

천연활엽수림내 잣나무(*Pinus koraiensis*) 수하식재 성적 평가\*  
김지홍<sup>1)</sup> · 강성기<sup>1)</sup>

The Evaluation for the Performance of *Pinus koraiensis*  
Underplanting in the Natural Deciduous Forest\*

Ji Hong Kim<sup>1)</sup> and Sung Kee Kang<sup>1)</sup>

요 약

이 시험 연구는 울폐된 천연활엽수림 내에 수하식재한 2-2 잣나무 묘목의 생육 성적을 평가하기 위하여 실시되었다. 식재 후 7년 동안의 생존률과 생장에 대하여 상층 임관의 효과가 평가되었다. 7년생 잣나무 치수의 활착율은 약 80%로 조사되었으며, 평균 수고는 0.9m, 최소치는 0.3m, 최고치는 2.1m로 측정되었고, 평균 근원경은 1.7cm, 최소치는 1.4cm, 최고치는 3.5cm로 조사되었다. 개별 후, 인공 조림한 잣나무의 생육 상황과 비교해 볼 때, 이 시험에서 수하식재된 잣나무 치수의 생육 상황은 공한지 인공 조림목에 비해서 매우 열등하여, 수고는 약 30%, 직경은 약 20%에도 미치지 못하는 것으로 파악되었다. 내음성이 있는 잣나무 치수라 할지라도 정상 생육하기에 상층의 울폐도가 너무 높다고 판단된다. 잣나무의 정상적인 생장과 발달을 위해서는 천연림 보육 작업에 준하는 벌채를 통하여 우량 활엽수를 잔존시키면서 50% 이상의 상층 임관을 열어 주어 광선 조건을 개선시켜야 할 것이다.

ABSTRACT

The experimental study was carried out to evaluate the performance of underplanted *Pinus koraiensis* 2-2 seedlings in the closed canopy natural deciduous forest. Overstory density effects on seedling survival and growth were assessed 7 years after underplanting. Seedling survival rate was 80%, average height was 0.9m with minimum of 0.3m and maximum of 2.1m, and average diameter at butt end was 1.7cm with minimum of 1.4cm and maximum of 3.5cm. Compared with the growth rate of the pine plantation after clearcutting, the growth performance of underplanted pine seedlings was so poor that the height growth was less than 30% and diameter growth was less than 20%. Even though the *Pinus koraiensis* seedlings would be shade tolerant, the establishment and performance of underplanted *Pinus koraiensis* seedlings could be promoted by more than 50% of canopy regulation that provide adequate light at the forest floor and should exhibit a strong positive response following overstory removal by tending operation.

**Key words :** *Pinus koraiensis*, Underplanting, Natural deciduous forest, seedling performance, understory light.

\* 이 논문은 2005년도 강원대학교 산림과학연구소의 학술연구지원사업에 의해서 수행되었음.

1) 강원대학교 산림과학대학 : College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon, 200-701, Korea. kimjh@kangwon.ac.kr

## 서 론

수하식재는 기존의 임분 피복 상태를 유지하면서 산림의 수직적인 구조를 복층으로 유도하기 위해서 임상에 인위적으로 식재하는 시업 방법이다. 산림 수확의 연속성 및 우량 형질의 소·중·대경재를 동시에 생산하고 풀베기 등 산림 보육 경비를 절감하며 지력의 유지 증진 및 재해 방지와 공익 기능을 증대시켜 산림의 건전성 확보와 이상적인 산림 형태를 조성하기 위한 것이 수하식재 시업의 일차적인 목표이다. 수하식재된 임목은 보다 나이 많은 큰 상층임목의 보호 아래에서 생육을 시작하고, 하층을 벗어나서 생장이 지속되어 생육 공간을 최대한으로 이용해야 하는 시기에 도달하면 상층목이 벌거되고 주림목의 위치에 도약하게 된다. 임분의 수직적 구조를 보다 복잡하게 만드는 수하식재 시업은 이단림작업법을 적용하고자 할 때 보편적으로 도입한다(Matthews, 1989).

