fertilization and thinning on growth and nutrition of needles and twigs.

2. In the section of genetic variation analysis, we search domestic and exotic natural forests of *P. koraiensis* for development of new genetic resources, and estimate genetic diversity and structure of natural populations and a selected tree group for seed production in *P. koraiensis*. Additionally, based on genetic characteristics of *P. koraiensis*, practical strategies for conservation are suggested.

3. In the section of high yielding varieties, we select individual trees for high productivity of seeds, propagate them by clonal reproduction, and make an effort to dwarf them for easy cone harvest.

4. Korean pine is one of the major economic tree species which produce simultaneously timber and seeds. It is needed to promote the productivity of Korean pine stand through multi-purpose forest management form. For managing forest

multi-purposely, stand growth and yield must be predicted according to forest type and management goal.

In the section of growth model and management analysis, dynamic growth model to provide various growth and yield according to management regime in Korean pine plantation, and single tree growth model to predict the growth of natural forest are to be prepared. Based on the growth model, management model is to be prepared and productivity and profitability will be analyzed according to management form and goal.

### III. Contents and Scope of the Research

1. In the section of ecological characteristics, vegetation structure, and physical and chemical characteristics of organic layer and mineral soils for natural and artificial *P. koraiensis* forests are to be studied. Based on these characteristics major factors to influence the growth of *P. koraiensis*, especially aboveground biomass, are to be examined. Also allometric regressions to estimate aboveground biomass for each tree component are to be developed. The most common silvicultural practices of fertilization and thinning are to be examined; nitrogen only and nitrogen plus phosphorus fertilization are to be applied to investigate the effects on growth and nutrition of needles and twigs for two years. Similarly three levels of thinning are to be practiced to examine the effects on growth and nutrition of needles and twigs for two years.

2. In the section of genetic variation analysis, we have explored natural populations of *P. koraiensis* in the country and foreign states (China and Russia) to secure new genetic resources. The study of population genetics of *P. koraiensis* were carried out employing allozymes and random amplified polymorphic DNAs (RAPDs) in 4 Korean, 5 Chinese, and 3 Russian natural populations. On the other hand, in attempt to determine the genetic characteristics of trees with



high productivity of cones (and seeds), RAPD-PCR analyses were used, and the results were compared with those of a common plus tree group and Kwonkeumsung natural populations. Finally, implications for conservation of genetic characteristics of *P. koraiensis* were discussed.

3. In the section of high yielding varieties, we have developed the methods for tree-form modification for easy cone harvest and high seed productivity, and for the proper and practical management methods of seed orchard of *P. koraiensis*.

4. The research in the section of growth model and management analysis can be divided into stand survey for growth model, preparation of growth model, management model and productivity analysis. In stand survey part, terrestrial sample survey was performed in order to collect the data for preparing growth model. In growth model part, dynamic growth model which predicts growth and yield variously according to management regime in Korean pine plantation, and single tree growth model which predicts the tree-level growth of natural forest were prepared. In management analysis part, management goal in Korean pine stand is divided into timber production, timber and seed production, seed production of high-yield varieties, and productivity and profitability of each management goals was analysed and compared.

## **IV. Results and Suggestions**

### **1. Ecological characteristics**

*Quercus* spp. and *Acer* spp. were dominant in the overstory vegetation while *Rhododendron* spp., *Lespedeza* spp. in the understory vegetation in natural *Pinus koraiensis* forests of central and southern Korea. Natural *P. koraiensis* forests mainly occurred at >800m elevation on south or southeastern slope. Depths of

organic layers varied locally, however, they were usually 10cm deep and composed of deciduous leaf litterfall and showed relatively slow decomposition because of low temperature and moisture. In contrast, *Quercus* spp., *Acer* spp., *Lindera* spp., *Zanthoxylum* spp., *Sorbus* spp., *Fraxinus* spp., *Rhododendron* spp. were more common under *P. koraiensis* plantations in central Korea. Understory vegetation were sparse and had low biomass and productivity in plantations compared to natural forests. Soils of *P. koraiensis* plantations were loam and more acidic because of organic acids such as humic and fulvic acids from needle litterfall of the species. Relatively high proportion of silt and clay in plantation soils increased concentrations of base cations and CEC.

Aboveground tree biomass of *P. koraiensis* was determined for a natural forest of *P. koraiensis* and mixed deciduous trees and seven age classes of plantation forests in central Korea. Regression analyses of the dry weights of stem wood, stem bark, branches, and needles versus diameter at breast height were used to calculate regression equations of the form of  $\log Y = a + b \log X$ . Biomass of *P. koraiensis* in the mixed forest was 118 t/ha, and biomass in the plantations was linearly related to stand age, ranging from 52.3 t/ha in 11 to 20-year-old stands to 317.9 t/ha in 71 to 80-year-old stands. The proportions of stem wood and stem bark in the total aboveground biomass decreased with stand age while those of branch and needle increased. Specific leaf area of *P. koraiensis* ranging from 35.2 to 52.1 cm<sup>2</sup>/g was significantly different among crown positions and needle ages: in general, lower crown position and current needles had the greatest surface area per unit dry weight.

In general, concentrations of Mg, Ca and organic carbon in mineral soils are major influencing factors for aboveground biomass in *P. koraiensis*: especially cations of Ca, Mg and K were important in young plantations, and cations, CEC, total phosphorus and available phosphorus were important in mature plantations. Also characteristics of organic layers such as K and pH in young plantations and concentrations of Na, Ca, and K in mature plantations were influencing factors

for aboveground biomass.

To investigate the effects of nitrogen fertilization and thinning on growth and nutrition of current-year needle and twigs in *P. koraiensis* two clone banks with three levels of nitrogen fertilizer were treated in Suweon and Chuncheon, and also two plantations with three intensities were thinned in Yangpyeong. The fertilization and thinning effects greatly varied depending on study sites and stand ages. However, dry weights of needle and twig increased following low nitrogen fertilization in older stands. Moderate thinning increased dry weight and nitrogen concentration of twigs in the 12-year-old stand. The effects of nitrogen fertilization on needle and twig growth continued at 1-year after the treatments. Nitrogen plus phosphorus fertilization increased dry weight and nitrogen concentration of needle and twig following fertilization. In general, low nitrogen plus phosphorus fertilization seemed to be more effective in needle and twig growth. Needle and twig growth was increased in moderate thinning at 1-year after the treatment.

## 2. Genetic variation analysis

We studied population genetics of Korean pine (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) employing allozymes and random amplified polymorphic DNAs (RAPDs). For this purpose, we selected 4 natural populations (Mt. Chiri, Mt. Palkong, Mt. Taebaek, and Mt. Seorak) from Korea, 5 populations (Chohaku, Losooha, Wangging, Xobukho, and Lyangsoo) from China, and 3 populations (Nizhnetambovsk, Amur Kur-Umi, and Amur Komsomolsk) from Russian Far East and collected seeds from 20 - 30 individual trees within a population. The genetic variation at allozyme level was analyzed based on 18 polymorphic loci coding for 12 enzyme systems. In most loci, a single allele was the most common in all populations from 3 different countries. However, in some loci such as *Lap-A* and *Mnr-A*, alternative alleles were more common depending on regions (countries), i.e., populations collected from different regions do not share the most frequent allele in

common. At these loci, we detected clines. Namely, the frequency of a specific allele increased with the increase of latitude ( $p < 0.05$ ). Of three regions, China had the most unique alleles (i.e., alleles found in only Chinese population). The level of genetic diversity in Korean pine ( $A/L=1.95$ ,  $P_{95}=46.8$ ,  $H_o=0.158$ ,  $H_e=0.169$ ) was comparable to that of other pines with similar life histories and ecological traits. The Korean pines in Korea ( $A/L=2.0$ ,  $P_{95}=45.8$ ,  $H_o=0.156$ ,  $H_e=0.181$ ) and in China ( $A/L=2.0$ ,  $P_{95}=50.0$ ,  $H_o=0.172$ ,  $H_e=0.173$ ) turned out to have more genetic variation than that of Russian Far East ( $A/L=1.8$ ,  $P_{95}=42.6$ ,  $H_o=0.136$ ,  $H_e=0.148$ ). Twelve natural Korean pine populations seemed to be in equilibrium with the expectations of Hardy-Weinberg. The  $F_{ST}$  estimated from over all 12 populations was 0.069, a moderate value for conifers. This can be interpreted to mean that 93% of the total genetic variation is within populations and 7% among populations. The  $F_{ST}$  values for each region were 0.061 in Korea, 0.052 in China, and 0.033 in Russian Far East suggesting that the degree of population differentiation in Korea is higher than that of China as well as Russian Far East. This result may be caused by the distribution patterns of Korean pine in Korea. In Korea, it has a discontinuous distribution and populations are isolated from each other. So, this may make gene flows among populations difficult. Differentiations among three different regions (Korea, China, and Russia) as well as among populations within regions were small. Substantial gene flow ( $Nm = 3.4$ ) may be a partial explanation to this result. A dendrogram produced by the UPGMA clustering technique based on Nei's genetic distance showed some decisive geographic trends. Namely, geographically close populations showed a tendency of clustering into the same group. For example, the 4 natural populations in Korea were clustered into the same group and the 3 populations in Russian Far East were also clustered into the same group. Meanwhile, Wangging and Xobukho populations in China were clustered into the

group of Russian Far East populations even though they are located more close to Xiaoxing'anling mountains that separates a group of Wangging and Xobukho and a group of Losooha and Chohaku geographically. Xiaoxing'anling mountains may have functioned as a barrier to gene flow between two groups.

Thirty-eight out of 42 fragments amplified from 5 primers were polymorphic. The average value for Shannon's index was 0.2933. This value for each region was 0.3056 in Korea, 0.2912 in China, and 0.2804 in Russian Far East, respectively. The gross pattern of genetic variation of the RAPDs is very similar to that of allozyme markers in this study. A population with a high level of allozyme variation also had a high level of genetic diversity at RAPD level. AMOVA showed that 3.4% of the total genetic variation resided within among regions, 10.08% within among populations within a group, and 86.52% within individual trees within a population. Similar to  $F_{ST}$  values for allozymes,  $\Phi_{ST}$  value for Korean populations (0.299) was higher than that of Chinese (0.283) and Russian Far East populations (0.241). The dendrogram produced based on the RAPD frequencies was also nearly identical to that of allozymes. From this study, we found that the genetic variation for RAPDs is comparable to and/or congruent with that for allozymes. Consequently, allozyme ( $H_e$ ) as well as RAPD (Shannon's index) variation decreased from south (Korea) to north (Russia), providing an evidence for the hypothesis of Korean pines northward migration.

Finally, in an attempt to determine the genetic characteristics of trees with a large number of cones (and seeds), we collected needle samples from 39 trees bearing a large number of seeds, 32 plus trees selected for timber breeding program and 32 trees in a natural population - Kwonkeumsung and conducted RAPD analysis. Unfortunately, from 52 fragments amplified for 7 primers, we did not find any RAPD fragments specific to trees with a large number of seeds. The values for Shannon's index were 0.3035 in plus trees, 0.3002 in trees bearing a large number of seeds, and 0.2898 in Kwonkeumsung population. The plus trees and

trees with a large number of seeds were collected from a wide range of Korea and consequently they have a larger genetic base than a single natural population. This is why the levels of genetic diversity for plus trees and trees with a large number of seeds were higher than that of Kwonkeumsung population.

Korean pine is one of the most important target tree species for gene conservation due to its economic and ecological values. As mentioned above, natural Korean pine populations in Korea are marginal (the most southernly extension of this species together with population in Japan) and have a discontinuous and isolated distribution pattern. In spite of these facts, the level of genetic diversity found in Korean populations was comparable to and/or higher than that of Chinese populations. Consequently, Korean populations of Korean pine is very critical to the gene conservation of this species. On the other hand, the degree of population differentiation found in Korea was higher when it was compared to that of China and Russian Far East. So, we should select a large number of populations or, if possible, all the natural populations for in-situ conservation. Russian Far East populations are the most northerly extension of Korean pine and had a low level of genetic diversity. Regardless, Russian Far East populations were clustered into the group separated from Chinese and Korean populations. As a consequence, Russian Far East populations also have a value for the gene conservation. For a better understanding of population and evolutionary genetics of Korean pine, we should further this study including populations collected from North Korea because North Korean populations are more close to central distribution area of this species than South Korean populations. Additionally, from the viewpoint of genetic conservation, they may play a critical role.

### **3. Development of High Yielding Varieties**

*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc. is one of the economically important tree species in Korea due to its high-quality timber and edible seeds. In an attempt

to improve individual trees producing a large number of seeds, we have selected a total of 43 trees bearing a large number of seeds from 3 seed collecting stands (Kapyung, Hongcheon, and Chuncheon) and 2 clone archives (Yongin and Chuncheon). These selected trees have been grafted and planted in a 0.2 ha stand. Additionally, we have developed the methods for tree-form modification in order to make the cone-collection easier and increase the seed production. For this purpose, we performed strong prunings as well as weak prunings and compared the seed production of both methods with that of uncontrolled trees. We are expecting that this study will be used for mountain villagers to increase their incomes.

#### **4. Growth model and management analysis**

##### **A) Stand survey and data preparation for growth model**

Modified distance method in which the subject tree and the competitor trees are measured was applied in order to simultaneously collect the data for single tree growth model as well as dynamic growth model. Positions of each trees are measured through the exposition and distance from subject tree to competitor trees. For subject tree, dbh, tree height, crown radius were measured and core at 1.2m was extracted. Only dbh and tree height were measured for competitor trees. Tree ring width of core was measured to a unit of 1/100 mm using Tree-Ring Digitalposiometer (JohanTyp II) and used as current annual increment of dbh.

A total of 62 sample plots was set in the way that age class is distributed as equal as possible and surveyed. From these plot data, several growth factors were estimated, and several regression equations between growth factors were derived using NLIN and REG procedure of SAS.

##### **B) Preparation of growth model**

###### **1) Single tree growth model**

In this study, the relationship between competition index and tree-ring growth

was analyzed and dbh growth model was prepared for *Pinus koraiensis* stands in Kyounggi- and Kangwon-do, Korea.

An annual radial growth model was prepared by analyzing the relationship between dbh and competition index of individual trees. Annual radial growth was employed as a dependent parameter in this model. Age and height of dominant tree, which estimate site quality, dbh and Hegyi's competition index of individual trees were employed as independent parameters. Several non-linear regression equations composed of above parameters were analyzed and following annual radial growth model( $R_h'$ ) for individual trees was prepared:

$$R_h' = 2.5722 \cdot age^{-0.9409} \cdot h_o^{0.0333} \cdot dbh^{0.3116} \cdot HgCI^{-0.2294}$$

$$(\sqrt{MSE} = 0.059, R^2 = 0.57)$$

The coefficient of determination( $R^2$ ) was 0.57. It coincided with a general growth principles that dbh of individual trees and height of the dominant tree had a positive effect on radial growth, and increase of age and competition index restrained radial growth if the others were equal except one factor among four factors in it. Therefore, it was considered to be appropriate as a annual radial growth model.

In general, height of the dominant tree was estimated from dbh of the dominant tree using the hight-dbh curve equation. There was a positive correlation between these two factors, so a new annual radial growth model( $R_d'$ ), in which height of the dominant tree was substituted for dbh of the dominant tree( $d_o$ ), was prepared.

$$R_d' = 2.5553 \cdot age^{-0.9412} \cdot d_o^{0.0420} \cdot dbh^{0.3012} \cdot HgCI^{-0.2390}$$

$$(\sqrt{MSE} = 0.059, R^2 = 0.55)$$

This new model in which dbh of dominant tree was employed as an independent parameter was also coincided with the general growth principles. Then the dbh after  $n$  years could be estimated by following equation which consist of the dbh at the present time and the sum of annual radial growth for  $n$  years



$$dbh_{i+n} = dbh_i + 2 \cdot \sum_{k=i}^{i+n-1} R'_k$$

## 2) Dynamic growth model

In this study, the relationship between growth factors for *Pinus koraiensis* stands in Kyounggi- and Kangwondo was analyzed and dynamic growth and management model was prepared.

A total of 62 sample plots was surveyed in which dbh and height of individual trees was measured. From these plot data, quadratic mean dbh, mean height, dominant tree height, stem number per ha, mean basal area per ha and volume per ha were estimated. Several regression equations between growth factors were derived using NLIN and REG procedure of SAS, and dynamic growth and management model in which the equation were interactively linked, was prepared for prediction of stand growth and yield, under different management regime.

Prediction of stand growth with the model showed that the dynamic growth and management model was coincided with a general growth principles. The dynamic growth and management model was considered adequate to predicting growth and yield of stand. In practice, the dynamic growth and management model can be applied to predicting the growth and development of stand for various forest treatments, and to making decision in forest management.

## C) Management model and profitability analysis

Management model based on dynamic growth model was prepared and management analysis for each management regime was performed. Management goal in Korean pine stand is divided into timber production, timber and seed production, seed production of high-yield varieties, and productivity and profitability of each management regimes (thinning cycle and intensity), timber prices, discounting rates, and subsidy rates was analysed with Net Present Value (NPV) and compared.

Profitability of thinning in Korean pine was proved to be very low.

Especially, thinning without subsidy for planting and tending was not profitable. Heavy and shot interval thinning has positive effect on profitability. The profitability of thinning was sensitive against timber price and discounting rate. Especially, the profit amount and break-even point was changed to a great range according to discounting rate.

Including the profit for final cutting improved the profitability. In the most case, profit for final cutting and thinning increases to 30-40 years and then decreases gradually.

In the case of timber and seed production in Korean pine plantation, profitability of seed production was mainly influenced by seed price and production cost. If the thinning profit makes up the cost for stand tending and thinning, seed production was showed to have relatively high profitability.

While in the case seed and timber production in plantation, the planting and tending cost can be made up by timber production profit, planting and tending cost for high yield varieties must be met only by seed production profit. In spite of the expense of planting and tending cost, seed production in plantation of high yield varieties has high productivity, if the plantation brings high yield. The productivity reflects also sensitively against subsidy and discounting rate. Relatively high profitability can be realized with 80-90% subsidy rate for planting and tending and 3% discounting rate.

Accordingly, in order to promote the profitability and feasibility of plantation for high-yield varieties, several subsidy and institution like the case of timber production must be prepared and sustained.

# CONTENTS

<b>Chapter 1. General Introduction</b> .....	31
Section 1. The objectives of research and its scope .....	31
<b>Chapter 2. Ecological Characteristics</b> .....	33
Section 1. Introduction .....	33
Section 2. Materials and methods .....	33
1. Environmental and ecological characteristics of sites .....	33
2. Biomass and production .....	36
3. Relationships between production and ecological characteristics .....	38
4. Fertilization and thinning .....	40
Section 3. Results .....	42
1. Environmental and ecological characteristics of sites .....	42
2. Biomass and production, and characteristics of natural forests .....	54
3. Relationships between production and ecological characteristics .....	60
4. Fertilization and thinning .....	62
References .....	79
<b>Chapter 3. Genetic Variation Analysis</b> .....	84
Section 1. Introduction .....	84
Section 2. Development of new genetic resources .....	85
1. Domestic populations .....	86
2. Exotic populations .....	87

3. Results & discussion .....	87
<b>Section 3. Genetic analyses .....</b>	<b>91</b>
1. Genetic variation and structure in natural populations .....	91
2. Genetic variation and characteristics in selected trees for seed production .....	119
<b>Section 4. The strategy for genetic resources conservation .....</b>	<b>127</b>
1. Introduction .....	127
2. Genetic resources conservation .....	128
<b>References .....</b>	<b>132</b>

## **Chapter 4. Development of High Yielding Varieties ... 136**

<b>Section 1. Introduction .....</b>	<b>136</b>
<b>Section 2. Selection of individual trees producing a large number     of seeds .....</b>	<b>136</b>
<b>Section 3. Establishment of seed production stand .....</b>	<b>145</b>
<b>Section 4. Tree-form modification .....</b>	<b>152</b>
<b>Section 5. Development of cone-collecting methods .....</b>	<b>157</b>

## **Chapter 5. Growth Model and Management Analysis ..... 160**

<b>Section 1. Introduction .....</b>	<b>160</b>
<b>Section 2. Distribution and stand survey of Korean pine stand .....</b>	<b>160</b>
1. Distribution of Korean pine stand .....	160
2. Stand survey for growth and management model .....	163
<b>Section 3. Growth model for Korean pine stand .....</b>	<b>170</b>
1. Single tree growth model .....	170
2. Dynamic growth model of stand level .....	179

<b>Section 4. Management model and profitability analysis</b> .....	<b>195</b>
1. Introduction .....	<b>195</b>
2. Material and method .....	<b>195</b>
3. Results and Discussions .....	<b>201</b>
4. Results .....	<b>217</b>
5. Abstracts .....	<b>219</b>
<b>References</b> .....	<b>221</b>

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	31
제1절 연구개발 목적과 범위 .....	31
제 2 장 생태입지분야 .....	33
제1절 서설 .....	33
제2절 재료 및 방법 .....	33
1. 생육기초입지환경 구명 .....	33
가. 연구 대상지 선정 .....	33
나. 유기물 및 토양 시료 채취 .....	33
다. 유기물 및 토양 분석 .....	34
라. 식생구조 분석 .....	35
2. 물질생산량 추정 .....	36
가. 추정 방법 및 별채목 선정 .....	36
나. 별채 및 시료 처리 방법 .....	37
3. 입지환경과 생산성과의 관계 구명 .....	38
가. 인공림에서의 입지환경과 생산성 관계 구명 .....	38
나. 잣나무 천연집단 조사 .....	39
4. 시비 및 간벌 효과 분석 .....	40
가. 시비 처리 .....	40
나. 간벌 처리 .....	41
다. 시료 채취 및 분석 .....	42
제3절 결 과 .....	42
1. 생육기초입지환경 구명 .....	42
가. 식생구조 .....	42
나. 입지환경인자 .....	47
2. 물질생산량 추정 및 태백산 천연림의 입지환경 인자 .....	54

가. 잣나무 생체량 추정 회귀식 조제 및 생체량 추정 .....	54
나. 태백산 잣나무 천연림의 임분 구조 및 입지환경 인자 .....	57
3. 입지환경과 생산성과의 관계 구명 .....	60
가. 잣나무 생체량과 무기광물토양의 물리화학적 성질과의 관계 .....	60
나. 잣나무 생체량과 토양유기물의 물리화학적 성질과의 관계 .....	61
4. 시비 및 간벌 효과 분석 .....	62
가. 시업 후 당년 효과 .....	62
나. 시업 후 1년 경과 및 복합시비의 당년 효과 .....	72
참고문헌 .....	79
<b>제 3 장 유전변이 분야 .....</b>	<b>84</b>
제1절 서 설 .....	84
제2절 잣나무의 새로운 유전자원 탐색 .....	85
1. 국내 집단 탐색 .....	86
가. 팔공산 집단 .....	86
나. 태백산 집단 .....	86
2. 국외 집단 탐색 .....	87
가. 중국과 러시아의 잣나무 천연분포 .....	87
3. 연구수행에 따른 성과와 앞으로의 과제 .....	90
제3절 잣나무의 유전변이 분석 .....	91
1. 천연림의 유전적 다양성과 특성 분석 .....	91
가. 시료 확보 .....	91
나. 동위효소 분석 .....	92
다. RAPD 분석 .....	109
2. 다수확 선발개체의 유전적 다양성과 특성 분석 .....	119
가. 시료 확보 .....	119
나. 실험 방법 .....	120
다. 결과 및 고찰 .....	121

제4절 유전자원 보전을 위한 전략 .....	127
1. 서론 .....	127
2. 유전자원 보전 전략 .....	128
가. 현지내 보전 ( <i>In situ</i> conservation) .....	128
나. 현지외 보전 ( <i>Ex situ</i> conservation) .....	129
참고문헌 .....	132
<b>제 4 장 신제품 개발 분야 .....</b>	<b>136</b>
제1절 서 설 .....	136
제2절 잣나무 다수확개체 선발 .....	136
제3절 종자생산원 조성 .....	145
제4절 채종목의 수형조절 .....	152
제5절 구과채취 방법 개선 .....	157
<b>제 5 장 잣나무 임분의 생장모델 및 경영분석 .....</b>	<b>160</b>
제1절 서 설 .....	160
제2절 잣나무 임분 현황 .....	160
1. 잣나무임분의 분포 .....	160
2. 생장 및 경영모델구축을 위한 임분조사 .....	163
제3절 잣나무임분의 생장모델 .....	170
1. 단목생장모델 .....	170
2. 임분단위의 동적생장모델 .....	179
제4절 잣나무임분의 경영모델 및 수익성분석 .....	195
1. 서 론 .....	195
2. 재료 및 방법 .....	195
3. 결과 및 고찰 .....	201
4. 결론 .....	217
5. 결론 .....	219
참고문헌 .....	221



# 제 1 장 서 론

## 제1절 연구개발 목적과 범위

생태입지분야의 연구 개발 목적은 잣나무의 생육입지 여건을 구명하고, 물질생산량을 추정하며 시비와 간벌의 처리 효과를 분석하는 것이다. 이를 위한 구체적인 연구 개발의 범위는 다음과 같다. 먼저 잣나무 인공림과 천연림의 식생 구조 및 유기물과 무기광물 토양층의 물리, 화학적 성질을 연구하며, 이를 토대로 잣나무의 생장, 특히 지상부의 생체량에 영향을 미치는 주요 인자를 밝힌다. 또한 잣나무의 물질생산을 추정하기 위한 allometry 회귀식을 개발하여 생장의 지수로 활용하도록 한다. 그리고 일반적으로 잣나무에 대하여 널리 실행되는 시비와 간벌의 효과를 분석한다. 시비는 질소 단독 비료와 질소와 인의 복합비료를 사용하고 당년 및 차년도에 침엽과 소지의 생장 및 양분 변화를 측정하며, 세가지 강도의 간벌 후 침엽과 소지의 생장과 양분의 변화상태를 연구한다.

유전변이분야의 연구목적은 미조사된 국내외 잣나무 천연림의 유전자원을 탐색하고, 천연집단과 다수확개체군에서의 유전적 다양성과 구조를 추정하여 이를 기초로 잣나무 유전자원의 보존을 위한 구체적이고도 실질적인 전략을 제시하는 것이다. 이를 위하여 기존에 조사·보고되지 않았던 잣나무 천연림의 새로운 유전자원 탐색을 위해 국내의 태백산과 팔공산 지역, 국외로는 중국 흑룡강성 3개 지역과 러시아 하바로프스크 지역의 보호림을 탐사하여 자원의 현황을 조사하고 유전자원 확보의 가능성을 타진한다. 또한 동위효소와 RAPD 표지자를 사용하여, 국내 4집단, 중국 5집단, 러시아 3집단의 변이를 각각 조사·분석하여 이들 집단의 유전적 다양성과 구조, 분화 정도를 추정하며, 다수확개체로서 선발된 그룹의 유전적 특성에 대한 정보를 얻기 위해 RAPD 표지자로 유전분석을 실시한다. 마지막으로 조사된 집단의 유전변이의 특성과 구조를 종합하여 유전자원 보존 전략을 제시한다.

신품종개발분야에서는 잣나무의 목재뿐만 아니라 종실로서도 이용가치가 높은 수종

이므로, 이러한 활용가치가 높은 잣나무의 종실 다수확 개체를 우리나라의 주요 잣 종실 생산지인 3개 장소의 채종림(가평, 홍천, 춘천)과 생장 및 구과 결실 능력이 좋은 수형목의 클론보존원(용인, 춘천)에서 43본 선발하였다. 선발된 잣나무 다수확 개체는 접목 증식을 통하여 0.2ha의 종자생산원으로 조성되어 관리되고 있다. 또한 품질이 좋은 종실의 대량생산은 물론 구과채취를 손쉽게 하기 위한 채종목의 수형조절 방법을 체계적으로 구명하고자 잣나무의 역지위 단간과 2년지 주지 단간을 실시하여 채종목을 변칙주간형으로 유도하였다. 이러한 잣나무의 다수확 개체와 수형조절법은 산촌 농가에서 과수목처럼 소득원으로 활용될 수 있으리라 기대된다.

경제적인 측면에서 잣나무는 목재와 잣을 동시에 생산해낼 수 있는 주요 경제수종의 하나이다. 따라서 목재와 잣을 동시에 생산해 낼 수 있는 복합경영형태로 잣나무 임분의 생산성을 높일 필요가 있다. 이러한 복합적인 산림경영을 위해서는 임분의 생장 및 수확량을 임상 및 경영목표에 따라 다양하게 예측할 수 있어야 한다. 이를 위해 경영분석분야에서는 인공식재림에 대해 관리방법에 따라 생장 및 수확량을 다양하게 예측할 수 있는 동적생장모델과 천연림의 생장을 예측할 수 있는 단목생장모델을 우선적으로 구축하고, 이를 기반으로 경영모델을 구축하여 잣나무림의 생산성 및 수익성을 경영형태 및 목표별로 분석코자 한다.

경영분석분야의 연구는 크게 생장모델구축을 위한 임분조사, 생장모델구축, 경영모델구축 및 경영분석 등으로 구분할 수 있다. 임분조사부문에서는 동적 및 단목생장모델 구축에 동시에 사용될 수 있도록 표본조사를 실시한다. 생장모델구축부문에서는 잣나무 인공림의 생장 및 수확을 관리방법에 따라 다양하게 예측할 수 있는 동적생장모델과 천연림의 생장을 단목단위로 예측할 수 있는 단목생장모델을 구축한다. 경영분석부문에서는 잣나무림경영의 목표를 용재생산, 용재 및 잣생산, 다수확품종의 잣생산 등으로 구분하고 각 형태별 생산성 및 수익성을 비교 분석한다.

## 제 2 장 생태입지분야

### 제1절 서설

생태입지분야에서는 우선 잣나무의 성장과 관련된 입지환경인자를 분석하기 위하여 천연림과 인공림에서 입지환경인자를 조사하였다. 또한 잣나무 물질생산 추정 회귀식을 조제하고 이를 인공림과 천연림에 적용하여 물질량을 추정하였으며, 이를 입지환경인자와 관련시켜 성장에 영향을 미치는 주요 인자들의 효과를 알아보았다. 또한 일반적으로 가장 널리 실행되고 있는 시업인 시비와 간벌작업이 잣나무의 침엽과 소지의 성장 및 양분 상태에 미치는 영향을 파악하여 적절한 시업관리체계를 모색하도록 하였다.

### 제2절 재료 및 방법

#### 1. 생육기초입지환경 구명

##### 가. 연구 대상지 선정

연구 대상지는 천연림과 인공림으로 구분하여 선정하였다. 천연림의 경우 그 동안 상대적으로 연구가 미흡하였던 것으로 알려지고 있는 남부지방을 중심으로 고산지대(경상남도 합천군 소재 가야산-해발 1430m, 경상남도 양산군 소재 영취산-해발 1058m, 대구광역시 소재 팔공산-해발 1192m)의 잣나무 출현 산림을 대상으로 하였다. 이들에 대한 개략적 조사를 1997년 3월과 4월 실시하였으며, 이 자료를 바탕으로 팔공산을 대상으로 정밀입지환경과 식생조사를 6-8월 동안 실시하였다. 인공림의 경우 우리나라 중부 지방이 인공조림 적지로 알려져 그 동안 많은 양의 조림이 실행된 점에 착안하여 강원도 철원군, 경기도 가평군, 양평군, 의정부시 일대 등에서 집중적인 정밀 입지환경조사를 실행하였다.

##### 나. 유기물 및 토양 시료 채취

유기물과 토양 시료 채취는 천연림과 인공림을 구분하여 각기 다른 방법으로 채취하였다. 즉 천연림의 경우 잣나무가 대부분 단독적으로 생육하나 집단적으로 생육하더라

도 그 밀도가 매우 낮기 때문에 인공립과 같은 방법으로 시료를 채취하기는 어렵다. 따라서 천연립의 경우 시료채취 지점은 측정 대상 잣나무를 중심으로 인근에서 채취하되 국부적인 지형이나 유기물의 축적정도 등을 감안하여 주변과 평균적인 장소를 선택하였다. 즉 지나치게 유기물이 많이 쌓여 있거나 암석이 많은 곳은 가능한 한 피하였다. 특히 유기물과 토양의 분석 자료는 잣나무와 토양입지환경 인자들간의 상관관계를 구명하기 위한 자료로 사용될 예정되므로 잣나무의 생장과 가장 깊은 관계가 있을 것으로 예상되는 토양입지인자를 찾도록 하였다.

#### 1) 유기물층의 깊이 측정 및 시료 채취

낙엽층 (0층)의 두께를 측정한 것으로 유기물이 쌓인 가장 위층에서 유기물이 완전히 분해된 층까지의 깊이를 0.1cm 단위로 표시하였다. 유기물이 완전히 분해된 층이란 일부 시료를 손가락 사이에 넣고 비벼보아 유기물만 만져지는 층으로 그 아래는 무기광물토양 즉 토양입자들이 주로 만져지는 곳이다. 유기물층 깊이를 측정한 다음, 가로와 세로의 길이가 각각 20cm 정도인 정사각형 형태로 유기물층 모든 깊이의 시료가 고루 포함되도록 유의하여 시료를 채취하였다. 매 임분에서 임의의 4개소로부터 1개씩의 시료를 채취하고 이를 잘 섞은 다음 1개의 분석용 시료를 만들었다. 시료는 비닐 봉지 안에 넣어 실험실로 운반하여 기건시켰고, pH 측정용 시료를 제외하고는 분쇄기로 갈아 화학분석에 사용하였다.

#### 2) 토심 측정 및 시료 채취

유기물층 (0층) 아래로부터 모재층 (C층) 위까지의 깊이를 측정한 것으로 유기물층을 걷어내고 토양의 단면을 수직으로 파서 모재층이 도달되면 바로 그 경계부위까지의 깊이를 측정하되 0.1cm 단위로 표시하였다. 토심 측정 후 무기광물 토양층의 모든 부위가 고루 포함되도록 토양시료를 200-300g 채취하였다. 매 임분에서 임의의 4개소로부터 1개씩의 시료를 채취하고 이를 잘 섞은 다음 1개의 분석용 시료를 만들고 수분손실이 없도록 비닐봉지에 넣고 밀봉하였다. 실험실로 운반한 토양은 곧 바로 2mm의 체로 쳐서 굵은 입자를 골라낸 다음 일부 시료는 105 °C에서 항량이 될 때까지 건조시켜 함수율을 측정하였고, 나머지 시료는 기건시켰다.

#### 다. 유기물 및 토양 분석

유기물 시료의 pH는 2.5g의 시료에 50ml의 증류수를 넣고 1시간 동안 진탕한 후

Orion pH meter로 측정하였으며, 토양 시료의 pH는 풍건토 5g을 25ml의 증류수에서 1시간 진탕 한 다음 역시 pH meter로 측정하였다. 유기물과 토양 중의 전질소 및 인의 농도는 유기물 0.2g과 토양 0.3g을 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + CuSO<sub>4</sub>의 촉매제를 이용하여 Lachat BD-46로 Kjeldahl 분해한 뒤 Bran-Lubbe Traccs 800 자동분석기로 측정하였다. 토양 내 총유기물의 양은 Tyurin법으로 측정하였고, 토성은 Pipette법으로 입경을 분석한 뒤 미국 농무성법에 따라 구분하였다. 토양 중의 유효태인산은 Lancaster법으로 측정하였고, 토양 중의 양이온치환용량은 1N-NH<sub>4</sub>OAc법으로 측정하였다. 풍건세토 5g을 1N-NH<sub>4</sub>OAc에서 30분간 진탕하고 여과한 다음 ICP-AES로 토양 중의 K, Ca, Na, Mg 등의 농도를 측정하였다. 또한 유기물을 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>용액으로 분해하고 여과하여 ICP-AES로 유기물 내 K, Ca, Na, Mg 등의 농도를 측정하였다 (농업기술연구소 1988).

#### 라. 식생구조 분석

천연림의 경우 잣나무가 대부분 낙엽활엽수 가운데 섞여 나타나기 때문에 잣나무 주변에 있는 경쟁목을 대상으로 수종, 거리, 각도, 흉고직경, 수관폭, 수간 및 수간 형태 등을 조사하였고, 하층과 중층의 식생도 조사하였다. 이들 매목조사 자료를 기초로 상대밀도, 상대빈도, 흉고단면적을 기준으로 하는 상대피도, 상대우점도 (Curtis and McIntosh 1951) 등과 종다양성도 및 균재도를 다음 수식을 이용하여 계산하였다 (Ludwig and Reynolds 1988). 또한 조사구 내 출현하는 수종들의 분수를 이용하여 단위면적 (ha) 당 분수를 산출하였다.

상대밀도 (Relative Density:RD)=(어떤 종의 총 개체수/전체 종의 총 개체수) × 100

상대빈도 (Relative Frequency:RF)=(어떤 종의 빈도/전체 종의 빈도의 총합) × 100

상대피도 (Relative Coverage:RC)=(어떤 수종의 흉고단면적의 합/전체수종의

흉고단면적의 총합) × 100

상대우점도 (Important Value:IV) = (상대밀도(RD) + 상대빈도(RF) + 상대피도(RC))/3

Richness Indices:

$$RI \text{ (Margalef Index)} = \frac{S-1}{\ln n}$$

$$R2 \text{ (Menhinick Index)} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

S: Plot에 출현한 종의 수, n: 출현종의 총 개체수

Diversity Indices:

$$\lambda \text{ (Simpson's Index)} = \frac{\sum_{i=1}^s n_i(n_i - 1)}{n(n - 1)}$$

→ Hill's second diversity number :  $N2 = 1/\lambda$

$$H' \text{ (Shannon's Index)} = - \left[ \sum_{i=1}^s \left( \frac{n_i}{n} \right) \ln \left( \frac{n_i}{n} \right) \right]$$

→ Hill's first diversity number :  $N1 = e^{H'}$

n: 총 개체수,  $n_i$ : 특정종의 개체수

Evenness Indices:

$$E1 = \ln(N1) / \ln(N0)$$

$$E2 = N1 / N0$$

$$E3 = (N1 - 1) / (N0 - 1)$$

$$E4 = N2 / N1$$

$$E5 = (N2 - 1) / (N1 - 1) \quad N0 = \text{총출현종의 수}$$

## 2. 물질생산량 추정

### 가. 추정 방법 및 벌채목 선정

산림에서 물질생산량 추정을 위한 연구방법에는 여러 가지가 있다. 이 가운데 비록 시간과 노력 그리고 비용이 많이 드는 단점은 있으나 정확하게 물질생산량을 추정할 수 있는 벌채에 의한 방법이 널리 사용되고 있다. 본 연구에서도 잣나무 생체량 추정을 위하여 벌채에 의한 회귀식 조제법을 사용하기로 하였다. 먼저 우리나라 잣나무 분포면적의 대부분을 차지하고 있는 중부지방에서 임상도를 이용하여 전체 산림을 개관한 다음 경기도 양평군 일대를 연구 대상 지역으로 선정하였다. 양평군 내에서 대규모로 인공조림에 의하여 성립된 양동면 일대 30년생 인공조림지를 연구 임분으로 정하였

다. 이 임분에서 임목의 상태 및 입지조건이 비교적 유사한 곳에 15m x 15m 소형 방형구 4개를 설치하였으며, 방형구 내 출현하는 모든 잣나무에 대한 매목조사를 실시하였다. 4개의 소형 방형구에 출현한 잣나무의 본수는 방형구 당 평균 29본 (평균흉고직경은 20.8cm)으로 이를 ha 단위로 환산하면 약 1,300본 정도가 되었다. 매목조사 자료를 분석하여 30년생 잣나무 인공조림지 임목의 흉고직경급별 분포표를 흉고직경 2cm 간격으로 작성하였다 (Table 2-1).

Table 2-1. Diameter distribution of a 30-year-old *Pinus koraiensis* plantation.

DBH (cm)	Number of tree	DBH (cm)	Number of tree
6-8	1	20-22	12
8-10	5	22-24	17
10-12	5	24-26	14
12-14	6	26-28	8
14-16	9	28-30	6
16-18	11	30-32	1
18-20	15	>32	2

흉고직경급별 본수 분포표를 토대로 소형 방형구에 나타난 임목의 모든 흉고직경급이 골고루 포함되도록 유의하여 회귀식 조제에 필요한 벌채목 대상목 20본을 선정하였다. 선정된 벌채대상 임목의 흉고직경 (cm)은 8.1, 10.0, 12.5, 14.4, 15.5, 16.5, 16.5, 18.8, 20.4, 20.5, 21.7, 22.2, 22.4, 24.9, 25.0, 25.5, 27.2, 27.9, 31.0, 35.9 등이었다.

#### 나. 벌채 및 시료 처리 방법

벌채대상 임목을 지표와 가장 근접한 부위에서 절단하고 전체 수고를 측정한 다음 수간에 흉고직경 (1.2m), BLC (base of live crown), 그리고 흉고부위로부터 매 2m 간격을 표시하였다. 또한 수관의 총 길이를 측정하고 이를 상부, 중부, 하부 등으로 3등분하고 수간 부위에 표시하였으며 모든 가지를 수간으로부터 분리하였다. 이때 가지에

붙어 있는 구과를 채취하여 그 수를 기록하였다. 수관 부위별로 분리해 낸 가지는 죽은 것과 산 것으로 다시 분류하고 각각의 생중량을 측정하였다. 수관의 상부, 중부, 하부 위치에서 가장 표준적인 죽은 가지와 산 가지 하나씩을 선정하고 이들의 생중량을 측정한 다음 plastic 봉지에 넣어 실험실로 운반하였다. 수간 부위는 흉고, BLC, 흉고로부터 2m 간격에서 절단하고 각각 수간부의 생중량을 임지에서 측정하였다. 매 2m 또는 이보다 짧은 수간 (흉고부위 또는 BLC와 인접된 수간)의 기부로부터 약 5cm 두께의 단판을 채취하고 이들의 생중량을 측정한 다음 plastic 봉지에 넣어 실험실로 운반하였다.

실험실로 운반한 가지 및 단판 시료는 처리 전까지 냉동고에 보관하였다. 실험실에서는 단판을 다시 수피와 목부로 분리하여 70° C 건조기에서 건량이 일정해질 때까지 건조시킨 다음 각각의 무게를 측정하였다. 그리고 가지 시료로부터 침엽을 분리하되 침엽의 연령별로 다시 세분하여 당년생, 1년생, 2년생, 3년생 등으로 구분하였다. 침엽의 연령별 생중량을 측정하였으며, 침엽의 연령별로 표준적인 100-150개의 침엽에 대하여 Regent Instrument Inc.의 Win Needle 3.0 version을 사용하여 엽면적을 측정하였다. 엽면적을 측정한 시료는 건조시키고 단위 건량 당 엽면적 (SLA, specific leaf area,  $\text{cm}^2/\text{g}$ )을 산출하였으며, 나머지 침엽도 건조 후 건량을 측정하였다. 단판으로부터 분리, 건량을 측정한 수피와 목부의 자료를 토대로 수간 전체의 수피와 목부 건중량을 추정하였다. 수피, 가지 (죽은 가지와 산 가지), 침엽 (연령별), 목부 등의 건중량과 흉고직경과의 상관관계를 회귀분석하여 임목 구성 부위별 건중량 추정 회귀식을 조제하였다. 이 회귀식을 사용하여 경기도 양평군 양동면 일대에서 조사한 30년생 인공림과 태백산 정상부 일대에서 조사한 천연임분의 잣나무 흉고직경을 대입함으로써 단위 면적 당 생체량을 임목의 부위별로 추정하였다. 침엽의 수관위치별 (상부, 중부, 하부) 및 연령별 SLA의 차이를 general linear model을 사용하여 분석하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 있을 때 평균값의 비교는 Duncan test로 검정하였다. 모든 자료에 대한 통계분석은 SAS를 사용하였다.

### 3. 입지환경과 생산성과의 관계 구명

#### 가. 인공림에서의 입지환경과 생산성 관계 구명

잣나무 생장은 재적이나 흉고직경 성장 등과 같은 기준에 주로 사용되던 지수보다도



생태계 내 물질의 분포와 순환의 측면에서 중요한 생체량을 기준으로 하였다. 또한 입지환경 인자는 그 동안 다른 인자들에 비하여 상대적으로 연구가 미진한 토양환경 인자를 위주로 하였다. 이들간의 상관관계는 임상별 (인공림과 천연림), 지역별, 영급별로 구명하였다. 이를 위하여 잣나무를 인공림과 천연림으로 구분하여 조사 연구하되, 본 연구를 통하여 개발된 생체량 추정 회귀식을 이용하여 각 임분의 생체량을 추정하고 각 임분에서 채취한 유기물 및 무기광물토양의 물리화학적 성질과의 관계를 분석하였다. 연구대상 인공림은 우리나라 잣나무 인공림의 대부분이 분포하고 있는 중부지방에서 경기도 양평군, 가평군, 의정부시 그리고 강원도 철원군 등 4개 지역을 대상으로 하였다. 생체량과 입지환경 인자의 자료는 SAS를 이용하여 다중회귀분석하여 이들 간의 관계를 구명하였다.

#### 나. 잣나무 천연집단 조사

잣나무 천연림은 전국의 여러 고산지대에 잣나무가 단독적으로 분포하고 있는 경우가 많으나 이들과 입지환경 인자간의 관계는 적을 것이므로 이들은 제외하고, 잣나무가 천연적으로 발생하여 비교적 큰 집단을 이루어 생육하고 있는 것으로 볼 수 있는 지역을 조사하여 지리산, 팔공산, 태백산 및 설악산 등의 4개 지역을 대상으로 하였다. 지리산의 잣나무 천연림의 정밀 식생 조사를 1999년 7-8월에 실시하였다. 지리산 반야봉 일대 1400-1700 m 사이에 사면을 따라 10m x 10m의 소형 방형구 10개를 설치하고 방형구 내에 출현하는 식생을 상층, 중층, 하층을 나누어 조사하였으며 지피식생도 조사하였다. 토양은 유기물층 (O층)과 무기광물 토양층의 시료를 조사구당 3곳을 선정하여 정해진 방법으로 채취하였으며 식생조사 자료를 기초로 상대밀도, 평균흉고단면적, 상대빈도, 상대피도, 중요치 등을 구하였다. 유기물 시료 채취 지점은 잣나무를 중심으로 인근에서 채취하되 국부적인 지형이나 유기물의 축적정도 등을 감안하여 주변과 평균적인 장소를 선택하였다. 특히 유기물과 토양의 분석 자료는 잣나무 생육과 토양입지환경 인자들간의 상관관계를 구명하기 위한 자료로 사용될 것이므로 잣나무의 생장과 가장 깊은 관계가 있을 것으로 예상되는 토양입지인자를 찾도록 하였다. 무기광물층 토양은 유기물층 (O층) 아래로부터 모재층 (C층) 위까지의 부분으로써 유기물층을 걷어내고 토양의 단면을 수직으로 파서 모재층이 도달되면 무기광물 토양 층의 모든 부위가 고루 포함되도록 토양시료 200-300g을 채취하였다. 매 조사 방형구 임의

의 3개소로부터 1개씩의 시료를 채취하고 이를 잘 섞은 다음 1개의 분석용 시료를 만들고 수분 손실이 없도록 비닐봉지에 넣고 밀봉하였다. 시료분석은 전술한 방법에 따라 실행하였다.

#### 4. 시비 및 간벌 효과 분석

경기도 수원시와 강원도 춘천시에 식재된 잣나무 다수확 품종 클론보존원에서 질소 시비를 실행하고, 또한 경기도 양평군 잣나무 인공조림지에서 간벌을 실행하고 그 효과를 분석하였다. 시비의 경우 2개 지역에서 각기 다른 2개 영급의 잣나무에 3개 수준의 질소 비료를 시비하였으며, 간벌은 양평지역에서 2개 영급지에서 각기 다른 세종류의 강도별 간벌 시업을 실행하였다. 본 연구에서는 클론보존원을 연구지역으로 선정하여 임목의 생육에 영향을 주는 제반 환경요인을 균일하게 함으로써 처리의 효과를 보다 명확히 나타나도록 하였다 (Barnes and Bengtson 1968). 시비와 간벌의 지속적인 효과를 파악하기 위하여 동일한 처리 임목으로부터 2년에 걸쳐 시료를 채취, 분석하였으며, 특히 질소와 인의 혼합비료 효과를 파악하기 위하여 별도로 질소와 인 복합 시비 처리를 하고 그 효과도 분석하였다.

##### 가. 시비 처리

###### 1) 경기도 수원 클론보존원

경기도 수원시 소재 임업연구원 육종부 잣나무 다수확 품종 클론보존원에서 질소 시비 처리를 하였다. 이 클론보존원은 1983년 평지에 조성된 17년생 임분이며, 이전에 간벌을 실시하여 시비 처리 당시 임목간의 간격은 대부분 4m이고, 모든 임목의 생장 상태는 매우 균일하였다. 2000년 2월 15일 클론보존원 내 임목의 생육환경이 유사한 지역을 시비처리 대상지로 선정하였다. 이 지역에서 대조목, 소량시비목, 다량시비목 용으로 각각 10본의 임목을 정하고, 소량시비목은 붉은색 노끈으로 그리고 다량시비목은 초록색 노끈으로 표시하였다. 질소비료는 유안형태를 사용하였으며, 질소량을 기준으로 소량시비는 50 kg N/ha, 다량시비는 200 kg N/ha의 비료를 임목 주변 반경 1m 이내에 골고루 살포하였고 대조구는 시비를 하지 않았다. 한편 시비가 임목의 생장이나 개화, 결실에 미치는 영향을 연구하기 위해서는 신초 형성 및 화아 분화가 이루어지기 이전인 이른 봄에 실행해야 하는 것으로 알려져 있다 (Matthews 1963). 동일한 시비 처

리 내에서 임목 간의 간격은 최소한 4m 이상이 되도록 하였으며, 시비 처리구 간의 간격은 최소 8m 이상이 되도록 하였다. 또한 동일한 지역 내에 있는 1995년 인공조림한 5년생 잣나무 다수확 품종 클론보존원에서 17년생 임분과 같은 방법과 유사하게 대조목, 소량시비목, 다량시비목을 각각 5본씩 선정하고 시비하였다. 수원지역의 질소 시비 처리목의 총 본수는 45본이었다. 한편 2000년 12월 20일 질소비료와 인산비료를 혼합하여 세 수준으로 시비 처리하였다. 대상 임목은 전년도에 질소를 시비한 임목 인근에서 선정하였다. 시비량은 질소와 인을 기준으로 다량시비는 400 kg N/ha + 100 kg P/ha, 소량시비는 200 kg N/ha + 50 kg P/ha으로 하고, 임목 주변 1m 이내에 골고루 살포하였다.

## 2) 강원도 춘천 클론보존원

강원도 춘천시 소재 임업연구원 육종부 잣나무 다수확 품종 클론보존원에서 시비실험을 실행하였다. 보존원 내에서 1983년 2m 간격으로 식재되어 조성된 17년생 임분과 1989년 식재된 11년생 임분을 연구대상 임분으로 선정하였다. 이 2개 임분 모두는 식재 후 간벌이 실시되지 않아 현재 임목 간의 간격은 2m이다. 2000년 2월 16일 이들 임분에 대하여 시비 처리를 하였는데, 17년생 임분의 경우는 대조목, 소량시비목, 다량시비목을 각각 10본씩 총 30본을 처리하였고, 11년생 임분의 경우는 각각 4본씩 총 12본을 전술한 경기도 수원에서의 방법과 동일하게 처리하였다. 춘천지역의 질소 시비 처리목의 총 본수는 42본이었다. 또한 질소와 인의 복합시비를 수원의 경우와 동일한 방법으로 실시하였다.

## 나. 간벌 처리

경기도 양평군 양동면 일대의 잣나무 인공조림지 중에서 방위, 경사 및 고도가 유사한 지역의 12년생과 18년생 임분을 연구 대상림으로 정하였다. 임분의 상태를 감안하여 18년생 임분에는 20m x 20m의 정방형 조사구를, 그리고 12년생 임분에는 15m x 15m 정방형 조사구를 각각 3개씩 설치하였다. 방형구 간의 간격은 18년생 임분에서는 최소한 20m, 12년생 임분에서는 15m 이상이 되도록 하였다. 2000년 3월 11일 18년생 임분에서 방형구 내 임목의 본수를 기준으로 강도 (잔존 본수 22본- 1ha 기준 550본, 50% 간벌), 중도 (잔존 본수 30본- 1ha 기준 750본, 30% 간벌), 그리고 대조 (잔존 본수 44본- 1ha 기준 1100본) 등 3가지 강도의 간벌을 실행하였다. 또한 3월 12일 12년생

임분에서 방형구 내 임목 본수를 기준으로 강도 (잔존 본수 19본- 1ha 기준 840본, 50% 간벌), 중도 (잔존 본수 29본- 1ha 기준 1290본, 25% 간벌), 그리고 대조 (잔존 본수 38본- 1ha 기준 1680본) 등 3가지의 강도의 간벌을 실행하였다. 이때 간벌 대상목은 임목간의 간격과 성장 상태를 고려하여 선정하였고, 별도한 간벌목은 줄기와 가지를 짧게 잘라 임상에 고루 분포하도록 하였다.

#### 다. 시료 채취 및 분석

시비와 간벌 처리 후 당년생 신초의 생장이 거의 완료된 2000년 7월 13, 14일 양일에 걸쳐 질소 시비 처리목 총 87본과 간벌 처리의 경우는 매 간벌 강도별로 5본씩 총 30본 등 모두 117본의 잣나무 임목으로부터 시료를 채취하였다. 시료는 잣나무 수관의 가장 높은 위치로부터 아래로 3번째 줄기의 남쪽 방향으로 성장한 가지로 하되, 당년생 침엽과 줄기가 완전히 포함되도록 한 다음 고지가위를 사용하여 절단하였다. 채취한 시료는 곧 바로 플라스틱 봉지에 담은 다음 아이스박스에 넣어 실험실로 운반하였다 (Barnes and Bengtson 1968). 시료의 당년생 가지 길이와 침엽을 포함한 총길이를 각각 측정하고 다음 소지와 침엽으로 분리하였다. 또한 2001년 8월 7일에도 동일한 방법으로 시료를 채취하였다. 침엽 가운데 100개를 골라 엽면적 측정기 (WinFolia)로 엽면적을 측정하고 건조시켜 건량을 구한 다음 specific leaf area (SLA,  $\text{cm}^2/\text{g}$ )를 구하였다. 그리고 나머지 침엽과 소지를 건조시켜 건량을 구하였다. 침엽과 소지 시료를 분쇄기로 분쇄한 다음 기초과학연구원 연구소 서울 분소에서 원소분석기 (element analyzer)로 탄소와 질소의 농도를 측정하였다. 침엽과 소지에서 탄소와 질소 농도 및 이들의 비율을 구하였고, 이들 자료를 SAS (1988)의 ANOVA로 지역 및 임분의 연령별로 시비와 간벌이 침엽과 소지의 성장 및 양분 농도에 미치는 영향을 통계분석하였다.

## 제3절 결과

### 1. 생육기초임지환경 구명

#### 가. 식생구조

현재 우리나라의 중부지방에는 잣나무가 인공조림에 의해 널리 식재되어 있다. 그러

나 잣나무 인공조림 이전에 철저한 연구를 통하여 그의 생육입지 여건이 구명되는 단계를 거치지 않았기 때문에 과연 현재 잣나무가 적정한 입지여건에서 생육하고 있는지가 불확실한 상태에 있다. 잣나무 생육 입지환경조건을 조사하기 위해서는 우선 잣나무가 천연적으로 갱신에 의해 성립된 지역의 환경여건을 밝히는 연구가 필요하다. 잣나무 생육 남단 한계자로 알려진 남부지방의 고산지대를 중심으로 잣나무 천연림의 생육입지환경을 조사한 결과는 다음과 같다.

가야산의 경우 국립공원으로 지정되어 다른 고산에 비하여 그 입상이 비교적 잘 보전된 상태에 있다. 그러나 해인사를 비롯하여 인근 사찰이 오랫동안 산림 내에 있어왔기 때문에 주변의 산림은 국지적으로 인위적인 영향을 많이 받은 것으로 보인다. 해인사 팔만대장경 보관 사찰 후편 야산에 수령 60-70년생 정도로 추정되는 잣나무가 수본 출현하고 있는데 이는 해인사에서 식재한 것으로 보인다. 또한 해인사 본찰과 약 1km 정도 떨어져 있는 홍제암이나 달마선원 주변에는 수령 60-80년 정도의 생육상태가 양호한 잣나무 임분이 있으나 확인 결과 일제시대에 인공 조림한 것으로 밝혀졌다. 그리고 이들 임분 주변의 고지대 계곡부위에 단독적으로 잣나무가 출현하고 있는데 이것은 잣나무 인공림의 종자에서 기인한 것으로 보인다. 인근의 산림식생은 신갈나무나 고로쇠나무 등 낙엽활엽수림이 중심이고 특히 노각나무가 집단적으로 생육하고 있음이 발견되었다. 가야산 해발 약 1,000m 부근에도 잣나무가 소나무와 함께 출현하고 있는데 이 역시 인공조림에 의한 것으로 짐작되나 추후 조사를 통하여 확인할 필요가 있는 것으로 보인다.

