

시설양묘에 의한 생력화 대묘 생산 기술 개발

Development of Containerized Seedling Production
System for High Seedling Quality

연구 기관
국립산림과학원

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “시설양묘에 의한 생력화 대묘 생산 기술 개발” 과제의 보고서로 제출합니다.

2009년 4월 24일

주관연구기관명 : 국립산림과학원
산림생산기술연구소

총괄연구책임자 : 이 수 원

연 구 원 : 장 경 환

연 구 원 : 조 민 석

연 구 원 : 오 재 현

연 구 원 : 김 원 극

협동연구기관명 : 원 광 대 학 교

협동연구책임자 : 배 종 향

연 구 원 : 김 호 철

연 구 원 : 차 승 훈

연 구 원 : 최 준 혁

협동연구기관명 : 충 남 대 학 교

협동연구책임자 : 권 기 원

연 구 원 : 김 길 남

연 구 원 : 김 선 아

연 구 원 : 김 종 렬

참 여 기 업 : 국 일 화 학

연 구 원 : 박 규 남

연 구 원 : 이 호 길

요 약 문

I. 제 목

시설양묘에 의한 생력화 대묘 생산 기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구는 시설양묘를 이용하여 생력화 대묘 생산 기술의 체계화와 대묘용기 등 소요자재를 개발함으로써 양묘농가의 소득 증대와 시설양묘 산업의 발전을 도모하며, 폐암면을 이용한 상토의 개발로 상토 원가 절감 및 시설양묘에 적용가능한 관수와 시비체계를 구축하여 생력화 대묘 생산 체계를 확립한다. 또한 용기대묘 조립 체계 시업기술개발로 다양한 수종의 용기묘에 대해 우리나라 조림지 특성에 맞는 구체적이고 현실적인 조립 체계 시업기술의 향상을 유도하는데 그 목적이 있다.

1996년 이래 본격적인 시설양묘의 기술 발전이 지속적으로 진행되어 왔으나, 수종의 제한성과 함께 용기양묘의 초기 투자비와 재료비의 지속적인 상승이 현지 농가에 경제적으로 큰 부담으로 작용하고 있다. 따라서 노지양묘 시 생장기간이 긴 수종의 생육기간을 단축하는 시설 양묘기술 개발, 다양한 용기양묘 수종개발 및 대묘 생산 기술 확립이 절실히 요구된다. 이에 따라 시설양묘에 의한 수종 다변화 및 생산기간을 단축하기 위해서는 생력화 용기대묘 생산 기술체계의 확립이 절실히 필요한 실정이다.

2000년 이후 사회·경제적으로 지속적인 물가상승이 이어졌고 최근에 와서는 급격한 국제유가의 상승과 변동성으로 인해 국내적으로 경제에 큰 부담이 될 뿐 아니라 원재료비의 상승은 크나큰 경제적 손실을 감수해야 하는 실정에 있다. 따라서 새로운 친환경폐자재인 입상암면을 이용한 새로운 시설용기용 상토개발은 현 상토 비용을 최소화 할 수 있는 한 방편으로 친환경 상토의 개발은 시설양묘의 상토부분에 획기적인 전기를 마련할 수 있는 기술력을 확보할 수 있다. 또한 현재까지의 시설양묘에서 관수 및 시비체계는 대량의 생산위주의 양묘형태로 과학적이고 세밀한 부분의 기술체계 정립이 아주 부족한 실정이다. 따라서 지금까지 진행되어 온 시설

양묘의 기술에 수경재배 시스템을 적용한 고차원의 시설양묘의 기술 개발이 시급히 요구되고 있다.

일반적으로 용기묘에 대한 선행 연구결과 용기묘는 일반 노지묘에 비해 현지 활착률이 뛰어나고 짧은 기간에 생산된 용기묘가 실지 조림지에서도 우수한 활착률과 성장을 보일 것으로 나타나고 있다. 그러나 식재시기의 부적절성, 식재 방법, 식재 후 사후 관리 등 전반적으로 용기묘 조림사업에 대한 기술 부족으로 부분적으로 용기묘 조림에 대한 문제점이 발생하고 있다. 따라서 용기묘에 대한 전반적인 조림사업체계의 확립 및 이에 대한 기술보급은 새로운 양묘기술의 친환경적인 관리체계의 기술력 확보와 연결되어 절실히 요구되고 있는 실정이다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

세부과제 : 생력화 대묘 생산 시스템 개발

1. 용기 대묘 수종 및 대묘용 용기 선정
2. 최적 생육 온도 조건 구명에 의한 대묘 생산 생육관리 시스템 개발
3. 최적 생육 광 환경 조건 구명에 의한 대묘 생산 생육관리 시스템 개발
4. 대묘 식재 기술 개발
5. 대묘 생산 용기 개발
6. 용기대묘 식재 장비 개발

제 1 협동과제 : 폐암면을 이용한 상토개발과 시비·관수 체계 확립

7. 암면 혼합 상토를 이용한 양묘 시 암면의 적정 혼합 비율
8. 암면 혼합 상토를 이용한 양묘 시 비료의 최적 화학적 구성 및 적정 농도
9. 암면 혼합 상토를 이용한 양묘 시 관수 시스템

제 2 협동과제 : 용기묘 조림체계 시업기술개발

10. 용기묘와 노지묘의 활착 및 성장에 대한 조림지 실태 비교분석

11. 용기묘의 활착 및 생장에 미치는 생육환경 분석
12. 용기묘 조림 적정 시비 기술 개발
13. 용기묘 조림 적정 식재 시기 구명
14. 용기 규격에 따른 조림 성과 분석
15. 용기묘 조림지의 임지관리 기술 개발

IV. 연구개발 결과

세부과제 : 생력화 대묘 생산 시스템 개발

1. 용기 대묘 수종 선정 및 대묘용 용기 개발

용기대묘의 활착 및 생장은 식재지 주변의 하층식생과 잡초와의 수광경쟁에서 살아남 수 있도록 유도해야 한다. 이에 따라 조사 대상지 90개소의 층위구조를 조사해본 결과, 수종별 차이는 있지만 활엽수는 60-80cm, 침엽수는 50-60cm가 적절할 것으로 판단된다. 용기대묘 수종은 대묘 중 소나무, 잣나무, 전나무, 물푸레나무, 상수리나무, 비자나무 등 6 수종을 선정하였다. 용기 용적에 따른 생장은 소나무를 제외한 대부분의 수종에서 생육상토별 차이는 있지만 대(1.8L) > 중(1.2L) > 소(0.8L)의 순으로 용기의 용적이 커질수록 높은 생장을 보였다. 그러나 소나무의 경우 용기 용적 대(1.8L) 보다 중(1.2L) 내지 소(0.8L)의 생장이 다소 높은 경향을 보였다. 생육상토의 종류에 따른 생장은 대부분의 수종에서 자체 내에 유기물을 많이 가지고 있는 시중 상토들이 피트모스:버뮤쿨라이트:펄라이트의 1:1:1 상토보다 우수한 성장량을 보였다. 그러나 소나무의 경우 피트모스:버뮤쿨라이트:펄라이트의 1:1:1 상토가 시중 상토들 보다 높은 생장을 보이면서 상반된 결과를 나타냈다.

2. 최적 생육 온도 조건 구명에 의한 대묘 생산 생육관리 시스템 개발

온도 처리에 따른 성장 특성, 엽록소 함량, 엽록소 형광반응 및 광합성 특성을 종합해 보면 낙엽송과 노각나무는 25~30℃ 처리구, 전나무, 잣나무 및 상수리나무는 30℃ 처리구, 소나무, 물푸레나무 및 비자나무는 30~35℃ 처리구에서 최적 생육 온도 조건으로 판단되며, 적정 온도 환경 조건에서 가장 우수한 성장과 생리상태를 보였다.

3. 최적 생육 광 환경 조건 구명에 의한 대묘 생산 생육관리 시스템 개발

피음 처리에 따른 성장 특성, 엽록소 함량, 엽록소 형광반응 및 광합성 특성을 종합해 보면 소나무와 물푸레나무는 전광 처리구(상대투광률; 100%), 잣나무, 음나무, 일본잎갈나무, 노각나무 및 비자나무는 약피음 처리구(상대투광률; 70%)에서 최적 생육 광 환경 조건으로 판단되며, 적정 광 환경 조건에서 가장 우수한 성장과 생리 상태를 보였다.

4. 대묘 식재 기술 개발

식재시기에 따른 수종별 생장은 대부분 1차(9월) 및 2차(10월 초) 식재가 3차(10월 말) 식재에 비해 비교적 양호한 성장을 나타냈다. 용기 크기에 따른 성장특성을 살펴본 결과 대(1.8L) 및 중(1.2L) 크기의 용기가 소(0.8L) 크기의 용기에 비하여 비교적 양호한 성장을 나타내는 경향을 보였다. 대묘 용기묘의 양묘 시 묘목의 규격이 커지기 때문에 이에 따른 용기 용적이 클수록 양호한 뿌리의 발달을 할 수 있다. 이 때문에 실질적인 조림과정에서도 용기 용적이 클수록 우수한 조림성과를 가져오는 것으로 판단된다.

5. 대묘 생산 용기 개발

셀분리·고정형 24혈 용기와 12혈 대묘 용기를 개발하였다. 셀분리·고정형 24혈 용기는 셀들이 용기에서 탈부착이 가능, 조임 장치를 고안하여 용기내 부착시 일체형 용기와 같이 이용하였으며, 동일 용적의 셀을 가지고 고정틀의 밀도를 교체 조절해줌으로써 다양한 밀도에서 용기묘를 생산 가능하다. 또한 용기 고정 틀지지 다리의 탈부착이 가능하며 다리 부착 시 별도의 경화처리대의 설치 생략이 가능하다. 즉, 고정틀만 교체함으로써 적은 비용으로 다양한 밀도로 양묘가 가능한 것이다. 12혈 대묘 용기는 혈용적을 1,050ml로 늘리고 1m² 당 밀도를 77본 정도로 조정하여 활엽수 및 침엽수의 대묘 생산에 적합하게 하였다. 용기표면을 볼록하게 설계하여 용기의 변형이 없으며, 시비 및 관수 시 용기 혈속으로 흐르게 함으로써 효율을 높였다. 또한 개구선 내부를 샷갓모양으로 볼록하게 처리하여 시비 및 관수 시 개구선 밖으로 유실되는 양을 기존의 용기보다 16~40%정도 줄이는 효과를 가져왔다.

6. 용기대묘 식재 장비 개발

시설양묘를 통해 생산된 대묘용 용기묘를 효율적으로 조립하기 위해 기존 식혈기의 단점인 휴대가 어려운 부분을 보완한 경량의 휴대형 식혈기를 개발하였다. 개발한 휴대형 용기묘식혈기는 식혈날을 포함해 크기가 930×660mm (길이×너비)이며, 동력원으로는 최대출력 2.0마력의 공랭식 2사이클 엔진을 적용하였다. 동력전달은 기존의 예초기에 사용되는 8mm 플렉시블 샤프트를 적용하였다. 또한 식혈부는 직경 100mm의 스크류 형태로 스크류 피치간격은 80mm로 산림내 토양에 포함되어 있는 돌을 배출할 수 있도록 고려하였다. 개발한 휴대형 식혈기의 식재효율은 2인 식혈 및 식재작업기준으로 본당 약 2~3분 소요된다.

제 1 협동과제 : 폐암면을 이용한 상토개발과 시비·관수 체계 확립

7. 암면 혼합 상토를 이용한 양묘 시 암면의 적정 혼합 비율

암면 혼합 비율에 따른 상토의 물리성을 분석한 결과, 가밀도와 진밀도 모두 혼합 비율이 많은 상토에서 높게 나타났다. 그리고 액상 비율은 암면 30% 혼합 상토에서 높았고, 기상 비율은 혼합 유무에 따른 차이만을 나타내었다. 공극률은 암면 30%와 50% 혼합 상토에서 높았고, 가용수분, 완충수분, pH 모두 암면 혼합 비율이 많은 상토일수록 높은 경향을 나타내었다. 그러나 EC는 이와 반대의 경향을 나타내었다. 따라서 전반적으로 물리적 특성을 고려하면 암면 50%와 70% 혼합 상토가 관수 관리면에서 가장 유리할 것으로 판단되었다.

암면 혼합 비율에 따른 소나무(1-0)의 생체중, 건물중 및 수고는 50%와 70% 암면 혼합 상토에서 가장 좋았지만 원줄기 직경은 차이를 나타내지 않았다. 비자나무(1-1)의 생체중과 수고는 70% 암면 혼합 상토에서 가장 많이 증가하였고 원줄기 직경과 신초수는 50%와 70% 암면 혼합 상토에서 많이 증가하였다. 상수리나무(1-0)의 생체중, 수고 및 원줄기 직경은 50%와 70% 암면 혼합 상토에서 좋았고 건물중은 혼합 상토와 대조구간 차이를 나타냈으나 혼합 비율 간에는 차이를 나타내지 않았다. 엽록소 함량도 70% 암면 혼합 상토에서 높게 나타났으며 이에 광합성도 가장 활발하였다. 들메나무(1-1)의 생체중은 70% 암면 혼합 상토에서 월등히 많이 증가하였지만, 수고와 원줄기 직경은 암면 혼합 상토와 혼합하지 않은 상토 간 차이만 나타나고 혼합 비율 간에는 차이를 나타내지 않았다. 엽록소 함량은 처리 간

차이를 나타내지 않았지만 암면 혼합 상태에서 다소 높은 경향을 나타내었고, 광합성률은 70% 암면 혼합 상태에서 가장 높았다.

8. 암면 혼합 상태를 이용한 양묘 시 비료의 최적 화학적 구성 및 적정 농도

배양액의 공급 농도에 따른 소나무(1-0)의 생체중, 수고 및 원줄기 직경 모두 높은 농도일수록 좋은 경향을 나타내었고 3.0배액에서 가장 좋았다. 비자나무(1-1)의 생체중은 1.5배액과 3.0배액에서 많이 증가하였고 수고와 원줄기 직경은 모두 1.5배액에서 가장 많이 증가하였다. 상수리나무(1-0)의 생체중은 2.0배액에서 가장 무거웠고 1.0배액에서 가장 가벼웠다. 수고와 건물중은 2.0배액과 3.0배액에서 좋았고 원줄기 직경과 엽록소 함량은 2.0배액에서 좋았다. 또한 광합성은 1.5배액과 2.0배액에서 활발하였다. 들메나무(1-1)의 생체중, 수고 및 원줄기 직경은 0.5배액에서 가장 많이 증가하였고 엽록소 함량과 광합성은 0.5배액과 2.0배액에서 좋았다. 그리고 대부분의 생육 특성은 3.0배액에서 저조하였다.

9. 암면 혼합 상태를 이용한 양묘 시 관수 시스템

가. 급액량 및 급액횟수

배양액의 주당 급액횟수 및 회당 급액량에 따른 수종별 수고, 원줄기직경, 신초수, 엽록소 함량 및 광합성률을 조사한 결과, 소나무의 1-0묘는 회당 포장용수량의 100% 이상을 2회/주 관수하고, 2-0묘는 7회/주 관수하는 적합한 것으로 나타났다. 잣나무(1-1)는 포장용수량의 100% 이상을 3회/주 관수하고 수령이 높아짐에 따라 급액횟수를 늘리고 회당 급액량을 낮추는 것이 적합한 것으로 나타났다. 비자나무(1-1)는 포장용수량의 100%를 1회/주 또는 2회/주 관수하는 것이 적합하고, 상수리나무는 포장용수량의 100% 또는 150%를 3회/주 이상 관수하고 수령이 높아짐에 따라 7회/주로 늘려주는 것이 적합한 것으로 나타났다. 노각나무(1-0)는 포장용수량의 150%를 3회/주 관수하는 것이 적합한 것으로 나타났다. 이로 보아 침엽수와 활엽수 모두 수령이나 이식횟수에 따라서도 구분하여 관수를 해야 할 것으로 판단되었다.

나. 생육기별 급액 관리

월별(생육기별) 급액횟수에 따른 수종별 생육특성을 조사한 결과, 소나무(1-0)의 수고 증가량은 5월과 6월에는 급액횟수가 많을수록, 7월과 8월에는 3회/주 급액처리

에서 많았고, 원줄기직경 증가량은 5월에는 2회/주와 3회/주, 6월에는 1회/주와 7회/주, 7월과 8월에는 3회/주 급액처리에서 많았다. 그리고 수고 및 원줄기직경 증가량은 생육기와 급액횟수의 영향을 모두 받은 것으로 나타났다.

잣나무(1-1)의 수고 증가량은 5월에는 2회/주 이하, 6월에는 차이를 나타내지 않았고, 7월과 8월에는 급액횟수가 증가할수록 많았다. 원줄기직경 증가량은 5월에는 2회/주, 6월에는 3회/주, 7월에는 2회/주 이하, 8월에는 3회/주 이상의 급액처리에서 많았다. 그리고 수고 및 원줄기직경 증가량은 생육기와 급액횟수의 영향을 모두 받은 것으로 나타났다.

비자나무 중 1-0묘의 수고 증가량은 5월에는 1회/주와 3회/주, 6월에는 1회/주와 7회/주, 7월과 8월에는 급액횟수가 증가할수록 많았다. 원줄기직경 증가량은 5월에는 1회/주 3회/주, 6월에는 2회/주, 7월과 8월에는 3회/주 이상의 급액처리에서 많았다. 비자나무 중 1-1묘의 수고 증가량은 5월과 6월에는 3회/주, 7월과 8월에는 7회/주 급액처리에서 많았고, 원줄기직경 증가량은 5월에는 7회/주, 6월, 7월 및 8월에는 3회/주 이상의 급액처리에서 많았다. 그리고 수고 및 원줄기직경 증가량은 생육기와 급액횟수의 영향을 모두 받은 것으로 나타났다.

낙우송(1-0)의 수고 증가량은 6월에는 3회/주, 7월에는 2회/주, 8월에는 3회/주 이상의 급액처리에서 많았다. 원줄기직경 증가량은 5월에는 2회/주, 6월에는 3회/주, 7월과 8월에는 7회/주 급액처리에서 많았다. 그리고 수고 및 원줄기직경 증가량은 생육기와 급액횟수의 영향을 모두 받은 것으로 나타났다.

제 2 협동과제 : 용기묘 조립체계 시업기술개발

10. 용기묘와 노지묘의 활착 및 생장에 대한 조림지 실태 비교분석

소나무와 상수리나무 용기묘와 노지묘의 실제 성장치와 상대성장률은 조림지 입지환경에 따라 차이가 있었지만 대부분의 조림지에서 용기묘 생장이 노지묘보다 우수한 것으로 조사되었다. 또한 잎, 줄기 뿌리의 물질생산량에 있어서도 대부분 용기묘가 노지묘보다 높은 값을 보였으며, 용기묘와 노지묘 모두 소나무 조림지는 줄기 부분에서, 상수리나무 조림지는 뿌리 부분에서 물질생산량이 가장 많은 것으로 조사되었다. 조림 후 3년 이상이 지난 조림지 소나무와 상수리나무의 용기묘와 노지묘는 생육활동에 있어 하층식생에 의한 영향은 크지 않는 것으로 조사되었다.

11. 용기묘의 활착 및 생장에 미치는 생육환경 분석

소나무와 상수리나무의 총 엽록소 함량은 용기묘와 노지묘가 전광구보다 피음구에서, 수분 처리에서는 소나무는 습윤구에서, 상수리나무는 건조구에서 높은 것으로 조사되었으며 시비처리에서는 1,000배액 시비구에서 가장 높은 값을 보였다. 소나무와 상수리나무의 실제 성장치와 상대성장률은 용기묘와 노지묘가 피음 처리에서는 전광구에서, 수분 처리에서는 습윤구에서, 시비 처리에서는 1,000배액 시비구에서 가장 높았으며, 잎, 줄기, 뿌리 각각의 물질생산량도 같은 경향으로 조사되었다. 또한 상수리나무의 광합성 능력 및 광화학 효율도 성장특성의 결과와 같은 경향을 보이는 것으로 조사되었다. 소나무와 상수리나무의 용기묘가 모든 처리구에서 노지묘보다 높은 값을 나타내는 것으로 조사되었다.

12. 용기묘 조림 적정 시비 기술 개발

조림지에 묘목 식재 시 시비처리에 따른 생존율과 생리 형질 지수는 처리간 뚜렷한 차이가 없었으며, 100g 이상의 시비를 실시하여도 과량 시비에 의한 피해가 없는 것으로 조사되었다. 2006년에 식재된 상수리나무 용기묘, 소나무 용기묘와 노지묘의 근원경과 묘고의 실제 성장치 및 상대성장률은 무시비구보다 시비구에서 높은 것으로 나타났다. 2007년에 식재된 상수리나무와 소나무 용기묘와 노지묘, 2008년에 식재된 물푸레나무, 자작나무, 산딸나무 용기묘는 근원경과 묘고의 실제 성장치 및 상대성장률이 대부분 심층시비 50g과 100g에서 가장 높았으며, 과량시비 시험에서는 200g과 300g의 시비에서 가장 높은 값을 보였다. 또한, 물질생산량에서도 성장특성과 같은 경향이 나타났다. 시비처리에 따른 영향은 노지묘가 용기묘보다 더 많이 받는 것으로 조사되었으며 식재 초기에는 용기묘의 생장이 노지묘보다 우수하였지만, 시간이 지날수록 용기묘와 노지묘의 성장 차이는 크지 않은 것으로 조사되었다.

13. 용기묘 조림 적정 식재 시기 구명

소나무 용기묘의 생존율은 모든 시험지에서 여름 식재 시에 가장 우수한 것으로 나타났으며, 생리상태도 생존율의 결과와 같은 것으로 조사되었다. 소나무 용기묘의 근원경과 묘고의 실제 성장치와 상대성장률은 여름 식재 시가 가장 우수한 값을 보였으며 식재 후 초기에는 생장이 불량 했지만, 시간이 지날수록 성장률이 점점 높

아지는 것으로 조사되었다. 대부분의 시험지에서 하층식생이 무성하지 않은 B지역이 무성한 A지역 보다 성장률이 우수한 것으로 나타났다. 물질생산량에 있어서도 세 시험지 모두 여름 식재시가 가장 높았으며, 하층식생이 발달하지 않은 B지역이 가장 높은 것으로 조사되었다.

14. 용기 규격에 따른 조림 성과 분석

소나무 용기묘의 용기 규격에 따른 생존율은 대부분 큰 차이를 보이지 않았지만 생리상태에서는 혈용량이 커질수록 우수한 생리형질을 보였다. 또한 하층식생이 발달하지 않은 B지역에서 높은 생존율 및 생리형질을 나타냈다. 소나무 용기묘 1-0묘는 104월 용기보다 35월 용기에서 양묘된 묘목이 높은 성장을 보였으며, 소나무 용기묘 2-0묘는 대묘용 포트와 15월 용기에서 양묘된 묘목의 성장에 있어서 차이가 없는 것으로 조사되었다. 소나무 용기묘 1-0묘의 잎, 줄기, 뿌리의 물질생산량은 세 시험지 모두 35월 용기에서 양묘된 묘목이 높았으며, 2-0묘는 대묘용 포트 용기묘가 우수한 것으로 조사되었다.

15. 용기묘 조림지의 임지관리 기술 개발

2006년과 2007년에 식재된 묘목은 모든 시험지에서 대부분 풀베기 무처리구보다 하층식생 처리구에서 높은 생존율과 생리상태를 보였으며, 용기묘의 생존율과 생리상태가 노지묘보다 높은 것으로 조사되었다. 2006년에 식재된 소나무 용기묘 1-0묘, 2-0묘, 소나무 노지묘 1-1묘는 근원경과 묘고의 실제 성장치와 상대성장률이 풀베기 처리구에서 가장 우수하였다. 2007년에 식재된 소나무와 상수리나무 용기묘와 노지묘, 고로쇠나무 용기묘는 근원경과 묘고의 실제 성장치와 상대성장률이 하층식생 무처리구보다 처리구에서 높은 값을 보였다. 그러나 2006년과 2007년에 식재된 모든 수종이 풀베기 처리구와 멀칭 처리구의 하층식생 처리구간에는 큰 차이가 없었다. 또한 물질생산량에서도 2006년과 2007년에 식재된 모든 수종이 하층식생 처리구에서 우수한 값을 보였으며 소나무와 상수리나무는 용기묘의 생장이 노지묘보다 우수한 것으로 조사되었다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

1. 연구성과

가. 학술지 게재

생물환경조절학회지 등 3건 게재

나. 학술발표

한국임학회학술발표 등 9건 발표

다. 인력 양성

- 석사학위 1명

수목류의 용기묘 생산을 위한 재활용 압면 상토 개발과 배양액 급액농도 구명 (2009). 원광대학교 석사학위논문.

라. 기술거래

- 육묘용기 특허기술 실시

마. 사업화

- 육묘용기 특허출원기술 유상 기술 실시

바. 교육 및 지도 활용

- 양묘실무자과정 등 5건

사. 전시회 참여

- 휴대용 식혈기, 2008농림수산식품과학기술대전 등 2건

2. 활용 계획

가. 지속적인 학회 투고에 의한 개발기술 보급

나. 연구회 및 심포지엄을 통한 개발기술 보급

다. 시설양묘 기술 교육 및 지도에 활용

라. 시설양묘 농가의 적용 시험

마. 시설양묘 농가의 지도 자료 활용

바. 용기묘 조립 적용 시험 및 조립기술 지도 자료 활용

사. 관련 연구기관의 자료로 활용

SUMMARY

I. Title

Development of Containerized Seedling Production System for High Seedling Quality

II. The objectives and rationale of the research

The objectives of this research are 1) to develop techniques for large container seedling production system, 2) to innovate new containers and materials for seedling producers to increase their benefits and to develop industry relating container production, 3) to reduce the production cost by using used-rockwool, and 4) to generate irrigation and fertilization system for large container seedling production. Another objective is to develop planting systems for large container seedlings for optimizing specific site condition and applying to forestation.

Although the techniques of containerized seedlings have been developed since 1996, seedling producers have rarely used this systems because of limited tree species for the container, expensive investment in the beginning, and continuous material cost. We need techniques to reduce the period of seedling production by using containerized production for long-time needed species in the nursery and various containers for diverse species resulting in large containerized seedling production.

We have suffered in social and economic aspects because prices have increased since 2000 and importing gasoline was recently steep increased. We also import raw materials with high price resulting in decreasing domestic economic. Therefore, we need technique to recycle used-rockwool for reducing price of soil media for containerized seedling production. The technique can

reduce the price of containerized seedling and can be applied to production. Irrigation and fertilization techniques for containerized seedling were not well developed in Korea. So we need to develop techniques urgently to apply hydroponic culture to containerized seedling production.

Based on previous research, containerized seedlings are generally better in survival in the field and growth performance than bare root seedlings produced in the nursery. However, containerized seedling has some problems owing to low techniques for containerized seedling such as timing of planting, planting method, and management after planting. Therefore, we need scientific containerized seedling production system as well as development of planting system for containerized seedling in the field.

III. Contents of research

Sub-project : Development of large containerized production system

1. Select species and container for large seedling production
2. Develop growth control system by finding optimal temperature condition
3. Develop growth control system by finding optimal light condition
4. Develop planting technique for large containerized seedling
5. Develop container for large seedling production
6. Develop tools for planting large containerized seedling

The first cooperation project : Development of soil media with used-rockwool, irrigation and fertilization system

7. Optimal mixture ratio of used-rockwool for soil media of containerized seedling production
8. Optimal fertilization such as composition and concentration for media mixed with used-rockwool

9. Irrigation system for containerized seedling using media mixed with used-rockwool

The second cooperation project : Development planting system of containerized seedling

10. Compare containerized seedling with bare root seedling in survival and growth in the field
11. Analyze growth conditions for survival and growth of containerized seedling
12. Develop techniques of optimal fertilization for containerized seedling
13. Find optimal planting time for containerized seedling
14. Effect of container size for seedling survival and growth
15. Development of management technique after planting containerized seedling

IV. Results of the research

Sub-project : Development of large containerized production system

1. Select species and container for large seedling production

Containerized seedling needs light for survival and growth, so we should control shrub and herbaceous vegetation around them. Hardwood species need 60–80cm in height and softwood species need 50–60cm in height even though these are dependent on site condition and species based on measurement of 90 stand structures. We select 6 species for large containerized seedlings: *Pinus densiflora*, *Pinus koraiensis*, *Abies hollophylla*, *Fraxinus rhynchophylla*, *Quercus acutissima*, and *Torreya nucifera*. As the size of container increased, the growth of seedling improved except *P. densiflora*: large (1.8 L) > medium(1.2 L) > small (0.8 L). In *P. densiflora*, growth was bigger in 1.2 L and 0.8 L container than 1.8 L. Commercial soil media is much better in growth performance than 1:1:1 ratio of peatmoss:vermiculite:perlite because commercial soil media has high organic

material. However, *P. densiflora* showed opposite result of the above.

2. Develop growth control system by finding optimal temperature condition

Based on results of temperature treatment in growth performance, chlorophyll contents, fluorescence light response, and photosynthetic characteristics, optimal growth temperatures are 25~30°C for *Larix leptolepis* and *Stewartia koreana*, 30°C for *A. holophylla*, *P. koraiensis*, and *Q. acutissima*, 30~35°C for *P. densiflora*, *F. rhynchophylla*, *T. nucifera*. All species showed high growth and good physiological conditions in above optimal temperature.

3. Develop growth control system by finding optimal light condition

Based on results of light interception treatment in growth performance, chlorophyll contents, fluorescence light response, and photosynthetic characteristics, the highest growth showed in full sunlight for *P. densiflora* and *F. rhynchophylla*, and in medium intercepted light (70% of full sunlight) for *P. koraiensis*, *Kalopanax pictus*, *L. leptolepis*, *S. koreana*, and *T. nucifera*. All species showed high growth and good physiological conditions in above optimal light conditions.

4. Develop planting technique for large containerized seedling

September and early October were much better than late October for the time of planting in most species. As the size of container increased, the growth was improved. Because large container has large volume of roots, survival and initial growth was higher in larger containers than in smaller containers. This effect was occurred in the field.

5. Develop container for large seedling production

We developed containers with 24 holes, which can be separative or fixed and 12 holes. We can separate each hole from separative or fixed container and fix to use like fixed containers. We can modify density of seedling in the one tray

by moving holes. Furthermore, the leg of the tray is detachable. If the leg was used, we don't need the table when seedling is hardening. Just by changing the tray, we can produce seedlings with diverse density and get it with low cost. Containers with 12 hole increase by 1,050ml in volume and produce large 77 seedlings per 1m². Oval surface of the tray prohibits the modification of container and increased the efficiency of irrigation and fertilization by improving inflowing. Furthermore, the shape of bamboo hat of tiny vertical gap inner reduced leaching or overflow of irrigation and fertilization up to 16~40%.

6. Develop tools for planting large containerized seedling

We developed the portable planter, which is very light weight and compact. This can improve efficiency of planting and reducing labor cost. The size of planter is 930×660mm (length × width) including cutter. 2.0 horse power was applied to the planter with air-cooling two cycle cylinder. Power delivery was done by 8 mm flexible shaft, which was used in other equipment. In the digger, 100mm screw was used with 80mm width in cutter blade to out stone in the hole. It takes 2~3 minute per hole per two persons.

The first cooperation project : Development of soil media with used-rockwool, irrigation and fertilization system

7. Optimal mixture ratio of used-rockwool for soil media of containerized seedling production

As results of investigation of physical property on media made by mixture ratio of used-rockwool, bulk and true density increased by increasing mixture ratio. Liquid phase was most much in 30% medium. Porosity was higher in 30% and 50% media than in the rest, and EAW, WBC and pH increased by increasing mixture ratio. However EC was the opposite of tendency of pH. Generally, when trees are cultured by container seedling using media mixed used-rockwool, media mixed with used-rockwool over 50% is profitable in

irrigation management. In container seedling of *Pinus densiflora*, flesh weight, dry weight and height were better in 50% and 70% media than in the rest. However trunk diameter was had no difference according to mixture ratio. In container seedling of *Torreya nucifera*, flesh weight and height increased much more in 70% medium and trunk diameter and numbers of shoot increased much more in 50% and 70% media than in the rest. In container seedling of *Quercus acutissima*, flesh weight, height, trunk diameter, total chlorophyll and photosynthesis rate were better in 50% or 70% media than the rest. However dry weight of the tree was had only difference between non-mixed and mixed with used-rockwool. In container seedling of *Fraxinus mandshurica*, flesh weight and photosynthesis rate increased much more in 70% medium than in the rest. However height and trunk diameter were had only difference between non-mixed and mixed with used-rockwool and total chlorophyll was had no difference according to mixture ratios with used-rockwool. Photosynthesis rate was highest in 70% medium.

8. Optimal fertilization such as composition and concentration for media mixed with used-rockwool

In container seedling of *Torreya nucifera*, flesh weight, height and trunk diameter were better in high strengths than low strengths as 3.0 strength. In container seedling of *Torreya nucifera*, flesh weight more increased in 1.5 and 3.0 strengths and height and trunk diameter more increased in 1.5 strength than the rest. In container seedling of *Quercus acutissima*, flesh weight was heaviest in 2.0 strength and was lightest in 1.0 strength. Height and dry weight in 2.0 and 3.0 strengths and trunk diameter and total chlorophyll in 2.0 strength were better than the rest. Besides photosynthesis rate was more high in 1.5 and 2.0 strengths than the rest. In container seedling of *Fraxinus mandshurica*, flesh weight, height and trunk diameter more increased in 0.5 strength and total chlorophyll and photosynthesis rate were good in 0.5 and 2.0 strengths. Most growth characteristics were poor in 3.0 strength.