특히 상층 수종과 다른 수종을 하층에 수하식재하여 이령혼효림을 조성한다면 여러 가지 면에서 생태적으로 바람직한 임분 조성 방법이다. 하층에 식재되는 수종의 일차적인 요구 조건은 그늘에서 정상적인 생육이 가능한 내음성을 갖추는 것이기 때문에, 가장 성공적인 혼효 형태는 생장이 빠른 양수 임목의 하층에 내음성이 강한 음수를 도입하여 조화를 이루는 것이다(Kim, 2003). 북미 대륙에서의 시험에 의하면(Smith 1989), 수고 생장이 빠르고 수관 율폐도가 비교적 낮은 잎갈나무류, 소나무류, 사시나무류 등의 선구 수종 상층 임관 아래에 천이 후기 수종이며 내음성이 강한 가문비나무류, 솔송나무류, 사탕단풍나무 등을 하층에 식재하여 좋은 결과를 얻은 것으로 보고하였고, 함께 생육하는 상층목의 수종에 따라서 중간 내음 수종인 Douglas fir 혹은

잣나무류를 수하식재하여 좋은 결과를 얻었다.

우리나라에서는 천연활엽수림 하층에 청설모 등의 동물들이 인근의 잣나무림에서 잣을 먹이로 채취하여 활엽수림내로 운반하여 산포함으로써 잣나무 유령림이 발생한 사례가 보고된 바 있다(김지홍 등, 1999; 김광택 등, 2000; 이원섭, 2002). 잣나무는 천연림 상태에서는 순림을 이루는 경우는 드물고 주로 활엽수 또는 침엽수들과 함께 혼효림을 이루고 있으며 특히 잣나무-신갈나무림이나 잣나무-피나무림을 잘 이룬다(Li 등, 1989), 이러한 연구 결과 들은 참나무가 주종을 이루는 활엽수림 하층에 잣나무의 생육 조건이 조성될 수 있다는 것을 시사함으로써, 활엽수-잣나무 혼효림의 조성 가능성을 보여주는 것이다.

이 연구는 참나무류가 주종을 이루는 활엽수림에 잣나무 묘목을 수하식재한 시험지를 대상으로 네 차례에 걸친 생육 상황을 조사하였다. 아직은 산림 시업 현장에서 널리 이용되는 방법은 아니지만, 복층림 유도를 위한 잣나무 수하식재의 생태적인 속성을 파악하고 조림학적인 진단을 내리기 위한 것이 이 연구의 기본 목적이다.

## 연구 방법

1994년 4월에 강원도 인제군 용대리 천연활엽수 국유림 1ha 하층에 잣나무 2-2묘를 1.8m × 1.8m 정방형으로 약 3,000그루를 식재하였다. 식재 전 상층림의 구성은 소나무림이 쇠퇴하면서 침입한 참나무류 위주의 활엽수림이었으며, 수하식재를 위한 상층 임관의 조절은 있었으나, 잣나무 조림목의 생육에 영향을 미칠 정도가 아닌 미미한 수준이었다. 시험 사업 당시에 조사한 입지 조건은 표 1과 같다.

표 1. 잣나무 수하식재 시험지 지황.

방위	경사	토양	토심	건습도	지리	지위	지형	표고
남서	급	사양토	중	건	Ⅲ	하	산복	300-350m

수하식재 후 이듬해 일반조림지와 동일한 방법으로 고휘 복합비료 2개씩을 측공 시비하였고, 식재 후, 5년간 줄베기 방법으로 풀베기를 실시하였다. 1995년, 1998년, 2000년, 2001년에 활착률, 근원경, 수고 등의 생육 상황을 조사하였다.