영취산의 경우 해발 약 300m 정도부터 소나무의 천연 단순림이 출현하고 고도가 증가할수록 쇠물푸레, 서어나무, 물오리나무, 호랑버들, 때죽나무, 고로쇠나무, 팔배나무 등의 낙엽활엽수림이 혼효되어 나타나고 있다. 특히 해발 약 600m 정도부터는 서어나무의 출현빈도가 급격히 증가하는 현상을 보이고 있다. 해발 약 700m 이상에서는 소나무가 더 이상 출현하지 않는 낙엽활엽수림대로 바뀌며, 잣나무는 해발 약 800m 정도에서부터 정상부근까지 단독상으로 출현하고 있다. 해발 1,000m 이상의 정상부근 남쪽 사면은 주로 암석지로 되어 있으며, 여기에는 신갈나무 (수고 3-4m, 흉고직경 10-20cm)와 진달래 (수고 2m 이하, 근원경 5cm 이하)가 주식생으로 상층임관을 구성하고 하층에는 집단적으로 조릿대가 나타나며, 이들 사이에 잣나무가 특히 암석지 주변에 생육하고 있다. 정상부근은 상시로 부는 바람의 영향으로 교목성의 신갈나무도 수

고가 3-4m 정도에 그치고 있고 잣나무도 수고가 이와 유사하며 토심은 5-10cm로 매우 얇은 상태를 보이고 있다. 그러나 낙엽층은 비교적 양분의 함량이 높고 분해가 빠른 낙엽으로 구성되어 있으며, 토색으로 보아 토양무기광물 내 유기물의 함량은 비교적 높은 것으로 추정된다. 부분적으로 등산객의 통로로 이용된 지역의 경우 식생이 파괴되어 유기물의 집적이 없고 모재가 노출되어 매우 척박한 상태를 보이고 있다. 북쪽사면에는 목본식생의 출현이 매우 빈약하여 진달래만 군상으로 정상부를 향하여 편기된 가지의 모양으로 출현하고 있다. 그러나 북쪽사면은 경사가 비교적 완만하고 일년생 초본류의 생육이 활발하여 토양의 유기물공급량이 많고 따라서 비교적 양호한 토양성질을 보이고 있다. 정상외 능선을 경계로 방위에 따른 잣나무 출현 차이가 확연함을 볼 수 있다.

팔공산에서는 해발 약 900m 부근에 위치한 염불암 주변부터 잣나무가 출현하여 정상인 동봉 (해발 1,192m)까지 단목상으로 계속 나타나고 있다. 영취산과 마찬가지로 팔공산의 경우도 남쪽사면에는 암석 등이 주로 있고 경사도 급하며 잣나무가 신갈나무, 단풍나무류, 진달래 등의 낙엽활엽교목 또는 관목류와 함께 출현하나 북쪽사면은 완만한 경사지에 잣나무는 없으며 관목류만 나타나고 있다. 남쪽사면의 해발 약 800m 정도까지는 소나무가 집단적으로 생육하고 있고 고도에 따라 소나무의 빈도는 급속히 감소하며 해발 약 1,000m 부근의 서향에는 잣나무가 소나무와 혼효된 상태로 출현하고 있다. 그 이상의 고도에서는 더 이상 소나무는 나타나지 않고 있으며 낙엽활엽수림 내에 단목상의 잣나무만 생육하고 있다.

조사대상 천연림의 출현식생을 임관의 층위별로 보면 상층과 중층에는 신갈나무와 당단풍, 그리고 중층과 하층에는 진달래, 산철쭉, 철쭉, 싸리 종류가 가장 빈번하게 나타나고 있다. 이러한 종들은 우리나라 전역에 걸쳐 분포하는 비교적 온도에 대한 적응범위가 큰 것으로 본 연구결과는 다른 연구에서도 거의 같은 현상을 보이고 있다 (김진수 1990). 특히 팔공산에서 관찰된 하층의 조릿대가 밀생하는 현상은 다른 천연림의 경우와도 동일하였다.

우리나라의 잣나무 천연림은 낙엽활엽수와 혼생을 하되, 단목적 혹은 군상으로 출현하더라도 단위면적 당 밀도가 매우 낮고 설악산의 극히 일부 지역 (권금성)을 제외하고는 잣나무 우점의 상태를 보기가 매우 어렵다 (김진수 1990). 그러나 전세계적으로 가장 중요한 잣나무 천연림의 주요 분포지역으로 알려지고 있는 중국의 흑룡강성 주변

은 잣나무가 산악지대에서는 상층임관을 완전히 우점하고 있으며, 비교적 습한 환경사지의 경우에도 *Larix olgensis*나 *Ulmus japonica* 등과 함께 상층임관을 구성하고 있다. 그리고 잣나무-낙엽활엽수 혼효림에서 잣나무와 함께 출현하는 수종은 피나무 (*Tilia amurensis*), *Abies nephrolepis*, 단풍나무류 (*Acer* spp.) 등이고, 하층에는 다수의 잣나무 치수가 생육하고 있어 천연갱신이 지속적으로 이루어지는 것으로 보고되고 있다 (Namikawa and Wang 1996). 또한 중국의 길림성 주변 장백산 일대의 소나무-낙엽활엽수 혼효림에서 조사한 결과에 의하면 비교적 편평하고 습하며 양분이 비옥한 입지조건 하에서는 잣나무가 피나무, 신갈나무, 들메나무 등과 함께 출현하고 있다 (Barnes 등 1992). 반면 경사가 약간 있고 비교적 척박한 입지에서는 잣나무가 신갈나무와 같이 생육하고 있는 것으로 알려지고 있다. 그리고 하층식생으로는 단풍나무류가 주로 나타나되 특히 당단풍이 다수 출현하고 있다. 이러한 중국에서의 잣나무 천연림의 식생구성 상태는 약간의 차이는 있지만 우리나라와 매우 유사한 특성을 보이고 있는 것으로 판단된다.

천연림에서 출현하는 수종들의 상대밀도, 상대빈도, 상대피도 그리고 상대우점도를 Table 2-2에 나타내었다. 잣나무를 기준으로 주변의 임목을 측정했기 때문에 잣나무의 상대우점도가 높게 나타나고, 상층임관을 구성하는 수종으로는 신갈나무가 가장 우세한 값을 보이고 있다. 또한 출현 종들을 단위 ha 당 본수로 환산하면 신갈나무가 가장 많은 것으로 나타나고 있다.

Table 2-2. Species composition in a natural *Pinus koraiensis* stand.

Species	RD	RF	RC	IV	No/ha
<i>Pinus densiflora</i>	4.76	7.69	5.77	6.08	2
<i>Pinus koraiensis</i>	26.19	26.92	41.63	31.58	11
<i>Quercus mongolica</i>	40.48	26.92	30.16	32.52	17
<i>Castanea crenata</i>	2.38	3.85	1.46	2.56	1
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	2.38	3.85	1.03	2.42	1
<i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	4.76	7.69	2.76	5.07	2
<i>Celtis sinensis</i>	2.38	3.85	3.10	3.11	1
<i>Styrax obassia</i>	2.38	3.85	1.72	2.65	1
<i>Carpinus laxiflora</i>	14.29	15.38	12.36	14.01	6

조사대상 잣나무 천연림의 종다양도 지수는 Table 2-3과 같다. 잣나무 천연림의 종다양도 지수는 조사구에 따라 약간의 차이는 있으나 1.0114-1.5607 사이에 있어, 다른 천연림에서 관찰되는 지수와 큰 차이는 없다 (김지홍 등 1993). 특히 보통의 산림식생 천이 단계상 증기 이후에 나타나는 서어나무, 쪽동백 등이 출현하고 있어 식생천이가 상당히 진행되어 있음을 보이고 있다. 수종의 균재도는 0.8117-0.9697 사이에 있어 다른 천연림에 비해 매우 높게 나타나고 있다. 이는 우점종에 해당하는 종들이 불과 수종에 그치고, 이 종들이 임분 내에 고르게 분포되어 있기 때문인 것으로 보인다.

Table 2-3. Diversity indices in a natural *Pinus koraiensis* stand.

Plot	1	2	3	4	5	6	7
R1	2.2324	1.6743	1.1162	1.1162	1.6743	1.6743	1.1162
R2	2.0412	1.6330	1.2247	1.2247	1.6330	1.6330	1.2247
$\lambda$	0.2222	0.2000	0.2667	0.2667	0.2000	0.2000	0.2667
H'	1.5607	1.2425	1.0114	1.0114	1.2425	1.2425	1.0114
N1	4.7622	3.4641	2.7495	2.7495	3.4641	3.4641	2.7495
N2	4.5000	3.0000	2.5714	2.5714	3.0000	3.0000	2.5714
E1	0.9697	0.8962	0.9206	0.9206	0.8982	0.8982	0.9206
E2	0.9524	0.8660	0.9165	0.9165	0.8660	0.8660	0.9165
E3	0.9406	0.8214	0.8748	0.8747	0.8214	0.8214	0.8747
E4	0.9449	0.8660	0.9352	0.9352	0.8660	0.8660	0.9352
E5	0.9303	0.8117	0.8982	0.8982	0.8117	0.8117	0.8982

현재까지 문헌조사에 의하면 우리나라 중남부 지방의 고산지대에 출현하는 잣나무에 대한 생육입지환경 연구결과 잣나무는 천연적으로 주로 해발 800m 이상 남쪽사면의 급경사지 비교적 토심이 얇은 입지에 참나무류의 교목이나 진달래와 같은 관목류와 함께



나타나고 있음이 밝혀지고 있다. 현재 진행 중인 다른 고산지역에 단목 또는 집단적으로 출현하는 잣나무 임지의 임지의 토양환경인자도 정량적으로 분석하고 이들을 잣나무 인공조림지의 토양환경도 조사 결과와 결부시켜 분석하면 잣나무의 보다 명확한 생육특성을 밝혀 낼 수 있을 것으로 기대된다.

강원도 철원군, 경기도 가평군과 양평군, 경기도 의정부시 등의 잣나무 인공조림지 하층식생은 지역에 따라 약간의 차이는 있으나, 신갈나무, 갈참나무, 당단풍, 국수나무, 생강나무, 산뽕나무, 산초나무, 팔배나무, 물푸레나무, 졸참나무, 진달래 등이 일반적으로 출현하고 있다 (이돈구와 우수영 1989). 일부 임연부위나 임관이 많이 소개된 곳에서는 칩이 나타나기도 한다. 본 연구 결과 잣나무 인공림의 하층식생은 천연임분에 비하여 매우 빈약하며 임관의 울폐도가 높아질수록 내음성이 강한 종들이 출현하는 현상을 보이고 있다. 그러나 유령림인 경우나 임관이 간벌 등으로 소개된 곳에서는 신갈나무와 같은 비교적 내음성이 적은 수종도 출현하고 있다. 이러한 결과는 김진수 (1990)에서도 확인된 바 있다. 한편 전상근과 정현배 (1971)은 강원도 춘성군의 5-40년생 잣나무 인공림에서 하층식생을 조사한 결과, 임령에 따라 약간의 차이가 있기는 하나 신갈나무, 조록싸리, 난티잎개암나무, 병꽃나무, 다릅나무, 산뽕나무 등이 출현하고 있는 것으로 보고하였다. 그리고 임령의 증가에 따라 전체적으로 하층식생의 밀도가 감소하고 신갈나무와 조록싸리 등이 줄어들고 난티잎개암나무가 늘어나는 현상을 보인 바 있다.

#### 나. 임지환경인자

잣나무 천연림이 출현하는 임지는 팔공산의 경우 해발고도가 800m 이상이고 대부분 남향 또는 남동향의 사면이다 (Table 2-4). 유기물층의 깊이는 국부 지형에 따라 차이가 있으나 10cm 이상 되는 곳이 많다. 이는 잣나무 순림의 인공림에서 보다 혼효되어 있는 낙엽활엽수의 낙엽 공급량이 많고 또 고지대의 경사지에 위치하여 낙엽의 분해속도가 느리기 때문인 것으로 보인다. 유기물 내의 인, K, Ca, Na Mg 등의 농도는 다른 천연림에서 나타나는 농도와 유사한 경향을 보이고 있다 (김진수 1990). 유기물층의 양분 구성면에서 보면 N, P, K, Ca, Mg 등의 농도가 인공림에서 보다 천연림의 낙엽활엽수와 혼효림에서 높은 것으로 나타나고 있는 것으로 보고되고 있다 (Wang, 1994). 그러나 팔공산의 경우는 고지대 급경사지의 사질계통의 토양에서 발달한 이유로 이와

같은 현상이 나타나고 있지 않다.

팔공산의 잣나무 천연림은 암석지 사이의 일부 광물토층에서 나타나고 있기 때문에 무기광물 토양층이 다른 잣나무 천연림에 비해 얇고, 입경분석에 의하면 모래의 구성 비율이 대부분 50% 정도를 차지하여 토성이 사질쪽에 가까운 성질을 보이고 있다 (Table 2-5). 중국의 경우 잣나무 천연활엽수림의 토양 내 pH는 5-6 사이로 알려져 있으며 (Wang 1994), 우리나라에서는 잣나무 천연림에서 토양 pH가 4.5-5.5 사이를 보이는 것으로 보고되고 있다 (김진수 1990). 그러나 팔공산의 천연림에서는 무기광물 토양의 수분과 양분 보유능력이 낮아 다른 잣나무 천연림에서 일반적으로 나타나는 pH 범위보다도 상당히 낮은 pH 4.5 정도를 보이고 있다. 또한 다른 무기원소의 농도도 상대적으로 낮게 나타나고 있다. 또한 토양 내 유기탄소 (유기물)의 함량도 다른 지역에 비해 낮은 상태이다 (김진수 1990, Barnes 등 1992). 우리나라를 포함한 아시아에서의 잣나무 수평적 및 수직적 분포상태를 기초로 조사한 결과에 의하면 잣나무 출현에 가장 큰 영향을 주는 인자를 수분조건 즉 강수량에서 증발량을 제외한 유효수분인 것으로 알려지고 있다 (Wang 1994). 이에 따라 토양의 함수율이 잣나무의 출현과 생장을 결정하는 매우 중요한 요인이 될 수 있는데, 팔공산의 토양 함수율은 다른 잣나무 천연림에서 일반적으로 관측되고 있는 수치에 비해 낮게 나타나고 있다.

Table 2-4. Characteristics of site and organic layer in a natural Palgong Mountain *Pinus koraiensis* stand.

Plot	Elevation (m)	Aspect (o)	Slope (o)	Organic layer						
				Depth (cm)	pH	P (ppm)	Mg (%)	Ca (%)	Na (%)	K (%)
1	850	135	25	5.3	4.54	239	0.096	0.103	0.031	0.070
2	850	135	25	11.0	4.59	276	0.110	0.111	0.039	0.102
3	865	135	35	15.0	4.02	392	0.077	0.028	0.069	0.136
4	875	135	35	10.0	4.26	410	0.138	0.077	0.042	0.142
5	877	180	10	9.0	4.31	481	0.138	0.078	0.052	0.149
6	885	180	20	8.0	3.90	407	0.107	0.020	0.103	0.161
7	900	135	30	2.0	4.20	302	0.091	0.054	0.039	0.108

잣나무 인공조림지는 천연림에 비하여 고도와 경사가 낮은 지대에 분포하고 있기 때문에 무기광물을 구성하는 입자가 천연림의 경우보다 미사와 점토의 비율이 높은 양토에 가까운 성질을 보이고 있다 (Table 2-6, 2-7). 그러나 유기물이 대부분 잣나무의 침엽에서 유래하고 이로부터 발생하는 유기산의 농도가 높을 때문에 pH는 천연림에서 보다 낮은 경향을 보이고 있다.

Table 2-5. Characteristics of mineral soils in a natural Palgong Mountain *Pinus koraiensis* stand.

Plot	Depth (cm)	Moisture (%)	pH	Particle (%)			Texture	O. C. (%)	Ava. P (ppm)	Cation (ppm)				CEC (me/100g)
				clay	silt	sand				Mg	Ca	Na	K	
1	45.0	15.9	4.46	50.2	7.2	42.6	C	6.5	0.3	1.1	9.0	2.0	3.4	3.7
2	40.0	14.1	4.59	14.3	42.9	42.8	L	6.3	0.6	3.0	27.5	2.3	3.5	5.6
3	42.0	14.4	4.69	27.1	27.1	45.8	SCL	6.6	0.2	0.9	3.0	2.8	3.4	3.2
4	40.0	14.2	4.53	23.9	31.9	44.2	L	6.8	0.1	3.1	17.4	1.9	4.4	6.5
5	30.0	12.1	4.77	39.8	23.9	35.3	CL	6.8	0.1	1.1	4.7	2.3	3.7	6.4
6	28.0	15.8	4.42	29.9	22.4	47.7	SCL	6.8	0.5	4.8	20.8	2.1	7.0	7.1
7	rock	13.2	3.97	32.4	8.1	59.5	SCL	3.3	0.5	3.4	17.4	2.6	4.5	7.7

즉 무기양분의 농도가 비교적 높은 낙엽활엽수의 계속적 공급이 있는 천연림의 유기물층과 무기광물 토양층의 pH가 상대적으로 높은 것은 일반적으로 관찰될 수 있는 현상이다 (Binkley 1986). 매년 토양으로 유입되는 유기물의 양은 낙엽활엽수와 혼생하고 있는 잣나무 천연림에서 많을 것이므로 무기광물토양 내의 유기탄소 (유기물)의 함량 또한 잣나무 인공림에서 낮게 나타나고 있다 (Table 2-6, 2-7). 몇 가지 요인이 작용하고 있을 것으로 예측되지만 잣나무 인공림에서 미사와 점토의 함량이 높아 염기성 양이온의 흡착, 보유력이 높고 이에 따라 토양 내 양이온의 농도와 CEC가 천연림에서

보다 높은 것으로 추정된다. 토양 내 pH, 유기탄소, 양분의 농도 등은 다른 인공림에서 나타나는 수치와 매우 유사한 값을 보이고 있다 (김진수 1990, 이돈구와 우수영 1989, 이돈구 등 1987). 천연림과 인공림 모두에서 토양의 제반 성질과 잣나무의 출현 및 성장간의 관계 연구에서 토양형, A층의 두께, 유기물 함량, 토심, 토성 등이 잣나무 성장에 영향을 주는 것으로 알려져 있다 (마상규 1974, 이종락 1976). 따라서 본 연구결과로 얻은 입지환경인자의 자료를 잣나무 출현상태와 임목 성장과의 상관관계를 구명할 수 있을 것으로 예상된다.

Table 2-6. Characteristics of site and organic layer in a artificial *Pinus koraiensis* stand.

Plot	Aspect	Slope (°)	Organic layer						
			depth (cm)	pH	P (ppm)	Mg (%)	Ca (%)	Na (%)	K (%)
C1	360	9	-	4.68	656	0.13	0.90	0.05	0.23
C2	360	17	-	4.96	571	0.12	0.68	0.05	0.22
3	360	17	-	5.03	693	0.14	0.93	0.03	0.14
4	360	9	-	4.61	665	0.12	0.90	0.02	0.14
5	80	17	-	4.91	448	0.17	1.23	0.05	0.25
6	70	17	-	4.99	482	0.13	0.76	0.06	0.24
7	270	40	-	4.85	629	0.18	1.12	0.04	0.20
8	310	35	-	4.59	575	0.15	0.92	0.04	0.18
EY1	-	-	3.4	4.71	447	0.11	0.79	0.02	0.11
2	-	-	2.8	4.93	506	0.17	0.81	0.02	0.12
3	-	-	4.0	4.75	527	0.09	1.00	0.01	0.10
4	-	-	4.5	4.75	467	0.09	0.95	0.02	0.15
5	-	-	3.8	4.81	314	0.11	0.95	0.01	0.08
Y1	-	-	1.5	4.61	508	0.13	1.05	0.01	0.10
2	-	-	2.0	4.75	263	0.12	1.03	0.01	0.08
3	-	-	3.0	4.76	297	0.11	0.94	0.01	0.08
4	-	-	2.8	4.88	367	0.10	0.92	0.01	0.07
5	-	-	2.9	4.76	302	0.12	1.12	0.01	0.07
K1	328	15	3.0	4.73	450	0.15	0.09	0.03	0.13
2	270	10	5.0	4.46	889	0.51	0.08	0.08	0.45
3	141	14	5.5	4.51	275	0.10	0.10	0.04	0.08
4	152	26	6.0	4.47	391	0.18	0.11	0.04	0.13
5	30	18	5.2	4.85	292	0.21	0.11	0.04	0.19
6	4	12	6.3	5.21	344	0.14	0.14	0.04	0.11
7	160	29	7.5	4.77	505	0.16	0.10	0.04	0.14
8	342	24	5.0	4.59	443	0.11	0.08	0.04	0.13
9	305	13	3.2	4.44	507	0.12	0.10	0.03	0.10

Table 2-6, continued.

Plot	Aspect	Slope (°)	Organic layer						
			depth (cm)	pH	P (ppm)	Mg (%)	Ca (%)	Na (%)	K (%)
10	318	10	4.2	4.73	526	0.10	0.10	0.03	0.10
11	300	32	4.2	4.52	548	0.15	0.09	0.03	0.12
12	205	26	4.6	4.44	567	0.13	0.09	0.04	0.13
13	152	27	4.7	4.70	516	0.10	0.10	0.03	0.10
14	146	24	3.7	4.07	476	0.10	0.07	0.03	0.09
15	231	13	1.5	4.05	399	0.11	0.10	0.03	0.08
16	205	13	2.8	4.56	466	0.11	0.11	0.03	0.10
17	339	19	4.3	4.35	614	0.13	0.09	0.02	0.32
18	379	36	5.8	4.01	765	0.23	0.10	0.04	0.22
19	274	27	4.2	5.10	601	0.15	0.10	0.03	0.22
20	286	29	5.0	4.23	377	0.17	0.06	0.03	0.28
21	101	28	4.7	4.57	589	0.13	0.11	0.03	0.13
22	95	41	5.3	4.03	638	0.12	0.08	0.03	0.13
23	85	28	4.0	4.59	345	0.12	0.09	0.03	0.11
24	150	33	6.0	4.54	638	0.15	0.12	0.02	0.11
25	120	27	5.5	4.36	532	0.13	0.10	0.03	0.11
26	109	27	6.5	4.24	896	0.12	0.08	0.03	0.11
27	56	8	3.8	4.39	631	0.12	0.08	0.03	0.10
28	45	10	3.7	4.39	1064	0.17	0.09	0.03	0.19
29	254	38	10.7	4.43	730	0.13	0.11	0.02	0.14
30	238	32	5.7	3.89	591	0.14	0.10	0.03	0.14
31	129	11	5.5	4.24	547	0.11	0.09	0.02	0.11
32	151	11	5.8	4.06	631	0.11	0.11	0.02	0.11
33	283	17	4.2	3.68	359	0.13	0.10	0.02	0.08
34	290	18	4.7	3.39	365	0.12	0.09	0.02	0.07
35	97	20	5.7	4.07	493	0.15	0.09	0.02	0.10
36	92	21	4.3	3.94	339	0.14	0.11	0.02	0.07

Table 2-7. Characteristics of mineral soils in an artificial *Pinus koraiensis* stand.

Plot	Depth (cm)	Moisture (%)	pH	Testure	O. C. (%)	Ava P (ppm)	Cation(ppm)				CEC (me/100g)
							Mg	Ca	Na	K	
C1	-	22.3	4.67	SCL	3.8	2.0	2.0	19.0	1.3	3.0	1.8
2	-	18.9	4.83	SCL	3.7	1.8	2.1	17.5	1.5	4.2	3.5
3	-	31.1	4.83	SCL	5.2	0.7	4.1	31.8	1.6	3.4	5.0
4	-	23.8	5.04	SCL	4.5	0.9	1.9	18.9	2.3	2.7	5.4
5	-	19.1	4.68	SCL	3.5	0.9	1.5	11.8	1.8	2.5	3.5
6	-	23.0	5.01	SCL	3.6	0.4	1.9	12.9	2.1	2.3	3.8
7	-	30.7	4.58	SCL	5.2	0.1	0.7	6.3	1.7	1.8	4.5
8	-	30.3	4.33	SCL	5.8	0.2	2.0	18.5	2.0	2.3	4.4
EY1	21.0	15.5	4.15	SCL	1.6	1.0	3.2	21.7	2.1	5.5	4.0
2	20.0	21.1	4.81	SCL	1.4	3.2	18.7	87.6	2.2	9.3	5.6
3	20.0	17.8	4.31	SCL	2.0	1.0	3.0	16.3	2.1	3.5	4.9
4	16.0	12.5	4.32	SCL	2.5	0.7	2.6	19.8	2.0	2.8	4.4
5	19.0	15.8	4.71	SCL	3.2	0.5	4.6	42.9	2.1	3.0	4.8
Y1	16.0	26.8	4.19	L	2.4	1.6	2.1	13.2	1.7	3.6	5.2
2	18.0	28.2	4.26	L	3.1	0.2	1.9	16.0	1.8	4.2	5.5
3	17.7	33.7	4.45	L	3.3	0.2	1.1	11.4	1.9	4.2	5.9
4	16.7	30.8	4.09	L	3.5	0.2	1.4	12.8	1.8	3.8	2.1
5	20.0	26.8	4.11	L	3.4	0.4	1.0	10.3	2.0	2.9	3.5
K1	15.3	-	4.66	CL	1.5	6.0	1.7	12.3	1.7	4.5	4.0
2	23.0	-	4.56	CL	1.1	1.0	2.9	28.5	1.5	6.2	4.8
3	30.0	24.9	4.30	SCL	3.5	4.5	0.6	4.6	1.2	3.2	5.5
4	30.0	22.0	4.06	SCL	3.1	1.5	1.3	10.7	1.5	4.3	6.1
5	30.0	47.6	4.46	-	6.7	2.2	4.0	42.5	1.7	5.8	7.5
6	11.7	34.9	4.34	-	6.6	2.8	2.4	19.8	1.3	5.6	7.8
7	14.3	24.5	4.30	CL	5.2	3.2	3.5	34.4	2.1	7.4	7.0
8	20.7	23.7	4.14	CL	3.0	1.4	1.0	6.9	1.5	4.3	5.4
9	15.3	29.2	4.73	C	2.7	4.7	1.5	13.0	1.1	6.5	5.2

Table 2-7. continued.

Plot	Depth (cm)	Moisture (%)	pH	Texture	O. C. (%)	Ava P (ppm)	Cation(ppm)				CEC (me/ 100g)
							Mg	Ca	Na	K	
10	14.3	28.8	4.71	C	2.6	4.8	2.3	23.9	1.3	7.6	5.6
11	13.3	21.1	4.44	CL	3.9	2.1	2.6	25.2	1.4	4.0	5.2
12	13.3	28.4	4.21	CL	3.3	0.7	1.9	10.8	1.5	5.1	6.4
13	13.3	22.2	4.45	C	2.1	1.7	5.3	37.1	1.4	9.5	6.7
14	15.0	27.9	4.59	C	2.5	5.3	4.4	28.9	1.6	7.7	5.1
15	9.3	33.5	4.37	C	4.5	2.5	2.5	22.8	1.4	4.7	6.3
16	11.7	21.4	4.29	C	3.2	1.9	1.2	6.5	1.4	3.2	7.2
17	11.3	38.6	4.69	CL	4.7	3.5	4.6	40.6	1.9	9.6	7.9
18	20.1	43.1	4.56	CL	6.5	2.5	5.2	52.0	1.6	5.5	8.1
19	18.0	20.1	4.47	L	2.0	1.6	1.3	10.1	2.0	3.4	4.9
20	16.7	18.9	4.33	L	1.3	0.8	1.0	5.2	1.4	2.7	6.1
21	15.7	26.8	4.68	C	3.7	3.2	8.4	62.9	1.5	12.1	5.9
22	17.3	21.8	4.44	C	2.8	2.5	2.4	16.0	1.3	7.4	6.1
23	12.3	53.2	4.35	C	6.5	1.2	2.9	22.6	1.8	4.7	5.8
24	20.8	30.2	4.14	C	3.6	1.1	2.1	12.7	1.6	4.2	6.7
25	16.0	36.1	4.50	CL	3.1	0.6	4.2	20.5	1.4	4.3	6.3
26	14.0	27.7	4.56	CL	3.3	0.8	5.7	30.6	1.6	7.2	7.0
27	15.0	17.7	4.66	SCL	3.3	11.1	3.2	29.3	1.3	5.2	6.1
28	18.0	20.4	4.24	SCL	2.8	6.1	0.8	4.5	1.4	3.4	6.4
29	25.0	27.9	4.66	SCL	5.3	2.6	3.9	25.6	1.3	3.6	6.5
30	14.0	24.3	4.15	SCL	3.8	2.0	2.3	24.0	1.4	3.9	7.1
31	18.0	43.8	4.41	SiCL	5.2	1.0	1.3	9.7	1.4	3.0	5.5
32	14.0	41.9	4.43	SiCL	5.5	1.7	2.9	27.0	1.3	5.7	9.4
33	11.7	25.5	4.45	CL	5.7	5.1	4.7	32.0	1.9	53.2	6.9
34	15.0	27.6	4.74	CL	5.1	0.4	2.9	18.5	1.5	4.3	6.4
35	10.0	51.7	4.95	CL	6.5	6.5	13.2	102	1.6	15.3	12.1
36	10.0	39.3	4.50	CL	6.2	3.3	8.0	63.4	1.6	11.3	6.6

## 2. 물질생산량 추정 및 태백산 천연림의 입지환경 인자

### 가. 잣나무 생체량 추정 회귀식 조제 및 생체량 추정

잣나무 생체량 추정 회귀식은 Table 2-8에 나타나 있다. 표에서와 같이 모든 부위에



서의 회귀식은 통계적으로 매우 유의하며 ( $p < 0.0001$ ), 설명력도 가지와 잎을 제외하고는 0.95 이상의 매우 높은 값을 보이고 있다. 특히 본 연구에서는 이전의 다른 연구에서 대개 수간을 목부와 수피를 합하여 생체량을 추정하고, 침엽의 경우도 연령의 구별이 없었던데 비하여, 이들을 분리함으로써 보다 정확한 생체량 추정이 가능하게 되었다.

Table 2-8. regressions for *Pinus koraiensis*. Equations follow the form  $\log Y = a + b \log X$ , where  $Y$  is dry mass (kg), and  $X$  is DBH (cm). CF is a correction factor (Sprugel 1983).

Component	a	b	$S^2_{yx}$	$r^2$	p	CF
Stemwood	-0.801	2.201	0.011	0.962	0.0001	1.005
Stembark	-1.329	1.832	0.008	0.959	0.0001	1.004
Branch (total)	-1.983	2.659	0.089	0.868	0.0001	1.046
Live	-2.087	2.606	0.114	0.832	0.0001	1.059
Dead	-2.614	2.756	0.105	0.856	0.0001	1.054
Needle (total)	-3.693	3.606	0.099	0.916	0.0001	1.051
Current	-4.164	3.695	0.114	0.909	0.0001	1.058
>1 yr	-3.861	3.537	0.098	0.914	0.0001	1.050
Total	-0.856	2.386	0.008	0.974	0.0001	1.004

위의 회귀식을 사용하여 잣나무 30년생 인공림과 천연림의 생체량을 부위별로 추정하여 단위 면적 당으로 환산한 값이 Table 9에 나타나 있다. 이 회귀식을 사용하여 인공림의 지상부 생체량을 추정한 결과 30년생 잣나무의 건량은 총 253.6t/ha이며, 이 가운데에 목부가 가장 많은 161.4t/ha, 다음이 가지 46.5t/ha, 잎 18.4t/ha, 그리고 수피 15.1t/ha 등의 순을 보이고 있다. 가지 중에는 산가지가 31.4t/ha 그리고 죽은 가지가 14.9t/ha를 보이고 있다. 침엽의 경우 연령에 따라 분류하면 당년생, 1년생, 2년생, 그리고 극히 일부에서 3년생까지 출현하는데 보통은 2년생까지가 대부분 가지에 있어 잣나무 잎의 수명은 3년 미만으로 볼 수 있다. 침엽의 연령별 생체량은 당년생에서 8.3t/ha, 1년생 8.0t/ha, 그리고 2년생에서 1.9t/ha를 보여 침엽 발생 후 2년이 경과하면서 급격히 낙엽되는 것으로 나타나고 있다. 이러한 잣나무 인공림의 지상부 생

체량을 다른 수종의 경우와 비교하면 약간 높게 나타나고 있는데, 이는 연구 대상지 임분 밀도가 ha 당 1,300본으로 매우 높는데 기인하는 것으로 보인다. 임목의 구성 부위별 생체량의 순위나 그 비중은 다른 임목에서 일반적으로 보이는 경향과 매우 유사하다. 천연림에서 생체량을 추정하기 위해서는 일반적으로 인공림에서와 동일하게 천연림의 임목을 벌채하고 이를 부위별로 분류하여 회귀식을 조제하여야 하나, 현재 우리나라는 집단적으로 여러 등급이 골고루 포함되어 출현하는 잣나무 천연림이 거의 없기 때문에 이를 실행하기가 현실적으로 매우 어렵다. 또한 잣나무가 천연으로 분포하는 고산지대는 국립공원이나 다른 보호지구로 지정되어 임목의 다량 벌채는 불가능한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 인공림을 토대로 추정한 회귀식을 준용하여 생체량을 추정하였다 (Table 2-9). 천연림의 조사구에 출현하는 잣나무의 본수와 흉고직경에 따라 생체량에서 큰 변화를 보이는데, 지상부 전체 생체량이 5번 조사구에서는 36.2t/ha로 가장 낮고 4번 조사구에서는 262.9t/ha로 가장 높게 나타나 조사구간의 변이가 매우 크다. 천연림 9개 조사구에서 총 39본의 잣나무가 출현하여 ha 당 평균 430본 (평균 흉고직경 23.0cm) 정도의 출현 본수를 보이고 있는데, 지상부의 총 생체량은 118.2t/ha로 나타나고 있다. 이러한 수치는 일반적으로 인공림에서 조사된 유사한 등급에서의 생체량과 비슷한 수준이다.

Table 2-9. Biomass for artificial and natural *Pinus koraiensis* stand (t/ha). Values in parentheses denote standard error of the mean.

Component	Artificial	Natural
Stemwood	161.38 (11.96)	72.72 (35.40)
Stembark	15.13 (0.98)	6.39 (2.72)
Branch (total)	46.52 (4.44)	22.87 (13.14)
Live	31.37 (2.90)	15.26 (8.61)
Dead	14.89 (1.51)	7.46 (4.44)
Needle (total)	18.39 (2.86)	11.05 (8.58)
Current	8.31 (1.34)	5.10 (4.06)
>1 yr	10.01 (1.51)	5.93 (4.51)
Total	253.58 (20.51)	118.24 (61.61)

잣나무 침엽의 수관 위치별, 영급별 SLA는 Table 2-10에 나타나 있다. 표에서와 같이 SLA는 수관의 위치와 침엽의 연령에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보이고 있다. 일반적으로 SLA는 동일한 수관 위치에서는 당년생 침엽에서 가장 높고 연령의 증가에 따라 감소하는 경향이 있다. 예를 들면 수관 상부에서 당년생 SLA ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )는 43.0이지만 1년생과 2년생에서는 각각 38.5와 35.3을 보이고 있다. 또한 동일한 침엽의 연령에서는 수관의 하부에서 가장 높으며 수관의 상부로 갈수록 감소하는 경향을 보이고 있는데, 당년생 침엽에서 SLA ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )는 수관의 하부에서 52.1로 가장 높고 중부와 상부로 갈수록 각각 46.9, 43.0 등으로 감소하고 있다. 다른 연구에서 잣나무를 대상으로 수관 위치와 침엽의 연령에 따른 차이를 검정한 결과가 없었기 때문에 본 과제 연구에서 나타난 이러한 SLA의 결과를 직접 비교하기는 어려우나, 다른 소나무속 침엽수에서 측정된 SLA에 비해서는 잣나무에서 전반적으로 높은 값을 보이고 있다.

Table 2-10. Specific leaf area. Values in parentheses note standard error of the mean. Alphabet represents differences in needle ages, and number represents differences in canopy positions.

Needle age	Canopy		
	Upper	Middle	Lower
Current	43.0(1.3) <sup>as</sup>	46.9(1.3) <sup>az</sup>	52.1(1.4) <sup>al</sup>
1-yr	38.5(1.3) <sup>bs</sup>	42.5(1.2) <sup>bz</sup>	46.5(1.3) <sup>bl</sup>
2-yr	35.3(1.7) <sup>bz</sup>	39.8(1.4) <sup>bl</sup>	44.0(1.3) <sup>bl</sup>
3-yr			43.2

#### 나. 태백산 잣나무 천연림의 임분 구조 및 입지환경 인자

태백산 해발고도 1,290-1,390m 사이에 출현하고 있는 잣나무 천연림의 정밀식생 조사 결과 임관의 상층을 점유하고 있는 목본식생의 임분 구조와 관련된 주요 지수들은 다음 Table 2-11과 같았다. 조사 대상 지역의 잣나무는 치수로부터 대경급에 이르는 다양한 크기로 다수 분포하고 있으며 인위적으로는 도저히 식재가 불가능한 급경사지의 암석 사이에 출현하고 있어 태백산 정상부 주위의 잣나무림은 인공림이 아닌 천연

림으로 볼 수 있다. 일반적으로 조사 대상 지역에서 잣나무는 유일사로부터 천제단에 이르는 등산로의 능선을 중심으로 서북향의 경사 25-35도 사이의 급경사면에 주로 분포하고 있으며, 남쪽 혹은 동남향에는 출현빈도가 상대적으로 낮았다. 조사 대상 잣나무 천연림에 나타난 수종은 총 15종으로, 이 가운데 잣나무는 9개의 조사 방형구에서 출현 본수가 39본으로 가장 많았으며 평균흉고직경은 23.2cm로 2본만이 출현한 전나무의 평균흉고직경에 이어 큰 것으로 나타났고, 중요도는 27.45로 다른 어느 수종보다 높아 임분 내에서 우위를 차지하고 있다. 수종들의 중요도에서 잣나무에 이어 신갈나무 15.53, 물박달나무 13.69 등으로 나타나 낙엽활엽수가 잣나무와 함께 상층 임관을 점유하고 있다. 조사 대상 임분 주변에는 노령의 주목이 다수 단독상으로 출현하고 있는데, 잣나무 임분 내에서는 주목이 중요한 위치를 차지하고 있지는 않다. 잣나무는 상층 임관을 우점하고 있을 뿐 아니라 중층과 하층에도 치수가 다수 발생하여 잣나무가 지속적으로 이 일대 임분에서 우점할 가능성을 보이고 있다. 일반적으로 중층과 하층에는 상층에 출현하는 목본의 교목성 수종은 물론 진달래, 철쭉꽃, 작살나무, 조릿대 등의 관목류가 출현하고 있으며, 초본류로는 곰취, 노루귀, 노루발, 말발도리, 김의털, 등글레, 고사리 등이 분포하고 있다.

잣나무 천연림 9개 방형구에서 채취한 유기물층과 토양 시료의 성질은 다음 Table 2-12, 2-13에 나타나 있다. 유기물층의 pH는 5.33-5.76으로 약산성을 보이며, 전질소의 평균 농도는 1.91%로써 일반적인 산림토양에서 나타나는 수치에 비교하여 높은 수준을 보이는데 이는 잣나무 주변의 수종이 대부분 낙엽활엽수로 낙엽에 의한 질소공급량이 많기 때문인 것으로 보인다. 양이온의 농도 또한 일반적으로 높은 수치를 보이고 있다. 토양의 입경분석 결과 모래 22.8%, 미사 46.3%, 그리고 점토 30.9% 등의 비율로 구성되어 있고, 토성은 식양토이다. 토양의 pH는 3.82-5.21로 범위는 넓으나 대부분 4.5-5.0 사이의 산성을 보이고 있다. 토양 내 전질소는 평균 0.93%로 우리나라의 다른 산림토양에 비해 높은 농도를 보이고 있는데, 이는 낙엽층이 두께가 두꺼워 유기물의 공급에 기인한 것으로 보인다. 토양 내 인산의 농도는 4.65-33.51ppm으로 우리나라 산림토양에서 일반적으로 측정되는 수치와 매우 유사하다. K의 농도는 0.082-0.503ppm, Na는 0.017-0.079ppm, Ca는 1.231-19.933ppm, Mg는 0.452-3.603ppm 등으로써 다른 산림에서 나타나는 농도의 범위 내에 있다. 전체적으로 잣나무 천연림의 유기물층 및 무기토양층의 성질은 일반 낙엽활엽수림에서 볼 수 있는 비교적 양분의 농도가 높은 비

육한 입지를 나타내고 있다. 비록 유기물과 무기토양 내 질소의 농도가 높기는 하나 이를 제외한 물리화학적 성질은 다른 식생에서 일반적으로 나타나는 것과 큰 차이가 없어 잣나무 천연림의 토양과 관련된 입지환경인자는 특이한 점은 없는 것으로 보인다.

Table 2-11. Indices for a natural *Pinus koraiensis* stand in Taebak Mountain.

Species	No	DBH (cm)	RD	RF	RC	IV
<i>Abies holophylla</i>	2	30.0	1.25	2.13	2.57	1.98
<i>A. nephrolepis</i>	9	15.8	5.63	8.51	6.09	6.74
<i>Acer palmatum</i>	11	4.5	6.88	4.26	2.14	4.42
<i>A. pseudo-sieboldianum</i>	11	9.5	6.88	4.26	4.46	5.20
<i>Betula davurica</i>	19	14.9	11.88	17.02	12.17	13.69
<i>B. platyphylla</i> var. <i>japonica</i>	1	11.0	0.63	2.13	0.47	1.07
<i>B. schmidtii</i>	6	8.8	3.75	4.26	2.27	3.43
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	13	6.5	8.13	6.38	3.64	6.05
<i>Phellodendron amurense</i>	1	6.9	0.63	2.13	0.26	1.00
<i>Pinus koraiensis</i>	39	23.2	24.38	19.15	38.83	27.45
<i>Prunus sargentii</i>	2	9.5	1.25	2.13	0.81	1.40
<i>Quercus mongolica</i>	22	19.0	13.75	14.89	17.96	15.53
<i>Sorbus commixta</i>	13	7.1	8.13	6.38	3.94	6.15
<i>Taxus cuspidata</i>	6	6.7	3.75	2.13	1.71	2.53
<i>Tilia amurenensis</i>	5	12.4	3.13	4.26	2.66	3.35

Table 2-12. Characteristics of the organic layer in a natural *Pinus korainesis* stand of Taebak Mountain.

Plot	pH	TN (%)	Mg (%)	Ca (%)	Na (ppm)	K (ppm)
1-1	5.54	1.82	0.114	1.171	93	573
1-2	5.39	1.77	0.106	1.038	130	636
1-2	5.60	1.86	0.125	1.144	140	946
2-1	5.33	1.77	0.117	1.181	193	584
2-2	5.44	1.79	0.101	1.101	130	599
2-3	5.73	1.89	0.156	1.349	986	1061
3-1	5.65	2.22	0.168	2.918	83	819
3-2	5.47	2.05	0.149	1.375	97	746
3-3	5.76	2.00	0.333	2.464	335	2010

Table 2-13. Characteristics of mineral soils in a natural *Pinus korainesis* stand of Taebak Mountain.

Plot	pH	TN (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Exchangeable cation (me/100g)			
				Mg	Ca	Na	K
1-1	4.79	0.64	5.58	1.13	6.76	0.024	0.146
1-2	4.71	1.73	33.51	3.00	15.49	0.065	0.335
1-2	5.37	1.55	29.74	3.60	19.93	0.068	0.503
2-1	4.73	0.54	4.65	0.45	1.23	0.021	0.111
2-2	3.82	0.63	20.44	0.59	1.81	0.017	0.082
2-3	4.55	0.74	28.82	0.77	4.03	0.020	0.117
3-1	4.61	0.65	7.25	0.59	2.18	0.017	0.089
3-2	4.26	1.11	29.74	1.88	8.13	0.049	0.264
3-3	5.21	0.81	24.16	1.27	6.59	0.079	0.226

### 3. 입지환경과 생산성과의 관계 구명

#### 가. 잣나무 생체량과 무기광물토양의 물리화학적 성질과의 관계

연구대상 잣나무 임분은 15-77년생까지 매우 다양한 분포를 보였는데, 영급에 따른 생체량의 차이가 크므로 생체량과 무기토양 인자간의 관계를 영급별로 분석하였다. 전체적으로는 무기광물 토양 성질 가운데서 주로 Mg, Ca, 유기탄소 등이 생체량에 영향

을 미치는 중요한 인자였으며, 유령림에서는 Ca, Mg, K 등의 양이온이, 장령림에서는 양이온 외에 CEC, TP, 유기탄소, 유효인산 등이 중요한 인자로 나타났다.

#### 1) 2영급

2영급 임지에서는 무기토양 내 K, Ca, 함수율, Na, TP (총인), CEC (양이온치환능력), 유효인산 등이 생체량과 상관관계가 있었으며, 이들을 이용한 생체량 추정 회귀식은 아래와 같다.

$$Y = 545.88 - 1716.83K + 67.95Ca - 4.60\text{함수율} - 1497.49Na + 0.26TP - 7.55CEC + 5.36\text{유효인산}$$

(Y: 생체량,  $p < 0.05$ ,  $R^2 = 0.32$ )

#### 2) 3영급

3영급 임지에서는 함수율, Na, Mg 등이 중요한 인자로 나타났다.

$$Y = 450.01 + 5.39\text{함수율} - 217.58Na - 183.66Mg \quad (p < 0.05, R^2 = 0.17)$$

#### 3) 4영급

4영급 임지에서는 pH가 가장 영향력 있는 인자로 나타났다.

$$Y = 2411.89 - 355.21pH \quad (p < 0.10, R^2 = 0.28)$$

#### 4) 5영급 이상

5영급 이상에서는 CEC, TP, K, 유기탄소, Ca, 유효인산, Na, Mg, 함수율 등이 생체량에 영향을 미치는 주요 인자로 나타났다.

$$Y = 772.97 + 38.64CEC + 0.19TP + 4879.09K + 9.45\text{유기탄소} - 100.15Ca + 28.29\text{유효인산} - 10067.4Na - 2974.37Mg - 0.73\text{함수율} \quad (p < 0.05, R^2 = 0.52)$$

### 나. 잣나무 생체량과 토양유기물의 물리화학적 성질과의 관계

토양의 유기물과 생체량간에서는 유령림인 경우 K, pH 등이 중요한 인자이며, 장령림에서는 Na, Ca, K 등이 중요한 것으로 나타났다.

#### 1) 2-3영급

측정한 유기물의 물리화학적 인자와 생체량 간의 상관관계 계수는 TP (0.59), TN (전질소, 0.65), pH (-0.82), Mg (-0.87), Na (0.74), Ca (-0.83), K (-0.87) 등으로 나타났으며, 이들을 이용한 생체량 추정 회귀식은 다음과 같다.

$$Y = -1659.54 - 2170.85Mg + 1212.29K + 33.15Ca + 429.81pH + 381.61Na \quad (p < 0.05,$$

$R^2 = 0.85$ )

## 2) 4-5영급

유기물 내 K, Mg의 농도가 생체량에 영향을 미치는 중요한 인자로 나타났다.

$$Y = 636.15 + 900.20K - 12.61Mg \quad (p < 0.01, R^2 = 0.22)$$

## 3) 6영급 이상

pH, Ca, TP, Na, Mg, K 등이 중요한 인자로 나타났다.

$$Y = -487.33 + 279.89pH + 205.02Ca + 0.21TP - 426.10Na - 451.73Mg + 90.17K \\ (p < 0.01, R^2 = 0.73)$$

# 4. 시비 및 간벌 효과 분석

## 가. 시업 후 당년 효과

### 1) 시비의 효과

3가지 종류의 시비 처리가 침엽에 미치는 영향은 수원의 경우, 5년생 묘목에서 SLA ( $p=0.6148$ ), 탄소 ( $p=0.1591$ ), 질소 ( $p=0.1345$ ), 탄소와 질소의 비 (C:N ratio,  $p=0.1242$ ) 등은 처리 후 변화가 없었으나, 침엽의 건량은 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다 ( $p < 0.1$ ) (Table 2-14). 즉 소량시비목의 건량은 14.80g으로 대조목의 11.81g이나 다량시비목의 8.08g과 차이를 나타내었다. 17년생 임분의 경우는 SLA ( $p=0.0998$ ), 건량 ( $p=0.0074$ ) 등에서는 시비 처리 후 차이가 나타났으나, 탄소의 농도 ( $p=0.1475$ ), 질소의 농도 ( $p=0.8732$ ), 그리고 탄소와 질소의 비 ( $p=0.8397$ ) 등은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다 (Table 2-14). 5년생 묘목에서의 경우와 유사하게 17년생 임분에서도 침엽의 건량은 소량시비목에서 48.52g으로 대조목의 34.19g이나 다량시비목의 29.22g에 비하여 높은 것으로 나타나, 이 지역에서의 잣나무 침엽 생장을 위한 시비는 소량이 적합한 것으로 볼 수 있다.

본 연구 결과 나타난 당년생 침엽의 SLA는 14.7-18.0cm<sup>2</sup>/g로써 일반적으로 우리나라의 소나무과 다른 침엽수에서 보고되는 수치에 비하여 낮으며 (Kim et al. 1995, Son et al. 2000), 특히 경기도 양평지역의 3영급 인공조림지에서 측정한 수치인 43-52cm<sup>2</sup>/g에 비하여 약 절반 수준인 것으로 나타나고 있다 (황재우 1997). 이는 대부분의 다른 연구에서 SLA 측정을 위한 침엽의 채취는 8-9월중에 이루어지는 것이 일반적이지만, 본 연구에서는 침엽의 채취 시기가 7월 중순으로 아직까지 당년생 침엽의



생장이 일부 지속되고 있기 때문인 것으로 보인다. 잣나무를 대상으로 침엽에서의 탄소 농도를 측정한 다른 연구 결과가 없기 때문에 본 연구에서 나타난 탄소 농도를 직접 비교하기는 어렵지만, 본 연구 결과의 침엽 내 탄소 농도 수치는 일반적인 산림수종에서 보고되는 탄소 농도의 범위 내에 있는 것으로 보인다 (Fisher and Binkley 2000). 또한 침엽에서의 질소 농도는 강원도 지방의 잣나무를 대상으로 이명종 (1998)이 보고한 1.80%보다는 낮으나 일반적인 침엽수의 침엽 내 질소 농도와는 유사한 수치를 보이고 있다 (Kimmins et al. 1985). 한편 대부분의 연구에서 질소의 분석시 Kjeldahl 분해에 의한 방법을 사용하고 있으나 본 연구에서는 연소에 의한 분석 방법으로 이들 방법 간의 차이에 기인하는 질소 농도의 차이도 있을 수 있을 것으로 추정된다 (Johnson and Todd 1998).

Table 2-14. Foliage characteristics of *Pinus koraiensis* stands following fertilization in Suweon. One standard error of the mean is in parenthesis. Treatment means bearing the same letter do not differ significantly ( $p < 0.1$ ).

Stand age (yr)	Treatment	SLA (cm <sup>2</sup> /g)	Dry weight (g)	C (%)	N (%)	C:N ratio
5	Control	16.33 (2.04)a	11.81 (1.32)ab	49.28 (0.22)a	1.03 (0.06)a	48.72 (2.53)a
	Low N	16.33 (0.31)a	14.80 (2.20)a	49.71 (0.35)a	1.16 (0.08)a	43.71 (3.25)a
	High N	18.00 (0.49)a	8.08 (2.09)b	48.84 (0.31)a	1.25 (0.08)a	39.78 (2.67)a
17	Control	15.07 (0.58)a	34.19 (3.11)b	48.88 (0.20)a	1.25 (0.04)a	39.40 (1.27)a
	Low N	14.73 (0.64)a	48.52 (6.02)a	49.41 (0.24)a	1.24 (0.05)a	40.48 (1.68)a
	High N	16.40 (0.42)a	29.22 (2.23)b	48.92 (0.16)a	1.22 (0.04)a	40.39 (1.28)a

소지에서는 5년생 묘목의 경우 건량, 길이, 탄소의 농도, 질소의 농도, 탄소와 질소의 비 등에서 모두 시비 처리의 효과가 나타나지 않고 있다 ( $p > 0.1$ ) (Table 2-15). 그러나 17년생 임분에서는 소지의 건량 ( $p = 0.0239$ ), 길이 (0.0291), 그리고 탄소의 농도 ( $p = 0.1045$ )가 시비 처리 후 차이를 나타내고 있다. 특히 건량과 소지의 길이는 소량시

비목에서 25.25g과 36.3cm, 대조목에서 17.29g과 30.9cm, 다량시비목에서 13.25g과 27.92cm 등의 순으로 나타나 소량시비의 효과가 높은 것으로 보인다. 한편 소지 내 질소의 농도는 이명종 (1998)이 보고한 가지의 0.46%보다는 상당히 높게 나타나고 있다. 소지 내 양분의 농도는 침엽보다 낮지만 가지보다는 높은 것으로 볼 수 있다 (이명종 1998). 이러한 결과는 이전 대부분의 임목 내 양분 분포 연구에서 소지를 굵은 가지와 섞어 분석하였던데 비추어 보다 정확한 임목 부위별 양분 농도를 측정하기 위해서는 소지와 가지를 별도로 분리하여 측정할 필요가 있는 것을 보여주는 것이라 하겠다. 질소 시비 후 침엽수 당년생 소지에서의 질소 농도 증가를 보고한 연구 결과들이 있지만 (Barnes and Bengtson 1968), 일반적으로 목부는 침엽에 비하여 시비의 효과가 낮게 나타나므로 (Stephens 1964), 본 연구 결과 질소 시비 후 소지 내 질소 농도가 변하지 않은 것은 특별한 현상은 아닌 것으로 보인다.

침엽과 소지를 합한 총건량과 총길이에서 5년생 묘목에서는 시비 처리의 효과가 나타나지 않고 있으나 ( $p>0.1$ ), 17년생 임분에서는 소량시비목에서 43.51g과 73.77cm로 대조목의 39.02g과 51.49cm나 다량시비목의 37.13g과 42.46cm에 비하여 높은 것으로 나타나 소지에서와 유사하게 소량시비의 효과가 큰 것으로 나타나고 있다.

춘천의 11년생 임분의 경우 시비 처리 후 SLA ( $p=0.2777$ )와 침엽의 건량 ( $p=0.9918$ )은 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았으나, 침엽 내 탄소의 농도 ( $p=0.0439$ ), 질소의 농도 ( $p=0.0813$ ), 침엽 내 탄소와 질소의 비 ( $p=0.0838$ ) 등은 통계적으로 유의한 차이를 보이고 있다 (Table 2-16). 즉 탄소의 농도는 대조목에서 49.43%, 다량시비목에서 49.02%, 그리고 소량시비목에서 48.60% 등으로 유의한 차이를 나타내고 있으며, 질소의 농도는 소량시비목에서 1.27%, 다량시비목에서 1.22%, 대조목에서 1.06%로 소량시비목의 농도가 가장 높게 나타나고 있다.

이에 따라 침엽 내 탄소와 질소의 비도 대조목에서 46.85로 가장 높으며, 다음이 다량시비목의 41.05, 그리고 소량시비목은 38.55로 가장 낮게 나타나고 있다. 17년생 임분에서는 시비 후 SLA ( $p=0.0816$ ), 침엽의 건량 ( $p=0.0152$ ), 탄소의 농도 ( $p=0.0104$ ) 등에 차이를 나타냈으나, 질소의 농도 ( $p=0.3160$ )와 탄소와 질소의 비 ( $p=0.5877$ )는 차이를 보이지 않았다 (Table 2-16).

Table 2-15. Twig characteristics of *Pinus koraiensis* stands following fertilization in Suweon. One standard error of the mean is in parenthesis. Treatment means bearing the same letter do not differ significantly ( $p < 0.1$ ).

Stand age (yr)	Treatment	Dry weight (g)	Length (cm)	C (%)	N (%)	C:N ratio
5	Control	4.18 (0.64) <sub>a</sub>	17.68 (4.04) <sub>a</sub>	48.44 (0.07) <sub>a</sub>	0.65 (0.04) <sub>a</sub>	76.09 (4.60) <sub>a</sub>
	Low N	4.30 (0.51) <sub>a</sub>	14.96 (1.63) <sub>a</sub>	48.56 (0.18) <sub>a</sub>	0.62 (0.03) <sub>a</sub>	79.17 (3.41) <sub>a</sub>
	High N	3.72 (1.08) <sub>a</sub>	13.74 (3.48) <sub>a</sub>	48.54 (0.13) <sub>a</sub>	0.74 (0.05) <sub>a</sub>	66.82 (4.42) <sub>a</sub>
17	Control	17.29 (1.99) <sub>ab</sub>	30.90 (1.74) <sub>ab</sub>	49.12 (0.33) <sub>a</sub>	0.62 (0.03) <sub>a</sub>	80.31 (3.62) <sub>a</sub>
	Low N	25.25 (4.54) <sub>a</sub>	36.30 (2.61) <sub>a</sub>	48.40 (0.16) <sub>b</sub>	0.60 (0.03) <sub>a</sub>	83.37 (4.25) <sub>a</sub>
	High N	13.25 (1.20) <sub>b</sub>	27.92 (1.88) <sub>b</sub>	48.85 (0.17) <sub>ab</sub>	0.60 (0.03) <sub>a</sub>	83.46 (4.09) <sub>a</sub>

즉 SLA는 소량시비목에서  $17.32\text{cm}^2/\text{g}$ 로 가장 높고, 다음은 대조목의  $16.75\text{cm}^2/\text{g}$ , 다량시비목의  $15.55\text{cm}^2/\text{g}$  등의 순이었다. 그리고 침엽의 건량은 다량시비목 (39.20g)과 소량시비목 (32.59g) 간에는 차이가 없으나, 다량시비목은 대조목 (27.71g)에 비하여 높은 것으로 나타나고 있다.

소지에서는 춘천의 11년생 임분의 경우 건중량, 길이, 탄소의 농도, 질소의 농도, 탄소와 질소의 비 등에서 모두 시비 처리 결과가 통계적인 차이를 나타내지 않았다 ( $p > 0.1$ ) (Table 2-17). 그러나 17년생 임분의 경우는 건량 ( $p = 0.0410$ ), 길이 ( $p = 0.0150$ ), 탄소의 농도 ( $p = 0.0357$ ) 등에서 시비 처리 효과가 나타났으며, 질소의 농도와 탄소와 질소의 비에서는 통계적인 차이가 없는 것으로 나타났다 ( $p > 0.1$ ) (Table 2-17).