9. Irrigation system for containerized seedling using media mixed with used-rockwool

(1) Supply amount and number of times of nutrient solution

In results of investigation on height, trunk diameter, numbers of shoot, chlorophyll content and photosynthesis rate of trees according to supply number of times per week and amount per one times of 'Sonneveld' nutrient solution, *Pinus densiflora* (1-0) in over 100% of field moisture capacity (FMC) and twice/week, *Pinus densiflora* (2-0) in over 100% of FMC and seven times/week, *Pinus koraiensis* (1-1) in over 100% of FMC and three times/week and that in case of increase of tree age was needed increase of supply number of times and decrease of supply amount, *Torreya nucifera* (1-1) in 100% of FMC and one or twice /week, *Quercus acutissima* (1-0) in 100% or 150% of FMC and three times/week and that in case of increase of tree age was needed seven times/week, *Stewartia koreana* (1-0) in 150% of FMC and three times/week was good in growth characteristics of tree. In results of investigation of height and trunk diameter of trees according to the supply number of times of nutrient solution by and species of trees, height of *Pinus densiflora* (1-0) more increased in many supply number of times for May and June, in three times/week for July and August. Trunk diameter of *Pinus densiflora* (1-0) more increased in twice or three times/week for May, once or seven times/week for June, three times/week for July and August. Also, there was the significant effects of growing period and supply number of times on height and trunk diameter of the trees.

(2) Irrigation management according to growing period

Height of *Pinus koraiensis* (1-1) more increased in twice/week for May, many supply number of times for July and August. Trunk diameter of *Pinus koraiensis* (1-1) more increased in twice for May, three times/week for June, twice/week for July, three times/week for August. Also, there was the significant effects of growing period and supply number of times on height and trunk diameter of the

trees. Height of *Torreya nucifera* (1-0) more increased in once or three times/week for May, once or seven times/week for June, many supply number of times for July and August. Trunk diameter of *Torreya nucifera* (1-0) more increased in once or three times/week for May, twice/week for June, over three times/week for July and August. Height of *Torreya nucifera* (1-1) more increased in three times/week for May and June, seven times/week for July and August. Trunk diameter of *Torreya nucifera* (1-1) more increased in seven times/week for May, over three times/week for June, July and August. Also, there was the significant effects of growing period and supply number of times on height and trunk diameter of the trees. Height of *Taxodium distichum* (1-0) more increased in three times/week for June, twice/week for July, over three times/week for August. Trunk diameter of *Taxodium distichum* (1-0) more increased in twice for May, three times/week for June, seven times/week for July and August. Also, there was the significant effects of growing period and supply number of times on height and trunk diameter of the trees.

The second cooperation project : Development planting system of containerized seedling

10. Compare containerized seedlings with bare root seedlings in survival and growth after planting in the field

There are differences among site condition in growth performance and relative growth in *P. densiflora* and *Q. acutissima*. However, containerized seedlings of two species were better in growth than bare root seedlings. Foliage, stem, and root biomass were larger in containerized seedlings than in bare root seedlings. The increase of stem biomass was the largest in *P. densiflora* and the increase of root biomass was the largest in *Q. acutissima* in both seedling types. When 3 years passed after planting containerized and bare root seedlings, there were no interruption in growth of *P. densiflora* and *Q. acutissima* by around vegetation.

11. Analyze growth conditions for survival and growth of containerized seedling

Total chlorophyll contents of *P. densiflora* and *Q. acutissima* were higher light intercepted treatment than full sunlight treatment in both containerized and bare root seedlings. However, total chlorophyll contents were higher in wet condition for *P. densiflora* and in dry condition for *Q. acutissima*, and were the highest in the 1000 times fertilization treatment. Actual growth and relative growth rate of *P. densiflora* and *Q. acutissima* were the highest in full sunlight of light treatments, wet condition of water treatments, and 1000 times fertilization of fertilizer treatments. Foliage, stem, and root biomass showed the same trends as above. Furthermore, photosynthetic capacity and efficiency followed the same trends of growth performance in *Q. acutissima*. These values were much higher in containerized seedling than bare root seedling in both species.

12. Develop techniques of optimal fertilization for containerized seedling

There were no differences in survival rate and physiological index among fertilization treatments in the field. There was also toxic effect on seedling by over 100g fertilization. Seedling actual (or relative) height and root collar diameter of *Q. acutissima* and *P. densiflora* (planted in 2006) in both seedling types were higher in fertilization treatment than control, no fertilization. Seedling actual (or relative) height and root collar diameter of *Q. acutissima* and *P. densiflora* (planted in 2007) in both seedling types were high at 50g and 100g fertilization in deep-fertilization treatments, and 200g and 300g treatment in surplus fertilization treatments. Above results were also showed in *F. rhynchophylla*, *Betula platyphylla*, *Cornus kousa* containerized seedlings (planted in 2008). The biomass increases were the same as above growth performance. The effect of fertilization treatment was higher in bare root seedling than containerized seedling. In the beginning after planting, the growth of containerized seedling was higher than bare root seedling, but as time progressed the differences between seedling types were decreased in growth.

13. Find optimal planting time for containerized seedling

Planting in summer had high survival rate and physiological conditions in all sites in *P. densiflora* containerized seedlings. Seedling actual (or relative) height and root collar diameter of *P. densiflora* was the highest in summer planting, but in the initial period after planting growth was not good. After time passed, growth rate was increased. Growth was higher in site B, which was not vigorous vegetation around planting site. Biomass was highest in summer planting and also highest in site B.

14. Effect of container size for seedling survival and growth

There were no differences in survival rate of *P. densiflora* among container sizes, but high physiological characteristics showed as container size increased. Also, high survival rate and physiological characteristics occurred in site B, which was not vigorous vegetation growth. 1-0 *P. densiflora* seedling planted at containers with 35 holes showed higher height growth than containers with 104 holes, but there were no differences in 2-0 *P. densiflora* seedlings between pot for large seedling and containers with 15 holes. Foliage, stem, and root biomass of 1-0 *P. densiflora* were higher at containers with 35 holes and at pot for 2-0 *P. densiflora* seedlings.

15. Development of management technique after planting containerized seedling

The survival rate and physiological characteristics for all seedlings were higher at the controlling site of vegetation than no treatment. The survival rate and physiological condition were also greater in containerized seedling than in bare root seedlings planted in 2006 and 2007. The actual and relative growth of 1-0 and 2-0 *P. densiflora* containerized seedlings planted in 2006 and 1-1 *P. densiflora* bare root seedlings were the highest in vegetation control treatment. The actual and relative growth of *P. densiflora* and *Q. acutissima* containerized and bare root seedlings planted in 2007 and *Acer mono* containerized seedlings

planted in 2007 were the highest in vegetation control treatment. However, there were no differences in growth performance for all species planted in 2006 and 2007 between vegetation control treatment and mulching treatment. Biomass growth was the highest at vegetation control treatment for all species planted in 2006 and 2007, and growth rate of containerized seedlings was higher than bare root seedling in *P. densiflora* and *Q. acutissima*.

CONTENTS

SUBMISSION DOCUMENT	1
SUMMARY in KOREAN	2
SUMMARY in ENGLISH	12
CONTENTS in ENGLISH	23
CONTENTS	25
Chapter 1. Outline of Research	27
Chapter 2. Present Technologies Developed in Domestic and Foreign Countries	32
Chapter 3. Materials, Methods, and Results of the Research	43
Sub-project : Development of large containerized production system	43
Para. 1. Select species and container for large seedling production	43
Para. 2. Develop growth control system by finding optimal temperature condition	39
Para. 3. Develop growth control system by finding optimal light condition	47
Para. 4. Develop planting technique for large containerized seedling	45
Para. 5. Develop container for large seedling production	46
Para. 6. Develop tools for planting large containerized seedling	46
The first cooperation project : Development of soil media with used-rockwool,	

irrigation and fertilization system	8
Para. 7. Optimal mixture ratio of used-rockwool for soil media of containerized seedling production	8
Para. 8. Optimal fertilization such as composition and concentration for media mixed with used-rockwool	9
Para. 9. Irrigation system for containerized seedling using media mixed with used-rockwool	10
The second cooperation project : Development planting system of containerized seedling	135
Para. 10. Compare containerized seedling with bare root seedling in survival and growth in the field	135
Para. 11. Analyze growth conditions for survival and growth of containerized seedling	153
Para. 12. Development techniques of optimal fertilization for containerized seeding	189
Para. 13. Find optimal planting time for containerized seedling	21
Para. 14. Effect of container size for seedling survival and growth	28
Para. 15. Development of management technique after planting containerized seedling	233
Chapter 4. Achievement of planned objectives and Contribution	25
Chapter 5. Application Plan of Research Results	27
Chapter 6. Informations of Scientific Techniques collected from Foreign countries during the Research	259
Chapter 7. References	23

목 차

제 출 문	1
요 약 문	2
SUMMARY	12
CONTENTS	23
목 차	25
제 1 장 연구개발과제의 개요	27
제 2 장 국내외 기술개발 현황	32
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	34
세부과제 : 생력화 대묘 생산 시스템 개발	34
제 1 절 용기 대묘 수종 선정 및 대묘용 용기 개발	34
제 2 절 최적 생육 온도 조건 구명에 의한 대묘 생산 생육관리 시스템 개발	39
제 3 절 최적 생육 광 환경 조건 구명에 의한 대묘 생산 생육관리 시스템 개발	47
제 4 절 대묘 식재 기술 개발	54
제 5 절 대묘 생산 용기 개발	60
제 6 절 용기 대묘 식재 장비 개발	69
제 1 협동과제 : 폐암면을 이용한 상토개발과 시비·관수 체계 확립	83
제 7 절 암면 혼합 상토를 이용한 양묘 시 암면의 적정 혼합 비율	88
제 8 절 암면 혼합 상토를 이용한 양묘 시 비료의 최적 화학적 구성 및 적정 농도	99

제 9 절	암면 혼합 상토를 이용한 양묘 시 관수 시스템	105
제 2 협동과제 :	용기묘 조립체계 시업기술개발	135
제 10 절	용기묘와 노지묘의 활착 및 생장에 대한 조립지 실태 비교분석	135
제 11 절	용기묘의 활착 및 생장에 미치는 생육환경 분석	153
제 12 절	용기묘 조립 적정 시비 기술 개발	189
제 13 절	용기묘 조립 적정 식재 시기 구명	217
제 14 절	용기 규격에 따른 조립 성과 분석	225
제 15 절	용기묘 조립지의 임지관리 기술 개발	233
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	255
제 5 장	연구개발 성과 및 성과활용 계획	257
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	259
제 7 장	참고문헌	263

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

본 연구는 시설양묘를 이용하여 생력화 대묘 생산 기술의 체계화와 대묘용기 등 소요자재를 개발함으로써 양묘농가의 소득 증대와 시설양묘 산업의 발전을 도모하며, 폐암면을 이용한 상토의 개발로 상토 원가 절감 및 시설양묘에 적용가능한 관수와 시비체계를 구축하여 생력화 대묘 생산 체계를 확립한다. 또한 용기대묘 조립 체계 시업기술개발로 다양한 수종의 용기묘에 대해 우리나라 조림지 특성에 맞는 구체적이고 현실적인 조립 체계 시업기술의 향상을 유도하는데 그 목적이 있다.

제 2 절 연구개발의 필요성 및 범위

1. 연구개발의 필요성

- 1996년 이래 본격적인 시설양묘의 기술 발전이 지속적으로 진행되어 왔으나, 소나무(1-0)묘, 상수리나무(1-0)묘 등 수종의 제한성과 함께 용기양묘의 초기 투자비와 재료비의 지속적인 상승이 현지 농가에 경제적으로 큰 부담으로 작용하고 있다. 따라서 노지 양묘 시 생장기간이 긴 수종의 생육기간을 단축하는 시설 양묘기술 개발, 활엽수를 위주로 한 다양한 용기양묘 수종개발 및 대묘 생산 기술 확립이 절실히 요구된다.
- 궁극적으로 일반노지에서 긴 생장기간과 사계절이 뚜렷한 기후 환경을 극복하고, 갈수록 조림지의 환경조건의 악화로 조림목의 낮은 활착률과 생장 저조로 조림 성공률이 낮아지고 있으므로 시설양묘에 의한 수종 다변화 및 생산기간을 단축함으로써 생력화 용기대묘 생산 기술체계의 확립이 절실히 필요하다.

- 현재 소나무와 상수리나무 등 일부 수종을 대상으로 개발하여 사용하는 시설양묘용 용기는 침엽수용 2종, 활엽수용 2종으로 1~2년생의 시설양묘용 용기들이다. 하지만 중·장기적인 시업기준으로 볼 때 생태적으로 안정된 산림자원의 조성에 적합한 묘목 생산을 위해서는 다양한 활엽수 및 침엽수용 용기 개발이 절실하며 이는 시설양묘 관련 기관 및 양묘 농가에서도 간절히 바라는 내용이기도 하다.
- 2000년 이후 사회·경제적으로 지속적인 물가상승이 이어졌고 최근에 와서는 급격한 국제유가의 상승과 변동성으로 인해 국내적으로 경제에 큰 부담이 될 뿐 아니라 이는 산림청내 양묘사업소 뿐만 아니라 시설양묘 농가에서도 원재료비의 상승은 크나큰 경제적 손실을 감수해야 하는 실정에 있다.
- 따라서 새로운 친환경폐자재인 입상암면을 이용한 새로운 시설용기용 상토개발은 현재 시설양묘 시 공정비용 중 재료비의 35~40%를 차지하고 있는 상토비용을 최소화 할 수 있는 한 방편으로 친환경 상토의 개발은 시설양묘의 상토부분에 획기적인 전기를 마련할 수 있는 기술력을 확보할 수 있다.
- 또한 현재까지의 시설양묘에서 관수 및 시비체계는 대량생산위주의 양묘형태로 과학적이고 세밀한 부분의 기술체계 정립이 아주 부족한 실정이다. 따라서 지금까지 진행되어 온 시설양묘의 기술에 수경재배 시스템을 적용한 고차원의 시설양묘의 기술 개발이 시급히 요구되고 있다.
- 해방 이후 지금까지 지속된 산림 녹화사업이 대부분 완료되었지만, 현재 우리나라의 산림은 아직도 임지의 총체적인 생산성이나 풍치경관 등에서 개선이 요구되는 산림이 많다.
- 따라서 장기적인 관점에서 지속적인 수종갱신 및 임분 구조개선 사업이 요구되며 특히 불량 조림지, 산불 피해지, 수해 피해지, 병해충 피해지 등을 정상으로 복원하기 위해서는 가능한한 조기에 이들 각 지역의 특수성을 고려한 과학적인 조림 기술을 차별적으로 개발하여 적용할 필요가 있다.

- 그러나 과거에 전국적으로 적용되어온 대 면적 개별 조림방법은 앞으로 시행될 산림 구조개선 사업에 그대로 적용하는데 많은 문제점을 지니고 있다. 따라서 시급히 개선이 요구되는 소 면적 불량 임지 중심으로 과거 획일화된 조림사업이 아닌 소 면적의 불규칙한 정밀 조림사업이 장기적인 안목에서 연차적으로 계속 되어야 한다.
- 그러나 이러한 조림사업은 불량 임지가 소 면적 단위로 불규칙하게 분산되어 있기 때문에 풀베기 작업등을 포함하여 어린나무 가꾸기 사업이 실시되기 전까지의 사후 관리가 매우 어렵다. 이 때문에 이와 같이 불규칙한 소면적 조림지에서는 풀베기 작업등을 생략하더라도 조림 묘목이 하층식생과의 경쟁에서 이길 수 있는 조림 기술이 개발되어야 한다.
- 이와 관련한 대안으로 제시할 수 있는 방안이 대묘 형태로 키운 용기묘의 조림이다.
- 그러나 용기 내에서 키운 대묘의 조림에서도 하층 식생과의 경쟁 문제를 해결하기 위해서는 조림 된 대묘가 가능한 빠르게 임지에 활착되어 왕성한 세력으로 성장할 수 있는 기술이 필요하다. 이를 위해서는 용기묘의 종류별로 식재시기, 식재방법, 시비처리, 하층식생처리 등과 관련된 기술개발을 위해 다양한 기초 또는 실연 연구가 필요하다.
- 현재 시설양묘의 지속적인 기술 발전에 의해 용기묘 조림이 대폭 확대되고 있지만 이들 용기묘를 산지에 조림하는 현장 기술개발과 관련한 구체적인 연구는 대단히 미흡한 실정이다.
- 특히 용기묘 조림과 관련하여 적정규격의 용기묘 생산, 식재시기, 식재방법, 식재 후 사후 관리 등에서 용기묘 조림에 대한 현장기술이 확립되지 않아 많은 문제점이 노출되고 있다.

- 조림지의 토양, 수분, 광선 온도 등과 함께 식재시기, 식재방법, 시비처리, 하층 식생처리 등은 조림의 성과에 큰 영향을 미친다. 특히 조림된 묘목은 하층식생과의 경쟁에서 우위를 보이면서 광선에 대한 수광경쟁에서 살아남아야 활착률 개선과 함께 조림성과를 높일 수 있다.
- 대묘 형태의 용기묘 개발은 이러한 하층 식생과의 수광경쟁에서 현재의 어린용기묘보다 강한 경쟁력을 나타낼 것이며, 이는 높은 활착률로 이어질 수 있다. 따라서 대묘 형태의 용기묘 양묘 기술 및 이들의 산지조림과 관련된 다양한 현장 기술의 체계적인 확립은 앞으로 이들 대묘 형태의 용기묘를 성공적인 확대 보급하는데 필요한 전제 조건이 될 수 있다.
- 용기묘 조림의 성공 여부는 식재시기와 식재 기술에 의해 많은 영향을 받는다. 따라서 수종, 묘령, 용기묘의규격 등에 따른 식재 적정 시기가 구명 되어야 하며 적정 식재방법, 적정 시비량, 시비방법 등도 함께 개발되어야 한다.
- 식재 후 적용되는 임지관리 기술 또한 수종이나 용기묘의 규격 또는 배식 방법 별로 하층경쟁식생의 실태나, 수광조건, 토양 등을 포함한 조림지 입지 환경에 따른 차별화된 적정 관리 기술이 요구된다.
- 용기묘 조림이 확대 보급 되어 가고 있는 현 시점에서 이상과 같은 현지 조림에 필요한 시업기술개발에 대해 연구를 지속하는 과정 보다 과학적인 정보를 확보하기 위해서는 용기묘의 생리·생태학적 연구도 함께 진행될 필요가 있다. 이러한 연구는 현장에서 필요한 용기묘 시업기술 체계의 확립에 요구되는 유익한 기초자료를 제공해줄 수 있다.

2. 연구개발의 범위

- 생력화 대묘 생산 시스템 개발
 - 대묘 생산용 수종 선정
 - 대묘 생산 용기 개발

- 대묘 생산 생육관리 시스템 개발
- 용기대묘의 식재 장비 개발

- 폐암면을 이용한 상토개발과 시비·관수 체계 확립

- 암면 혼합 상토를 이용한 양묘 시 암면의 적정 혼합 비율
- 암면 혼합 상토를 이용한 양묘 시 비료의 최적 화학적 구성 및 적정 농도
- 암면 혼합 상토를 이용한 양묘 시 관수 시스템

- 용기묘 조립체계 시업기술개발

- 용기묘와 노지묘의 기조립지 실태 비교분석
- 용기묘의 활착 및 생장에 미치는 생육환경 분석
- 용기묘의 식재 기술 개발
- 용기묘 조립지의 임지관리 기술 개발
- 용기묘 조립지의 종합적인 육림 보호관리 기술 개발

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

- 용기묘 생산을 위한 시설양묘의 국내 도입은 1988년에 처음으로 국립산림과학원에서 소나무 등 5수종에 대한 적정 용기 및 상토 종류에 대한 연구와 함께 시도되었다. 1980년대와 1990년대에 이르러 산업화가 가속화됨에 따라 농업인구가 급격히 감소되면서 인건비가 상승되어 임업양묘에 있어서도 생력화 할 수 있는 용기양묘방법의 도입이 필요하게 되었다. 용기양묘에 대한 연구는 그동안 농림첨단기술개발사업(1995~2000)이 추진되면서 자동화된 첨단시설방법을 이용한 용기묘의 대량생산 시업기술 개발과 관련된 관리방법을 표준화하였다.
- 국내에서 용기묘를 대규모로 생산하여 산지에 조림하기 시작한 것은 1996년과 2000년이며, 이때는 동해안 지역에 발생한 대규모 산불피해지를 조기에 복원하기 위하여 국립산림과학원 양묘연구실에서 시설양묘된 소나무(1-0)묘로 이용되었다. 2002년도에도 동해안 산불피해지 복구에 185만본의 용기묘를 조림하였으며 2004년도까지 강원도 지역에만 소나무 용기묘를 2,450ha에 걸쳐 조림하였다.
- 현재까지 시설양묘방법에 의한 용기묘 생산과 관련된 시업기술개발에 관한 연구는 적정수종개발, 용기개발, 상토의 혼합비, 나선형 뿌리발달 방지, 세근발달촉진용 용기개발, 시설자재 보완 및 개선 등과 관련된 전반적인 기술을 정립하는 연구가 주로 이루어 졌으며 이들 용기묘를 산지에 조림하는 기술개발은 충분히 이루어지지 않고 있어 이에 대한 연구를 확대 할 필요가 있다.

제 2 절 국외 기술개발 현황

- 고위도 지방인 캐나다, 미국, 북유럽국가 등 선진 임업국에서는 용기양묘에 의한

묘목생산이 일반화되어 있으며, 현재 캐나다의 경우 용기양묘가 전체 양묘의 90%를 차지하고 있다. 이들은 임업용 우량 묘목을 단기간에 생산하기 위하여 첨단화된 온실에서 생육단계별로 온도, 광, 수분, 시비, 일장 등 묘목의 생육과 관련된 최적의 생육조건을 조절하여 양묘를 실시하고 있다.

- 이와 함께 온실의 설계에서부터 묘목생산, 저장 및 운송, 식재단계에 걸친 용기양묘 전과정을 체계화하여 산업화하고 있다. 이와 같은 용기양묘 생산은 세계 각지로 점차 확대 보급되는 가운데 현재는 더욱 널리 급속한 확산을 보이고 있는 추세이다.
- 임업선진국에서는 1930년대부터 용기양묘를 실시하였으며, 본격적으로는 1970년대부터 대단위 조림에 필요한 현대적인 용기를 개발 사용하였다. 현재에도 새로운 용기개발에 필요한 재료, 형태, 적정크기, 생육상토, 생육환경조성 및 생육기간을 포함한 많은 연구가 이루어지고 있다.
- 임업선진국에서는 국영기업은 물론 일반 기업에서도 다양한 수종의 용기묘 생산 과정에서 소비자의 요구에 맞도록 하는 맞춤형 생산체계를 갖추어 체계적으로 생산하는 단계에 이르고 있다. 또한 대묘 생산에 관련된 기술 발전이 점진적으로 발전하는 단계이며, 고품질의 용기묘를 생산하기 위하여 용기 용적 및 생육공간이 점점 커지는 추세이다. 현재 용기묘 생산은 침엽수종 위주에서 점차 활엽수종의 용기양묘가 증가되고 있다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

세부과제 : 생력화 대묘 생산 시스템 개발

제 1 절 용기 대묘 수종 선정 및 대묘용 용기 개발

1. 연구 목적

대묘 생산용 수종의 선정 기준을 확립하기 위하여 현지 임분 내에서 자라는 하층 식생의 층위를 분석함으로써 용기대묘의 선정 기준을 유도한다. 또한 용기 규격과 상토별 생장 특성을 조사함으로써 용기 대묘를 생산하기 위한 적정 대묘 생산용 용기 규격을 구명하고자 한다.

2. 연구 내용 및 방법

가. 대묘 생산용 수종 선정

2006년 7월부터 9월까지 전북 진안, 강원도 홍천, 경기도 포천지역을 대상으로 벌채지, 개별지, 천연림 등 다양한 임분 형태의 조사지 90개소를 선정하여 임분의 층위별 구조 및 상대 피도를 분석하여 대묘 생산용 수종의 선정 및 규격을 구명한다.

나. 대묘용 적정 용기 용적 및 생육상토 개발

1) 공시수종

큰 나무 공익조림 및 경관 조림용으로 지정된 수종 중 말채나무, 피나무, 물푸레나무, 들메나무, 잣나무, 소나무, 노각나무, 분비나무, 회화나무, 졸참나무 등 10수종

을 대상으로 실시하였다.

2) 용기 용적별 및 생육상토별 시험

대상수중에 대해 용적별 대(1.8 L), 중(1.2 L), 소(0.8 L)로 구분하여 시중에서 시판되는 월예용상토 4가지와 피트모스, 펄라이트, 질석을 기본 재료로 하여 혼합비율을 1:1:1로 조제한 상토를 대상으로 시설온실내에서 간장과 근원경의 생장효과를 분석하였다. 상토별 물리적 구성비와 화학적 특성은 다음과 같다(표 1-1, 2).

표 1-1. 생육상토의 물리적 구성

구성 성분(vol, %)	A	B	C	D	E
코코피트		10	34	67	68
피트모스	33	30	35	10	16
질석	33	30	12	12	
펄라이트	33	30	16	7	8
제올라이트			3	4	7
수용성 비료 등	1				1
계	100	100	100	100	100

표 1-2. 생육상토의 화학적 특성

구성 성분	A	B	C	D	E
pH(1:5, v/v)	6.0	6.0	6.3	6.3	6.0
EC(ds/m)	0.1	1.2	0.4	0.7	0.9
O.M(%)					
NH ₄ (mg/L)		150	100	150	90
NO ₃ (mg/L)	0.1	150	120	275	205
P ₂ O ₅ (mg/L)	123	100	200	275	350
K(cmol/L)	4				2
Ca(cmol/L)	10				2
Mg(cmol/L)	7				1
C.E.C(cmol/L)	17	10	40	45	7
K ₂ O(cmol/L)					100

3. 연구 결과

가. 대표 생산용 수종 선정

용기대묘의 활착 및 생장은 식재지 주변의 하층식생과 잡초와의 수광경쟁에서 살아날 수 있도록 유도해야 한다. 이 때문에 용기의 간장 규격이 하층식생에 비해 높거나 같은 수준에 있어야 하며, 또한 근원경 규격도 간장 규격에 맞는 적정 수준으로 되어야 된다고 판단된다. 이에 따라 조사 대상지 90개소의 층위구조를 조사해본 결과, 수종별 차이는 있지만 활엽수는 60-80cm, 침엽수는 50-60cm가 적절할 것으로 판단된다.

위의 결과를 종합하여 용기대묘 수종은 큰 나무 조림 및 생활환경 개선을 위한 경관조림용 대표 중 소나무, 잣나무, 전나무, 물푸레나무, 상수리나무, 비자나무 등 6 수종을 선정하였다.

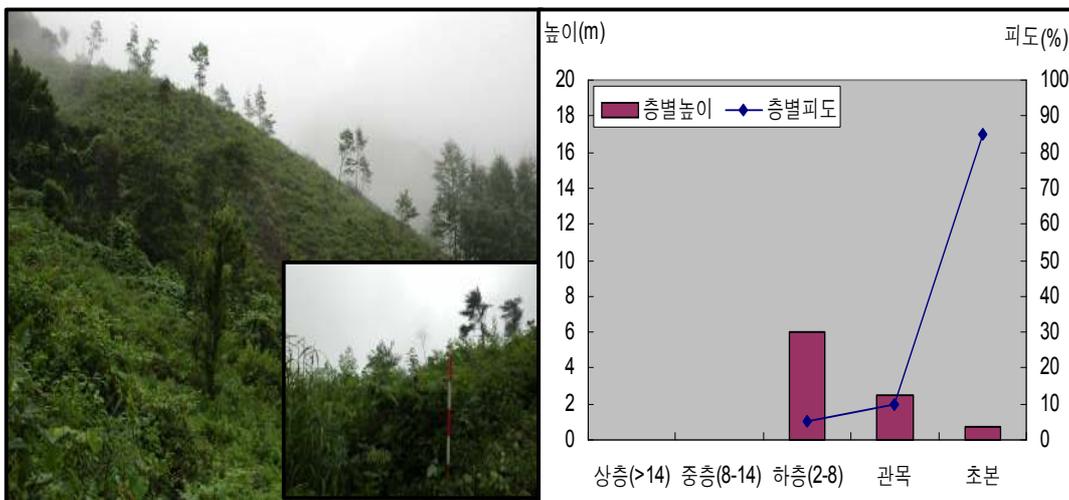


그림 1-1. 전북 진안군 벌채지의 임분 모습 및 층위 구조

나. 대표용 적정 용기 용적 및 생육상토 개발

실험대상 수종의 용기 용적에 따른 생육상토별 간장과 근원경의 생장은 다음 표 1-3과 같다.

표 1-3. 용기 용적에 따른 생육상토별 간장과 근원경의 생장

수종	생육상토	생육상황					
		간장(cm)			근원경(mm)		
		대(1.8L)	중(1.2L)	소(0.8L)	대(1.8L)	중(1.2L)	소(0.8L)
소나무	1:1:1	35.4	34.0	34.0	7.8	8.1	7.5
	A	31.6	33.8	33.6	6.5	7.2	7.1
	B	33.2	37.0	33.6	7.0	7.7	7.2
	C	34.2	35.4	36.0	7.1	7.9	7.2
	D	34.4	32.2	33.2	7.4	6.8	7.0
갯나무	1:1:1	38.2	38.4	30.0	10.8	9.6	7.1
	A	33.8	27.4	29.4	10.0	8.1	9.4
	B	33.6	32.8	27.2	10.0	9.7	9.7
	C	28.8	31.8	29.2	10.6	10.3	10.3
	D	32.7	34.8	30.6	9.3	10.3	10.3
분비나무	1:1:1	39.1	40.6	32.6	14.2	14.1	12.6
	A	46.3	45.2	29.2	16.2	17.0	11.7
	B	50.2	42.6	33.8	15.1	17.5	13.5
	C	47.6	42.4	37.0	15.6	15.2	16.2
	D	43.6	47.6	40.0	15.8	14.4	12.9
노각나무	1:1:1	47.0	교사	26.0	8.2	교사	5.7
	A	56.6	63.0	56.8	11.5	7.6	7.8
	B	50.6	59.2	53.4	9.8	10.4	8.8
	C	86.0	66.8	52.2	10.6	8.4	7.3
	D	63.4	70.8	37.4	9.5	9.7	6.8
회화나무	1:1:1	58.6	44.2	54.2	6.1	5.8	6.6
	A	75.0	42.0	46.0	7.6	5.9	7.8
	B	89.4	56.4	37.2	9.2	7.3	5.6
	C	80.2	67.2	43.4	8.0	7.0	5.9
	D	99.4	74.2	55.8	8.3	8.0	6.5
말채나무	1:1:1	67.0	48.8	54.4	6.1	5.8	6.4
	A	91.5	73.6	73.0	10.1	8.3	8.2
	B	78.2	71.0	54.4	9.0	8.2	6.7
	C	65.9	82.2	63.4	7.9	8.1	7.2
	D	96.8	67.2	51.6	9.6	8.1	7.2
물푸레나무	1:1:1	42.3	34.8	27.8	9.9	10.3	7.4
	A	52.0	51.8	42.2	10.9	10.3	10.7
	B	40.6	47.6	27.2	9.0	9.0	8.4
	C	51.4	39.8	31.8	10.4	10.9	9.0
	D	48.8	41.6	34.0	12.0	10.4	9.1
들메나무	1:1:1	24.0	20.4	26.4	6.6	8.1	8.2
	A	29.4	33.8	30.4	9.9	9.7	8.3
	B	22.4	20.4	20.2	8.2	7.3	7.0
	C	41.4	32.6	27.0	10.9	10.4	8.5
	D	38.0	28.6	27.8	9.8	9.6	8.1
피나무	1:1:1	38.2	26.7	29.0	15.8	10.4	11.6
	A	26.8	31.2	16.4	12.0	14.5	10.7
	B	41.6	33.8	18.7	14.8	19.5	12.0
	C	38.3	26.4	23.0	14.0	14.3	12.7
	D	46.2	39.4	34.7	10.8	12.2	15.4
줄참나무	1:1:1	38.3	34.6	28.6	7.7	7.5	6.7
	A	24.8	27.0	23.8	5.9	7.3	6.1
	B	36.8	27.4	27.6	6.9	6.9	6.3
	C	42.4	31.2	34.8	8.2	6.4	7.1
	D	28.0	29.5	22.5	7.5	7.0	4.9

용기 용적에 따른 실험 대상 수종의 간장과 근원경 생장은 소나무를 제외한 대부분의 수종에서 생육상토별 차이는 있지만 대(1.8L) > 중(1.2L) > 소(0.8L)의 순으로 용기의 용적이 커질수록 높은 생장을 보였다. 또한 이들 이러한 결과가 나타난 수종 중 잣나무, 노각나무, 회화나무, 말채나무를 제외한 수종은 용기 용적 대(1.8L)와 중(1.2L)의 간장과 근원경은 큰 차이 없이 비슷한 수준을 보였다. 그러나 소나무의 경우 용기 용적 대(1.8L)보다 중(1.2L) 내지 소(0.8L)의 생장이 다소 높은 경향을 보였다. 또한 침엽수종 보다 활엽수종에서 용기 용적에 따른 영향이 더 큰 것으로 판단된다. 또한 시설 용기묘의 생장이 용기라는 제한된 공간내에서 성장하는 공간적 특성과 수종이 가지는 자체의 생리적 특성의 차이에서 나타나는 것으로 지속적으로 연구되어야 할 것으로 판단된다.

생육상토의 종류에 따른 실험대상 수종의 간장과 근원경 생장은 대부분의 수종에서 자체 내에 유기물을 많이 가지고 있는 시중 상토들이 피트모스:버뮤쿨라이트:펠라이트의 1:1:1 상토보다 우수한 성장량을 보였다. 그러나 소나무의 경우 피트모스:버뮤쿨라이트:펠라이트의 1:1:1 상토가 시중 상토들 보다 높은 생장을 보이면서 상반된 결과를 나타냈다. 또한 잣나무, 피나무, 줄참나무는 생육상토별로 차이가 없거나 불규칙한 경향이 나타났다. 피트모스:버뮤쿨라이트:펠라이트의 1:1:1 상토가 대부분 낮은 생장을 보이지만, 용기 소묘의 경우 유기물에 의한 생장의 영향이 성장 초기에 민감하게 나타나지만 대묘시기에는 유기물이 생리적 장애를 일으킬 정도의 영향을 미치지 않은 것으로 예상 할 수 있으며, 대묘의 생산기간 동안 시간이 지날수록 상토별 차이는 크게 나타나지 않을 것으로 판단된다.