2001년 생육 상황 조사시, 상층 임관의 대표성을 보일만한 장소에서 10m × 10m 정방형 표본구 5개를 설치하여 산림의 군집생태적 지표와 임분 구조를 파악하였다. 상층 임관의 군집생태적 지표는 Brower와 Zar(1977)가 제시한 방법에 의하여 상대밀도(Relative density), 상대빈도(Relative frequency), 상대피도(Relative coverage)로 표현되는 중요치(Importance value)를 산출하고, 3으로 나누어 백분율로 표시하여 수종 구성을 파악하였으며, 여기서 피도는 흉고단면적으로 산출하였다. 다음은 중요치 산출 공식이다.

$$IV_i = \frac{RDi + RFi + RCi}{3} (\%)$$

IV<sub>i</sub> : 수종 i의 중요치

$$RDi = \frac{Ni}{\sum N} (\%), \quad RFi = \frac{Fi}{\sum F} (\%),$$

$$RCi = \frac{Ci}{\sum C} (\%)$$

RDi : 수종 i의 상대밀도

RFi : 수종 i의 상대빈도

RCi : 수종 i의 상대피도

N<sub>i</sub> : 수종 i의 개체수

F<sub>i</sub> : 수종 i의 빈도

C<sub>i</sub> : 수종 i의 피도

∑N : 모든 수종의 총 개체수

∑F : 모든 수종의 빈도의 합계

∑C : 모든 수종의 피도의 합계

상층 임관의 임분 구조는 잣나무의 생육에 많은 영향을 미칠 것이라는 가정 아래에, 5개의 표본구에 출현하는 수고 1m 이상되는 모든 임목을 대상으로 조사된 재원을 바탕으로 평균직경, 평균수고, 평균수관폭, 그리고 단위 면적당 임목수를 산출하였다(김갑태와 김지홍, 2001).

## 결과 및 고찰

### 1. 상층림의 수종 구성 및 임분 구조

어떤 특정한 산림군집의 수종 구성 상태는 그 군집이 처해 있는 여러 가지 복합적인 요소들의 상호작용에 의해서 결정된다. 산림천이의 진행 상태, 토양과 미세지형의 성격, 미세기후의 다양함, 인위적 혹은 자연적인 교란 양상 및 빈도 등이 산림군집의 수종 구성 상태를 결정짓는 중요한 요소들이다(김지홍 등, 1993). 수종 구성의 생태적 정보들은 산림 보육, 수확 별채, 갱신으로 이어지는 실질적인 산림 시업 적용에 이용된다.

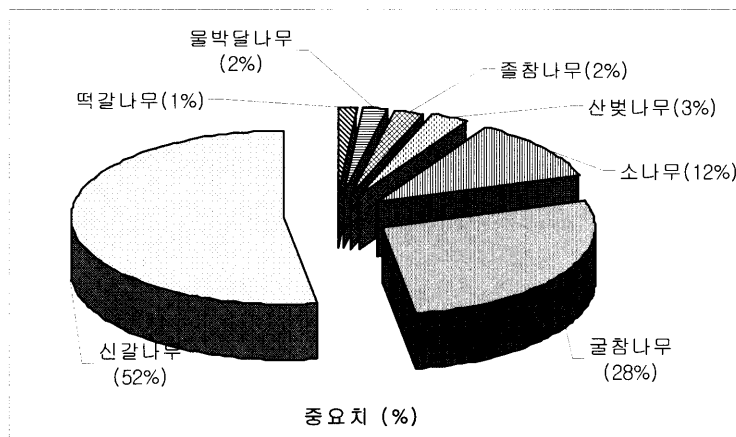


그림 1. 상층 임관의 수종별 중요치 비율.

표 2. 상층 임관의 수종별 평균 직경, 수고, 수관폭 및 단위면적당 임목수.

수 종 명	평균직경 (cm)	평균수고 (m)	평균수관폭 (m)	본 수/ha
굴참나무	11.1	8.9	3.0	450
떡갈나무	10.2	6.2	2.5	25
물박달나무	6.5	9.5	2.6	50
산벚나무	10.3	9.0	5.1	50
소나무	19.8	12.7	3.9	75
신갈나무	8.5	7.3	2.8	1,100
줄참나무	16.5	10.0	5.5	25

표본구내에 출현하는 상층 수종에 대한 상대밀도, 상대빈도, 흉고단면적 기준 상대피도에서 산출된 중요치의 백분율을 그림 1에, 그리고 평균 직경, 수고, 수관폭 및 ha당 임목수를 표 2에 각각 나타내었다. 표본구에서 조사된 상층목은 4개의 참나무류와 산벚나무, 물박달나무, 그리고 소나무 등 모두 7개의 수종으로 구성되어 있었다.