Table 2-16. Foliage characteristics of *Pinus koraiensis* stands following fertilization in Chuncheon. One standard error of the mean is in parenthesis. Treatment means bearing the same letter do not differ significantly ( $p < 0.1$ ).

Stand age (yr)	Treatment	SLA (cm <sup>2</sup> /g)	Dry weight (g)	C (%)	N (%)	C:N ratio
11	Control	16.99 (0.76)a	27.98 (10.33)a	49.43 (0.20)a	1.06 (0.04)b	46.85 (1.85)a
	Low N	15.82 (0.13)a	28.87 (2.85)a	48.61 (0.27)b	1.27 (0.04)a	38.55 (1.26)b
	High N	16.16 (0.37)a	29.19 (5.24)a	49.02 (0.06)ab	1.22 (0.09)ab	41.05 (3.38)ab
17	Control	16.75 (0.86)ab	27.27 (2.25)b	48.86 (0.31)ab	1.30 (0.04)a	37.85 (1.26)a
	Low N	17.32 (0.19)a	32.59 (1.66)ab	48.46 (0.10)b	1.29 (0.04)a	37.79 (1.21)a
	High N	15.55 (0.33)b	39.20 (3.74)a	49.52 (0.23)a	1.38 (0.05a)a	36.22 (1.28)a

17년생 임분의 소지 건량과 길이는 모두 시비처리목에서 대조목 (건량 11.68g, 길이 30.55cm)에 비하여 높게 나타났지만, 다량시비목 (건량 17.55g, 길이 36.38cm)과 소량시비목 (17.89g, 길이 38.90cm) 간에는 차이가 없는 것으로 나타나고 있다. 즉 17년생 임분에서 질소 시비가 소지의 무게와 길이 생장을 촉진시켰지만 시비량의 변화와는 상관없이 없는 것으로 보인다. 또한 탄소의 농도는 대조목 (49.44%)에서 시비처리목 (다량시비목: 49.24%, 소량시비목: 48.88%)보다 높게 나타나고 있다.

한편 침엽과 소지를 합한 총건량과 총길이는 11년생 임분에서 차이를 보이지 않았으나 (대조목: 건량 41.08g, 길이 43.08cm, 소량시비목: 건량 38.58g, 길이 45.46cm, 다량시비목: 건량 42.78g, 길이 47.00cm) ( $p > 0.1$ ), 17년생 임분에서는 모두 유의한 차이를 나타내었다 ( $p < 0.05$ ). 즉 침엽과 소지의 총건량과 총길이가 대조목 (40.09g, 38.95cm)에 비하여 시비처리목 (소량시비목: 48.53g, 50.48cm, 다량시비목: 45.71g, 56.71cm)에서 높게 나타나 시비가 생장을 촉진시킨 것으로 볼 수 있다. 그러나 17년생 임분에 비하여 11년생 임분에서 이러한 시비의 효과가 나타나지 않은 것은 임목의 생장에 필요한 토양 질소 양분의 상태가 11년생 임분에서 높은 때문일 것으로 사료되나

이는 토양 성질의 측정을 통하여 보다 명확히 밝힐 수 있을 것으로 보인다.

시비 처리의 결과가 침엽과 소지의 생장이나 양분의 농도에 미치는 효과는 일반적으로 2개 지역의 각기 다른 임령에서 약간의 차이는 있지만, 일반적으로 소량의 시비가 다량의 시비에 비하여 효과가 더 큰 것으로 볼 수 있다. 또한 5년생이나 11년생보다는 17년생의 임분에서 효과가 크게 나타나고 있다. 이와 관련하여 시비 후 종자 결실의 변화를 연구한 결과에서도 다량시비보다는 소량시비가, 그리고 임령이 낮을 때보다는 오히려 높을 때 개화와 결실이 증가된 보고도 있다 (Hoekstra and Mergen 1957, Stephens 1964).

Table 2-17. Twig characteristics of *Pinus koraiensis* stands following fertilization in Chuncheon. One standard error of the mean is in parenthesis. Treatment means bearing the same letter do not differ significantly ( $p < 0.1$ ).

Stand age (yr)	Treatment	Dry weight (g)	Length (cm)	C (%)	N (%)	C:N ratio
11	Control	15.10 (5.59) <sub>a</sub>	34.05 (4.32) <sub>a</sub>	49.04 (0.21) <sub>a</sub>	0.68 (0.02) <sub>a</sub>	72.29 (2.18) <sub>a</sub>
	Low N	16.60 (1.92) <sub>a</sub>	36.30 (1.53) <sub>a</sub>	47.85 (0.57) <sub>a</sub>	0.66 (0.03) <sub>a</sub>	72.64 (2.76) <sub>a</sub>
	High N	17.81 (3.61) <sub>a</sub>	34.58 (3.61) <sub>a</sub>	48.49 (0.17) <sub>a</sub>	0.74 (0.02) <sub>a</sub>	66.40 (2.03) <sub>a</sub>
17	Control	11.68 (1.57) <sub>b</sub>	30.55 (2.29) <sub>b</sub>	49.44 (0.17) <sub>a</sub>	0.60 (0.03) <sub>a</sub>	84.15 (3.88) <sub>a</sub>
	Low N	17.89 (1.32) <sub>a</sub>	38.90 (1.48) <sub>a</sub>	48.88 (0.13) <sub>b</sub>	0.59 (0.02) <sub>a</sub>	82.99 (2.77) <sub>a</sub>
	High N	17.55 (2.44) <sub>a</sub>	36.38 (1.94) <sub>a</sub>	49.24 (0.13) <sub>ab</sub>	0.62 (0.03) <sub>a</sub>	81.28 (3.67) <sub>a</sub>

질소 시비 후 침엽에서의 건량 또는 전질소 농도가 증가한 것이 여러 연구에서 보고된 바 있으나 (Barnes and Bengtson 1968, Fogal et al. 1999, Pharis et al. 1964, Stephens 1964), 본 연구에서 일반적으로 질소 시비 후 침엽 내 질소 농도 변화가 크게 나타나지 않았다. 이것은 연구대상 지역의 토양 내 질소 양분의 농도가 충분하거나 미생물의 흡수로 인한 부동화에 의해 시용한 질소의 영향이 임목에 나타날 수 없었기

나 혹은 질산화 작용의 결과로 생길 수 있는 것 등 몇 가지 가능성이 있다 (Fogal et al. 1999). 그런데 본 연구에서 대상지가 다수확 품종 클론보존원으로써 일반 임지에 비하여 시비 관리가 철저하여 토양 내 질소 양분의 유효도가 시비 처리 이전에 이미 높은 상태를 유지하고 있었을 가능성이 가장 높은 것으로 사료된다.

동일한 종 내에서 종자의 결실에 미치는 효과는 시비나 관수 등과 같은 환경인자보다는 유전적인 특성이 일반적으로 더욱 중요하다 (Crocker 1964). 그러나 인위적으로 채종원에서 종자의 생산을 증대시키기 위한 시업의 일환으로써 양분 관리 기법이 매우 중요하게 다루어져 왔다. 여러 가지 방법 가운데 시비 처리 (주로 질소)는 개화를 촉진시키며, 특히 암꽃의 개화를 증대시키는 것으로 알려져 있다 (Barnes 1969, Barnes and Bengtson 1968, Fogal et al. 1999, Heidmann 1984, Hoekstra and Mergen 1957, Matthews 1963, Stephens 1964, Steinbrenner et al. 1960, Wesoly et al. 1987). 한편 시비 처리의 효과는 대개 시비 후 다음 해에 나타나는 것으로 보고되고 있다 (Stephens 1964, Wesoly et al. 1987). 즉 2년에 걸쳐 종자가 결실되는 대부분의 침엽수에서 시비가 개화에 미치는 영향은 다음 해에 나타나며 구과의 결실에 미치는 효과는 그 이듬해에 나타난다 (Matthews 1963).

그러나 이와 같은 개화 또는 결실의 증가가 어떠한 기작에 의해서 이루어지는지는 아직까지 밝혀지지 않고 있다. 특히 질소 시비가 개화와 결실에 미치는 영향이 연구 결과에 따라 상이하게 나타나고 있기 때문에 더욱 이러한 기작을 구명하기가 쉽지 않다. 현재까지의 다른 연구 결과에 의하면 침엽과 소지에서의 질소 양분의 농도가 개화나 결실과 직접적인 관련이 있을 것으로 추정하고 있는데 (Bilan 1960, Stephens 1964), 이를 보다 명확히 밝히기 위해서는 본 연구에서 당년도에 나타난 시비 후 침엽에서의 제반 변화를 차년도의 개화 및 2년 후의 구과 생산과 관련하여 연구할 필요성이 있다. 한편 시비가 개화에 미치는 영향도 임목의 연령에 따라 다르게 나타나서 일반적으로 유령림에서는 시비는 종자 생산 증대 효과를 가져오지만 장령림에서는 영향을 미치지 않는 것으로 보고되고 있다 (Wenger 1953). 그러나 *Pinus strobus* L.의 경우에 질소 시비 후 22년생 임목에서는 개화가 촉진되었으나 3, 14년생의 임목에서는 영향이 없는 경우도 보고되고 있다 (Stephens 1964).

임목의 체내 탄소화합물과 질소의 비율 또는 탄소와 질소의 비율은 영양생장과 생식생장의 양을 결정하는 중요한 지수로 사용되어 왔다. 일반적으로 이 비율이 높을수록

개화가 촉진되는 경향을 보이는데, 이것은 탄수화물의 축적이 선행된 다음에 개화가 일어나기 때문인 것으로 알려지고 있다 (Mattews 1963- 그러나 Bilan (1960)에 의하면 임목 내 탄소와 질소의 비율이 종자의 생산과 관련이 없다고 보고된 경우도 있다). 한편 시비 후 영양생장의 증가가 생식생장과 어떠한 관련이 있는지는 분명하게 밝혀져 있지 않으나, 최근 *Pinus banksiana* Lamb.를 대상으로 한 연구 결과에 의하면 질소 비료 시용 후 영양생장과 생식생장의 비가 변화되지 않은 것으로 나타나고 있다 (Fogal et al. 1999). 따라서 본 연구 결과 당년도에 나타난 생장의 증가가 다음 해의 생식생장에 미치는 영향을 밝히는 연구는 매우 흥미로운 과제인 것으로 보인다.

산림사업에서 비료의 시용시 사용하는 비료의 형태도 임목의 생장은 물론 종자의 생산과 관련이 있다 (Pharis et al. 1964). 본 연구에서는 우리 나라에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 유안형태의 질소 비료를 사용하였지만 앞으로 다양한 형태의 질소 비료 (암모니움 및 질산태 질소)를 사용하여 토양 중에서의 질소 양분 형태의 변화를 포함하여 다른 원소와의 복합비료의 영향 등 광범위한 결과를 면밀히 분석하는 연구가 필요한 것으로 사료된다 (Fogal et al. 1960, Steinbrenner et al. 1960). 특히 대부분의 연구가 시비 전의 토양 내 질소를 비롯한 제반 양분의 상태를 분석하지 않고 있기 때문에 시비의 효과를 단정하기 어려운 경우도 많다는 점도 감안하여야 할 것이다 (Mattews 1963). 따라서 시비를 통하여 생장과 결실을 촉진시키려고 할 때에는 사전에 토양조사를 통하여 토양 내 양분의 상태를 평가한 다음 시비하는 양분의 종류나 시비량을 결정하여야 불필요한 시비를 방지할 수 있을 것으로 보인다 (Hoekstra and Mergen 1957). 한편 시비가 단독으로 개화와 결실에 미치는 효과보다는 간벌이나 기타 다른 처리와 복합적으로 미치는 효과가 더욱 큰 것으로 알려지고 있다 (Mattews 1963). 따라서 본 연구에서의 질소 시비와 간벌 시업의 효과를 추후에 복합적으로 연구할 필요가 있다.

## 2) 간벌의 효과

양평지역에서 2개의 임령을 대상으로 3가지 강도의 간벌을 실시한 결과 나타난 침엽과 소지의 성질에 미치는 영향은 Table 2-18, 2-19에 나타나 있다. 간벌 시업 후 12년생과 18년생 임분 모두에서 침엽의 SLA, 건량, 탄소의 농도, 질소의 농도, 그리고 탄소와 질소의 비 등은 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다 ( $p>0.1$ ) (Table

2-18). 일반적으로 2개 임령의 임분에서 SLA, 건량, 탄소의 농도, 질소의 농도는 중도의 간벌목에서 가장 높고, 강도의 간벌목, 대조목 등의 순으로 감소하는 경향을 보이고 있지만, 간벌 처리 내 시료채취목간의 변이가 높기 때문에 처리간의 통계적인 유의성은 없는 것으로 나타나고 있다. 이전의 다른 연구에서 간벌로 임목간의 간격을 조절함으로써 임목의 성장과 함께 종자의 결실을 증대시킨 결과가 보고되고 있어 (Barnes 1969, Bilan 1960, Matthews 1963, Stenibrenner et al. 1960, Wenger 1954), 잣나무에서 종자 생산의 증가를 위한 시업도 계속 연구할 필요가 있다. 특히 잣나무에서 간벌과 같은 시업으로 임목의 성장 증가에 부수적으로 종자의 결실을 증대시킬 수 있다면 이는 경제적으로나 생물학적인 측면에서도 매우 유용하다고 할 수 있다 (Bilan 1960). 간벌이 종자 생산에 미치는 영향은 시업 후 3-4년이 경과한 다음에 크게 나타난다 (Bilan 1960, Matthews 1963). 당년도 연구 결과는 간벌 후 단지 4개월이 경과한 다음에 측정된 결과이므로 앞으로 보다 장기간에 걸친 관찰과 연구가 필요하지만 시비 처리의 결과에서와 유사하게 강도의 간벌보다는 중도의 간벌이 침엽의 성장이나 양분의 농도 증가에 큰 영향을 미칠 것으로 예측할 수 있다.

Table 2-18. Foliage characteristics of *Pinus koraiensis* stands following thinning in Yangpyeong. One standard error of the mean is in parenthesis. Treatment means bearing the same letter do not differ significantly ( $p < 0.1$ ).

Stand age (yr)	Treatment	SLA ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	Dry weight (g)	C (%)	N (%)	C:N ratio
12	Control	17.37 (0.83)	20.85 (1.14)	49.06 (0.31)	0.83 (0.03)	59.52 (1.92)
	Moderate thinning	18.42 (0.60)	24.58 (3.28)	48.56 (0.31)	0.92 (0.05)	53.76 (3.04)
	Heavy thinning	17.94 (1.13)	23.49 (4.32)	49.32 (0.33)	0.88 (0.09)	58.26 (5.94)
18	Control	17.28 (0.42)	26.43 (1.76)	48.28 (0.50)	1.13 (0.03)	42.87 (1.21)
	Moderate thinning	17.52 (0.71)	30.21 (2.84)	48.67 (0.21)	1.16 (0.06)	42.24 (2.42)
	Heavy thinning	16.32 (0.61)	25.01 (3.83)	49.07 (0.49)	1.19 (0.04)	41.59 (1.67)



소지의 경우는 12년생 임분에서 건량 ( $p=0.1057$ ), 길이 ( $p=0.0589$ ), 질소의 농도 ( $p=0.0034$ ), 탄소와 질소의 비 ( $p=0.0040$ ) 등이 시비 처리 효과를 나타내고 있다. 특히 중도의 간벌목이 대조목에 비하여 건량, 길이, 질소의 농도 등에서 높은 값을 보이고 있으며, 강도의 간벌목과 대조목간에는 차이가 없는 것으로 나타나고 있다 (Table 2-19). 즉 건량은 중도의 간벌목에서 16.71g으로 대조목의 10.57g에 비하여 높으나 강도의 간벌목 13.81g과는 차이가 없다. 또한 소지의 길이는 중도의 간벌목에서 43.76cm로 대조목의 34.58cm보다 길지만 강도의 간벌목 34.48cm와 대조목은 차이가 없다. 그리고 질소의 농도는 중도의 간벌목에서 0.53%로 대조목의 0.43%나 강도의 간벌목 0.40%보다 높은 것으로 나타나고 있다.

이 임분에서 중도의 간벌이 소지의 성장을 촉진시키고 소지 내 질소 양분의 농도도 증가시키고 있는 것은 간벌 후 가지의 생육에 필요한 공간을 확보하고 정당한 광선의 유입으로 토양의 양분 상태를 개선시키고 있는 것으로 볼 수 있다. 그러나 강도의 간벌은 임상의 주임목인 잣나무의 성장보다는 오히려 하층식생의 성장을 촉진시키는 것으로 볼 수 있다. 실제 강도의 간벌지에서는 중도의 간벌지에 비하여 하층식생의 종류나 양이 훨씬 많이 나타나고 있는 것을 관찰할 수 있었다. 18년생 임분에서는 간벌 후 소지의 건량, 길이, 탄소의 농도, 질소의 농도 등에서는 차이가 나타나지 않고 있으나 ( $p>0.1$ ), 탄소와 질소의 비에서 차이를 보이고 있다 ( $p=0.0779$ ). 즉 대조목은 탄소와 질소의 비가 104.68이지만, 강도의 간벌목은 97.49, 중도의 간벌목은 84.14 등으로 각각 이에 비하여 같거나 낮게 나타나고 있다.

한편 침엽과 소지를 합한 총건량과 총길이에서 12년생 임분 (건량: 43.36-53.1g, 길이: 31.42-41.30cm)과 18년생 임분 (건량: 40.32-43.72g, 길이: 37.54-43.94cm) 모두에서 간벌 효과를 나타내고 있지 않다 ( $p>0.1$ ).

Table 2-19. Twig characteristics of *Pinus koraiensis* stands following thinning in Yangpyeong. One standard error of the mean is in parenthesis. Treatment means bearing the same letter do not differ significantly ( $p < 0.1$ ).

Stand age (yr)	Treatment	Dry weight (g)	Length (cm)	C (%)	N (%)	C:N ratio
12	Control	10.57 (1.21)b	34.58 (2.69)b	49.20 (0.27)a	0.43 (0.02)b	114.08 (5.94)a
	Moderate thinning	16.71 (1.48)a	43.76 (2.44)a	50.40 (1.35)a	0.53 (0.03)a	95.40 (3.34)b
	Heavy thinning	13.81 (2.60)ab	34.48 (3.22)b	48.41 (0.27)a	0.40 (0.01)b	119.40 (2.52)a
	Control	11.55 (1.44)a	32.06 (2.63)a	48.61 (0.06)a	0.47 (0.01)a	104.69 (3.34)a
18	Moderate thinning	13.73 (2.71)a	34.98 (3.27)a	45.68 (2.61)a	0.55 (0.03)a	84.14 (7.18)b
	Heavy thinning	12.53 (2.66)a	31.12 (4.04)a	48.92 (0.30)a	0.51 (0.03)a	97.49 (6.31)ab

잣나무에 대한 질소 시비와 간벌 시업을 실시하고 당년도 효과를 분석하였다. 연구 결과에서도 일부 나타난 바와 같이 임분의 상태나 시비의 종류와 양, 시기 그리고 간벌의 정도와 시기에 따라 임목 성장이나 양분 상태에 미치는 효과는 매우 다르게 나타나 일반적인 효과를 예측하기는 어렵다. 한편 종자생산에 영향을 주는 관련 인자의 역할은 단기간의 연구 결과로써 확인하기는 매우 곤란하다. 이것은 종자의 생산이 유전적인 특성에 주로 기인하지만 기후의 영향을 받아 연간의 변이가 심하며, 영향 인자들 간의 상호 작용이 복잡한데도 원인이 있다고 할 것이다 (Matthews 1963). 따라서 본 연구에서 최종 목표로 하는 잣나무 종자 생산 증대를 위한 적절한 시업관리체계의 확립은 보다 장기간에 걸친 제반 인자의 면밀한 연구를 통하여 가능하다고 할 것이다.

#### 나. 시업 후 1년 경과 및 복합시비의 당년 효과

##### 1) 시비효과

##### (가) 질소와 인 혼합시비의 당년 효과

질소와 인을 혼합하여 시비 처리한 임목의 침엽에 미치는 영향은 수원 18년생 잣나

무 임분의 경우 SLA ( $p=0.2042$ )에서는 처리 후 변화가 없었으나, 침엽의 건량 ( $p=0.0003$ )과 질소의 농도 ( $p=0.0483$ )에서 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다 (Table 2-20). 질소와 인 비료의 소량시비목 침엽 건량이 9.41g으로 대조구의 4.47g과 다량시비목의 6.22g에 비하여 높게 나타나 질소와 인 비료의 시비량은 소량이 적절한 것으로 나타났다. 또한 질소 농도의 경우도 소량시비목에 있어서 다량시비목에 비해 높게 나타났다. 그러나 춘천의 경우에 있어서는 SLA ( $p=0.9845$ ), 건량 ( $p=0.2614$ ), 질소 농도 ( $p=0.6207$ )에서 시비처리간 차이가 없었다. 수원과 춘천 모두에서 침엽 내 인의 농도는 대조구가 소량 및 다량시비목보다 높게 나타났는데, 이것은 이미 토양 내 인의 유효도가 높기 때문에 과잉 인에 의하여 시비 후 침엽에서 오히려 그 농도가 감소한 결과인 것으로 보인다.

Table 2-20. Foliage characteristics of *Pinus koraiensis* stands following fertilization in Suweon and Chuncheon. One standard error of the mean is in parenthesis. Treatment means bearing the same letter do not differ significantly ( $p<0.1$ ).

Area	Treatment	SLA	Dry weight(g)	N(%)	P(%)
Suweon	Control	86.38 (14.12)a	4.47 (0.29)b	1.56 (0.03)a	0.15 (0.01)a
	Low N+P	59.61 (14.47)a	9.41 (0.98)a	1.58 (0.05)a	0.06 (0.007)b
	High N+P	58.44 (5.98)a	6.22 (0.82)b	1.45 (0.04)b	0.04 (0.006)b
Chuncheon	Control	120.35 (61.20)a	4.79 (0.80)a	1.59 (0.04)a	0.09 (0.01)a
	Low N+P	134.46 (72.00)a	6.22 (1.12)a	1.57 (0.02)a	0.05 (0.005)b
	High N+P	125.88 (27.68)a	3.98 (0.93)a	1.64 (0.07)a	0.08 (0.01)a

소지의 경우, 수원의 잣나무림에서 소지의 건량 ( $p=0.3420$ )은 시비처리간에 차이가 없었으나, 길이 (0.0195)와 질소의 농도 (0.0002)는 시비처리목에서 대조목보다 높게 나타나 시비 효과가 있는 것으로 나타났다 (Table 2-21). 특히 소지의 길이와 질소의 농도는 다량시비에 비하여 소량시비의 경우 효과가 있는 것으로 보여지나 이들간의 차

이가 통계적으로 유의하지 않아 시비량이 생장이나 질소의 농도에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보인다. 춘천의 경우는 소지의 건량 ( $p=0.0038$ )과 길이 ( $p=0.0334$ )에서는 시비처리간 차이의 유의성이 인정되고, 질소 ( $p=0.3117$ )와 인 ( $p=0.4317$ )의 농도에 있어서는 유의성이 없었다. 그러나 소량시비의 경우 소지의 건량과 길이가 대조목에 비하여 높지만 다량시비목은 대조목보다도 오히려 낮아 과도한 시비가 생장을 제한하고 있는 것으로 보이거나 이를 확인하기 위해서는 보다 다양한 농도에서의 시비실험이 필요한 것으로 사료된다.

Table 2-21. Twig characteristics of *Pinus koraiensis* stands following fertilization in Suweon and Chuncheon. One standard error of the mean is in parenthesis. Treatment means bearing the same letter do not differ significantly ( $p<0.1$ ).

Area	Treatment	Dry weight(g)	Length	N(%)	P(%)
Suweon	Control	3.40 (1.19)a	20.38 (1.66)b	0.67 (0.02)b	0.08 (0.006)a
	Low N+P	4.58 (0.53)a	27.13 (1.37)a	0.84 (0.04)a	0.05 (0.005)b
	High N+P	2.98 (0.40)a	21.98 (1.89)b	0.83 (0.03)a	0.07 (0.008)b
Chuncheon	Control	1.87 (0.37)ab	23.79 (2.22)a	0.65 (0.05)a	0.09 (0.01)a
	Low N+P	2.96 (0.59)a	25.24 (3.10)a	0.65 (0.08)a	0.08 (0.01)a
	High N+P	0.79 (0.13)b	16.38 (1.73)b	0.77 (0.05)a	0.14 (0.05)a

(나) 질소 단독 시비 실험 임분의 2년차 결과

2000년 2월 질소 시비를 시행하여 작년에 이어 2년째 조사된 침엽에서 나타난 특성은, 수원 18년생의 경우 SLA ( $p=0.285$ )에서는 시비처리간 차이가 나타나지 않았으며, 건량 ( $p=0.0137$ )과 질소 ( $p=0.0097$ ) 및 인 ( $p=0.0001$ )의 농도에서는 처리간 차이의 유의성이 인정되었다 (Table 2-22). 또한 건량은 소량시비목에서, 그리고 질소와 인의 농도는 대조목에서 가장 높게 나타났다. SLA는 처리간 차이가 나타나지 않았으며, 건

량은 소량시비목에서 가장 높게 나타나 시비 후 2년에 걸쳐 침엽의 건량 증가에 효과가 있는 것으로 나타나고 있다. 이와 비교하여 춘천의 경우 침엽의 건량은 소량시비목에서 가장 높았고, SLA ( $p=0.4164$ ), 건량 ( $p=0.0700$ ), 질소의 농도 ( $p=0.3719$ ) 등에서는 시비처리간 차이가 나타나지 않았다.

Table 2-22. Foliage characteristics of *Pinus koraiensis* stands at 1-year after following nitrogen fertilization (Feb. 2000) in Suweon and Chuncheon. One standard error of the mean is in parenthesis. Treatment means bearing the same letter do not differ significantly ( $p<0.1$ ).

Area	Treatment	SLA	Dry weight(g)	N(%)	P(%)
Suweon	Control	86.38 (14.12)a	4.47 (0.29)b	1.56 (0.03)a	0.15 (0.01)a
	Low N	70.77 (15.33)a	7.77 (1.18)a	1.40 (0.04)b	0.05 (0.008)b
	High N	118.74 (25.96)a	4.21 (0.94)b	1.50 (0.04)ab	0.03 (0.003)b
Chuncheon	Control	120.35 (61.20)a	4.79 (0.80)b	1.59 (0.04)a	0.09 (0.01)a
	Low N	63.49 (10.53)a	7.03 (0.67)a	1.40 (0.16)a	0.04 (0.003)b
	High N	58.48 (22.73)a	6.84 (0.69)ab	1.55 (0.04)a	0.04 (0.004)b

소지의 경우는 수원의 18년생에서 건량 ( $p=0.716$ ), 길이( $p=0.2663$ ), 인 농도 ( $p=0.5528$ ) 등에서는 시비처리간 차이가 나타나지 않았으며, 질소의 농도 ( $p=0.0017$ )에서는 차이를 보였다 (Table 2-23). 춘천의 경우는 건량 ( $p=0.0048$ )과 길이 (0.0356)에서 시비 처리간 차이가 나타났고 수원과 비슷하게 건량과 길이는 다량시비목과 소량시비목에서 대조목에 비해 높게 나타나 시비의 효과가 있음을 볼 수 있다.

질소비료를 시비 처리한 임분의 경우 질소의 농도는 침엽 내에서는 1.40-1.59%였으며 소지에서는 0.65-0.86%의 분포를 보였다. 즉 침엽 내 질소 농도가 소지보다 높고 이러한 경향은 시비 당년에도 동일하게 나타났다. 임목 부위별 양분 농도에 차이가 있

고, 일반적으로 가지 가운데서 침엽이 소지에 비하여 높은 양분 농도를 보인다 (Son과 Gower 1992). 한편 질소와 인을 함께 시비 처리한 임분의 침엽과 소지에서의 질소와 인의 농도에서도 동일한 경향을 보였다.

질소만을 시비 처리한 경우보다 질소와 인을 함께 시비한 경우 침엽 내 양분 농도는 높게 나타났다. 예를 들어 수원의 경우 200kg N/ha (다량시비)의 질소만을 단독 시비한 다음 침엽 내 질소와 인의 농도 (%)는 각각 1.50과 0.03으로 나타난 데 반하여, 200 kg N/ha + 50 kg P/ha (소량시비)의 혼합 처리한 다음에는 각각 1.58과 0.06%를 보이고 있다. 춘천의 경우에서도 동일한 현상을 보이고 있다.

Table 2-23. Twig characteristics of *Pinus koraiensis* stands at 1-year after following nitrogen fertilization in Suweon and Chuncheon. One standard error of the mean is in parenthesis. Treatment means bearing the same letter do not differ significantly ( $p < 0.1$ ).

Area	Treatment	Dry weight(g)	Length	N(%)	P(%)
Suweon	Control	3.40 (1.19)a	20.38 (1.66)a	0.67 (0.02)b	0.08 (0.006)a
	Low N	3.71 (0.59)a	24.01 (2.41)a	0.70 (0.004)b	0.07 (0.006)a
	High N	2.69 (0.70)a	18.9 (2.57)a	0.86 (0.05)a	0.07 (0.02)a
Chuncheon	Control	1.87 (0.37)b	23.79 (2.22)b	0.65 (0.05)a	0.09 (0.04)ab
	Low N	3.52 (0.51)a	30.96 (2.29)a	0.66 (0.02)a	0.12 (0.02)a
	High N	4.19 (0.50)a	30.82 (1.77)a	0.68 (0.03)a	0.07 (0.01)b

## 2) 간벌 효과

양평지역 2개 임령의 임분에서 세가지 수준의 간벌 처리 후 1년이 경과한 다음 침엽과 소지에 나타난 결과는 Table 2-24, 2-25에 각각 표시하였다.

Table 2-24. Foliage characteristics of *Pinus koraiensis* stands at 1-year after thinning in Yanpyeong. One standard error of the mean is in parenthesis. Treatment means bearing the same letter do not differ significantly ( $p < 0.1$ ).

Stand age (yr)	Treatment	SLA	Dry weight(g)	N(%)	P(%)
19	Control	282.5 (62.5)a	1.30 (0.50)b	1.47 (0.03)a	0.12 (0.01)a
	Moderate thinning	99.28 (17.13)b	3.52 (0.81)a	1.57 (0.04)a	0.06 (0.008)b
	Heavy thinning	201.20 (58.23)ab	2.45 (0.74)ab	1.50 (0.03)a	0.03 (0.007)b
13	Control	51.22 (5.17)a	4.71 (0.32)a	1.48 (0.05)a	0.11 (0.02)a
	Moderate thinning	68.87 (8.82)a	1.48 (0.18)a	1.52 (0.02)a	0.09 (0.01)a
	Heavy thinning	49.25 (6.80)a	4.53 (0.83)a	1.49 (0.03)a	0.09 (0.009)a

Table 2-25. Twig characteristics of *Pinus koraiensis* stands at 1-year after thinning in Yanpyeong. One standard error of the mean is in parenthesis. Treatment means bearing the same letter do not differ significantly ( $p < 0.1$ ).

Stand age (yr)	Treatment	Dry weight(g)	Length	N(%)	P(%)
19	Control	0.52 (0.17)b	12.39 (2.36)b	0.90 (0.10)a	0.220 (0.08)a
	Moderate thinning	1.48 (0.32)a	21.54 (1.83)a	0.68 (0.17)a	0.11 (0.02)a
	Heavy thinning	0.43 (0.17)b	11.9 (2.39)b	0.87 (0.09)a	0.12 (0.01)a
13	Control	1.89 (0.21)a	24.11 (1.20)a	0.56 (0.02)a	0.05 (0.007)a
	Moderate thinning	1.48 (0.18)a	22.83 (1.29)a	0.56 (0.03)a	0.07 (0.01)a
	Heavy thinning	1.65 (0.27)a	22.84 (1.70)a	0.62 (0.03)a	0.06 (0.009)a

간벌 후 1년이 경과한 19년생에서 침엽의 건량과 질소의 농도는 중도 간벌목에서 대조목에 비해 약간 높게 나타났지만 그 차이가 통계적으로 유의하지 않았다. 간벌 당년에 경우도 이와 유사한 경향을 나타내었다. 13년생 임분에서는 SLA, 건량, 질소, 인 농도 등 모두에서 간벌 강도 간의 차이가 통계적으로 유의하지 않았다. 한편 벌채 후 광선의 유입량이 증가하여 간벌 임분에서는 하층식생의 발달이 활발하였고, 이에 따라 하층식생을 구성하는 초본과 관목의 성장과 양분 이용에 변화가 있는 것으로 추정된다. 이 때문에 임목에의 생장이나 양분 이용상 변화가 나타나지 않았을 가능성도 있는 것으로 보인다.

소지의 경우 19년생 임분에서는 건량과 길이에서 중도 간벌목이 가장 높은 수치를 나타냈다. 그러나 질소와 인 농도에서는 간벌 처리간에 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이러한 중도 간벌목에서의 소지 건량과 길이 증가는 간벌 당년에 나타난 결과와도 유사한 것으로서 중도 간벌이 소지의 생장 증가에 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다. 한편 13년생 임분에서도 소지의 건량, 길이, 질소와 인의 농도 모두에서 간벌처리 간 차이가 나타나지 않았다.

간벌과 시비 처리가 침엽과 소지의 생장 및 양분 상태에 영향을 미치고 이는 결국 잣나무 구과 형성 및 생장에 영향을 줄 것으로 예상된다. 이는 이미 이전의 다른 연구에서 종자 생산에 영향을 주는 요인을 연구한 결과에서도 나타나고 있다. 그러나 본 연구에서는 시비와 간벌 효과를 최종 연구 연도의 2년간 조사하였고, 특히 연구 대상 임분이 비교적 유령림으로 구과 생산량이 많지 않은 조건이었다. 특히 시업의 효과가 종자의 결실에 실제로 영향을 줄 것으로 기대하였던 2001년의 경우 종자 결실의 풍흉 주기에 따라 종자 생산량이 극히 불량한 해이었기 때문에 시업의 효과를 확인하기가 불가능하였다. 즉 구과생산량 자체가 거의 없었기 때문에, 시업의 영향을 평가할 수 없었다. 따라서 잣나무를 대상으로 종자 생산을 연구하기 위해서는 보다 장기간의 장령림 위주의 임분 (Hoekstra and Mergen 1957, Stephens 1964)에서 시업을 실행할 필요가 있는 것으로 사료된다. 본 연구 결과 나타난 소량의 질소 시비나 중도의 간벌이 침엽과 소지의 생장이나 양분 조건에 영향을 준다는 점을 감안하여 이를 보다 구체화시킬 방안을 강구하여야 할 것이다.



## 참고문헌

- 김지홍, 이돈구, 김진수, 이경준, 현정오, 황재우, 권기원. 1993. 참나무 천연림의 임분구조에 관한 해석. 한국임학회지 82:235-245.
- 김진수. 1990. 삼림자원의 효율적 이용 및 보전을 위한 잣나무의 생태유전학적 연구. 문교부 학술연구조성비 최종보고서.
- 김진수. 1992. 미래를 위한 산림유전자의 보전. 한독산림경영세미나보고서.
- 농림수산부. 1995. 종자산업육성방안. pp. 26.
- 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법: 토양, 식물체, 토양미생물. 농촌진흥청 농업기술연구소. pp. 450.
- 마상규. 1974. 환경인자의 수량화에 의한 잣나무림 수확량추정과 임목생장에 관한 연구. 임업시험장 연구보고 21:41-115.
- 박교수. 1967. 특용수종의 종자접목에 관한 연구 II. 유실수종 (밤나무, 은행나무 및 참나무)의 휴면지 유대접목에 관하여. 임육연보 6:89.
- 산림청 임업연구원. 1992. 한국 수목도감. 562pp.
- 이돈구, 김갑태. 1997. 경기도 광주지방에서 자라는 참나무류, 낙엽송 및 잣나무의 수형특성과 물질분배. 한국임학회지 86:208-213.
- 이돈구, 우수영. 1989. 잣나무임분, 독일가문비임분, 활엽수임분, 그리고 개별 후 낙엽송 인공조림지에서 토양양료 및 토양단면 비교. 서울대 연습림보고서 25:37-44.
- 이돈구, 이경제, 신준환, 이경학. 1987. 중부지방 삼림생태계의 물질생산 및 양료순환. 임산에너지 7:15-32.
- 이명중. 1998. 강원도 지방 잣나무 인공림의 임령변화에 따른 지상부 현존량과 양분축적. 한국임학회지 87:276-282.
- 이종락. 1976. 잣나무의 생장과 토양특성에 관한 연구. 한국조경학회지 7:9-17.
- 전상근, 정현배. 1971. 잣나무 식재림의 생태학적 연구 I: 하층식생에 대하여. 한국임학회지 12:13-21.
- 황재우. 1997. 연차실적계획서. 농림기술관리센터.
- Barnes, B.V. 1969. Effects of thinning and fertilization on production of western Korean pine seed. USDA Forest Service Research Paper INT-58.

- Barnes, B.V., Xu, Z., and Zhao, S. 1993. Forest ecosystems in an old-growth pine-mixed hardwood forest of the Changbai Shan Preserve in northeastern China. *Can. J. For. Res.* 22:144-160.
- Barnes, R.L. and G.W. Bengtson. 1968. Effects of fertilization, irrigation, and cover cropping on flowering and on nitrogen and soluble sugar composition of slash pine. *For. Sci.* 14:172-180.
- Bilan, M.V. 1960. Stimulation of cone and seed production in pole-size loblolly pine. *For. Sci.* 6:207-220.
- Binkley, D. 1986. *Forest Nutrition Management*. Wiley, New York. pp. 290.
- Bockheim, J.G., S.W. Lee, and J.E. Leide. 1983. Distribution and cycling of elements in a *Pinus resinosa* plantation ecosystem, Wisconsin. *Can. J. For. Res.* 13:609-619.
- Brix, H. 1981. Effects of nitrogen fertilizer source and application rate on foliar nitrogen concentration, photosynthesis, and the growth of Douglas-fir. *Can. J. For. Res.* 11:775-780.
- Burger, D., and Zaho, S. 1988. An introductory comparison of forest ecological conditions in northeast China and Ontario, Canada. *For. Chron.* 64: 105-115.
- China Vegetation Editing Committee (CVEC). 1980. *China vegetation*. [In Chinese.] Scientific Publishing House of China, Beijing.
- Comerford, N.B. 1981. Distributional gradients and availability of macronutrients concentrations in the crown of plantation grown *Pinus resinosa* (Ait.). *Plant Soil* 63:345-353.
- Croker, T.C. 1964. Fruitfulness of longleaf trees more important than culture in cone yield. *J. For.* 62:822-823.
- Curtis, J.T. and R.P. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32:476-496.
- Fisher, D.F. and D. Binkley. 2000. *Ecology and Management of Forest Soils*. 3rd Ed. John Wiley and Sons, New York.
- Fogal, W.H., G.R. Larocque, S.M. Lopushanski, H.O. Schooley, M.L. Anderson, I.K.

- Edwards, S.J. Coleman, and M.S. Wolynetz. 1999. Nutritional and sexual responses of jack pine to ammonium nitrate and Gibberellins. *For. Sci.* 45:136-153.
- Gower, S.T., P.B. Reich, and Y. Son. 1993. Canopy dynamics and aboveground production of five species with different leaf longevities. *Tree Physiol.* 12:327-345.
- Harlow, W.M., E.S. Harrar, J.W. Hardin and F.M. White. 1991. *Textbook of Dendrology*. 7th ed. McGraw-Hill. pp. 501.
- Heidmann, L.J. 1984. Fertilization increases cone production in a 55-year-old ponderosa pine stand in central Arizona. *For. Sci.* 30:1079-1083.
- Hoekstra, P.E. and F. Mergen. 1957. Experimental induction of female flowers on young slash pine. *J. For.* 55:827-831.
- Johnson, D.W. and D.E. Todd. 1998. Harvesting effects on long-term changes in nutrient pools of mixed oak forest. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:1725-35.
- Johnson, R.B., W.J. Zimmer. 1985. A more powerful test for dispersion using distance measurements. *Ecology* 66:1084-1085
- Kimmins, J.P., D. Binkley, L. Chatarpaul, and J. de Catanzaro. 1985. Biogeochemistry of temperate forest ecosystems: literature on inventories and dynamics of biomass and nutrients. Information Report PI-X-47E/F. Canadian Forestry Service. pp. 227.
- Lajtha, K. 1987. Nutrient reabsorption efficiency and the response to phosphorus fertilization in the desert shrub *Larres tridentata*. *Biogeochem.* 4:265-276.
- Liu, Q., Wang, Z., and Wang, S. 1992. Recent volcano eruptions and vegetation history of alpine and subalpine of Changbai Mountain. [In Chinese.] *Res. For. Ecosyst.* 6:57-62.
- Ludwig, J.A. and J.F. Reynolds. 1988. *Statistical Ecology*. pp. 85-95.
- Matthews, J.D. 1963. Factors affecting the production of seed by forest trees. *For. Abst.* 24:i-xiii.
- Namikawa, K.N. and F.C. Wang. 1996. Community structure of a mixed Korean pine

- (*Pinus koraiensis*) - hardwood forest in Xiaobeihe Forestry Area, Ningan District, Heilongjiang Province, northeastern China. *Jpn. J. For. Environ.* 38:35-42.
- Pharis, R.P., R.L. Barnes, and A.W. Naylor. 1964. Effects on nitrogen level, calcium level and nitrogen source upon the growth and composition of *Pinus taeda* L. *Phsiol. Plant.* 17:560-572.
- Son, Y. and S.T. Gower. 1991. Aboveground N and P use by five plantation-grown trees with different leaf longevities. *Biogeochem.* 14:167-191.
- Son, Y. and S.T. Gower. 1992. Nitrogen and phosphorus distribution for five plantation species in southwestern Wisconsin. *For. Ecol. Manage.* 53:175-193.
- Son, Y., I.K. Lee, and S.R. Ryu. 2000. Nitrogen and phosphorus dynamics in foliage and twig of pitch pine and Japanese larch plantations in relation to fertilization. *J. Plant Nutri.* 23:697-710.
- Sprugel, D. 1983. Correcting for bias in log-transformed allometric equations. *Ecology* 64:209-210.
- Steinbrenner, E.C., J.W. Duffield, and R.K. Campbell. 1960. Increased cone production of young Douglas-fir following nitrogen and phosphorus fertilization. *J. For.* 58:105-110.
- Stephens, G.R. 1964. Stimulating of flowering in Eastern Korean pine. *For. Sci.* 10:28-34.
- Turner, J., S.F. Dice, D.W. Cole, and S.P. Gessel. 1978. Variation of nutrients in forest tree foliage - a review. Institute of Forest Product Contribution Number 35, Univ. of Washington, Seattle, WA. pp. 32.
- UPOV. 1993. Regional Seminar on the Nature of and Rationale for the Protection of Plant Varieties under the UPOV Convention. Beijing, China.
- Vanclay, J.K. 1994. Modelling forest growth and yield. Cab International
- Wang, Y.C. 1994. Korean Pines. Northeast Forestry University Press (in Chinese with English abstracts).
- Wenger, K.F. 1953. The effect of fertilization and injury on the cone and seed

production of loblolly pine seed trees. J. For. 51:570-573.

Wenger, K.F. 1954. The stimulation of loblolly pine seed trees by preharvest release. J. For. 52:115-118.

Wesoly, W., K. Urbanski, and W. Barzdajn. 1987. Effect of mineral fertilization on flowering of Scots pine (*Pinus sylvestris*) grafts. For. Ecol. Manage. 19:191-198.

## 제 3 장 유전변이 분야

### 제1절 서 설

잣나무 (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.)는 우리나라에서 자연적으로는 주로 중부 이북 지역에 분포하며, 남한에서는 일부 고산지대에서 불연속적으로 나타나는데, 대부분 다른 수종과 혼효되어 자라거나, 왜소하고 생육이 느린 경우가 많다 (이, 1994). 따라서 조림지역을 제외한 천연림의 임업적 중요성은 크게 인식되지 못했을 뿐만 아니라, 생태적·유전적 기초 연구 역시 매우 미진하였다. 또한 잣나무는 지구상에 분포하는 100여 개 소나무속 수종 가운데 유일하게 '한국산'이라는 의미의 종명을 지니고 있지만, 천연림의 경우 우리나라에서 보다 오히려 중국의 만주와 러시아 극동지방에서 광대한 면적을 점하고 있는데, 이 지역의 잣나무는 빙하기 이후 한반도에서 이주한 것으로 추정되나 이를 입증할만한 과학적인 자료 역시 아직까지 거의 확보되지 못한 실정이다 (김, 1993; Mirov, 1967).

어떤 수종의 효율적인 이용을 위해서는 우선 천연분포지역의 기상, 토양 및 생태적 특성을 조사하여 생육적지를 구명하고, 유전분석을 통하여 천연 분포지의 유전변이량과 그 특징을 밝혀 현재의 수요와 미래의 가능성에 대처하기 위한 새로운 유전자원을 탐색, 보전할 수 있는 방안을 강구하여야 한다. 산업사회의 발달과 무절제한 자원의 이용으로 인한 생태계와 자연환경의 파괴는 날로 그 심각성을 더해가고 있으며, 머지않은 장래에 지구 전체에 닥칠 기후변화에 대한 우려의 목소리도 점차 커지고 있다. 예측이 어려운 미래에 대처하기 위한 산림자원의 효율적 관리에 가장 시급히 요구되는 사항은 임분의 유전적 구조를 가능한 다양하게 유도하고 현존하는 유전자원을 최대한으로 확보하고 보전하는 일이다 (김, 1992). 이러한 관점에서 우리나라는 물론 광대한 분포면적을 지닌 중국과 러시아의 잣나무 천연임분을 대상으로 기후, 토양 및 임분 구조를 밝히기 위한 생태적 연구와 아울러 새로운 유전자원을 탐색하고 이를 합리적으로 보전하는 방안을 마련하는 일은 매우 시급하고도 중요한 일이라 하겠다.

국제화, 경쟁화의 시대에서 다양한 종류의 산림자원들이 새로운 자원 확보와 자국의 자원보전의 측면에서 이해를 달리하는 국가 간의 관심과 경쟁의 대상이 되고 있다. 이는 여러 선진국가에서 자국의 산림을 철저히 보전하는 한편 다른 나라의 장래성 있는

자원 확보에도 열을 올리고 있는 사실로 쉽게 이해할 수 있다. 우리 정부 역시 고갈되어 가는 식물의 유전자원을 발굴 보존하고 부가 가치가 높은 신품종을 육성하기 위하여 1994년 10월 생물다양성 국제협약에 가입한 바 있으며, 나아가 국제식물 신품종 보호연맹 (UPOV : International Union for Protection of New Varieties of Plants)이나 APEC, 기타 외국전문 기관과도 유용한 유전자원의 정보교환을 위한 공동 전산망 작업을 추진 중에 있다 (이, 1995). 또한 국내의 유전자원의 수집·보존·이용관리의 일괄체계 확립을 위한 정책 수립도 추진되고 있어, 앞으로 우리가 확보한 유전자원은 부가가치가 높은 신품종 육성을 위한 귀중한 자료로 활용될 수 있게 될 것이다.

본 세부분야에서는 이러한 국내외적 경향에 발맞추어 연구의 궁극적 목표의 하나인 잣나무의 새로운 유전자원 탐색과 이의 효율적인 보존방안 강구를 위하여, 우선 중국과 러시아를 비롯한 국내외 잣나무 천연분포지를 답사하여 그 현황을 파악하였으며, 동위효소와 DNA 표지자를 사용하여 새로이 확보된 지역의 유전변이의 양과 특성을 조사·분석하고 이에 근거한 합리적 보존방안을 제시하였다.

## 제2절 잣나무의 새로운 유전자원 탐색

잣나무는 국내에 천연자원이 그리 풍부하지 못함에도 양질의 목재를 공급하고 식용 가능한 양질의 종실을 공급하므로 가장 중요한 조림수종 중 하나로 식재 되고 있다 (이, 1994). 이러한 상황에서, 잣나무의 자원을 효율적으로 이용하고 보존하기 위해서는 국내의 자원을 효율적으로 보존·관리하는 한편 외국의 새로운 유전자원을 확보하는 일이 반드시 필요하다고 생각된다. 생태적 특성이 우리의 그것과는 상이하고 자원의 양이 우리와 비교할 수 없을 정도로 방대한 중국과 러시아의 유전자원을 탐색하는 일은 비단 본 연구만을 위해서가 아니라 우리의 전체 임업을 위해서 적극적으로 추진되어야 할 것이다. 한편 자원의 양이 중국이나 러시아의 그것에는 미치지 못하나, 우리의 기후 풍토에 완전히 적응하여 생육하고 있는 국내 잣나무 천연집단을 보다 이용 가치 있는 자원으로 확보하기 위한 노력도 계속되어야 할 것이다.

본 항에서는 국내에서는 아직 조사 보고되지 않은 잣나무 천연림 2지역 (팔공산, 태백산)을 발굴하여 기초조사를 수행하였으며, 국외로는 1997년 7월 10일부터 23일까지 잣나무 자원이 가장 풍부한 중국의 흑룡강성을 중심으로 자연보호구를 탐사하였으며,

귀로에는 러시아 하바로브스크를 방문하여 그 곳의 잣나무 자원의 현황과 연구동향을 파악한 후, 이 지역들의 유전변이를 분석하기 위한 식물재료의 확보방안을 강구하였다.

## 1. 국내 집단 탐색

### 가. 팔공산 집단

팔공산은 지리적으로 위도 36도 57분, 경도 128도 30분 - 129도에 위치하는 경북지역의 산으로 해발 1192m, 면적 122km<sup>2</sup> 에 달한다. 팔공산의 남사면 (대구시 동구)의 해발 850 m에서부터 정상부위까지 천연생 잣나무가 분포하는데, 해발고가 높아질 수록 출현빈도가 많아진다. 총 분포면적은 약 5ha 정도 (수평으로 1000m, 수직으로 500m)이며 개체간 거리는 멀게는 50m 이상 떨어지기도 하지만 군집을 형성한 곳에서는 5m 간격이며 주 분포지에서의 평균간격은 10-15m 정도로 볼 수 있다. 잣나무는 신갈나무, 조릿대, 쇠물푸레등과 혼생하고 있다. 분포지는 암석으로 이루어진 고지대이나 직경 50cm 내외의 소나무 대경목도 발견된다.

잣나무의 형태는 주간은 통직하나 상부 임관은 매우 불규칙하고 주간이 갈라진 경향이 심하다. 잣나무의 크기는 수고 약 12m 내외, 흉고직경 18cm 정도이나 드물게 70cm의 개체도 발견되어 영급의 구성이 복잡함을 알 수 있었다. 그러나 아주 어린 치수는 거의 볼 수 없을 정도로 대단히 빈약한 편이었다.

### 나. 태백산 집단

태백산 지역의 잣나무 천연임분은 주로 정상 부근에서 나타났는데 잣나무 외에 주목, 피나무, 신갈나무, 음나무, 까치박달, 고로쇠, 당단풍, 회잎나무, 만병초, 철쭉, 청시달 등이 나타났으며, 잣나무의 상대빈도는 27.94%로 나타났다. 교목층 가운데 잣나무 다음으로 빈도가 높은 수종은 신갈나무 (13.2%)로 나타났다.

임분내 분포하고 있는 잣나무의 경우 평균수고는 9.95m (5-20m), 평균 흉고직경은 11.68cm (7-28cm), 평균 수관폭은 2.00m (1-5m) 인 것으로 나타났다. 한편 임분내 저목 및 관목류로는 회잎나무, 피나무, 당단풍, 철쭉, 말발도리, 다릅나무, 난티나무, 만병초, 함박꽃나무, 산철쭉, 회나무, 미역줄, 박쥐나무, 팔배나무, 조릿대가 출현하였다.



## 2. 국외 집단 탐색

### 가. 중국과 러시아의 잣나무 천연분포

한반도 이북의 잣나무 천연분포는 대체로 백두산 지역을 중심으로 국경을 따라 서쪽으로는 중국 요녕성의 무순, 본계일대, 서북으로는 흑룡강성의 흑하시, 동북으로는 러시아의 북위 52°의 지역을 정점으로 연해주지역과 해안지방을 포함하고 있다. 이를 위도상으로 살펴보면 북위 40° 45'에서 52°의 사이, 동경 124°에서 140° 20'까지의 지역이다.

중국내의 잣나무 천연림은 동북지방의 백두산 지역에서 묵단강 지역을 거쳐 북쪽으로 소흥안령에 이르는 광대한 지역에 대개 침활혼효림의 형태로 분포한다. 분포지는 기후조건이 비교적 온화하고 습윤하여 전형적인 온대습윤성 계절풍기후의 산악지역으로 동북중부 평원의 기후와 현저한 차이가 있다. 잣나무를 위주로 한 침활혼효림의 분포를 결정하는 것은 위도에 따른 기후적 차이도 있으나 수분조건, 특히 상대적으로 온화하고 습윤하며 따라서 생장기간 동안의 기온의 차가 심하지 않은 해양성기후의 특징이 매우 중요한 요인으로 작용한다.

잣나무 혼효림은 지역에 따라 차이가 있지만 수종구성이 다양할 뿐만아니라 생태적 특성 또한 매우 복잡하기 때문에 한번 파괴되면 자연적인 갱신이나 복구가 용이치 않다. 그러나 잣나무림은 그 동안 목재이용을 위해 꾸준히 벌채되어 자원의 양이 매우 감소하여 왔다. 따라서 중국 정부에서는 잣나무 혼효림을 보호하기 위한 조치로 자연보호구를 지정하였는데 대표적인 것으로는 장백산 자연보호구 이외에 흑룡강성의 이춘시 오염의 풍림자연보호구 (1963년 지정, 18,400ha), 이춘시 대령의 양수자연보호구 (1980년 지정, 6,394ha), 영안현의 경박호자연보호구 (1980년 지정, 120,000ha)를 들 수 있다.

러시아에는 하바로브스크 지방과 연해주의 해변에 분포하며 북쪽으로는 흑룡강 북안의 외흥안령 남부산지에 집중되어 있다. 러시아의 잣나무림도 벌채의 대상이 되어 많은 자원이 감소되었으며 특히 최근에 경제사정이 불리한 관계로 대규모의 벌채가 진행되고 있다. 중국과의 국경지역의 입지적 특성은 중국의 경우와 크게 다르지 않으나 연해주 지역은 특히 바다의 영향을 강하게 받으며 흔히 소택지에 다른 수종과 혼효되어 분포하는 특성을 지니고 있다.

#### 나. 탐색지역

중국내의 답사지역의 개요는 Table 3-1과 같다. 3개 보호구 모두 경제적으로나 생태적으로 잣나무 중심의 천연림이 매우 중요한 지역에 위치하고 있으며 부분적이거나 벌채의 대상에서 제외되어 절대적으로 보호되고 있는 것이 다행으로 여겨졌다.

Table 3-1. The nature reserves included natural forest of *Pinus koraiensis* in Heilongjiang province, China.

Name	Location	Degignated year	Area (ha)	preservative objects
Pungrim nature reserve	Uoyong, Yichun	1963	18,400	Korean pine & broad-leaved trees mixed forest, larch & different primeval forest ecosystem
Lyangsui nature reserve	Dailing, Yichun	1979	6,394	Korean pine & broad-leaved trees mixed forest
Kyungbakho nature reserve	Ryungan	1980	120,000	Korean pine, other conifers, & broad-leaved trees mixed forest

1963년에 지정된 오영의 풍림자연보호구는 잣나무 천연림의 중요한 자원으로 여겨지고 있으며, 특히 IUFRO, FAO 등의 국제기관에서도 중요한 유전자원으로 관심을 가지는 곳이다. 1994년도에 삼림공원으로 지정되었으나 아직까지는 방문객이 많은 편은 아니지만 앞으로 보존, 관리에 더욱 신경을 써야할 지역이다. 이 곳은 전체 일반인의 출입을 허용하는 지역을 제외하고는 10,000ha에 달하는 연구보존림을 지정하여 보호하고 있었다. 잣나무는 보통 수령 250년, 수고 30m, 흉고직경 60cm 정도였으나 대경목도 흔히 있어서 수령 400년, 수고 35m, 흉고직경 80cm 이상의 개체목도 많았다.

양수자연보호구는 소흥안령의 남사면에 위치하고 있으며 이미 1958년도에 동북임업대학의 학교실험장으로 지정된 곳이다. 수백년전 까지만해도 거의 전 지역이 잣나무림이었으나 지속적인, 특히 과거 100년동안의 집중적인 벌채로 인해 자원이 심각하게

감소되었다. 1979년에 자연보호구로 지정되었다. 잣나무의 분포나 성장현황 등은 오영의 경우와 유사하였으나 지역에 따라 잣나무의 밀도가 심한 차이를 보였으며 천연치수의 발생정도도 매우 미진하였다. 또한 종비나무가 많이 혼효되어 있었으나 고사하는 현상이 심화되고 있음을 뚜렷히 관찰할 수 있었다.

영안의 경박호자연보호구 역시 중국의 대표적인 목재생산지에 속해있다. 특히 이곳은 잣나무 천연림 이외에 화산의 활동에 의해 형성된 지하삼림, 인근의 경박호의 수산자원 및 수려한 경관 등을 포함하고 있다. 역시 방대한 양의 잣나무 자원을 지니고 있으며 낙엽송, 가문비나무, 분비나무, 자작나무 등과 혼효되어 있다. 잣나무의 크기 역시 위의 두 지역과 유사하지만 흉고직경 1m 이상의 나무도 흔하며, 종의 구성상태 등은 더욱 다양하게 보였다. 두 지역에 비해 남쪽에 자리잡은 이 곳은 잣나무와 장백낙엽송의 종자 채취지역이기 때문에 중요성은 그만큼 지대하다.