제 2 절 최적 생육 온도 조건 구명에 의한 대묘 생산 생육 관리 시스템 개발

1. 연구 목적

수목이 성장하는 시기 중 시설 온실 내에는 6월부터 고온에 대한 피해가 발생할 수 있으며, 수종과 묘령에 따라 적정 생육 온도는 다르게 나타날 것이다. 또한, 생육 온도에 따라 수종별 양묘과정에서의 생장에 미치는 영향과 함께 연계하여 실질적인 조립과정에서의 성과에서도 큰 영향을 미칠 것이다. 이 때문에 양묘 과정의 대묘 생산 생육관리시스템 개발에 있어 최적 생육 환경에 의한 적정 온도 조건 구명에 대한 연구가 이루어져야 한다,

본 연구는 용기대묘 8 수종을 대상으로 온도 처리에 따른 형태적 성장 특성과 함께 생리적 특성인 엽록소 함량, 엽록소 형광반응, 광합성 특성 등 각 수종의 반응을 다양하게 구명하였다.

2. 연구 내용 및 방법

가. 공시수종

공시 수종은 대묘용 용기묘 전나무(2-1), 잣나무(1-1), 소나무(1-1), 비자나무(2-0), 상수리나무(1-1), 물푸레나무(1-1), 일본잎갈나무(2-0), 노각나무(1-1)묘 등의 8 수종을 이용하였다.

나. 온도 처리

온도 처리는 growth chamber를 이용하여 주간 25℃, 30℃, 35℃ ± 2℃의 세 가지 온도 조건에서 수종별 20주 총 60주를 온도 처리 하였으며, 야간은 20℃로 변온 처리하였다.

다. 측정 및 결과 분석 방법

1) 생장 특성

온도 처리에 따른 생장을 조사하기 위하여 처리별·수중별로 외관상 평균적인 반응 상태를 유지하고 있는 묘목을 각 5분씩 선정하여 총 간장과 근원경을 측정하였다. 모든 실험이 끝난 후 묘목을 채취하여 잎, 가지, 뿌리를 각각 구분하여 건조량을 측정하였으며, 총 물질생산량과 T/R율(지상부/지하부)을 계산하였다.

2) 엽록소 함량

온도 처리에 따른 엽록소 함량을 분석하기 위하여 처리별·수중별 3주의 묘목을 선정한 후, 한 개체목 당 3반복씩 총 9반복의 잎에 대해 엽록소 함량을 분석하였다. 엽록소의 추출은 Hiscox와 Israelstam(1978)의 방법에 따라 dimethylsulfoxide (DMSO)를 추출 용매로 이용하여 캡 시험관(15mm×12.5cm)에 DMSO 10ml를 넣은 후 분석용 전자저울(CH/AB204-S, Mettler-Toled, Switzerland)로 잎의 중앙 부위에서 0.1g의 잎을 정확히 평량하여 시험관에 넣고, 즉시 65±1℃의 항온욕조에 약 8시간 담가 엽록소를 추출하였다. 추출액을 UV-Vis spectrophotometer(Nicolet Evolution 100, Thermo Electron Co., USA)를 이용하여 663nm와 645nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 다음의 식으로 엽록소 a와 b의 함량을 구하였다(Arnon, 1949; Mackinney, 1941).

$$\text{Chlorophyll a}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{fresh wt.}) = (12.7 \times A_{663} - 2.69 \times A_{645})$$

$$\text{Chlorophyll b}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{fresh wt.}) = (22.9 \times A_{645} - 4.68 \times A_{663})$$

$$\text{Total Chlorophyll}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{fresh wt.}) = (8.02 \times A_{663} + 20.20 \times A_{645})$$

위 식에서 A_{663} , A_{645} 는 각각 663, 645nm에서의 흡광도이다.

3) 엽록소 형광 반응

온도 처리에 따른 엽록소 형광 반응을 조사하기 위하여 엽록소 형광반응 측정기 (Continuous source chlorophyll fluorometer, OSI 30P, ADC, UK)를 이용하여 측정하였다. 형광반응 측정은 광합성 측정과 동일한 잎을 대상으로 sample clip으로 광을 차단하여 측정 전 약 20분간 측정 대상 잎을 암적응시킨 후 측정하였다. 측정 시 $2,000\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 광을 조사하였다. 초기 형광반응(F_0), 최대 형광반응(F_m), 형광반응 최대 변화치 ($F_v=F_m-F_0$) 및 광화학반응 효율(F_v/F_m)의 변수를 측정하여 비교 분석하였다.

4) 광합성 특성

온도 처리에 따른 광합성 특성을 조사하기 위하여 당년생 가지의 잎을 대상으로 휴대용 광합성 측정장치(Portable photosynthesis system, LI-6400, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 수종별, 처리별로 조사 비교 분석하였다. 광도를 임의로 조절할 수 있는 LED light source(LI-6400-02, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 PPF(Photosynthetic Photon Flux Density) 0, 25, 50, 100, 200, 500, 800, 1000, 1500, $2000\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 10수준으로 차이를 두어 10:00시부터 14:00시 사이에 광합성 반응을 측정하였다. 광합성 측정기의 leaf chamber에 유입되는 공기의 유량은 $400\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$, 온도는 25°C 로 설정하고 외기의 환경변화로 인한 영향이 없도록 하였다. 또한 CO_2 농도가 급변하지 않도록 광합성 측정기에 CO_2 injector system(LI-6400-01, LI-COR Inc., USA)을 부착하여 CO_2 농도를 $400 \pm 2\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 범위 내에서 안정된 상태를 유지하도록 하였다. 광도별 광합성 속도를 측정하여 그 측정치를 이용하여 광-광합성곡선을 작성하였다.

순 광합성 능력은 아래의 식으로 계산했다.

$$P_n = U_e(C_e - C_c) / (100s) - C_c \cdot E$$

P_n ; Net photosynthesis($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), U_e ; mole flow rate of air entering the leaf chamber($\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{air}$), C_e ; mole fraction of CO_2 entering the leaf chamber($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{air}$), C_c ; mole fraction of CO_2 in the leaf chamber($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{air}$), E ; transpiration rate($\mu\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

mol⁻¹ · air), s; leaf area(cm²), E; transpiration(mol H₂O · m⁻² · s⁻¹),

2. 연구 결과

가. 온도 처리에 따른 성장 특성

1) 근원경과 간장 성장

표 2-1은 온도 처리에 따른 실험 대상 수종의 간장과 근원경의 성장 및 상대생장률을 나타낸 것이다.

표 2-1. 온도 처리에 따른 간장과 근원경 성장

수종	온도 처리 (°C)	간장			근원경		
		생장(cm)		상대생장률 (%)	생장(mm)		상대생장률 (%)
		5월	10월		5월	10월	
전나무 (2-1)	25	8.0±0.0b	13.3±2.3a	166.7±28.9a	4.9±0.9a	5.5±0.8a	112.9±13.7a
	30	8.3±0.6b	14.5±2.8a	174.3±35.0a	4.8±0.7a	5.4±0.4a	113.9±15.4a
	35	10.7±1.5a	15.0±1.0a	143.6±31.2a	4.5±0.3a	4.8±0.5a	105.4±3.6a
잣나무 (1-1)	25	4.3±0.6a	7.3±0.3a	170.8±19.1b	2.4±0.1a	2.7±0.3a	111.2±6.8a
	30	3.7±0.6a	8.3±1.3a	227.8±13.4a	2.5±0.4a	2.8±0.5a	112.7±3.5a
	35	4.0±1.0a	7.9±1.2a	201.1±21.7ab	2.2±0.2a	2.3±0.1a	105.8±3.0a
소나무 (1-1)	25	13.7±1.5a	27.3±1.3a	202.0±27.9a	3.2±0.4a	4.6±0.3a	143.9±5.9a
	30	13.7±0.6a	27.8±1.0a	203.8±9.8a	3.2±0.7a	4.4±0.2a	139.7±27.9a
	35	14.0±1.0a	29.8±1.9a	213.2±6.0a	3.4±0.3a	4.7±0.3a	138.3±21.6a
비자 나무 (2-0)	25	9.0±0.0a	10.8±1.3a	120.0±14.2a	3.4±0.1a	3.5±0.2b	103.2±0.9b
	30	8.7±0.6a	14.5±2.8a	168.1±34.9a	3.7±0.5a	5.4±0.4a	147.3±27.0a
	35	7.7±0.6b	13.0±2.6a	169.6±31.3a	3.1±0.2a	3.2±0.1b	104.0±2.7b
상수리 나무 (1-1)	25	44.3±3.1a	56.0±10.0a	125.7±15.3a	5.2±0.5a	5.7±0.2a	110.0±5.2a
	30	45.3±0.6a	73.3±20.8a	162.2±47.6a	4.5±0.7a	5.9±0.0a	132.3±20.5a
	35	47.7±5.8a	69.0±19.8a	145.0±36.4a	4.9±0.3a	5.8±0.3a	118.6±8.5a
물푸레 나무 (1-1)	25	28.7±2.1a	39.2±3.4a	136.5±1.9a	5.4±0.5ab	6.0±0.1a	111.5±7.9a
	30	29.7±1.2a	46.2±2.8a	156.0±14.5a	5.8±0.3a	6.3±0.2a	110.2±3.3a
	35	30.3±3.8a	48.0±7.3a	159.9±30.6a	4.9±0.2b	5.9±0.7a	120.6±11.8a
일본잎갈 나무 (2-0)	25	42.2±2.2a	52.4±4.0a	124.1±4.9a	5.0±0.5a	8.4±0.6a	169.2±20.8a
	30	40.5±2.9a	50.0±4.5a	123.5±8.5a	5.0±0.2a	8.3±0.5a	167.3±14.6a
	35	43.4±3.4a	47.3±3.2a	109.1±4.6b	4.8±0.3a	7.0±0.8b	146.1±12.0a
노각 나무 (1-1)	25	55.1±6.1a	55.7±6.3a	101.1±0.3a	4.1±0.4a	4.9±0.6a	118.7±4.2a
	30	56.1±6.2a	56.6±6.1a	100.9±0.9a	4.2±0.6a	4.9±0.7a	115.4±7.0a
	35	57.3±2.4a	57.9±2.6a	101.0±0.7a	4.3±0.4a	5.1±0.5a	119.1±4.2a

온도 처리에 따른 실험 대상 수종의 간장 상대생장률은 전나무, 잣나무, 상수리나무에서는 30℃ 처리구에서 가장 높았으며, 비자나무와 물푸레나무는 35℃ 처리구에서 가장 높았지만 30℃ 처리구와 큰 차이를 보이지 않았다. 일본잎갈나무는 25~30℃ 처리구에서 높은 간장 상대생장률을 나타냈다. 근원경의 상대생장률에서는 전나무, 잣나무, 비자나무 및 상수리나무는 30℃ 처리구, 물푸레나무는 35℃ 처리구, 일본잎갈나무는 25~30℃ 처리구에서 높은 상대생장률을 보였다. 그러나 소나무와 노각나무는 온도 처리간 간장과 근원경 상대생장률이 유의적 차이 없이 비슷한 수준을 나타냈다.

2) 물질생산량 및 T/R율

온도 처리에 따른 물질생산량은 대부분 유의적 차이를 보이지 않았지만, 전나무와 상수리나무는 25℃, 물푸레나무는 30℃, 잣나무, 소나무 및 비자나무는 35℃ 처리구에서 가장 높은 총 물질생산량을 보였다. T/R율 또한 유의적 차이를 보이지 않으며, 잣나무는 25℃, 소나무, 비자나무 및 상수리나무는 30℃, 전나무와 물푸레나무는 35℃ 처리구에서 가장 높았다(표 2-2).

표 2-2. 온도 처리에 따른 물질생산량 및 T/R율

수종	온도 처리 (℃)	건중량(g)				T/R율
		잎	줄기	뿌리	계	
전나무 (2-1)	25	2.1±0.9a	1.1±0.5a	1.8±0.6a	5.0±2.0a	1.7±0.2a
	30	2.0±0.6a	1.2±0.4a	2.0±0.5a	5.2±1.4a	1.6±0.1a
	35	1.4±0.3a	1.0±0.1a	1.2±0.1a	3.6±0.4a	2.0±0.2a
잣나무 (1-1)	25	2.9±0.5b	1.4±0.4a	1.4±1.0a	5.8±1.9a	3.9±2.1a
	30	3.2±1.1ab	1.5±0.3a	1.4±0.8a	6.1±2.2a	3.7±1.0a
	35	4.8±0.9a	2.1±0.7a	2.7±0.4a	9.6±1.8a	2.5±0.4a
소나무 (1-1)	25	1.9±0.3ab	1.2±0.0ab	1.8±0.1b	4.9±0.1b	1.7±0.2a
	30	1.7±0.4b	1.1±0.1b	1.6±0.4b	4.4±0.7b	1.8±0.3a
	35	2.5±0.4a	1.5±0.2a	2.4±0.1a	6.3±0.5a	1.7±0.3a
비자나무 (2-0)	25	0.9±0.2a	0.4±0.1a	1.4±0.3a	2.7±0.5a	0.9±0.2a
	30	0.9±0.1a	0.5±0.1a	1.2±0.2a	2.7±0.4a	1.2±0.2a
	35	1.0±0.6a	0.6±0.4a	1.4±0.8a	3.0±1.8a	1.1±0.1a
물푸레나무 (1-1)	25	1.1±0.5a	3.0±0.9a	7.3±2.0a	11.4±3.2a	0.6±0.0a
	30	1.0±0.4a	3.6±0.1a	8.6±0.7a	13.1±1.1a	0.5±0.0a
	35	2.1±0.8a	2.9±0.8a	6.8±2.3a	11.8±2.8a	0.8±0.3a
상수리나무 (1-1)	25	4.5±0.8a	4.9±0.3a	17.3±3.2a	26.8±3.9a	0.6±0.1a
	30	7.1±4.2a	5.4±1.8a	11.0±2.4a	23.5±4.4a	1.2±0.6a
	35	4.6±1.2a	4.8±0.8a	13.4±4.6a	22.8±4.1a	0.8±0.4a

나. 온도 처리에 따른 엽록소 함량

무기환경 스트레스는 엽색의 변화와 형태적 특성, 잎의 엽록소 등 색소의 변화와 함께 세포 및 조직의 차이에 의해 물질생산의 마지막 단계인 광합성의 변화에도 영향을 미치므로 궁극적으로 수목의 생육에 관련된 지표로 이용될 수 있다. 따라서 시설온실에서 성장하는 용기묘의 경우 여러 무기환경 스트레스에 노출될 가능성이 크다.

표 2-3. 온도 처리에 따른 엽록소 함량

수종	온도처리 (°C)	엽록소 함량(mg·g ⁻¹ ·fre.wt.)		
		엽록소 a	엽록소 b	총 엽록소
전나무 (2-1)	25	1.42±0.12b	0.18±0.11b	1.60±0.28b
	30	2.25±0.78a	0.30±0.09ab	2.55±0.88ab
	35	2.88±0.62a	0.50±0.04b	3.38±0.70b
잣나무 (1-1)	25	0.41±0.08a	0.08±0.01a	0.50±0.08a
	30	0.49±0.11a	0.10±0.01a	0.59±0.10a
	35	0.43±0.03a	0.09±0.02a	0.52±0.06a
소나무 (1-1)	25	0.29±0.07b	0.06±0.01b	0.34±0.08b
	30	0.64±0.10a	0.12±0.02a	0.76±0.09a
	35	0.34±0.02a	0.05±0.01b	0.40±0.04b
비자나무 (2-0)	25	0.48±0.01a	0.12±0.02a	0.53±0.0.a
	30	0.55±0.06a	0.06±0.02b	0.61±0.07a
	35	0.16±0.01b	0.04±0.01b	0.17±0.04b
상수리나무 (1-1)	25	2.46±0.22a	0.75±0.09ab	3.22±0.37ab
	30	3.93±0.51a	1.09±0.07a	5.02±0.68a
	35	2.26±0.24a	0.69±0.02ab	2.95±0.29ab
물푸레나무 (1-1)	25	4.38±1.19a	0.84±0.01b	5.22±1.33b
	30	2.76±0.88b	1.38±0.03a	7.19±2.10a
	35	5.81±1.77a	0.62±0.01b	3.38±1.10c
일본잎갈나무 (2-0)	25	0.97±0.03a	0.28±0.02a	1.25±0.09a
	30	0.96±0.11a	0.24±0.08a	1.20±0.17a
	35	0.86±0.09a	0.23±0.05a	1.09±0.11a
노각나무 (1-1)	25	1.78±0.41a	0.44±0.04 a	2.22±0.87a
	30	1.59±0.28a	0.38±0.08a	1.97±0.42a
	35	1.69±0.11a	0.36±0.06a	2.05±0.19a

온도 처리에 따른 총 엽록소 함량은 일본잎갈나무와 노각나무는 25°C, 잣나무, 소나무, 비자나무, 상수리나무 및 물푸레나무는 30°C, 전나무는 35°C 처리구에서 가장 높게 나타났다(표 2-3). 대부분 성장 특성의 결과와 유사한 경향을 보이면서 생장이

좋은 처리구에서는 높은 엽록소 함량을 보이고 있다. 이는 적정 생육환경에서 활발한 생육활동을 하기 위해서 엽록소 함량을 증가시키는 것으로, 이로 인한 엽록소 함량의 증가로 활발한 광합성 활동을 통해 우수한 성장을 하는 것으로 판단된다. 그러나 전나무의 경우 성장 특성과는 반대의 경향으로 35℃ 처리구에서 가장 높은 엽록소 함량을 보였다.

다. 온도 처리에 따른 엽록소 형광 반응

온도 처리에 따른 상수리나무, 물푸레나무 및 노각나무의 엽록소 형광 반응 특성을 조사하여 온도 스트레스에 대한 수목의 생리적 특성을 비교 분석 하였다(표 2-4).

표 2-4. 온도 처리에 따른 광화학 효율

수종	온도처리 (℃)	Fo	Fm	Fv	Fv/Fm
상수리나무 (1-1)	25	78±11a	372±25a	294±35a	0.790±0.052a
	30	72±10a	361±28a	289±34a	0.801±0.064a
	35	80±12a	266±22b	186±30b	0.699±0.074b
물푸레나무 (1-1)	25	71±15a	402±34a	331±36a	0.823±0.056a
	30	75±12a	420±45a	345±42a	0.821±0.051a
	35	74±10a	419±42a	345±36a	0.823±0.087a
노각나무 (1-1)	25	164±18b	614±57a	450±38a	0.732±0.048a
	30	146±22ab	436±43b	290±29b	0.665±0.054b
	35	205±27a	604±64a	399±31ab	0.660±0.077b

엽록소가 흡수한 에너지는 크게 열, 형광 및 광합성(초기 광화학 반응)에 이용되므로 광합성 활성은 형광 세기의 변화로 간접적으로 측정이 가능하다. 즉 형광의 증가는 광합성 활성의 감소를 의미한다. 수목의 광화학 반응에 대한 순양자수율의 최대치(F_v/F_m)인 광화학 효율은 상수리나무는 30℃, 노각나무는 25℃ 처리구에서 높은 값을 보였으며, 온도가 증가할수록 고온에 대한 스트레스를 받는 것으로 판단된다. 물푸레나무는 온도 처리간 뚜렷한 경향을 보이지 않았다.

라. 온도 처리에 따른 광합성 특성

광합성 특성은 위의 성장 및 생리적 특성 결과와 유사하게 두 수종 모두 30℃ 처리구에서 가장 우수한 광합성 활동을 보였다(그림 2-1). 상수리나무는 나머지 두 처리구간의 차이를 보이지 않았으며, 물푸레나무는 처리간 뚜렷한 차이를 보이면서 35℃ 처리구에서 가장 낮은 광합성률을 나타냈다.

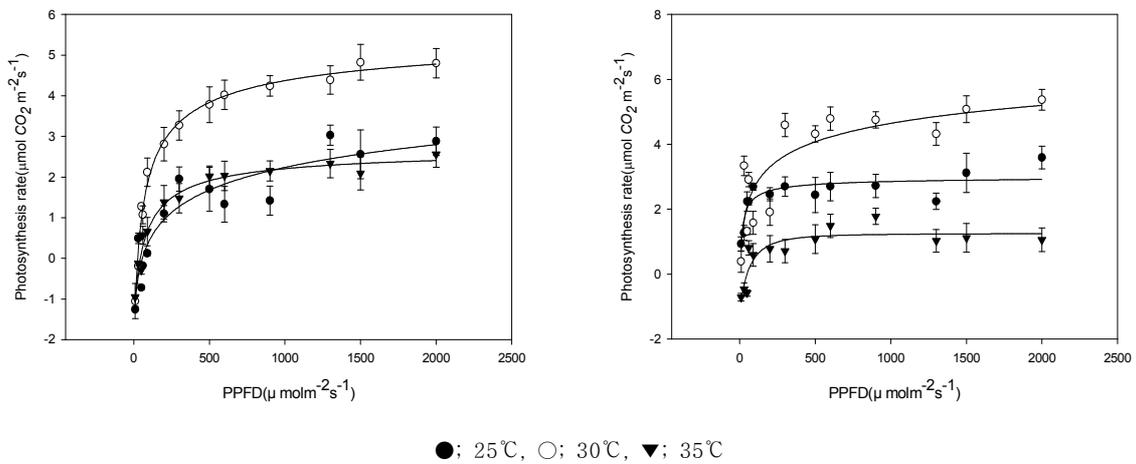


그림 2-1. 온도 처리에 따른 광합성 특성(좌; 상수리나무, 우; 물푸레나무)

제 3 절 최적 생육 광 환경 조건 구명에 의한 대묘 생산 생육관리 시스템 개발

1. 연구 목적

광선은 수목 성장에 영향을 주는 중요한 무기환경요인이다. 또한 양묘과정에서 발아와 함께 초기 성장 및 광합성 활동에 큰 영향을 미친다. 따라서 수종별 양묘과정에서 적정 광 환경 하에서 양묘 된 묘목은 건전한 생장이 이루어질 뿐만 아니라 실질적인 조림과정에서도 우수한 성과를 기대할 수 있다.

본 연구는 용기 대묘 7 수종을 대상으로 인위적인 피음 처리에 따른 형태적 성장 특성과 함께 생리적 특성인 엽록소, 형광반응, 광합성 특성 등 각 수종의 반응을 다양하게 구명하였다.

2. 연구 내용 및 방법

가. 공시수종

공시 수종은 대묘용 용기묘 잣나무(1-1), 음나무(1-1), 소나무(1-1), 물푸레나무(1-1), 일본잎갈나무(2-0), 노각나무(1-1), 비자나무(2-1)묘 등의 7 수종을 이용하였다.

나. 피음 처리

수종별 대묘용 용기묘를 5월까지 무피음 하에서 활착 시킨 후, 검정색 차광막을 이용하여 피음 수준을 전광 처리구(상대 투광률; 100%), 약피음 처리구(상대 투광률; 70%), 보통피음 처리구(상대 투광률; 40%), 강피음 처리구(상대 투광률; 10%)의 4 단계로 하는 인위적인 피음처리를 실시하였다.

다. 측정 및 결과 분석 방법

1) 생장 특성

피음 처리에 따른 생장을 조사하기 위하여 처리별·수종별로 외관상 평균적인 반응 상태를 유지하고 있는 묘목을 각 5본씩 선정하여 총 간장과 근원경을 측정하였다. 모든 실험이 끝난 후 묘목을 채취하여 잎, 가지, 뿌리를 각각 구분하여 건중량을 측정하였으며, 총 물질생산량과 T/R율(지상부/지하부)을 계산하였다.

2) 엽록소 함량

피음 처리에 따른 엽록소 함량을 분석하기 위하여 처리별·수종별 3주의 묘목을 선정한 후, 한 개체목 당 3반복씩 총 9반복의 잎에 대해 엽록소 함량을 분석하였다.

3) 엽록소 형광 반응

피음 처리에 따른 엽록소 형광 반응을 조사하기 위하여 엽록소 형광반응 측정기(Continuous source chlorophyll fluorometer, OSI 30P, ADC, UK)를 이용하여 측정하였다.

4) 광합성 특성

피음 처리에 따른 광합성 특성을 조사하기 위하여 당년생 가지의 잎을 대상으로 휴대용 광합성 측정장치(Portable photosynthesis system, LI-6400, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 수종별, 처리별로 조사 비교 분석하였다.

생리 및 생장 특성에 대한 구체적인 실험 방법은 제 2 절에 기술하였기 때문에 생략하였다.

3. 연구 결과

가. 피음 처리에 따른 생장 특성

1) 근원경과 간장 생장

표 3-1은 피음 처리에 따른 실험 대상 수종 간장과 근원경의 생장과 상대생장률을 나타내고 있다.

표 3-1. 피음 처리에 따른 간장과 근원경 생장

수종	피음 처리 (%)	간장			근원경		
		생장(cm)		상대생장률(%)	생장(mm)		상대생장률(%)
		5월	10월		5월	10월	
잣나무 (1-1)	전광	5.6±0.8a	9.0±1.3a	161.6±17.8a	3.1±0.4a	4.1±0.5a	133.4±11.2a
	30	4.5±0.5bc	8.3±1.3a	185.4±34.5a	2.8±0.6ab	3.7±0.6ab	130.2±14.0a
	60	4.0±0.8c	6.8±2.1a	165.8±21.8a	2.2±0.4b	2.7±0.3c	121.3±12.3a
	90	5.3±0.6ab	9.0±3.0a	166.7±41.6a	2.6±0.2ab	3.2±0.2bc	121.5±5.3a
옻나무 (1-1)	전광	2.3±1.0a	12.3±5.5a	570.3±150.5a	4.2±0.5a	6.4±0.7a	153.1±6.7ab
	30	1.1±0.3b	5.6±1.4b	522.2±164.1ab	3.7±0.6a	5.8±0.7ab	159.5±19.5a
	60	1.5±0.5b	4.7±1.2b	366.7±206.6ab	3.6±0.7a	5.0±0.7bc	140.4±11.0bc
	90	1.0±0.5b	3.0±1.2b	342.9±161.8b	3.4±0.6a	4.4±0.8c	130.0±10.9c
비자나무 (2-1)	전광	29.3±6.2a	39.0±8.6a	132.9±10.8a	6.2±0.8a	8.8±1.8a	142.2±21.2a
	30	21.8±2.8b	28.1±5.5b	128.3±14.5a	4.9±0.2b	6.7±0.3b	135.2±5.2a
	60	22.9±2.5b	26.9±3.1b	117.5±5.1a	5.0±0.4b	6.7±0.5b	133.7±7.0a
	90	19.9±2.4b	23.0±2.7b	116.3±13.9a	4.9±0.3b	6.0±0.3b	124.6±8.7a
일본 잎갈 나무 (2-0)	전광	42.4±3.2a	63.0±5.2a	148.6±7.1a	4.6±0.5a	8.1±0.6a	178.9±19.5a
	30	43.9±1.8a	57.7±2.9b	131.7±9.0b	4.8±0.7a	7.0±1.0b	147.8±20.1b
	60	41.0±1.7a	48.3±1.5c	117.8±5.6c	4.9±0.5a	6.3±0.5bc	127.5±11.2bc
	90	42.3±2.7a	47.5±3.3c	112.2±4.3c	4.6±0.6a	5.5±0.5c	121.6±17.1c
소나무 (1-1)	전광	24.8±3.3a	41.3±6.8a	166.4±14.3a	6.8±0.8a	8.2±1.3a	120.3±6.0a
	30	25.3±1.0a	39.6±3.7a	156.2±12.6a	7.1±0.7a	8.0±1.1a	113.2±8.1a
	60	26.0±2.6a	40.0±2.0a	154.4±8.3a	6.4±0.9a	7.1±1.2a	110.8±8.0a
	90	-	-	-	-	-	-
노각 나무 (1-1)	전광	48.8±8.8a	62.5±10.1a	128.4±5.7a	8.7±1.5a	9.9±1.4a	114.6±9.3a
	30	41.0±8.4a	54.0±8.9a	133.5±16.5a	8.2±1.2a	9.5±1.5a	117.0±4.1a
	60	50.5±6.5a	66.0±7.0a	131.1±3.0a	8.5±0.7a	8.9±0.5a	104.7±2.6b
	90	-	-	-	-	-	-
물푸레 나무 (1-1)	전광	25.7±7.2a	59.2±6.0a	238.5±46.1a	7.7±0.9a	11.2±2.2a	144.3±14.4a
	30	15.4±2.3a	33.0±6.4b	214.6±29.1a	5.8±0.6b	7.9±0.4b	138.0±11.7ab
	60	19.5±8.6a	29.0±12.7b	150.4±20.3b	6.5±1.2ab	7.6±0.6b	119.1±13.4b
	90	-	-	-	-	-	-

비자나무, 일본잎갈나무, 소나무 및 물푸레나무는 피음 처리에 의해 전광 처리구에서 가장 높은 상대생장률을 보였으며, 잣나무, 음나무 및 노각나무는 30% 처리구에서 가장 높았다. 그러나 피음 강도가 강한 90% 처리구에서는 소나무와 노각나무 및 물푸레나무는 광선 스트레스에 의해 대부분 고사하거나 측정이 불가능한 묘목만 남아 분석을 할 수 없었다. 대부분의 실험 대상 수종은 전광 또는 30%의 약한 피음 처리에서 생육활동이 우수하였으며, 이는 양묘 과정에서 고 광도의 스트레스 보다는 저 광도의 부족한 광 환경이 문제가 될 수 있는 것으로 판단된다.

2) 물질생산량 및 T/R율

피음 처리에 따른 물질생산량은 전광 처리구에서 실험 대상 수종 모두 다른 처리구들과 유의적 차이를 보이면서 가장 높게 나타났다. 간장과 근원경의 성장 특성과 유사한 경향을 보이는 것으로 적정 광 환경 조건에서 활발한 물질생산을 하는 것으로 판단된다. 그러나 T/R율은 대부분의 수종에서 불규칙한 경향을 보였다(표 3-2).

표 3-2. 피음 처리에 따른 물질생산량 및 T/R율

수종	피음 처리 (%)	건중량(g)				T/R율
		잎	줄기	뿌리	계	
잣나무 (1-1)	전광	1.5±0.4a	0.6±0.0a	1.8±0.4a	3.9±0.7a	1.2±1.0b
	30	1.0±0.1b	0.3±0.1b	0.6±0.2b	2.0±0.2b	2.2±0.5a
	60	0.4±0.2c	0.2±0.1b	0.4±0.2b	1.0±0.5b	1.4±0.1b
	90	-	-	-	-	-
음나무 (1-1)	전광	3.5±1.7a	3.8±1.3a	6.8±0.8a	14.1±3.5a	1.1±0.3a
	30	1.3±0.8b	0.5±0.1b	3.2±0.9b	5.0±1.7b	0.5±0.1b
	60	0.7±0.2b	0.2±0.0b	1.3±0.1c	2.2±0.3b	0.7±0.2b
	90	0.1±0.1b	0.1±0.1b	0.9±0.4c	1.2±0.5b	0.3±0.2b
소나무 (1-1)	전광	15.0±4.1a	8.9±2.6a	12.4±2.5a	36.3±9.2a	1.9±0.2ab
	30	10.4±1.8a	5.5±0.9ab	6.9±2.2b	22.8±4.7b	2.4±0.5a
	60	4.1±1.1b	3.2±1.0b	5.0±1.6b	12.2±3.6b	1.5±0.2b
	90	-	-	-	-	-
노각나무 (1-1)	전광	8.4±1.6a	14.7±5.9a	24.8±4.8a	47.9±12.0a	0.9±0.1a
	30	2.8±1.3b	10.2±2.6ab	13.5±3.1b	26.5±6.7b	1.0±0.1a
	60	1.9±0.3b	5.9±2.3b	6.5±0.9c	14.4±1.7b	1.3±0.5a
	90	-	-	-	-	-
물푸레 나무 (1-1)	전광	6.9±2.9a	18.2±3.1a	24.8±4.5a	50.0±9.4a	1.0±0.1a
	30	3.9±0.9ab	4.3±0.1b	8.1±1.8b	16.4±2.2b	1.0±0.2a
	60	2.3±0.7b	1.8±0.6b	5.0±0.1b	9.1±0.2b	0.8±0.0a
	90	-	-	-	-	-

나. 피음 처리에 따른 엽록소 함량

피음 처리에 따른 총 엽록소함량 특성에서 소나무는 전광, 잣나무, 음나무, 노각나무 및 물푸레나무는 30%, 비자나무와 일본잎갈나무는 60% 처리구에서 가장 높은 총 엽록소함량을 보였다(표 3-3). 일반적으로 수목은 광도가 낮아질수록 부족한 광환경을 극복하기 위해서 엽록소 함량을 증가 시키는 경향을 보인다. 그러나 본 연구 결과에서는 이러한 경향이 나타나지 않았지만, 대부분의 수종의 전광 조건에서는 엽록소 함량이 낮아지는 경향을 보였다. 또한 모든 수종에서 피음 강도가 매우 강한 90% 처리구에서 급격히 엽록소 함량이 낮아졌다.