신갈나무의 중요치가 52%로 산출되어 시험 대상 산림에서는 가장 우세한 세력을 떨치고 있으며, 그 다음으로 굴참나무, 소나무, 산벚나무의 순으로 우점도가 높게 나타났다. 이 산림은 참나무류 4가지 수종의 중요치가 83%이상을 나타내어 참나무림으로 분류된다.

중요치로 표현되는 수종 구성과 표 2에 제시된 임분 구조를 면밀히 살펴보면, 시험 대상 산림의 과거와 미래의 임분 상태의 대체적인 추정이 가능하다. 즉 평균직경 약 20cm의 소나무와 약 17cm의 줄참나무가 수십년 전에 상당한 세력을 떨치고 있었다. 그 동안 산림 이용의 내력이 말해 주듯이, 산불 혹은 인위적 벌채 등의 교란 요인에 의하여 상당수가 제거되었고, 임내의 미세환경의 변화로 인하여 번식력과 재생력이 강한 신갈나무의 맹아수가 ha당 1,000그루 넘게 번성하게 되어 제1의 우점종의 자리를 차지하게 된 것으로 추정한다(표 2). 비록 직경은 작으나 어느 정도 내음성을 갖춘 신갈나무는 중층 이하에서 생육을 지속할 것이고, 소나무 혹은 다른 임목이 쇠퇴하여 생기는 숲틈을 매우면서 굴참나무와 더불어서

한 동안 우세종의 역할을 담당할 것이다.

표 2에 나타내었듯이, 상층목의 단위 면적당 임목수는 1,775그루로 집계되었다. 잣나무의 유령목은 어느 정도의 내음성은 갖추어 하층에서 생존이 가능하나, 성장기간 동안 울폐되는 상층목의 그늘 아래에서 생육하기 위해서는 광선보상점을 능가할 수 있는 광량이 필수 조건이다. 이러한 문제에 대해서는 수하식재된 잣나무의 생육 상황에서 고찰하기로 한다.

## 2. 수하식재 잣나무의 생육 상황

전술한 상층림의 하층에 수하식재한 잣나무의 1년생(1995년), 4년생(1998년), 6년생(200년), 7년생(2001년)의 수고, 근원경 그리고 활착률을 조사하여 표 3에 요약하였다. 그리고 수하식재 잣나무의 연도별 수고 성장 변화와 근원경 성장의 변화를 각각 그림 2와 3에 도시하였다. 상층 활엽수림의 울폐도를 유지하고 있는 상태에서 수하식재한 잣나무 치수의 생육 상황은 대단히 부진한 것으로 판단된다. 7년생 잣나무 치수의 활착율은 약 80%로 조사되었으며, 평균 수고는 0.9m, 최소치는 0.3m, 최고치는 2.1m로 측정되었고, 평균 근원경은 1.7cm, 최소치는 1.4cm, 최고치는 3.5cm로 조사되었다(표 3). 개별 후, 인공 조림한 잣나무의 생육 상황과 비교해 볼 때(한상섭과 이재선, 1982; 한상섭과 이재선 1984; 한상섭과 장준근, 1988; 최인화와 장준근, 1991;

표 3. 수하식재된 잣나무 치수의 연도별 수고, 근원경 및 활착률.