러시아의 하바로브스크 지방에서는 두 곳의 잣나무 혼효림을 답사하였는데 한 곳은 남동쪽으로 약 90km 정도 떨어진 Dolme 부근의 소택지였다. 이 곳은 임내가 항상 물이 고여있을 정도로 습한 지역임에도 훌륭한 잣나무의 혼효림이 형성되어 있었다. 잣나무의 수령은 대개 180년 내외이며 수고 20m 내외, 흉고직경 40-50cm 정도이나 변이가 심했다. 밀도는 그렇게 높지 않아서 개체간 간격 15m 정도로 추정되었다.

다른 곳은 하바로브스크에서 남서쪽으로 25km 정도 떨어져있는 극동임업연구소의 실험림이었다. 이 곳은 시업이 이루어진 지역을 제외하고는 보존상태가 매우 양호한 전형적인 산악지역이었다. 지역에 따라서는 원시림의 형태를 연상시킬 정도로 수종의 구성이 다양할 뿐만 아니라 인간의 간섭이 거의 없는 혼효림이었다. 잣나무의 경우도 흉고직경 1m 이상 되는 개체목도 흔히 발견되었다. 어지간한 개체는 모두 수고 30m 이상, 흉고직경 70cm 이상의 거목이었으며 물박달나무, 단풍나무, 가문비나무류, 피나무, 분비나무 등이 뺄뺄히 들어서 있었다. 이번의 답사는 예비적 성격을 지닌 단기간의 방문이었기 때문에 보다 상세한 정보는 입수하기 어려웠으나 양 국가 모두 우리와는 상이한 형태로 엄청난 잣나무의 자원을 보유하고 있음과 아울러 이러한 자원의 도입 필요성을 절감하였다.

### 3. 연구수행에 따른 성과와 앞으로의 과제

무엇보다도 국내에서 아직 조사되지 않는 잣나무의 천연림을 조사한 것은 물론, 우리의 경우와 생태적 특성이 다르고 양적인 측면에서 아주 상이한 중국과 러시아의 잣나무 천연림의 중심지역을 탐사할 수 있었다는 점이 가장 뚜렷한 성과라 여겨진다. 특히 중국의 경우 동북임업대학 양전평 부교장의 적극적인 협조와 노력으로 우리의 예산으로는 충당하기 불가능한 답사에 필요한 차량조달 및 현지안내 등의 어려운 문제가 해결되었을 뿐만 아니라 유전변이 분석과 기타실험에 필요한 종자채취의 협조도 얻을 수 있었다.

그러나 본 방문을 통하여 중국의 새로운 유전자원을 발굴하기 위해 필요한 체계적인 답사와 실험재료의 확보가 매우 어렵고 현실적으로 많은 제약이 있음도 역시 실감하지 않을 수 없었다. 일례로 중국의 잣나무 자원은 상대적으로 풍부하기도 하지만 매우 넓은 지역에 분포하고 있어 도로사정이나 여러 가지 여건이 불리한 중국에서 단기간에 많은 천연림을 답사할 수 없었으며, 결국 대상지를 흑룡강성으로 국한시키는 수밖에 없었다. 또한 잣나무 천연림의 대부분이 혼효림이기 때문에 현지에 가서도 전체적인 현황을 파악하기가 매우 어려웠다. 그러나 우리나라와 비교할 수 없는 분포면적, 자원의 양과 다양성 등을 생각할 때 우리가 필요로 하는 새로운 자원이 풍부할 것으로 믿어지기 때문에 이후에도 지속적인 관심을 기울여야 할 것으로 여겨진다. 또한 오지의 천연림 답사와 특히 수고 30m 이상 되는 나무로부터의 종자채취는 현지인의 적극적인 협조 없이는 불가능한 일이기 때문에, 중국 내 중요지역에 대한 단계적인 조사와 함께 관련기관과 과학자들과의 원만한 협조를 얻기 위한 노력도 계속되어야 할 것으로 사려된다.

한편, 러시아의 경우는 사회적, 경제적 여건이 불안하여 답사 및 시료채취 등의 연구활동에 협조를 얻기가 매우 어려운 상황임을 알 수 있었다. 본 연구 수행 중 러시아는 중국으로부터의 귀로에 예비적 성격으로 방문한 것이지만 이러한 점이 충분히 해결되어야만 새로운 유전자원의 탐색이 본격적으로 이루어질 수 있으리라 믿어진다.

### 제3절 잣나무의 유전변이 분석

#### 1. 천연림의 유전적 다양성과 특성 분석

유전자원의 변이를 탐색하고 이의 효율적인 보존방안을 강구하기 위해서는 우선적으로 보존 대상집단이나 재료의 유전변이 및 집단구조가 올바르게 추정되어야 한다. 따라서 본절에서는 동위효소와 DNA 표지자를 사용하여 수차례 예비실험을 거쳐 확인된 유전자좌에서의 변이량을 추정하는 실험과 그 결과에 대한 통계분석이 함께 수행되었다.

##### 가. 시료 확보

1997년-2000년에 걸쳐 국내 4개 지역 (지리산 반야봉, 팔공산, 태백산, 설악산 권금성)을 비롯, 중국의 5개 지역 (草河口, 露水河, 汪清, 小北湖, 凉水)과 러시아 3개 지역 (Nizhnetambovsk, Amur Kur-Umi, Amur komsomolsk)의 천연림으로부터 집단별로 20-30개체씩의 종자가 확보되었다 (Fig. 3-1).

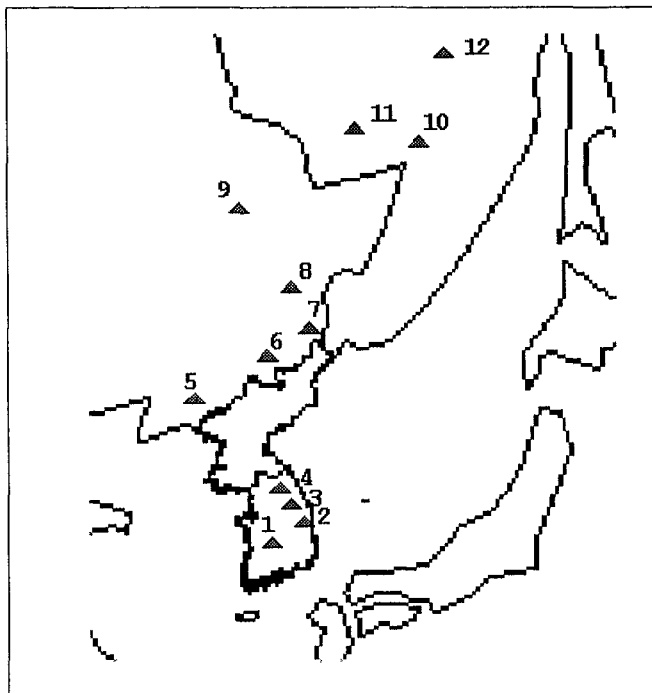


Fig. 3-1. Location of the sampled populations in this study. (Korea: <sup>1</sup>Mt. Chiri, <sup>2</sup>Mt. Palkong, <sup>3</sup>Mt. Taebaek, <sup>4</sup>Mt. Seorak, China: <sup>5</sup>Chohaku, <sup>6</sup>Losooha, <sup>7</sup>Wangging, <sup>8</sup>Xobukho, <sup>9</sup>Lyangsoo, Russia: <sup>10</sup>Nizhnetambovsk, <sup>11</sup>Amur Kur-Umi, <sup>12</sup>Amur komsomolsk)

나. 동위효소 분석

1) 실험 방법

집단의 유전변이 추정을 위한 동위효소 분석 방법은 다음과 같다. 재료는 잣나무의 건조종자를 이용, 각 종자의 종피를 벗긴 후 배젖의 일부를 떼어내어 추출용액 [0.2M phosphate buffer]에서 마쇄하여 효소를 추출한 뒤 이를 paper wick에 흡수시켜 전기영동젤에 삽입하였다. 전기영동에 사용된 완충용액의 성분은 Table 3-2와 같으며, 젤은 본 실험실에서 가수분해시킨 감자전분을 완충용액의 부피에 대하여 12.5%의 농도로 조제하여 사용하였다. 전기영동은 전류를 최대로 고정시킨 뒤 B 완충용액의 경우는 초기전압을 80V, C 완충용액의 경우는 60V로 하여 15분간 전기영동시킨 후 삽입된 paper wick을 뽑아주고 다시 4-5시간 동안 전기영동하였다. 이때 B의 경우 매시간당 40V씩, C의 경우 20V씩 승압하였다. 전기영동이 끝난 젤은 수평으로 절단한 뒤 각 효소별로 조제된 정색액 속에 넣어 암상태 37°C에서 반응시킨 후, 발색된 밴드를 분석하여 유전자형을 추정하였다. 각 효소별 정색액 제조는 Conkle *et al.* (1982)의 방법을 응용하였다.

Table 3-2. Gel and electrode buffer systems in this study.

	Gel buffer	Electrode buffer
B	<Tris citrate pH 8.8> dd H <sub>2</sub> O 1 l Trizma base 9.2g Citric acid 1.3g	<Sodium borate pH 8.3> dd H <sub>2</sub> O 1 l Boric acid 18.5g NaOH 2.5g
C	<Tris citrate pH 7.0> dd H <sub>2</sub> O 1 l Trizma base 8.5g Citric acid 4.7g	The same as Gel buffer
	To use, dilute gel buffer to 1/10 concentration	

유전변이 분석을 위해 사용된 동위효소의 표현형 및 유전양식은 이미 기존의 실험에서 밝혀진 바 있다 (Kim *et al.*, 1982; Chung and Lee, 1983; 김, 1990). 본 실험에서는 종자의 채취시기 및 상태를 고려하여 모두 12개 동위효소, 18개 유전자좌를 대상으로

실험을 수행하였다. 분석된 동위효소의 명칭, 관측된 유전자좌수 및 대립유전자수는 Table 3-3과 같다.

Table 3-3. Isozymes assayed, acronyms, and applied gel and tray buffer systems.

Isozyme systems	Acronyms	E. C. No.	Buffer system	No. of observed alleles
Aconitase	ACON	4.2.1.3	1	2
Fluorescent esterase	FEST	3.1.1.1	1	3
Glutamate dehydrogenase	GDH	2.6.1.1	1	2
Glutamate-oxaloacetate transaminase	GOT	1.1.1.42	3	2 3
Isocitric dehydrogenase	IDH	1.1.1.37	1	3
Leucine aminopeptidase	LAP	3.4.11.1	1	3
Malic dehydrogenase	MDH	1.1.1.37	4	2 3 3
Menadion reductase	MNR	1.6.99.2	1	4
Mannosephosphate isomerase	MPI	5.3.1.8	1	2
Phosphoglucose isomerase	PGI	5.3.1.9	1	3
Phosphoglucomutase	PGM	2.7.5.1	1	3
Shikimate dehydrogenase	SKDH	1.1.1.25	2	5 3

실험결과에 대한 통계적 분석으로 각 집단별 95% 수준에서 다형적 유전자좌의 비율 ( $P_{95}$ ) 및 유전자좌당 평균 대립유전자수 ( $A/L$ ), Hardy-Weinberg 평형에서 기대되는 이형접합도 ( $H_e$ )와 실제 관찰된 이형접합도 ( $H_o$ )가 계산되었으며, 관찰된 유전자형 빈도와 Hardy-Weinberg 평형빈도와의 일치여부는 Levene의 보정 (1949)에 의한  $\chi^2$ -test에 의해 판정하되, 이때 cell size가 5 이하인 경우 빈도수가 작은 유전자형끼리 합쳐서 분석하였다 (Sokal and Rohlf, 1981). 각 유전자좌에서의 대립유전자 빈도를

근거로 각 집단의 유전적 분화 정도를 추정하기 위하여서는 계층구조에 따른 Wright의  $F$ 통계량  $F_{IS}$ ,  $F_{IT}$ ,  $F_{ST}$  (1965)를 구하였으며, Nei (1978)의 유전적거리 (unbiased genetic distance)를 구한 후 UPGMA법에 의해 집단간 유연관계를 dendrogram으로 나타내었다. 또한 분석된 12개 집단을 한국, 중국, 러시아 3개의 지역으로 구분한 뒤, 이들 지역 간 및 각 지역내 집단 간의 두 가지 계층적 수준에서 유전적 거리계수 (Nei, 1978)를 구하였으며, Wright (1978)의 공식을 사용, 집단-전체 ( $F_{PT}$ ), 집단-지역 ( $F_{PR}$ ), 지역-전체 ( $F_{RT}$ )의 값 및 관련된 분산성분의 값을 계산하여 집단분화의 계층적 분석을 실시하였다. 이상의 모든 분석은 BIOSYS-1 program (Swofford and Selander, 1989)을 이용하였다.

한편, 집단간 유전적 고립의 정도를 알아보기 위하여 세대당 이주수 ( $N_m$ )를  $N_m = (1 - F_{ST})/4F_{ST}$  식에 의해 구하였다 (Wright, 1951).

## 2) 결과 및 고찰

### 가) 대립유전자 빈도 분포

한국, 중국, 러시아 12개 집단에 대한 18개 유전자좌에서의 대립유전자빈도는 Table 3-4와 같다. 분석된 모든 유전자좌에서 두 개 이상의 대립유전자가 관측됨으로서 다형성을 나타냈으며, 대부분의 유전자좌에서 주대립유전자 (빈도가 가장 높은)가 공통인 것으로 나타났다. 한편, 한국, 중국, 러시아 3지역의 집단들은 *Lap-A*, *Mnr-A*, *Mdh-B* 유전자좌에서 대립유전자 빈도의 차이를 보였는데, *Lap-A*의 경우 한국에서는 2번 대립유전자만이 주대립유전자인 것으로 나타났고, 중국에서는 조사된 5개 집단 가운데 3개 집단에서는 2번 대립유전자가, 2개 집단에서는 1번 대립유전자가 주대립유전자인 것으로 나타났으며, 러시아의 경우 그 빈도차는 크지 않지만 조사된 3개 집단 모두에서 1번 대립유전자가 주대립유전자인 것으로 나타났다. *Mnr-A*의 경우 한국에서는 조사된 4개 집단 가운데 3개 집단에서 2번 대립유전자가 주대립유전자인 것으로 나타났으며, 중국에서는 조사된 5개 집단 가운데 4개 집단에서 3번 대립유전자가, 러시아는 모든 집단에서 3번 대립유전자가 주대립유전자인 것으로 나타나 한국과는 차이를 나타냈다. 또, *Mdh-B*의 경우 한국, 중국, 러시아 모두에서 2번 대립유전자가 주대립유전자인 것



으로 나타났는데, 한국에서보다는 중국에서, 중국보다는 러시아에서 높은 빈도로 나타났다. 이들 세 유전자좌에서의 대립유전자 빈도들은 각각 5% 유의수준에서 위도와 상관관계를 나타내었는데 (*Lap-A<sub>1</sub>*:  $r = 0.606$ ,  $p = 0.037$ ; *Lap-A<sub>2</sub>*:  $r = -0.613$ ,  $p = 0.034$ ; *Mnr-A<sub>2</sub>*:  $r = -0.595$ ,  $p = 0.042$ ; *Mnr-A<sub>3</sub>*:  $r = 0.713$ ,  $p = 0.009$ ; *Mdh-B<sub>2</sub>*:  $r = 0.785$ ,  $p = 0.003$ ), 이같은 결과가 자연도태에 의해 유도된 것인지 구명할 필요가 있다고 생각된다.

한편, *Got-B<sub>1</sub>* 대립유전자는 한국에서만, *Idh-A<sub>1</sub>*, *Pgm-A<sub>n</sub>*, *Skdh-A<sub>n</sub>*은 중국에서만, *Pgm-A<sub>3</sub>*는 러시아에서만 관측되어 지역 특이적인 대립유전자인 것으로 나타났다. 그러나, 이들 4개의 대립유전자는 이미 조사된 특이적인 대립유전자로 나타난 *Idh-A<sub>1</sub>*, *Pgm-A<sub>n</sub>*, *Skdh-A<sub>n</sub>*, *Pgm-A<sub>3</sub>* 의 경우 한국의 다른 잣나무 천연집단에서 이미 관측된 바 있다 (Kim *et al.*, 1994\_a). 그런데, 흥미로운 사실은 *Fest-A<sub>1</sub>* 대립유전자의 경우 비특 낮은 빈도이기는 하나 (0.017 - 0.074) 중국과 러시아에서는 빈번히 관측된 반면, 한국에서는 본 연구에서 조사된 4개 집단은 물론 Kim *et al.* (1994\_a)에 의해 조사된 8개 집단에서도 관측되지 않았다. 이 대립유전자의 경우 빈도가 매우 낮기 때문에, 진화과정에서 중요한 역할을 한 것으로 생각되지는 않는데, 한국의 경우 잣나무의 분포가 불연속적이고 고립되어 나타날 뿐만 아니라 최근 산정부위로 그 분포범위가 좁아진 점등을 고려해볼 때, 유전자 부동 효과 등에 의해 유실된 것일 수도 있다고 사료된다.

#### 나) 유전적 다양성

Table 3-5에는 동위효소 수준에서 조사된 잣나무 천연집단의 유전변이를 추정하기 위한 유전통계량들이 제시되어 있다. 3개 국가 모두에서 조사된 잣나무 천연집단 전체의 유전자좌당 평균대립유전자수 ( $A/L$ ), 95% 수준에서 관찰된 다형적 유전자좌의 비율 ( $P_{95}$ ), 이형접합도의 관측치 ( $H_o$ )와 기대치 ( $H_e$ )는 각각 1.95개, 43.4%, 0.158, 0.169였다. 본 연구에서 구해진  $H_e$  (0.169) 값은 현재까지 나자식물에서 보고된 값 ( $H_e = 0.151$  from 102 entries)과 대체로 유사하며, 소나무류에 속하는 수종들에서 보고된 값 ( $H_e = 0.136$  from 93 entries)보다는 다소 높은 것이었다 (Hamrick *et al.*, 1992). 이 값을 다시 소나무속 가운데서 잣나무가 속한 subsection인 *Cembrae*에 해당되는 다른 수종들과 비교하여 보면, *P. pumila* ( $H_e = 0.255$ , Goncharenko *et al.*,

1993\_a;  $H_e = 0.223$ , Tani *et al.*, 1996;  $H_e = 0.249 - 0.334$ , Ledig, 1998)과 *P. albicaulis* ( $H_e = 0.204$ , Ledig, 1998) 보다는 다소 낮고 *P. sibirica* ( $H_e = 0.158$ , Politove and Krutovskii, 1994;  $H_e = 0.176$ , Goncharenko *et al.*, 1993\_b;  $H_e = 0.147 - 0.185$ , Ledig, 1998)와 *P. cembra* ( $H_e = 0.109$ , Politov and Krutovskii, 1994) 보다는 같거나 조금 높은 값이다. 일반적으로 집단의 유전적 다양성은 해당수종의 지리적 분포와 교배양식, 종자 산포 방법, 번식방법 등의 영향을 받는 것으로 알려져 있는데 (Hamrick and Godt, 1989), 목본식물의 경우 이들 중 지리적 분포 범위의 영향을 크게 받는다고 하였다 (Hamrick *et al.*, 1992). 즉 생물학적으로 비슷한 특성을 갖는 종들 중에서 지리적으로 고립되거나 불연속적인 분포를 보이는 종이 보다 넓은 분포를 보이는 종보다 상대적으로 낮은 유전적 다양성을 보인다. 이러한 사실은 위의 결과와도 잘 부합되어, 비교된 5개 수종 가운데서 가장 넓은 분포를 보이는 *P. pumila*가 가장 높은 유전적 다양성을 나타내었다.

이 값들을 집단별로 보다 자세히 살펴보면, 유전자좌당 평균대립유전자수 ( $A/L$ )는 러시아의 Amur Kur-Umi 집단에서 1.6으로 가장 낮았으며, 한국의 지리산 집단이 2.2로 가장 높았다. 다형적 유전자좌의 비율 ( $P_{95}$ ) 역시 러시아의 Amur Kur-Umi 집단이 33.3%로 최소값을 나타냈으며, 한국의 태백산 집단과 중국의 露水河 집단이 66.1%로 최대값을 나타내었다. 평균 이형접합도의 관찰치 ( $H_o$ ) 역시 러시아의 Amur Kur-Umi 집단이 0.124로 최소값을, 중국의 小北湖 집단이 0.186으로 가장 높은 값을 나타내었으며, 이형접합도의 기대치 ( $H_e$ )에서도 러시아 Amur Kur-Umi 집단의 0.133으로 최소치를 한국의 팔공산 집단의 0.191로 최대값을 나타냈다. 이상의 결과로부터 러시아 집단이 한국이나 중국에 비해서 유전변이가 적음을 추측할 수 있었는데, 이는 각 국가별로 구한 유전모수들의 평균값들에 의해 다시 한 번 확인할 수 있다. 즉, 각 국가별 평균  $A/L$ ,  $P_{95}$ ,  $H_o$ ,  $H_e$  값의 경우 한국에서는 2.0, 45.8%, 0.156, 0.181, 중국에서는 2.0, 50.0%, 0.172, 0.173, 러시아에서는 1.8, 42.6%, 0.136, 0.148로 나타나 한국과 중국에 분포하는 잣나무의 유전변이 정도가 거의 유사하였으나 러시아 잣나무의 경우 두 지역에 비해서 공히 유전 다양성이 떨어지는 것으로 나타났으며, 특히 이형접합도의 기대치  $H_e$ 는 위도가 증가함에 따라 뚜렷이 감소하는 경향을 보였다 ( $r = -0.719$ ,

$p=0.008$ ; Fig. 3-2). 일반적으로 분포 중심지에 위치하는 집단에 비해서 분포 한계지 (marginal population)에 위치하는 집단의 경우 유전적 부동, 창시자 효과 (founder effect) 등에 의해서 유전변이가 적게 나타나는데, 잣나무 역시 북방 분포한계지에 위치한 러시아 집단이 중국이나 한국에 비해서 그 유전변이가 적은 것으로 나타났다. 따라서 본래 남쪽지역에 분포하던 잣나무의 자생 범위가 북쪽으로 이동하여 가면서 일부 유전적 다양성을 상실해간 것으로 보는 것이 타당할 것으로 여겨지는데, 이는 또한 잣나무가 빙하기 이후 (完新世期)까지 남쪽 지역으로부터 극동지방으로 이동하여갔다는 Neishtadt (1957)의 가설과 잘 부합되는 것이다. 그러나 이와 달리, Potenko와 Velikov (1998)는 러시아 극동지역의 19개 잣나무 천연집단에 대한 동위효소 분석결과 이들 집단이 상당히 높은 유전적 다양성을 가진 것으로 보고하였으며 ( $H_e=0.183$ ), 이를 근거로 러시아 극동지방에 분포하는 잣나무 천연집단이 이전에 추정되어온 시기보다 훨씬 이전부터 존재하던 것이 아닌가 하는 가설을 내놓은 바 있다. 이러한 사실의 구명을 위해서는 이전에 분석된 바 없던 북한이나 일본 지역의 잣나무천연집단에 대한 연구가 뒷받침되어야 할 것으로 사려된다.

한편, 본실험에서 분석된 유전자좌와 동일한 18개 유전자좌에 의한 국내산 8개 잣나무 천연집단에 대한 유전모수의 경우  $A/L=1.9$ ,  $P=48.6\%$ ,  $H_o=0.169$ ,  $H_e=0.183$ 로 나타나 (Kim *et al.*, 1994\_a), 본 연구결과와 거의 유사하였다.

Table 3-4. Allele frequency for 18 polymorphic loci in 12 natural populations of *P. koraiensis*.

Locus	Population			
	<sup>1</sup> Mt. Chiri	<sup>2</sup> Mt. Palkong	<sup>3</sup> Mt. Taebaek	<sup>4</sup> Mt. Seorak
<i>Acon-A</i>				
1	.037	.000	.000	.000
2	.963	1.000	1.000	1.000
<i>Fest-A</i>				
1	.000	.000	.000	.000
2	.983	.982	1.000	.979
3	.017	.018	.000	.021
<i>Gdh-A</i>		+		
1	.017	.036	.000	.000
2	.983	.964	1.000	1.000
<i>Got-A</i>				
1	.021	.000	.025	.000
2	.979	1.000	.975	1.000
<i>Got-B</i>				
1	.069	.000	.000	.000
2	.931	1.000	1.000	1.000
<i>Got-C</i>				
1	.125	.222	.182	.262
2	.857	.778	.818	.690
n	.018	.000	.000	.048
<i>Idh-A</i>				
1	.000	.000	.000	.000
2	1.000	1.000	1.000	1.000
<i>Lap-A</i>			+	
1	.304	.429	.409	.348
2	.661	.571	.591	.652
n	.036	.000	.000	.000
<i>Mdh-A</i>				
1	1.000	1.000	.932	1.000
2	.000	.000	.068	.000
<i>Mdh-B</i>				
1	.103	.179	.105	.000
2	.621	.536	.763	.545
3	.276	.286	.132	.455
<i>Mdh-C</i>				
1	.034	.000	.024	.021
2	.966	.982	.929	.979
3	.000	.018	.048	.000
<i>Mdh-D</i>				
1	.982	.893	.909	.891
n	.018	.107	.091	.109
<i>Mnr-A</i>		+		
1	.161	.074	.068	.000
2	.411	.463	.364	.525
3	.339	.370	.500	.450
4	.089	.093	.068	.025

n: null allele

(continued)

Locus	Populations			
	<sup>1</sup> Mt. Chiri	<sup>2</sup> Mt. Palkong	<sup>3</sup> Mt. Taebaek	<sup>4</sup> Mt. Seorak
<i>Mpi-A</i>				
1	1.000	1.000	.886	.979
2	.000	.000	.114	.021
<i>Pgi-B</i>				
1	.207	.393	.100	.196
2	.793	.607	.800	.761
3	.000	.000	.100	.043
<i>Pgm-A</i>				
1	.000	.036	.000	.000
2	1.000	.964	1.000	1.000
3	.000	.000	.000	.000
n	.000	.000	.000	.000
<i>Skdh-A</i>				
1	.036	.019	.033	.050
2	.089	.278	.133	.175
3	.857	.704	.833	.750
4	.018	.000	.000	.025
n	.000	.000	.000	.000
<i>Skdh-B</i>				+
1	.000	.000	.042	.056
2	.980	1.000	.917	.944
3	.020	.000	.042	.000

n: null allele

(continued)

Locus	Population				
	<sup>5</sup> Chohaku	<sup>6</sup> Losooha	<sup>7</sup> Wangging	<sup>8</sup> Xobukho	<sup>9</sup> Lyangsoo
<i>Acon-A</i>					
1	.048	.000	.000	.017	.017
2	.952	1.000	1.000	.983	.983
<i>Fest-A</i>					
1	.000	.020	.023	.074	.000
2	.952	.940	.977	.926	1.000
3	.048	.040	.000	.000	.000
<i>Gdh-A</i>					
1	.095	.058	.045	.000	.034
2	.905	.942	.955	1.000	.966
<i>Got-A</i>					
1	.000	.000	.023	.038	.000
2	1.000	1.000	.977	.962	1.000
<i>Got-B</i>					
1	.000	.000	.000	.000	.000
2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
<i>Got-C</i>					
1	.167	.208	.250	.086	.069
2	.833	.792	.750	.845	.914
n	.000	.000	.000	.069	.017
<i>Idh-A</i>					
1	.000	.000	.000	.000	.017
2	1.000	1.000	1.000	1.000	.983
<i>Lap-A</i>					
1	.275	.320	.568	.300	.793
2	.725	.680	.364	.700	.207
n	.000	.000	.068	.000	.000
<i>Mdh-A</i>					
1	1.000	1.000	1.000	.964	1.000
2	.000	.000	.000	.036	.000
<i>Mdh-B</i>					
1	.000	.096	.000	.000	.052
2	.833	.731	.818	.733	.741
3	.167	.173	.182	.267	.207
<i>Mdh-C</i>					
1	.048	.037	.023	.033	.034
2	.952	.944	.955	.967	.966
3	.000	.019	.023	.000	.000
<i>Mdh-D</i>					
1	.952	.815	.909	.966	.828
n	.048	.185	.091	.034	.172
<i>Mnr-A</i>					
1	.143	.000	.000	.050	.019
2	.333	.519	.412	.300	.327
3	.429	.481	.588	.633	.442
4	.095	.000	.000	.017	.212

n: null allele

(continued)

Locus	Population				
	<sup>5</sup> Chohaku	<sup>6</sup> Losocha	<sup>7</sup> Wangging	<sup>8</sup> Xobukho	<sup>9</sup> Lyangsoo
<i>Mpi-A</i>					
1	.938	1.000	1.000	.881	1.000
2	.063	.000	.000	.119	.000
<i>Pgi-B</i>					
1	.119	.214	.091	.117	.103
2	.881	.786	.909	.867	.810
3	.000	.000	.000	.017	.087
<i>Pgm-A</i>					
1	.000	.038	.045	.140	.054
2	1.000	.904	.955	.860	.946
3	.000	.000	.000	.000	.000
n	.000	.058	.000	.000	.000
<i>Skdh-A</i>					
1	.048	.000	.000	.000	.052
2	.262	.288	.159	.283	.086
3	.667	.712	.841	.700	.845
4	.000	.000	.000	.017	.017
n	.024	.000	.000	.000	.000
<i>Skdh-B</i>					
1	.000	.000	.023	.033	.069
2	1.000	.960	.864	.967	.931
3	.000	.040	.114	.000	.000

n: null allele

(continued)

Locus	Population		
	<sup>10</sup> Nizhnetambovsk	<sup>11</sup> Amur Kur-Urmi	<sup>12</sup> Amur Komsomolsk
<i>Acon-A</i>			
1	.000	.000	.000
2	1.000	1.000	1.000
<i>Fest-A</i>			
1	.017	.034	.000
2	.983	.914	1.000
3	.000	.052	.000
<i>Gdh-A</i>			
1	.000	.000	.117
2	1.000	1.000	.883
<i>Got-A</i>			
1	.000	.000	.000
2	1.000	1.000	1.000
<i>Got-B</i>			
1	.000	.000	.000
2	1.000	1.000	1.000
<i>Got-C</i>			
1	.133	.190	.017
2	.867	.810	.983
n	.000	.000	.000
<i>Idh-A</i>			
1	.000	.000	.000
2	1.000	1.000	1.000
<i>Lap-A</i>			
		+	
1	.533	.574	.519
2	.450	.426	.426
n	.017	.000	.056
<i>Mdh-A</i>			
1	1.000	1.000	1.000
2	.000	.000	.000
<i>Mdh-B</i>			
1	.017	.000	.000
2	.817	1.000	.933
3	.167	.000	.067
<i>Mdh-C</i>			
1	.017	.017	.000
2	.967	.983	1.000
3	.017	.000	.000
<i>Mdh-D</i>			
1	.950	1.000	.883
n	.050	.000	.117
<i>Mnr-A</i>			
		+	-
1	.000	.121	.183
2	.383	.345	.183
3	.567	.534	.633
4	.050	.000	.000

n: null allele



(continued)

Locus	Population		
	<sup>10</sup> Nizhnetambovsk	<sup>11</sup> Amur Kur-Urmi	<sup>12</sup> Amur Komsomolsk
<i>Mpi-A</i>			
1	.917	.966	.883
2	.083	.034	.117
<i>Pgi-B</i>			
1	.050	.000	.000
2	.950	1.000	1.000
3	.000	.000	.000
<i>Pgm-A</i>			
1	.083	.276	.050
2	.867	.724	.867
3	.050	.000	.083
n	.000	.000	.000
<i>Skdh-A</i>			
	+		
1	.033	.000	.000
2	.333	.190	.400
3	.633	.810	.600
4	.000	.000	.000
n	.000	.000	.000
<i>Skdh-B</i>			
1	.000	.000	.000
2	.967	1.000	.983
3	.033	.000	.017

n: null allele

Table 3-5. Comparison of genetic variation at 18 allozyme loci of 12 natural populations of *P. koraiensis* in Korea, China and Russia.

Population	Mean sample size	Mean no. of alleles per locus (A/L)	% of polymorphic loci ( $P_{95}$ )	Heterozygosity	
				$H_o$	$H_e$
<Korea>					
Mt. Chiri	27.8	2.2	38.9	0.145	0.168
Mt. Palkong	26.0	1.8	38.9	0.165	0.191
Mt. Taebaek	19.4	2.1	61.1	0.161	0.185
Mt. Seorak	22.5	1.9	44.4	0.154	0.178
<i>Mean of 4 Korean populations</i>	<b>23.9</b>	<b>2.0</b>	<b>45.8</b>	<b>0.156</b>	<b>0.181</b>
<i>Mean of 8 Korean population*</i>	<i>20.0</i>	<i>2.0</i>	<i>69.0</i>	<i>0.200</i>	<i>0.208</i>
<China>					
Chohaku	20.3	1.9	44.4	0.148	0.169
Losooha	22.3	1.9	61.1	0.178	0.189
Wangging	21.7	1.9	44.4	0.182	0.164
Xobukho	28.6	2.1	50.0	0.186	0.182
Lyangsoo	28.5	2.1	50.0	0.167	0.162
<i>Mean of 5 Chinese populations</i>	<b>24.3</b>	<b>2.0</b>	<b>50.0</b>	<b>0.172</b>	<b>0.173</b>
<Russia>					
Nizhnetambovsk	30.0	2.0	50.0	0.131	0.159
Amur Kur-Umi	28.9	1.6	33.3	0.124	0.133
Amur Komsomolsk	29.8	1.8	44.4	0.154	0.152
<i>Mean of 3 Russian populations</i>	<b>29.6</b>	<b>1.8</b>	<b>42.6</b>	<b>0.136</b>	<b>0.148</b>
<b>Total mean</b>	<b>25.5</b>	<b>1.95</b>	<b>46.8</b>	<b>0.158</b>	<b>0.169</b>

\* Data cited from Kim *et al.*, 1994\_a.

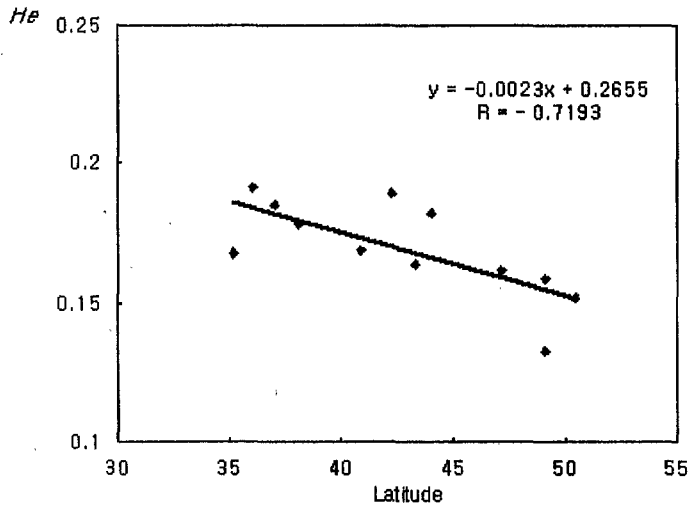


Fig. 3-2. The correlations of expected heterozygosity with latitude for 12 populations of *P. koraiensis*.

다) Hardy-Weinberg 검정 및 유전적 다형성의 계층적 구조

각 집단별로 다형적 유전자좌에서 관측된 유전자형 빈도와 Hardy-Weinberg 평형빈도와의 일치여부를 검정한 결과를 Table 3-4에 + 또는 -로 나타냈다. 여기서 +는 H-W 평형빈도에 비해서 동형접합체의 빈도가 통계적으로 유의하게 많음을 나타내며, -는 이형접합체의 빈도가 많음을 나타낸다. 분석결과 총 143개 test 가운데 11개 (7.7%) 에 서만 통계적 유의성이 있는 것으로 나타나 잣나무의 경우 대체로 Hardy-Weinberg 평형 상태에 있음을 알 수 있었는데, 이형접합도가 기대치보다 높았던 곳은 중국의 凉水 집단과 러시아의 Amur Komsomolsk 집단이었으며, 다른 7개 집단에서 이형접합도의 부족이 관찰되었다 (Table 3-4). 한편 한국에 자생하고 있는 잣나무 집단의 경우, 상기한 바와 같이 유전자좌별로 H-W 평형상태에서 크게 이탈하고 있지는 않은 것으로 나타났으나, Table 3-5에 나타난 것처럼 조사된 모든 집단에서 평균 이형접합도의 관측치가 기대치에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 러시아 집단에서도 비슷한 경향을 보였으나 그 차이가 미세하고, 중국 집단에서는 두 값이 거의 일치하였다. 이러한 사실은 한국의 잣나무 집단이 불연속적이고 고립되어 나타나며, 그 면적이 작은 특성 등을 미루어

볼 때, 어느 정도 유전적 부동의 영향을 받고 있다는 가능성을 배제할 수 없다고 생각된다. 그러나 이에 대한 자세한 고찰을 위해서는 앞으로 보다 정밀한 연구가 필요할 것이다.

한편, Wright의  $F$  분석 결과 다형적 유전자좌에 대한  $F_{IS}$  평균값은 0.045로 나타나 (Table 3-6) 집단수준에서 동형접합체의 빈도가 Hardy-Weinberg 평형빈도에 비해 다소 많은 것으로 나타났으나, 거의 0에 가까운 값을 보임으로서 앞서의  $\chi^2$  검정의 결과와 마찬가지로 잣나무의 경우 H-W 평형상태에서 크게 이탈하고 있지는 않은 것으로 추정되었다.  $F_{IT}$ 값 역시 0.111로  $F_{IS}$  에서와 마찬가지로 12개 집단을 하나의 커다란 집단으로 간주했을 때 H-W 평형빈도에 비해서 동형접합체의 빈도가 다소 많은 것으로 나타났는데,  $F_{IS}$  에 비해서  $F_{IT}$  값이 크게 나타난 이유는 집단간 분화 ( $F_{ST} = 0.069$ ) 에 의한 Wahlund 효과로부터 기인한 것으로 생각된다.

Wright의  $F_{ST}$  값은 집단간 분화 정도를 나타내주는 통계치로서 이 값이 클수록 집단간 분화의 정도가 높음을 알 수 있다. 다형적 유전자좌별  $F_{ST}$  값을 살펴본 결과 *Mdh-C*에서 0.016으로 최소값을, *Mpi-A*에서 0.113으로 최대값을 보였으며 (Table 3-6), 전체 유전자좌에 대한 평균값은 0.069로 나타났다. 이는 본 연구에서 조사된 잣나무 천연집단의 전체 유전변이 가운데 약 7.0%가 집단간 차이에서 기인하며 나머지 93.0%는 집단내 개체간 차이로부터 기인한 것임을 나타낸다. 이 값이 기존의 국내 잣나무 8개 집단을 대상으로 한 연구 결과인 0.059보다 다소 높은 이유는 유전적으로 조금이나마 더 상이한 집단들이 포함된 당연한 결과이다. 한국, 중국, 러시아로 구분하여  $F_{ST}$  값을 구한 결과는 한국의 경우 0.061, 중국의 경우 0.052, 러시아의 경우 0.033으로 나타나 한국이 다른 지역에 비해서 집단간 유전분화의 정도가 높은 것으로 나타났는데, 이는 중국이나 러시아에 비해 한국의 잣나무 천연림 분포가 역시 상대적으로 불연속적이고 고립되어 나타나는 현상으로부터 기인하는 것으로 생각된다. 일반적으로 잣나무와 같은 소나무류의 경우 유전변이 가운데 대부분이 집단내에 분포하고 있는 것으로 보고되고 있다 (Kim *et al.*, 1994\_b).

Table 3-7에는 전체 유전적 분화량 ( $F_{PT}=0.041$ )을 지역간 ( $F_{RT}=0.009$ ) 및 지역내 집단간 ( $F_{PR}=0.033$ ) 성분으로 구분하여 계층적으로 구한  $F$  통계량을 나타내었다. 지

역간의 유전적 분화는 지역내 집단 간의 유전적 분화보다 낮은 값을 보였는데, 이는 한국, 중국, 러시아로 구분된 지역들 간의 유전적 구조의 차이가 그리 크지 않음을 나타낸다. 한편, 이들 세 지역간 및 지역내 집단들 간의 계층적인 유전적 거리 (Nei, 1978)의 범위는 한국내 집단들간에서 0.003으로 가장 적은 값을 나타냈으며, 한국과 러시아의 지역간 차이가 0.018로 가장 크게 나타났다 (Table 3-8). 각 지역간 및 지역내 집단간의 평균은 각각 0.009와 0.006으로 나타났는데 (Table 3-8), 이는 역시 이들의 유전적 분화가 크지 않다는 것을 나타내는 것으로 사려된다. 이와 같은 사실은 본 실험에서 분석된 잣나무 집단들 간에 상당한 거리가 있음에 비해 상당히 높게 구해진  $N_m$  값 (3.4)을 함께 고려할 때 지리적으로 연속되는 집단 간에 연쇄적인 유전적 교환이 일어난다는 것을 뒷받침하는 것이 아닌가 생각된다.

Table 3-6.  $F$  statistics for 18 polymorphic loci in 12 populations of *P. koraiensis*.

Locus	$F_{IS}$	$F_{IT}$	$F_{ST}$
<i>Acon-A</i>	-.037	-.010	.026
<i>Fest-B</i>	.071	.120	.053
<i>Gdh-A</i>	.108	.152	.049
<i>Got-A</i>	.026	.055	.029
<i>Got-B</i>	-.025	-.002	.023
<i>Got-C</i>	.065	.097	.034
<i>Idh-A</i>	-.018	-.006	.045
<i>Lap-B</i>	-.053	.174	.090
<i>Mdh-A</i>	.092	.148	.044
<i>Mdh-B</i>	.109	.070	.077
<i>Mdh-C</i>	-.008	-.022	.016
<i>Mdh-D</i>	-.038	.000	.053
<i>Mnr-A</i>	-.056	.072	.066
<i>Mpi-A</i>	.007	.217	.113
<i>Pgi-B</i>	.089	.184	.104
<i>Pgm-A</i>	-.009	.082	.090
<i>Skdh-A</i>	.047	.089	.044
<i>Skdh-B</i>	.201	.237	.045
Mean	.045	.111	.069

Table 3-7. Hierarchical variance components and *F*-statistics combined loci among three regions.

Comparison		Variance Component	<i>F</i> <sub>XY</sub>
X	Y		
Populations	Total	.13170	.041
Populations	Region	.10318	.033
Region	Total	.02852	.009

Table 3-8. Nei's (1978) genetic distance within and among three regions by hierarchical design (Ranges in parentheses).

Region	No. of Populations	1	2	3
1 Korea	4	.003 (.002-.006)		
2 China	5	.008 (.001-.020)	.010 (.001-.022)	
3 Russia	3	.018 (.003-.029)	.010 (.002-.017)	.006 (.003-.009)

라) Nei의 유전적 거리 및 유집분석

집단간 Nei (1978)의 유전적 거리 (unbiased genetic distance)를 계산한 결과, 0.0032 - 0.0131로 나타났다. 이 값들을 이용하여 UPGMA법에 의한 유집분석을 실시한 결과는 Fig. 3-3의 dendrogram과 같다. 중국 집단 중 草河口, 露水河와 凉水가 하나의 그룹을 이루며 국내의 태백산, 설악산, 팔공산, 지리산 집단과 묶였으며, 러시아와 중국의 국경지역에 위치한 汪清과 小北湖 집단은 러시아 집단과 묶여 별개의 군을 형성하였다. 일반적으로 지리적으로 가까운 집단들이 유전적으로도 가깝게 나타났는데, 중국의 汪清과 小北湖 집단의 경우 지리적으로 가까운 草河口나 露水河보다는 러시아에

분포하는 집단들과 더욱 가깝게 묶였다. 이같은 결과는 소싱안림 (小興安嶺) 산맥과 이어지는 고산지역에 의해 汪濤과 小北湖 집단은 동쪽, 草河口나 露水河 집단은 서쪽으로 구분됨으로써 두 지역간 유전적 교류가 상대적으로 제한되어 유도된 결과로 추정된다.

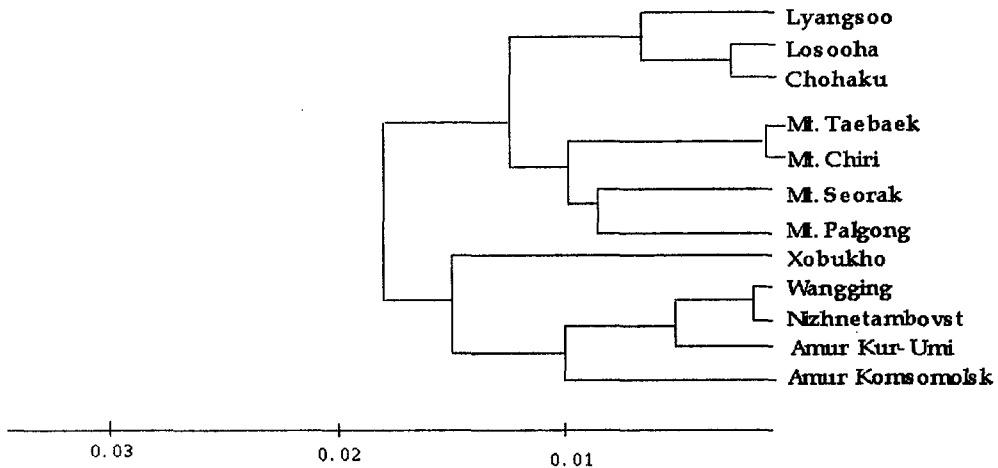


Fig. 3-3. Dendrogram constructed by the UPGMA method based on Nei's (1978) unbiased genetic distance coefficient from allozyme analysis data.

#### 다. RAPD 분석

DNA를 이용한 여러 가지 표지자 가운데서 비교적 실험방법이 간단하고 RAPD 표지자를 이용하여 분자수준에서의 유전변이를 분석하였다.

##### 1) 실험방법

각 개체별로 건조 종자 8-9개를 무작위로 선택하여 일정량의 배유조직을 분리, 혼합한 뒤 Huff *et al.* (1993)의 방법을 응용하여 DNA를 분리하였다. 즉 시료에 extraction buffer를 넣고 homogenizer로 갈아준 후 65°C water bath에 20분, 얼음물에 20분 동안 incubation 하였으며, 이를 13,000rpm, 상온에서 15분간 원심분리하여 상등액을 분리했다. 여기에 phenol : chloroform : isoamylalcohol (25:24:1)을 동량 첨

가하여 다시 원심분리한 뒤, 상등액만을 새 tube에 옮기고 동일부피의 isopropanol과 1/5 부피의 ammonium acetate를 첨가, DNA를 침전시켰다. 이러한 과정을 통해 얻어진 total DNA pellet은 80% EtOH로 세척 후 건조시켜 소량의 TE buffer에 녹여 실험에 사용될 때까지 냉동상태로 보관하였으며, UV/VIS spectrophotometer를 이용하여 순도를 측정하여 OD<sub>260</sub>/OD<sub>280</sub>값이 1.8 이상인 것만을 실험에 사용하였다. 잣나무의 배유는 n의 상태로 배유를 실험재료로 사용할 경우 개체별 RAPD 유전자형의 정확한 추정이 가능하나, 시간적, 경제적 제약으로 인하여 본 연구에서는 한 개체에서 채취한 8-9개의 배유를 모두 혼합하여 DNA를 추출, RAPD 분석을 수행함으로써 2n의 조직으로부터 DNA를 추출하여 RAPD 분석을 수행한 것과 같이 실험을 진행하였다.

RAPD-PCR 반응용액의 조성은 tube당 총 20 $\mu$ l중 template DNA 25ng, Taq DNA polymerase 0.8unit, dNTPs 0.2mM, primer 0.375mM, BSA 0.0025%, 1 $\times$  reaction buffer와 함께 primer의 종류에 따라 1.5mM (UBC-715, UBC-744) 또는 2.5mM (OPR-12, OPR-13, UBC-710)의 MgCl<sub>2</sub>가 포함되도록 하였다. PCR 반응 조건은 94 $^{\circ}$ C에서 5분간 전처리 한 후, 94 $^{\circ}$ C에서 30초, 36 $^{\circ}$ C에서 30초, 72 $^{\circ}$ C에서 1분을 한 cycle로 하여 45회 반복 후 72 $^{\circ}$ C에서 10분간 안정화하는 것으로 하였다. 반응 산물은 1 $\times$ TBE buffer에서 1.8% agarose gel을 사용, 100V에서 2시간 30분 동안 전기영동한후 이를 EtBr로 염색하여 UV-transilluminator상에서 나타난 band를 비교하였다.

총 40개의 random primer를 screen 한 결과, band 수가 비교적 많고 재현성이 높은 5개의 primer (OPR-12, OPR-13, UBC-710, UBC-715, UBC-744)를 최종 선정하였으며 12개 집단 252개체에 대한 RAPD 분석을 수행하였다. 최종 선정된 primer의 염기조성은 Table 3-9와 같다.

Table 3-9. Codes and sequence of arbitrary RAPD primers used in this study.

primer No	sequence(5'→3')	GC content (%)
OPR-12	ACA GGT GCG T	60
OPR-13	GGA CGA CAA G	60
UBC-710	GGT GGT GGG T	70
UBC-715	CCA CCA CCC A	70
UBC-744	CCA CCC ACC A	70



전기영동 증폭산물은 밴드의 유무에 따라 1,0으로 수치화하였으며, 모든 실험은 독립적으로 2회 이상 반복하여 재현되는 밴드만을 유전분석에 이용하였다.

## 2) 유전통계 분석

RAPD와 같이 우성 표지자의 경우 2n의 상태에서는 정확한 대립유전자 빈도의 추정이 어렵기 때문에 흔히 Shannon's information index (Shannon, 1948)에 의해 유전적 다양성을 추정하는데, 그 식은 다음과 같으며 Popgene 1.31 (Yeh *et al.*, 1997) program을 사용하여 구하였다.

- Shannon's information index (Shannon, 1948)

$$I = - \sum p_i \log_2 p_i$$

$p_i$  : the total number of the present / total number

또한 집단간의 유전적 관계를 알아보기 위해 Nei and Li (1985)의 방법으로 유전적 거리를 구한 뒤 UPGMA법에 의해 유집분석을 수행하고 그 결과를 dendrogram으로 나타내었다.

끝으로 Excoffier *et al.* (1992)의 방법을 사용하여 RAPD 데이터를 거리 행렬 (distance matrix)로 전환한 후, AMOVA (Analysis of Molecular Variance, Excoffier *et al.*, 1992) 분석을 수행하여 집단간 및 집단내 유전변이의 정도를 추정하였다. AMOVA 분석은 전체 개체들간의 유전적 거리를 지역, 집단, 개체로 나누어 분산성분을 구함으로서 계층별로 유전변이량과 집단간의 유전적 차이의 정도 ( $\Phi_{ST}$ )를 추정할 수 있도록 하는데, 그 분석의 계층구조는 Table 3-10에 나타내었으며 계산에 사용된 수식은 다음과 같다.

- Excoffier's distance =  $n(1 - n_{xy}/n)$

$n$  : total number of polymorphic band positions

$n_{xy}$ : the number of markers shared by the two individuals

Table 3-10. General design for hierarchical analysis of molecular variance (AMOVA).

Source of variance	d. f.	MSD	Expected MSD
Among regions	G - 1	MSD / (AG)	$\sigma_c^2 + n' \sigma_b^2 + n'' \sigma_a^2$
Among populations within regions	$\sum_{g=1}^G I_g - G$	MSD / (AP/WG)	$\sigma_c^2 + n \sigma_b^2$
Among individuals within populations	$N - \sum I_g$	MSD / (WP)	$\sigma_c^2$
Total	N-1		

G : number of regions,  $I_g$  : number of populations at gth region,

N : total number of individuals

### 3) 결과 및 고찰

전체 12개 집단에서 집단 변이 분석에 사용된 5개 primer로부터 총 42개의 증폭산물이 관찰되었다 (Fig. 3-4 참조). 이 중 분석된 전 개체에서 공통적으로 나타난 band는 OPR-12의 900, 1150bp, UBC-710의 1350bp와 UBC-744의 980bp 등 4개였으며, 나머지 38개 유전자좌에서 다형성을 나타내어 다형적 유전자좌의 비율은 90.4%로 구하여졌다.

OPR-12 primer를 사용한 경우 분석된 전 개체에서 공통적으로 900과 1150bp의 band가 나타났다. 610bp band의 경우 국내 두 집단 (지리산, 태백산)에서만 관찰되었으며, 중국이나 러시아의 집단에서는 나타나지 않았다. 반면 580bp band는 중국과 러시아 집단에서는 전 개체에서 관찰된 반면 한국의 태백산과 팔공산 집단에서는 다형성을 보이지 않았다. OPR-13 primer의 경우 분석된 전 개체에서 공통적으로 나타난 band는 없었다. 380bp band는 거의 모든 집단에서 변이를 보이지 않았으나, 국내 지리산과 태백산, 중국의 凉水 집단에서는 다형성을 나타내었다. 한편 OPR-13 primer의 증폭산물 중 850bp와 330bp에 해당하는 band는 국내 설악산 권금성 집단에서만 관찰되었다.

UBC-710 primer에서는 1350bp band가 분석된 개체에서 변이 없이 모두 관찰되었다. 470bp band는 국내 4집단과 러시아 3집단에서는 전 개체에서 나타난 반면, 중국집단의 경우 草河口 집단에서만 나타났다. 또 UBC-715를 사용한 경우에는 전 개체에서 공통적으로 관찰된 band는 없었지만, 17개의 band 중 9개가 전 집단에 걸쳐 고르게 나타났으

며, 변이의 폭이 크지 않고 전체적으로 비슷한 양상을 보였다. 한편 UBC-744의 경우 980bp에 해당되는 band는 전 개체에서 공통적으로 나타났으며, 710bp의 band는 지리산과 중국의 涇溝 집단을 제외한 모든 집단에서 같은 형태를 보였다.

한편, 각 집단별 증폭된 band의 다양성을 나타내는 Shannon's information index는 중국의 소북호 집단이 0.3264 (S.D.0.084)로 조사된 전 집단에서 가장 높은 변이량을, 러시아의 Nizhnetambovsk 집단이 0.2568 (S.D.0.074)로 가장 낮은 변이량을 보였다. 이를 지역별로 살펴보면 한국의 경우 평균 0.3056 (S.D.0.089), 중국의 경우 평균 0.2912 (S.D.0.087), 러시아의 경우 평균 0.2804 (S.D.0.074)로 나타나 한국과 중국 집단이 러시아 집단에 비해서 유전다양성이 높은 것으로 나타났다 (Table 3-11). 이같은 결과들은 앞서의 동위효소 분석결과와도 잘 부합되는 것으로서, RAPD 분석 결과 역시 위도가 높아질수록 Shannon's index 값이 감소하는 역상관관계를 나타내었다 ( $r=-0.509$ ,  $p=0.09$ ; Fig. 3-2, 3-4).

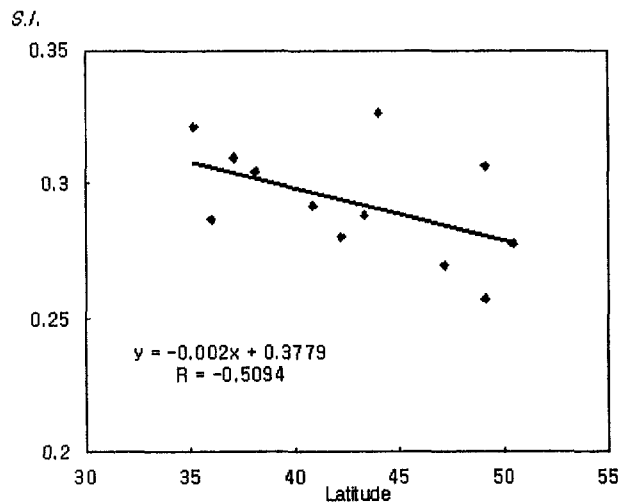


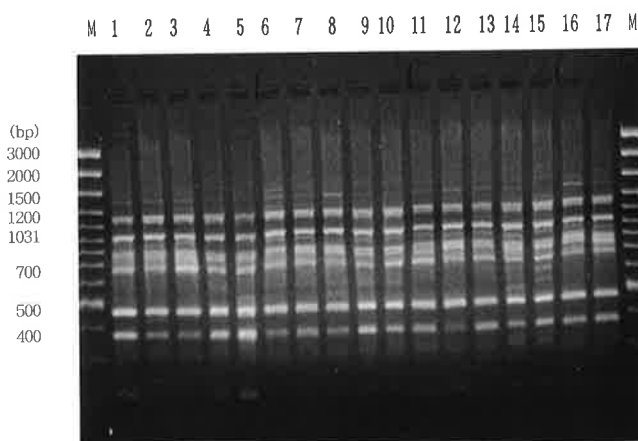
Fig. 3-4. The correlations of Shannon's index with latitude for 12 populations of Korean pine.

지금까지 동위효소와 RAPD 수준에서의 유전변이를 비교한 연구들은 대부분 간접적으로 수행되었다. 즉, 조사된 집단이 표지자별로 다르거나 집단이 같더라도 동일한 개체가 동위효소나 RAPD분석에 동시에 이용되지 않았던 경우가 대부분이었다. 그럼에도 불구하고 지금까지 나온 연구결과들을 종합해 볼 때 동위효소 수준에서 높은 변이를 보인 수종이나 집단이 RAPD 수준에서도 다양한 변이를 나타내었는데, 본 연구에서처럼 동일한 표본이 동위효소와 RAPD 분석 모두에서 사용된 경우에도 지금까지 보고된 사례들과 유사한 결과를 나타냈다. 이같은 결과는 앞으로 두 표지자간의 비교연구에서 유용하게 사용될 수 있는 귀중한 자료라고 사료된다.