표 3-3. 피음 처리에 따른 엽록소 함량

수종	피음처리 (%)	엽록소 함량(mg·g ⁻¹ ·fre.wt.)		
		엽록소 a	엽록소 b	총 엽록소
잣나무 (1-1)	전광	0.60±0.07a	0.13±0.01a	0.73±0.09ab
	30	0.97±0.11a	0.24±0.02a	1.21±0.14a
	60	0.27±0.03b	0.11±0.01a	0.38±0.04b
	90	0.46±0.06ab	0.12±0.02a	0.58±0.06ab
음나무 (1-1)	전광	1.72±0.12bc	0.26±0.04b	1.98±0.16b
	30	5.88±0.88a	1.23±0.09a	7.11±0.98a
	60	2.16±0.42b	0.64±0.05b	2.81±0.47b
	90	1.47±0.93bc	0.68±0.04b	2.15±0.55b
비자나무 (2-1)	전광	0.21±0.04ab	0.11±0.02a	0.32±0.06a
	30	0.10±0.03b	0.01±0.01b	0.11±0.02b
	60	0.47±0.07a	0.07±0.02ab	0.54±0.04a
	90	0.20±0.05ab	0.03±0.01b	0.23±0.03a
일본잎갈나무 (2-0)	전광	1.48±0.78b	0.40±0.05a	1.88±0.84a
	30	1.65±0.55b	0.44±0.03a	2.09±0.15a
	60	2.32±0.49a	0.63±0.03a	2.95±0.55a
	90	1.39±0.21b	0.41±0.03a	1.80±0.24a
소나무 (1-1)	전광	3.05±0.38a	0.78±0.06a	3.83±0.64a
	30	0.49±0.05b	0.11±0.03b	0.60±0.08b
	60	0.82±0.04b	0.18±0.02b	1.00±0.05b
	90	-	-	-
노각나무 (1-1)	전광	1.79±0.23b	0.51±0.01ab	2.29±0.22b
	30	4.66±0.37a	1.22±0.08a	5.88±0.54a
	60	3.06±0.47a	0.82±0.02ab	3.88±0.49b
	90	0.25±0.03c	0.10±0.01b	0.35±0.07c
물푸레나무 (1-1)	전광	4.70±0.37a	0.75±0.02a	5.45±0.57a
	30	4.97±0.47a	0.99±0.03a	5.97±0.50a
	60	4.40±0.63a	0.95±0.05a	5.35±0.69a
	90	0.12±0.01b	0.03±0.01b	0.15±0.02b

다. 피음 처리에 따른 엽록소 형광 반응

피음 처리에 따른 음나무, 노각나무 및 물푸레나무의 엽록소 형광 반응 특성을 조사하여 온도 스트레스에 대한 수목의 생리적 특성을 비교 분석 하였다(표 3-4).

수목의 광화학 반응에 대한 순양자수율의 최대치(F_v/F_m)인 광화학 효율은 음나무와 물푸레나무는 전광 처리구, 노각나무는 30% 처리구에서 높게 나타났다. 이는 피음 처리에 따른 성장 및 엽록소 함량의 특성 결과와 일치하는 것으로 적정 광 환경 조건에서 광화학 효율을 높이면서 활발한 광합성 활동에 의해 생장이 우수하게 나타나는 것으로 판단된다. 수종별 내음성 수준은 각기 다르기 때문에 더 많은 수종에 대한 적정 광 환경에 대한 연구가 추가적으로 이루어져야 할 것으로 판단되며, 양묘 과정에서 수종별 적정 광 환경 하에서 양묘하게 된다면 보다 건전하고 우수한 묘목을 생산할 수 있을 것으로 판단된다.

표 3-4. 피음 처리에 따른 광화학 효율

수종	처 리(℃)	Fo	Fm	Fv	Fv/Fm
음나무 (1-1)	전광	71±25a	478±56a	407±31a	0.851±0.047a
	30	82±24a	461±47a	379±26ab	0.822±0.056a
	60	78±19a	477±45a	399±36a	0.836±0.045a
	90	95±28a	527±68a	432±41a	0.820±0.039a
노각나무 (1-1)	전광	103±32a	516±62a	413±31a	0.800±0.078a
	30	104±30a	546±56a	442±27a	0.810±0.069a
	60	113±26a	458±45a	345±26b	0.753±0.065b
	90	-	-	-	-
물푸레나무 (1-1)	전광	86±32a	531±50a	445±48a	0.838±0.047a
	30	72±16a	560±52a	488±42a	0.871±0.052a
	60	118±27a	488±54a	370±36b	0.758±0.045b
	90	-	-	-	-

라. 피음 처리에 따른 광합성 특성

피음 처리에 따른 광합성은 특성은 물푸레나무는 전광 처리구, 음나무와 노각나무는 30% 처리구에서 가장 높은 광합성률을 보였다. 음나무는 전광 처리구와 30% 처리구의 차이는 크지 않았으며, 노각나무는 30% > 60% > 전광 처리구 순으로 나타났다(그림 3-1). 광합성 특성 또한 위의 성장 및 생리적 특성의 결과와 같은 경향을 보였으며, 이는 수종별 적정 광 환경 조건을 뜻하는 것으로 판단된다.

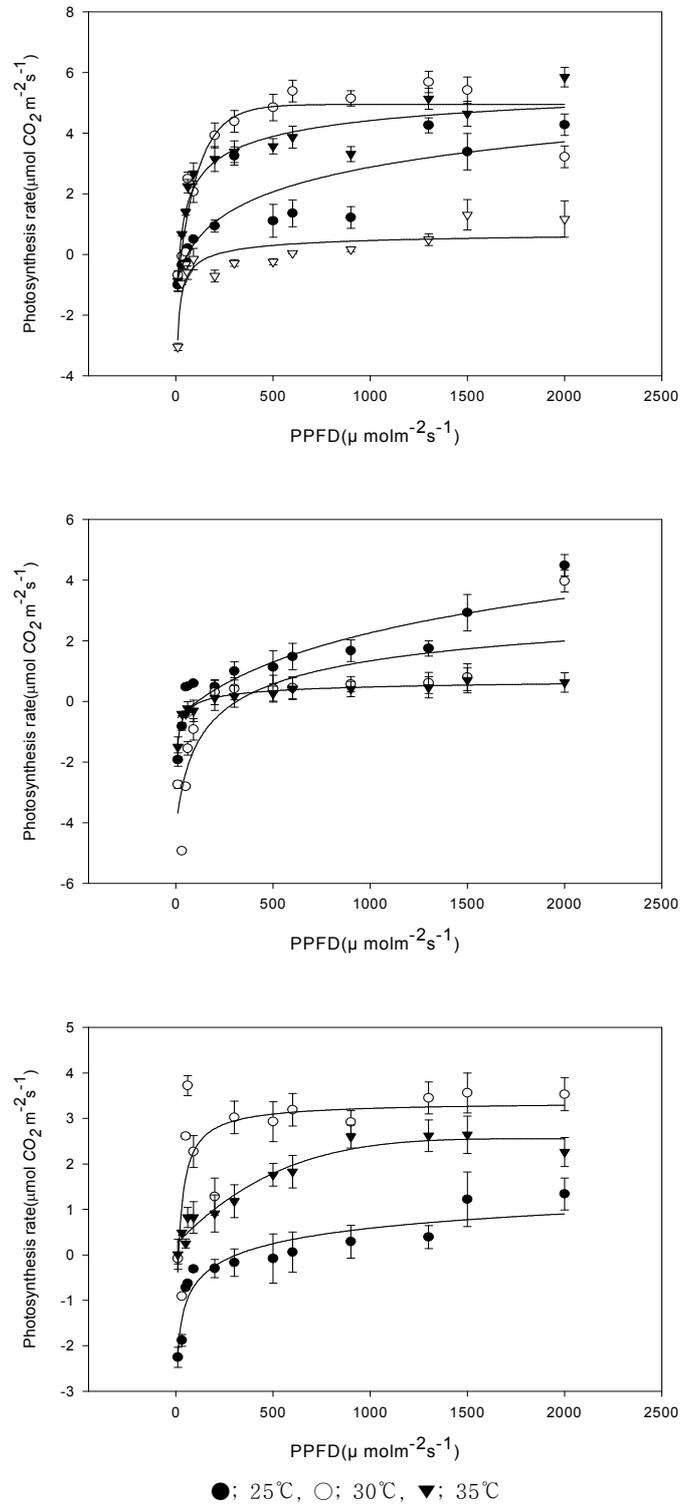


그림 3-1. 피음 처리에 따른 광합성 특성(상; 음나무, 중; 물푸레나무, 하; 노각나무)

제 4 절 대묘 식재 기술 개발

1. 연구 목적

대묘용 용기묘는 긴 시간의 양묘과정이 행해지며, 규격이 일반적인 용기묘의 규격에 비해 월등히 크기 때문에 수종별 묘령별 적정 용기의 선택이 중요하다. 또한 적정 용기 대묘의 생산에 의한 실질적인 조림에 있어서 시비처리, 하층식생처리, 식재시기처리 등의 식재기술은 조림묘목의 활착률과 생장에 큰 영향을 미쳐 조림성과에 나타날 것이다.

본 연구에서는 용기대묘 7 수종을 대상으로 용적과 식재시기별로 조림지에 식재하여, 조림 후 활착률, 성장 특성 및 엽록소 함량을 조사하여 대묘 식재 기술을 개발하고자 한다.

2. 연구 내용 및 방법

가. 공시수종 및 조림 시험지 설치

공시 수종은 대묘용 용기묘 소나무(2-1), 잣나무(2-2-1), 분비나무(2-2-1), 물푸레나무(1-1), 들메나무(1-1), 노각나무(1-1), 졸참나무(1-1)묘 등의 7 수종을 이용하였으며, 조림 시험지는 산림생산기술연구소 시험림(경기도 포천)에 시험구를 설치하였다.

나. 조림 식재시기 및 용기 용적 처리

식재시기별로 9월, 10월 초, 10월 말 등 3시기, 용기 용적별로 대(1.8L), 중(1.2L), 소(0.8L)로 구분하여 수종별·처리별로 각각 20주씩 총 120주씩 식재하였다.

다. 측정 및 결과 분석 방법

수종별 용기 용적과 식재식기에 따른 근원경 및 간장을 조사하여, 생장과 상대생장률을 분석하였다. 또한 처리별 엽록소 함량과 활착률을 조사·분석하였다.

3. 연구 결과

가. 식재시기 및 용기 용적에 따른 활착률

1) 식재시기에 따른 활착률

식재시기에 따른 활착률을 조사한 결과 1차 식재 처리구는 소나무 (활착률 96.7%)를 제외한 모든 수종이 100%의 활착률을 나타내었다. 2차 식재 처리구는 소나무 및 잣나무는 100%의 활착률을 나타내었고, 분비나무, 물푸레나무, 노각나무, 들메나무 및 줄참나무는 각각 96.7%, 96.7%, 63.3%, 93.3% 및 57.9%의 활착률을 나타내었다. 3차 식재 처리구는 잣나무가 100%의 활착률을 나타내었고 소나무, 분비나무, 물푸레나무, 노각나무, 들메나무 및 줄참나무는 각각 96.7%, 93.3%, 93.3%, 80.0%, 90.3% 및 90.0%의 활착률을 나타내었다(표 4-1).

표 4-1. 식재시기에 따른 활착률

수종	식재시기 ¹	활착률(%)	수종	식재시기	활착률(%)
소나무 (2-1)	1차	96.7	잣나무 (2-2-1)	1차	100.0
	2차	100.0		2차	100.0
	3차	96.7		3차	100.0
분비나무 (2-2-1)	1차	100	물푸레나무 (1-1)	1차	100.0
	2차	96.7		2차	96.7
	3차	93.3		3차	93.3
들메나무 (1-1)	1차	100.0	노각나무 (1-1)	1차	100.0
	2차	93.3		2차	63.3
	3차	90.3		3차	80.0
줄참나무 (1-1)	1차	100.0	X		
	2차	57.9			
	3차	90.0			

식재시기¹; 1차: 9월 식재, 2차: 10월 초 식재, 3차: 11월 말 식재

2) 용기 용적에 따른 활착률

용기 용적에 따른 수종별 활착률은 졸참나무를 제외한 대부분의 수종에서 용적에 상관없이 90% 이상의 높은 활착률을 보였으며, 용적간 활착률의 차이는 거의 나타나지 않았다. 그러나 졸참나무는 용기 대(1.8L) 보다 중(1.2L)과 소(0.8L)에서 20~30%의 낮은 활착률을 나타냈다(표 4-2).

표 4-2. 용기 용적에 따른 활착률

수종	용기 용적 ¹	활착률(%)	수종	용기 용적	활착률(%)
소나무 (2-1)	대	96.7	잣나무 (2-2-1)	대	96.7
	중	100.0		중	100.0
	소	96.7		소	100.0
분비나무 (2-2-1)	대	96.7	물푸레나무 (1-1)	대	93.3
	중	100.0		중	100.0
	소	93.3		소	96.7
들메나무 (1-1)	대	100.0	노각나무 (1-1)	대	90.0
	중	96.7		중	90.0
	소	86.7		소	96.7
졸참나무 (1-1)	대	93.3	X		
	중	72.2			
	소	63.6			

용기 용적¹: 대: 1.8L, 중: 1.2L, 소: 0.8L:

나. 식재시기 및 용기 용적에 따른 성장 특성

1) 식재시기에 따른 근원경과 간장 성장

식재시기에 따른 수종별 근원경 상대성장률은 용적별 차이는 있지만, 대부분 1차 및 2차 식재가 3차 식재에 비해 비교적 양호한 성장을 나타냈다. 그러나 소나무의 근원경 상대성장률은 1차 식재에서 가장 낮게 나타났으며, 2차와 3차 식재는 큰 차이가 보이지 않았다. 간장 상대성장률은 대부분의 수종에서 1차 식재가 가장 높게 나타났으며, 2차 식재, 3차 식재 순을 보였다. 그러나 소나무와 물푸레나무는 2차 식재에서 가장 우수한 성장을 보였다(그림 4-1).

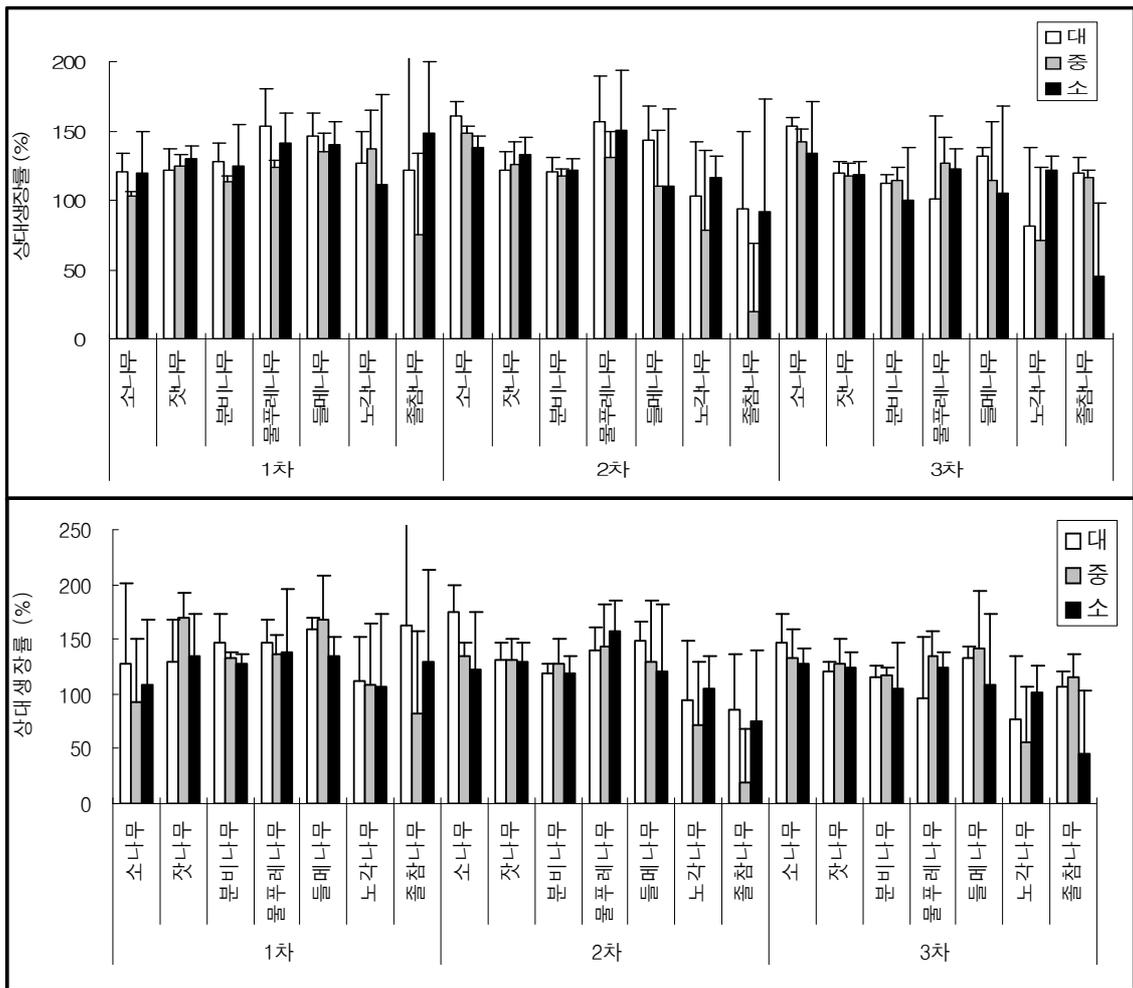


그림 4-1. 식재시기에 따른 근원경(상)과 간장(하)의 상대생장률

2) 용기 용적에 따른 근원경과 간장 생장

용기크기에 따른 성장특성을 살펴본 결과 상대 근원경 생장률 및 상대 간장 생장률 모두에서 대(1.8L) 및 중(1.2L) 크기의 용기가 소(0.8L) 크기의 용기에 비하여 비교적 양호한 성장을 나타내는 경향이었다(그림 4-2). 대묘 용기묘의 양묘 시 묘목의 규격이 커지기 때문에 이에 따른 용기 용적이 클수록 양호한 뿌리의 발달을 할 수 있다. 이 때문에 실질적인 조립과정에서도 용기 용적이 클수록 우수한 조립성과를 가져오는 것으로 판단된다. 그러나 무조건적으로 용기 용적을 크게 한다면 상토 및 인력 등의 경제적인 문제와 작업의 효율성 문제가 발생하므로 수종 및 대묘의 묘령에 맞는 적정 용기 용적의 연구가 양묘과정과 실질적인 조립실연 연구의 병행을 통

해 추가적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다

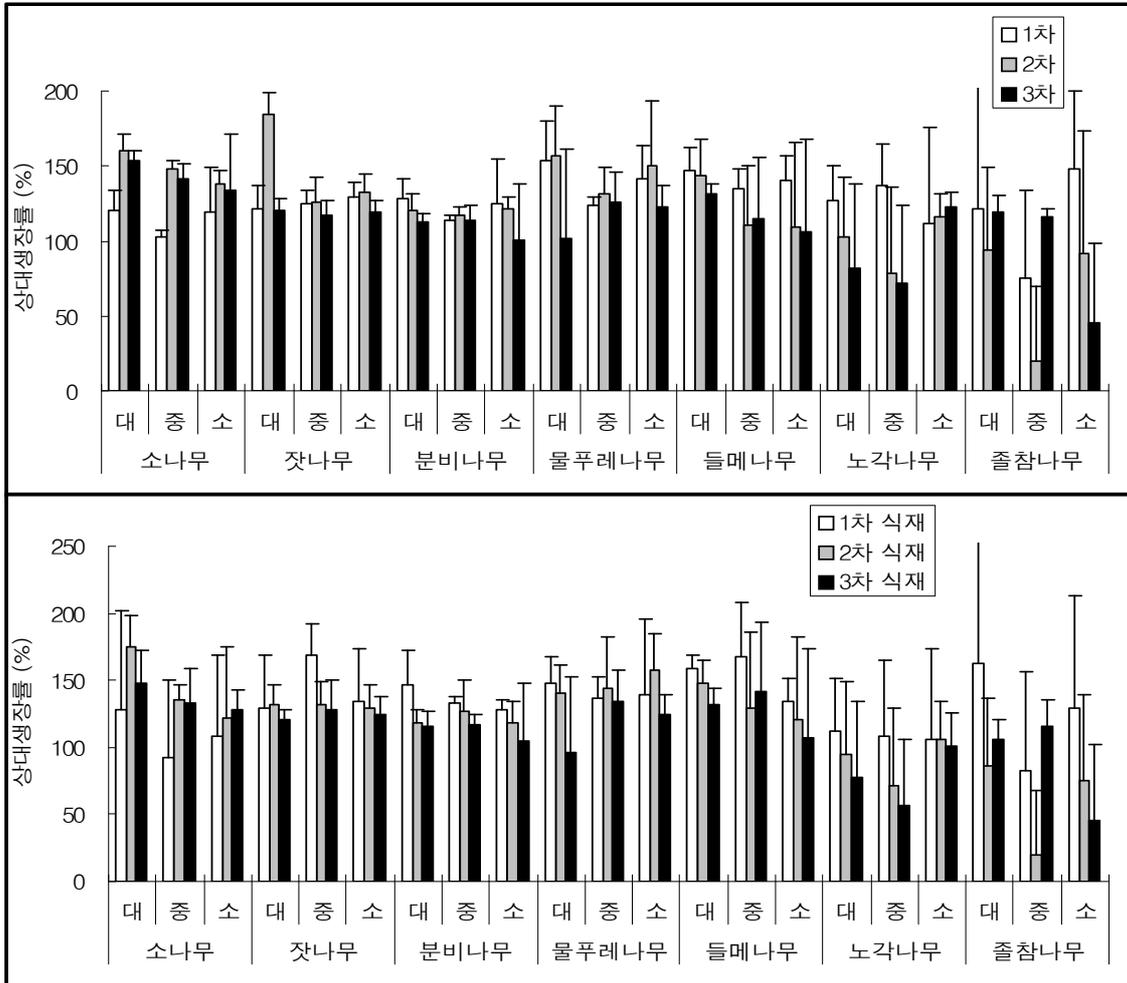


그림 4-2. 용기 용적에 따른 근원경(상)과 간장(하)의 상대생장률

다. 식재시기 및 용기 용적에 따른 엽록소 함량 분석

식재시기에 따른 엽록소 함량을 비교한 결과 잣나무, 물푸레, 노각나무 및 졸참나무는 1차 식재 시험구가 엽록소 함량이 가장 높았고, 분비나무 및 들메나무는 2차 식재 시험구가 엽록소 함량이 가장 높았으며, 소나무는 3차 식재 시험구에서 엽록소 함량이 가장 높게 나타났다.

용기크기에 따른 엽록소 함량을 비교한 결과 분비나무 및 졸참나무는 대(1.8L) 크기의 용기에서 엽록소 함량이 가장 높았고, 잣나무 및 들메나무는 중(1.2L) 크기의

용기에서 엽록소 함량이 가장 높았으며, 소나무, 물푸레나무 및 노각나무는 소(0.8L) 크기의 용기에서 엽록소 함량이 가장 높았다(표 4-3).

표 4-3. 식재시기 및 용기 용적에 따른 엽록소 함량

식재시기 용기 용적 ²	식재시기 ¹								
	1차 식재			2차 식재			3차 식재		
	엽록소(mg·g ⁻¹ ·fre.wt.)			엽록소(mg·g ⁻¹ ·fre.wt.)			엽록소(mg·g ⁻¹ ·fre.wt.)		
	엽록소 a	엽록소 b	총엽록소	엽록소 a	엽록소 b	총엽록소	엽록소 a	엽록소 b	총엽록소
소나무									
대	0.25	0.06	0.30	0.68	0.15	0.82	0.73	0.15	0.89
중	0.57	0.14	0.71	0.47	0.10	0.57	0.66	0.24	0.91
소	0.54	0.13	0.67	0.66	0.16	0.81	0.61	0.19	0.80
분비나무									
대	1.29	0.27	1.55	0.92	0.22	1.15	0.65	0.12	0.76
중	0.79	0.15	0.93	0.68	0.20	0.88	0.55	0.18	0.72
소	0.50	0.14	0.64	0.88	0.31	1.19	1.00	0.24	1.24
갯나무									
대	0.42	0.27	0.69	0.18	0.06	0.24	0.30	0.12	0.43
중	0.30	0.08	0.37	0.60	0.18	0.78	0.31	0.10	0.41
소	0.50	0.13	0.63	0.18	0.05	0.23	0.22	0.05	0.27
물푸레나무									
대	2.37	0.46	2.83	1.73	0.32	2.05	1.70	0.35	2.05
중	1.89	0.39	2.28	1.88	0.43	2.31	1.76	0.41	2.16
소	2.48	0.51	2.99	2.98	0.57	3.55	1.68	0.48	2.16
노각나무									
대	2.55	0.68	3.23	1.52	0.54	2.07	2.02	0.60	2.62
중	2.49	0.65	3.14	1.59	0.41	2.00	1.85	0.43	2.28
소	3.11	0.82	3.93	1.97	0.52	2.49	1.63	0.53	2.16
들메나무									
대	1.34	0.21	1.55	0.71	0.09	0.80	1.19	0.30	1.49
중	1.01	0.18	1.19	1.44	0.26	1.70	1.69	0.28	1.97
소	1.12	0.14	1.26	1.99	0.31	2.29	0.81	0.14	0.95
졸참나무									
대	3.20	0.85	4.06	2.87	0.93	3.80	2.68	1.03	3.71
중	1.98	0.83	2.81	3.12	1.04	4.17	2.90	1.00	3.90
소	2.99	1.11	4.10	1.99	0.75	2.74	3.03	1.10	4.14

식재 시기¹: 1차: 9월 식재, 2차: 10월 초 식재, 3차: 11월 말 식재

용기 용적²: 대: 1.8L, 중: 1.2L, 소: 0.8L:

제 5 절 대묘 생산 용기 개발

1. 연구 목적

시설양묘에서 용기의 개발은 수종과 묘목의 크기가 우선 고려되어야 하며, 수종별 묘목의 성장특성에 따라서도 다양한 용기의 개발이 필요하다. 시설양묘에서는 생육초기에 묘목간의 성장차이가 나타나며 이러한 성장차이는 생육공간이 제한된 용기내에서는 성묘에 이를 때까지 지속되어 발아초기 생장이 부진한 묘목은 서로간의 경쟁에서 회복되지 못하고 낮은 득묘율을 나타내게 된다. 이러한 생육초기 성장차이를 극복할 수 있는 용기와 대묘용 용기의 개발이 요구되고 있다.

2. 연구 내용 및 방법

가. 셀분리·고정형 용기

시설양묘는 제한된 공간에서 묘목을 대량 생산하는 시스템으로 인위적 생육환경 조절로 양묘기간의 단축, 조립시기의 조절, 노동력 절약 등 여러 가지 장점을 가지고 있으나 수종별 생육환경 조건이 다양함으로 수종에 따른 광 환경, 온도, 용기 등 자재 등에 대한 연구가 시급한 실정이다. 용기개발에 관한 연구는 선진국에서 20년이 지났지만 아직까지 완전한 용기는 개발되지 못하였다고 한다. 특히 우리나라에서는 침엽수용 2종, 활엽수용 2종의 용기가 개발 이용되어지고 있으나 수종과 묘령에 따른 다양한 용기가 필요하다. 활엽수의 시설양묘에서는 발아기간과 발아초기의 성장차이는 용기내 묘목간의 성장 경쟁을 심화시켜 낮은 득묘율을 나타내고 있으며, 낮은 득묘율은 집약적인 대량생산을 목적으로하는 시설양묘에서 많은 재료와 시간 및 인력의 손실을 가져오게 한다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 용기묘의 성장초기에 성장 정도에 따라 셀을 이동하여 크기별로 양묘함으로써 균일한 용기묘 생산과 높은 득묘율을 기할 수 있다. 또한 셀분리형 용기는 셀은 그대로 이용하면서 고정틀만 교체해줌으로서 적은 비용으로 수종에 따른 다양한 밀도로 용기양묘를 실시할 수 있다. 셀분리형 용기는 용기양묘의 선진국인 미국 및 캐나다

등지에서도 개발 사용되고 있으나 개개의 셀이 분리됨으로 작업의 불편함이 가장 큰 단점이었다. 본 개발품은 셀고정장치를 창안하여 작업은 일체형용기와 같이 작업을 편리하게 할 수 있는 반면 용기묘의 성장정도에 따라 셀을 분리 이동을 할 수 있게 고안하여 시설양묘에서 높은 득묘율 향상과 자재비의 절약을 기할 수 있게 하였으며, 또한 탈부착이 가능한 용기의 다리를 고안하여 경화처리시 별도의 경화처리대 설치를 생략할 수 있다.

나. 대묘용 용기

우리나라 산림의 식생환경은 하층 식생이 번무하여 조림 및 풀베기작업의 어려움으로 조림의 성공률이 낮아지고 있다. 일부 시도에서는 많은 양의 대묘 조림을 실시하고 있으며, 일반 산주들도 조림의 성공률이 높은 대묘조림을 요구하고 있는 실정이다. 대묘용 용기의 개발도 수중에 따라 다양하게 추진되어야 할 것이며, 현재 대묘조림이 가장 많이 이루어지고 있는 소나무대묘(4년생)를 대체할 수 있는 용기 대묘를 생산할 수 있는 대묘용 용기개발이 시급하다. 용기개발에서 뿌리돌림 방지와 세근발달 촉진을 위한 개구선과 용기선을 설치하며 공기의 유통을 위하여 통기구를 설치하고 있으나 이것으로 인하여 시비 및 관수의 효율이 낮아지고 있어 이의 개선이 필요하다.

다. 용기 관수 효율 구명

용기 표면을 기존의 용기와 달리 불록하게 변형하고, 개구선 내부를 삿갓 모양으로 불록하게 제작하여 시비 및 관수 시 효율을 높이고자 하였다.

기존의 15형 용기와 변형하여 효율을 높이고자 한 20형 용기의 관수 효율을 비교·분석 하였다. 효율은 용기 면 대비 m^2 당 관수 효율과 상토 용량 L 당 관수 효율을 관수 후 유실되는 관수량과 관수 후 용기의 질량 변화에 따른 효율의 두 가지 방법으로 측정하였다.

15형과 20형 용기에 피트모스:버뮤클라이트:펄라이트의 1:1:1 상토를 이용하여 6000ml 관수 후 흡수량과 용기 질량의 변화를 측정한 후 면적과 상토 용량에 대비하여 비례식으로 효율을 계산하였다.

본 실험에서는 대모용 12혈 용기와 같이 관수 효율 증가를 위한 용기 표면과 개구선을 변형을 같이 처리한 20혈 용기로 대체하여 관수 효율을 구명 실험을 실시하였다.