연도	구분	수고(m)	근원경(cm)	활착률(%)
1995		0.30	0.8	91
		0.23-0.49	0.7-1.2	
1998		0.66	1.3	81
		0.24-1.02	0.8-1.8	
2000		0.81	1.7	81
		0.30-1.50	1.0-2.5	
2001		0.90	1.7	80
		0.32-2.10	1.4-3.5	

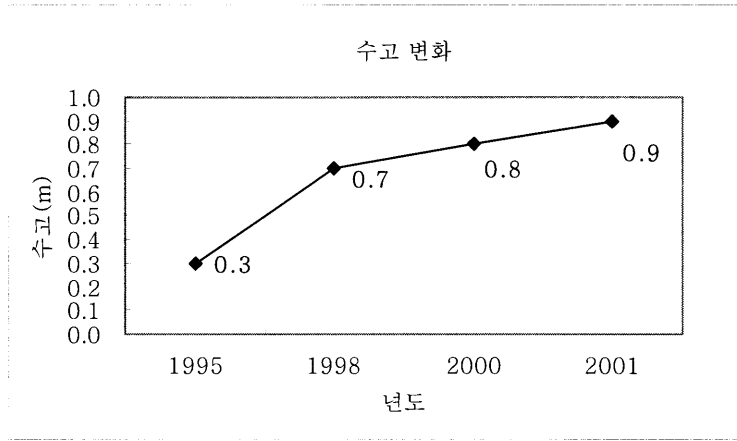


그림 2. 수하식재된 잣나무 치수의 연도별 수고 성장 변화.

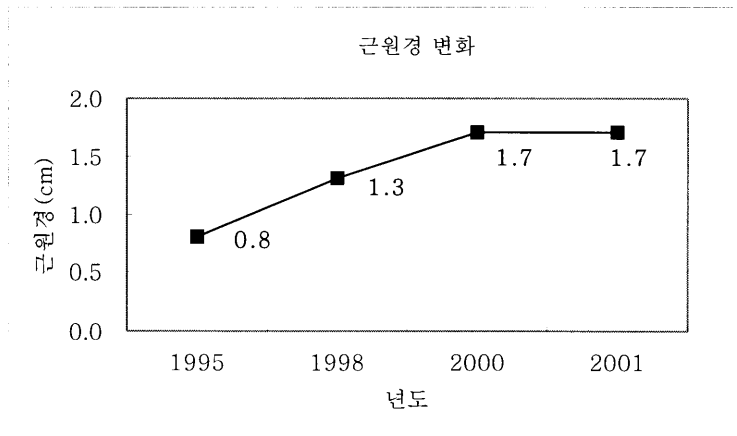


그림 3. 수하식재된 잣나무 치수의 연도별 근원경 성장 변화.

최인화 등, 1994; 최인화 등 1997), 이 시험에서 수하식재된 잣나무 치수의 생육 상황은 공한지 인공 조림목에 비해서 매우 열등하여, 수고는 약 30%, 직경은 약 20%에도 미치지 못하는 것으로 파악되었다.

수하식재된 잣나무 치수는 주위의 임목들과 여러 가지 요인에 대하여 많은 경쟁을 하면서 자라는데 그 중에서도 광선, 영양, 수분 경쟁이 가장 심하며, 이 중에서도 특히 광선은 잣나무 치수가 성장하고 살아남는데 영향을 미치는 가장 중요한 인자이다(이원섭 2002). 산림 내에서의 광선 환경은 해발 고도나 기상조건, 임분 구조에 의하여 결정되며, 사면 방향에 따른 사면 경사도의 차이(Dey and MacDonald, 2001), 계절이나 낮의 길이와 같은 시간적인 변이에 의해서 변할 수 있고, 숲틈의 유무에 따라서, 수관과 주위 수목으로부터의 거리와 같은 공간적 변이에 의하여 변할 수 있으므로 하층식생이 광선을 받아서 광합성을 하면서 살아가는 데는 수많은 환경인자의 영향을 받아야 한다.

하층에 살고 있는 수목은 편광(sunfleck)을 잘 이용하여 광합성을 한다. 일정한 임관 밑에서의 하층식생의 광합성 총광량은 편광의 유무에 따라서 몇 초 내에도 100 배나 증가하거나 감소할 수 있으며(Dey and Parker 1997), 이러한 편광 때문에 하층에 있는 치수의 광선 환경은 한 개의 잎에서 다른 잎으로 극적으로 변할 수 있다. 편광으로 인한 광합성은 하루 광합성 량의 20~60%에 달할 만큼, 편광이 하층식생의 광합성에 중요한 역할을 하고 있다(이원섭 2002).