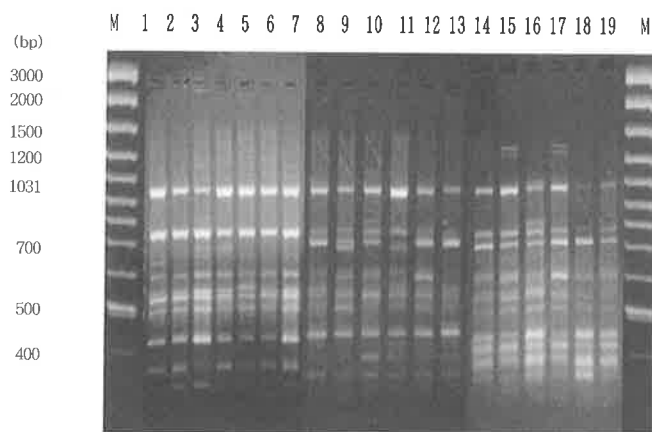
(1) OPR-12



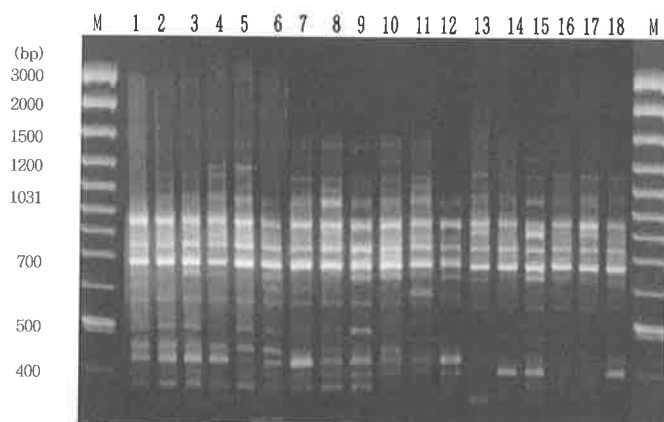
(2) OPR-13



(3) UBC-710



(4) UBC-715



(5) UBC-744

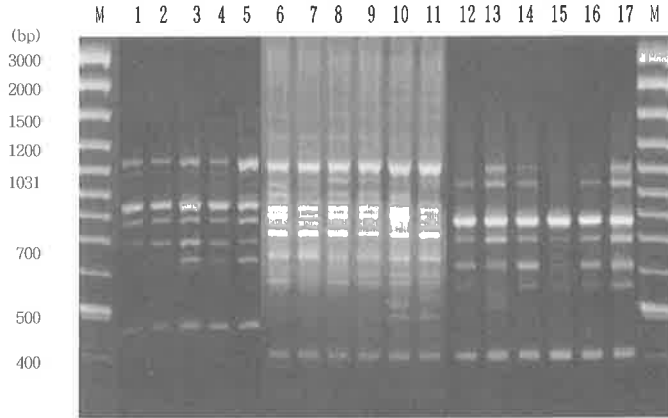


Fig. 3-5. RAPD amplification pattern for *Pinus koraiensis* in this study (M: size marker).

Nei and Li (1985)에 기초한 유집분석 결과 역시 동위효소 분석 결과와 매우 유사하게 나타났는데, 러시아 국경지역과 가까운 汪清 집단과 小北湖 집단이 러시아 3개 집단과 보다 가깝게 묶였으며, 草河口와 露水河, 凉水 집단은 한국의 4개 집단과 하나의 그룹을 이루었다 (Fig. 3-6).

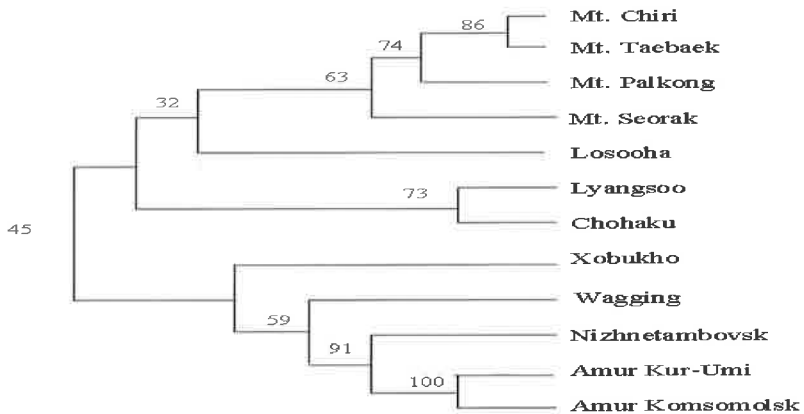


Fig. 3-6. Dendrogram constructed by the UPGMA method based on Nei and Li's (1985) distance coefficient from RAPD data.

Table 3-11. Comparison of genetic diversity of natural populations in *P. koraiensis* in Korea, China and Russia based on RAPD markers.

Population	Mean of sample size	% of polymorphic loci ( $P_{0.95}$ )	Shannon's Index	
			Mean	S. D. *
<b>&lt;Korea&gt;</b>				
Mt. Chiri	17	72.0	0.3214	0.090
Mt. Palkong	25	68.7	0.2868	0.086
Mt. Taebaek	20	75.4	0.3098	0.092
Mt. Seorak	25	61.1	0.3045	0.089
<b>Mean of 4 Korean populations</b>	<b>21.9</b>	<b>69.3</b>	<b>0.3056</b>	<b>0.089</b>
<b>&lt;China&gt;</b>				
Chohaku	21	62.8	0.2918	0.083
Losooha	23	61.1	0.2802	0.094
Wangging	22	69.3	0.2882	0.087
Xobukho	25	63.4	0.3264	0.084
Lyangsoo	23	70.3	0.2694	0.088
<b>Mean of 5 Chinese populations</b>	<b>22.8</b>	<b>65.4</b>	<b>0.2912</b>	<b>0.087</b>
<b>&lt;Russia&gt;</b>				
Nizhnetambovsk	25	63.4	0.2568	0.065
Amur Kur-Umi	25	59.8	0.3069	0.074
Amur Komsomolsk	25	61.1	0.2776	0.082
<b>Mean of 3 Russian populations</b>	<b>25</b>	<b>61.4</b>	<b>0.2804</b>	<b>0.074</b>
<b>Total mean</b>	<b>23.0</b>	<b>65.4</b>	<b>0.2933</b>	<b>0.084</b>

\* S.D. : standard deviation

AMOVA 분석 결과 전체 유전변이 가운데 3.40%는 그룹간, 10.08%는 그룹내 집단간, 나머지 86.52%는 집단내 개체간으로부터 기인되는 것으로 나타나 동위효소 분석결과와 마찬가지로 대부분의 유전변이는 집단내에 분포하고 있는 것으로 추정되었다 (Table 3-12).



Table 3-12. Analysis of molecular variance of *P. koraiensis* based on RAPD markers.

Source of variation	df	% total
Variation between groups	2	3.40
Variation among populations within groups	9	10.08
Variation among individuals within populations	299	86.52

## 2. 다수확 선발개체의 유전적 다양성과 특성 분석

임목에 있어 개화 및 결실량을 비롯하여 경제적으로 유용한 대부분의 형질들은 단일 유전자가 아닌 다수의 유전자들의 의해 조절되는 양적 형질들이다. 이들 형질들은 대체로 완전한 우열관계를 보이지 않거나 그 표현형이 환경의 영향을 많이 받기 때문에, 소수 유전자에서의 변이를 분석할 수 있는 기존의 방법으로는 유전분석이 거의 불가능하였다. 그러나 최근 분자생물학의 발달에 따라 DNA 수준에서 수많은 표지자의 동정이 가능하게 되어 이러한 연구의 장래를 매우 밝게 해주고 있다.

외형적 특성의 차이를 유전적으로 설명하기 위해서는 우선 해당 특정형질과 관련된 DNA상의 부위를 찾아내어 이 부위에서의 유전변이를 조사해야 한다. 그러나 이러한 연구는 아직 초보적 단계에 머무르고 있으며, 특히 잣나무 같은 임목의 경우 적절한 교배차대들이 없기 때문에 양적형질과 관련된 표지자를 찾아내기가 쉽지 않다. 따라서 본 항에서는 이러한 연구의 기초단계로서 다수확형질이라는 외형적 특성을 중심으로 선발된 개체목들이 현재 이용되고 있는 DNA 표지자 수준에서 다른 개체들과 어떤 유전적 차이를 보이는지를 조사하였다.

### 가. 시료 확보

전년도에 다수확 개체로 선발되어 경기도 수원 오목천동 임업연구원 육종부내 포장에 접목으로 증식되어 있는 39개체로부터 DNA 분리를 위한 침엽을 채취하였으며, 비교 대상으로 임업연구원 육종부에서 조성한 잣나무 클론보존원에 식재되어 있는 강원 1호

등 일반 수형목 39개체와 설악산 권금성 잣나무 천연집단의 32개체를 선정하여 침엽을 채취하였다. 채취된 침엽은 실험실로 옮겨 DNA 추출시까지 냉동보관 (-20℃) 하였다.

#### 나. 실험 방법

각각의 개체목별 침엽 조직으로부터 다음과 같은 방법에 의해 total genomic DNA를 추출하였다. 약 0.2g의 잣나무 침엽을 증류수로 세척한 후 액체질소를 가하여 고운 가루가 되도록 마쇄한 후, 이를 1.5ml tube에 담고 1,400 $\mu$ l의 extraction buffer와 15 $\mu$ l의 2-mercaptoethanol를 첨가하여 잘 섞어주었다. 이후 4℃, 9,000rpm에서 15분간 원심분리하여 부유물질과 상등액을 버린 후, 남은 pellet에 500 $\mu$ l의 차가운 세척완충액을 넣어 잘 섞고, 여기에 다시 1/5 volume 5% sarkosyl과 1/7 volume의 5M NaCl, 1/10 volume 8.6% CTAB + 0.7M NaCl 혼합액을 넣어 힘차게 흔들어 섞어준 다음 60℃에서 10분간 incubation하였다. 이후 700 $\mu$ l의 chloroform /octanol(24:1)을 첨가하여 3-4분 가량 섞은 뒤 4℃, 13,000 rpm에서 15분간 원심분리하고, 상등액만을 새 tube에 옮기는 과정을 두 번 반복한 후, 2/3부피의 isopropanol을 넣어 DNA를 침전시켰다. 이를 -20℃에서 overnight 한 후 4℃, 9,000 rpm에서 15분간 원심분리하여 DNA pellet을 얻고, 다시 80% EtOH로 세척 후 건조시켜 소량의 TE buffer에 녹였다. 추출된 DNA는 UV Spectrophotometer로 DNA의 농도와 순도를 측정된 뒤, 사용할 때까지 -20℃에 보관하였다.

RAPD 분석을 위한 PCR 반응용액의 조성은 총 20 $\mu$ l 로 template DNA 25ng, *Taq* DNA polymerase 1 unit, dNTPs (mix of dCTP, dATP, dGTP, and dTTP) 0.2mM, primer 30ng, BSA 0.025%, MgCl<sub>2</sub> 1.5mM이 포함되도록 하였다. PCR 조건은 94℃에서 5분간 전처리 후 94℃에서 30초, 36℃에서 30초, 72℃에서 1분을 한 cycle로 하여 55 cycle 반복 후 72℃에서 10분간 안정화하도록 하였으며, 반응산물은 1×TBE buffer에서 1.8% agarose gel을 사용, 100V에서 2시간 30분간 전기영동하여 이를 EtBr로 염색한 후 UV-transilluminator 상에서 나타난 band를 읽었다.

RAPD primer는 전년도에 선정되어 잣나무 천연집단의 유전변이 분석에 사용하였던 것 가운데서 비교적 band의 수가 많고 pattern이 뚜렷한 2개 (OPR-13, UBC-715)에 새로이 예비실험을 거쳐 선정한 OPR-03, OPR-16, OPR-20, UBC-541, UBC-544의 5개를 추가하여 사용하였으며, 그 염기조성은 Table 3-13와 같다.

Table 3-13. Codes and sequence of arbitrary RAPD primers used in this study.

	Primer	sequence (5'→3')	GC content (%)
1	OPR-03	ACA CAG AGG G	60
2	OPR-13	GGA CGA CAA G	60
3	OPR-16	CTC TGC GCG T	70
4	OPR-20	ACG GCA AGG A	60
5	UBC-715	CCA CCA CCC A	70
6	UBC-541	GCC CCT TTA C	60
7	UBC-544	TAG AGA CTC C	50

RAPD 증폭산물은 band의 유, 무에 따라 1, 0으로 수치화 하였으며, Data 분석은 앞서의 RAPD 집단분석과 동일한 방법으로 수행하였다.

#### 다. 결과 및 고찰

##### 1) RAPD 증폭산물 관찰

다수확선발목 39개체, 일반수형목 39개체, 권금성천연림집단 32개체 등 총 3개 실험군 110개체의 genomic DNA를 대상으로 RAPD primer를 이용, PCR을 수행한 결과 270에서 1800bp 범위에 총 52개의 증폭 산물을 얻었다.

OPR-03의 경우 4개의 band가 전체 개체에서 공통적으로 나타났는데 (1,120, 430, 375, 270bp), 주로 700 - 300bp에서 다양한 변이를 보였다. 특정 실험군에서만 관찰된 band는 없었으나 620bp band의 경우 다수확선발 개체들과 일반수형목들에서 권금성 천연림집단의 개체들에 비해 매우 높은 빈도로 관찰되었다 (Fig. 3-7). 또한 OPR-13의 경우는 3개 (900, 470, 380bp)는 전 개체에 공통적으로 나타나 변이가 없는 것으로 나타났다. 권금성 집단은 670bp에서 변이가 나타나지 않았으며, 세 개의 실험군이 전체적으로 비슷한 band 양상을 보였다. OPR-16에서는 총 14개 중 480, 400, 350bp의 3개 band가 공통적으로 관찰된 반면, 500bp 이상의 band에서 많은 변이가 관찰되었는데, 일반수형목 개체들 중 1500bp에서 다른 실험군들에서는 관찰되지 않은 변이가 나타났다 (Fig. 3-8, 3-9). OPR-20 primer의 경우 분석된 전 개체에서 공통적으로 530bp의 band가 나타났다. 생성된 band 가운데서 850bp band는 다수확 개체와 일반수형목의 일부 개체에서 관측되어 다형성을 보인 반면 권금성 집단에서는 나타나지 않았다. 480bp의

band는 권금성 집단에서 비교적 자주 관찰된 반면 다수확 개체에서는 춘천 10번 1개체에서만 관찰되었으며, 일반수형목 가운데서는 경기 24, 강원 19, 강원 37, 강원 40의 4개체에서만 나타났다 (Fig. 3-9). 또한 UBC-715 primer에서는 1,100, 430bp band가 전 개체에 공통적으로 나타났으며, 전반적으로 권금성집단의 개체들이 좀더 단순한 band pattern을 나타냄을 관찰할 수 있었다. 한편 UBC-541 primer는 1030, 850, 720, 680bp에서 공통적으로 관측되어 변이가 없는 것으로 나타났다. 증폭된 band 가운데서 990bp band는 일반수형목과 권금성집단의 개체들에서는 모두 관찰되어 변이가 없었던 데 반하여, 다수확품종에서는 다형성을 나타냈다. 430bp band의 경우에는 다수확품종 개체들에서는 모두 관측되어 다형성이 없었던 데 반하여 나머지 두 그룹에서는 다형성이 나타났다. 또, 400bp band의 경우는 권금성집단에서는 모든 개체에서 출현하여 변이가 없었지만 다른 두 그룹에서는 다형성을 보였다. 한편 UBC-544의 경우 총 11개의 band가 생성되었는데, 950, 800bp band는 분석된 모든 개체에서 동일하게 나타나 변이가 없었으며, 1030bp band의 경우 다른 집단에서는 모든 개체에서 관측되어 변이가 없었던 데 반하여 권금성집단에서는 다형성을 보였다. 또한 권금성집단에서 변이가 없었던 850bp band는 다른 두 실험군에서 다형성을 나타내었다.

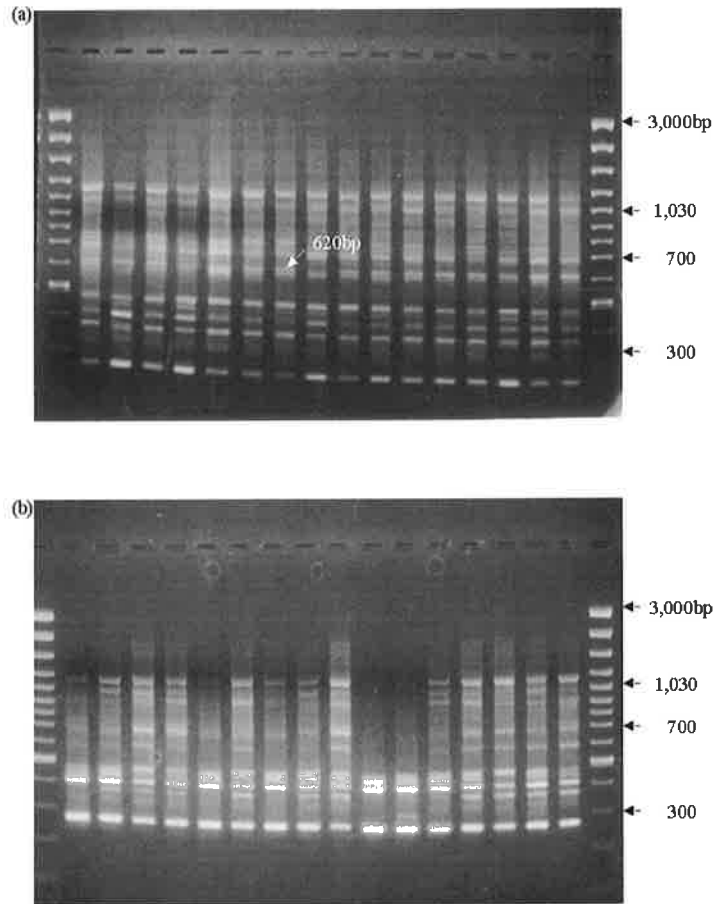


Fig. 3-7. RAPD amplicons used by OPR-03 primer. (a) common plus tree group, (b) Kwonkumseong natural population.

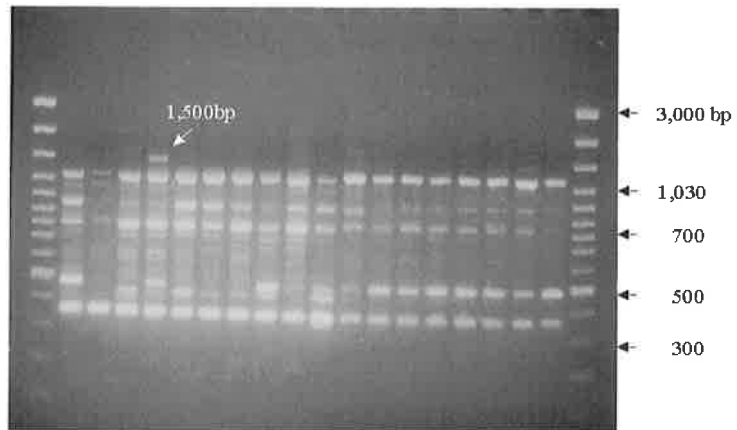


Fig. 3-8. Amplified specific band (1500bp) in common plus tree group used by OPR-16 primer.

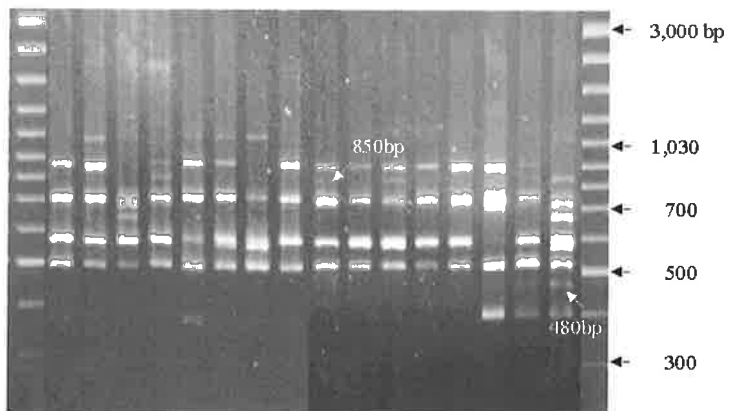


Fig. 3-9. Amplified specific band (480, 850bp) in selected trees for seed production by OPR-20 primer.

2) RAPD data 분석

각 실험군별 유전적 다양성의 추정을 위하여 52개의 RAPD 증폭산물을 대상으로 Shannon's information index를 계산한 결과 일반수형목 개체들에서 가장 높은 값 (0.3035)을 나타내었으며, 다음으로는 다수확품종 선발목들에서 높은 값을 보였다 (0.3002). 권금성 집단은 0.2898로 조사된 3개 실험군 가운데 가장 낮은 값을 보였으나, 이들의 통계적 유의성은 인정되지 않았다 (Table 3-14).

Table 3-14. Genetic variation in each population using Shannon's information index (Shannon, 1948).

Group	sample size	Shannon's information index	
		Mean	S.D.
Selected trees for seed production	39	Mean	0.3002
		S.D. *	0.0918
Common plus trees	39	Mean	0.3035
		S.D.	0.0868
Kwonkumseong natural population	32	Mean	0.2898
		S.D.	0.0829

\* S.D. : standard deviation

이상의 결과로부터 수형목이나 다수확 품종의 유전변이가 권금성 집단에 비해 다양함을 알 수 있었는데, 이는 수형목이나 다수확 품종이 전국의 잣나무를 대상으로 선발됨으로서 단일 천연집단 (권금성)보다는 유전적 base가 넓기 때문에 유도된 결과로 사료된다.

한편 Nei의 유전적 거리를 바탕으로 UPGMA를 이용하여 각 실험군간의 유전적 거리를 구한 결과 다수확 개체목들과 권금성천연집단이 0.3617로 보다 가까우며 일반수형목들이 보다 이질적으로 나타났다 (Fig. 3-10).

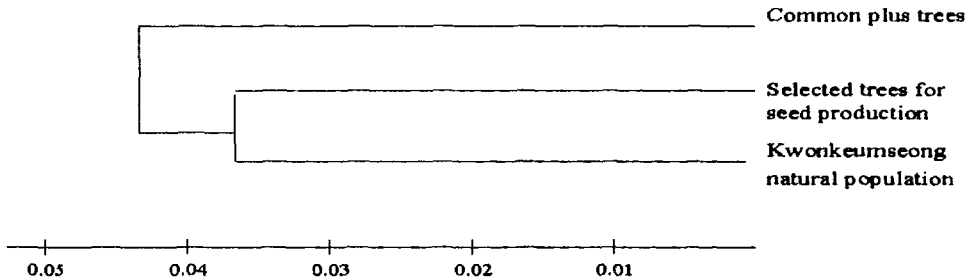


Fig. 3-10. Dendrogram constructed by the UPGMA method based on Nei and Li (1985)'s distance coefficient from RAPD data.

본 연구에서는 다수확 품종에서만 특이적으로 발견되는 밴드를 발견하거나 3개 실험군 간에 유전적 차이를 발견하지는 못했는데, 이는 앞에서도 서술하였듯이 다수확 특성은 양적형질로 이의 정확한 유전양식을 구명하기 위해서는 특정한 교배 디자인에 의해 생산된 차대들이 요구되며 보다 많은 유전적 표지자가 이용되어야 한다. 따라서 앞으로 이 분야에 대한 보다 정밀한 연구가 요망된다.



## 제4절 유전자원 보전을 위한 전략

### 1. 서론

유전자원 보전은 변화하는 환경 조건과 미래에 만연할 지 모를 병충해 등의 재해에 대하여 임목집단의 적응력을 유지시키고 육종재료를 확보하기 위하여 필수적인 과제이다. 유전자원 보전의 목표는 집단이 지니고 있는 현상태의 생태적·유전적 특성을 미래에도 유지할 수 있도록 하는 것인데, 변화하는 복잡한 환경인자에 대한 생물종의 적응력은 그 종내 유전변이의 양과 특성에 의해 크게 좌우된다. 따라서 어떤 생물종의 유전적 구조와 특성을 제대로 알아야 생물종이 가지는 유전구조나 다양성을 보존하기 위한 구체적인 전략을 수립할 수 있다.

물론 가장 이상적인 보전은 존재하는 모든 유전정보와 그 구성상태를 대상으로 하는 것이지만, 이는 시간적이나 경제적으로 불가능하므로, 특정 기준에 따라 요구되는 집단의 크기를 추정하고 집중적이면서도 합리적인 표본추출의 방법을 모색해야 한다. 동위효소나 DNA 등의 표지자에 근거하여 얻게되는 유전변이에 대한 정보는 대상종의 분포 및 생태적 특성과 함께 현지보전을 위한 종합적인 계획 수립에 유용한 정보를 제공할 수 있다. 또한 현지내보전 만으로 충분하지 못하거나 그 자체가 어려운 대상종이나 집단에 대해서는 유전변이를 대표하는 충분한 수의 개체를 영양 증식시켜 보존하거나, 최대한의 유전변이를 집약시킬 수 있는 종자나 기타 조직을 보존하는 현지외보전 방법이 함께 강구되어야 할 것이다.

구체적인 유전변이 자료에 근거하여 유전자원 보전을 위한 집단 및 개체수를 정하는 데 도움이 되는 원칙이나 기준을 얻기 위해 많은 연구가 이루어졌는데, 주로 최소집단 크기 결정 (Franklin, 1980; Soulé, 1980; Namkoong, 1984)과 표본추출전략 (Marshall and Brown, 1975; Brown, 1989\_a,\_b, 1992; Frankel, 1984, 1987; Frankel and Brown, 1984; ; Ledig, 1992; Kim *et al.*, 1994\_b)에 관한 내용이었다. 이러한 연구결과들은 유전변이의 공간적 분포 정도나 희귀성 등을 고려하여 우선적으로 보존해야 하는 집단의 크기나 수를 결정하는데 응용되고 있다.

## 2. 유전자원 보전 전략

### 가. 현지내 보전 (*In situ* conservation)

자연상태의 임분을 현 상태로 보호 관리하는 방법으로, 현지에서 환경변화에 따른 보존집단의 생태적 및 유전적 변화과정을 관찰·관리할 수 있는 장점이 있기 때문에 임목집단의 유전자원 보전을 위해 효과적이면서도 실질적인 방법이다. 현지보전을 위한 필수적인 보존집단의 크기, 수 등의 결정은 대상종의 분포, 생태적 특성 및 유전변이의 양상에 따라 신중히 이루어져야 하지만, 가장 중요한 사항은 보존집단이 그 지역의 유전변이를 가능한 대표할 수 있도록 노력하는 일이다.

우리나라는 잣나무 천연분포의 변두리에 해당된다. 또한 집중적으로 분포하는 것도 아니고 흩어져 있으며 집단의 크기도 충분치 못할 뿐만 아니라 다른 수종과 혼효되어 있는 경우가 대부분이다. 잘 알려진 바와 같이 우리나라에서 잣나무는 1980년대 이후 가장 많이 인공적으로 심겨진 수종이다. 식재지역도 일부지역에 국한된 것이 아니라 일부 남부지방을 제외한 거의 전국에 확대되어 있다. 이렇게 잣나무를 원래의 분포적, 생태적 특성과 거리가 있는 지역으로 확대조립하는 일이 생태계 안정 측면에서 우려된다는 점은 이미 강조된바 있다 (김, 1990).

이러한 특성을 지닌 잣나무에 대해서 현존하는 잣나무 천연집단을 모두 현지내 보전할 필요가 있다는 유전자원 보존 전략이 이미 제안되었다 (Kim *et al.*, 1994\_b). 이 연구를 통해 새로 조사된 팔공산, 태백산 집단 역시 보존집단에 포함되어야 할 것으로 생각된다. 우리나라 잣나무 천연집단은 제한적인 분포에도 불구하고 상대적으로 많은 양의 유전변이를 지니고 있는 것으로 확인되었다 (Table 3-5, Table 3-11). 집단간의 유전적 차이 또한 중국이나 러시아에 비해 큰 값으로 나타나 가능한 많은 집단을 보존해야 한다는 필요성도 쉽게 수긍이 간다. 그러나 과거의 연구결과와 마찬가지로 임의 교배하는 큰 집단에서 기대되는 값에 상당히 부족한 양의 이형접합체가 관찰되었으며 (Table 3-5), 중국과 러시아에서는 이형접합체의 관찰값이 기댓값과 같거나 큰 차이가 없음을 주목할 필요가 있다. 이형접합체의 부족현상이 앞으로 잣나무 천연집단의 적응능력을 감소시킬 위험이 있는지의 여부는 좀 더 상세한 분석과 연구를 통하여 밝혀질 수 있겠지만, 불연속적이면서 소규모로 주로 고산지대에 분포하는 우리나라 잣나무의 특성상, 약하나마 유전적 부동이 진행되고 있다는 가능성을 전혀 배제할 수는 없다고 생각된다. 결론적으로 우리나라 잣나무 천연림의 유전자원 보전은 그 동안 연구된 지

역을 가능한 모두 포함시켜 현지내 보전하는 동시에 임분내의 동태나 유전적 변화를 감시하고 필요에 따라서 적극적으로 관리할 수 있는 체제를 갖추어야 한다고 생각한다.

이러한 점에서 북한에 상당량 존재하는 잣나무 천연림의 유전자원에 대해 큰 관심을 가져야 할 것으로 생각한다. 우선적으로 북한에서의 잣나무 천연분포 현황을 파악하고 이들의 유전적 특성을 조사하여 합리적인 유전자원 보전 방안을 강구하도록 노력해야 한다.

#### 나. 현지외 보전 (*Ex situ* conservation)

현지외 보전은 환경적 변화, 자연재해 또는 인위적 활동 등에 의해 현지내 보전이 어렵거나 실패할 위험이 클 때 적용될 수 있는 유일한 방법이다. 따라서 현지외 보전은 현지내 보전의 보조수단 이상의 의미를 지닐 때가 많다. 임목유전자원의 현지외 보전에는 흔히 영양증식을 통하여 clone bank나 수목원을 조성하거나, 종자나 화분 등을 초저온 저장하는 등의 방법이 적용된다. 외래수종의 유전자원 확보가 필요한 경우 자국에서 현지내 보전이 잘 이루어져 있다 하더라도 현지외 보전 방법에 의존할 수밖에 없다.

중요한 조림수종인 잣나무의 분포 특성을 생각할 때 국내 잣나무 유전자원의 현지외 보전은 매우 중요하다고 생각된다. 그렇지 않아도 부족한 천연림이 앞으로 얼마나 잘 유지될지 쉽게 판단할 수 없는 상황이다. 산림녹화 이후 산림생태적 환경이 크게 변화했음은 물론 기후변화에 따른 영향으로 활엽수림이나 혼효림이 점차 늘고 있다. 단적으로 앞으로 우리나라에서 잣나무가 번성하지 못하고 쇠퇴할 지도 모를 일이다. 이에 대비하는 일은 우선적으로 다양한 유전자원을 보존하는 일이라 믿는다.

다행히 잣나무는 육종재료로서 많은 양이 이미 보존되어 있다. 수형목 클론이나 채종립 등이 그 것인데 이를 체계적으로 활용하는 방안을 강구해야 할 것이다. 우리나라의 수형목은 지역적으로 치우쳐 있기는 하지만 천연림이나 오래전에 식재된 인공림에서 선발되어 많은 양의 유전변이를 지니고 있는 것으로 생각된다. 이는 이미 수행된 일부 연구를 통해서 알려지기도 했지만, RAPD 표지자를 이용한 본 연구를 통해서도 확인할 수 있다. 따라서 이미 확보된 육종재료에 대한 면밀한 유전분석을 통해 정확한 유전변이의 양과 특성을 밝혀 보다 체계적인 현지외 보전 전략을 수립해야 할 것이다.

이미 설명되었지만 중국의 잣나무 천연집단에서는 지역에 따라 상당한 정도의 유전변이가 관찰되었다 (Table 3-5, Table 3-9). 중국의 잣나무 분포는 우리나라와 비교할 수도 없이 넓으면서도 연속적인 분포를 보이고 있기 때문에 더욱 다양한 유전변이가 존재할 것으로 생각된다. 중국 정부에서도 잣나무의 유전자원을 자랑스럽게 생각하고 몇 개의 지역을 수천 ha 이상의 크기로 천연림보호지역 내지 국제적인 문화유산으로 보호하고 있다. 따라서 천연자원이 상대적으로 부족한 우리의 입장에서는 새로운 유전자원을 가능한 많이 확보하기 위한 방안을 강구해야 할 것이다.

연구 결과 중국의 일부 집단에서는 그 지역에서만 발견되거나, 우리나라에서는 드물지만 상대적으로 빈도가 높은 대립유전자나 변이체가 발견되었다 (Table 3-4). 이들을 우선적으로 확보하여 보존할 필요가 있으며, 앞으로 유전분석 연구를 확대하여 더욱 많은 새로운 유전자원을 확보해야 한다고 믿는다.

러시아 집단의 경우 한국이나 중국에 비해 유전변이가 적고 집단 분화 정도도 낮기 때문에, 보존가치가 상대적으로 적은 것으로 사료되었다. 그러나 최근에 러시아의 잣나무 천연집단에서도 다양한 유전변이가 존재한다는 보고가 있어 (Potenko and Velikov, 1998), 신중할 필요가 있다고 생각된다. 실지로 러시아 집단에서도 주대립유전자가 다르거나 다른 지역에 비해 더 많이 나타나는 대립유전자나 변이체가 관찰되었다 (Table 3-4). 또한 조사된 러시아의 3개 집단이 잣나무 천연분포의 북쪽 한계에 가깝고 하나의 고유한 cluster를 형성한다는 점을 고려할 때, 이들이 나름대로 독특한 유전적 특성을 지니고 있을 가능성이 높다고 생각한다. 따라서 러시아 집단에 대해서도 역시 더 많은 집단에 대한 유전분석을 확대하는 한편 가능한 범위에서 유전자원을 확보함이 바람직하다고 생각한다.

이상의 결과로 미루어 볼 때, 잣나무 유전자원의 보전을 위한 기본 방향을 다음과 같이 제시한다.

1. 국내에 존재하는 잣나무 천연집단은 모두 보존대상에 포함시켜야 한다. 이는 우리나라가 잣나무 천연분포지의 남쪽 한계에 해당되면서도, 변이의 특성이나 분포가 다양하기 때문이다. 또한 집단간 유전적 분화가 상대적으로 크기 때문에 소수의 집단을 보존하는 것보다는 다수의 집단을 보존하는 것이 더 유리하다고 생각된다.
2. 천연집단의 적응력을 감소시키는 유전구조의 변화가 일어날 가능성이 있기 때문에 이의 유전구조 변화를 감시하고 필요에 따라 적극적으로 관리할 수 있는 체제를 갖추

어야 한다.

3. 북한의 잣나무 천연림의 유전자원에 대해 큰 관심을 가지고 이들의 유전적 특성을 조사하여 합리적인 유전자원 보전방안을 강구하도록 노력해야 한다.

4. 이미 확보된 수형목, 채종림 등의 육종재료와 기타 유전자원에 대한 유전적 특성을 밝히고 이의 체계적인 현지외 보전방안을 수립한다.

5. 분포면적이 넓고 다양한 유전변이를 지니고 있는 중국이나 독특한 유전변이를 지니고 있을 가능성이 있는 러시아의 잣나무 천연집단에 대해서는 유전적 특성을 확대 조사하여 새로운 유전자원을 가능한 많이 확보하도록 한다.

## 참고문헌

- 김진수, 1990. 산림자원의 효율적 이용 및 보전을 위한 잣나무의 생태유전학적 연구.  
학술진흥재단 자유공모과제 보고서 147쪽.
- 김진수, 1992. 미래를 위한 산림유전자원의 보전. 한독산림경영세미나보고서.
- 김진수, 1993. 지구상의 소나무속 수종의 발달과 분포: 소나무와 우리문화.  
숲과문화연구회.
- 이석우, 1995. 유전자원 보전에 있어서의 표본추출전략. 자연보존 91: 11-19.
- 이창복, 1994. 신고수목학. pp.76-77. 향문사.
- Brown, A.H.D. 1989\_a. The case for core collection. In: A.H.D. Brown, O.H. Frankel, D.R. Marshall and J.T. Williams (eds.) The use of plant genetic resources. Cambridge University Press. Cambridge.
- Brown, A.H.D. 1989\_b. Core collections: A practical approach to genetic resources management. Genome 31: 818-824.
- Brown, A.H.D. 1992. Human impact on plant gene pools and sampling for their conservation. OIKOS 63: 109-118.
- Chung, H.G. and S.K. Lee, 1983. Inheritance of three isozymes in *Pinus koraiensis*. Research Report, Institute of Forest Genetics, Suwon, Korea, 18: 60-73 (in Korean).
- Conkle, M.T., P.D. Hodgskiss, L.B. Nunnally and S.C. Hunter. 1982. Starch gel electrophoresis of conifer seeds: a laboratory manual. Gen. Tech. Rep. PSW-64. Berkeley, CA.
- Excoffier, L., P.E. Smouse and J.M. Quattro. 1992. Analysis of Molecular variance inferred from metric distance among DNA haplotypes: application to human mitochondrial DNA restriction sites. Genetics. 131: 479-491.
- Frankel, O.H. 1984. Genetic perspectives of germplasm conservation. In: W.K. Arber, K. Limensee, W.J. Peacock and P. Starlinger (eds.) Genetic manipulation: Impact on man and society. Cambridge University Press. Cambridge. pp.161-170.

- Frankel, O.H. and A.H.D. Brown. 1984. Current plant genetic resources - a critical appraisal. In: Genetics: New frontiers, vol. 4. Oxford and IBH, New Delhi. pp.1-11.
- Franklin, I.R. 1980. Evolutionary change in small population. In: M.E. Soul and B.A. Wilcox (eds.) Conservation biology: An evolutionary ecological perspective associates. Sunderland, Mass. pp.135-149.
- Goncharenko, G.G., V.E. Padutov, and A.E. Silin. 1993\_a. Allozyme variation in natural populations of Eurasian pines: I. Population structure, genetic variation, and differentiation in *Pinus pumila* (Pall.) Regel from Chukotsk and Sakhalin. *Silvae Genetica* 42: 237-246.
- Goncharenko, G.G., V.E. Padutov, and A.E. Silin. 1993b. Allozyme variation in natural populations of Eurasian pines: II. Genetic variation, diversity, differentiation, and gene flow in *Pinus sibirica* Du Tour in some lowland and mountain populations. *Silvae Genetica* 42: 246-258.
- Hamrick, J.L. and M.J.W. Godt. 1989. Allozyme diversity in plant species. In: A.H.D. Brown, M.T. Clegg, A.L. Kahler, and B.S. Weir (eds.), Plant Population Genetics, Breeding and Genetic Resources. pp. 43-63. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Mass.
- Hamrick, J.L., M.J.W. Godt, and S.L. Sherman-Broyles. 1992. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. *New Forests* 6: 95-124.
- Huff, D.R., R. Peakall and P.E. Smouse. 1993. RAPD variation within and among natural population of outcrossing buffalograss [*Buchloedoctyloides* (Nutt.) engelmann]. *Theor. Appl. Genet.* 86: 927-932.
- Kim, Z.S., W.H. Son and Y.K. Youn. 1982. Inheritance of leucine-aminopeptidase and glutamate oxaloacetate transaminase isozymes in *Pinus koraiensis*. *Korean J. Genetics* 4: 25-31.
- Kim, Z.S., S.W. Lee, J.W. Hwang and K.W. Kwon. 1994\_a. Genetic diversity and structure of natural populations of *Pinus koraiensis* (Sieb. et Zucc.) in Korea. *Forest genetics* 1(1): 41-49.

- Kim, Z.S., C.H. Yi, and S.W. Lee. 1994\_b. Genetic variation and sampling strategy for conservation in *Pinus* species. pp. 294-321. In Conservation and Manipulation of Genetic Resources in Forestry.
- Ledig, F.T. 1992. A comprehensive strategy for the conservation of forest genetic resources. pp. 324-344. In: New horizons in agricultural science. Proceeding of the international symposium on the development of natural resources and environmental preservation. October 13-18, 1992. Korea University, Seoul, Korea.
- Ledig, F.T. 1998. Genetic variation in *Pinus*. In: D.M. Richardson (ed.), Ecology and Biogeography of *Pinus*, Cambridge University Press, pp. 251-280.
- Levene, H. 1949. On a matching problem in genetics. *Ann. Math. Stat.*, 20: 91-94.
- Lynch, M. and B.G. Milligan. 1994. Analysis of population genetic structure with RAPD markers. *Molecular Ecology* 3: 91-99.
- Marshall, D.R. and A.H.D. Brown. 1975. Optimum sampling strategies in genetic conservation. pp 53-80. In: O.H. Frankel and J.G. Hawkes (eds.) Crop genetic resources for today and tomorrow. Cambridge University Press. Cambridge.
- Mirov, N.T. 1967. The Genus *Pinus*. New York, Roland Press Company. 59-62 pp.
- Namgoong, G. 1984. A control concept of gene conservation. *Silvae Genet.* 33: 160-163.
- Nei, M. 1978. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics* 89: 583-590.
- Nei, M. and W.H. Li. 1985. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 76: 5269-5273.
- Neishtadt, M.I. 1957. History of forests and paleogeography of the USSR in Holocene. *Acad. Sci. USSR For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-GTR-309*: 1,6.
- Politov, D.V. and K.V. Krutovskii. 1994. Allozyme polymorphism, heterozygosity, and mating system of stone pines. Proceedings of International Workshop on



- Subalpine Stone Pine and Their Environment: The Status of our Knowledge, St. Moritz, Switzerland, September 5-11, 1992, pp. 36-42.
- Potenko, V.V. and A.V. Velikov. 1998. Genetic diversity and differentiation of natural populations of *Pinus koraiensis* (Sieb. et Zucc.) in Russia. *Silvae Genet.* 47(4): 202-208.
- Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communications. *Bell System Tech. J.* 27: 379-423.
- Soulé, M.E. Thresholds for survival: Maintaining fitness and evolutionary potential. In: M.E. Soul and B.A. Wilcox (eds.) *Conservation biology: An evolutionary ecological perspective associates.* Sunderland, Mass. pp.153-169.
- Sokal, R.R. and F.J. Rohlf. 1981. *Biometry.* 2nd ed. W.H. Freeman and Company, San Francisco, 859p.
- Swofford, D.C. and R.B. Selander. 1989. BIOSYS-1: A computer program for the analysis of allelic variation in population genetics and biochemical systematics. Release 1.7. Illinois Natural History Survey, USA.
- Tani, N., N. Tomaru, M. Araki, and K. Ohba. 1996. Genetic diversity and differentiation in populations of Japanese stone pine (*Pinus pumila*) in Japan. *Can. J. For. Res.* 26: 1454-1462.
- Wright, S. 1951. The genetical structure of populations. *Ann. Eugenics* 15: 323-354.
- Wright, S. 1965. The interpretation of population structure by *F*-statistics with special regard to systems of mating. *Evolution*, 19: 395-420.
- Wright, S. 1978. *Evolution and the genetics of populations*, vol 4. Variability within and among natural populations. Univ. of Chicago press, Chicago.
- Yeh, F.C., R.C. Yang and T. Boyle. 1997. POPGENE. Microsoft window-based freeware for population genetic analysis. Dept. of Renewable Resources. Univ. of Chicago Press, Chicago, USA.

## 제 4 장 신품종 개발 분야

### 제1절 서 설

잣나무는 우리나라의 향토수종으로 양질의 목재와 식용으로 이용되는 종실 때문에 많은 관심을 받아 최근 5년간 우리나라 전체 조림면적의 약 30%를 차지하는 중요한 경제조림 수종중에 하나가 되었다. 그러나 중요한 임산물중의 하나이던 잣 종실은 구과채취의 위험성 및 인력 부족으로 인한 인건비 상승, 값싼 중국산 잣의 대량 수입 등의 문제로 인하여 농가 소득원으로서 중요도가 떨어지고 있어 애석하게도 조림 선호도가 점차 감소하고 있는 추세에 있다. 그러나 우리나라의 잣 종실은 중국산에 비하여 신선도, 품질 등이 우수하기 때문에 일부 지역에서 생산된 잣은 아직도 비싼 값에 거래되고 있어 우리나라의 우수한 품질의 잣을 손쉬운 방법으로 대량생산하여 보다 저렴한 가격으로 상품화하면 중국산과 경쟁력을 충분히 갖추면서 농가의 소득 증대나 산림자원 등 다목적 경영 측면에서도 매우 고무적일 것이다. 따라서 이러한 환경여건에 대처하기 위해서는 다수확 잣 종실 생산을 목적으로 하는 품종선택, 재배·갱신기술 및 합리적인 관리방법 등의 근본적인 연구가 이루어져야 한다. 우리나라도 가격 및 품질수준에서 경쟁력만 갖추 수 있다면 잣 종실은 임산물로서 중요한 위치를 차지할 수 있을 것으로 본다.

그러므로 본 연구의 목적은 잣나무 다수확 개체를 선발하고, 영양번식방법에 의하여 증식하고, 수형유도에 의하여 수형을 왜성화하여 구과채취를 손쉽게하여 수확량을 증대시키는 방법을 모색코자 하였다.

### 제2절 잣나무 다수확개체 선발

잣나무 다수확 개체는 1997년 우리나라 잣나무 종실의 주요 생산지인 경기 가평, 강원 춘천, 홍천 등 3지역의 채종림과 잣나무 수형목 클론이 조성되어 있는 경기 용인, 강원 춘천 등 3지역의 클론보존원(Table 4-1, 4-2)에서 총 7,908본의 유구과와 구과수를 조사하여 구과가 많이 달리는 다수확 후보목 200본을 선발하였고(Table 4-3), 후보목의 구과분석을 통하여 1998년 종자 생산능력이 큰 43본의 다수확 개체를 최종 선발

하였다(Table 4-4).

Table 4-1. Site data of selected tree for high cone yielding.

	Place	Lat	Long	Alt(m)	Slope
Clone bank	Kihung, Yongin	37° 14′	127° 02′	100	0°
	Shinbuk, Chunchun	37° 54′	127° 44′	70	0°
	Seomyun, Chuncheon	37° 53′	127° 38′	500	20°
Seed orchard	Sangmun, Kapyong	37° 39′	127° 17′	230	10°
	Dongmyun, Chuncheon	37° 49′	127° 49′	400	20°
	Bukmyun, Hongcheon	37° 43′	127° 49′	560	15°

Table 4-2. Tree characteristics of selected tree for high cone yielding.

	Place	Height (m)	DBH (cm)	Crown width (m)	Branch no (n)
Clone bank	Kihung, Yongin	5.2	11.4	4.4	26.4
	Shinbuk, Chunchun	5.9	12.4	5.2	34.0
	Seomyun, Chuncheon	4.5	10.4	4.1	30.0
Seed orchard	Sangmun, Kapyong	19.2	22.8	9.3	37.9
	Dongmyun, Chuncheon	22.0	38.1	9.0	43.5
	Bukmyun, Hongcheon	21.9	37.8	9.0	40.0

잣 종실 다수확 품종개발을 위한 선발은 종자생산량을 목표로 하였기 때문에 다수확 후보목에 대한 생육상황, 본당 유과수와 및 구과수와 본당 종자생산량을 조사하였다. 다수확 후보목으로 선발된 수형목 150클론의 평균 유과수는 19개, 평균 구과수는 15개, 구과당 평균 총실종자수는 74개, 평균 실중은 531g, 본당 평균 종자생산량은 657g으로 나타났으며 다수확 클론으로 선발된 34클론은 평균 종자생산량이 1,340g으로 후보목 전체 평균보다 2배 많았다. 또한 채종림 후보목 50본의 평균 유과수는 57개, 평균 구과수는 40개, 구과당 평균 총실종자수는 129개, 평균 실중은 446g, 본당 평균 종자 생산량은 2,741g으로 나타났으며 다수확 클론으로 선발된 9클론은 평균 종자 생

산량이 4,334g으로 후보목 전체 평균보다 1.6배 많이 생산되는 것으로 나타났다. 클론 보존원과 채종림에서 선발된 다수확 개체 43본의 특성은 Table 4-4와 같다.

Table 4-3. Data of selected tree for high cone yielding.

Place	No. of tree (A)	Tree selected (B)	Av. cone No.		Selection intensity	Gain
			(A)	(B)		
Total	7,908	200	9.8	37.1	2.5	27.3
Kihung, Yongin	537	60	4.7	19.7	11.2	15.0
Shinbuk, Chunchun	501	68	6.2	18.6	13.6	12.4
Seomyun, Chuncheon	250	22	3.7	14.9	8.7	11.2
Sangmun, Kapyong	3,200	20	17.8	62.4	0.6	44.6
Dongmyun, Chuncheon	1,120	15	12.5	52.4	1.3	39.9
Bukmyun, Hongcheon	2,300	15	13.9	54.8	0.7	40.9

※ 선발강도(%) :  $\frac{\text{선발본수}}{\text{조사본수}} \times 100$

선발차(개) :  $\text{선발목 평균 착과수} - \text{조사목 평균 착과수}$

Table 4-4. Seed characteristics of cone high yielding clone.

Clone	No. strobi	No. cones	Seed/cone	Good seed /cone	1000seed weight	Seeds/tree	Seeds potential
CB 2	46	36	159	131	471	2,222	2,531
KW85	43	41	130	102	496	2,077	2,128
KK16	48	44	139	114	391	1,959	2,048
KW21	75	67	80	55	479	1,777	1,883
KK33	28	28	157	129	465	1,676	1,676
KK46	29	23	141	114	543	1,425	1,611
KW86	27	25	123	113	545	1,540	1,601
KW15	38	34	107	79	541	1,453	1,539
KW47	29	24	159	145	386	819	1,487
KW23	37	32	92	76	563	1,370	1,477
CB 1	36	22	114	77	647	1,100	1,450
KW13	35	31	98	74	591	1,359	1,446
KW29	20	15	137	123	666	1,229	1,434
KK32	19	19	157	143	507	1,379	1,379
KK 6	31	28	113	90	508	1,283	1,351
KW59	29	25	91	76	650	1,228	1,325
KK27	19	17	127	108	654	1,197	1,268
KW62	19	17	133	120	582	1,187	1,256
KW78	24	22	118	111	486	1,188	1,242
KK13	19	19	162	137	474	1,233	1,233
KK18	35	28	137	88	419	1,037	1,167
KK28	18	18	128	104	598	1,123	1,123
KW57	15	13	157	129	607	1,020	1,097
KW11	28	19	112	94	494	882	1,091
KW79	27	25	125	116	349	1,011	1,051
KW10	27	18	112	90	520	840	1,050
KW 8	15	12	131	117	651	912	1,026
KW82	21	15	136	113	495	840	1,008
KW81	25	19	98	87	516	851	985
KK22	18	18	115	94	563	956	956
KW64	23	18	127	117	396	836	952
KK19	13	13	122	106	671	922	922
KK21	15	13	154	117	544	824	888
KK45	37	25	123	50	570	712	883
CC10	64	38	196	173	564	3,712	4,982
CC 8	62	53	155	149	575	4,531	4,915
CC 5	64	35	167	158	598	3,300	4,667
CC 4	48	43	173	161	605	4,184	4,427
CC15	85	68	179	145	397	3,923	4,413
KP 7	105	61	172	152	329	3,051	4,151
CC 9	58	41	151	144	545	3,225	3,893
CC11	67	47	171	153	438	3,142	3,811
HC 8	51	39	183	162	515	3,252	3,752

※ CB : Chungbuk KW : Kwangwon KK : Kyungki CC : Chuncheon

KP : Kapyung HC : Hongchun

※ 종자생산 잠재량을 기준으로 내림차순으로 정리



Photo 4-1. Seed orchard (Hongcheon, Kangwon)



Photo 4-2. Selected cone high yielding tree  
(Bukbang, Hongcheon, Kangwon)



Photo 4-3. Seed orchard (Dongmyun, Chuncheon)



Photo 4-4. Selected cone high yielding tree  
(Dongmyun, Chuncheon)



Photo 4-5. Seed orchard (Sangmyon, Kapyong)



Photo 4-6. Selected cone high yielding tree  
(Sangmyun, Kaphyung)





Photo 4-7. Clone bank (Kiheung, Yongin)



Photo 4-8. Clone bank (Shinbuk, Chuncheon)



Photo 4-9. Conesetting of selected tree



Photo 4-10. Strobi of selected tree

### 제3절 종자생산원 조성

선발된 다수확 개체를 이용 종자생산원을 조성하기 위하여 다수확 개체의 접수를 채취하여 접목 증식을 실시하였다. 증식은 1999년 봄에 포지에서 활접을 통하여 접목하였으며, 이들 접목묘를 2001년 4월에 종자생산원으로 조성함으로써 다수확 개체의 종자생산 체계를 확보하였다. 또한 품종 갱신 시기를 단축시키기 위한 조기 증식기술을 개발하고자 1993년 조성된 일반 임지에서 1999년 4월에 접목봉투를 씌운 것과 씌우지 않은 2가지 접목 방법과 대목용 가지의 위치에 따른 고택을 실시하여 접목활착율 및 생장특성을 조사하였다.

○ 포지 접목 : 1999년 3월 다수확 개체 43클론중 접수채취가 곤란한 강원11호(고사)를 제외한 42클론의 접수를 현지에서 채취하여 4월 6일 접목을 실시하였다. 접목은 클론당 9-10본씩 하였으며 접목후 즉시 비닐로 터널을 씌움과 동시에 차광율 50%의 비음망을 설치하였다. 5월 하순부터 6월 하순까지 주간의 온도가 높을 때는 비닐 터널안의 과열을 방지하고 외부 환경에 적응시키고자 비닐을 조금씩 열어 통풍을 시켰다. 1999년 가을에 강원 8호 등 42클론 372본, 2000년 8월에 경기 46호를 제외한 41클론 201본이 활착되었다(Table 4-5).

12본과 9본으로 가장 불량하게 나타났다. 또한 접수의 생장은 전반적으로 수관 상부에 고접을 한 것이 생장이 불량한 경향을 보였다. 1년지가 3개년도 모두 우수하였으며 3년지가 그다음이고 전반적으로 정아지가 가장 불량한 경향을 나타내어 수령적으로 가장 유령이지만 생리적으로 가장 노령인 정아 부위가 고접 갱신이 어렵다는 보고와 일치하는 경향을 보였다(Table 4-8).

Table 4-8. Grafting result by suon from branchs of different ages.

Branch age	Grafted tree	Survival tree			Shoot growth (cm)
		1999	2000	2001	
Growing bud	30	17	12	9	26.3
1 yr	30	24	22	22	26.9
2 yrs	30	14	14	14	32.3
3 yrs	30	20	19	16	30.0



Photo 4-14. High position grafting



Photo 4-15. Growing bud grafting



Photo 4-16. One year after growing bud grafting



Photo 4-17. Grafting on one year old branch

#### 제4절 채종목의 수형조절

종자생산원으로 조성된 다수확 개체들의 수형유도를 통하여 구과채취를 손쉽게 하기 위하여 1991년 조성된 채종원에서 1999년 3월에 과수목처럼 2가지 방법으로(역지위 단간: 8클론, 2년지 주지 단간: 4클론) 단간하여 단간하지 않은 일반 채종목(8클론)과 수형이 변화하는 과정을 비교하였다. 또한 2001년 4월에 역지위 단간과 2년지 주지 단간목을 2차 단간하여 과수목처럼 수고를 낮춘바 있다.

잣나무를 과수목처럼 왜성화시키고 개화결실을 촉진시키기 위한 방안으로 강원3, 경기11, 경기14, 경기18, 경기21, 경기22, 경기23, 경기32호 등 8클론을 단간하여 수형조절된 채종목과 수형조절되지 않은 일반 채종목의 수고 변화와 유구과 착과특성을 비교 조사하였다.

수형조절된 채종목의 1차 단간 높이는 138.2cm였으며 수고가 325.7cm로서 비조절목 374.3cm에 비하여 수고는 다소 낮게 나타났다. 그러나 2000년 새로 성장한 정아의 길이는 46.8cm로 비조절목 39.8cm보다 생장이 왕성한 것을 알 수 있었다. 이것은 잣나무 채종목이 수형조절된 후 신초지의 왕성한 성장과 역지가 정아 우세현상을 나타내는 직립생장을 하여 수형조절목의 수고가 높아지는 것을 알 수 있었다. 또한 유구과는 수형

조절된 채종목이 전체 132개가 착과되어 수형조절되지 않은 일반 채종목 14개에 비하여 약 9배정도 많은 개화결실을 한 것으로 나타났다(표 4-9). 그러나 이것은 수형조절 다음해에 나타난 결과로 2001년에는 전반적으로 유구과가 개화하지 않아 금후에도 계속 조사가 되어야 할 것으로 생각된다.

Table 4-9. Comparison between tree form modification by strong pruning and control

Treat	Shoot growth (cm)	Pruned height (cm)	No. of strobi	No. of cone
Branch pruned	46.8	325.7(138.2)	132	6
Control	39.8	374.3	14	12

※ 2000년 효과

잣나무 채종목을 과수목처럼 수고를 낮추고 정단의 가지수를 많게(측지의 주지화 유도)하여 착과되는 양을 증대시키려고 수형조절된 채종목의 생장 및 가지특성을 수형조절되지 않은 채종목과 비교 조사하였다. 그 결과 수형조절된 채종목은 수간길이가 비조절목에 비하여 전반적으로 짧게 나타났다. 수간직경(수형조절된 5마디까지)은 수형조절목이 6.6cm~10.7cm로 비조절목 5.8cm~10.6cm에 비하여 다소 굵게 나타났다. 가지길이는 수형조절된 채종목이 마디가 위로 올라갈수록 정아 우세현상이 나타나 전반적으로 왕성한 성장을 보였으나 수형조절되지 않은 채종목은 전반적으로 아래가지가 왕성한 성장을 보였다. 가지직경 또한 수형조절목이 마디가 위로 올라갈수록 굵게 나타났다. 한편 가지각도는 수형조절된 채종목의 정아가 11°를 나타내 수간과 수직을 이루는 것으로 나타나 정아 우세현상을 보였다. 그러나 수형조절되지 않은 채종목은 2000년에 성장한 신초의 가지각도가 23°를 나타내 정상적인 성장을 하는 것으로 나타났다. 가지수는 수형조절된 채종목이나 수형조절되지 않은 채종목에서 2.7개~4.1개로 차이를 나타내지 않았다(Table 4-10).