3. 연구 결과

가. 셀분리·고정형 용기

표. 5-1 개발 용기의 규격

용기명	용기 규격(mm)				전체규격 (mm)	혈수		혈용적 (ml)
	혈모양	상부	하부	높이		개	개/m ²	
셀 분리형 용기	원형	φ60	φ42	150	440×280 ×150	24	194	320

표. 5-2 개발 용기의 내부 형태

용기명	내부 흡선		개구선			하부배수구	
	개수	높이, 폭 (mm)	개수	길이, 폭 (mm)	위치	모양	두께 (mm)
셀 분리형 용기	6	3, 2	4	8.5, 3.5	흡선사이마다	*	3

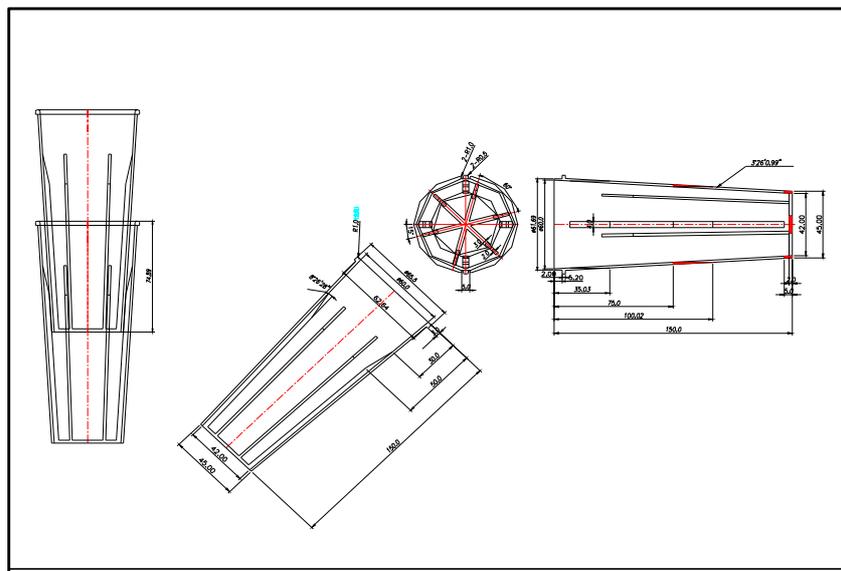


그림 5-1. 셀의 규격 및 도면

1) 셀분리·고정형 24혈 개발용기의 특징

- 플라스틱임 재질
- 셀들이 용기에서 탈부착이 가능, 조임장치를 고안하여 용기내 부착시 일체형 용기와 같이 이용
- 동일 용적의 셀을 가지고 고정틀의 밀도를 교체 조절해줌으로써 다양한 밀도에 서 용기묘를 생산 가능
- 용기 고정 틀지지 다리의 탈부착이 가능하며 다리 부착 시 별도의 경화처리대 의 설치 생략 가능
- 고정틀만 교체함으로서 적은 비용으로 다양한 밀도로 양묘가능

표 5-3. 셀분리형과 일체형 용기에서의 상수리나무용기묘의 생육상황

용기별	셀용적 (ml)	셀밀도 (개/m ²)	생육상황		잔존분수 (잔존율)	특묘분수 (특묘율)	특묘율
			간장	근원경			
일체형 24혈용기	350	215	29.7	3.2	580(80%)	340(59%)	47.4
셀분리형 24혈용기	320	190	30.3	3.4	698(97%)	469(67%)	65.1

나. 대표용 용기

표 5-4. 개발 용기 규격

상부직경	하부직경	높이	반지름	반지름	상부면적	하부면적	평균	용적
10.2cm	7	17	5.1	3.5	81.67	38.46	60.07	1,050ml

표 5-5. 개발 용기의 내부형태

용기명	내부흡선		개구선			하부배수구	
	개수	높이, 폭 (mm)	개수	길이, 폭 (mm)	위치	모양	두께 (mm)
셀분리형 용기	4	3, 2	4	120, 4	흡선사이마다	*	4

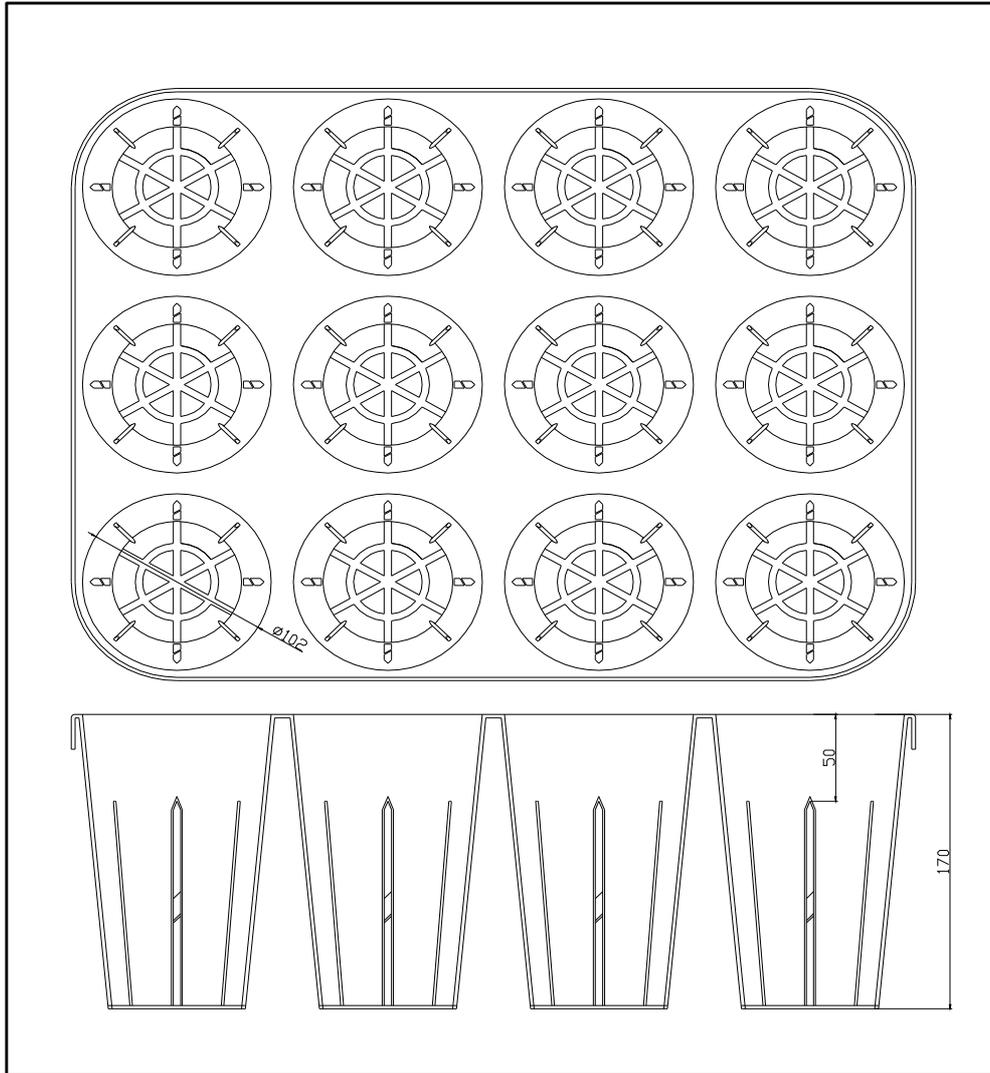


그림 5-5. 개발 용기의 도면



그림 5-6. 12혈 대묘용 용기

1) 12형 대묘 개발용기의 특징

- 혈용적을 1,050ml로 늘리고 1평방미터당 밀도를 77본 정도로 조정하여 활엽수 및 침엽수의 대묘 생산에 적합
- 용기표면을 블록하게 설계하여 용기의 변형이 없으며, 시비 및 관수시 용기 혈속으로 흐르게 함으로써 효율을 높임
- 개구선 내부를 샷갓모양으로 블록하게 처리하여 시비 및 관수 시 개구선 밖으로 유실되는 량을 기존의 용기보다 16~40%정도 줄임

다. 용기 관수 효율 구명

표 5-6. 실험 용기 규격

규격	무게(g)	용량(ml)	면적(cm ²)
15형	757	7710	1014
20형	1015	8020	1286



그림 5-7. 15형 용기와 용기 표면



그림 5-8. 관수 효율 증가를 위해 변형된 20형 용기와 용기 표면

표 5-7. 용기별 6000ml 관수에 의한 흡수량

용기규격		관수		용기 질량(상토포함)		
		관수량(ml)	흡수량(ml)	관수 전(g)	관수 후(g)	흡수량(g)
15월	1	6000	2600	2964	4907	1943
	2	6000	2660	2971	4982	2011
	3	6000	2490	3034	5015	1981
평균		6000.0	2583.3	2989.7	4968.0	1978.3
표준편차		0.0	86.2	38.6	55.3	34.1
20월	1	6000	3800	3272	6152	2880
	2	6000	3720	3363	6235	2872
	3	6000	3870	3294	6126	2832
평균		6000.0	3796.7	3309.7	6171.0	2861.3
표준편차		0.0	75.1	47.5	56.9	25.7

표 5-8. 용기별 관수 효율

용기규격		용기 면적 대비 관수효율		상토 용량 대비 관수효율	
		① 관수에 의한 효율(ml/m ²)	② 용기 질량 변화에 의한 효율(ml/m ²)	① 관수에 의한 효율(ml/L)	② 용기 질량 변화에 의한 효율(ml/L)
15월	1	25641.0	19161.7	337.2	252.0
	2	26232.7	19832.3	345.0	260.8
	3	24556.2	19536.5	323.0	256.9
평균		25476.7	19510.2	335.1	256.6
표준편차		850.3	336.1	11.2	4.4
20월	1	29549.0	22395.0	473.8	359.1
	2	28926.9	22332.8	463.8	358.1
	3	30093.3	22021.8	482.5	353.1
평균		29523.1	22249.9	473.4	356.8
표준편차		583.6	200.0	9.4	3.2

1) 용기 면적 대비 관수효율

① 관수에 의한 효율

15월 - 25476.7±850.3ml/m² (효율 100.0%)

20월 - 29523.1±583.6ml/m² (효율 115.9%) m² 당 약 16% 관수효율이 높음

② 용기 질량 변화에 의한 효율

15월 - $19510.2 \pm 336.1 \text{ ml/m}^2$ (효율 100.0%)

20월 - $22249.9 \pm 200.0 \text{ ml/m}^2$ (효율 114.0%) m^2 당 약 14% 관수효율이 높음

2) 상토 용량 대비 관수 효율

① 관수에 의한 효율

15월 - $335.1 \pm 11.2 \text{ ml/L}$ (효율 100.0%)

20월 - $473.4 \pm 9.4 \text{ ml/L}$ (효율 141.3%) L당 약 41% 관수효율이 높음

② 용기 질량 변화에 의한 효율

15월 - $256.6 \pm 4.4 \text{ ml/L}$ (효율 100.0%)

20월 - $356.8 \pm 3.2 \text{ ml/L}$ (효율 139.0%) L당 약 39% 관수효율이 높음

관수 효율을 증가시키기 위해서 기존의 15월 용기에서 표면과 개구선 내부를 변형시킨 20월 용기가 용기 면적 대비 m^2 당 14~16% 효율이 높아졌으며, 상토 용량 대비 L 당 39~41%의 관수 효율이 높아졌다.

제 6 절 용기 대묘 식재 장비 개발

1. 휴대형 식혈기의 개념

휴대용 식혈기(植穴機, earth auger)는 조림작업을 할 때 식목용의 구덩이를 파는 기계로서 보통 기계톱이나 예취기에 이용되는 소형 단기통 2행정 공랭식 가솔린 기관에 식공굴용의 날을 붙인 것이다(그림 6-1). 식혈기에는 1인용과 2인용이 있으며 원동기부, 동력전달부, 식혈용 날로 구성되어 있다. 중량은 6-13kg 전후로 엔진 배기량은 25-50cc 정도이다.



그림 6-1. 식혈기를 이용한 식혈작업

가. 원동기부와 동력전달부

원동기로서는 일반적으로 단기통 2행정 공랭식 가솔린 기관이 이용되고 있다. 예취기, 기계톱 등과 겸용하고 있는 것도 있다.

동력전달부는 원동기의 동력을 식혈용 날에 전달하는 부분으로서 원심 클러치, 감속장치, 정역회전(正逆回轉)장치, 식혈축 등으로 되어 있다. 감속장치는 보통 원기어를 이용하여 경량화시키고 있으나 2인용의 기계에는 평기어를 2쌍 이상으로 조

합하여 큰 감속비를 얻을 수 있도록 한 것도 있다. 또한 구덩이를 일정 깊이까지 판 다음에 식혈용 날을 잡아빼는 작업은 날을 역회전시킴으로써 자동적으로 빠지게 한 장치, 즉 역회전장치를 붙인 것도 있다.

나. 식혈날

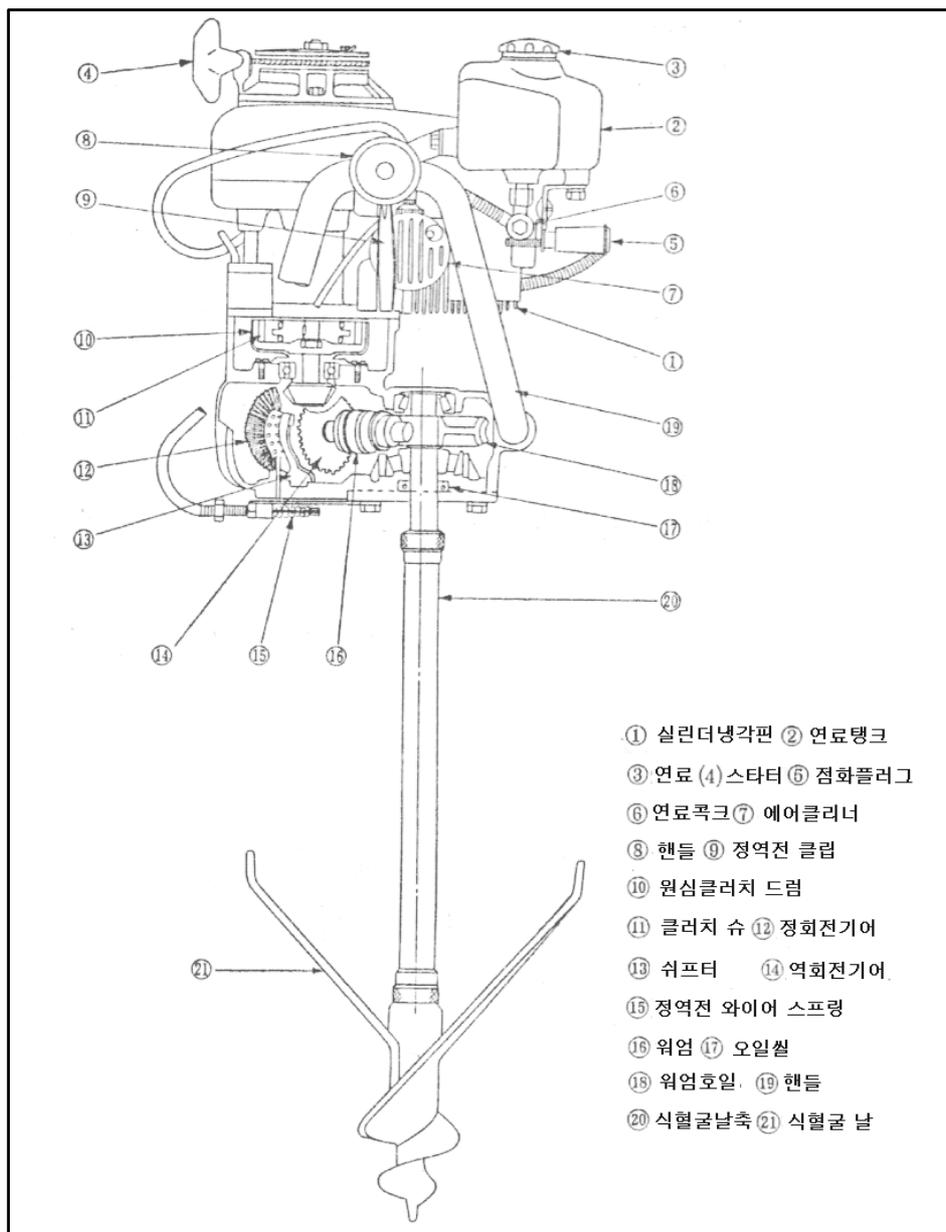


그림 6-2. 사용되고 있는 식혈기의 구조

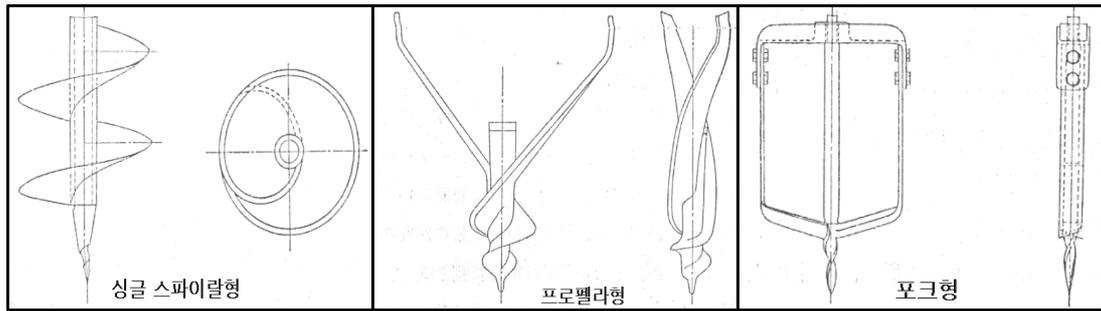


그림 6-3. 식혈날의 종류와 형태

식혈날은 크게 나누어서 프로펠러(propeller)형, 스파이럴(spiral)형, 포크(fork)형의 3종류가 있다. 프로펠러형은 토양을 느슨하게 만들어서 혼합시키는 것처럼 만들어진 식혈기 전용의 날이다. 스파이럴형은 토양 중에서 드릴과 같이 구멍을 파는 동시에 절삭된 토양을 지표면으로 끌어올리도록 만들어져 있다. 식혈굴축에 날이 부착되어 있는 모양에 따라서 단일 스파이럴(single spiral)형, 이중 스파이럴(double spiral)형 및 그 변형이 있다.

포크형은 그림 6-3에 나타난 바와 같이 토양 중의 나무뿌리를 절단하는 데 중점을 두어 만들어진 것이다. 현재에는 스파이럴형이 많이 이용되고 있다. 식목용의 구덩이 직경은 날의 크기에 좌우되는데 그 크기는 약 100-250mm 정도이다.

2. 산림토양의 물리적특성

휴대형 식혈기를 적용하고자하는 대상은 일반 농지가 아닌 산림토양으로 돌 또는 나무 뿌리와 같은 이물질의 함유량이 많아 식혈작업시 식혈기에 무리를 주거나 식혈이 안되는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서 개발하고자 하는 휴대형 식혈기의 식혈날의 제원을 결정하기 위해서는 산림토양내에 존재하고 있는 토양이외의 이물질에 대한 분포특성을 파악 할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 식혈시 가장 문제가 되는 석력의 분포상태를 현지조사를 통해 조사 분석하였다.

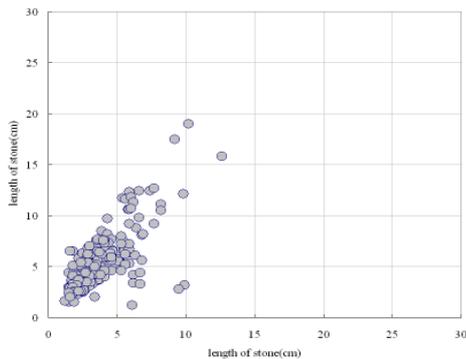
가. 조사방법

휴대형 식혈기의 식혈깊이는 대묘용 용기에서 생산된 용기모로서 토양에 해당하

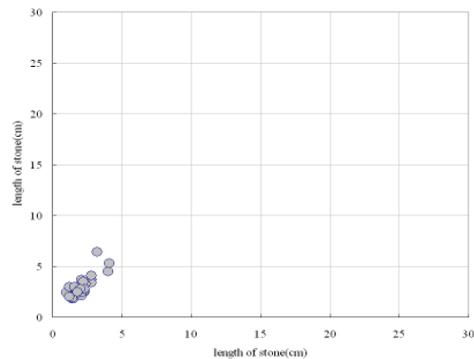
는 상토의 제원이 직경 100mm 깊이 180mm로 식혈하는 작업시의 토양조건에 따라 최대 300mm 까지 식혈되는 경우가 있다. 따라서 산림토양내에 분포하는 석력(石礫)분포를 알기 위해서 가로세로 각각 50cm의 정방형 표본구를 설정하여 깊이 30cm 까지의 통양을 샘플링하여 샘플링한 토양의 석력함유비를 조사하였다. 일반적으로 석력은 75mm 체를 통과하지 못하고 남는 부분을 의미하지만 본 연구에서는 ASTM(D422;D653)에서 기준하는 4.75mm 이상의 자갈을 대상으로 하였다. 샘플링은 국립산림과학원 광릉시험림의 조림지의 토양을 대상으로 총 14군데의 포인트를 조사하였다.

나. 석력분포 결과

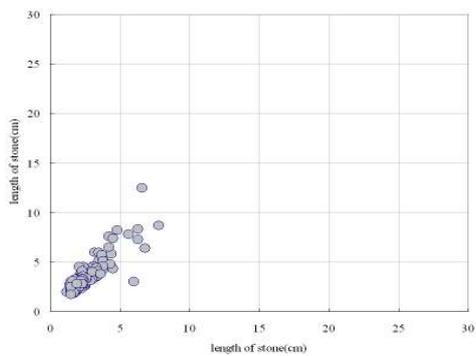
조사 대상지내의 석력분포는 크기가 9-270mm 사이에 존재하였으며 조사구 7번을 제외하고는 대부분 100mm 내에 존재하고 있었으며 그 결과는 그림 6-4와 같다.



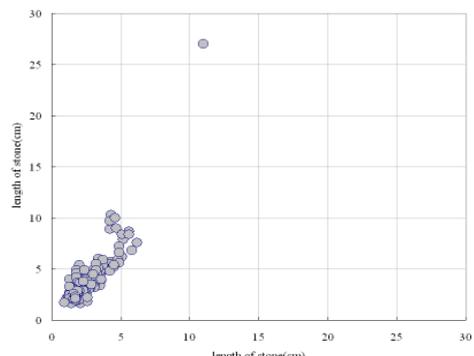
(a)조사구1



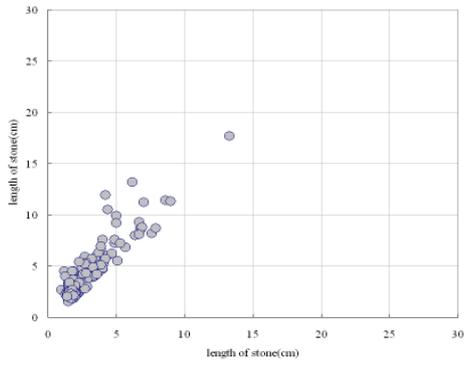
(b)조사구2



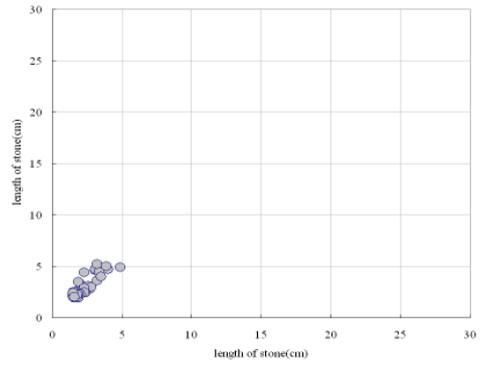
(c)조사구3



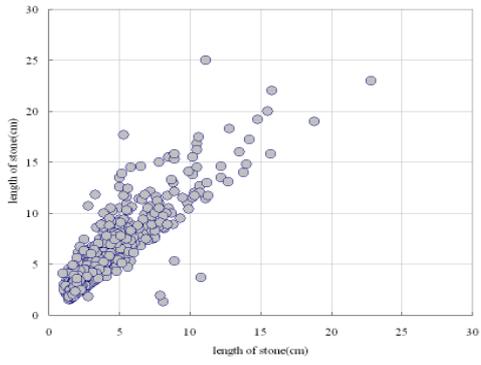
(d)조사구4



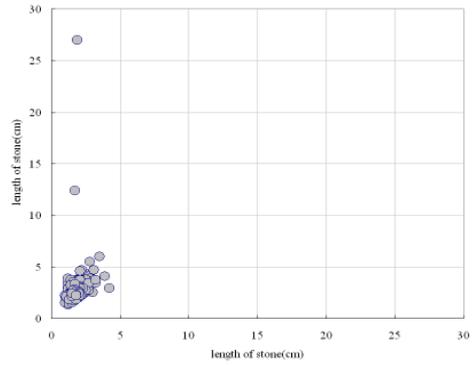
(e) 조사구5



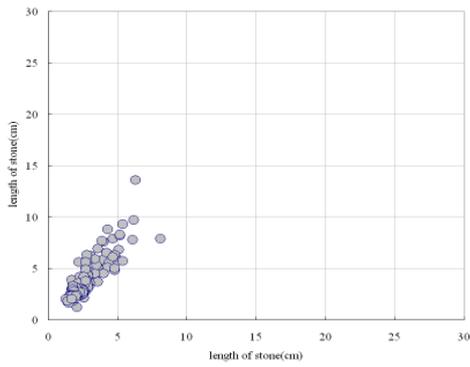
(f) 조사구6



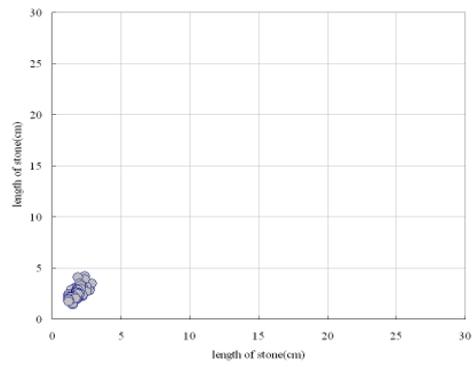
(g) 조사구7



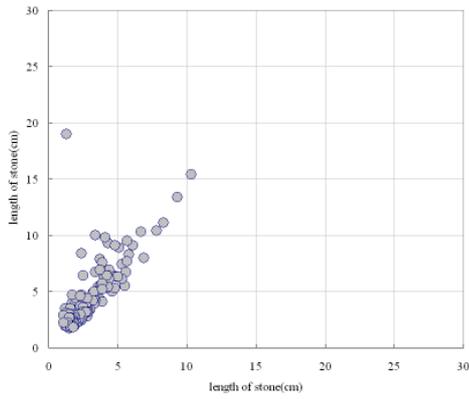
(h) 조사구8



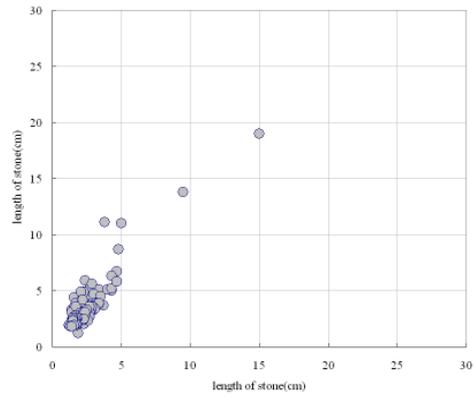
(i) 조사구9



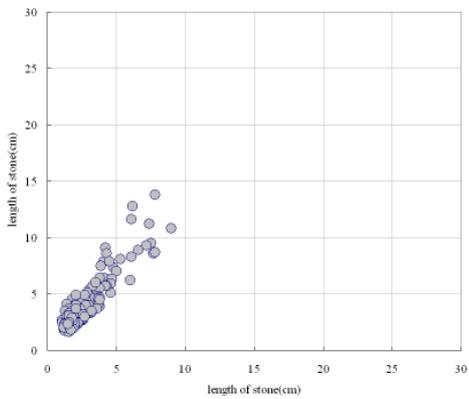
(j) 조사구10



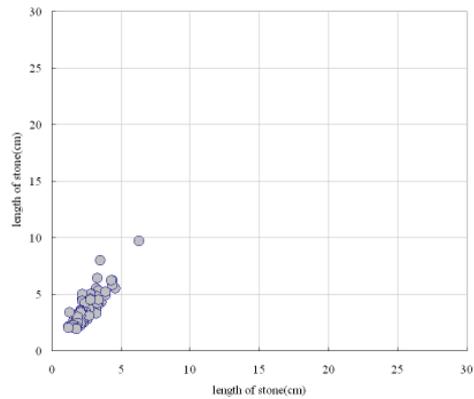
(k)조사구11



(l)조사구12



(m)조사구13



(n)조사구14

그림 6-4. 조사구내 산림토양의 석력분포도

3. 휴대형 용기묘 식혈기의 설계방향

개발하고자 하는 휴대형 용기묘 식혈기의 경우 기존의 식혈기에서 적용하는 묘목과는 달리 시설양묘를 통해 생산된 규격형 용기묘가 사용된다. 이 경우 기존의 노지양묘를 통해 생산된 규격묘와는 달리 용기묘의 경우 뿌리부분에 상토가 존재하기 때문에 식재할 구덩이의 내부에 흙이 존재하지 않고 공동상태를 유지해야한다. 따라서 개발할 휴대형 식혈기의 경우 그림 6-3과 같이 스파이럴형태의 식혈날을 적용하는 것이 유리할 것으로 판단되었다. 또한 식혈기 본체도 기존의 것과는 달리 경량의 부품들을 선정하여 적용할 필요가 있다.

가. 동력원의 선정

휴대형 용기묘 식혈기의 동력원으로서서는 대부분 단기통 2행정 가솔린 기관이 사용되고 있다. 본 연구에서도 필요한 동력을 약 1.5 - 2마력 정도로 판단하고 그림 6-5와 같이 일반적으로 예취기에 많이 활용되고 있는 2행정 가솔린 기관을 선정 하였고 기존의 이동시 불편함을 해소하고자 등짐형태의 프레임이 장착된 것을 적용하였다. 적용된 동력원은 배기량이 40.6cc 이고 최대 7,000rpm에서 2.0마력이다.



그림 6-5. 적용된 2행정 가솔린 기관

나. 동력전달방식

동력원으로부터의 동력을 식혈기로 전달하는 방식은 기존의 감속기를 통한 직결 방식에서 등짐식형태의 동력원으로 전환함에 따라 플렉시블 축을 활용하여 동력원과 작업기의 동력전달방법을 적용 하였다. 동력원으로부터 발생된 회전력이 원심클러치를 이용하여 일정 회전수 이상이 되면 마찰슈에 의해 동력이 전달되는 방식으로 이동시에도 엔진이 정지하지 않은 상태로 이동할 수 있다는 장점이 있다. 플렉시블 축의 직경은 기존의 예취기를 그대로 활용할 수 있도록 8mm의 것을 적용하였다. 따라서 기존 예취기가 있는 농가에서도 작업기만 구입하는 형태로 적용할 수 있어 보다 활용도를 높였다.

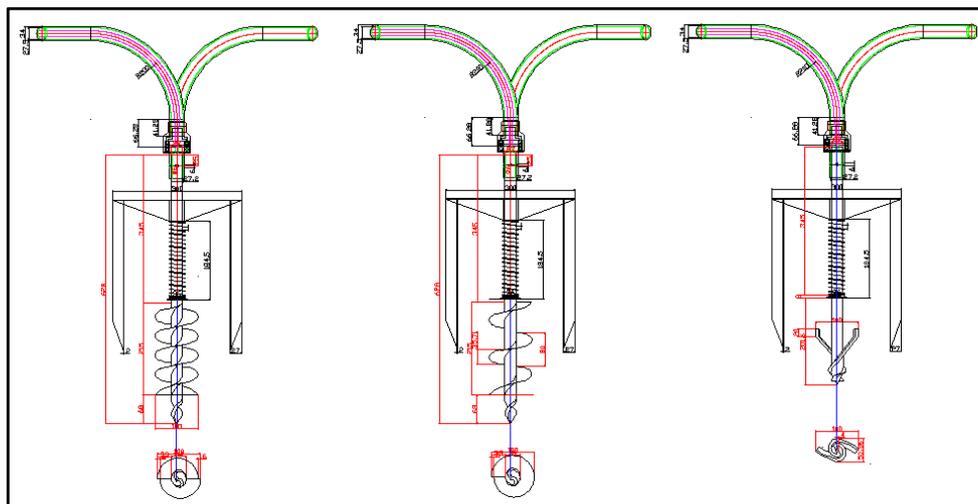
다. 감속기

기존의 식혈기는 감속기가 엔진에 직결되어 있는 방식으로 엔진과 더불어 작업자가 이동시에 불편함을 느낄 정도의 무게감이 있어 본 연구에서는 별도의 설계를 거쳐 제작하였다. 감속비는 약 50:1과 180:1 두가지를 고려하였다.

라. 식혈날

토양을 절삭하면서 용기묘가 식재될 수 있도록 토양에 식혈을 하는 작업기로써 그림 6-4의 산림토양내 석력분포도를 고려하여 제원을 결정하였다. 스파이럴형태의 식혈날을 고려할 경우 2마력급 엔진에서 식혈작업을 하면서 석력을 토양내에서 밖으로 배출할 수 있는 적정크기는 100mm 이하로 식혈날의 스파이럴 피치도 100mm로 결정하여 적용하였다. 또한 비교를 위해 100mm의 싱글 스파이럴 식혈날 이외에 50mm의 더블 스파이럴형의 식혈날과 프로펠러형의 식혈날도 함께 적용 비교분석하였다.

4. 휴대형 식혈기의 설계 제작



(a) 더블 스파이럴형 (b) 싱글 스파이럴형 (c) 프로펠러형

그림 6-6. 설계 제작한 식혈날 형태

그림 6-6과 같이 총 3종류(스파이럴형, 프로펠러형)의 식혈날을 기본으로 식혈기를 설계·제작하였다. 식혈날은 끝부분이 토양에 접촉하여 고정하는 역할을 하도록 드릴 형태로 하였으며, 토양에 박혀 고정된 이후에는 스파이럴이 시작되는 부분에 7mm의 절삭날을 이용하여 토양을 절삭하면서 그 위에 있는 토양배출용 스파이럴로 전달하도록 하였다. 또한 절삭된 토양과 토양중의 석력은 배출 스파이럴을 통해 토양표면위로 배출되도록 하였다. 그림 6-7은 감속기가 엔진쪽에 설치된 형태이고, 그림 6-8은 식혈날쪽에 장착된 형태이다. 또한 그림 6-9는 엔진의 감속비를 50:1로 다소 감소시켜 작업자의 작업시 회전토크에 의한 위험성을 줄이도록 고안하였다.

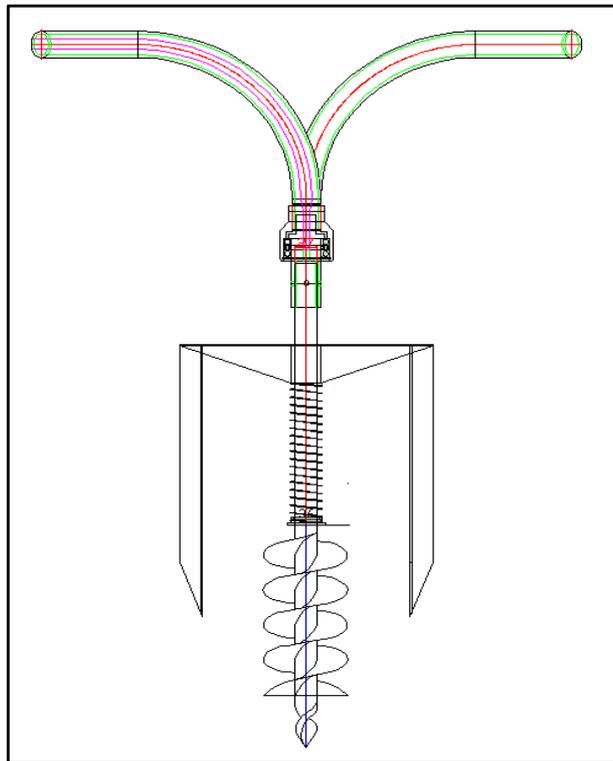


그림 6-7. 1형 용기묘 식혈기

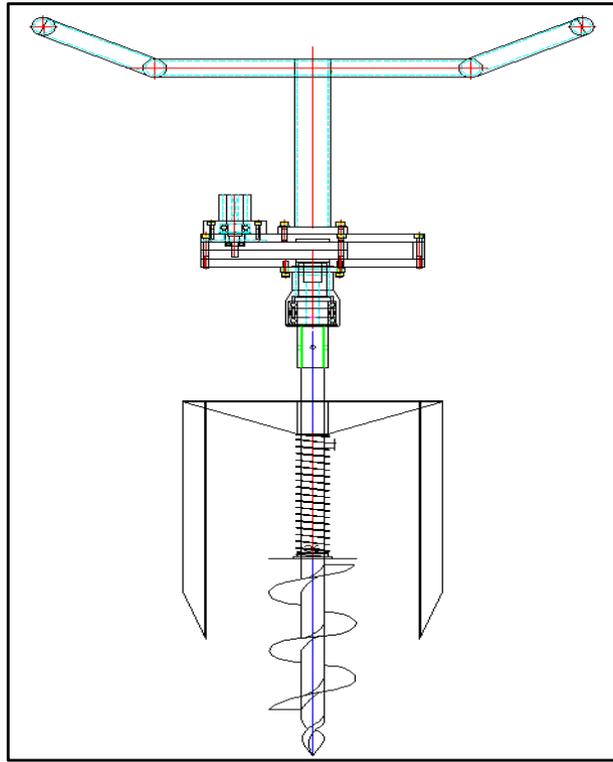


그림 6-8. 2형 용기묘 식혈기

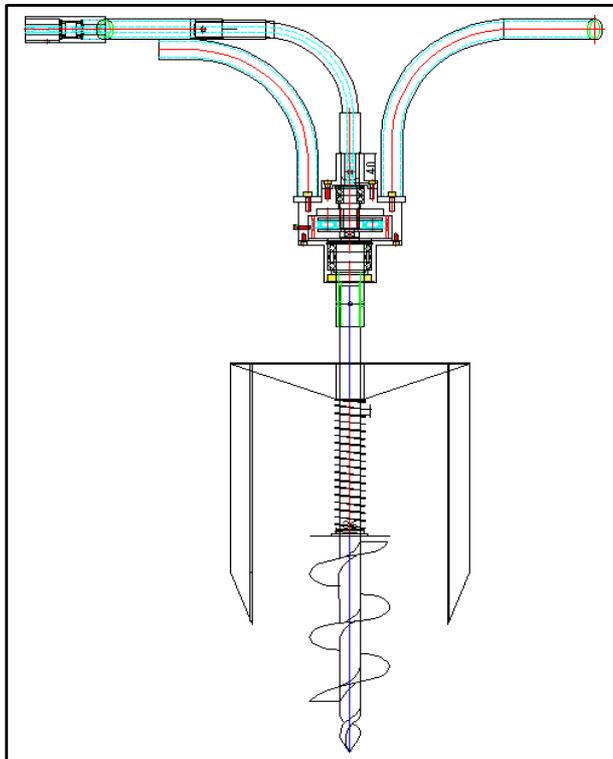


그림 6-9. 3형 용기묘 식혈기

그림 6-7의 설계 도면과 같이 1형 용기묘 식혈기는 감속기가 엔진에 장착되어 있는 형태로 엔진에서 출력되는 회전운동을 감속시켜 토크를 크게 하여 식혈 작업기에 전달하는 형태이다. 따라서 기존의 예초기엔진에서 적용되는 8mm 플렉시블축은 동력전달에 문제가 있어 11mm의 플렉시블축을 별도로 적용하였다. 또한 그림에서와 같이 작업시 발판을 적용하여 작업자가 더욱 안정된 자세에서 작업을 할 수 있도록 고안하였다(그림 6-10).