어떤 수종이 임상에서 생존 할 수 있는 최소 광량은 음수일수록 낮지만 수령에 따라 변하며 수령이 증가할수록 더 많은 광량을 필요로 한다. 일반적으로 수목이 수년간 살아 남기 위해서는 최소한 전광의 20% 가량이 필요하다고 한다(Dey and Parker 1997). 지상에서 햇빛 경쟁이 있는 것과 마찬가지로 지하에서는 영양과 수분에 대한 경쟁이 일어난다. 내음성은 낮은 광도에서 견디는 능력을 가진 것과 마찬가지로 토양 내의 자원들에 대한 경쟁력을 반영할 수 있는 것인데, 잣나무는 수명이 길고 내음성이 있는 편으

로 상층림의 임관 밑에서도 어느 정도는 잘 견디지만 편광마저 극도로 억제된 상태에서는 오래 견디지 못할 것으로 판단된다.

한상섭(1982)은 잣나무의 1차 생산력을 알아 보기 위하여 잣나무 잎의 온도, 광도, 수분 결핍 등이 광합성 속도와 호흡속도에 미치는 영향을 측정하였다. 그 결과, 광포화점은 40Klux 전후에서 일어나며 광보상점은 1.0~1.3 Klux였다. 그해 생긴 잎이 광합성 속도가 가장 빨랐으며 잎의 나이가 증가함에 따라 감소하며 온도 반응에 따른 호흡 속도는 2월 잎이 8월 잎 보다 2배정도 높았고 광합성 최적 온도는 8월 잎에서 23~26°C, 2월 잎에서 15~18°C로 나타났다. 또한 김영채(1989)는 잣나무 묘목을 전 광량의 100%, 63%, 37%, 19%로 상대 광도를 달리 피음 처리하여 생육된 묘에 대하여 2년 간을 조사한 결과, 지상부, 지하부, 엽중량을 생중량, 건중량으로 구분하여 조사한 바에 의하면 상대 광도 63%구가 일반적으로 모두 높게 나타났으며 19%구가 가장 낮았다. Li 등(1990)은 임관 하에 있는 잣나무 치수의 엽록소 함량과 성장과의 관계를 규명하였다. 활엽수와 잣나무 혼효림에서 잣나무 치수는 그 잎 수가 적고 노쇠가 빠르며 치수의 엽록소 함량은 크게 감소하였으며 치수의 생존과 성장에 심각한 영향을 준다고 하며 이는 숲의 임분 축적이 과도하여 하층에서의 광 조건이 나빠기 때문이므로 성장 상태를 개선 시켜 주는 방법은 노령의 상층목을 벌개하여 과도한 임분 밀도를 줄여서 광선 유입량을 증가시키는 것이라고 했다.

이상과 같은 점을 고려해 볼 때, 이 연구를 수행한 시험지의 상층에는 신갈나무와 소나무를 비롯하여 ha당 1,775본의 임목이 상층 임관을 형성하고 있고 수종별로 다소 차이는 있지만, 평균 직경 7~20cm, 수고 6~13m, 수관폭 2.5~5m로 조사되어 상당히 울폐도가 높다. 여기에 2-2 묘목으로 94년에 수하식재한 잣나무는 7년동안 자랐는데도 평균 수고 1m 내외, 근원경 1.7cm로 생육이 매우 불량하다. 그 원인은 전술한 바와 같이, 내음성이 있는 잣나무 치수라 할지라도 정상 생육하기에 상층의 울폐도가 너무 높다고 판

단한다. 잣나무의 정상적인 성장과 발달을 위해서는 천연림 보육 작업에 준하는 벌채를 통하여 우량 활엽수를 잔존시키면서 50% 이상의 상층 임판을 열어 주어 광선 조건을 개선시켜야 할 것이다.