Table 4-10. Branch growth of strong pruning and control

	Treat	Branch nod								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Stem length (cm)	Pruning	34.5	27.3	20.9	25.4	30.1				
	Control	39.2	28.4	27.7	32.4	36.9	41.5	40.6	44.5	44.2
Stem diameter (cm)	Pruning	10.7	8.6	7.6	7.1	6.6				
	Control	10.6	8.6	7.6	6.8	5.8	4.8	4.1	3.4	2.5
Branch length (cm)	Pruning	190.3	183.3	190.9	200.7	218.0				
	Control	182.2	174.6	169.5	169.1	161.4	128.7	107.8	93.4	63.3
Branch diameter (cm)	Pruning	2.9	2.7	3.1	3.6	4.0				
	Control	2.4	2.2	2.1	2.1	2.0	1.8	1.5	1.4	1.6
Branch angle (°)	Pruning	38	35	27	16	11				
	Control	42	42	41	35	31	29	26	21	23
No. of branch	Pruning	3.4	3.5	2.7	3.0	3.0				
	Control	3.3	3.8	3.2	4.1	4.0	4.0	3.9	3.8	3.6

※ 2000년 효과

한편 2년지를 단간한 경기14, 경기18, 경기21, 경기23호 등 4클론의 수형은 수간길이가 26.4cm~43.7cm까지 나타났으며 2000년에 성장한 신초는 47.6cm를 나타내 왕성한 성장을 보였다. 가지직경은 3.0cm~12.1cm로 2년지를 단간하였기 때문에 일반목과 같은 성장패턴을 보였다. 또한 가지길이(92.0cm~201.8cm), 가지직경(2.0cm~2.7cm), 가지각(13° ~43° ), 가지수(3.0개~4.2개)에서도 일반목의 성장패턴을 보였다(Table 4-11). 그러므로 잣나무 채종목을 수령이 증가하면서 계속하여 정지전정을 과수목처럼 유도해 나간다면 수형은 변칙주간형으로 변화해 나갈 것으로 생각된다.





Photo 4-18. Tree form modification (unselected)



Photo 4-19. Bud shoot pruning



Photo 4-20. Strong pruning

Table 4-11. growth of tree form modification by pruning on 2 year old branch

Branch	Stem(cm)		Branch			Number
	Length	diameter	Length (cm)	Diameter (cm)	Angle (°)	
1	43.7	12.1	201.8	2.7	43	3.9
2	32.1	9.9	190.0	2.3	43	3.9
3	26.4	8.7	197.4	2.5	39	3.3
4	35.3	7.7	194.6	2.4	31	4.2
5	35.6	6.4	176.8	2.3	24	4.1
6	41.2	5.6	169.0	2.5	16	4.1
7	39.2	4.6	145.7	2.1	14	4.2
Bud	47.6					

※ 2000년 효과

## 제5절 구과채취 방법 개선

잣나무 구과채취 방법을 개선하기 위하여 1973년과 1974년 임업연구원 서부임업시험장 충주시시험림에 조성된 채종원에서 수형조절된 채종목('73)과 수형조절되지 않은 채종목('74)간에 구과채취에 소요되는 시간과 비용을 조사하여 경제성을 분석하였다.

기 조성된 잣나무 채종원에서 수형조절된 나무와 수형조절되지 않은 채종목을 구분하여 각 25본씩 등목하거나 고지전정기를 이용하여 구과를 채취할 때 소요되는 시간과 구과량을 2000년 8월 하순 채취하여 비교 분석하였다. 수형조절된 채종목은 평균 수고가 6.6m를 나타내 직접 나무에 올라가서 채취하는 방법과 나무 아래에서 고지전정기를 이용하여 채취하는 손쉬운 방법이 있다. 비교적 수고가 낮아서 구과채취 하는데 숙련공이 아니라도 할 수 있는 장점이 있고 또한 등목을 하지 않기에 나무에서 떨어질 위험이 없어 안전한 방법이라 할 수 있다. 그러나 수형조절되지 않은 채종목은 평균 수고가 10.9m를 나타내 일반인은 나무에 오르기가 힘들고 위험성을 내포하고 있다. 그러므로 수형조절되지 않은 채종목은 등목하는데 비교적 숙련된 사람을 고용하여야 하는 어려운 점이 있으며 또한 등목부 단가가 높아서 현지에서 많은 어려움을 겪고 있다.

채종목의 구과채취만을 위해 소요된 시간은 1일 3인을 기준으로 수형조절목은 본당 약 9분이 소요되었으며 수형조절이 되지 않은 채종목은 본당 약 26분이 소요되어 약 3배정도 더 시간이 걸렸다. 그리고 수형조절되지 않은 나무는 수고가 높아, 힘이 많이 들어서 쉬는 시간이 더 소요되는 것으로 나타났다. 또한 구과채취량을 보면 수형조절목은 본당 14.6가지에 106개의 구과가 착과되었으며 비수형조절목은 18.7가지에 133개의 구과가 착과되었다(Table 4-12). 이것은 수형조절목이 단간으로 인해 전체 수관 면적이 적으므로 비수형조절목의 구과가 많은 것으로 나타났으며 관리에도 어려움을 겪고 있다. 그러나 2000년에는 풍년이므로 흉년일 때와 생산량의 차이가 너무 많이 나서 구과채취에 상당한 영향을 미치므로 계속 조사를 하여 효율성 분석을 통한 비교를 하여야 할 것이다. 종자생산원에서 구과채취방법 개선을 위해 종자생산원을 평지에 조성하면 기계화가 가능하여 구과채취가 손쉬울 것이다. 경사지에 조성하였을 때나 기계화가 어려울 때에는 채종목을 수형조절하여 구과채취에 전문인력이 아닌 일반인이 고지전정기를 이용하여 손쉽게 채취할 수 있도록 과수목처럼 수고를 낮게 유도하는 방법을 적용하여야 할 것이다.

Table 4-12. Seed tree characteristics in Chungju seed orchard

Treat	Trees	Height (m)	Diameter (cm)	Cones (n)	Cone collecting time(min)
Pruning ('73)	25	6.6	20.7	106	9
Control ('74)	25	10.9	30.9	133	26



Photo 4-21. Seed tree of form modification



Photo 4-22. Uncontrolled seed tree

잣나무는 목재뿐만 아니라 종실로서도 이용가치가 높은 수종중에 하나이다. 그러므로 이러한 활용가치가 높은 잣나무의 종실 다수확 개체를 선발하여 다수확 종실을 생산할 수 있는 종자생산원을 조성하였다. 또한 품질이 좋은 종실의 대량생산은 물론 구과채취를 손쉽게 하기 위한 채종목의 수형조절 방법을 체계적으로 구명하고자 잣나무의 역지위 단간과 2년지 주지 단간을 실시하여 채종목을 변칙주간형으로 유도하였다. 이러한 잣나무의 다수확 개체와 수형조절법은 산촌 농가에서 과수목처럼 소득원으로 활용될 수 있으리라 기대된다.

## 제 5 장 잣나무 임분의 성장모델 및 경영분석

### 제1절 서 설

경제적인 측면에서 잣나무는 목재와 잣을 동시에 생산해낼 수 있는 주요 경제수종의 하나이다. 따라서 목재와 잣을 동시에 생산해 낼 수 있는 복합경영형태로 잣나무 임분의 생산성을 높일 필요가 있다. 이러한 복합적인 산림경영을 위해서는 임분의 성장 및 수확량을 임상 및 경영목표에 따라 다양하게 예측할 수 있어야 한다.

산림경영을 위해서는 임분의 성장 및 수확을 예측하는 것이 필수적이며, 이를 위해 다양한 성장 및 수확모델(growth and yield model)이 이용되고 있다. 성장모델은 단순한 표에서 컴퓨터를 이용한 software까지 그 범위 및 형태가 다양한데, 성장예측에 이용된 성장인자의 종류에 따라 임분 성장모델(stand growth model), 분포모델(distribution model, size class model), 단목 성장모델(single tree growth model)등으로 구분된다.

경영분석분야에서는 인공 식재림에 대해 관리방법에 따라 성장 및 수확량을 다양하게 예측할 수 있는 동적 성장모델과 천연림의 성장을 예측할 수 있는 단목 성장모델을 우선적으로 구축하고, 이를 기반으로 경영모델을 구축하여 잣나무림의 생산성 및 수익성을 경영형태 및 목표별로 분석코자 한다.

경영분석분야의 연구는 크게 성장모델구축을 위한 임분조사, 성장모델구축, 경영모델구축 및 경영분석 등으로 구분할 수 있다. 임분 조사부문에서는 동적 및 단목 성장모델 구축에 동시에 사용될 수 있도록 표본조사를 실시하였다. 성장모델구축부문에서는 잣나무 인공림의 성장 및 수확을 관리방법에 따라 다양하게 예측할 수 있는 동적 성장모델과 천연림의 성장을 단목 단위로 예측할 수 있는 단목 성장모델을 구축하였다. 경영분석부문에서는 잣나무림 경영의 목표를 용재생산, 용재 및 잣 생산, 다수확 품종의 잣 생산 등으로 구분하고 각 형태별 생산성 및 수익성을 비교 분석하였다.

### 제2절 잣나무 임분 현황

#### 1. 잣나무 임분의 분포

우리나라산림의 약 45%는 침엽수림이 점유하고 있는 침엽수림 중 약 7%가 잣나무림

으로 이루어져 있다. 도별로는 우리나라 중부지방인 경기도, 강원도에 전국 잣나무림의 50%가 산재하고 있는 것으로 나타났다. 동부 및 중부지방 산림 관리청에 분포되어 있는 잣나무 면적 36,078ha를 포함하면 전국 잣나무림의 70%가 중부지방에 분포하고 있는 것으로 나타났다. 경기도에서는 침엽수림의 30%, 전체산림면적의 10%를 잣나무림이 차지하고 있는 것으로 파악되었는데, 여기에서도 지방 산림 관리청에 분포된 잣나무림을 합하면 잣나무림의 비율은 이보다 높게 나타날 것이다.

Table 5-1. Area of forest and white pine stand by forest type and province ( Unit : ha )

City Species	Total	K.K	K.W	C.B	C.N	J.B	J.N	K.B	K.N	J.J	F.O
	White Pine	206,217	54,606	48,940	9,659	5,817	14,885	1,127	21,088	4,186	--
Conifers	2,877,596	186,175	386,705	164,489	234,633	227,478	450,494	560,878	370,649	24,292	271,803
Broad - Leaved	1,648,993	196,618	168,353	125,209	110,814	120,121	133,687	215,922	156,058	36,960	385,251
Mixed Stand	1,707,117	152,551	168,055	145,588	106,236	72,663	115,926	462,402	257,472	4,373	221,851
Bamboo	8,063	3	--	1	174	768	4,616	70	2,431	--	--
Unstocked	152,727	14,897	16,363	6,088	10,683	9,320	18,158	21,327	17,375	28,781	9,735
Total	6,394,496	550,244	739,476	441,375	462,540	430,350	722,881	1,260,599	803,985	94,406	888,640

(K.K :Kyoung-ki, K.W :Kang-Won, C.B :Choong-Book, C.N :Choong-Nam, J.B :Jun-Book, J.N :Jun-Nam, K.B :Kyoung-Book, K.N :Kyoung-Nam, J.J :Je-Ju, F.O: Region Forest Office)

※ The third Forest Resource Inventory ( '86~'92)

임상도를 이용하여 분석한 결과 경기도 가평군에서는 산림면적의 30%가 잣나무림으로 이루어진 것으로 파악되었다. 영급별로는 1영급이 28%, 2영급이 37% 3영급이 20%로 30년생 미만의 임분이 85%정도를 차지하고 있다. 경급분포를 보면 치수림이 28%, 소경목림이 56%를 차지하고 있으며, 중경목림이 15%, 대경목림은 1%에 불과하다. 소밀도 분석에 의하면 밀한 임분이 56%, 밀도 중의 임분이 39%로 대부분의 잣나무림이 밀도가 높은 상태로 생육하고 있음을 알 수 있다.

Table 5-2. Area by tree species in GaPyoung-Gun, Kyoungki-do

Tree species	Total	Age Class							
		Total	1	2	3	4	5	6	
Coniferus	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Broad-Leaved	33243.68	33243.68	153.83	4552.92	20699.35	7763.13	74.43	0	0
Mixed Stand	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Red pine	361.39	361.39	0	125.27	186.15	26.52	23.44	0	0
Plantation Red pine	0	0	0	0	0	0	0	0	0
White Pine	18784.93	18743.05	5295.17	7008.17	3578.32	2680.79	180.58	0	0
Larch	9623.03	9619.78	2365.07	5729.28	714.96	810.46	0	0	0
Rigida	221.05	221.05	2.81	145.62	72.61	0	0	0	0
Plantation coniferus	2.51	2.51	0	0	0	0	0	0	0
Oak	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plantation oak	97.41	97.41	6.15	61.83	29.42	0	0	0	0
Chestnut	33.34	33.34	23.89	5.5	1.29	2.64	0	0	0
Plantation Broad-leaved	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Poplar	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bamboo	7.22	7.22	0	0	0	7.22	0	0	0
Miscellaneous area	596.89	212.79	35.28	85.55	49.6	42.34	0	0	0
Unstocked area									
Pasture									
Farm									
<b>Total</b>	<b>63817.19</b>	<b>62789.38</b>	<b>7912.6</b>	<b>17714.18</b>	<b>25417.56</b>	<b>11466.56</b>	<b>278.46</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Tree Species	Total	Diameter Class				Crown Density				
		Total	0	1	2	3	Total	sparse	mid	dense
Coniferus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Broad-Leaved	33243.68	33243.68	153.83	25191.02	7838.83	0	33085.73	486.85	6929.89	25668.98
Mixed	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Red pine	361.39	361.39	0	315.36	46.03	0	351.88	43.88	160.76	147.23
Plantation Red pine	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
White Pine	18784.93	18734.02	5336.33	10537.98	2758.32	101.37	13452.85	667.22	5214.98	7570.64
Larch	9623.03	9592.92	2368.95	6358.78	865.19	0	7270.59	123.29	2094.17	5053.12
Rigida	221.05	221.05	2.81	218.24	0	0	218.24	6.03	168.66	43.54
Plantation coniferus	2.51	2.51	0	0	0	0	0	0	0	0
Oak	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plantation oak	97.41	95.94	6.15	89.78	0	0	91.26	62.65	28.6	0
Chestnut	33.34	33.34	23.89	6.8	2.64	0	9.45	1.69	4.38	3.37
Plantation Broad-leaved	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Poplar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bamboo	7.22	7.22	0	0	7.22	0	7.22	0	7.22	0
Miscellaneous area	596.89	212.79	35.28	135.15	42.34	0	177.5	3.29	34.7	139.51
Unstocked area										
Pasture										
Farm										
<b>Total</b>	<b>63817.19</b>	<b>62752.01</b>	<b>7957.64</b>	<b>42938.97</b>	<b>11754.02</b>	<b>101.37</b>	<b>54884.01</b>	<b>1396.55</b>	<b>14784.31</b>	<b>38703.14</b>



## 2. 성장 및 경영모델구축을 위한 임분 조사

### 가. 임분 조사

이상의 성장모델 구축에 대한 기초적인 연구를 통해 인공림, 천연림, 잣나무 혼효림에 공통적으로 적용될 수 있는 성장모델로는 단목 성장모델이 적당하다고 판단되었다. 이와 같은 단목 성장모델의 구축을 위해 위치종속조사방법과 6목법에 근거한 변형위치종속산림조사방법을 개발하여 산림조사를 수행하였다. 경기도 및 강원도 지역에서 총 62 표본점에서 임분조사하였으며, 조사된 자료는 FIAS(이우균 외, 1998)를 이용하여 분석하였다. 경기도 일대의 잣나무 임분 중 생육상태가 비교적 양호한 임분을 대상으로 62곳의 표본점을 설정하여 임분 조사를 실시하였다. 임내 위치는 가급적 상부에서 하부까지 다양하게 분포하도록 하였으며, 표본점의 위치도 고르게 분포하도록 하였다. 임령분포 역시 가급적 균등하게 분포하도록 하였다. 표본점 조사방법은 중심목을 기준으로 중심목과 경쟁상태에 있다고 판단되는 인접목을 조사하는 변형 거리법(modified distance method)을 이용하였으며, 표본점에서는 중심목과 각 경쟁목간의 방위 및 거리를 측정하여 경쟁목의 위치를 파악하였다. 중심목에 대해서는 흉고직경, 수고 및 수관폭을 측정함과 동시에 높이 1.2m에서 목편을 채취하였으며, 경쟁목에서는 흉고직경만을 측정하였다. 채취된 목편의 연륜폭은 연륜측정기(JohanTyp II)를 이용하여 수피쪽에서 안쪽을 향해 1/100mm 단위로 측정하여 흉고직경의 연년 성장자료를 마련하였다 (Fig. 5-1).

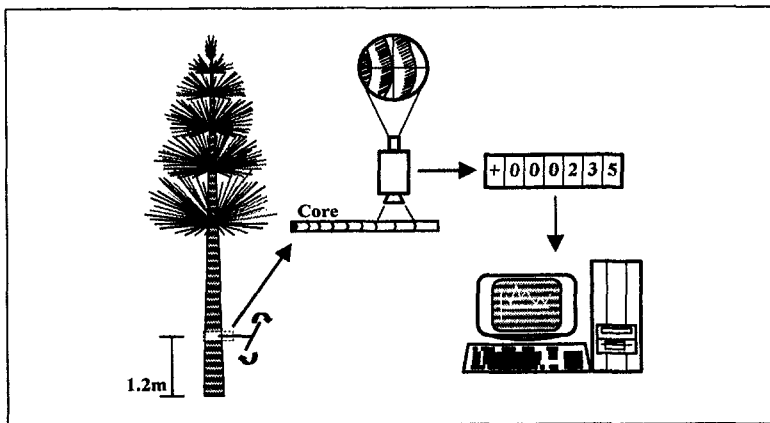


Fig. 5-1. Core extraction and ring-width measurement.

경기도 일대의 잣나무 임분 중 생육상태가 양호한 임분을 대상으로 62곳의 표본점을 설정하여 임분 조사를 실시하였다. 임내 위치는 가급적 상부에서 하부까지 다양하게

분포하도록 하였으며, 표본점의 위치도 내에서 고르게 분포하도록 하였다. 표본점의 조사방법은 중심목을 기준으로 중심목과 경쟁상태에 있다고 판단되는 인접목을 조사하는 변형 거리법(modified distance method)을 적용하였다. 표본점에서는 중심목과 각 인접목간의 방위 및 거리를 측정하여 인접목의 위치를 파악하였으며, 표본점 내 모든 입목에 대하여 흉고직경, 수고 및 수관폭을 측정하였다. 또한, 중심목의 높이 1.2m에서 목편(core)을 채취하였으며 연륜폭을 1/100mm 단위로 측정하여 성장량 및 임령을 파악하였다. 조사된 각 표본지의 임분 자료의 분석을 위하여 표본지 자료를 FIAS1.5 (이우균 외, 1998)에 입력하여 현재 임분의 평균임령, 평균흉고직경, 평균수고, 우세목 수고, ha당 본수, ha당 단면적, ha당 재적 등을 산출하였다 (Table 5-3).

Table 5-3. General description of stand data measured in 62 plots.

Variables	Mean	Min.	Max.	Std. Dev	C.V.
age(year)	34.34	15	77	16.77	0.49
dbh(cm)	21.10	6.9	44	10.39	0.49
mean height(m)	13.91	4.14	22.04	4.62	0.33
dominant height(m)	16.41	4.23	23.61	4.38	0.27
No. of stem per ha(N/ha)	1281.69	162	2999	751.71	0.59
basal area per ha(m <sup>2</sup> /ha)	27.36	5.87	65.36	13.28	0.49
site index	11.39	4.24	18.61	2.45	0.21
volume per ha(m <sup>3</sup> /ha)	230.57	18.89	638.62	141.95	0.62

Std. Dev : Standard deviation, C.V. : Coefficient of variation

#### 1) 영급분포

중심목의 수령은 Fig.5-2와 같이 15년에서 77년까지 분포하고 있다. 수령분포가 가능한 한 균등하게 표본점을 설정하고자 하였으나 3영급이 52%로 가장 많이 조사되고, 나머지 영급은 4영급 16%, 2영급 8%, 5,7,8영급 7%, 6영급 5%로 조사되었다( Fig.5-2 ).

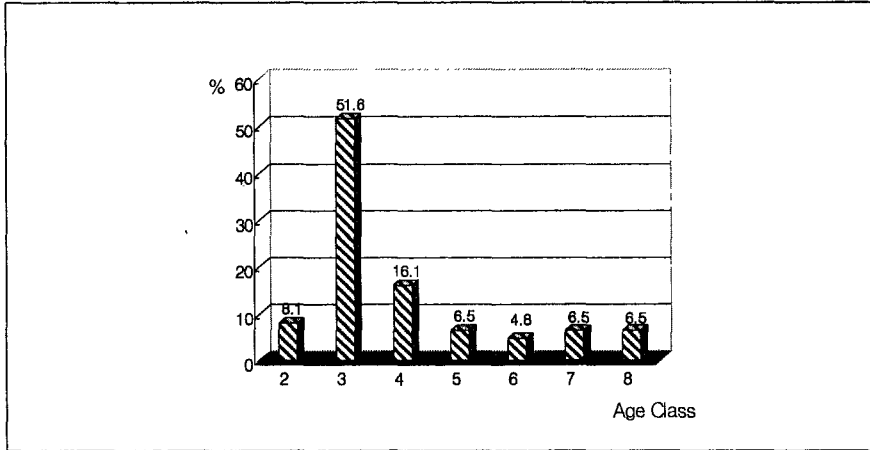


Fig. 5-2. Age class distribution of sample plots

## 2) 경급분포

중심목의 경급분포도 영급분포와 비슷하게 나타났다. 중심목의 흉고직경은 7cm에서 50cm까지 분포하고 있으며, 경급별로는 대부분이 10cm에서 20cm에 속하였고(63%), 나머지 경급은 골고루 낮게 분포하였다(Fig. 5-3).

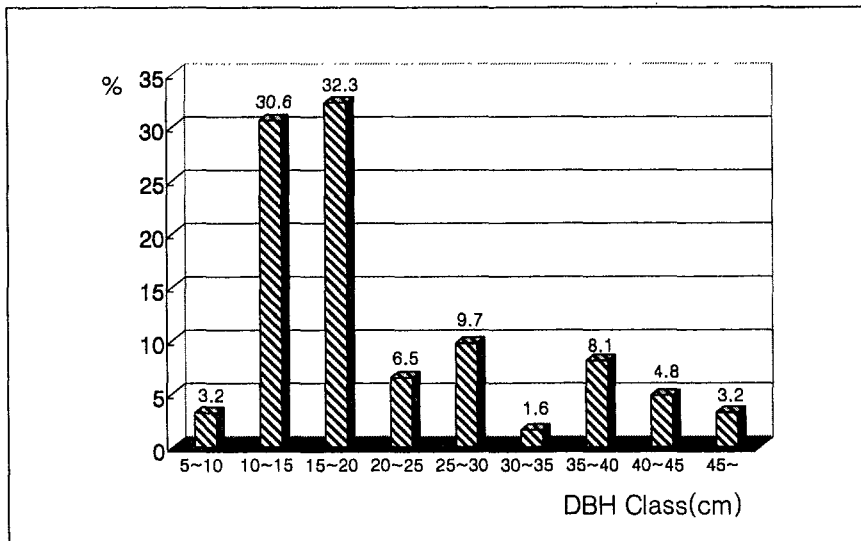


Fig. 5-3. DBH class distribution of subject trees

### 3) 중심목에 대한 경쟁목수 분포

선정된 경쟁목수는 2본에서 8본까지 분포하였는데, 4본 또는 5본으로 나타난 표본점이 전체의 약 68%로 많은 비중을 차지하였고 2본은 4.8%, 3본은 8.1%, 그리고 7본 또는 8본이 4.8%로 적게 나타났다(Fig.5-4). 이를 중심목을 포함해서 6본을 조사하는 6목법의 조사 본수와 비교할 때, 위치종속방법에 의한 변형 6목법이 중심목의 경쟁지수를 파악하는 유용한 방법으로 이용될 수 있음을 시사하는 것으로 볼 수 있다.

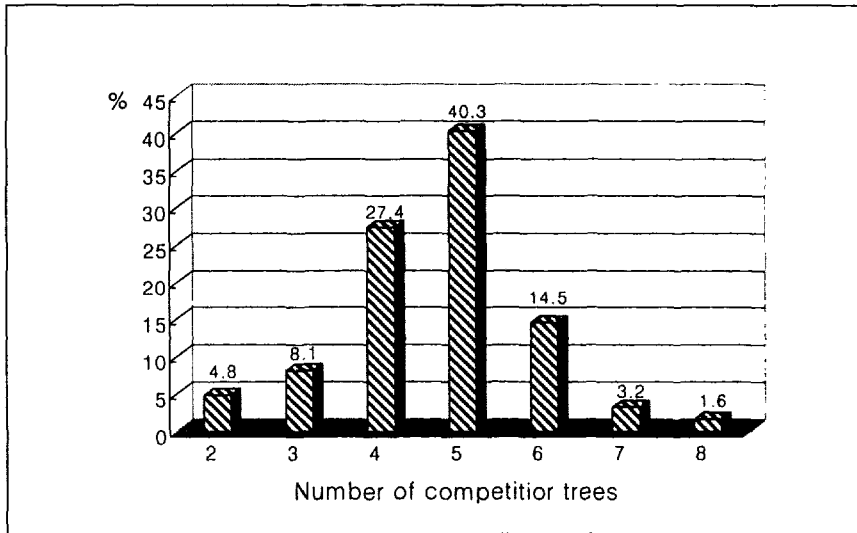


Fig. 5-4. Number of competitor trees in sample plots

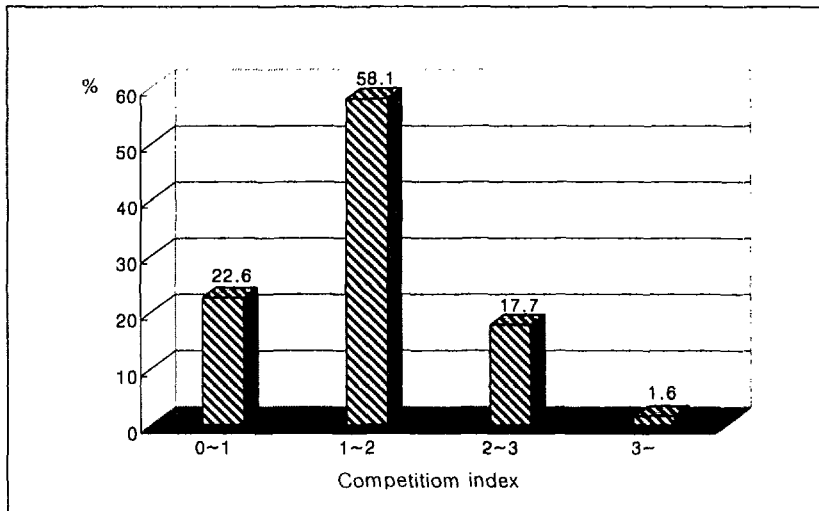


Fig. 5-5. Competition index distribution in sample plots

#### 4) 중심목에 대한 경쟁지수 분포

Hegyí 경쟁지수로 산출된 중심목의 경쟁지수는 0.5에서 3.5까지 분포하고 있으며, 대부분이 1에서 2에 속하였고(58%), 나머지 경쟁지수는 낮게 분포하고 있다(Fig.5-5). 전체의 80%가 경쟁지수 2이하에 속하여 임목간 경쟁이 비교적 낮은 것으로 나타났다.

#### 5) 표본점의 횡적구조

Gadow의 횡적구조지수는 0.07에서 0.91까지 분포하고 있는데, 표본점의 약 85%는 0.033보다 작은 구조지수를 나타내어 조사 대상 임분의 횡적구조가 비교적 동질적임을 말해주고 있다. Lorenz곡선에 근거한 횡적구조지수 역시 0.33보다 작은 값을 나타낸 표본점이 73%를 점유하고 있다. 이와같이 임분 구조가 동질적인 것은 표본점의 대부분이 관리가 잘된 인공 조림지에 설정되어 있음을 시사해주고 있는 것이다.

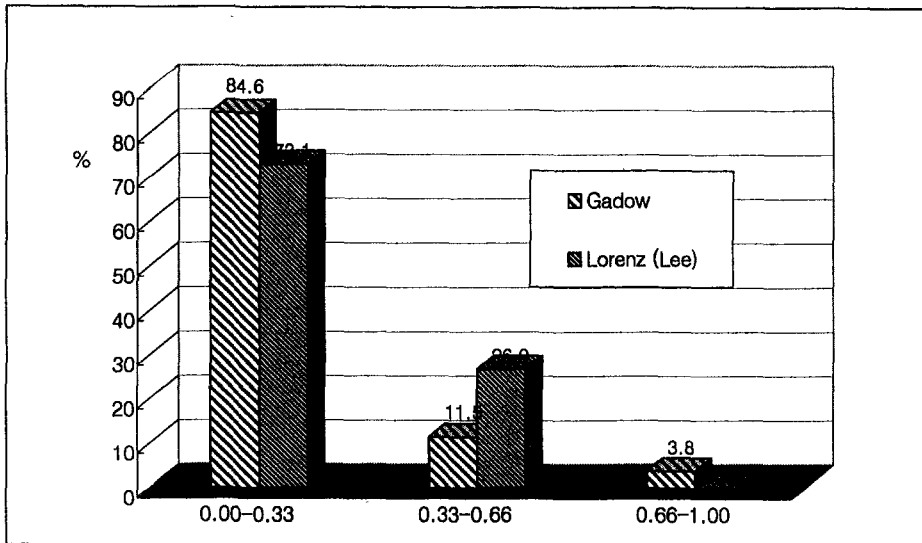
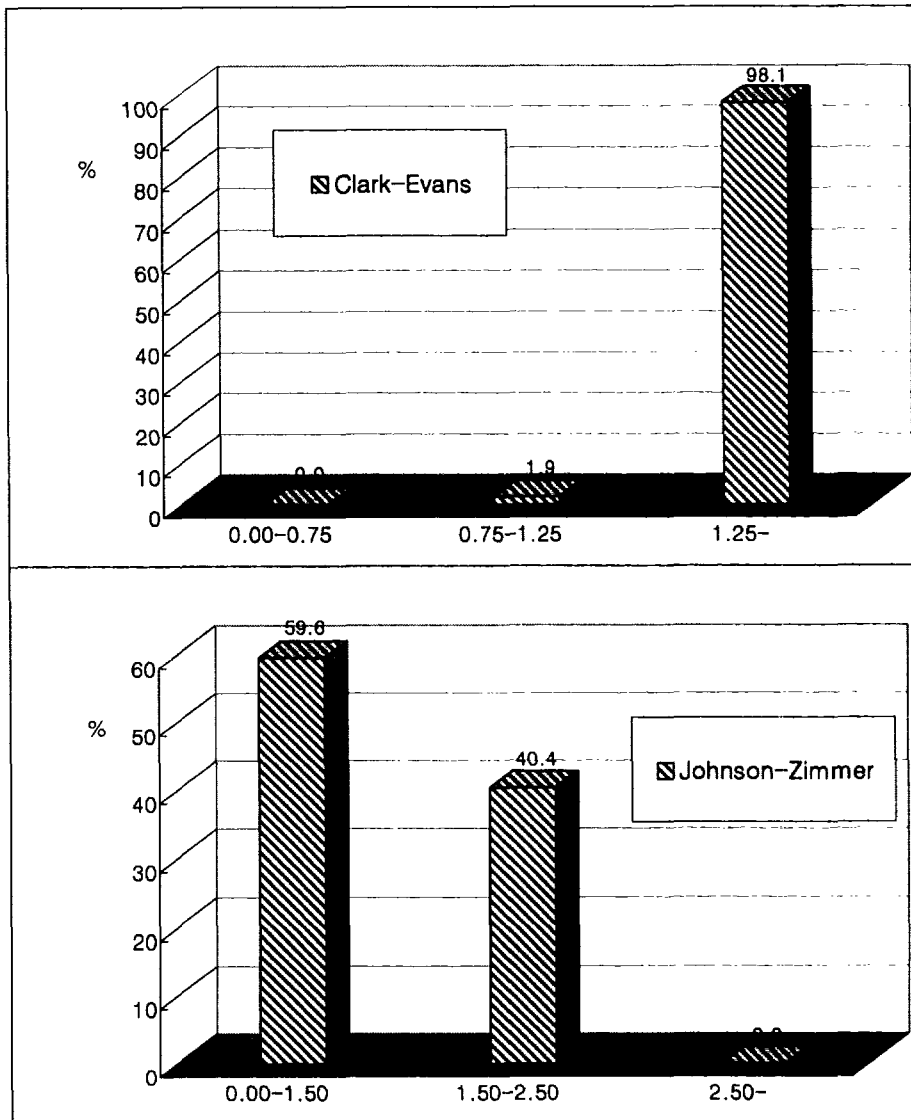


Fig. 5-6. Horizontal Stand structure in sample plots

#### 6) 표본점의 집락도

Clark-Evans의 집락도 구조지수는 1.23에서 2.47까지 분포하며, 평균 1.64를 나타내고 있다. 집락분포를 나타내는 0과 가까운 지수를 나타내는 표본점은 하나도 없었으며 대부분이 1보다 커 규칙적인 분포형태를 나타내고 있다. 또한 Johnson-Zimmer지수는 1.21에서 2.21까지 분포하고 있으며, 규칙적인 형태로 평가할 수 있는 1.49를 평균치로

갖고 있다. 분포를 보면 규칙적 분포를 나타내는 1.50미만이 60%를 차지하고 있으며 임의분포를 나타내는 2주위가 40%를 점유하고 있다. Rudwigs-Reynold지수에 의하면 대부분의 표본점은 임의분포를 하고 있는 것으로 나타났다.



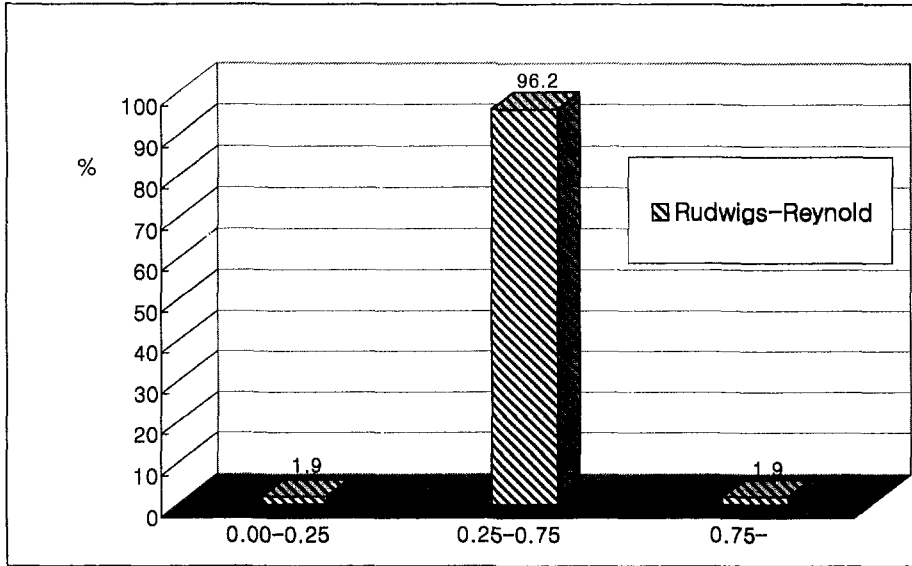


Fig. 5-7. Aggregation index in sample plots

이상을 종합하면 표본점의 대부분은 규칙적 분포와 임의분포형태를 나타내고 있어 규칙적으로 조립된 임지가 시간이 흐름에 따라 자연고사 및 간벌에 의해 임의분포형태로 변해 가는 과정을 잘 나타내주고 있다.

#### 7) 중심목의 연륜생장

중심목으로부터 채취된 목편의 최근 10년간 연년생장량을 기초로 5년 및 10년 단위의 정기평균생장량을 계산하였다. 가장 최근의 연륜폭을 제외하고 최근 5년간의 생장량들을 평균한 정기평균생장량(PAI2)을 기준으로 볼 때 연륜폭은 최저 0.08cm에서 최고 0.53cm까지 증가되는 것으로 나타났으며 평균적으로 0.25cm의 연륜생장이 이루어지는 것으로 나타났다 (Table 5-4).

Table 5-4. Annual ring growth of subject trees

Variable	N	Mean	Std Dev	Sum	Min	Max
PAI1(cm)	62	0.23	0.08	14.37	0.065	0.48
PAI2(cm)	62	0.25	0.09	15.58	0.082	0.53
PAI3(cm)	62	0.26	0.09	16.38	0.102	0.53

PAI1 = Periodic Annual increment for last 5years

PAI2 = Periodic Annual increment for last 5years without latest year-ring width

PAI3 = Periodic Annual increment for last 10years

## 나. 위치종속 임분조사 분석용 프로그램 개발

위치종속조사자료의 분석을 위해 개발된 FIAS를 이용하면 위치종속기법에 의해 조사된 자료로부터 ha당본수, 평균흉고직경, 흉고직경, 수고, 지위지수, ha당 단면적 및 재적 등의 성장인자와 경쟁목수, 경쟁지수, 구조지수, 다양성도, 집락도 등을 손쉽게 분석할 수 있으며, 각표본점의 수고곡선도 및 입목 위치도를 작성할 수 있다.

## 제 3 절 잣나무임분의 성장모델

### 1. 단목성장모델

#### 가. 서 론

산림경영을 위해서는 임분의 성장 및 수확을 예측하는 것이 필수적이며, 이를 위해 다양한 성장 및 수확모델(growth and yield model)이 이용되고 있다. 성장모델은 단순한 표에서 컴퓨터를 이용한 software까지 그 범위 및 형태가 다양한데, 성장예측에 이용된 성장인자의 종류에 따라 임분성장모델(stand growth model), 분포모델(distribution model, size class model), 단목성장모델(single tree growth model)등으로 구분된다(이우균, 1996b; Davis & Johnson, 1987; Vanclay, 1994). 현재 많이 이용되고 있는 임분성장모델(stand growth model)은 평균흉고직경, 평균수고, ha당 단면적 및 재적 등과 같은 임분 차원의 성장인자들에 대한 정보를 제공하고 있는 성장모델로서 성장인자의 평균치가 이용되기 때문에 성장인자의 평균치로 설명이 가능한 동령·단순림에는 이용이 간편하고 실용성이 매우 높은 특징을 지니고 있다. 그러나 성장인자의 평균치만으로는 성장에 대한 설명에 한계가 있는 이령·혼효림에서는 적용성이 낮은 문제점이 있다.

이에 비해 개체목 단위로 성장을 예측하는 단목성장모델(single tree growth model)은 그 적용범위가 넓은 특징을 지니고 있다. 즉, 단목성장모델에서는 각 개체목의 고유한 경쟁상태를 근거로 개체목의 성장을 추정하고, 각 개체목 성장의 합으로 임분 성장을 추정하고 있다. 이러한 단목성장모델은 평균치의 적용이 곤란한 이령·혼효림의 성장예측에 적합한 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 단목성장모델의 이론에 근거하여 잣나무 임분에서 경쟁상태에 따른 흉고직경성장반응을 밝힐 수 있는 흉고직경성장모델을 구축하고자



한다.

나. 재료 및 방법

1) 경쟁목 선정방법

본 연구에서는 중심목에 대한 경쟁목을 Lee와 Gadow(1997)가 제안한 반복적 선택방법 (iterative selection method)을 이용하여 선정하였다. 이 방법에서는 입목간 평균거리의 2배를 경쟁구역거리(competiting zone distance)로 하고, 중심목으로부터 이 거리 이내에 있는 인접목을 경쟁목으로 간주한다. 그 다음 한 방향에서는 한 나무만 경쟁관계에 있다 (Biging & Dobbertin, 1995)는 가정 하에 최종 경쟁목을 선정한다. 즉, 중심목으로부터 거리순으로 경쟁목을 선정하는 것을 원칙으로 하며, 이미 결정된 경쟁목의 뒤쪽 구역을 경쟁차단구역(competition interrupting zone)으로 설정하여 이 구역 내에 있는 입목은 인접순서에 의해 경쟁목으로 선정되더라도 경쟁목에서 제외시키는 방법(이우균, 1996a; Lee & Gadow, 1997)이다(Fig. 5-8).

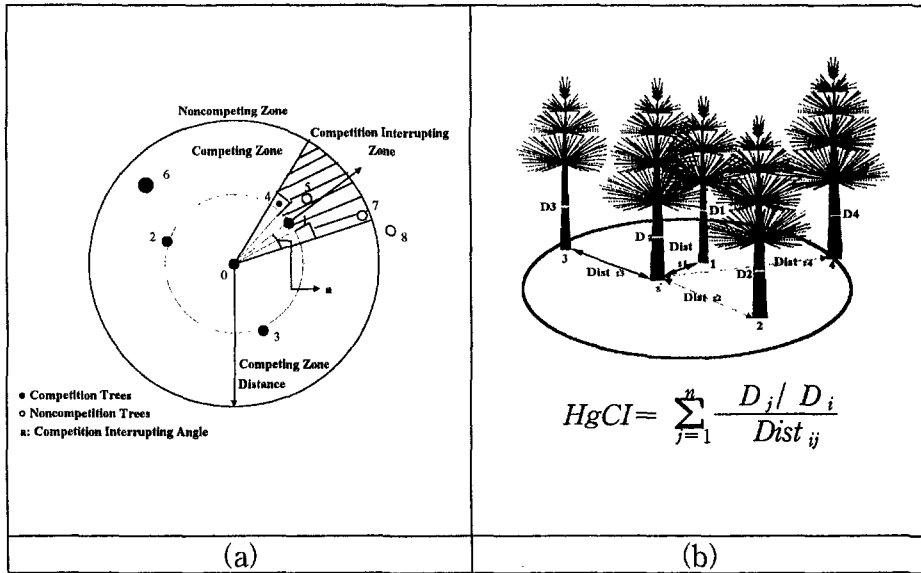


Fig. 5-8. Selection method of competitor trees(a) and estimation method of Hegyi's competition index(b).

2) 경쟁지수의 추정

중심목의 경쟁지수는 중심목과 경쟁목간의 흉고직경비(  $D_j / D_i$ )와 경쟁목까지의 거리

( $Dist_{ij}$ )로부터 경쟁지수를 추정하는 Hegyi 경쟁지수( $HgCI$ )를 이용하여 추정하였다(Fig. 5-8). Hegyi 경쟁지수는 다른 경쟁지수들에 비해 측정이 비교적 용이한 인자(흉고직경과 인접목과의 거리)로 구성되어 있어 실용성 위주의 성장모델을 구축하고자 할 때 일반적으로 널리 쓰이고 있는 지수이다. 이상의 경쟁목 선정 및 경쟁지수 추정에는 위치종속산림 조사용 분석시스템인 FIAS1.5(이우균 외, 1998)을 이용하였다.

### 3) 흉고직경성장식의 유도

최근의 흉고직경 성장량과 경쟁지수간의 상관분석을 통해 경쟁지수가 단목의 흉고직경 성장에 미치는 영향정도를 파악하였다. 또한, 각 개체목의 흉고직경은 기타의 임분조건이 같다면 현재의 고유한 경쟁상태에 따라 결정된다는 가정 하에 (Davis & Johnson, 1987) 각 개체목의 흉고직경 성장량을 수령, 우세목수고, 흉고직경, Hegyi 경쟁지수등을 설명변수로 하여 추정할 수 있는 흉고직경성장식을 유도하였다.

## 다. 결과 및 고찰

### 1) 중심목의 연륜생장과 Hegyi 경쟁지수와의 관계

개체목의 연간 연륜생장은 임령이 증가함에 따라 초기에는 증가하다가 정점에 도달한 후에 점차 감소하는 특징을 지니고 있으며, 각 개체들간의 임령, 경쟁상태 등 기타 조건이 동일하다면 개체목의 연륜생장은 흉고직경이 클수록, 그리고 수고가 높을수록 크기 마련이다. 따라서 연륜생장에 미치는 임령 및 흉고직경의 영향을 배제시키기 위하여 임령과 흉고직경을 Partial로 설정한 후 경쟁지수와 성장간의 상관관계를 분석하였다.

그 결과 Table 5-5와 같이 중심목의 Hegyi 경쟁지수( $HgCI$ )와 최근의 연륜생장간에는 약 0.28에서 0.32의 음의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 이와 같이 임령과 평균흉고직경을 고정시킨 상태에서도 경쟁지수와 흉고직경성장간에 상관관계가 비교적 낮은 것은 개체목의 생장이 경쟁상태, Partial로 설정한 임령 및 흉고직경 이외에 토양 및 기후 등의 경쟁외적 인자에 영향을 받고 있음을 의미한다.

이러한 인자들을 배제시킨 상태에서 연륜생장과 Hegyi 경쟁지수와의 관계를 알아보기 위해 기후와 임내 조건이 동일한 잣나무 임분에서 20본의 중심목에 대한 조사를 실시하였다. 조사방법은 기존의 방법과 동일하게 하였고 중심목 20본의 잣나무를 벌채하여 수간석해를 실시하였다. 수간석해를 통해 얻어진 성장량 중 높이 1.2m 단판의 성장량을 분석한

결과는 Table 5-6과 같았다.

Table 5-5. Partial correlation coefficient (partial=age, dbh) between annual ring growth and Hegyi's competition index(HgCI)

	PAI1	PAI2	PAI3
HgCI	-0.27064	-0.27744	-0.31835
	0.0365	0.0319	0.0132

PAI1 = Periodic Annual increment for last 5years

PAI2 = Periodic Annual increment for last 5years without latest year-ring width

PAI3 = Periodic Annual increment for last 10years

Table 5-6. Correlation coefficient between annual ring growth and Hegyi's competition index(HgCI) in a *Pinus koraiensis* stand.

	PAI1	PAI2	PAI3
HgCI	-0.56242	-0.55510	-0.56564
	0.0098	0.0111	0.0093

PAI1 = Periodic Annual increment for last 5years

PAI2 = Periodic Annual increment for last 5years without latest year-ring width

PAI3 = Periodic Annual increment for last 10years

결과를 보면 최근 10년간 연륜의 생장이 약 0.57의 음의 상관을 나타내었다. 따라서, 토양 및 기후 등의 입지조건이 동일한 임분이라면 입목의 흉고직경생장은 경쟁상태에 많은 영향을 받는 것으로 볼 수 있다.

## 2) 흉고직경 성장모델의 유도

### 가) 우세목 수고에 의한 반경성장식

개체목의 흉고직경과 경쟁지수간의 영향관계를 구명하기 위해 개체목 반경의 연년생장량( $R_h'$ )을 종속변수로 설정하고 지위를 결정하는 수령(age) 및 우세목수고( $h_0$ ), 개체목의 흉고직경(dbh) 그리고 개체목 경쟁지수(HgCI)등을 독립변수로 설정하여 모델을 구성하였다. 여기에서 기후 등의 환경인자에 의한 연륜생장의 연간변이를 최소화하기 위해 최근 5

년간의 연륜폭 정기평균성장량을 반경의 연년성장량(Current Annual Increment of radial :  $R_h'$ )으로 설정하였다. 상기의 변수로 구성된 여러 비선형 회귀식을 SAS의 NLIN Procedure(SAS, 1988)를 이용해 분석하여 통계적 신뢰성 및 성장법칙과의 부합여부를 검토한 결과 최종적으로 Table 5-7과 같은 반경의 연년성장식( $R_h'$ )을 유도하였다.

Table 5-7. Growth function of annual radial growth and its parameter estimation using nonlinear regression analysis.

Function	$R_h' = \alpha \cdot age^{\beta_0} \cdot h_o^{\beta_1} \cdot dbh^{\beta_2} \cdot HgCI^{\beta_3}$ ( $\sqrt{MSE} = 0.059, R^2 = 0.57$ )			
Variable	Parameter Estimate	Asymptotic Std. Error	T for HO: Parameter = 0	Probe >  T
$\alpha$	2.57229	0.62196	4.1358	0.0001
$\beta_0$	-0.94099	0.09312	-10.1050	0.0001
$\beta_1$	0.03333	0.00367	9.0664	0.0001
$\beta_2$	0.31167	0.02162	14.4158	0.0001
$\beta_3$	-0.22946	0.01653	-13.8814	0.0001

$R_h'$  : Current annual increment of radial (cm),  $age$  : tree age of subject tree (year)  
 $h_o$  : height of dominant tree (m),  $dbh$  : dbh of subject tree (cm),  $HgCI$  : Hegyi's competition index of subject tree

유도된 회귀식에서 각 추정계수들에 대한 유의수준이 매우 낮아 0.0001의 유의수준에서 추정계수가 0이라는 귀무가설을 기각하여 각 독립변수들이 연륜생장에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 평균자승오차의 근( $\sqrt{MSE}$ )은 0.059cm로 나타나 평균적으로 약 0.6mm의 오차가 있음을 나타내고 있다. 식의 적합도를 나타내는 결정계수( $R^2$ )는 0.57로 비교적 낮았는데 이는 연륜생장이 본 모델에서 고려한 수령, 수고, 흉고직경, 경쟁지수등의 요인들 이외에 기상, 지형, 입지조건등의 환경요인들로부터도 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다.

Table 5-7에서 각 독립변수에 대한 추정계수의 부호를 살펴보면, 우선 임령과 함께 지위를 결정하는 우세목 수고의 추정계수( $\beta_1$ ) 부호와 현재의 성장력을 나타내는 흉고직경의 추정계수( $\beta_2$ ) 부호가 +로 나타나 지위가 높을수록, 현재의 직경이 클수록 생장이 왕성한 일반적인 성장현상을 잘 나타내고 있다. 이상의 연륜생장을 촉진하는 요인과는 반

대로 임령에 대한 추정계수( $\beta_0$ )의 부호와 경쟁지수의 추정계수( $\beta_3$ ) 부호가 -로 나타나 다른조건이 모두 동일할 때 임령이 증가할수록, 경쟁이 강할수록 연륜생장이 약화되는 일반적인 성장현상을 잘 나타내 주는 것이다. 이는 다른 조건이 같다면 경쟁이 강할수록 그리고 임령이 증가할수록 직경의 생장은 둔화되는 일반 성장원리(Kramer, 1988)와 부합됨을 알 수 있다. Fig. 5-9에는 연년반경생장과 경쟁지수, 흉고직경, 우세목 수고, 수령과의 관계를 나타내고 있다. Fig. 5-9a에서는 경쟁지수가 낮을 경우 흉고직경에 따른 성장차이가 크게 나타나다가 경쟁지수가 증가할수록 그 차이가 감소하는 것을 볼 수 있다. Fig. 5-9b는 우세목수고 차이에 의한 성장차이가 미미함을 보여주고 있으며, Fig. 5-9c에서는 유령목일수록 경쟁지수에 따른 성장차이가 크게 나타나다가, 수령이 증가할수록 그 차이가 미미해짐을 볼 수 있다.

#### 나) 우세목 흉고직경에 의한 반경생장식

본 연구에서 경쟁지수 산출에 적용된 Hegyi 경쟁지수는 중심목과 경쟁목의 흉고직경과 거리만을 측정하기 때문에 수관폭, 수고 등을 인자로 하는 기타 경쟁지수에 비해 측정이 간편하다는 특징을 지니고 있다. 따라서 성장모델의 구축과정에서도 독립변수를 측정이 용이한 성장인자들로 구성한다면 모델의 적용성이 높아질 것이다.

Table 5-7의 반경연년성장모델에서 수령(*age*)과 우세목수고( $h_0$ )는 그 임분의 지위를 결정하는 변수들인데, 우세목수고는 일반적으로 직경분포에서 상위 20%에 해당하는 직경급을 의미하는 우세목흉고직경을 수고곡선식에 대입하여 추정하고 있다(Kramer & Akça, 1995). 이때 우세목흉고직경과 우세목수고간에는 양의 상관관계가 있으므로 지위를 임령과 우세목 흉고직경으로 설명할 수 있을 것이다. 이 경우 우세목 수고를 우세목 흉고직경으로 대체함으로써 수고를 측정하지 않고도 흉고직경생장을 추정할 수 있는 흉고직경성장모델을 구축할 수 있게 된다. 이렇게 구축된 성장모델이 우세목 수고를 변수로 하는 모델과 큰 차이가 없고 성장법칙에 부합된다면 임분조사과정에서 실용성이 증대될 것이다. 따라서 Table 5-7의 반경연년성장식의 독립변수 중 우세목수고( $h_0$ )를 우세목흉고직경( $d_0$ )으로 대체한 후 이 변수들로 구성된 여러 비선형 회귀식을 SAS의 NLIN Procedure(SAS, 1988)를 이용해 분석하여 Table 5-8과 같은 새로운 반경생장식( $R_d'$ )을 유도하였다.

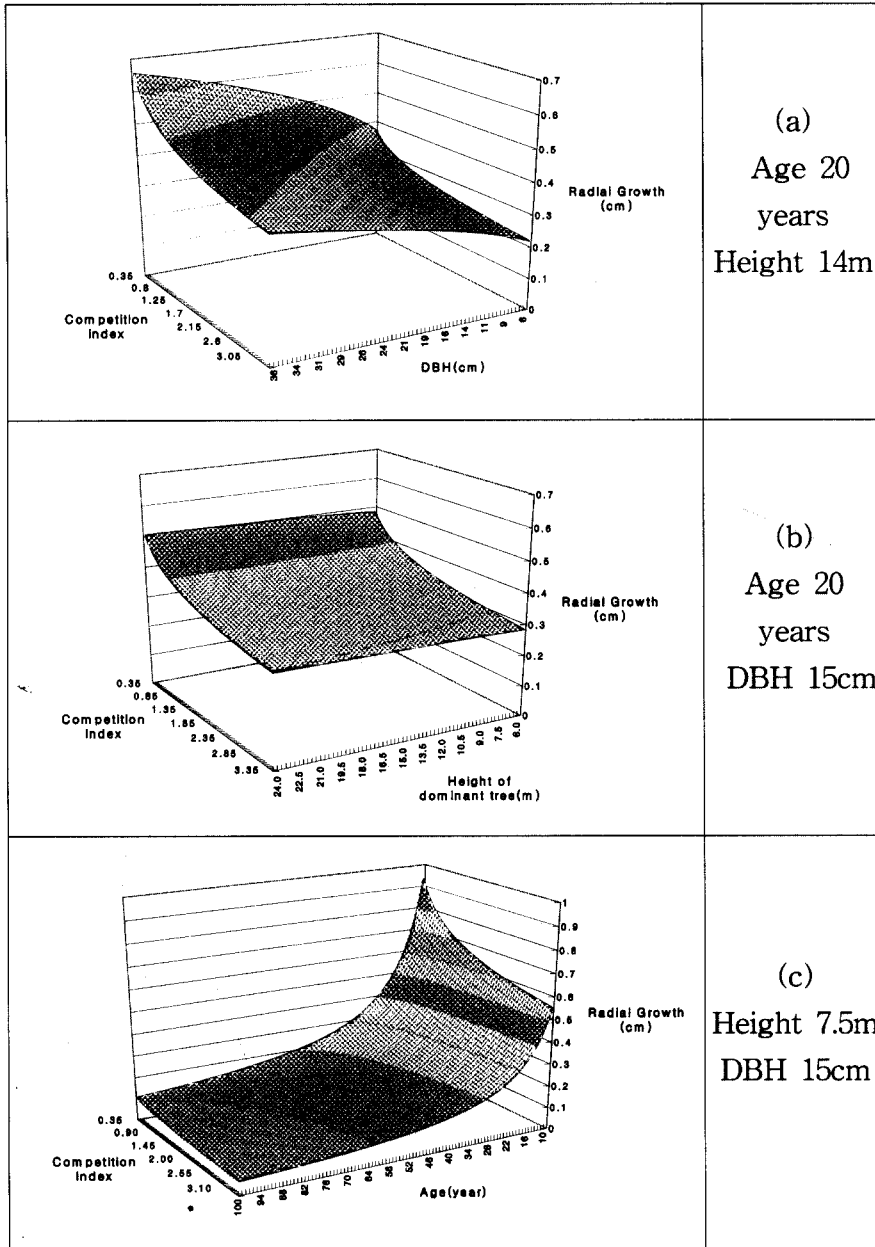


Fig. 5-9. Relationships on radial growth between competition index, dbh(a), height(b) and age(c)

Table 5-8. Growth function of annual radial growth and its parameter estimation using nonlinear regression analysis.

$R_d' = \alpha \cdot age^{\beta_0} \cdot d_o^{\beta_1} \cdot dbh^{\beta_2} \cdot HgCI^{\beta_3}$ $(\sqrt{MSE} = 0.059, R^2 = 0.55)$				
Function				
Variable	Parameter Estimate	Asymptotic Std. Error	T for HO: Parameter = 0	Probe >  T
$\alpha$	2.55533	0.65216	3.9182	0.0001
$\beta_0$	-0.94129	0.08708	-10.8090	0.0001
$\beta_1$	0.04204	0.00373	11.2816	0.0001
$\beta_2$	0.30124	0.00863	34.9258	0.0001
$\beta_3$	-0.23903	0.00933	-25.6002	0.0001

$R_d'$  : Current annual increment of radial (cm),  $age$  : tree age of subject tree (year)  
 $d_o$  : dbh of dominant tree (m),  $dbh$  : dbh of subject tree (cm),  $HgCI$  : Hegyi's competition index of subject tree

Table 5-8에서 각 독립변수들의 추정계수들의 부호를 살펴보면, 우세목 흉고직경 계수의 부호가 +로 추정되었다. 이는 다른 변수들이 동일할 때 우세목의 흉고직경이 높으면 수고가 높으며, 임지의 지위가 높아 다른 개체에 비해 수고의 성장과 흉고직경의 성장이 우수함을 의미한다. 다른 변수들의 계수들은 수고를 독립변수로 적용한 모델과 동일한 결과가 산출되어 새로운 모델도 일반적인 성장원리에 부합됨을 알 수 있다. 따라서 우세목 흉고직경을 독립변수로 적용한 모델을 이용한다면 임분조사와 임분분석 과정에서 편이성이 증대될 것으로 기대된다.