그림 6-10. 제작된 1형 용기묘 식혈기

2형 용기묘 식혈기는 1형 식혈기에서 적용한 감속기를 식혈 작업기에 장착하여 작업을 할 수 있도록 고안하였다(그림 6-11). 이 경우 기존의 1형 작업기 보다는 무거워 질수 있지만 기존 예초기의 작업기를 빼내고 그대로 적용할 수 있다는 장점이 있다. 1형 및 2형 작업기에 적요된 감속기는 직육면체형태의 감속기 하우징에 기어 배열을 통해 감속한 형태로 감속비는 180:1이다. 이 경우 출력축의 회전수는 40rpm 정도로 많은 감속비로 인해 비교적 큰 토크가 발생한다.



그림 6-11. 제작된 2형 용기묘 식혈기

또한 3형 용기묘 식혈기의 경우 1형, 2형에서 사용한 감속기와는 달리 감속비를 다소 감소시켜 작업자가 토크에 의해 회전사고가 발생하지 않도록 고안한 형태이다. 동력전달 플렉시블 축은 기존의 예취기와 동일한 8mm축을 사용하므로써 작업기의 호환성을 고려하였다(그림 6-12).



그림 6-12. 제작된 3형 용기묘 식혈기

5. 휴대형 식혈기의 성능 평가

가. 식혈 작업기의 성능평가

개발한 1, 2, 3형의 휴대형 용기묘 식혈기의 성능 및 작업능률을 평가하기 위해 실제 조림작업지에서의 작업을 실시하였다(그림 6-13). 그 결과 1형 용기묘 식혈기의 경우 작업자가 회전 토크에 의해 돌아가려는 현상이 발생하였으나 비교적 식혈 작업이 손쉽게 이루어 졌다. 또한 3종류의 식혈 작업기중 가장 경량으로 휴대성이 좋을 것으로 판단되었다.



그림 6-13. 조림작업지에서의 휴대형 식혈기 작업

또한 2형 식혈기의 경우 1형 식혈기와 마찬가지로 작업중 식혈날의 회전 토크에 의해 작업자가 작업이 연속적이지 못하였다. 1형 작업기에 비해서는 중량감이 있어 작업에 부하가 큰 것으로 판단되었다. 3형 휴대형 식혈기의 경우는 중량은 2형 작업기와 비슷하나 감속비가 2형 작업기에 비해 낮아 작업자가 손쉽게 작업할 수 있었다. 식혈작업에만 평균 15초가 소요되었으며 식재작업능률은 2인 작업 기준으로 본당 2-3분이 소요되었다. 전체적으로 성능평가 결과 3형 용기묘 식혈기가 작업능률이나 작업효율성 면에서 우수하였다.

나. 식혈날의 성능평가

설계·제작한 3종류의 식혈날(싱글 스파이럴형, 더블 스파이럴형, 프로펠러형)을

비교 조사한 결과 실제조립지의 토양의 석력을 배출하면서 식혈작업이 원활이 된 것은 싱글 스파이럴형이었으나(그림 6-14), 싱글 스파이럴의 특성상 작업자에게 전달되는 국소진동이 더블 스파이럴에 비해 큰 것으로 판단되었다. 추후 진동측정을 통해 싱글 스파이럴형 식혈날의 벨런싱 설계가 이루어져야 할 것으로 판단되었다. 또한 프로펠러형은 식혈작업은 원활이 되었으나 식혈작업시 토양을 원활히 배출하지 못하는 단점이 있어 일반 노지양묘를 통해 생산된 묘목의 경우는 적용이 가능할 것으로 판단되나 용기묘 식혈작업에는 다소 부적합한 것으로 판단되었다.



그림 6-14. 3형 용기묘 식혈기를 적용하여 작업한 식혈 구덩이(싱글 스파이럴 식혈날)

제 1 협동과제 : 폐암면을 이용한 상토개발과 시비·관수 체계 확립

원예작물의 시설 및 양액 재배면적이 증가하고 재배기술이 발전되면서 원예용 상토(배지, medium) 개발은 식물 생육에 대한 적합성 연구에 국한되지 않고 친환경적 배지를 개발하기 위한 연구가 지속되고 있다. 특히, 시설 양액 재배에서 많이 이용되고 있는 암면은 산업폐기물로 등록되어 있어 사용 후 폐기에 따른 환경문제가 대두되고 있으며, 호흡기를 통해 암을 유발하는 것으로 알려져 있는 석면과 동일 시하는 인식이 아직도 많이 남아 있다. 특히, 다년동안 이용하게 되면 물리·화학적 변화로 작물의 생리장해가 발생할 우려가 높아 재활용되지 않고 있다.

최근 암면의 폐기 및 환경 문제를 해결하고자 사용된 암면(폐암면)을 재활용할 수 있는 연구들이 다방면에서 이루어졌다. 특히, 물리·화학적 암면과 다른 펄라이트, 피트모스, 왕겨, 톱밥, 우드칩 등을 암면과 혼합하여 작물이 잘 생육할 수 있는 조건을 갖춘 상토를 개발하기 위한 연구가 진행되었다(An 등, 2003; Choi 등, 1999; Kim 등, 2000; Kim과 Jeong, 2004). 하지만 아직 이러한 연구는 시도에 그치고 있고 재배 현장에는 거의 실용화되지 못하고 있다. 일부 유럽 국가나 일본에서는 사용된 암면을 전답에 이용하도록 권장하고 있고, 우리나라에서도 전답의 규산질 비료로써 이용하도록 유도하고 있다.

원예용 양액 재배 시스템은 필수 양분을 식물에 가장 적합하게 공급할 수 있는 시스템이라는 점에서 수목류의 육묘 분야에서도 시도되어 왔지만 그 수준이 다소 미약하다. 수목류의 육묘 분야에서는 대부분 펄라이트, 피트모스 및 버미큘라이트를 이용한 단용 및 혼합 상토를 사용하고 있지만 원재료 값의 상승으로 인하여 소규모 육묘 업체들의 어려움이 아주 크다. 이에 따라 원예 분야에서 사용하고 나온 암면을 수목류의 묘 생산에 적용하고자 하는 연구가 진행되고 있다. 특히, 수목류의 용기(container)묘 생산에 있어 사용되었던 암면의 높은 수분 보유력, 기존 잔류 양분 등에 따른 양·수분 공급량을 최소화할 수 있고, 또한 시설 양묘에 적용하기 편리하다. 임업 분야에서 암면의 재활용은 원재료 비용을 줄여 육묘 업체의 어려움을 다소 해결할 수 있고, 원예 분야로써는 사용되었던 암면의 폐기 문제를 다소 해소시킬 수 있을 것으로 생각되었다. 그러나 수목류 용기묘 생산을 위한 암면 혼합 상

토에 대한 이용 연구가 전무한 상태이고, 또한 원예 수경용 배양액의 이용 연구도 아주 미흡한 상태이다.

암면의 재활용과 수목류의 시비에 대한 연구들을 알아보면, 혼합용으로 사용되고 있는 유기 및 무기성 상토들은 수분보유 특성의 차이를 갖고 있다. Kang 등(2004)은 수분흡수 능력을 보면 피트모스나 코이어는 30% 이상으로 식물 생육에 적합하나 바크, 톱밥, 생왕겨 및 무기성 배지들은 대부분 흡수력이나 보수력이 낮다고 하였다. An 등(2003)은 일반적으로 사용되었던 암면은 사용전에 비해 비중과 pH가 높아지고 공극률이 감소하지만 감소된 공극률은 목재 파쇄입자나 펄라이트와 같은 재료와 혼합함으로써 충분히 개선시킬 수 있고 높아진 pH도 암면의 혼합 비율을 조절함으로써 조절이 가능하다고 보고하였다. 그리고 Han과 Kakubari(1996)는 사용되었던 암면이라도 다른 원예용 배지에 비해 수분 흡수력이 높아 작물 재배에 이용하면 고온기의 수분 부족에 의한 스트레스를 감소시킬 수 있다고 하였다. 그러나 Nelson(1991)은 암면 혼합 상토를 사용할 때에 배수성이 강하고 보수성이 약한 상토와 혼합할 경우 관수 횟수를 증가시켜야 하고 이에 수분 관리가 어려워 작물 생육에 영향을 주기 때문에 혼합할 다른 상토의 물리·화학적 성을 고려하여야 한다고 하였다.

사용되었던 암면의 혼합비율이나 혼합되는 배지에 따라 생육 차이를 나타낸다. An 등(2003)은 목본성인 장미의 경우 작물 재배에 사용되었던 암면과 밤나무 입자를 혼합한 상토에서 Ca^{2+} 나 SO_4^{2-} 집적이 많지만 소나무 입자와 혼합할 경우 절화 수량에서 아주 우수하다고 보고하였다. Kim 등(2000)은 사용되었던 암면과 밤나무 입자, 피트모스, 코이어 및 펄라이트 등과 혼합한 상토는 혼합 상토의 종류나 그 비율에 따라 상토 내 pH와 EC, 무기성분량이 차이를 나타내어 피트모스가 많이 혼합될수록 NH_4^+ 가 많아지고 밤나무 입자가 많이 혼합될수록 pH가 낮아진다고 하였다. 그리고 페튜니아 플러그묘 재배에서 사용되었던 암면을 다른 상토와 혼합하여 사용할 시 초장과 엽수 발생을 좋게 하지만 사용되었던 암면의 비율이 너무 높거나 혼합되는 다른 상토의 흡수력이 너무 강하면 과습 피해의 우려가 있다고 하였다.

수목류의 시설 용기묘 생산 시 용기 종류에 따라 생장의 차이를 나타내는데 활엽수 시설 양묘에서는 용량이 큰 용기를 사용할수록 초장, 생체중, 엽수가 증가된다. 그러나 용기를 이용한 묘 생산 시 비정상적인 나선형 뿌리의 발달은 조립 후 뿌리 활착을 방해하는데 용기 내에서 오래 남아 있을수록 더욱 심해진다(Burden과

Martin, 1982). 이에 따라 최근 용기에 빗살을 주거나 구리나 코발트와 같은 화학물질을 용기 내에 도색하여 자연 단근을 유도하는 연구가 진행되고 있다(Burden과 Martin, 1982; Kinghorn, 1974; Lee 등, 1998). 특히, 윤과 홍(2002)은 플라스틱 망용기를 사용하여 자연 단근을 유도하면 근원경, 장근 및 세근 발생을 촉진시키고, 이에 건물생산량을 증가시킬 수 있다고 하였다. 그리고 Ryu 등(2007)은 노지보다 비가림이 가능한 시설에서 생산된 묘가 단위면적당 생산 본수와 세근이 많고 조립시 활착률과 생장도 좋다고 하였다.

목본성 식물의 묘목 식재 후 생장 능력은 뿌리의 능력에 따라 좌우되고 식재 주변 토양과 밀접한 관계를 갖는다(Richie, 1984). 뿌리 중 많은 측근(세근)들은 주근의 생장에 큰 영향을 받아 세근 발달 단계나 분포면에서 주근에 의해 조절되는 경향을 갖고 있다. 소나무는 유평기부터 주근이 발달하면서 심층부까지 빠르게 생장하고, 세근은 지표부근에서 많이 발달하고 뿌리목 근처에서 몇 개의 수직근이 발달된다. 그러나 Wightman 등(1980)과 Wilcox (1968)는 소나무류에서는 주근의 생장에 의한 세근 발달이나 분포는 일부만 나타난다고 하였다.

목본성 식물에 있어 양분의 내부 순환은 잎을 중심으로 뿌리나 다른 부위의 목질부에서도 일어난다(Cole과 Rapp, 1981; Cowling과 Merill, 1966; Fahey와 Brik, 1991; Meier 등, 1985). 양분의 내부 순환은 토양이나 토양수분 내 유효태 양분의 변화나 유기물 분해에 따른 양분의 유실 등에 크게 영향을 받지 않는다(Helmisaari, 1992). 양분 순환 체계는 시비에 따른 인위적 양분 공급의 차이에 따라 수종별로 차이를 나타내고, 흡수 이용된 양분은 식물 기관을 형성하는데 이용되다가 그 기관이 노쇠하게 되면 다른 부위로 이동하여 다시 이용된다(Binkley, 1986). Gower와 Richards(1990)와 Son과 Gower(1991)는 이러한 양분의 재분배는 잎의 행태에 따라 크게 좌우되는데 낙엽성 수종이 상록성 수종보다 그 비중이 높다고 하였다.

일반적으로 당년생 가지는 질소와 인의 주요 저장고이고 가지가 생장을 하면서 재분배가 이루어진다(이와 손, 2004). Singh과 Negi(1992)는 엽 및 작은 가지 내 질소와 인 농도는 생장이 시작되면서 급격히 증가한 후 생육기에는 점차 안정적으로 되는데 이는 엽의 면적 및 중량 증가폭이 증가하는 것과 관계가 있다고 하였다. 이와 손(2004)은 리기다소나무와 낙엽송 침엽 등 침엽수종의 엽과 작은 가지 내 질소와 인 농도는 계절에 따라 차이를 나타내고, 생장기에 가장 높고 가을철에 가장 낮

은 편이며, 7월 이후에는 엽 내 농도는 낮아지고 작은 가지 내 농도는 증가하는 등 양분의 이동 및 축적이 일어난다고 하였다. 그리고 Gower와 Richards(1990)는 천연림의 수목에서는 엽 내 질소 농도가 높을수록 엽 수명이 짧아지는 경향을 갖고 있다고 하였다.

토양 내 수분이나 양분의 부족은 수목류에서도 스트레스로 작용하며 정상적인 대사작용을 방해한다. 이는 결국 신장 및 비대 생장을 감소시키는데 엽록소 함량으로써 간접적으로 확인할 수 있다(Kramer와 Kozlowski, 1979; Lange 등, 1976; Levitt, 1980). Wightman 등(1980)은 수분 부족에 민감한 식물에 기공의 개폐기작에 관여하는 ABA를 처리하여 수분 증발 억제 효과를 얻을 수 있고 이에 생존율을 높일 수도 있다고 하였다.

인위적인 양분 공급(시비)은 대체로 지상부의 생체량과 양분 이용효율을 증가시켜 T/R율을 증가시킨다(Li 등, 1991; Malik와 Timmer, 1998; Proe와 Millard, 1994; Sieth 등, 1996). 그러나 Munson과 Berner(1993)는 묘목의 급격한 생체량 증가에 따른 수체 내 양분의 농도가 희석되면서 시비를 하지 않은 묘목에 비해 양분 농도의 감소폭이 크다고 하였다. Lee 등(2000)은 시비 처리에서 복합비료나 완효성비료에 비해 Hyponex나 질산암모늄 처리가 초장, 초폭, 그리고 생체중을 좋게 하며 그 토양의 적정 EC는 0.1~0.3mS/cm 범위라고 하였다.

토양과 그 속의 용액, 그리고 수목류 용기묘의 상토에 양액을 공급하여 재배할 때 다량의 Al 공급이나 토양 내 다량 축적 시 뿌리의 생리기능과 양분흡수 능력을 저하시켜 Ca, Mg 등의 흡수와 이동을 저해시킨다(Hecht-Buchholz 등, 1987). 또한 이에 따라 지상부에 Ca와 Mg의 농도를 감소시킬 뿐만 아니라 상대생장률(relative growth rate)과 순동화율(photosynthetic rate)도 저하시켜 성장 및 건물생장을 저하시킨다(Lee 등, 1999와 2005). 이러한 반응은 수목의 종류나 Al 농도에 따라 차이를 나타낸다(Hutchinson 등, 1986; Keltjens와 Loenen, 1989; Schaedle 등, 1989). 이에 대해 Hampp와 Schnabl(1975)은 엽 내 Al 축적이 CO₂ 고정을 저해하여 수체 내 질소 농도 및 엽 내 엽록소 함량을 저하시키고 이에 광합성율을 저하시키기 때문이라고 하였다. Izuta 등(1995)은 Mn을 수목에 처리하면 뿌리를 통하여 잎까지 빠르게 이동되어 엽 내 Mn의 농도를 빠르게 증가시키고 이에 과잉 축적이 일어날 수 있다고 하였다. Lee 등(2001과 2002)은 이러한 Mn의 과잉축적도 Al과 마찬가지로 광합성율을 저하시켜 건물생장을 감소시키고 수목의 성장 저하에 영향 정도는 Al이 Mn

보다 크다고 하였다. 그러나 Hampp와 Schnabl(1975)는 소나무 시설 육묘 생산 시 건물생장에 대한 용액 내 Al과 Mn의 상호작용 효과는 없고 두 성분은 단독으로 영향을 주며, 공급 양분 중 높은 Al 농도는 토양 및 토양 용액의 수소이온부하량을 증가시켜 Mn, Ca, Mg, K 농도도 증가시킨다고 하였다.

소나무를 비롯한 상록성 수종은 낙엽성 수종에 비해 체내 양분의 농도는 낮으나 양분이용효율이 높아 불량 환경에서도 잘 생육한다(Chabot과 Hicks, 1982; Waring과 Franklin, 1979). Lee(1998)와 Lee 등(2005)은 소나무의 묘목 생산 시 건물생장과 토양용액 내 (Ca+Mg+K)/Al 몰비와 높은 상관성을 갖고 있고 그 몰비가 7.0 이하로 낮아지면 건물생장이 감소한다고 하였다. Shin 등(1999)은 양분 이용 효율성에서 활엽수인 자작나무는 소나무나 일본잎갈나무보다 우수하나 시비에 따라 묘목 내 질소와 인 농도는 변화하고 어떠한 영향에 의해 낙엽 시 양분 요구량은 감소하지만 엽수의 감소에 따라 이 시기 질소와 인 시비 처리가 오히려 생체량을 감소시킬 수도 있다고 하였다. Beon(2000)은 참나무류의 초기 성장에는 도토리 중량이 관계하고, 근원경과 뿌리 발달에는 광도의 영향이 가장 크다고 하였다. 그리고 이에 엽면적중량지수나 생산성지수에도 큰 영향을 미치고 광도의 증가는 엽 내 질소, 인, 칼륨의 함량을 저하시키고 토양수분의 증가는 엽 내 인, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등을 증가시킨다고 하였다. Kwon과 Lee(1994)는 토양 내 수분이나 양분 부족에 상수리나무는 아주 예민하고, 토양 수분보다 양분의 부족에 따라 생장의 차이가 크고 이에 수분 부족까지 겹치면 성장 저하가 가속화된다고 하였다.

시설보다 노지에서 수목류를 육묘할 때 산성비는 토양 산성화의 원인 중 하나이다. 토양 산성화는 뿌리의 양이온 흡수를 저하시키고 토양 용액 중 Al과 Mn 등 유해 금속을 용출시켜(Ulrich 등, 1980) 세균 발생과 성장을 저하시킬 뿐만 아니라 다른 필수 양분과 수분 흡수도 방해한다(Rengel, 1992). Wood와 Bormann(1974, 1975 및 1976)은 산성비에 의한 토양 산성화도 토양 내 수소이온을 증가시키고 이에 따라 K, Ca 및 Mg 이온의 용출을 증가시켜 알레포소나무(*Pinus halepensis*)나 황자작나무(*Betula alleghaniensis*)의 경우 성장 감소가 나타났다고 보고하였다. 그리고 Ferenbaugh(1976)는 산성비에 노출된 덩굴강낭콩(*Phaseolus vulgaris*)에서 엽록소 함량의 감소, 그리고 양분의 흡수 및 광합성률 증가가 나타났고 하였다. 그러나 Malziris와 Nakos(1978)와 Rengel(1992)은 인위적인 질산 처리에 의한 토양 산성화에서는 엽 내 NO_3^- 를 증가시켜 오히려 성장을 촉진시키기도 한다고 하였다.

제 7 절 암면 혼합 상토를 이용한 양묘 시 암면의 적정 혼합 비율

1. 연구 목적

본 연구는 원예시설분야에서 작물 재배에 사용된 후 버려지는 폐암면을 양묘 분야의 상토로 활용하고자 이에 대한 적정 배합비를 구명하기 위해 수행하였다.

2. 연구 내용 및 방법

시험 수종은 침엽수인 소나무(1-0)와 비자나무(1-1), 활엽수인 상수리나무(1-0)와 들메나무(1-1)로 소나무와 상수리나무는 시설 온실 내에서 용기에 파종 및 생육한 묘이며, 비자나무와 들메나무는 시설 온실 내에서 육묘 후 토양에 이식하여 1년 자란 묘로 4월 하순에 용기에 이식한 후 9월 중순까지 생육시킨 후 조사하였다.

암면 혼합 상토는 수목용 용기묘에서 쓰이고 있는 피트모스(peatmoss)와 펄라이트(pearlite)를 1:1로 혼합한 상토와 암면과의 혼합 비율에 따라 표 7-1, 그림 7-1과 같이 조제하였다. 암면은 파프리카 양액 재배에서 한 작기 동안 사용된 암면을 암면 분쇄기(3마력, 한국UR암면)를 이용하여 잘게 분쇄한 후 잔여물을 골라 제거하고 햇볕에 완전히 말려 사용하였다. 용기는 시중에서 쉽게 구입할 수 있는 850mL 플라스틱 용기를 사용하였다(그림 7-2).

배양액은 유럽분화용표준액(Sonneveld)을 사용하였고, 공급 방법은 100배액으로 농축 한 후 $EC\ 2.5dS\cdot m^{-1}$, pH 5.5~5.7 수준으로 희석하여 공급하였다(표 7-2). 시험 수종을 기르기 위해 사용된 수경재배 방식은 담배수 방식이며 제작된 베드 및 부대 기기는 그림 7-3과 같다. 베드는 담수를 할 수 있도록 강판을 이용하여 베드를 제작한 후 그 위에 용기를 고정시키고자 상판을 올려 놓고 용기 직경과 담수 높이를 고려하여 구멍을 뚫어 제작하였다. 배양액을 공급하기 위한 장치는 EC와 pH 제어기, 배양액 A, B 및 산 통, 콘트롤러 등으로 구성된 기기(세기교역)를 사용하였다(그림 7-3). 배양액 공급 장치는 EC와 pH를 고정시켜 놓으면 원수 통의 물에 배양액 A와 B액, 질산을 자동 공급하며 제어하는 기능을 갖고 있다. 배양액의 공급은

용기에 이식 후 2주간 원수(물)만을 주 2회 공급하여 뿌리를 활착시킨 후 침엽수는 주 1회, 활엽수는 주 2회 공급하였다. 고온기인 7월과 8월에는 주당 공급횟수를 1회씩 늘려 공급하였다. 용기의 담수 깊이는 하부로부터 5~7cm 가량 담수하였으며 충분히 흡수할 수 있도록 3시간 이상 담수 공급하였다. 용기 내 상토의 포장용수량을 평균 주 2회, 고온기에는 주 3회 공급하였다.

표 7-1. 본 연구에서 처리된 암면, 피트모스 및 펠라이트의 혼합 비율(v:v)

번호	혼합비율 (%)		
	페암면	피트모스	펠라이트
1	0	50	50
2	30	35	35
3	50	25	25
4	70	15	15

표 7-2. 유럽분화용표준(Sonneveld) 배양액의 성분 조성표

구성 성분		100배액/20L(g)
일반명	화학식	
A액		
질산칼슘	Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O	1416.0
질산칼륨	KNO ₃	465.0
철	Fe-EDTA	18.0
B액		
질산칼륨	KNO ₃	465.0
제1인산암모늄	NH ₄ H ₂ PO ₄	254.0
제1인산칼륨	KH ₂ PO ₄	108.0
황산칼륨	K ₂ SO ₄	88.0
황산마그네슘	MgSO ₄ 7H ₂ O	370.0
황산구리(황산제2구리)	CuSO ₄ 5H ₂ O	0.252
붕산	H ₃ BO ₃	2.47
황산망간	MnSO ₄ H ₂ O	4.636
황산아연	ZnSO ₄ 7H ₂ O	1.724
몰리브덴산나트륨	Na ₂ MoO ₄ 2H ₂ O	0.242

처리 종류 및 수중에 따라 수고, 원줄기 직경, 신초발생수, 생체중, 건물중, 총 엽록소함량, 광합성률 등의 값과 변화를 조사하였다. 생체중은 전자저울로 측정하였고, 수고는 일반 줄자(5m, cm 단위)를 이용하여 측정하였다. 원줄기 직경은 상토

표면에서 2cm 정도 위를 디지털캘리퍼스를 이용하여 측정하였다. 건물중은 생체중 측정 후 70℃ 건조실에 3일간 넣어 완전히 말린 후 전자저울로 측정하였다. 총 엽록소량은 휴대용 엽록소 측정기(SPDA-502, Minolta camera Co., LTD., Japan)로 측정하였으며, 광합성률은 광합성측정기(Li-6400, Li-cor, USA)를 이용하여 측정하였다. 시설내에서 자란 균일한 수종은 최종 조사일의 값을 사용하였고, 시설 육묘 후 토양에 이식하여 자란 수종은 수체 간 균일성이 없어 시험 처리 전의 조사값과 최종일의 조사값 간 차이에 따라 증가량으로 나타내었다. 그리고 각 조사 데이터는 SPSS 12.0 프로그램을 이용하여 처리 간 비교하였다.



<암면 0% 혼합 상토>



<암면 30% 혼합 상토>



<암면 50% 혼합 상토>



<암면 70% 혼합 상토>

그림 7-1. 암면 혼합 비율에 따른 상토 모습



그림 7-2. 본 연구에 사용된 플라스틱 용기 및 용기에 심은 모습



그림 7-3. 본 연구에 이용된 수경재배 및 암면분쇄 작업 시설(상좌; 베드, 상우; 배양액공급기, 하좌; 암면분쇄기, 하우; 분쇄된 암면)

3. 연구 결과

암면 혼합 비율에 따른 상토의 물리성을 분석한 결과(표 7-4), 가밀도는 암면의 혼합 유무에 따라 차이를 나타내었는데, 혼합하지 않은 상토에서 가장 낮았다. 그리고 혼합 비율 간에는 유의한 차이를 나타내지 않았으나 혼합 비율이 많을수록 다소 높아지는 경향이였다. 진밀도도 가밀도와 마찬가지로의 경향을 나타내었는데, 특히 암면 70% 혼합 상토에서 유의하게 차이를 나타내었다. 액상 비율은 암면 30% 혼합 상토에서 가장 많았고 다른 혼합 상토 간에는 유의한 차이를 나타내지 않았다. 기상은 암면 혼합 유무에 따라 차이를 나타내었고, 혼합 비율 간에는 유의한 차이를 나타내지 않았다. 공극률은 암면이 혼합되지 않은 상토나 70% 혼합 상토에 비해 암면 30%와 50% 혼합 상토에서 높았다. 암면 70% 혼합 상토보다 높았던 것은 시설 원예에서 사용 중 물리성 변화가 일어났고 용기에 담긴 후 물에 의해 압축되면서 공극률이 낮아진 것으로 생각되었다.

표 7-4. 암면 혼합 비율에 따른 상토의 물리성

혼합비율(%)		밀도(Mg/m ³)		액상(%)	기상(%)	공극률(%)
상토 ^z	폐암면 ^y	가밀도	진밀도			
100	0	0.22 b ^x	0.88 c	35.9 b	39.3 b	75.2 b
70	30	0.25 a	1.21 bc	36.8 a	44.5 a	81.4 a
50	50	0.26 a	1.37 b	36.1 b	44.6 a	80.7 a
30	70	0.27 a	1.46 a	35.8 b	43.3 a	79.1 b
혼합비율(%)		수분함량(%)		pH	EC (dS/m)	
상토	폐암면	가용수분	완충수분			
100	0	3.1 b	1.1 b	5.1 b	0.20 a	
70	30	3.6 ab	1.9 b	5.6 b	0.18 a	
50	50	3.6 ab	2.2 ab	5.9 ab	0.12 ab	
30	70	3.7 a	2.7 a	6.3 a	0.08 b	

^z피트모스:펠라이트=1:1(v:v).

^y과프리카 시설재배에서 1작기 사용된 후 1년 정도 외부에 적재되었던 암면.

^xMean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

가용수분과 완충수분은 암면의 혼합 비율이 많을수록 높은 경향을 나타내어 암면 혼합은 식물에게 이용될 수 있는 수분을 많이 보유할 수 있는 능력을 높여 주는 것

으로 생각되었다. 그러나 pH도 암면 혼합 비율이 많을수록 높은 경향을 보였는데, 특히 암면 70% 혼합 상토에서는 pH 6.3을 나타내어 산성에 잘 적응하는 수종은 다소 적합하지 않을 것으로 생각되었다. 그러나 이러한 다소 부적합한 pH값도 배양액 공급 시 배양액의 pH를 조절하여 공급함으로써 상토 내 pH 조절이 가능하므로 크게 문제가 되지는 않을 것으로 판단되었다. 그리고 EC는 pH와 반대의 경향을 나타내었고, 토양의 EC가 0.1~0.3mS/cm 범위에서 생체중이 좋아진다는 Lee 등(2000)의 연구결과를 고려하면 50%와 70% 암면을 사용하는 것이 생육에 좋을 것으로 생각되었다.

이로 보아 pH 조절이 가능하다는 것을 감안하면 수목의 시설 용기 양묘 생산에는 혼합 비율이 다소 높은 것을 사용하는 것이 좋을 것으로 판단되었다. 그러나 과습에 약한 특성을 갖고 있는 수종은 이에 맞게 암면 혼합 비율 또는 관수량을 조절하여야 할 것이다.

암면 혼합 상토의 종류에 따른 소나무(1-0)의 생육 특성을 조사한 결과는 표 7-5와 같다. 생체중은 암면 혼합 비율이 높은 50%와 70% 상토에서 각각 4.9g와 4.5g으로 대조구와 30% 상토의 4.0g과 3.2g에 비해 무거웠다. 그리고 건물중과 수고도 생체중과 같은 경향을 나타내며 암면 혼합 비율이 높은 상토에서 생장이 우수하였다. 하지만 원줄기 직경에서는 혼합 비율 간 차이를 나타내지 않았다. 50%와 70% 상토 간 생육 특성은 유의한 차이를 나타내지 않았지만 50% 상토에서 다소 높은 경향을 나타내었다. 이는 70% 상토는 암면이 너무 많이 혼합되어 상토 내 수분이 너무 많았기 때문으로 생각되었다. Haywood 등(1990)은 상토의 수분 보유력이 지나치게 높아 상토 내 수분의 배수량이 적으면 지나친 수분포텐셜로 생육이 저하될 수 있다고 하였다. 그리고 McKee와 Wilhite(1986)는 다른 수종에 비해 소나무류는 배수량의 영향을 크게 받지 않는다고 하였다.

암면 혼합 상토의 종류에 따른 잣나무(1-1)는 대부분의 수체가 고사하였다. 초기 잎색이 회색빛을 내며 수체상부가 고사되기 시작하여 잎, 뿌리로 수체 전체가 말라 죽었다. 죽은 수체의 뿌리를 관찰한 결과 새뿌리의 발근이 전혀 없었고 다소 부패가 있었다. 이 원인은 토양에서 자라던 수체를 좁은 용기로 이식하며 생기는 스트레스로 추측이 되었다. 그리고 시험 수종 중 동일과인 소나무의 생육과 비교할 때 배양액의 부적합성은 큰 원인이 아닐 것으로 추측되었다. 이에 데이터를 제시하지 않았다.