### 참고문헌

1. 김갑태, 김지홍. 2001. 시험 실연 사업지 성과 분석. 북부지방산림관청. 169pp.
2. 김광택, 이원섭, 강성기, 김지홍. 2000. 활엽수림내 천연 발생 잣나무의 성장에 관한 연구. 강원대 학술림 연구지 20:37-44.
3. 김영채. 1989. 잣나무 묘목의 생육환경 요인에 따른 성장해석적 연구. 한국임학회지 78(3): 314-322.
4. 김지홍, 이돈구, 김진수, 이경준, 현정오, 황재우, 권기원. 1993. 참나무 천연림의 임분 구조에 대한 해석. 한국임학회지. 82(3):235-245
5. 김지홍, 김광택, 심우섭, 장준근, 최인화. 1999. 활엽수림내 잣나무 치수 발생에 관한 연구. 강원대 학술림연구지 19:41-480.
6. 이원섭. 2002. 자연발생한 잣나무 치수의 네 가지 임상별 분포 및 성장. 박사학위논문. 강원대학교 대학원 산림경영학과. 140pp.
7. 최인화, 장준근. 1991. 잣나무의 표준시험림 설정(IV). 강원대 연습림연구보고 11:71-88.
8. 최인화, 장경식, 장준근. 1994. 잣나무의 표준시험림 설정(V). 강원대 연습림연구보고 14:159-176.
9. 최인화, 장준근, 장경식, 심우섭, 지병윤. 1997. 잣나무의 표준시험림 설정(VI). 강원대 연습림연구보고 17:59-77.
10. 한상섭. 1982. 잣나무림의 물질생산력에 관한 연구(1) 엽의 광합성속도와 호흡속도에 미치는 광, 온도, 수분의 영향. 한국임학회지 55:55-58.
11. 한상섭, 이재선. 1982. 잣나무의 표준시험림 설정(I). 강원대 연습림연구보고 2:34-59.
12. 한상섭, 이재선. 1984. 잣나무의 표준시험림 설정(II). 강원대 연습림연구보고 4:55-72.
13. 한상섭, 장준근. 1988. 잣나무의 표준시험림 설정(III). 강원대 연습림연구보고 8:111-128.
14. Brower, J. E. and J. H. Zar. 1977. Field and Laboratory Methods for General Ecology. WM. C. Company Publisher, Dubuque, Iowa. 194pp.
15. Dey, D. C. and MacDonald. 2001. Overstory Manipulation. pp. 157-175. In: Wagner R. G. and Colombo S. J. (eds), Regeneration the Canadian Forest: Principles and Practices for Ontario. Fitzhenry & Whiteside Limited, Ontario, Canada.
16. Dey, D. C. and W. C. Parker. 1997. Overstory density affects field performance of underplanted red oak (*Quercus rubra* L.) in Ontario. North. J. Appl. For. 14(3):120-125.
17. Kim, J. H. 2003. Ecological and silviculture perspectives on oak forests in the Korean peninsula. Joint Meeting of IUFRO Working Groups, Genetics of Quercus and Improvement and Silviculture of Oaks. OAK2003, Japan, Integration of Silviculture and Genetics in Creating and Sustaining of Oak Forests. Tsukuba International Congress Center. Forestry and Forest Products Research Institute(FFPRI)
18. Li, X., Xu, Z. and Tao, D. 1989. Natural regeneration of Korean pine in broadleaved-Korean pine stands on Fenglin natural reserve of Xiaoxing Anling. Journal of Northeast forestry university 17(6):1-6.
19. Li, J., Liu, C. and Yao, C. 1990. Study on chlorophyll contents and growth of Korean pine seedlings under forest canopies. Journal of Northeast Forestry University 18(2):

- 21-26.
20. Matthews, J. D. 1989. Silvicultural Systems. Oxford Science Publication. 284pp.
21. Smith, 1986. D. M. 1986. The Practice of Silviculture (8th ed). John Wiley & Sons. 527pp.