#### 다) 흉고직경 성장모델

현재( $i$ )로부터  $n$ 년 후의 흉고직경( $dbh_{i+n}$ )은 다음과 같이 현재의 흉고직경( $dbh_i$ )과  $n$ 년간의 직경성장 누적합으로 추정할 수 있다.

$$dbh_{i+n} = dbh_i + 2 \cdot \sum_{k=i}^{i+n-1} R'_k$$

Fig. 5-10은 지위지수가 중인 임분에서 임령 10년, 흉고직경 7cm인 개체목의 직경성장 (a) 및 연년직경성장량(b)이 경쟁상태에 따라 어떻게 발달하는가를 임령별로 나타내고 있

다. 본 연구에서 Hegyi의 경쟁지수는 최소 0.5, 최대 3.5로 나타남에 따라 경쟁지수를 이 범위에서 설정하여(0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0) 흉고직경생장을 추정하였다. Fig.5-10을 보면 경쟁지수가 높을수록 직경생장이 둔화됨을 알 수 있다. 그림의 점선은 경쟁지수가 최초 0.5에서 점차 증가했을 때의 성장량을 나타낸다. 이를 보면 Hegyi의 경쟁지수를 계속 0.5로 유지시켜 줄 경우 흉고직경은 임령 50년일 때 40cm 까지 성장하지만, 관리부족으로 경쟁지수가 점차 증가하여 임령 50년일 때 1.2까지 된다면 흉고직경은 33cm 까지 밖에 성장하지 못함을 알 수 있다.

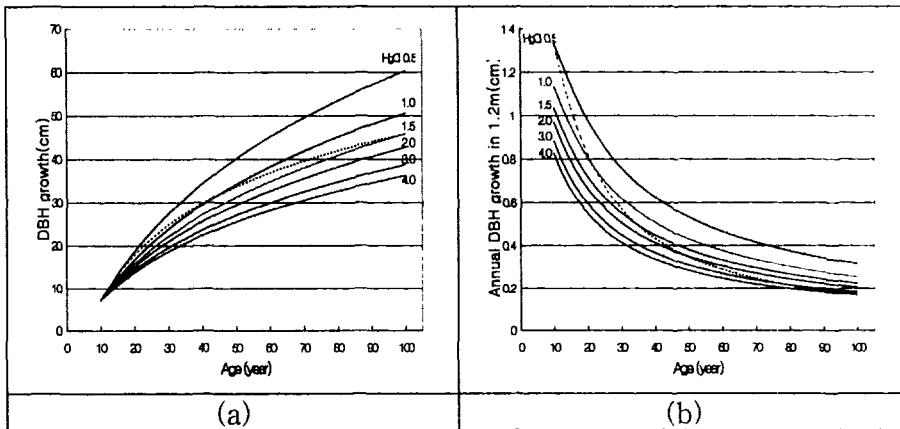


Fig. 5-10. Development of radial growth(a) and annual radial growth in 1.2m

### 라. 결 론

본 연구에서는 경쟁지수와 흉고직경간에 상관관계를 구명하고 이를 이용한 흉고직경 성장식을 유도함으로써 잣나무 임분의 단목성장모델의 기초를 제공하고자 하였다. 이를 위해 임분을 변형 6목법으로 조사하였고 각 입목들의 흉고직경, 수고, 중심목으로부터 인접목까지의 거리 등을 측정하였다. 조사자료를 FIAS1.5로 분석하여 각각의 경쟁지수, 우세목직경 및 수고 등의 성장인자를 추정하였다. 또한 중심목의 1.2m 높이에서 목편을 채취한 후 연륜폭을 연륜측정기(JohanTyp II)를 이용하여 연년성장자료를 마련하였다. SAS의 비선형 회귀분석을 통해 Hegyi 경쟁지수( $HgCI$ ), 수령( $age$ ), 중심목의 흉고직경( $dbh$ ) 및 우세목수고( $h_o$ )를 설명변수로 하는 다음과 같은 흉고반경성장식( $R_h'$ )을 유도하였다.

$$R_h' = 2.5722 \cdot age^{-0.9409} \cdot h_o^{0.0333} \cdot dbh^{0.3116} \cdot HgCI^{-0.2294}$$

$$(\sqrt{MSE} = 0.059, R^2 = 0.57)$$



위 식의 평균오차자승의 근( $\sqrt{MSE}$ )은 0.059cm로 나타나 평균적으로 0.6mm의 오차가 있음을 나타내고 있다. 식의 적합도를 나타내는 결정계수( $R^2$ )는 0.57로 나타났다. 위의 식은 다른 조건이 같다면 개체목의 흉고직경 및 우세목수고는 흉고직경 생장에 유리한 영향을 미치는 반면 임령 및 경쟁지수의 증가에 의해서는 흉고직경 생장이 둔화된다는 일반생장법칙을 잘 나타내고 있어 흉고직경생장식으로 적합하다고 판단되었다.

위의 식에서 우세목 수고는 일반적으로 수고곡선식에 우세목 흉고직경을 대입하여 산출된 것이므로 이 두 인자간에는 일정한 양의 상관관계가 있게 된다. 따라서 독립변수를 우세목 흉고직경( $d_o$ )으로 대체한 새로운 모델을 구성하여 상관분석과 회귀분석을 통해 새로운 흉고반경생장식( $R_d'$ )을 유도하였다.

$$R_d' = 2.5553 \cdot age^{-0.9412} \cdot d_o^{0.0420} \cdot dbh^{0.3012} \cdot HgCI^{-0.2390} \quad (\sqrt{MSE} = 0.059, R^2 = 0.55)$$

유도된 새로운 생장식도 일반생장법칙에 부합되며, 통계적 신뢰성도 우세목수고를 독립변수로 이용한 생장식과의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 이 식은 우세목수고 대신 우세목흉고직경을 독립변수로 적용하므로써 임분조사시 편의성이 증대되고 식의 실용성 또한 높힐 수 있다고 판단된다.

이와 같은 반경생장식으로부터  $n$ 년 후의 흉고직경( $dbh_{i+n}$ )은 다음과 같이 현재의 흉고직경( $dbh_i$ )과  $n$ 년간의 직경생장 누적합으로 추정할 수 있다.

$$dbh_{i+n} = dbh_i + 2 \cdot \sum_{k=i}^{i+n-1} R'_k$$

## 2. 임분단위의 동적생장모델

### 가. 서론

산림의 경영을 위해서는 임분의 생장 및 수확량을 예측하는 것이 필수적이며, 이를 위해 다양한 생장 및 수확모델(growth and yield model)이 이용되고 있다. 현재까지 임분의 생장 및 수확량 예측을 위하여 많이 이용되고 있는 수확표(yield table)는 관리방법이 고정된 일종의 정적임분생장모델(static stand growth model)이다(이우균

외, 1998; 이우균, 1996; Vanclay, 1994). 이러한 정적임분성장모델은 다양한 시업을 전제로 한 상태에서 성장 및 수확을 예측할 수 없기 때문에 실용성이 낮은 문제점을 갖고 있다. 성장모델은 임분에 적용된 다양한 시업에 따른 임분의 변화를 예측할 수 있도록 충분히 유동적이어야 한다. 성장모델의 유동성이 높을수록 적용할 수 있는 경영방법은 다양해 질 수 있다. 따라서, 산림경영계획의 유동성을 향상시키기 위하여 다양한 시업에 따른 임분의 변화를 예측할 수 있는 동적 임분성장모델(dynamic stand growth model)의 구축은 매우 중요하다.

본 연구에서는 이러한 동적 성장모델의 이론에 근거하여 가평지역 잣나무 임분에서의 시업방법에 따른 임분의 성장량 및 수확량을 예측할 수 있는 동적 임분성장 및 경영모델을 구축하고자 한다.

## 나. 재료 및 방법

### 1) 연구내용 및 방법

#### 가) 시업주기

본 연구의 동적 성장 및 경영모델에서는 임분의 성장상태 및 경영주체의 경영목적에 따라 시업의 주기를 탄력적으로 선택할 수 있도록 하였다.

#### 나) 시업종류 및 강도

시업 전 총 본수에 대한 시업 후 벌채목 본수의 비율을 시업강도를 나타내는 계수 ( $\lambda$ )로 하였다(Lee, 1993, 1994; Lee et al, 1993; 이우균, 1995, 1996). 시업의 종류는 다양하게 적용할 수 있으나, 본 연구에서는 비교적 열세한 입목을 제거하는 하층간벌을 기준으로 하였으며, 강도는 다양하게 적용될 수 있도록 하였다. 시업 후의 평균 흉고직경, 평균수고, ha당 본수, ha당 단면적, ha당 재적 등도 FIAS1.5를 이용하여 산출하였다.

#### 다) 시업강도에 따른 임분변화 추정

##### (1) 시업 후 임분상태 변화

##### (가) 평균흉고직경의 변화

시업 후의 직경을 다음식(Lee, 1993, 1994; 이우균, 1995, 1996)을 이용하여 시업 전 직경으로부터 추정하였다.

$$dgv = e^{\beta \cdot \lambda} \cdot dgg \text{ ----- (1)}$$

$$\lambda = \frac{Na}{Ng}, \quad 0 \leq \lambda < 1$$

$$\beta = \beta_0 \cdot A^{\beta_1} \cdot SI^{\beta_2}$$

$dgv$  = 시업 후의 직경,  $dgg$  = 시업 전 직경

$Na$  = 시업 본수,  $Ng$  = 시업 전 본수

$\beta$  = 시업계수,  $A$  = 임령,  $SI$  = 지위지수,  $\lambda$  = 시업강도계수

여기서 시업 전 본수에 대한 벌채목(시업목) 본수의 비율을 나타내는 시업강도계수  $\lambda$ 는 시업강도를 정량화 한 것으로서 0에서 1의 값을 가진다. 이 값이 클수록 시업의 강도가 강하고 직경의 변화폭도 크다.  $\beta$ 는 시업종류 및 임분의 동질성에 따라 고유한 값을 가지는 시업계수이다. 예를 들어 상층간벌의 경우, 직경급이 비교적 큰 나무가 제거되므로 간벌 후 평균직경은 간벌 전보다 작아질 것이며, 시업계수는 음(-)의 값을 가질 것이다. 이와 달리 비교적 최약한 나무를 제거하는 하층간벌에서는 시업계수가 양(+)의 값을 갖게 되어 간벌 후의 직경은 간벌 전 보다 증가하게 된다. 또한, 시업계수는 임분의 동질성에도 영향을 받는다. 임분이 동질할수록 시업에 따른 직경변화의 폭은 적을 것이고, 계수의 절대치도 작을 것이다. 임분의 동질성에 따른 변화를 나타내기 위해 본 연구에서는 시업계수를 수령(A)과 지위지수(SI)의 함수로 나타내었다.

#### (나) 평균수고의 변화

간벌 후의 수고변화도 흉고직경의 변화와 같은 방법으로 추정할 수 있다.

$$hgv = e^{\beta_0 \cdot A^{\beta_1} \cdot SI^{\beta_2} \cdot \left(\frac{Na}{Ng}\right)} \cdot hgg \text{ ----- (2)}$$

$hgv$  = 시업 후의 수고,  $hgg$  = 시업 전의 수고

$Na$  = 시업 후 벌채목 본수,  $Ng$  = 시업 전의 본수

$A$  = 임령,  $SI$  = 지위지수

#### (다) ha당 본수의 변화

시업 후 잔존목의 ha당 본수( $N_v$ )는 간벌량을 시업 주체가 정할 경우, 시업전 본수

( $N_g$ )에서 시업본수(벌채목 본수,  $N_a$ )를 빼면 간단히 산출 할 수 있으며, 간벌을 즉, 시업강도계수  $\lambda$ 를 미리 정하여 간벌량을 정할 경우에는  $\lambda$ 를 이용하여 시업 전의 ha당 본수( $N_g$ )로부터 구할 수 있다.

$$N_v = N_g - N_a \text{ ----- (3)}$$

$$N_a = \lambda \cdot N_g, \quad N_v = N_g - \lambda \cdot N_g = N_g(1 - \lambda) \text{ ----- (4)}$$

(2) 시업에 따른 생산량 추정

(가) 생산목의 평균흉고직경

시업목(벌채목)의 ha당 단면적( $G_a$ )을 시업 전의 ha당 단면적( $G_g$ )과 시업 후의 ha당 단면적( $G_v$ )의 차이로 구할 수 있다.

$$G_a = G_g - G_v \text{ ----- (5)}$$

이와 같이 시업목의 ha당 단면적이 결정되면, 시업목의 직경( $d_{ga}$ )을 시업목 단면적과 시업목 본수로부터 추산할 수 있다.

$$d_{ga} = \sqrt{\frac{40000 \cdot G_a}{\pi \cdot N_a}} \text{ ----- (6)}$$

(나) 생산목의 평균수고

시업목의 ha당 재적( $V_a$ )은 시업 전의 ha당 재적( $V_g$ )과 시업 후의 ha당 재적( $V_v$ )과의 차이로 추산할 수 있으며, 시업목의 ha당 재적과 재적식(식 22)으로부터 시업목의 수고( $h_{ga}$ )를 추산할 수 있다.

$$V_a = V_g - V_v \text{ ----- (7)}$$

$$h_{ga} = \left[ \frac{V_a}{e^a \cdot d_{ga}^\beta \cdot N_a} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \text{ ----- (8)}$$

라) 시업주기에 따른 임분생장

(1) ha당 본수 변화

임목본수의 변화는 간벌 등과 같은 인위적인 요인과 고사 등의 자연적인 요인에 의해 발생하는데, 임분관리에 의한 인위적인 감소가 충분하지 않을 때 경쟁 및 환경요인에 의해 자연적인 감소가 일어나게 된다(Lee 1993). 일반적으로 다음 주기에서의 본수

( $N_{i+1}$ )는 현재의 입목본수( $N_i$ )와 자연감소율(고사율:  $\delta$ )에 의해 결정된다.

$$N_{i+1} = N_i(1 - \delta), \quad \delta: \text{고사율 } 0 \leq \delta < 1 \quad \text{----- (9)}$$

고사율을 간접적으로 적용시키는 방법은 임분의 최대 입목본수를 구하여 입목본수 ( $N_{i+1}$ )가 이 최대 입목본수 ( $N_{max\ i+1}$ )를 초과하면 그 초과분 만큼 고사( $N_{mor\ i+1}$ )가 발생한다고 가정하는 것이다(von Gadow & Hui 1993, Lee 1993, 1994, 이우균, 1995, 1996).

(2) 우세목 수고에 대한 최대입목본수 추정식

Reineke(1993)는 임분의 ha당 본수( $N$ )를 dbh로부터 추정하는 ha당 본수식 ( $N = \alpha \cdot dbh^\beta$ )을 개발하였다. 본 연구에서는 최대입목본수를 Reineke의 임분밀도지수 (stand density index :  $SDI$ )를 응용한 우세목 수고( $ho$ )에 대한 본수모델로부터 추정하였다. (식 10)

$$N = \alpha \cdot ho^\beta \quad \text{----- (10)}$$

위의 식에서 우세목 수고( $ho$ )가 10m일 때 입목본수를 우세목 수고에 대한 임분밀도지수( $SDI$ )로 설정하였다(식 11).

$$SDI = \alpha \cdot 10^\beta \quad \text{----- (11)}$$

위의 두 식(식 10, 식 11)을 대수차분형태(algebraic difference form)로 변환하면 다음과 같이  $SDI$ 를 설명변수로 하는 ha당 본수식을 산출할 수 있다.

$$N = SDI \cdot \left(\frac{ho}{10}\right)^\beta \quad \text{----- (12)}$$

조사된 각 임분의 ha당 본수를 차트에 plotting하고, 식 12의 그래프를 같이 표시한 후 이 그래프가 plotting된 ha당 본수의 최 외곽을 지나도록  $SDI$ 값을 조절하면 임분 최대본수 곡선을 산출 할 수 있다(식 13).

$$N_{max} = SDI_{max} \cdot \left(\frac{ho}{10}\right)^\beta \quad \text{----- (13)}$$

$SDI_{max}$ 는 우세목 수고에 따라 다양한 값을 나타내어  $SDI_{max}$ 를 우세목의 1차 함수식으로 나타내었다(식 14).

$$SDI_{max} = a + \beta \cdot ho \quad \text{----- (14)}$$

### (3) 흉고직경생장

기존의 정적임분생장모델에서 다양한 관리방법을 적용하지 못하는 이유는 흉고직경의 추정에 있어 밀도를 고려하지 않기 때문이다. 정적임분생장모델에서는 흉고직경을 임령 및 지위지수의 함수로만 추정하고 있다. 그러나 흉고직경은 임령 및 지위지수 이외에도 임분밀도에 의해 크게 영향을 받으므로(Kramer, 1988), 본 연구에서는 간벌 전의 직경( $dgg$ )을 임령( $A$ ), 지위지수( $SI$ ) 그리고 간벌 전 본수( $Ng$ )로부터 유도하였다(Lee 1993, 1994, 이우균 1995, 1996).

$$dgg = \alpha_1 SI^{\alpha_2} e^{\beta_1 Ng^{\beta_2} A^\gamma} \quad \text{----- (15)}$$

사업주기 후의 평균흉고직경( $dgg_{i+1}$ )은 식 15를 대수차분형태(algebraic difference form)로 변환(von Gadow, 1992)시켜 현재의 임령( $A_i$ ), 직경( $dgg_i$ ), 본수( $N_i$ ) 및 지위지수( $SI_i$ ) 그리고 다음 주기에서의 임령( $A_{i+1}$ ), 본수( $N_{i+1}$ ), 및 지위지수( $SI_{i+1}$ )로부터 추정할 수 있다.

$$dgg_{i+1} = dgg_i \frac{SI_{i+1}^{\alpha_2} e^{\beta_1 N_{i+1}^{\beta_2} (A_{i+1} - AH)^\gamma}}{SI_i^{\alpha_2} e^{\beta_1 N_i^{\beta_2} (A_i - AH)^\gamma}} \quad \text{----- (16)}$$

여기서  $AH$ 는 본수  $N_i$ 로 식재된 임분의 흉고직경발달곡선을  $i$ 분기의 임령  $A_i$ 와 직경  $dgg_i$ 의 좌표점으로 평행이동시키는 조절인자로서 다음과 같이 계산된다(Lee 1993, von Gadow 1987).

$$AH = A - \left( \frac{\ln \frac{dgg_i}{\alpha_1 SI_i^{\alpha_2}}}{\beta_1 N_i^{\beta_2}} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad \text{----- (17)}$$

### (4) 수고생장

#### (가) 우세목의 수고생장

일반적으로 수고는 밀도의 영향을 적게 받으며(Kramer, 1988), 특히 우세목 수고는 밀도의 영향을 무시할 수 있을 정도로 거의 받지 않아 지위사정의 척도로 이용되고 있다(Kramer 와 Akça 1987). 따라서 본 연구에서는 우세목 수고( $ho$ )를 밀도를 배제시키

고 임령(A)의 함수로만 추정된 Gompertz의 수고곡선식을 이용하였다.

$$ho = \alpha e^{\beta e^{\gamma age}} \text{ ----- (18)}$$

이 식을 대수차이형태로 전환하여 다음주기에서의 수고( $ho_{i+1}$ )를 현재의 임령( $A_i$ ), 우세목 수고( $ho_i$ ) 그리고 다음주기에서의 임령( $A_{i+1}$ )으로부터 추정하였다.

$$ho_{i+1} = ho_i \cdot \left( \frac{e^{\beta e^{\gamma age_{i+1}}}}{e^{\beta e^{\gamma age_i}}} \right) \text{ ----- (19)}$$

(나) 지위지수의 사정

지위지수는 우세목의 수고식으로부터 유도된 다음식으로부터 산출하였다.

$$SI = ho_i \cdot \left( \frac{e^{\beta e^{\gamma A_{SI}}}}{e^{\beta e^{\gamma age_i}}} \right) \text{ ----- (20)}$$

$A_{SI}$  : 지위지수 기준 연령 (30년)

(다) 평균수고 성장

임분의 평균수고는( $hgg$ )는 우세목 수고( $ho$ )의 선형관계식으로부터 추정하였다.

$$hgg = \beta \cdot ho \text{ ----- (21)}$$

(마) 평균재적식의 추정

재적( $v$ )는 흉고직경( $dgg$ )과 수고( $hgg$ )로부터 다음식을 이용하여 추정하였다.

$$v = e^{\alpha} dgg^{\beta} hgg^{\gamma} \text{ ----- (22)}$$

## 다. 결과 및 고찰

### 1) 함수식의 계수추정

식 (1), (2), (15), (18), (22)는 SAS의 NLIN Procedure를 이용하여 계수를 추정하였고, 식 (10)은 양변에 자연로그를 취하여 선형으로 전환한 후 SAS의 REG Procedure를 이용하여 추정하였으며, 식 (14), (21)은 SAS의 REG Procedure를 이용하여 추정하였다 (Table 5-9).

Table 5-9. Estimated coefficients of each function for the dynamic growth model

Parameter	No.	Coefficient	$\sqrt{MSE}$ (FI)	Procedure
Quadratic mean dbh after thinning ( <i>dgv</i> )	1	$\beta_0 = 2.21242$	1.039741	NLIN
		$\beta_1 = -0.47357$	(0.990723)	
		$\beta_2 = -0.12431$		
Mean height after thinning ( <i>hgv</i> )	2	$\beta_0 = 50.65949$	0.464449	NLIN
		$\beta_1 = -1.15361$	(0.989469)	
		$\beta_2 = -0.54935$		
Number of stem ( <i>Nha</i> ) ( $\ln N = \ln \alpha + \beta \cdot \ln ho$ )	10	$\alpha = 11.28564$	0.393341	REG
		$\beta = -1.58272$	(0.739012)	
Maximum SDI ( <i>SDI</i> <sub>max</sub> )	14	$\alpha = 6642.857$	188.9822	REG
		$\beta = -157.143$	(0.960324)	
		$\alpha_1 = 185.15121$		
		$\alpha_2 = 0.37026$		
Quadratic mean dbh before thinning ( <i>dgg</i> )	15	$\beta_1 = -2.63815$	1.931361	NLIN
		$\beta_2 = 0.10226$	(0.968199)	
		$\gamma = -0.14673$		
		$\alpha_1 = 24.26738$		
Growth of dominant height ( <i>ho</i> )	18	$\alpha_2 = -1.95797$	2.338253	NLIN
		$\beta = -0.05278$	(0.725455)	
Mean height before thinning ( <i>hgg</i> )	21	$\beta = 0.85873$	1.414669	REG
			(0.929642)	
Volume with bark ( <i>v</i> )	22	$\alpha = -9.675607$	1.575649	NLIN
		$\beta = 1.997425$	(0.907657)	
		$\gamma = 0.821099$		

추정된 각 식의 계수들이 모두 0.0001의 유의수준에서 유의성을 나타내었으며, 평균 자승오차의 근( $\sqrt{MSE}$ )의 값도 낮게 추정되었다. 또한 식의 적합도를 나타내는 FI(Fitted Index)값도 식 (10)과 (18)은 비교적 낮게 그리고 나머지는 모두 높게 나타났다.

## 2) 우세목 수고 성장 및 지위지수

지위지수에 따른 임령별 우세목 수고곡선은 식 (17)을 변형하고 기준연령을 30년으로 하여 산출하였다 (Fig. 5-11). 연구대상지의 지위는 12에서 22까지 분포하며, 이는 평균적인 잣나무 임지의 지위와 유사하였다. 그림 1(b)는 임령별 우세목 수고의 연년 성장량 그래프이다. 우세목 수고는 성장초기에 매우 급격히 증가하다가 성장최대점 이후 수고생장은 점차 감소하는 형태를 나타낸다.



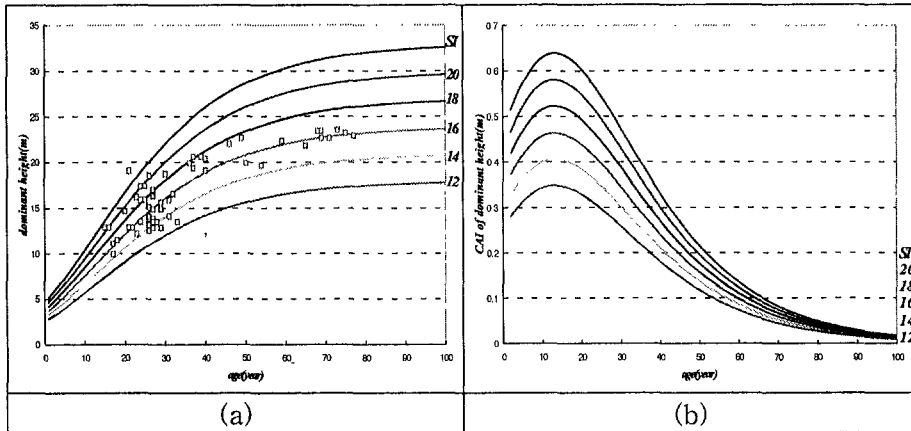


Fig. 5-11. Development of the dominant height(a) and current annual increment of the various site index(b)

### 3) 동적 임분생장 및 경영모델을 이용한 성장량의 추정

#### 가) 시업주기별 임분생장

시업주기에 따른 임분생장량을 예측하기 위하여 다른 임분 인자들은 고정시킨 후 시업주기를 Table 5-10과 같이 3가지로 분리·적용하였다.

Table 5-10. Thinning cycle applied at given a thinning intensity

	thinning in 5-year interval
Thinning cycle	thinning with 1m-growth of dominant height
	thinning with 2m-growth of dominant height
Thinning intensity	$\lambda = 0.15$

#### (1) 시업주기별 임분재적생장

그림 2는 지위지수가 18일 때 각각의 시업주기에 따른 임분의 총 재적 성장량(GP)과 연평균 재적성장량(MAI)이다. 시업주기가 짧을수록 임분의 총 재적 성장량이 적은 것으로 나타났다. 시업주기는 35년까지 우세목 수고 1m 성장 주기가 제일 짧으며, 우세목 수고 2m 성장주기가 제일 길었다. 35년 이후부터는 5년 주기가 제일 짧았으며, 우세목 수고 1m와 2m 순으로 성장주기가 길게 나타났다. 우세목 수고 1m 성장주기의 경우 재적생장이 가장 왕성한 성장 초기에 가장 짧은 주기로 시업을 실시하기 때문에 총 재적 성장량이 가장 적게 추정되었다.

Fig. 5-12에서 굵은 실선은 시업을 시행하지 않고 자연적으로 고사가 발생할 때의 재적성장 곡선이다. 이 그래프를 보면 100년 후 약 700m<sup>3</sup>/ha 정도까지 재적생장이 이루어 짐을 알 수 있다.

임분의 연년평균성장량은 시업주기가 짧을수록 변곡점, 즉 최대점 까지의 도달 연령이 빠르다. 5년 주기에서의 최대점은 51년에서 7.65m<sup>3</sup>/ha, 우세목 수고 1m 성장주기에서의 최대점은 49년에서 6.99m<sup>3</sup>/ha 그리고 우세목 수고 2m 성장주기에서는 최대점이 57년에서 7.92m<sup>3</sup>/ha로 나타났다.

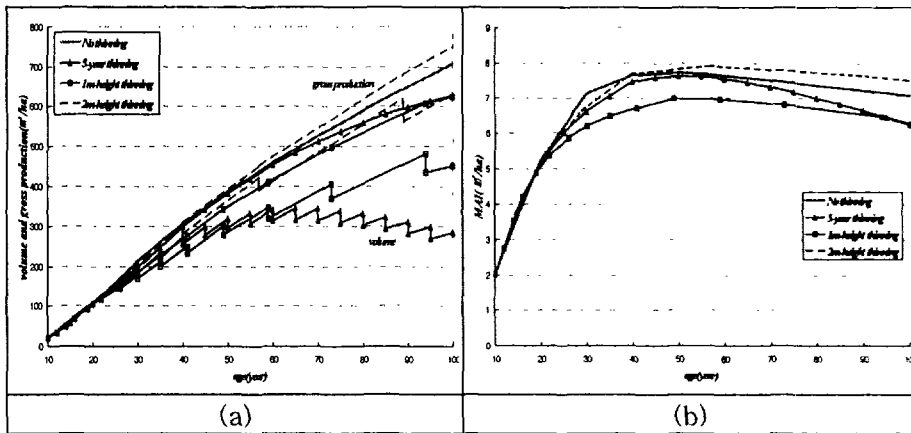


Fig. 5-12. Development of the gross production(GP) and volume of the residual stand(a), and of the mean annual increment(MAI)(b) for the different thinning cycle

## (2) 시업주기별 평균흉고직경 성장 및 본수변화

평균흉고직경은 성장초기인 약 20년 까지는 유사한 성장양상을 나타내지만 그 이후에는 그 차이가 매우 크다 (Fig. 5-13). 우세목 수고 1m 성장주기일 때 평균흉고직경은 65년까지 5년 주기보다 높으나, 그 이후는 5년 주기의 평균 흉고직경이 우세목 수고 1m 성장주기보다 높게 나타났다. 이는 65년 이후부터 5년 주기일 때가 우세목 수고 1m 성장주기보다 시업이 자주 실시되고 이에 따라 평균흉고직경의 계산상 이동이 이루어지며, 또한 잦은 간벌로 ha당 본수가 훨씬 적어지기 때문에 흉고직경 성장에 필요한 생육공간이 충분히 제공되기 때문이다.

Fig. 5-13b는 각 시업주기별 ha당 본수 그래프이다. 굵은 실선은 시업을 실시하지 않았을 때의 본수 발달 곡선이다. 시업을 실시하지 않았을 때의 본수 감소는 자연고사

에 의해 이루어진다. 따라서 이 곡선은 임분에서 고사가 발생하지 않고 생육할 수 있는 최대 본수를 의미한다. Fig. 5-13b에서 우세목 수고 2m 성장주기의 ha당 본수곡선을 보면 29년에서 다음주기인 40년 사이에서 ha당 본수가 감소함을 알 수 있다. 이는 40년에서의 잔존목 본수가 임분의 최대본수보다 많아 그 차이만큼의 본수가 고사되었기 때문이다.

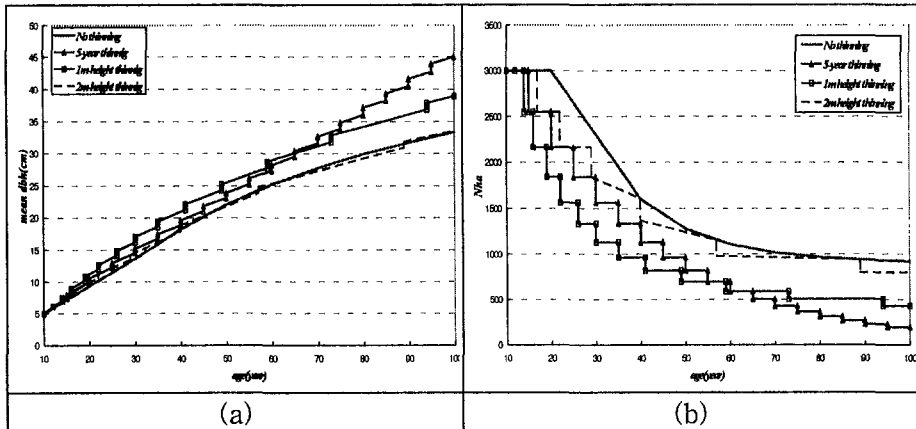


Fig. 5-13. Development of quadratic mean dbh(a) and number of stems(b) for the different thinning cycle

### (3) 시업주기별 ha당 단면적 및 입목도

Fig. 5-14a는 각 시업주기별 ha당 평균 단면적 성장 곡선이다. 55년까지는 성장초기 시업주기가 짧은 우세목 수고 1m 성장주기에서 ha당 평균 단면적 성장량이 다른 시업주기에 비해 적게 나타났다. 또한 시업주기가 짧을 때, 시업주기가 긴 경우에 비하여 시업 후 ha당 평균 단면적 감소량이 적게 나타났다. 55년 이후에서의 ha당 평균 단면적은 시업주기가 길수록 높게 나타났다.

Fig. 5-14b는 임분의 임령별 입목도 곡선이다. 입목도는 현재 임분의 ha당 평균 단면적과 정적성장모델인 수확표의 ha당 평균 단면적과의 비율로서, 1보다 큰 값을 가지면 현재 임분의 단면적이 수확표에 비하여 높음을 의미한다. 우세목 수고 1m 성장주기와 우세목 수고 2m 성장주기에서는 입목도가 1보다 높으며, 5년 주기에서는 약 65년 이후부터 1보다 적게 나타났다.

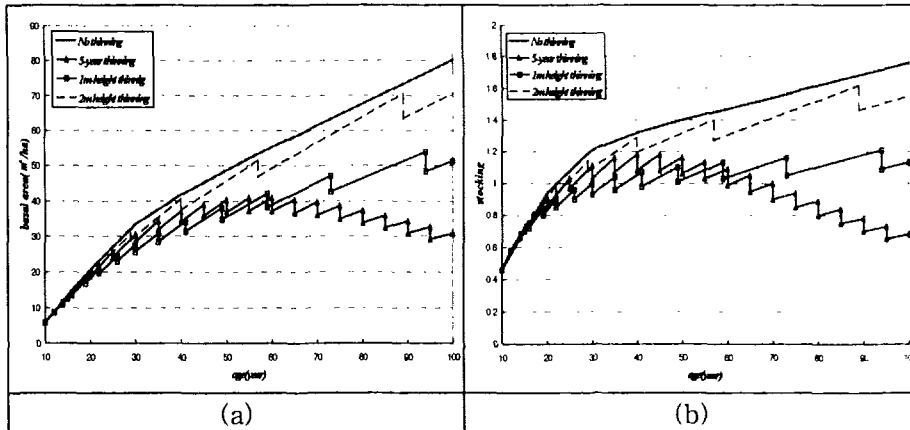


Fig. 5-14. Development of stand basal area(a) and stocking(b) for the different thinning cycle

#### 나) 시업강도별 임분생장

시업강도에 따른 임분생장은 다양한 시업강도의 적용 후 추정된 임분생장 예측모델을 이용해 추정되었다. 적용된 시업강도는 Table 5-11과 같다.

Table 5-11. Thinning intensity applied given at thinning cycle

Class of thinning	Thinning intensity
Moderate thinning	$\lambda = 0.2$ thinning in young stand. (age : 0~30) ( $\lambda = 0.3$ )
Stepwise thinning	thinning in middle age stand. (age : 30~59) ( $\lambda = 0.25$ ) thinning in old stand. (age : 59~100) ( $\lambda = 0.2$ )
Heavy thinning	$\lambda = 0.35$ 3m height thinning in young stand. (age : 0~30)
Thinning cycle	2m height thinning in middle age stand. (age : 30~59) 1m height thinning in old age stand. (age : 59~100)

#### (1) 시업강도별 임분재적생장

시업강도에 따라 임분의 재적성장량의 차이는 매우 크게 나타났으며, 일반적으로 시업강도가 높을수록 임분의 총 재적 성장량(gross production)과 잔존 임분의 재적성장량은 적은 것으로 나타났다. Fig 5-15a는 시업강도별 임분의 총 재적 성장량 및 잔존

임분의 재적성장량 그래프이다. 임분 총 재적 성장량은 시업강도를 0.2로 적용한 중도 간벌(moderate thinning)에서 가장 높게 추정되었으며, 다음 주기까지의 잔존임분 재적성장량 또한 가장 높게 나타났다. 굵은 실선은 시업을 실시하지 않았을 경우의 임분 총 재적성장 그래프이다. 시업강도가 가장 낮은 중도간벌의 임분 총 재적성장량을 제외한 나머지 시업강도의 임분 총 재적성장량은 시업을 실시하지 않았을 경우의 임분 총 재적 성장량 보다 적게 추정되었으며, 강도간벌의 경우는 그 차이가 매우 크게 나타났다. 연년 평균 재적성장량(MAI) 또한 시업강도가 높을수록 적어진다 (Fig 5-15b). 시업강도가 높을수록 MAI와 최대 MAI는 적게 나타나며, 최대 MAI 도달연령이 낮게 나타난다. 이러한 시업강도에 따른 임분 재적생장의 차이는 일반적인 성장법칙과 부합된다(Wenk, 1991; Kramer, 1988; Nicke 1989).

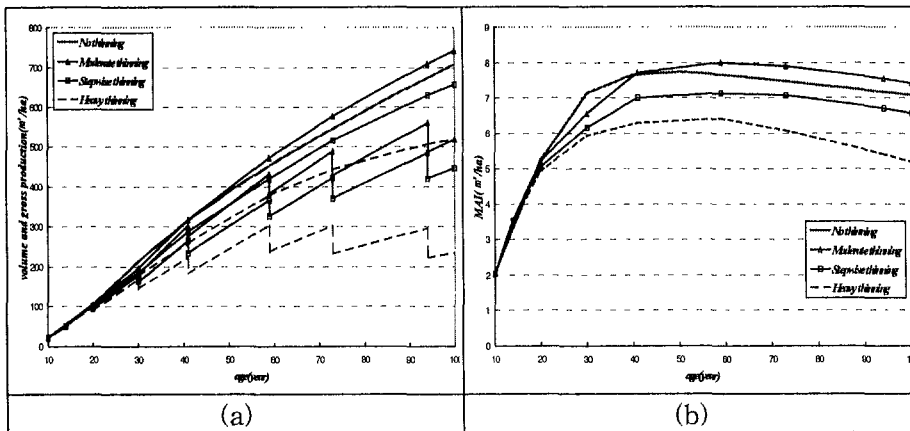


Fig. 5-15. Development of the gross production(GP) and volume of the residual stand(a), and of the mean annual increment(MAI)(b) for the different thinning intensities

## (2) 시업강도별 임분 평균흉고직경 성장

시업주기 후 평균흉고직경성장량은 일반적으로 시업강도가 높을수록 높게 나타난다 (Fig 5-16a). 이는 시업강도가 높을수록 제거되는 입목본수가 많아 잔존목의 직경생장에 필요한 생육공간이 충분히 제공되었기 때문이다. Fig 5-16a를 보면 강도간벌(heavy thinning)을 적용하였을 경우 최종 시업 후 임분의 평균흉고직경은 약 48cm까지 성장할 수 있으며, 중도간벌(moderate thinning)에서는 약 35cm까지 성장할 수 있음을 알 수 있다.

굵은 실선은 시업을 실시하지 않았을 경우의 임분 평균흉고직경 발달곡선이다. 이 곡선은 임분내 흉고직경생장을 위한 생육공간의 경쟁이 가장 높을 때의 흉고직경생장을 의미하며, 시업을 실시했을 때의 임분 평균흉고직경성장량 보다 흉고직경성장량이 낮다. 이는 시업이 임분내 생육공간의 경쟁을 완화시켜 임분의 흉고직경생장을 촉진시키기 때문이다.

Fig 5-16a는 시업강도별 ha당 입목본수 발달량 그래프이다. 시업 초기에 제거되는 입목 본수는 강도간별(heavy thinning)에서 제일 많으며, 중도간별(moderate thinning)에서 제일 적게 나타났다.

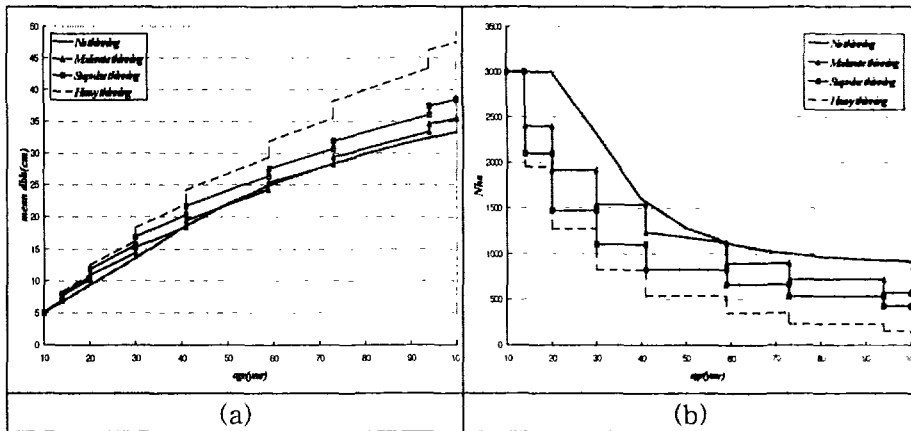


Fig. 5-16. Development of quadratic mean dbh(a) and number of stems per ha(b) for the difference thinning intensity

### (3) 시업강도별 ha당 단면적 및 입목도

Fig 5-17a는 각 시업강도별 ha당 평균 단면적 성장 곡선이다. 일반적으로 시업강도가 낮으면 ha당 평균단면적은 낮게 나타나지만, 시업강도가 낮을수록 ha당 평균 단면적 성장량이 많은 것으로 나타났다. 이는 시업강도가 낮을 때 흉고직경의 성장량은 높을 때에 비하여 적으나 시업 후의 잔존목 수가 시업강도가 높을 때 보다 많아 ha당 단면적이 비교적 높게 추정되었기 때문이다. 또한, 시업강도가 낮을수록 시업강도가 높은 경우에 비하여 시업 후 ha당 평균 단면적 감소량이 적게 나타났다.

임분의 입목도는 시업강도가 높은 강도간별(heavy thinning)에서 항상 1보다 적게 나타났다. 따라서, 강도간별의 경우 수확표의 단면적에 비하여 낮은 ha당 단면적을 가

지는 임분으로 조성됨을 알 수 있다.

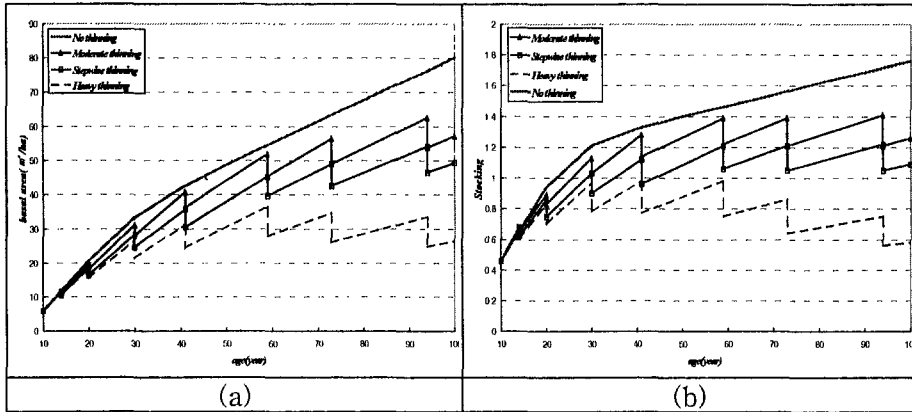


Fig. 5-17. Development of stand basal area per ha(a) and stocking(b) for the difference thinning intensity

## 라. 결 론

본 연구에서는 임분 내 성장인자들 간의 상관관계를 구명하고 이를 기초로 임분의 성장 및 수확을 관리방법에 따라 다양하게 추정할 수 있는 동적 임분성장 및 경영모델을 구축하였다. 이를 위해 영급이 고루 분포되도록 62개의 표본점을 선정하였고, 각 표본점에서 임목의 흉고직경, 수고를 측정한 후, 이를 분석하여 평균흉고직경, 평균수고, 우세목 수고, ha당 본수, ha당 단면적, ha당 재적 등을 추정하였다. 추정된 성장인자간의 함수식을 SAS의 비선형 회귀분석(NLIN) 및 단순선형분석(REG)을 통하여 유도하였으며, 이들의 상호작용하에 임분의 성장 및 수확이 예측될 수 있는 동적 임분성장 및 경영모델을 구축하였다. 유도된 성장 및 경영모델들을 이용하여 잣나무 임분의 시업주기와 시업강도에 따른 임분의 성장량을 예측하여 모델의 적용성을 알아보았다.

임분의 총재적성장량, 잔존임분의 ha당 단면적 및 재적성장 등은 시업주기가 짧을수록 낮게 추정되었다. 특히, 성장초기의 시업주기가 짧으면 성장말기의 시업주기가 길어도 전체적으로 성장량이 적은 것으로 나타났다. 연년평균재적성장량(MAI)과 그의 최대점 또한 시업주기가 짧을수록 적게 나타났으며, 최대점 도달연령도 시업주기가 짧을수록 빨리 도달하였다. 평균흉고직경은 시업주기에 따라 큰 차이를 보였다. 임분의 평균흉고직경생장은 시업주기가 짧을수록 매우 높게 나타났는데, 이는 시업주기가 짧을수록 시업 후의 계산상 이동이 많이 발생하고, 임분의 흉고직경생장을 위한 충분한 생

육공간의 제공으로 생장이 촉진되는 현상을 반영한 것으로 판단되었다. 시업강도가 높을수록 임분의 총재적성장량, 잔존임분의 재적, ha당 본수 및 단면적, 입목도 등이 낮게 추정되었다. 연년평균재적성장량(MAI)과 그의 최대값도 시업강도가 강할수록 그 값이 적게 나타났으며, 최대 MAI 도달연령 시업강도가 강할수록 빨리 도달하였다. 평균 흉고직경은 시업강도가 강할수록 높게 나타났다. 이는 시업강도가 강할수록 시업후 제거되는 입목본수가 많아 흉고직경생장에 필요한 충분한 생육공간의 제공되는 현상을 반영한 것이라 볼 수 있다.

이상과 같이 구축된 동적 임분성장 및 경영모델은 일반적인 성장법칙을 잘 반영하고 있어 임분의 성장예측에 적합하다고 판단되었다. 이러한 동적 임분성장 및 경영모델은 실제 산림경영에서 다양한 관리방법에 따른 임분의 성장예측을 위하여 이용될 수 있을 것이며, 산림경영계획의 의사결정에 있어 의사결정을 위한 예측도구로서 이용될 수 있을 것이다.

그러나 본 연구에서 시업주기와 시업강도에 따른 임분의 성장량 추정은 다른 외부적 성장조건, 특히 기상적 요인과 피해를 고려하지 않았다. 또한 적용된 지위지수가 전 임령에 있어서 고정된 상수값으로 적용되었다. 지위지수는 생장에 영향을 미치는 성장 영향인자로서 적용될 수 있을 것이며, 지위지수는 환경의 영향에 의해 변화될 수 있을 것이다. 이러한 지위지수와 환경인자간의 상관관계가 구명되면 식 14에서의 다음 주기의 지위지수( $SI_{i+1}$ )를 환경인자를 이용하여 추정하여 환경인자가 고려된 동적 임분성장 및 경영모델을 구축할 수 있을 것이며, 임분성장량의 추정시 정확도를 높일 수 있을 것이다. 이러한 환경인자적 자료의 구축을 위해서는 임시표본점이 아닌 고정표본점을 선정하여 장기간에 걸친 임분의 조사가 이루어져야 할 것이다.



## 제 4 절 잣나무임분의 경영모델 및 수익성분석

### 1. 서 론

과거 산림경영의 목표는 목재수확에 중심을 두어 왔으며, 산림경영이론 역시 한정된 임지내에서 지속적인 목재생산을 하기 위한 방식들이 주를 이루었다(이, 1995). 우리나라에 있어서도 지속적인 목재생산이 임업의 주요 목표일 것이다. 그러나 사유림이 전체 산림의 71%에 이르며 이중 산주의 91%가 5ha미만의 영세산주가 차지하는 실정에서, 용재생산만으로는 임업을 유지하기는 어려운 실정이다. 따라서 용재뿐만 아니라 부산물을 함께 생산하는 복합임업경영은 매우 중요한 의미를 갖는다고 할 수 있다(박외, 1992). 즉 목재 및 부산물 생산을 동시에 달성할 수 있는 복합임업경영으로 임업의 생산성을 제고시킬 필요성이 있다. 부산물이라고 볼 수 있는 종실이나 수피, 근주 등은 목재보다 비교적 지속적이면서 단기수익을 얻을 수 있다는 면에서 우리나라 임업의 생산성 향상에 크게 기여하리라 판단된다.

잣나무림에서는 목재생산과 잣이라는 부산물 생산을 동시에 이룰 수 있는 산림경영이 가능하며, 실제로 경기도 일대에서는 잣 생산으로 인한 소득이 농가수익에 큰 도움을 주고 있다. 잣나무의 경우 경영목표를 일반 임분에서의 용재생산, 용재와 종실 동시생산, 그리고 다수확품종으로 구성된 임분에서의 순수 잣생산으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 상기의 3가지의 경영목적에 따른 생산성을 분석함으로써 합리적인 관리기법을 제시코자 한다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 순현재가치에 의한 투자효율분석

본 연구에서는 용재생산을 임령과 시업방법의 함수, 종실생산을 임령과 축적에 의한 함수관계로 나타내었다. 그리고 경영분석에서의 금액은 시업의 경우 '2001 산림사업계획(산림조합중앙회)의 ha당 단비표'를 적용하였고(산림조합중앙회, 2001), 기타 목재 및 잣의 가격은 현실 금액을 반영하였다.

잣나무 관리의 목적을 용재생산, 용재와 잣생산, 순수잣생산 등으로 구분하여 경영분석을 실시하였다. 각 경영목표별로 다양한 조건을 부여하여 순현재가치(Net Present

Value: NPV)를 구하였으며 이를 상호 비교하였다.

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{R_i - C_i}{1.0p^i} \dots\dots\dots (1)$$

$R_i$  : 수익,  $C_i$  : 비용,  $p$  : 할인율,  $i$  : 분기

1) 용재생산 경영형태

용재생산을 위한 비용은 조림비용, 풀베기, 어린나무가꾸기, 간벌 등의 육림비용, 주벌비용으로 이루어지며, 수익은 간벌과 주벌로 이루어진다. 일반적인 산림사업에서 조림은 70%의 국고보조, 20%의 지방비, 10%의 자부담으로 이루어지며, 육림의 경우는 40%의 국고보조, 40%의 지방비보조, 20%의 자부담으로 이루어지지만, 수익이 발생하는 수익간벌과 주벌에 대해서는 100% 자부담으로 이루어진다(산림조합중앙회, 2001). 아래의 식들은 경영모델에서 수익과 비용을 계산하는 것으로서 n 분기의 수령 Tn년을 기준으로 한다.

가) 비용

(1) 조림비용

$$C_p = CP_p \cdot \rho_p \dots\dots\dots (2)$$

$C_p$  : 실제조림비용(원/ha),  $CP_p$  : 조림단비(원/ha),

$\rho_p$  : 조림 자부담율

(2) 무육 및 간벌비용

$$C_{dt} = \sum_{i=0}^n \frac{C_d + C_t \times \rho_t}{1.0p^{T_i}} \dots\dots\dots (3)$$

$C_{dt}$  : 간벌 및 무육비용(원/ha),  $C_d$  : 간벌단비(원/ha),

$C_t$  : 무육단비(원/ha),  $\rho_t$  : 무육 자부담율,  $i$  : 분기,

$T_i$  : i분기의 임령(년)

(3) 주벌비용

$$C_a = \frac{CA_a}{1.0p^{T_n}} \dots \dots \dots (4)$$

$C_a$  : 실제 주벌비용(원/ha),  $CA_a$  : 주벌단비(원/ha),

$T_n$  : n분기에서의 임령(년)

나) 수익

(1) 간벌수익

$$R_d = \sum_{i=0}^n \frac{D_{T_i} \times P}{1.0p^{T_i}} \dots \dots \dots (5)$$

$R_d$  : 간벌수익(원/ha),  $D_{T_i}$  : 간벌량(㎡/ha),

$P$  : 목재가격(원/㎡),  $p$  = 할인율,  $i$  : 분기,

$T_i$  : i분기의 임령(년)

(2) 주벌수익

$$R_a = \frac{A_{T_n} \times P}{1.0p^{T_n}} \dots \dots \dots (6)$$

$R_a$  : 주벌수익(원/ha),  $A_{T_n}$  : 주벌량(㎡/ha),  $P$  : 목재가격(원/㎡),  $p$  = 할인율,

$T_n$  : n분기에서의 임령.

2) 잣과 용재 동시생산 경영형태

용재를 생산하면서 잣도 동시에 생산하고자 하는 경영목표이다. 이 경우는 용재생산을 주목적으로 하면서 잣을 생산하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 임분의 무육관리비는 용재생산에 포함되도록 하였으며, 잣생산에 소요되는 비용만 가지고 경영분석을 실시하였다. 또한, 잣생산은 기본적으로 임령15년 이후부터 매년 이루어지는 것으로 하였으며(임업연구원, 1982), 3년주기로 나타나는 해결이 현상을 감안하여 결실풍흉을 고려한 평균생산량으로 나타내었으며, 생산량은 임령과 축적으로부터 추정되도록 하였다.

가) 피자생산량

$$W = f(A, V) \dots \dots \dots (7)$$

W=피자생산량(kg), A=임령(년), V=축적(m<sup>2</sup>)

나) 수익

$$R_c = \sum_{i=15}^n \frac{W_i \times P}{1.0 p^i} = \sum_{i=15}^n \frac{f(T_i, V_i) \times P}{1.0 p^i} \dots \dots \dots (8)$$

R<sub>c</sub> : 피자 수익(원/ha), P : Kg당 피자가격(원/Kg), p = 할인율,  
 i : 분기, W<sub>i</sub> : i분기의 피자생산량(kg/ha), T<sub>i</sub> : i분기의 임령(년),  
 V<sub>i</sub> : i분기의 축적(m<sup>2</sup>)

다) 비용

$$C_c = \sum_{i=15}^n \frac{W_i \times C}{1.0 p^i} = \sum_{i=15}^n \frac{f(T_i, V_i) \times C}{1.0 p^i} \dots \dots \dots (9)$$

C<sub>c</sub> : 피자 생산비(원/ha), C : Kg당 피자생산비(원/Kg), p = 할인율, i : 분기, W<sub>i</sub> :  
 i분기의 피자생산량(kg/ha),  
 T<sub>i</sub> : i분기의 임령(년), V<sub>i</sub> : i분기의 축적(m<sup>2</sup>)

3) 순수 잣생산 경영형태

여기에서는 다수확품종으로 조성된 잣나무 임분에서 잣만 생산하고자 하는 경영목표이다. 이 경우 임분의 무육관리비는 잣생산비에 포함되게 된다. 또한, 잣생산은 기본적으로 임령 15년 이후부터 매년 이루어지는 것으로 하였으며, 생산량은 임령으로부터 추정되도록 하였다.

가) 피자 생산량

(1) 피자생산량 추정

다수확 후보목으로 구성된 채종원의 연별 조성면적 및 피자생산량 자료로부터 잣생산량(W)을 임령(A)의 함수로 나타내었다.

$$W = f(A) = a \cdot e^{b \frac{1}{A}} \dots \dots \dots (10)$$

임령이 증가할수록 동일임령에서의 생산량의 차이가 커지는 현상을 반영하기 위해 임령 30년 일때의 잣생산량을 잣생산지수(Production Index: PI)로 설정하고, 이에 따라 잣생산량이 추정되도록 하였다.

$$PI = a \cdot e^{b \frac{1}{30}} \dots \dots \dots (11)$$

식 (10)을 (11)로 나눈후 잣생산량에 대해 풀면 다음과 같이 잣생산지수에 따라 잣생산량이 다양하게 예측되는 대수차분형식(algebraic differences form)의 식이 유도된다.

$$W = PI \cdot e^{b \left( \frac{1}{A} - \frac{1}{30} \right)} \dots \dots \dots (12)$$

(2) 수익

$$R_c = \sum_{i=10}^n \frac{W_i \times P}{1.0 p^i} \dots \dots \dots (13)$$

$R_c$  : 피잣 수익(원/ha),  $P$  : Kg당 피잣 가격(원/Kg),  $p$  = 할인율,  
 $i$  : 분기,  $W_i$  :  $i$ 분기의 피잣생산량(kg/ha)

(3) 비용

$$\text{조림비용} = C_p \times \rho_p$$

$$\text{무육비용} = \sum_{i=10}^n \frac{C_i \cdot \rho_i}{1.0 p^i}$$

$$\text{채취비용} = \sum_{i=10}^n \frac{W_i \cdot C}{1.0 p^i}$$

$C_p$  : 조림비(원/ha),  $\rho_i$  : 조림 자부담률,  $C_i$  : 무육비(원/ha),

$\rho_p$  : 무육 자부담률,  $W_i$  :  $i$ 분기의 잣생산량(kg/ha)

$C$  : 피잣 생산비 (원/kg),  $p$ : 할인율

4) 가격적용

### 가) 목재가격

이 연구에서의 가격은 현실가를 적용하였다. 경기도지역 산림조합에서 집하장을 운영하고 있는 가평, 양평, 화성 중 잣나무를 취급하는 조합은 가평과 양평이며, 위의 두 조합에서 잣나무 구입시 산지원목가는 양평군산림조합 270원/재(81,000원/㎡), 가평군산림조합 260-280원/재(78,000-84,000원/㎡)이며, 이는 조재까지 끝낸 상태의 원목을 구입자가 산지에서 구입할 수 있는 금액이다. 그리고 한국목재신문의 9월 가격동향에서 잣나무는 108,000원/㎡로 명시되어 있다.