암면 혼합 상토의 종류에 따른 비자나무(1-1)의 생육 증가량을 조사한 결과는 표 8-6과 같다. 생체중은 암면 혼합 상토와 대조구 간 뚜렷한 차이를 보였다. 암면 혼합 비율 간에는 70% 상토에서 23.8g으로 다른 상토에 비해 증가량이 많았고 30% 상토에서 17.0g으로 가장 적었다. 수고도 생체중과 같은 경향을 나타내었고, 원줄기 직경은 50% 및 70% 상토와 대조구 간에는 뚜렷한 차이를 나타내었다. 신초수 발생 수도 원줄기 직경과 같은 경향을 나타내어 혼합 비율이 높은 50%와 70% 상토에서 많았다. 이러한 경향은 이미 생장이 2년을 지속하고 있는 수체 크기에 일정한 양의 수분이 공급되었으나 암면의 혼합 비율에 따른 수분 보유력의 차이에 의해 적게 혼합된 상토는 한낮이나 고온기에 일시적 수분 부족 현상이 나타났기 때문으로 생각되었다. Kramer와 Kozlowski (1979)이나 Lange 등(1976)은 수목류에서 수분 부족은 신장 및 비대 성장을 위한 대사 작용을 방해하고 이에 따라 성장을 저하시킨다고 하였다.

표 7-5. 폐암면의 혼합 비율에 따른 소나무(1-0)의 생육 특성

암면 혼합비율 ^z (%)	생체중 (g)	건물중 (g)	수고 (cm)	원줄기 직경 (mm)
0	4.0 b ^y	1.8 b	9.3 b	1.8 a
30	3.2 b	1.7 b	9.9 b	1.9 a
50	4.9 a	2.4 a	15.1 a	2.0 a
70	4.5 a	2.3 a	14.2 a	1.9 a

^z표 7-1. 참조.

^yMean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

표 7-6. 암면의 혼합 비율에 따른 비자나무(1-1)의 생육 증가량

폐암면 혼합비율 ^z (%)	생체중 (g)	수고 (cm)	원줄기 직경 (mm)	신초수 (ea)
0	12.0 c ^y	8.9 b	1.4 b	6.3 b
30	17.0 b	10.3 a	1.3 b	5.9 b
50	19.2 b	10.6 a	1.6 a	9.6 a
70	23.8 a	14.2 a	1.9 a	10.1 a

^z표 7-1. 참조.

^yMean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level..

소나무나 비자나무 모두 이식되었음에도 불구하고 시험 중에 처리 간 생육 차이는 있었으나 고사되거나 수분 부족에 의한 낙엽은 전혀 보이지 않았는데 이는 상록성 수종은 양분 이용 효율성이 낙엽성 수종에 비해 높았다는 Chabot과 Hicks(1982)이나 Waring과 Franklin(1979)의 연구 결과와 관계가 있을 것으로 생각되었다.

암면 혼합 상토의 종류에 따른 상수리나무(0-0)의 생육 특성을 조사한 결과(표 7-7), 생체중은 50%와 70% 상토에서 각각 43.6g과 41.6g으로 대조구와 30% 상토의 30.8g보다 월등히 무거워 뚜렷한 차이를 나타내었다. 건물중은 대조구와 암면 혼합 상토 간 뚜렷한 차이를 나타내었지만, 혼합 비율 간에는 차이를 나타내지 않았다. 하지만 암면 혼합 비율이 높은 상토에서 다소 무거운 경향을 나타내었다. 수고와 원줄기 직경은 대조구와 30% 상토 간 유의한 차이를 나타내지 않았지만, 50%와 70% 상토에서는 대조구와 뚜렷한 차이를 나타내었다. 그리고 엽록소 함량은 암면 혼합 비율이 높을수록 많은 경향이였다. 광합성률을 측정한 결과(그림 7-4)에서도 대조구와 암면 혼합 상토 간 차이를 나타내었고, 70% 상토에서 가장 활발하였다. 70% 상토에서 엽록소 함량이나 광합성률이 높은 것은 암면 혼합 비율이 높아 상토 내 수분이 많았기 때문으로 생각되었다. Han과 Kakubari(1996)은 수분 보수력이 높은 암면이 많이 혼합되면 상토 내 수분포텐셜이 높아진다고 하였고, Kramer와 Kozlowski(1979)이나 Lange 등(1976)은 수분에 의한 스트레스가 적으면 엽록소 함량이 높아지고 이에 광합성이 활발해진다고 하였다. 그리고 처리 간 생육 차이가 다소 큰 편이었는데 상수리나무는 활엽수 중에서도 근권부의 수분 및 양분 부족의 영향을 아주 크게 받는 수종으로 알려져 있다(Kwon과 Lee, 1994).

표 7-7. 폐암면의 혼합 비율에 따른 상수리나무(1-0)의 생육 특성

폐암면 혼합비율 ^z (%)	생체중 (g)	건물중 (g)	수고 (cm)	원줄기 직경 (mm)	총 엽록소 (SPDA)
0	30.8 b ^y	9.8 c	31.1 b	2.6 b	33.6 b
30	30.8 b	12.6 b	21.2 b	2.7 b	37.0 b
50	43.6 a	15.0 a	39.4 a	3.5 a	38.7 ab
70	41.6 a	16.3 a	41.0 a	3.9 a	43.9 a

^z표 7-1. 참조.

^yMean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

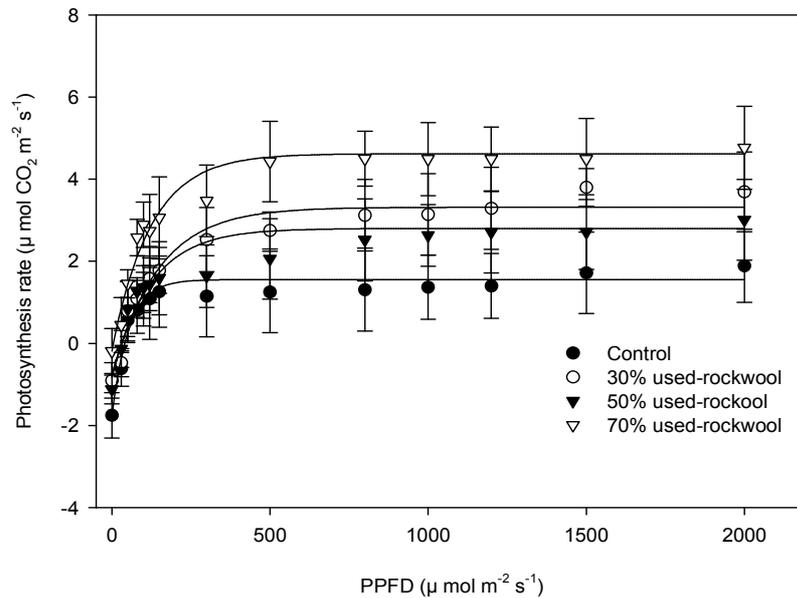


그림 7-4. 폐암면의 혼합 비율에 따른 상수리나무(1-0)의 광합성률

암면 혼합 상토의 종류에 따른 들메나무(1-1)의 생육 특성을 조사한 결과는 표 7-8과 같다. 생체중의 증가량은 70% 상토에서 127.4g으로 다른 상토에 비해 월등히 많았다. 수고의 증가량은 암면 혼합 유무에 따라 뚜렷한 차이를 나타내었고 혼합 비율이 높은 상토일수록 다소 많은 경향이였다. 원줄기 직경의 증가량도 수고와 마찬가지로의 경향을 나타내었고, 엽록소 함량은 암면 혼합 유무에 따른 차이를 나타내지 않았지만 대조구보다 암면 혼합 상토에서 다소 높은 경향이였다. 그러나 광합성률(그림 7-5)은 처리 간 차이를 뚜렷하게 나타내지 않은 엽록소 함량과는 다르게 암면 혼합 비율이 높은 70% 상토에서 가장 높았다. 들메나무의 특성 조사 중 생체중이 다른 특성에 비해 뚜렷한 차이를 나타내었다. 이는 고온기에 암면 혼합 비율이 적은 상토에서 시험 중 낙엽 및 정아 고사 등이 나타났고 이후 얇은 신초가 다수 발생하였다. 암면 혼합 비율이 높은 상토에서 초기 발생한 신초(측지)는 굵고 길게 자랐지만 낙엽이 발생한 상토에서 뒤늦게 발생한 신초들은 얇고 짧게 자랐기 때문에 큰 차이를 나타낸 것으로 생각되었다. Shin 등(1999)은 활엽수종에서 낙엽에 의한 엽수 감소와 이에 따른 일시적 양·수분 요구량 감소 시 질소 및 인의 공급은 생체중을 감소시켰다고 하였다.

표 7-8. 폐암면의 혼합 비율에 따른 들메나무(1-1)의 생육 증가량

폐암면 혼합비율 ^z (%)	생체중 (g)	건물중 (g)	수고 (cm)	원줄기 직경 (mm)
0	75.3 b ^y	7.6 b	3.2 b	48.4 a
30	85.0 b	10.5 a	4.5 a	49.5 a
50	84.8 b	13.4 a	4.4 a	55.0 a
70	127.4 a	13.9 a	4.2 a	52.9 a

^z표 7-1. 참조.

^yMean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

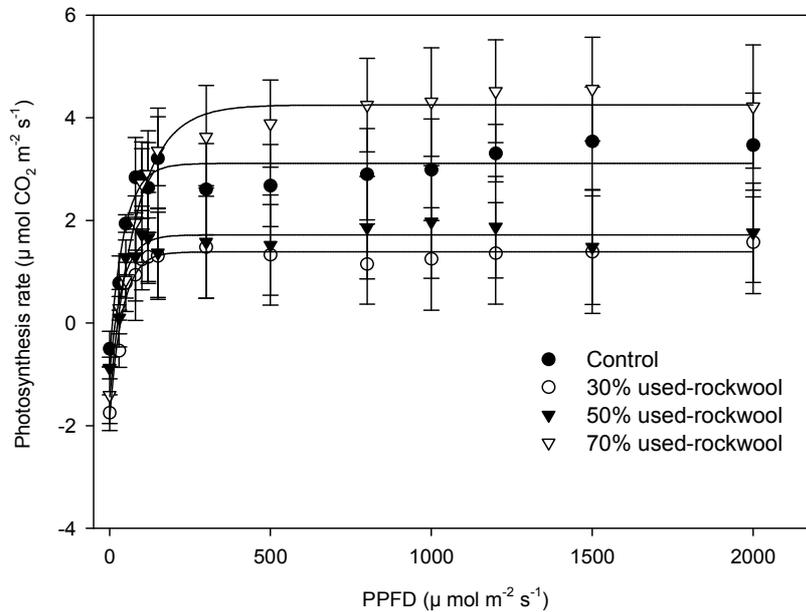


그림 7-5. 폐암면의 혼합 비율에 따른 들메나무(1-1)의 광합성률

시험 수종 중 들메나무는 토양 재배되었던 것이었고 시험 포장으로 이동 중 수체에 스트레스가 가해져 잎의 상태가 좋지 않았다. 이러한 원인으로 조사 초기부터 하부의 잎이 외부 환경의 영향(병충해, 인위적 타격 등)을 크게 받아 낙엽되었는데 (그림 7-6) 이러한 수체는 오히려 낙엽되지 않은 수체보다 신초 발생이 아주 빨랐고 수고가 높게 자라는 경향을 보였다. 이것은 유묘 때 정아의 눈이 발아하면서 신초가 나오는 특성이 있는 것으로 판단되어 하엽의 낙엽은 정아에 에너지를 집중시켰기 때문으로 판단된다. 따라서 시험 시 수종의 특성에 맞는 방법을 강구해야할 필요성이 있어 보였다.



그림 7-6. 들메나무의 하부 낙엽의 증상(좌; 잎 증상, 오른쪽; 하부 낙엽 증상)

이상의 결과에서 대부분 생육 특성은 기존 수목류 용기묘 상토보다 암면 혼합 상토에서 우수하였다. 이는 상토 종류에 따른 수분 보유력의 차이와 암면의 혼합에 따른 공극률 안정화에서 오는 결과라고 생각되었다. An 등(2003)이나 Kim과 Jeong(2004)은 암면이 다른 원예용 상토보다 보수력이 우수하다고 하였고, Haywood 등(1990)은 암면의 적정 혼합 시 안정적 공극률을 확보하고 이에 따른 적정 배수량을 갖출 수 있다고 하였다. 일부 수종에서 잦은 관수 시 암면의 높은 보수력에 의해 과습 피해가 우려되므로 이에 대한 연구도 필요할 것으로 생각되었다. 그리고 들메나무와 잣나무와 같이 토양재배된 것은 용기묘 생산을 위한 수경재배에는 적합하지 않는 것으로 판단되며 차후 대묘를 생산하기 위해서는 종자발아부터 동일한 재배 방법을 이용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

제 8 절 암면 혼합 상토를 이용한 양묘 시 비료의 최적 화학적 구성 및 적정 농도

1. 연구 목적

본 연구는 ‘제1절’ 시험의 결과에 따라 선발된 상토를 이용하여 Sonneveld 배양액의 적정 농도를 구명하기 위해 수행하였다.

2. 연구 내용 및 방법

침엽수종은 암면:(피트모스+펠라이트)=5:5 (v:v) 혼합 상토, 활엽수종은 암면:(피트모스+펠라이트)=7:3 (v:v) 혼합 상토를 Sonneveld 배양액의 적정 농도를 구명하는 데에 이용하였다. 배양액 종류와 상토 조제 방법은 ‘제1절’ 시험과 동일하며 공급 농도는 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 및 3.0 배액 등 5처리로 하였고 각 처리 농도의 배양액 EC는 표 8-1과 같다. 이외 관수방법은 ‘제1절’ 시험과 동일하게 처리하였다.

표 8-1. 선발된 암면 혼합 상토에 대한 ‘Sonneveld’ 배양액의 처리 농도

배양액의 농도	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
EC(dS·m ⁻¹)	1.14	1.80	2.50	3.20	4.60

처리 종류 및 수종에 따라 수고, 원줄기 직경, 신초발생수, 생체중, 건물중, 총 엽록소함량, 광합성률 등의 값과 변화를 조사하였다. 생체중은 전자저울로 측정하였고, 수고는 일반 줄자(5m, cm 단위)를 이용하여 측정하였다. 원줄기 직경은 상토 표면에서 2cm 정도 위를 디지털캘리퍼스를 이용하여 측정하였다. 건물중은 생체중 측정 후 70℃ 건조실에 3일간 넣어 완전히 말린 후 전자저울로 측정하였다. 총 엽록소량은 휴대용 엽록소 측정기(SPDA-502, Minolta camera Co., LTD., Japan)로 측정하였으며, 광합성률은 광합성측정기(Li-6400, Li-cor, USA)를 이용하여 측정하였다. 시설내에서 자란 균일한 수종은 최종 조사일의 값을 사용하였고, 시설 육묘

후 토양에 이식하여 자란 수종은 수체 간 균일성이 없어 시험 처리 전의 조사값과 최종일의 조사값 간 차이에 따라 증가량으로 나타내었다. 그리고 각 조사 데이터는 SPSS 12.0 프로그램을 이용하여 처리 간 비교하였다.

3. 연구 결과

배양액의 공급 농도에 따른 소나무(1-0)의 생육 특성을 조사한 결과(표 8-2), 생체중은 높은 농도에서 무거웠고 낮은 농도에서 가벼운 경향을 나타내었다. 특히, 2.0배액에서 6.8g으로 0.5배액의 3.0g보다 2배 이상 무거워 큰 차이를 나타내었다. 수고도 생체중과 마찬가지로의 경향으로 2.0배액에서 10.0cm, 3.0배액에서 9.7cm로 높은 편이었으나 0.5배액에서는 6.8cm로 가장 낮았다. 원줄기 직경은 3.0배액에서 2.5mm, 2.0배액에서 2.4mm, 1.5배액에서 2.1mm이었지만 농도가 낮은 두 처리는 1.8mm이었다.

배양액의 공급 농도에 따른 비자나무(1-1)의 생육 증가량을 조사한 결과(표 8-3), 생체중 증가량은 1.5배액과 3.0배액에서 각각 26.7g과 25.8g으로 많았고 1.0배액에서 17.5g으로 가장 적었다. 수고 증가량은 1.5배액에서 13.1cm로 가장 많았고 2.0배액에서 9.6cm로 가장 적은 편이었다. 원줄기 직경 증가량은 1.5배액에서 3.0mm로 가장 많았고 나머지 처리 농도에서는 유의한 차이를 나타내지 않았다. 특히, 2.0배액에서는 대부분 고농도에서 생육이 좋은 경향과 다르게 수고와 원줄기 직경이 다소 낮았는데 이는 용기에 이식하는 수체의 차이에서 온 것으로 판단된다.

표 8-2. 배양액의 공급 농도에 따른 소나무(1-0)의 생육 특성

배양액 농도 (배액)	생체중 (g)	수고 (cm)	원줄기 직경 (mm)
0.5	3.0 d ²	6.8 c	1.8 c
1.0	4.0 cd	7.3 c	1.8 c
1.5	4.5 cd	8.6 b	2.1 b
2.0	6.8 a	10.0 a	2.4 a
3.0	5.9 b	9.7 a	2.5 a

²Mean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level

표 8-3. 배양액의 공급 농도에 따른 비자나무(1-1)의 생육 증가량

배양액 농도(배액)	생체중 (g)	수고 (cm)	원줄기 직경 (mm)
0.5	17.7 c ^z	11.2 b	1.9 b
1.0	17.5 c	11.4 b	2.0 ab
1.5	26.7 a	13.1 a	3.0 a
2.0	21.2 b	9.6 c	1.4 c
3.0	25.8 a	11.3 b	1.5 c

^zMean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

배양액의 공급 농도에 따른 상수리나무(1-0)의 생육 특성을 조사한 결과(표 8-4), 생체중은 2.0배액에서 50.5g으로 가장 무거웠고 1.0배액에서 30.3g으로 가장 가벼웠다. 수고는 농도가 높은 2.0배액과 3.0배액에서 각각 35.9와 39.1cm로 높았고 농도가 낮은 0.5배액과 1.0배액에서 각각 20.7cm와 18.3cm로 낮았다. 원줄기 직경은 처리 간 유의한 차이를 나타내지 않았으나, 2.0배액에서 3.3mm로 가장 두꺼운 편이었다. 총 엽록소량은 2.0배액에서 42.1로 가장 높았고 나머지 처리 농도간에는 유의한 차이를 나타내지 않았다. 건물중은 농도가 높은 2.0배액과 3.0배액에서 각각 16.4g과 14.4g으로 무거웠고 1.0배액에서 10.3g으로 가벼웠다. 광합성률은(그림 8-1) 1.5배액에서 다른 처리 농도보다 월등히 활발하였고 다음으로 2.0배액에서 다소 활발하게 진행되었다. 그러나 농도가 가장 낮고 높은 0.5배액과 3.0배액에서는 다른 처리보다 저조하여 총엽록소량이 1.5배액과 2.0배액에서 높았던 경향과 일치하였다.

배양액의 공급 농도에 따른 들메나무(1-1)의 생육 증가량을 조사한 결과(표 8-5), 생체중의 증가량은 농도가 가장 높은 3.0배액에서 64.3g으로 가장 증가량이 적었고, 나머지 처리 간에는 유의한 차이를 나타내지 않았지만 0.5배액에서 높은 편이었다. 수고의 증가량은 0.5배액에서 31.6cm로 가장 많았던 반면 1.5배액과 3.0배액에서는 각각 20.9와 20.4cm로 적었다. 원줄기 직경의 증가량은 0.5배액에서 다른 처리와 유의한 차이를 나타내며 6.9mm로 가장 많았고 다른 처리 간에는 유의한 차이를 나타내지 않았으나 2.0배액에서 4.8mm로 많은 편이었다. 총엽록소량은 1.0배액에서 31.2로 유의하게 가장 적었고, 다른 처리 간에는 유의한 차이를 나타내지 않았지만 0.5배액과 2.0배액에서 각각 51.0과 50.3으로 다소 많은 경향을 나타내었다. 광합성률(그림 8-2)은 2.0배액에서 가장 활발하였고 다음으로 0.5배액, 1.0배액 및 1.5배액에

서도 다소 활발하였으나 농도가 가장 높은 3.0배액에서는 상수리나무와 마찬가지로 아주 저조하였다. 총 엽록소량이 2.0배액에서 높았던 경향과 일치하였다.

표 8-4. 배양액의 공급 농도에 따른 상수리나무(1-0)의 생육 특성

배양액 농도(배액)	생체중 (g)	수고 (cm)	원줄기 직경 (mm)	총 엽록소 (SPDA)
0.5	40.0 b ^z	20.7 c	2.6 ab	33.4 b
1.0	30.3 c	18.3 c	2.5 ab	34.6 b
1.5	44.1 ab	26.5 ab	3.0 a	35.6 b
2.0	50.5 a	35.9 a	3.3 a	42.1 a
3.0	42.6 ab	39.1 a	2.8 ab	34.5 b

^zMean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

표 8-5. 배양액의 공급 농도에 따른 들메나무(1-1)의 생육 증가량

배양액 농도(배액)	생체중 (g)	수고 (cm)	원줄기 직경 (mm)	총 엽록소 (SPDA)
0.5	153.6 a ^z	31.6 a	6.9 a	51.0 a
1.0	113.3 b	29.7 ab	4.5 b	31.2 b
1.5	123.4 b	20.9 c	4.5 b	46.1 a
2.0	127.8 b	23.5 b	4.8 b	51.3 a
3.0	64.3 c	20.4 c	4.1 c	48.7 a

^zMean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

활엽수종의 생육 특성을 종합해 보면, 상수리나무(0-0)는 배양액 처리 농도 중 가장 낮고 높은 처리에서는 다소 좋지 않았다. 상수리나무의 용기묘 생산 시 1.0배액 이하의 농도의 배양액 공급과 공급 후 배수량을 고려할 때 양분의 공급량이 충분한 생육을 위해서는 다소 부족할 것으로 생각되었다. 그리고 'Sonneveld' 배양액의 3.0 배액에는 Mn의 함량이 지나치게 많아 생육 저하를 다소 나타낸 것으로 생각되었다. Kwon과 Lee (1994)는 상수리나무의 양분에 대한 민감성은 수분에 대한 민감성보다 높다고 하였다. 그리고 Lee 등(1999, 2002 및 2005)은 지나친 고농도의 배양액을 공급하면 상토와 엽 내 Mn이 과잉 축적되어 Ca과 Mg과 같은 다른 필수원소의 흡수가 저해되고 이에 광합성이 저하되어 오히려 생육이 나빠진다고 하였다. 들메

나무(1-1)는 배양액 농도가 가장 낮은 0.5배액에서 우수하였고 가장 높은 3.0배액에서 가장 저조하였다. 이를 고려해보면 들메나무는 상수리나무와는 달리 양분보다는 수분의 영향에 민감하고, 높은 농도를 처리할수록 Mn의 축적량이 증가하여 이에 뿌리 활력이 저하되고 수분 흡수가 저해되었기 때문으로 생각되었다.

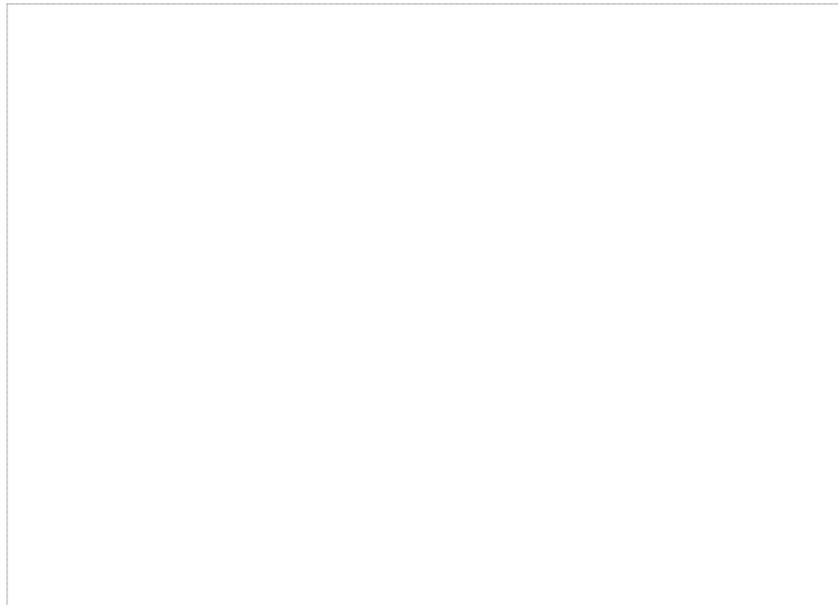


그림 8-1. 배양액의 공급 농도에 따른 상수리나무(0-0)의 광합성률

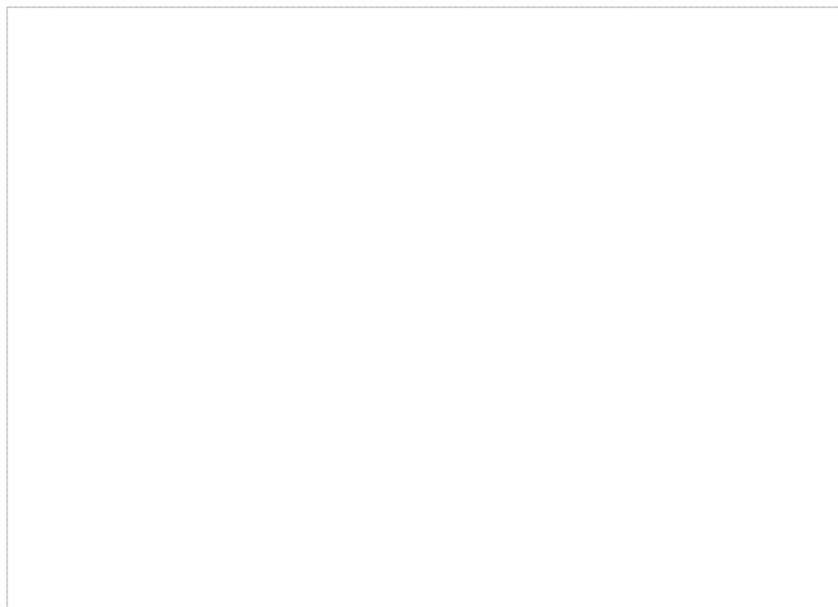


그림 8-2. 배양액의 공급 농도에 따른 들메나무(1-1)의 광합성률

토양에서 육묘된 수목류의 묘는 흙을 제거하거나 근권부의 흙을 붙여 이동된다. 그러나 흙을 제거하는 과정에서 잔뿌리가 다수 상해를 입고 이동 중 건조해져 조립 시 뿌리 활착을 떨어뜨린다. 그리고 근권부의 흙을 붙여 이동하더라도 묘의 무게가 너무 무거워 이동이 불편하고 용기묘보다 뿌리의 확대 면적이 커 그 무게를 더욱 증가시킨다. 또한 시설 용기묘에서 다용되고 있는 피트모스, 펄라이트 및 버미큘라이트는 용기와 분리 시 덩이가 지지 않고 떨어지면서 잔뿌리가 상해를 입고 이동 중 건조해져 조립 시 뿌리 활착이 다소 느리고 고사율이 높다. 그러나 본 연구에서 이용된 암면 혼합 상토는 무게도 가볍고 뿌리부 덩이가 잘 형성되어(그림 8-3) 수목류의 조립용 묘 생산에 이용 가치가 높을 것으로 생각되었다.



<소나무 (1-0)>



<비자나무 (1-1)>



<상수리나무 (1-0)>



<들메나무 (1-1)>

그림 8-3. 폐암면을 이용한 수목류 용기묘 생산에서 적정 배양액 공급에 따른 생육 상태

제 9 절 암면 혼합 상토를 이용한 양묘 시 관수 시스템

1. 연구 목적

본 연구는 ‘제1절’과 ‘제2절’ 시험의 결과에 따라 선발된 상토 및 Sonneveld 배양액의 적정 농도를 이용하여 주당 급액횟수와 회당 급액량, 그리고 생육기(월별) 급액 관리 체계를 구명하기 위해 수행하였다.

2. 연구 내용 및 방법

시험 수종은 침엽수인 소나무(1-0, 2-0), 잣나무(1-0, 1-1), 비자나무(1-1), 활엽수인 상수리나무(1-0, 2-0), 노각나무(1-0)로 잣나무(1-1)과 비자나무(1-1)은 시설 온실 내에서 육묘 후 토양에 이식하여 1년 자란 묘이다. 용기는 국립산림과학원에서 개발된 2,000mL 용기로 빗살이 들어가 있고 검은색이며, 급액은 점적관수 방법으로 하였으며 급액횟수 및량은 제어를 통해 제어하였다.

배양액의 회당 급액량 처리는 용기 내 혼합 상토의 포장용수량에 대한 50%, 70%, 100% 및 150% 등 4처리로 하였으며 공급횟수를 일정하게 하였다. 포장용수량은 현장(농가)에서 쉽게 활용할 수 있도록 상토를 채운 용기의 무게를 잰 후 충분히 물을 흡수시킨 용기를 암실에 24시간 놓아두어 중력수를 제거한 무게와의 차이로 하였다.

배양액의 급액횟수 처리는 주당 7회(매일), 3회, 2회 및 1회 등 4처리로 하였고 포장용수량을 점적 관수하였다.

월별 관수 방법을 알아보기로 5월, 6월, 7월, 8월로 구분하여 매월 새로운 수체에 대하여 공급횟수에 따라 처리하였다.

수종에 따라 수고, 원줄기 직경, 신초발생수, 생체중, 건물중, 총 엽록소함량, 광합성률 등의 값과 변화를 조사하였다. 생체중은 전자저울로 측정하였고, 수고는 일반 줄자(5m, cm 단위)를 이용하여 측정하였다. 원줄기 직경은 상토 표면에서 2cm 정도 위를 디지털캘리퍼스를 이용하여 측정하였다. 건물중은 생체중 측정 후 70°C 건조실에 3일간 넣어 완전히 말린 후 전자저울로 측정하였다. 총 엽록소량은 휴대용

엽록소 측정기(SPDA-502, Minolta camera Co., LTD., Japan)로 측정하였으며, 광합성률은 광합성측정기(Li-6400, Li-cor, USA)를 이용하여 측정하였다. 시설내에서 자란 균일한 수종은 최종 조사일의 값을 사용하였고, 시설 육묘 후 토양에 이식하여 자란 수종은 수체 간 균일성이 없어 시험 처리 전의 조사값과 최종일의 조사값 간 차이에 따라 증가량으로 나타내었다. 그리고 월별 식물체의 잎과 상토 내 무기 성분 함량을 조사하였다. 각 조사 데이터는 SPSS 12.0 프로그램을 이용하여 처리 간 비교하였다.

3. 연구 결과

가. 급액량과 급액횟수

급액량에 따른 소나무(1-0)의 생육 조사 결과(표 9-1), 수고와 신초 발생수 모두 포장용수량 150% 처리에서 가장 우수하였다. 특히, 포장용수량 50% 처리에서는 원줄기 직경과 신초발생수가 다른 처리에 비해 크게 저조한 경향을 보였다. 소나무(2-0)에서 수고는 포장용수량 150% 처리에서 가장 우수하였으나 다른 처리와 큰 차이를 나타내지는 않았다. 그리고 원줄기 직경은 포장용수량 100% 처리에서 가장 저조하였는데 이는 수체 간에 큰 차이에서 온 것으로 생각된다. 신초 발생수도 수고와 마찬가지로 포장용수량 150% 처리에서 우수하였다.

표 9-1. 급액량에 따른 소나무의 생육 특성

급액량(포장용수량×%)	수고(cm)	원줄기직경(mm)	신초 발생수(개)
(1-0 묘)			
50	21.7 c ²	3.6 b	1.8 c
70	25.3 b	4.8 a	4.0 b
100	25.0 b	4.8 a	4.2 b
150	29.0 a	4.9 a	4.6 a
(2-0 묘)			
50	41.7 b	7.0 a	3.7 b
70	42.2 b	7.4 a	3.7 b
100	43.2 ab	6.4 b	4.0 a
150	45.3 a	7.4 a	4.0 a

²Mean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level

급액횟수에 따른 소나무(1-0)의 생육 조사 결과(표 9-2), 주 7회 처리에서 가장 우수하였으나, 2회/주 이상 처리 간에는 큰 차이를 보이지 않았다. 소나무(2-0)에서 신초 발생수에서는 2회/주 처리가 가장 우수하였으나 수고와 원줄기 직경은 3회/주 이상 처리 간 큰 차이를 나타내지 않았다.

따라서 소나무 양묘 시 적정 급액량은 포장용수량 100% 이상, 적정 급액횟수는 발아 당년생묘 2회/주 이상, 1년생 이상 묘 7회/주로 판단된다. 그러나 낙엽성 수종에 비해 양분이용효율이 높은 것을 고려하면 배양액의 농도를 다소 낮추어도 크게 영향을 받지 않을 것으로 생각되었다(Chabot과 Hicks, 1982; Waring과 Franklin, 1979).

표 9-2. 급액횟수에 따른 소나무의 생육 특성

급액횟수(회/주)	수고(cm)	원줄기직경(mm)	신초 발생수(개)
(1-0 묘)			
7	27.0 a ²	5.2 a	4.8 a
3	26.6 ab	4.4 b	5.2 a
2	27.0 a	4.3 b	4.8 a
1	25.2 b	4.6 b	2.6 b
(2-0 묘)			
7	50.3 a	8.4 a	4.3 b
3	47.5 a	7.1 ab	3.0 c
2	42.3 b	6.4 b	4.7 a
1	41.0 b	6.2 b	4.3 b

²Mean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

급액량에 따른 소나무(1-0)의 수고 변화를 살펴보면(그림 9-1), 포장용수량 50% 처리는 시험 초기부터 종료까지 다른 처리에 비해 아주 적은 성장을 보였는데 이는 수체에 공급되는 수분의 부족 현상으로 생각된다. 그러나 포장용수량 150% 처리는 초기 성장부터 종료까지 생장이 가장 컸고 증가량도 많았다. 특히, 이식 13주째부터 성장량이 크게 증가하여 고온과 부합하여 수분이 충분하였기 때문으로 판단된다. 포장용수량 70%와 100% 처리 간에는 큰 차이를 보이지 않았고, 이 두 처리도 포장용수량 150% 처리와 마찬가지로 이식 13주째부터 증가하는 성장량이 다른 시기에 비해 컸다. 처리 간에 성장 변화의 차이를 보인 것은 이식 13주째 고온 다습한 기

상 조건에서 뿌리의 흡수량의 차이와 관계할 것으로 판단된다.