### 나) 잣 가격

잣가격은 결실 풍흉에 따라 가격이 매우 유동적인데, 2001년의 경우 전국적으로 3년에 한번 있는 해결이에 해당하는 해로서 잣가격이 예년에 비해 40% 정도 비싼 가격으로 거래되고 있다. 전국에서 잣을 생산하는 산림조합은 가평군산림조합과 남원군산림조합이며, 위의 조합은 피잣상태를 구입한 후 탈각하여 실백을 판매하고 있으며, 송아리에서 피잣상태로의 가공은 산지 수집상들에 의하여 이루어지고 있다. 일반적인 잣가공시 수율은 송아리에서 피잣가공시 약 20%, 피잣에서 실백으로의 가공시 약 20%이며, 이는 2001. 10. 13일자 산림청 입산물 유통정보에 명시된 실백가격 46,830원/kg을 기준으로 할때, 산지에서의 송아리 가격은 1,873원/kg으로 역산이 가능하다. 그리고 실제 3인 1조로 움직이는 잣채취조의 인건비에 따른 송아리의 채취비용은 대략 200원/kg이다.

### 나. 시업방법

시업방법은 간벌의 강도와 주기를 달리한 경영방법을 적용하였다. 간벌의 강도는 시업시 제거되는 비율을 말하며,  $\lambda$ 로 표현하였다. 주기에 의한 간벌은 Table 5-12와 같이 적용하였고, 강도에 의한 간벌은 Table 5-13과 같이 적용하였다.

Table. 5-12. Thinning cycle applied at a given thinning cycle

thinning in 5-year interval	
Thinning cycle	thinning with 1m-growth of dominant height
	thinning with 2m-growth of dominant height
Thinning intensity	$\lambda = 0.15$

Table. 5-13. Thinning intensity applied given at thinning cycle

Class of thinning	Thinning intensity
Moderate thinning $\lambda = 0.2$	thinning in young stand. (age:0~30) ( $\lambda=0.3$ )
Stepwise thinning	thinning in middle age stand. (age:30~59) ( $\lambda=0.25$ )
	thinning in old stand. (age:59~100) ( $\lambda=0.2$ )
Heavy thinning $\lambda = 0.35$	3m height thinning in young stand. (age:0~30)
Thinning cycle	2m height thinning in middle age stand. (age:30~59)
	1m height thinning in old age stand. (age : 59~100)

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 간벌만 고려한 용재생산

##### 1) 간벌강도별 경영분석

##### 가) 간벌강도별 순현재가치

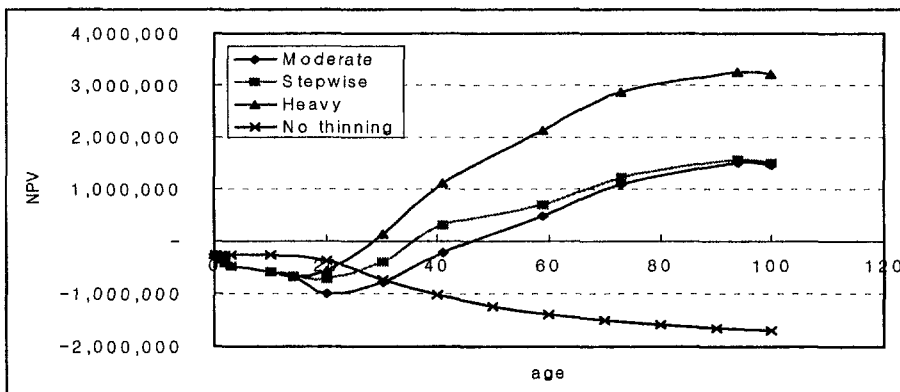


Fig. 5-18. NPV for thinning by different thinning intensities.

Fig. 5-35는 간벌강도  $\lambda=0.15$ , 할인율 0.03, 피жат가격 8,000원/kg, 잣생산비 2,000원/kg으로 보았을 때 간벌주기에 따른 잣의 순현재가치를 나타낸다. 주기별로는 시업을 하지 않았을 때가 가장 많은 잣을 생산할 수 있었고, 1m-수고성장주기와 5년주기가 거의 비슷하게 가장 작은 생산을 기대할 수 있었다. 간벌주기가 길수록 더 많은 생산을 할 수 있는 것으로 나타났다.

#### 나) 산지원목가별 순현재가치

Fig. 5-19는 시업강도 단계적 간벌, 할인율 0.03, 조림자부담율 10%, 육림자 부담율 20%를 적용한 NPV곡선이다. 산지원목가는 수익에 직접적인 영향을 미치는 요인으로, 그 값에 따른 순현재가치는 매우 다르게 나타났으며, 간벌에 의한 수익으로 해당임지에서 이익으로 전환되는 시점도 크게 다르게 나타났다.

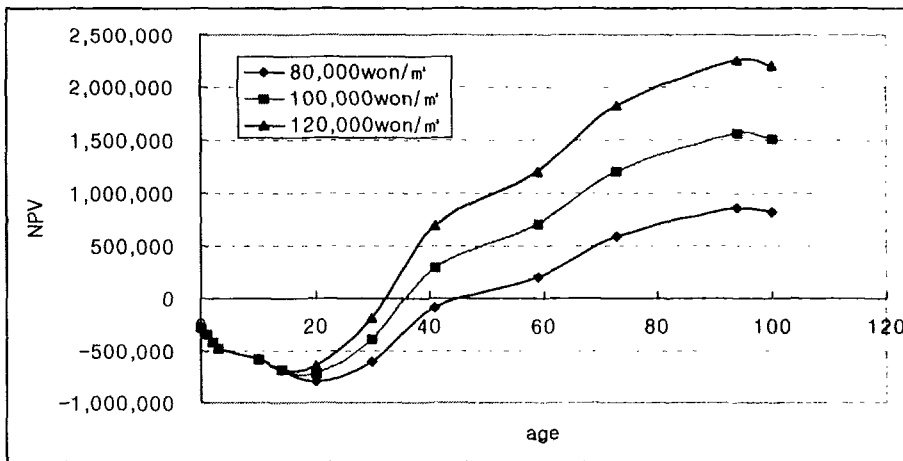


Fig. 5-19. NPV for thinning by different log prices in the felling area.

#### 다) 할인율별 순현재가치

할인율은 미래의 가치를 적용하는 요소로서, Fig. 5-20에서는 단계적 간벌, 산지원목가 100,000원/m², 조림자 부담율 10%, 육림자 부담율 20%를 적용하여 각 할인율별 순현재가치를 나타내고 있다. 일반적인 0.1의 할인율로는 임령 100년까지 이익으로 전환될 수 없으며, 할인율 0.03과 0.05도 가치에서 큰 차이를 보이고 있다.



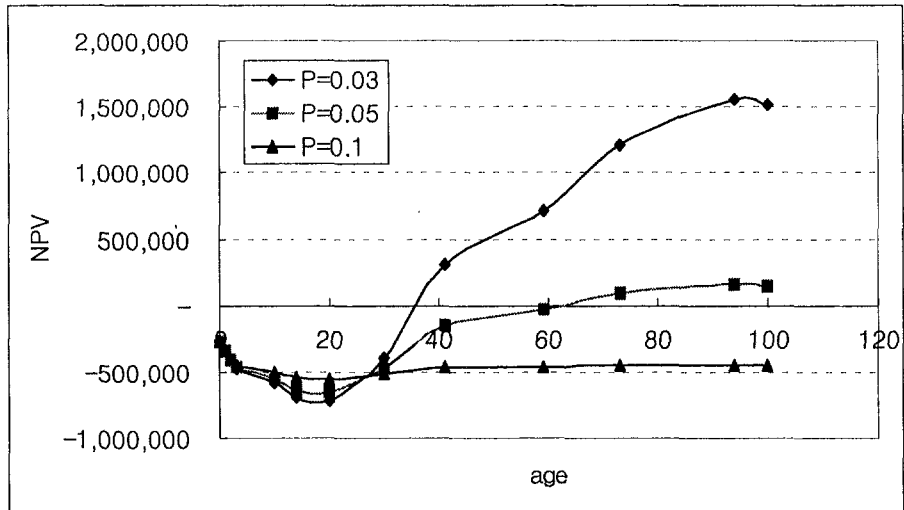


Fig. 5-20. NPV for thinning by different discount rates.

라) 자부담을 별 순현재가치

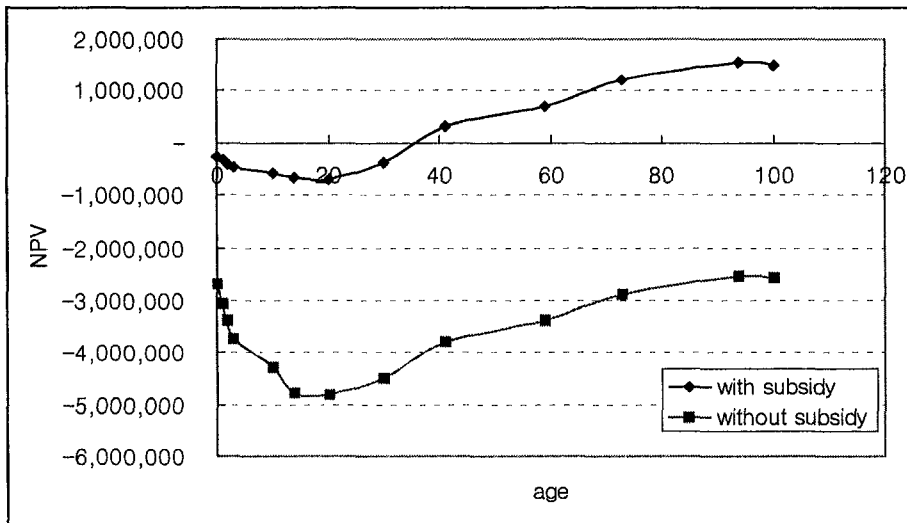


Fig. 5-21. NPV for thinning with and without subsidy.

자부담은 현재 조림 10%, 육림 20%를 지급하며, 이 보조가 지급되는 시점은 해당임지에서 수익을 목적으로 하는 사업이 이루어지기 전까지이고, 자부담외의 부분은 나머지는 국가의 보조로 사업이 이루어지게 된다. Fig. 5-21은 강도간별, 할인율 0.03, 산

지원목가 100,000원/㎡를 적용하였을 경우 현재의 자부담율과 자부담 100%일 경우를 비교한 것으로, 산림의 시업을 보조가 없을 경우는 산지에서 간벌만으로는 이익으로 전환될 수 없고, 정부의 보조가 NPV에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

## 2) 간벌주기별 경영분석

### 가) 간벌주기별 순현재가치

사업주기에 따른 순현재가치의 차이를 나타내기 위해 Fig. 5-22에서는 할인율 0.03, 산지원목가 100,000원/㎡, 조립자 부담율 10%, 육림자 부담율 20%를 적용하였다. 사업강도는  $\lambda=0.15$ 를 적용하였다. 적용시기는 각각 5년주기, 우세목수고 1m 성장시, 2m 성장시로 하였으며, 초기에는 1m-수고성장주기, 2m-수고성장주기가 5년주기보다 주기가 빨랐으나, 중령림 이후에는 5년주기가 사업횟수가 많아졌다. 전체적인 간벌횟수는 최종적으로는 5년주기, 1m-수고성장주기, 2m-수고성장 주기순으로 나타났으며, 간벌에 의한 수익은 5년주기, 2m-수고성장주기, 1m-수고성장 주기순으로 나타났다.

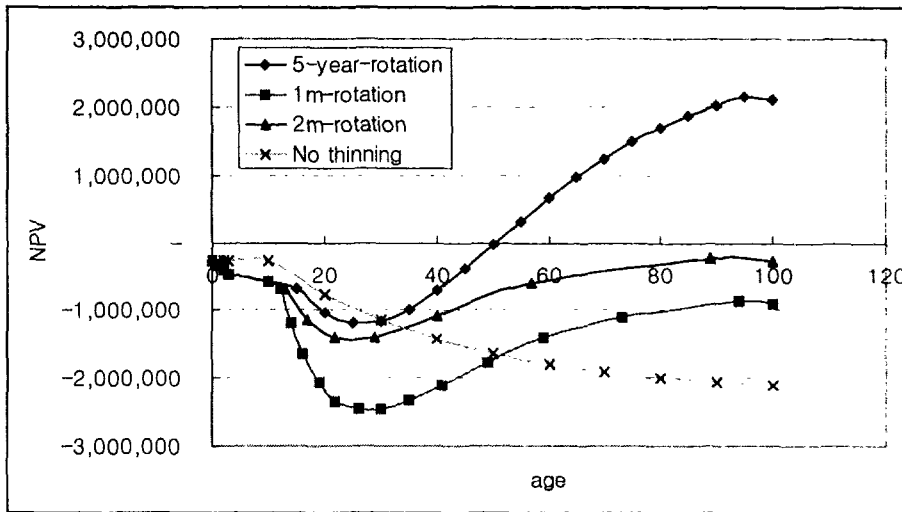


Fig. 5-22. NPV for thinning by different thinning cycles.

### 나) 산지원목가별 순현재가치

Fig. 5-23은 2m-수고성장주기, 할인율 0.05, 조립자부담율 10%, 육림자부담율 20%를 적용한 경우 산지원목가의 차이에 따른 순현재가치를 보여주며, 그 순서는 가격순으로 나타났다. 대략 20년을 기점으로 소량의 수익이 발생하나, 이익으로 전환되는 경우는

없다.

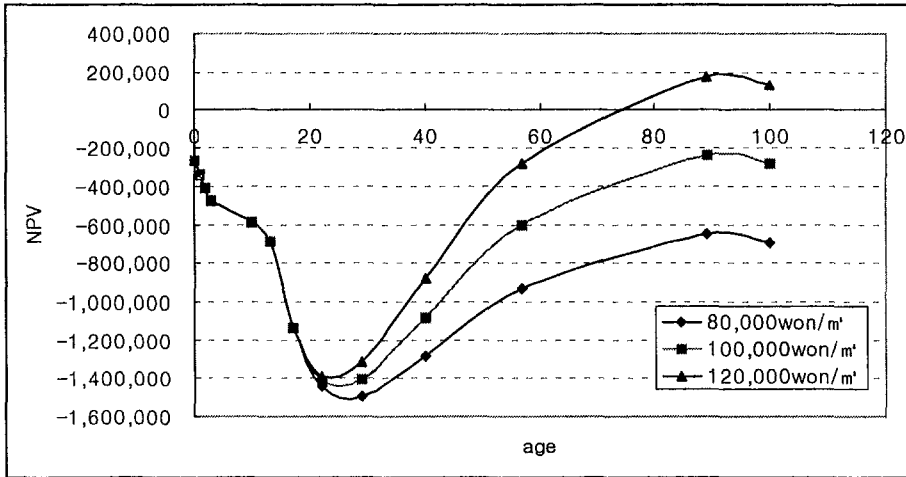


Fig. 5-23. NPV for thinning by different log prices in the felling area.

다) 할인율별 순현재가치

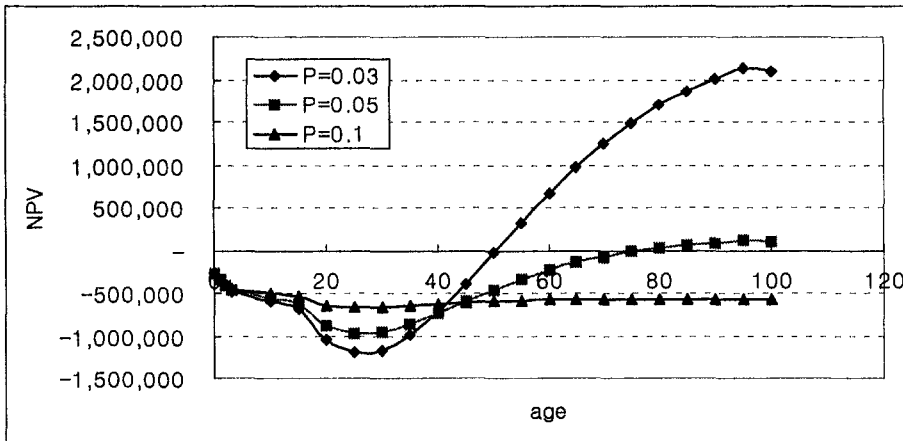


Fig. 5-24. NPV for thinning by discount rates.

Fig. 5-24는 5년주기, 산지원목가 100,000원/㎥, 조림자부담율 10%, 육림자부담율 20%로 고정한 후 각 할인율별 순현재가치를 나타낸 것이다. 할인율 0.03의 경우에는 많은 지출이 있지만, 대략 임령 50년부터 이익으로 전환되고 가장 많은 수익을 내고 있다. 그리고 대략 임령 40년경에 각 할인율별 수익의 순위가 바뀌고 있다. 대체적으로 할인율이 낮을수록 높은 수익을 낼 수 있다.

라) 자부담별 순현재가치

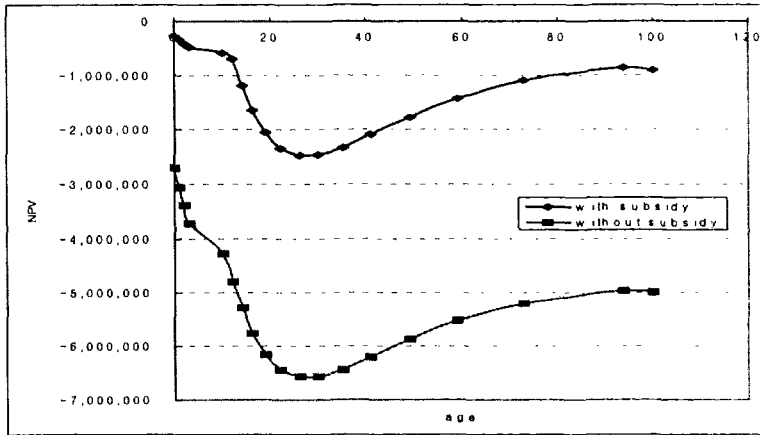


Fig. 5-25. NPV for thinning with and without subsidy.

Fig. 5-25는 1m-수고성장주기, 산지원목가 100,000원<sup>m<sup>3</sup></sup>, 할인율 0.03으로 적용했을 때, 조림자부담을 10%, 육림자부담을 20%로 적용한 경우와 100% 자부담으로 시업을 한 경우를 비교한 그래프이다. 두 곡선 모두 II에서 III 영급 사이에서 간벌수익이 발생하기 시작함을 알 수 있으나, 두 곡선사이의 차가 매우 큼을 알 수 있다.

나. 간벌과 주벌을 고려한 용재생산

1) 간벌강도별 경영분석

가) 간벌강도별 순현재가치

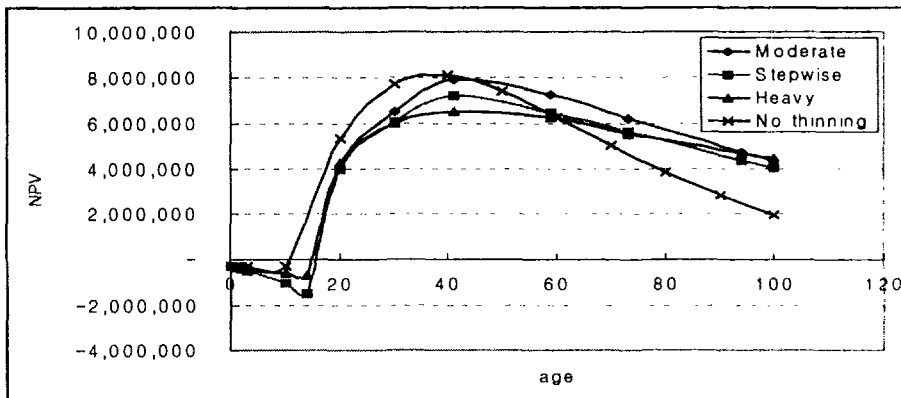


Fig. 5-26. NPV for thinning and final cutting by different thinning intensities.

Fig. 5-26은 할인율 0.03, 산지원목가 100,000원/㎡, 조림자부담 10%, 무육자부담 20%를 적용했을 때 각 시업강도별 간벌과 주벌의 순현재가치의 함을 나타낸다. 시업이 전혀없는 경우 초기에 간벌에 의한 반출이 없는 관계로 임지 전체에서의 성장량이 많아지게 된다. 따라서 초기의 순현재가치가 가장 높게 나왔으나, VI영급에서 그 가치가 다른 시업을 실시한 모델에 비하여 낮아짐을 알 수 있다.

나) 산지원목가별 순현재가치

Fig. 5-27은 단계적 간벌, 할인율 0.03, 조림자부담 10%, 육림자부담 20%를 적용했을 때 각 산지원목가별 순현재가치곡선이다. 산지원목가가 클수록 순현재가치가 큼을 알 수 있다.

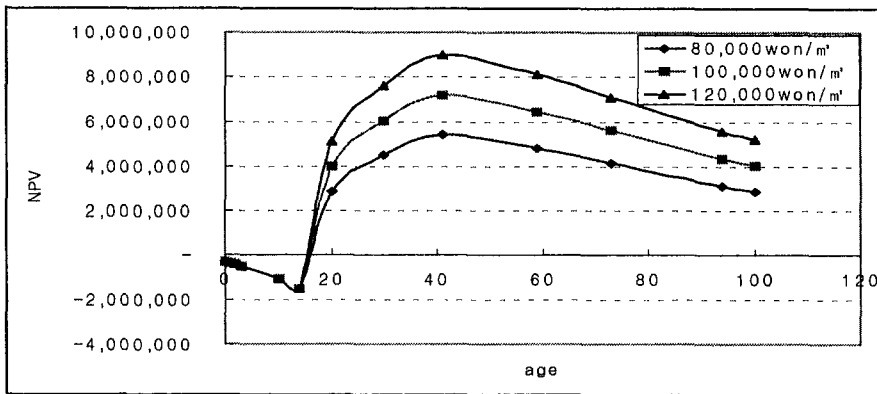


Fig. 5-27. NPV for thinning and final cutting by different log prices in the felling area.

다) 할인율별 순현재가치

Fig. 5-28은 단계적 간벌, 산지원목가 100,000원/㎡, 조림자부담 10%, 육림자부담 20%를 적용했을 때 각 할인율별 순현재가치곡선이다. 각 할인율별 가치의 차이가 매우 큼을 알 수 있고, 투자시기에는 높은 할인율이 이익이 많았으나, 이익으로 전환되는 시기 이후에는 할인율이 낮을수록 순현재가치가 큼을 알 수 있다. Fig. 10과 비교해 볼 때 직접적인 산지원목가보다 순현재가치에 미치는 영향이 할인율에서 크게 나타남을 알 수 있다.

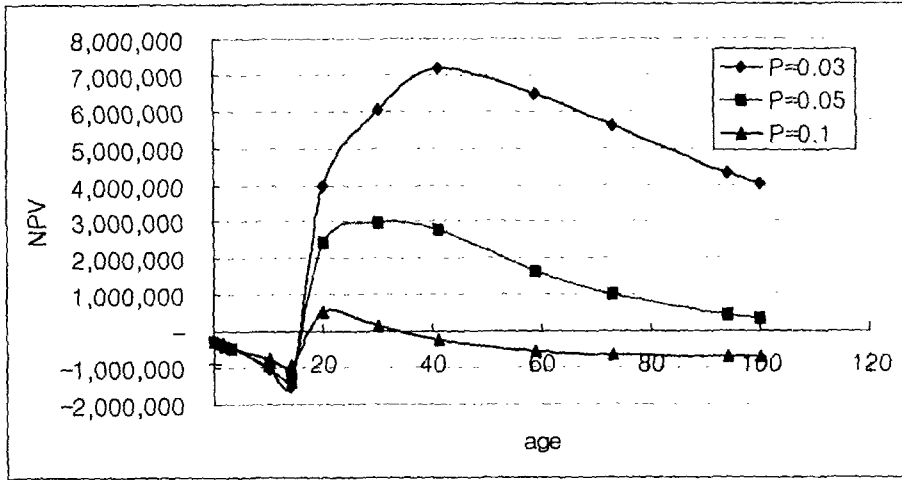


Fig. 5-28. NPV for thinning and final cutting by different discount rates.

라) 자부담율별 순현재가치

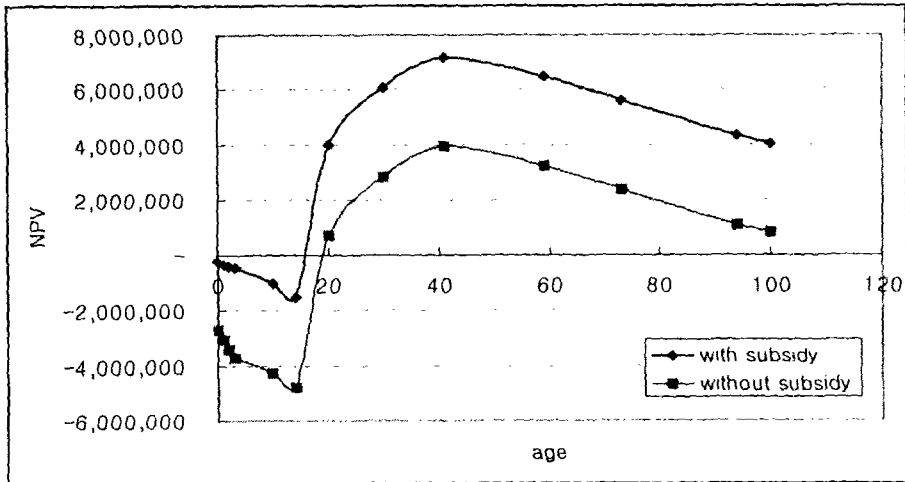


Fig. 5-29. NPV for thinning and final cutting with and without subsidy.

Fig. 5-29는 단계적 간벌, 산지원목가 100,000원/㎡, 할인율 0.03로 적용했을 때, 모든 시업을 자부담으로 한 경우와 조림자부담율 10%, 육림자부담율 20%를 적용했을 때는 순현재가치를 나타낸다. 해당임지에서 이익을 기대할 수 있는 시점은 크게 다르지 않았으나, 수익량에 미치는 영향은 큼을 알 수 있다.

2) 간벌과 주벌을 고려한 간벌주기별 경영분석

가) 간벌주기별 순현재가치

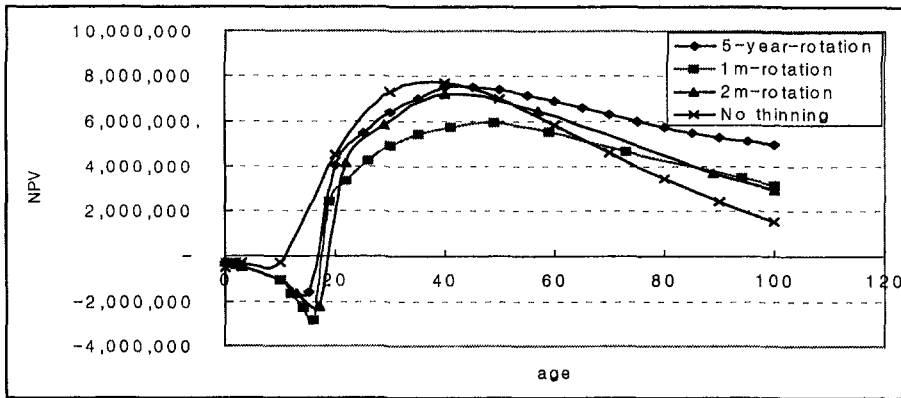


Fig. 5-30. NPV for thinning and final cutting by different thinning cycles.

Fig. 5-30은 산지원목가 100,000원/㎡, 할인율 0.03, 조림자부담율 10%, 무육자부담율 20%를 적용했을 때 간벌재와 잔존임목의 순현재가치곡선이다. 무간벌의 경우는 초기에 가장 높은 가치를 나타내지만, 장령림 이후 그 가치가 다른 주기에 비하여 떨어지며, 1m-수고성장주기는 초기에는 잦은 간벌로 인하여 가치가 떨어지지만 장령림 이후 회복됨을 알 수 있다. 5년주기와 2m-수고성장주기는 거의 비슷한 값을 보이다가 장령림 이후 5년주기가 순현재가치가 높아지고 있다.

나) 산지원목가별 순현재가치

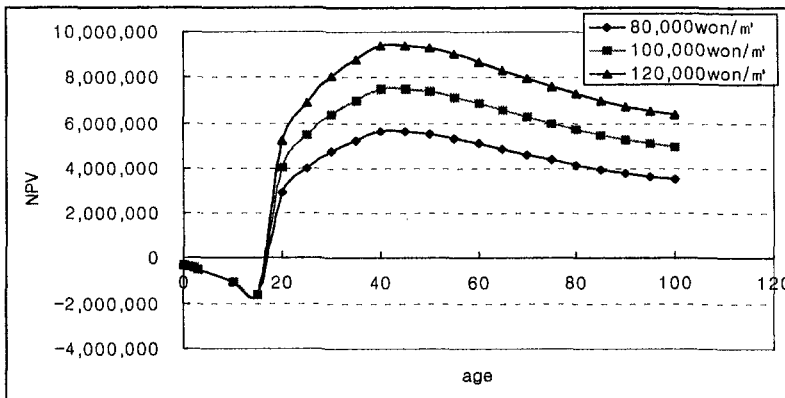


Fig. 5-31. NPV for thinning and final cutting by different log prices in the felling area.

Fig. 5-31은 5년주기, 할인율 0.03, 조림자부담율 10%, 무육자부담율 20%를 적용했을 경우 산지원목가에 따른 순현재가치곡선으로 산지원목가가 클수록 높은 순현재가치를 나타내고 있다.

다) 할인율별 순현재가치

Fig. 5-32는 2m-수고성장주기, 산지원목가 100,000원/㎡, 조림자부담율 10%, 무육자부담율 20%를 적용했을 경우의 각각의 할인율에 따른 순현재가치곡선이다. 할인율의 경우 순현재가치에 미치는 영향이 (Fig. 5-30), Fig. 5-31과 비교하여 다른 요소에 비해 훨씬 더 큼을 알 수 있으며, 할인율 0.1을 적용했을 경우는 산지에서 이윤을 남기기 위한 벌기령을 선택할 수 있는 폭이 매우 제한되어 있다.

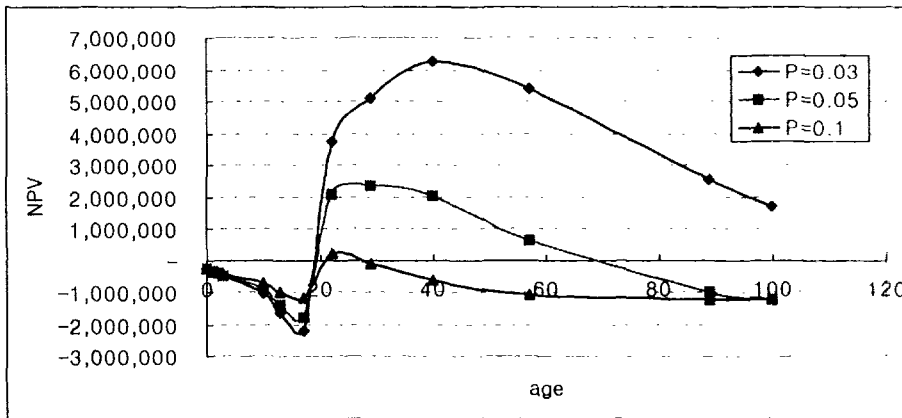


Fig. 5-32. NPV for thinning and final cutting by different discount rates.

라) 자부담율별 순현재가치

Fig. 5-33은 1m-수고성장주기, 할인율 0.03, 산지원목가 100,000원/㎡를 적용했을 경우 조림자부담율 10%, 무육자부담율 20%를 적용한 경우와 100% 자부담만으로 시업을 한 경우의 순현재가치곡선이다.

자부담율은 이익이 발생하는 벌기령에 도달하는 시점에는 큰 영향을 미치지 않지만, 발생하는 수익량에는 큰 영향을 미침을 알 수 있다.



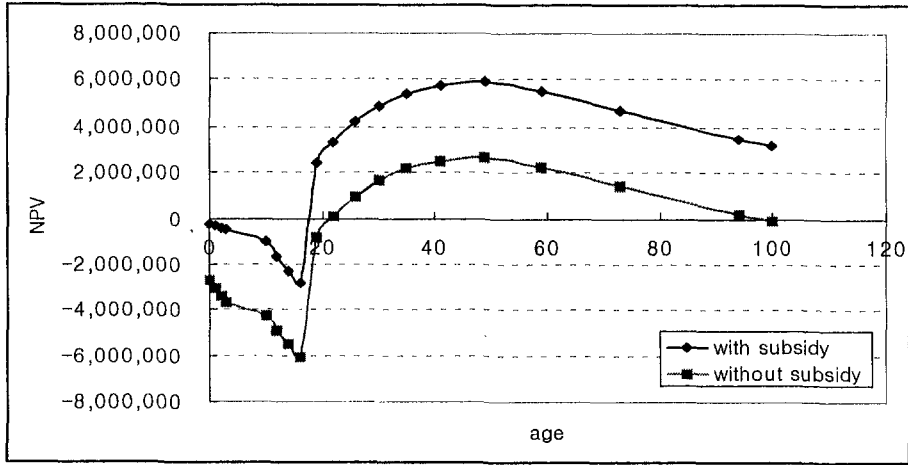


Fig. 5-33. NPV for thinning and final cutting with and without subsidy.

다. 일반 잣나무 임분에서의 잣과 용재 동시생산

1) 잣생산량

용재생산림에서의 잣생산량을 임령과 축적의 함수로 나타내었다. 우선, 임령별 잣수확량을 다음의 공식으로 계산하였다(임업경영형태별 성과조사, 임업연구원, 1982).

$$Y = -244.400 + 20.265 \cdot Z \dots\dots\dots (14)$$

Y=수확량, Z=임령

임령별 축적은 실제측정값으로 계산하였으며, 다음의 추산식을 산정하였다.

$$X = -15.62 + 7.53 \cdot Z \dots\dots\dots (15)$$

X=축적, Z=임령

위의 식 (14)와 (15)를 이용하여 다음과 같은 수확량과 축적과의 관계를 산출하였다.

$$Y = 2.691 \cdot X - 204.367 \dots\dots\dots (16)$$

위의 식 (14)과 (16)를 이용하여 최종의 식(17)을 유도하였다.

$$Y=1.346 \cdot X+10.133 \cdot Z-224.384 \dots\dots\dots (17)$$

임지에서의 용재생산은 수익간벌과 주벌에 의해서 발생되어진다. 주벌에 의한 수익이 벌채령에서 발생한다면, 간벌에 의한 수익은 벌기령 가운데 발생되어지는 것이다. 간벌은 간벌량과 간벌주기에 결정되어지며, 간벌강도는 해당 간벌시 반출되는 양을 결정한다. 따라서 간벌강도가 강해질수록 간벌량은 많아지지만, 임지에 남는 양은 줄어들어 차후 생장의 기본 대상이 줄어드는 것이다.

### 2) 간벌강도별 잣생산의 순현재가치

Fig. 5-34는 피잣가격 8,000원/kg, 잣생산비 2,000원/kg, 할인율 0.03으로 했을 경우의 간벌강도별 순현재가치곡선이다. 간벌강도가 낮을수록 잣생산의 순현재가치가 높음을 알 수 있다.

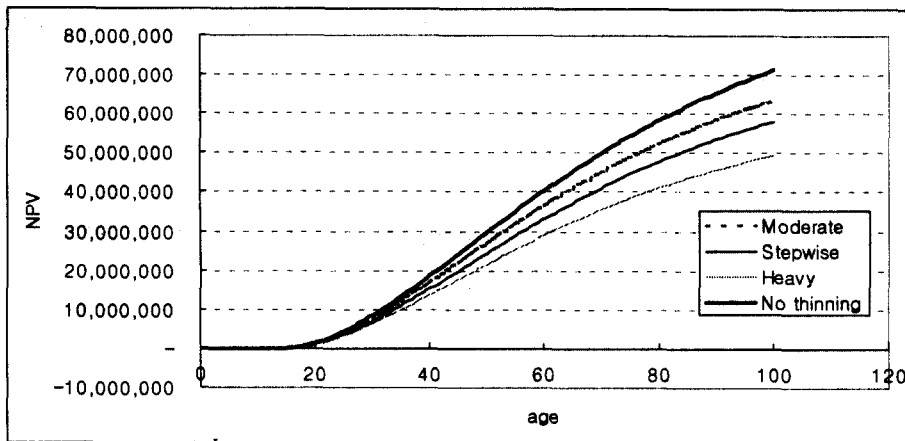


Fig. 5-34. NPV for cone production by different thinning intensities.

### 3) 간벌주기별 잣생산의 순현재가치

Fig. 5-35는 간벌강도  $\lambda=0.15$ , 할인율 0.03, 피잣가격 8,000원/kg, 잣생산비 2,000원/kg으로 보았을 때 간벌주기에 따른 잣의 순현재가치를 나타낸다. 주기별로는

시업을 하지 않았을 때가 가장 많은 잣을 생산할 수 있었고, 1m-수고성장주기와 5년주기가 거의 비슷하게 가장 작은 생산을 기대할 수 있었다. 간벌주기가 길수록 더 많은 생산을 할 수 있는 것으로 나타났다.

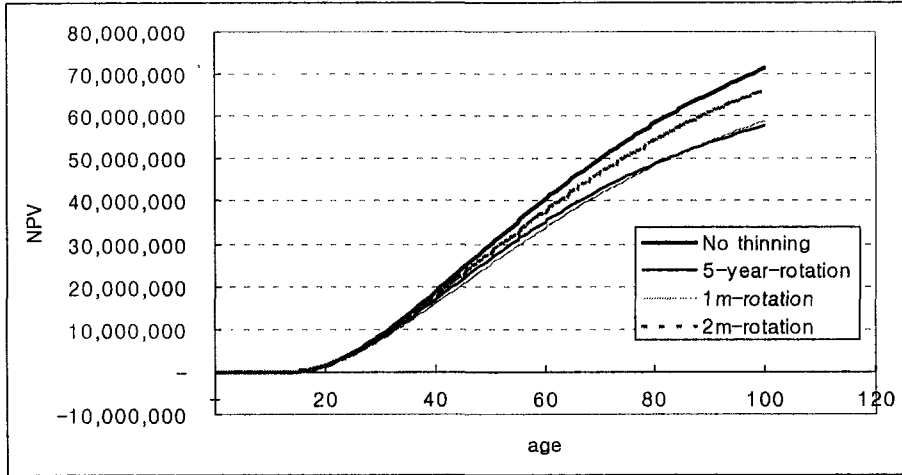


Fig. 5-35. NPV for cone production by different thinning cycles.

## 라. 다수확품종림에서의 잣생산

### 1) 잣생산량

다수확품종림에서의 잣생산량은 다수확 후보목으로 구성된 채종원의 연별 조성면적 및 피잣생산량 자료로부터 식(10)과 같이 잣생산량( $W$ )을 임령( $A$ )의 함수로 나타내었다. SAS의 회귀분석 결과 계수  $a$ 가 4456.892262 (Prob  $>|t|$  = 0.0001),  $b$ 가 -82.322276 (Prob  $>|t|$  = 0.0001)과 같이 추정되었으며 0.0001의 유의수준에서 통계적으로 유의한 것으로 판단되었다. 또한, 식의 적합성을 나타내는 결정계수도 0.7508로 비교적 높게 나타났다. 임령 30년일 때의 잣생산량을 잣생산지수(PI)로 하여 잣생산량을 추정하면 조사된 잣나무생산량의 변이폭을 설명할 수 있는 것으로 나타났다 (Fig. 5-36).

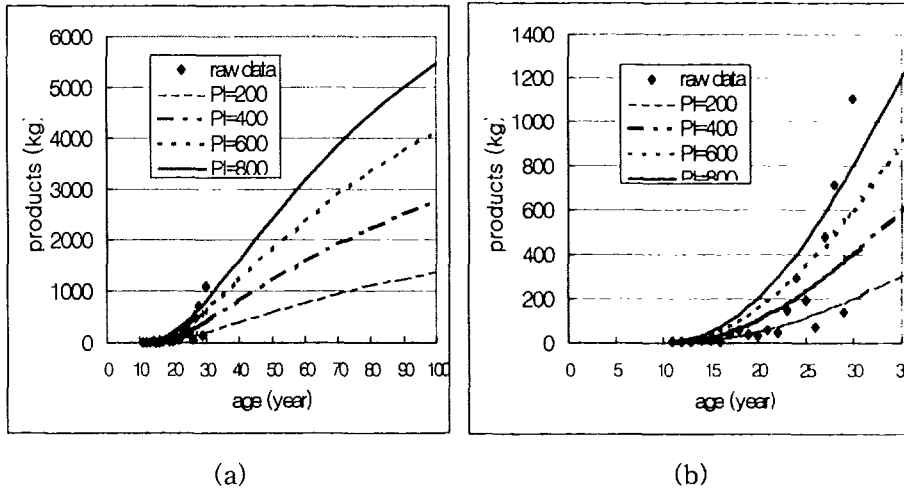


Fig. 5-36. Cone Production observed and for Production Index(PI).

2) 잣생산성지수(PI)별 수익성분석

Fig. 5-37은 할인율 0.03, 조림자부담율 10%, 육림자부담율 20%, 잣생산비 2,000원/kg, 피잣가격 8,000원/kg으로 고정시켰을 때 PI(생산성지수)에 따른 순현재가치를 보여준다. PI가 높을수록 순현재가치가 높게 나타나며, 해당임지에서 이익으로 전환되는 시점도 빨라짐을 알 수 있다.

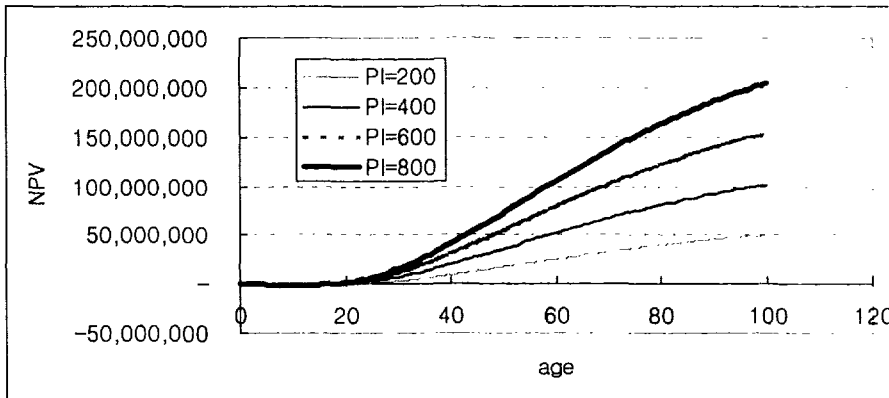


Fig. 5-37. NPV for cone production by different Production Index(PI).

### 3) 할인율별 순현재가치

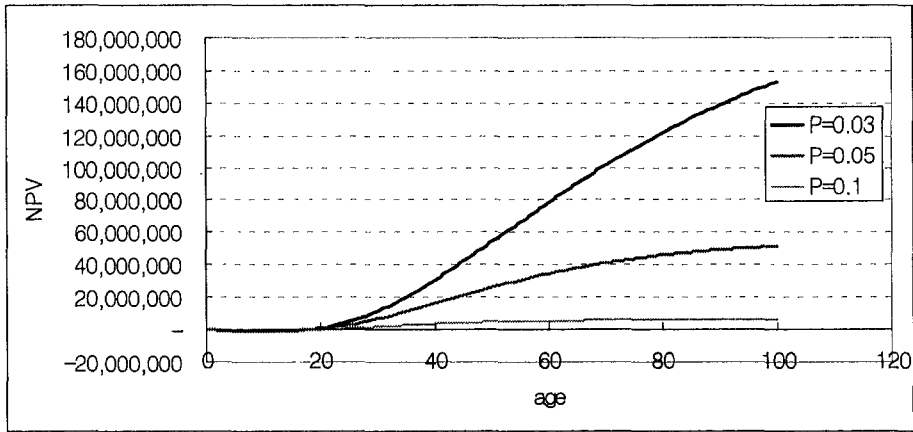


Fig. 5-38. NPV for cone production by different discount rates.

Fig. 5-38은 잣생산비 2,000원/kg, 피잣가격 8,000원/kg, PI=600, 조림자부담 10%, 육림자부담 20%로 고정시켰을 때 각 할인율별 순현재가치를 나타낸다. 할인율별로 해당임지에서 이익으로 전환되는 시점은 17년에서 21년으로 거의 비슷하게 나타났지만, 전환 후 순현재가치의 차이가 매우 크게 나타났다.

### 4) 자부담율별 순현재가치

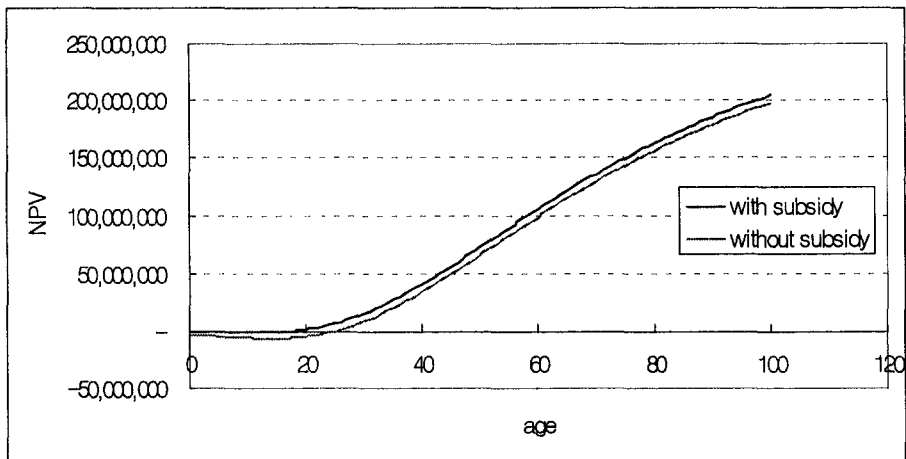


Fig. 5-39. NPV for cone production with and without subsidy.

Fig. 5-39는 할인율0.03, 잣생산비 2,000원/kg, 피잣가격 8,000원/kg, PI=600으로

고정시켰을 때 자부담만으로 시업한 경우와 조립 10%, 육림 20%의 자부담을 적용하였을 경우의 차이를 보여준다. 보조를 받은 경우와 자부담만으로 시업한 경우 해당임지에서 이익으로 전환되는 시점이 10년(보조 19년, 자부담 29년)차이가 났고, 같은 연도의 경우 대략 6,000,000원 정도의 차이를 유지하고 있다. 그러나 순수용재생산에 비하여는 그 차이가 적게 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 경기도 및 강원도지역 잣나무림을 대상으로 관리형태별 경영분석을 실시하였다. 수익요소로는 용재와 종실(잣)의 판매가를 적용하였고, 비용요소로는 조림, 육림, 벌채(간벌과 주벌) 시에 소요되는 비용을 적용하였다. 생산물가격(용재가격, 종실가격), 할인율, 시업에 있어서의 자부담율, 시업강도와 주기 등의 변화에 따른 수익성을 분석하였다. 경영목적에 일반조림지에서의 용재생산, 용재와 잣생산, 다수확품종림에서의 잣생산 등으로 구분하여 수익성 분석을 수행하였다.

첫번째는 용재생산만을 목적으로 한 경우로서, 용재생산에서의 수익은 수익간벌과 주벌로 이루어지며, 강도 및 주기에 따라 순현재가치를 분석하였다. 시업연도에 있어서는 그 임지에 대하여 간벌수익, 간벌과 주벌수익에 대한 순현재가치를 분리하여 조사하였다. 용재생산만을 대상으로 한 경우, 산지조제는 높을수록, 할인율과 자부담율은 낮을수록 수익을 기대할 수 있었고, 위의 요소를 고정시킨 후 시업방법에 따른 순현재가치는 간벌수익만을 고려했을 경우, 간벌강도가 강할수록, 시업주기가 길수록 수익을 기대할 수 있었다.

두 번째는 용재생산을 위한 임분에서의 잣생산을 목적으로 한 경우로서, 잣생산량을 임령과 축적의 함수로 추정하였다. 이 경우 축적은 잣생산을 위한 기본재료의 양을 나타내므로, 시업강도와 주기에 따라 영향을 받게 되었다. 시업의 강도가 낮을수록, 시업주기가 길수록 높은 이윤의 창출을 기대할 수 있었다. 즉 용재림에서의 잣생산량은 시업이 이루어지지 않아 현 임지의 축적이 높을수록 잣생산량은 극대화 될 수 있었다.

세 번째는 다수확품종림에서의 잣생산을 목적으로 한 경우로서 이 경우에 용재생산은 고려하지 않으며, 임분의 무육관리비는 잣생산비에 포함되게 된다.

이 경우 무육관리비가 잣생산비에 포함되므로 이를 충당할 만큼의 잣생산이 추가적으로 더 이루어져야 한다. 잣생산량을 나타내는 생산성지수가 높을수록 수익이 보장됨을 알 수 있다. 또한 할인율과 자부담율이 낮을수록 수익을 기대할 수 있었다.

위의 세가지 각각의 경영목적에 따른 관리 형태를 보았을 때, 해당임지에서의 용재생산에 의한 수익은 잣생산에 의한 수익에 비하여 매우 적은 양을 차지함을 알 수 있다. 그 예로 조림 및 무육 자부담율에 따른 순현재가치를 보았을 경우, 용재생산의 경우 자부담율에 따른 순현재가치곡선이 매우 큰 차이를 보이지만, 순수잣생산만을 목표

로 한 경우는 그 영향이 매우 적음을 알 수 있다 (Fig. 5-22). 그러나 할인율과 같이 잣생산과 용재생산 모든 부문에 영향을 미치는 요소는 두 경우 모두 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이와 같이 잣나무 임지에 대한 경영분석을 할 경우 잣이 그 수익의 대부분을 차지함에도 불구하고 현재 우리나라의 잣나무임지에 대한 사업모델의 경우는 다른 수종들과 마찬가지로 용재생산을 위한 모델만이 시책으로 정해지고 있다. 따라서 현지에서 잣을 채취하는 채집상들의 경우 정아를 제거한 후 채집을 용이하게 한 왜성의 잣나무림으로의 유도를 원하지만, 해당기관에서는 그러한 정아의 제거를 엄격히 방지하고 있다. 즉 수종에 따라 고유한 사업방법이 적용되는 것이 아니라, 전통적인 용재생산을 위한 사업법을 전임지에 적용함으로써, 각 임지별 특색과 수익성을 살리지 못하는 것이다.

다수확품종림에서의 순수잣생산은 무육비에 대한 부담에도 불구하고 높은 잣생산량이 보장될 경우 수익성은 높은 것으로 판단되었다. 보조율 및 할인율에 대한 반응은 역시 민감했으며, 조림 및 무육사업에 대한 보조가 있는 상태에서 할인율이 3%가 되어야 비교적 높은 수익성이 보장되는 것으로 나타났다.

따라서 순수 잣생산을 위한 다수확품종림의 수익성 및 실현가능성을 높이기 위해서는, 현재 일반 용재생산에서와 같은 정부지원책 및 제도가 마련 또는 유지되어야 할 것으로 판단되었다.



## 5. 요약

본 연구에서는 경기도와 강원도지역 잣나무림을 대상으로 산주의 경영목적에 일반조림지에서의 용재생산, 용재와 잣생산, 다수확품종림에서의 잣생산 등으로 구분하여 각 경영목적에 따른 관리형태별 경영분석을 실시하였다.

수익요소로는 용재와 종실의 생산을 적용하였고, 비용요소로는 조림, 육림(풀베기, 어린나무가꾸기), 벌채(간벌과 주벌)를 적용하였으며, 수익성은 생산물가격, 할인율, 시업에 있어서의 자부담율, 시업강도와 주기 등을 달리 적용한 순현재가치(Net Present Value: NPV)로 나타내었다.

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{R_i - C_i}{1.0p^i}$$

$R_i$  : 수익,  $C_i$  : 비용,  $p$  : 할인율,  $i$  : 분기

본 연구에서의 가격은 현실가를 기준으로 적용하였으며, 비용에 영향을 미치는 할인율과 자부담율도 현재 적용되는 비율을 기준으로 적용하였다.

관리방법에 있어 다양한 시업주기 및 강도를 적용하고, 여러 현실가 및 할인율, 자부담율을 적용하여, 각 요소들이 순현재가치에 미치는 영향을 구체적인 수치로 나타내 본 결과, 본 연구에서는 실제 산주가 산림경영계획의 의사결정에 있어 의사결정을 위한 예측 도구로서 이용될 수 있도록 하였다.

용재생산만을 목적으로 한 경우에는 산지원목가가 높을수록, 할인율과 자부담율은 낮을수록 높은 수익을 기대할 수 있었고, 위의 요소가 고정된 경우에는 간벌강도가 강하고, 시업주기가 길수록 높은 수익을 기대할 수 있었다.

용재림에서의 용재와 잣을 생산하고자 한 경우에는 주수익은 잣에서 창출되고, 잣생산량은 임령과 축적에 영향을 받으므로, 시업의 강도가 낮고 시업주기가 길수록 높은 수익을 기대할 수 있었다.

다수확품종림에서의 순수잣생산만을 목적으로 한 경우에는 잣생산생지수가 높을수록, 할인율과 자부담율이 낮을수록 높은 수익을 기대할 수 있었다.

그러나 잣나무림의 경우 주수익의 대부분은 잣생산이 차지함에도 불구하고 현재 우

리나라의 잣나무림에 대한 시업모델의 경우는 다른 수종들과 마찬가지로 용재생산을 위한 모델만이 시책으로 정해져 있어, 잣나무림의 특색과 수익성을 살리지 못하고 있으며, 발생하는 수익도 용재림과 같은 수준의 정부보조와 3%의 낮은 할인율을 적용했을 때만이 높게 기대될 수 있다. 따라서 순수 잣생산을 위한 다수확품종림의 수익성 및 실현가능성을 높이기 위해서는 현재 일반 용재생산에서와 같은 정부지원책 및 제도가 마련되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- 농림부. 2001. 2001년도 농림사업시행지침-임업 및 산촌구조개선 5(5). 농림부.
- 박태식·김동춘·권오복·이만우·이상식·이여하·조웅혁·강성열·정영관·변우혁·우정춘. 1992. 임업경영학. 향문사. pp38~39.
- 변우혁·이우균·윤광배. 1990. 수간석해 전산프로그램 개발 및 성장량 계산방법의 비교에 관한 연구. 한국임학회지 79(1) : 1-15.
- 산림조합중앙회. 2001. 2001 산림사업계획. 산림조합중앙회
- 산림조합중앙회. 2001. 2001년도 산림조합 예산편성지침. 산림조합중앙회. pp47.
- 이우균, 독고세준, 변우혁. 1998. 위치종속산림조사용 산림정보분석시스템(FIAS1.5) 개발. 한국산림측정학회지 1(1): 37~49.
- 이우균, 변우혁, 윤성민. 1998. 영림계획의 방법론적 고찰. 산림경제연구. 6(1):84~97.
- 이우균. 1995. 산림사업의 지속성을 위한 동적 지역산림경영모델. 산림경제연구 3(1): 71-98.
- 이우균. 1996. 산림경영계획의 방법론적 고찰:I. 산림조사와 산림성장모델. 자연자원 연구 4:29-48.
- 이우균. 1996a. 위치종속임분조사에 의한 개체목의 경쟁지수 및 흉고직경 성장추정. 한국임학회지 85(3): 539~551.
- 이우균·서정호·손요환·김진수. 2000. 가평지역 잣나무임분의 동적 성장 및 경영모델. 한국산림측정학회지 3(1):10-21.
- 임업연구원. 1982. 임업경영형태별 성과조사. 임업연구원.
- Biging, G. S., M. Dobbertin. 1995. Evaluation of competition indices in individual tree growth models. Forest Science 41(2): 360-337.
- Davis, L. S., K. N. Johnson. 1987. Forest management. McGraw-Hill, Inc. 790pp
- Dr. Horst Kramer 저. 변우혁·이우균·배상원 역. 1996. 산림생장학. 유천미디어
- Gadow, K. von. 1987. Untersuchungen zur Konstruktion von Wachstumsmodellen für schnellwüchsige Plantagenbaumarten. Forstl. Forschungsberichte München 77.
- Gadow, K. von. 1992. Wachstums- und Ertagsmodelle für die Forsteinrichtung.

- Deutscher Verband Forstl. Forsch. Anst., Sektion Ertragskunde. Jahrestagung  
in Grillenberg.
- Gadow, K. von., G.Y. Hui. 1993. Stammzahlentwicklung und potentielle  
Bestandesdichte bei *Cunninghamia lanceolata*. Cbl f.d. ges. Forstw.  
110(2):41~48.
- Kramer, H. 1988. Waldwachstumslehre. Verlag Paul Parey. 374pp.
- Kramer, H., A. Akça. 1995. Leitfaden zur Waldmesslehre. J.D. Sauerlaender's  
Verlag. 266pp
- Kramer, H. 1988. Wachstumslehre. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- Kramer, H., A. Akça. 1987. Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur.  
J.D. Saurländer's Verlag, Frankfurt am Main.
- Lee, W. K., K. V. Gadow. 1997. Iterative selection of competitor trees in *Pinus  
desiflora* stands. AFJZ 168(3/4): 41-45
- Lee, W. K. 1993. Wachstums- und Ertragsmodelle für *Pinus desiflora* in der  
Kangwon-Provinz, Korea, Dissertation, Göttingen.
- Lee, W. K. 1994. Statische und dynamische Wachstumsmodelle auf der Grundlage  
einmaliger Probeflächenaufnahmen am Beispiel von *Pinus densiflora* in  
Korea, AFJZ: 165 Jahrgang, Heft 4:69~76.
- Nicke, A. 1989. Beitrag zur Modellierung der Bestandesentwicklung. Dissertation,  
Dresden.
- Reineke, L. H. 1933. Perfecting a stand density index for even aged forests. J.  
Agric. Res. 46:627~638.
- SAS Institute Inc. 1988. SAS/STAT Software Version 6.03
- Vanclay, J. K. 1994. Modelling forest growth and yield. Cab International
- Wenk, G. 1990. Waldertragslehre. Berlin.