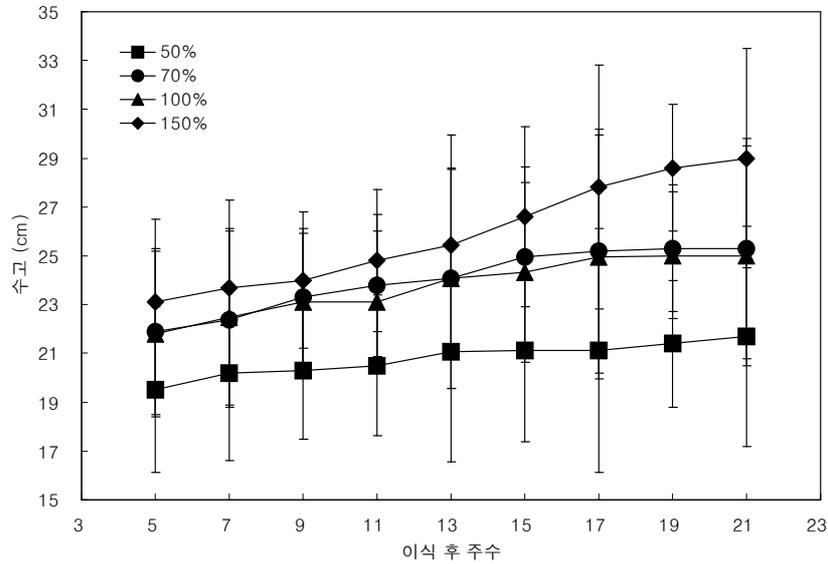


그림 9-1. 급액량에 따른 소나무(1-0)의 수고 변화

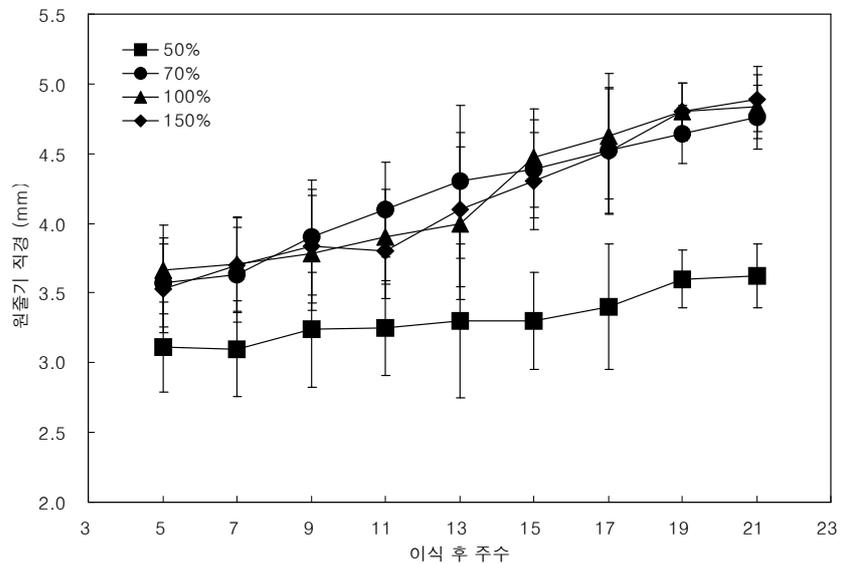


그림 9-2. 급액량에 따른 소나무(1-0)의 원줄기 직경 변화

급액량에 따른 소나무(1-0)의 원줄기 직경 변화를 살펴보면(그림 9-2), 급액량에 따른 원줄기 변화 양상은 수고 변화 양상과 거의 비슷하였다. 포장용수량 50% 처리는 초기부터 거의 성장을 하지 않았고 종료 시에도 초기와 큰 차이를 나타내지 않

왔다. 그러나 다른 3처리는 초기보다 다소 크게 성장하였는데 포장용수량 100%와 150% 처리는 이식 후 13주째부터 큰 증가량을 나타내었다. 포장용수량 70% 처리는 급격한 증가량을 보인 시기는 분명하지 않았으나 초기에 다소 증가량이 컸다. 소나무(1-0)에서 급액량은 수고와 원줄기 직경 모두에게 큰 영향을 주는 것으로 판단되어 원줄기 직경은 수고와 비례 관계를 가질 것으로 생각된다.

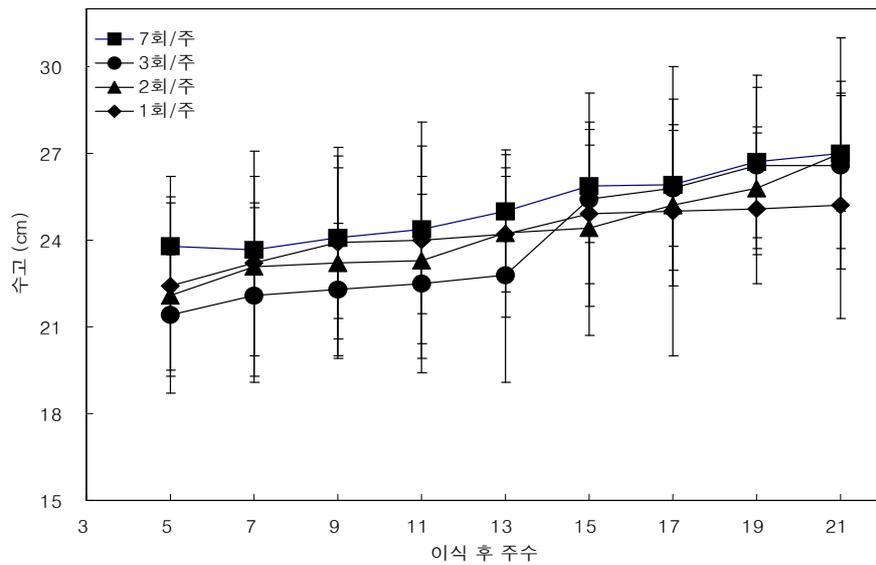


그림 9-3. 급액횟수에 따른 소나무(1-0)의 수고 변화

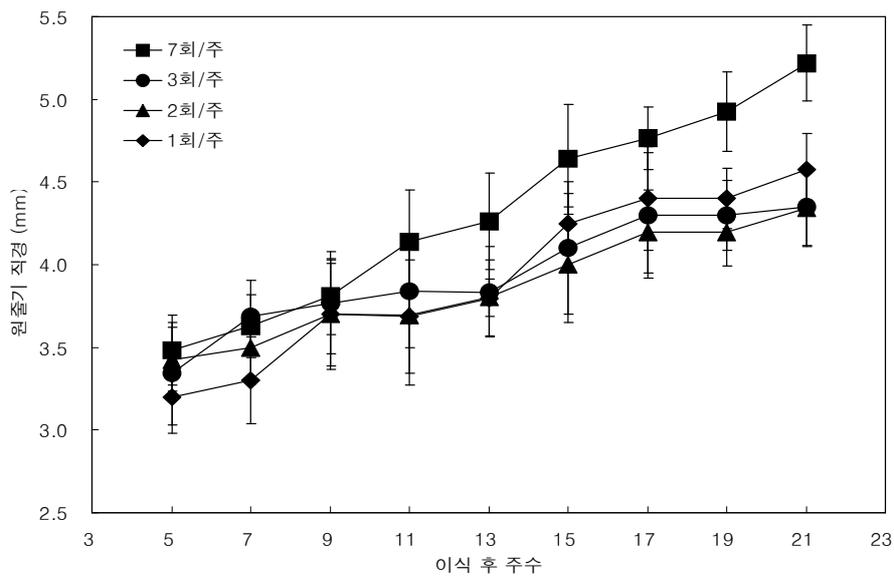


그림 9-4. 급액횟수에 따른 소나무(1-0)의 원줄기 직경 변화

급액횟수에 따른 소나무(1-0)의 수고 변화를 살펴보면(그림 9-3), 조사 초기에는 3회/주 처리가 1회/주과 2회/주 처리보다 적은 생장을 보였고, 7회/주 처리가 가장 큰 생장을 보였다. 3회/주 처리가 가장 적은 생장을 보인 것은 고온기가 아닌 조사 초기 발아 당년 묘의 수분흡수량은 1회/주 처리로도 다소 충분하였던 것으로 판단된다. 그러나 고온기인 이식 13주째에는 7회/주와 3회/주 처리가 다른 처리에 비해 다소 높은 생장을 보였는데 특히, 3회/주 처리는 급격한 생장을 보였다. 조사 종료 시에는 1회/주 처리가 가장 적은 생장을 보였고, 다른 처리 간에는 큰 차이를 나타내지 않았다.

급액횟수에 따른 소나무(1-0)의 수고 변화를 살펴보면(그림 9-4), 7회/주 처리는 다른 처리에 비해 조사 중후반부터 크게 증가하였는데, 이식 후 9주째까지는 다른 처리와 큰 차이를 나타내지 않았으나 고온기로 들어오면서 큰 차이를 나타내었고 이러한 경향은 조사 종료까지 계속되었다. 나머지 3처리 간에는 큰 차이를 나타내지 않았고 3처리 모두 이식 후 13주째에 가장 큰 생장을 보였으나 후반부에는 큰 증가가 없었는데 이는 수체 생장에 따라 급액횟수가 부족하였기 때문으로 판단되어 수체 생장에 따른 급액횟수 조절이 필요할 것으로 생각된다. 소나무(1-0)에서 급액횟수는 수고보다 원줄기 직경에 더 큰 영향을 주는 것으로 판단된다.

급액량에 따른 잣나무(1-0)의 생육 조사 결과(표 9-3), 수고는 포장용수량 150% 처리에서 7.0cm로 가장 우수하였고, 다른 처리 간에는 큰 차이를 나타내지는 않았다. 원줄기 직경은 포장용수량 100% 처리에서 3.3mm로 다른 처리와 차이를 나타내었다. 신초 발생수도 포장용수량 100% 처리에서 가장 우수하였다. 그러나 포장용수량 150% 처리에서 신초발생수가 가장 저조하였는데 이는 세포 분열이 수고를 위주로 일어났기 때문으로 생각된다. 잣나무(1-1)에서 수고는 포장용수량 70%에서 17.3cm로 가장 우수하였고, 오히려 포장용수량 150%처리 에서 가장 저조한 경향을 나타내었다. 원줄기 직경은 포장용수량 150% 처리에서 가장 우수하였으나 70% 이상 처리와 큰 차이를 나타내지 않았다. 신초발생수는 포장용수량 50% 처리에서 가장 우수하였고, 포장용수량 100% 처리에서 가장 저조하였다.

급액횟수에 따른 잣나무(1-0)의 생육 조사 결과(표 9-4), 수고는 7회/주 처리에서 가장 우수하였고, 1회/주 처리에서 가장 저조하였다. 그러나 원줄기 직경은 2회/주 처리에서 가장 우수하였고, 7회/주 처리에서 저조하였다. 신초 발생수는 1회/주 처

리에서 가장 저조하였고 다른 처리 간에는 차이를 나타내지 않았다. 잣나무(1-1)에서 수고는 7회/주 처리에서 가장 우수하였으나, 원줄기 직경은 1회와 2회/주에서 우수하였다. 신초 발생수는 3회/주 이상 시 우수하였다.

따라서 잣나무의 양묘 시 1-0묘에서 급액량은 포장용수량 100% 이상, 급액 횟수는 3회/주 이상으로 판단되었으나, 생육 속도나 상록성 수준으로써의 높은 양분이용 효율(Chabot과 Hicks, 1982; Waring과 Franklin, 1979)을 고려하면 이 결과보다는 급액량을 줄이고 급액횟수를 늘리는 것이 가장 효과적일 것으로 판단된다.

표 9-3. 급액량에 따른 잣나무의 생육 특성

급액량(포장용수량×%)	수고(cm)	원줄기직경(mm)	신초 발생수(개)
(1-0 묘)			
50	6.7 b ^z	2.5 ab	1.4 b
70	6.6 b	2.6 b	1.5 b
100	6.7 b	3.3 a	2.0 a
150	7.0 a	2.7 b	1.2 c
(1-1 묘)			
50	15.6 b	4.5 b	2.6 a
70	17.3 a	4.8 ab	2.0 b
100	15.9 b	4.8 ab	1.6 c
150	15.2 c	5.2 a	2.0 b

^zMean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

표 9-4. 급액횟수에 따른 잣나무의 생육 특성

급액횟수(회/주)	수고(cm)	원줄기직경(mm)	신초 발생수(개)
(1-0 묘)			
7	9.2 a ^z	2.5 b	1.4 a
3	8.5 b	2.6 ab	1.5 a
2	8.5 b	2.7 a	1.4 a
1	7.1 c	2.6 ab	1.0 b
(1-1 묘)			
7	17.0 a	4.5 ab	2.3 a
3	16.3 a	4.2 b	2.4 a
2	15.5 b	4.8 a	2.2 ab
1	15.8 b	4.7 a	2.0 b

^zMean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

급액량에 따른 비자나무(1-1)의 생육 조사 결과(표 9-5), 수고는 포장용수량 100% 처리에서 가장 우수하였는데 대부분 많은 급액량 처리에서 우수하였다. 그러나 원줄기 직경은 포장용수량 50% 처리에서 가장 우수하였고 포장용수량 70%와 150% 처리에서 다소 저조하였다. 신초 발생수는 수고와 같은 경향을 나타내었다.

급액횟수에 따른 비자나무(1-1)의 생육 조사 결과(표 9-6), 수고는 2회/주에서 다른 처리에 비해 우수하였는데 다소 적은 급액횟수 처리에서 다소 저조한 경향이 있었다. 원줄기 직경은 1회/주에서 가장 우수하였고 급액횟수가 많은 처리에서 저조하였다. 신초 발생수는 수고와 같은 경향을 나타내었다. 따라서 비자나무(1-1)의 양묘 시 적정 급액량은 포장용수량 100%, 급액횟수는 1회/주 또는 2회/주로 판단된다.

표 9-5. 급액량에 따른 비자나무(1-1)의 생육 특성

급액량(포장용수량×%)	수고(cm)	원줄기직경(mm)	신초 발생수(개)
50	16.0 c ²	4.4 a	6.3 c
70	17.7 b	4.0 b	7.0 b
100	18.8 a	4.2 ab	7.7 a
150	18.0 ab	4.1 b	7.0 b

²Mean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

표 9-6. 급액횟수에 따른 비자나무(1-1)의 생육 특성

급액횟수(회/주)	수고(cm)	원줄기직경(mm)	신초 발생수(개)
7	19.0 b ²	4.0 b	4.7 c
3	16.8 b	4.1 b	6.0 b
2	23.0 a	4.1 b	8.3 a
1	21.5 ab	4.4 a	5.5 b

²Mean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

급액량에 따른 상수리나무(1-0)의 생육 조사 결과(표 9-7), 수고는 포장용수량 150% 처리에서 가장 우수하였고 포장용수량 50% 처리에서 가장 저조하여 급액량이 많을수록 우수한 경향을 나타내었다. 원줄기 직경도 수고의 경향과 마찬가지로었는데 두 처리 간 1.1mm의 큰 차이를 나타내었다. 엽록소 함량은 처리 간 차이를 나타내지 않았는데 이는 수체 생장의 차이는 잎수의 영향을 받은 것으로 생각되고

각 잎의 동화량 능력 차이는 아주 적었기 때문으로 생각된다. 상수리나무(2-0)에서 수고, 원줄기 직경, 신초 발생수는 1-0묘와 동일한 경향이었지만, 엽록소 함량은 급액량이 많은 처리에서 높았다. 이는 시험수를 구입 당시 수체 생장이 비슷하였는데 처리 기간 동안 급액량의 영향을 받아 각 잎의 엽록소 생성 차이가 있었기 때문으로 생각된다.

표 9-7. 급액량에 따른 상수리나무의 생육 특성.

급액량(포장용수량×%)	수고 (cm)	원줄기직경 (mm)	신초발생수 (개)	엽록소 함량 (SPDA)
(1-0 묘)				
50	33.3 c ^z	3.5 c	-	41.8 a
70	44.3 b	4.3 b	-	40.9 a
100	58.3 a	4.2 b	-	41.7 a
150	63.7 a	4.6 a	-	41.4 a
(2-0 묘)				
50	76.3 c	6.7 b	1.7 c	29.1 b
70	85.3 b	6.8 b	1.0 c	17.0 c
100	86.7 b	7.2 b	3.0 b	44.7 a
150	97.3 a	9.1 a	3.7 a	46.9 a

^zMean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

표 9-8. 급액횟수에 따른 상수리나무의 생육 특성

급액횟수(회/주)	수고 (cm)	원줄기직경 (mm)	신초발생수 (개)	엽록소 함량 (SPDA)
(1-0 묘)				
7	79.7 a ^z	5.6 a	-	45.3 a
3	73.0 a	5.1 a	-	42.0 ab
2	46.7 b	4.6 b	-	41.3 b
1	23.5 c	3.0 c	-	42.3 ab
(2-0 묘)				
7	94.0 a	9.9 a	3.3 a	47.1 a
3	90.0 a	8.3 b	2.3 b	49.5 a
2	82.3 b	8.1 b	2.3 b	36.8 b
1	82.3 b	6.8 c	1.7 c	26.9 b

^zMean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

급액횟수에 따른 상수리나무(1-0)의 생육 조사 결과(표 9-8), 수고는 3회/주 이상 처리에서 다른 처리에 비해 월등히 우수하였다. 원줄기 직경도 수고의 경향과 동일하였다. 엽록소 함량은 7회/주 처리에서 가장 우수하였고 2회/주 처리에서 가장 저조하였다. 상수리나무(2-0)에서 수고와 원줄기 직경은 1-0묘와 동일한 경향이었으나, 엽록소 함량은 많은 급액횟수 처리에서 높게 나타났다. 신초발생수도 많은 급액횟수 처리에서 많은 경향이였다. 수분에 아주 예민한 상수리나무의 특성을 고려하면(Lee, 1994), 용기 양묘 시 적정 급액량은 포장용수량 100% 이상, 급액횟수는 3회/주 이상, 특히 수령이나 수체 크기가 증가할수록 매일 관수하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

급액량에 따른 상수리나무(1-0)의 수고 변화를 살펴보면(그림 9-5), 조사 기간 동안 전반적으로 3회/주 이상 처리와 이하 처리 간 뚜렷한 차이를 나타내었다. 이식 후 11주째까지는 4처리 모두에서 큰 차이를 나타내지 않았지만, 이후인 고온기에 들어서면서 큰 차이를 나타내었는데 급액량이 많을수록 생장이 왕성하였다. 특히, 포장용수량 100% 처리에서는 이식 후 7주와 11주 이후 급격한 증가를 나타내었고, 포장용수량 150% 처리에서는 이식 후 5주와 11주 이후 급격한 증가를 나타내었다. 그러나 급액량이 적은 처리에서는 이러한 급격한 증가 경향을 거의 나타내지 않아 수분 부족 현상은 조사 기간 동안 계속되었다.

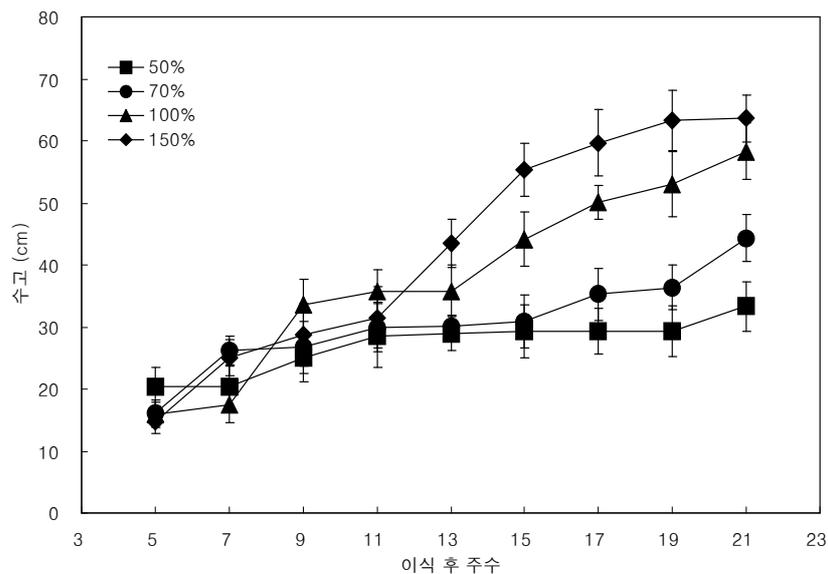


그림 9-5. 급액량에 따른 상수리나무(1-0)의 수고 변화

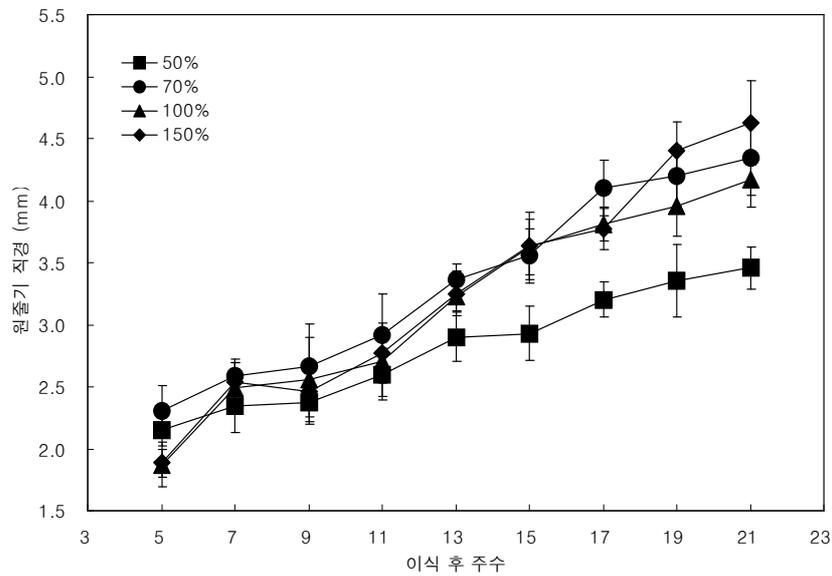


그림 9-6. 급액량에 따른 상수리나무(1-0)의 원줄기 직경 변화

급액량에 따른 상수리나무(1-0)의 원줄기 직경 변화를 살펴보면(그림 9-6), 조사 기간 동안 전반적으로 포장용수량 50% 처리에서 아주 저조한 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 조사 초기에는 큰 차이를 나타내지 않았으나 이식 후 13주째인 고온기로 들어서면서 큰 차이를 나타내었다. 특히, 포장용수량 100% 이상 처리에서는 이식 후 5주와 9주째인 초기에 급격한 성장을 보였고, 다시 고온기에 들어서면서도 나타났었다. 이러한 경향을 고려하면 어린묘일 때 수체 성장을 확대시키는 것이 수령이 많아져도 수체 성장 확대에 효과적일 것으로 판단된다.

급액량에 따른 상수리나무(1-0)의 엽록소 함량 변화(그림 9-7)와 광합성률을 살펴보면(그림 9-8), 이식 후 11주째에 급격한 감소를 보였는데 이는 이식 스트레스로 판단된다. 이식 후 11주째 이후에는 급격히 상승하였고 고온기가 지나 기온이 하강한 이식 19주째에 다시 급격한 감소를 나타내었다. 그러나 이러한 경향은 포장용수량 70% 이상 처리에서 나타났고 포장용수량 50% 처리에서는 고온기에 더욱 수분 결핍의 스트레스로 낮아지는 경향을 나타내었다. 처리 간 차이는 수체 성장 중 뿌리의 수분 흡수 능력에 대한 잎 수의 차이에서 오는 것으로 판단된다. 광합성률에서는 포장용수량 150%에서 가장 높았고 70%에서 가장 낮았고, 상호간 큰 차이를 나타내었다. 그러나 50%과 100% 간에는 차이를 나타내지 않았고 포장용수량 150%

처리와 큰 차이를 나타내지 않았다. 수체 성장 결과를 고려하면, 포장용수량 100% 처리와 포장용수량 150% 처리 간 엽록소 함량의 작은 차이는 수체 생육의 차이를 나타낼 정도는 아닌 것으로 생각된다.

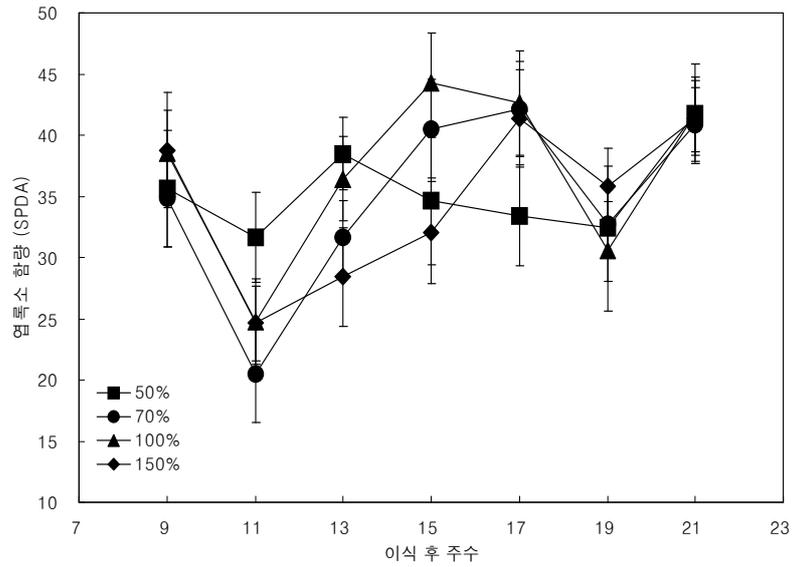


그림 9-7. 급액량에 따른 상수리나무(1-0)의 엽록소 함량 변화

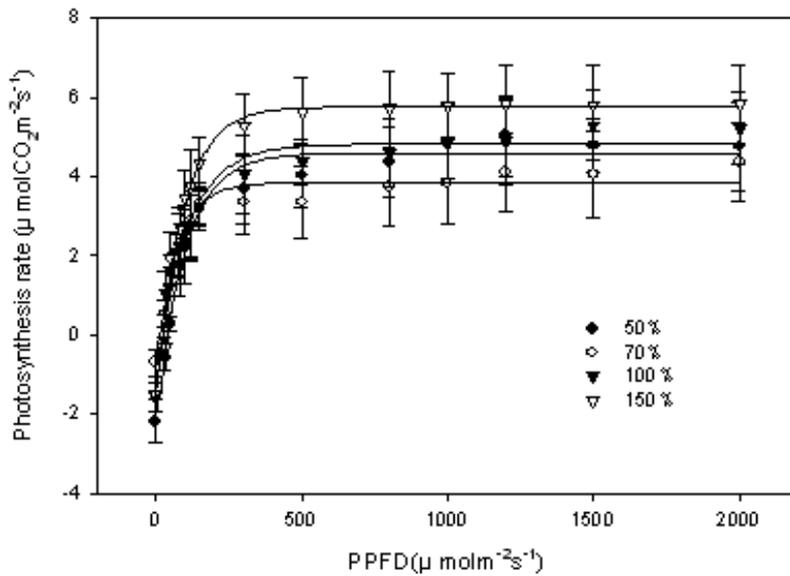


그림 9-8. 급액량에 따른 상수리나무(1-0)의 광합성률

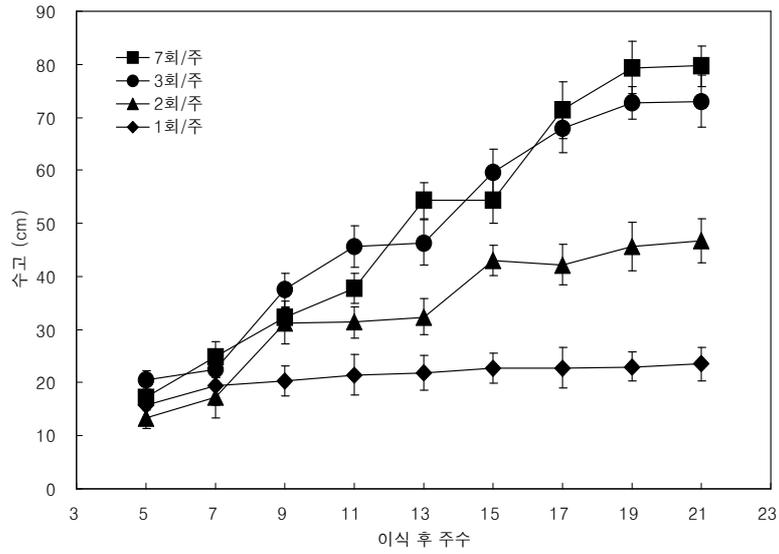


그림 9-9. 급액횟수에 따른 상수리나무(1-0)의 수고 변화

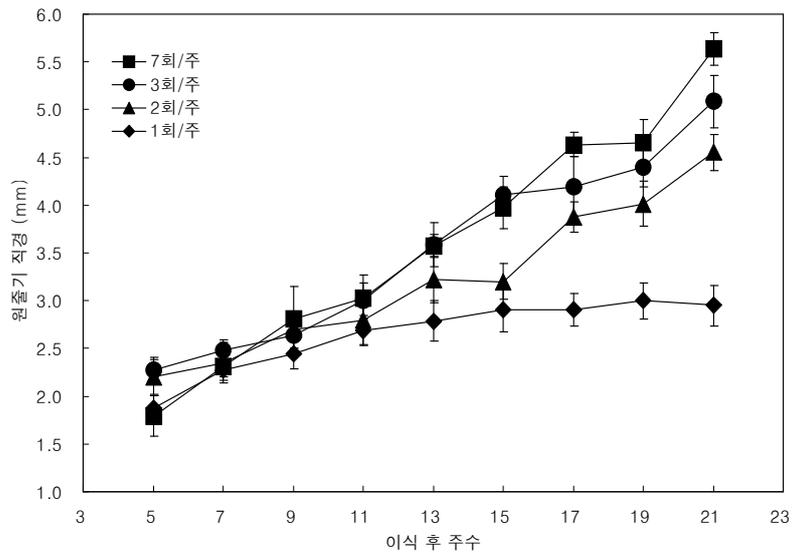


그림 9-10. 급액횟수에 따른 상수리나무(1-0)의 원줄기 직경 변화

급액횟수에 따른 상수리나무(1-0)의 수고 변화를 살펴보면(그림 9-9), 조사 기간 동안 처리 간 차이가 급액량에 따른 차이보다 더욱 뚜렷하였다. 3회와 7회/주, 2회/주 및 1회/주 처리 간 차이가 뚜렷하여 급액횟수가 수고에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있었다. 7회/주 처리에서는 이식 후 11주, 3회/주 처리에서는 이식 후 13주, 그리고 2회/주 처리에서는 이식 후 7주와 13주 이후 급격한 증가를 나타내었다. 그

그러나 급액횟수가 가장 적은 1회/주 처리에서는 조사 기간 전반에 걸쳐 급격한 증가를 보이는 시기가 나타나지 않아 기온이 높아짐에 따라 급액횟수의 증가가 반드시 필요하다는 것을 입증하고 있다.

급액횟수에 따른 상수리나무(1-0)의 원줄기 직경 변화를 살펴보면(그림 9-10), 조사 기간 동안 1회/주 처리에서 다른 처리에 비해 아주 저조한 경향을 나타내었는데 경향은 수고의 경향과 마찬가지로였다. 3회와 7회/주 처리에서는 고온기에 높은 생장을 보였고, 2회/주 처리에서는 이식 15주 이후에 급격한 생장을 보여 수고와 비슷한 경향을 나타내었다.

급액횟수에 따른 상수리나무(1-0)의 엽록소 함량 변화와 광합성률을 살펴보면(그림 9-11과 12), 조사 초기부터 고온기에 들어서기 전까지는 모든 처리에서 증가 경향을 보였다. 그러나 이식 17주 이후 급액횟수가 적은 처리에서는 다소 낮아지는 경향을 나타내었고, 7회/주 처리에서는 지속적인 상승, 3회/주 처리에서는 유지되었다. 이렇게 엽록소 함량은 불규칙성을 보였으나 광합성률은 3회/주 이상과 이하/주의 처리 간 차이를 뚜렷이 나타내어 수체 생장의 차이와 동일한 결과를 나타내었다.

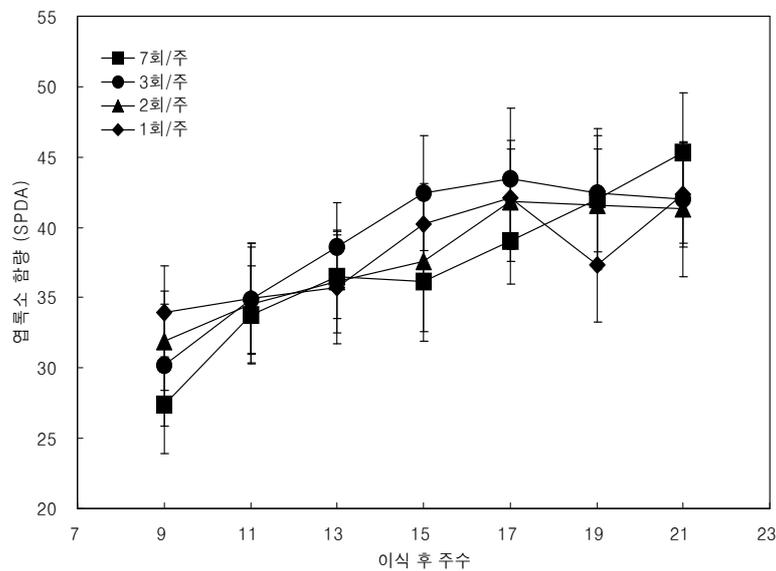


그림 9-11. 급액횟수에 따른 상수리나무(1-0)의 엽록소 함량 변화

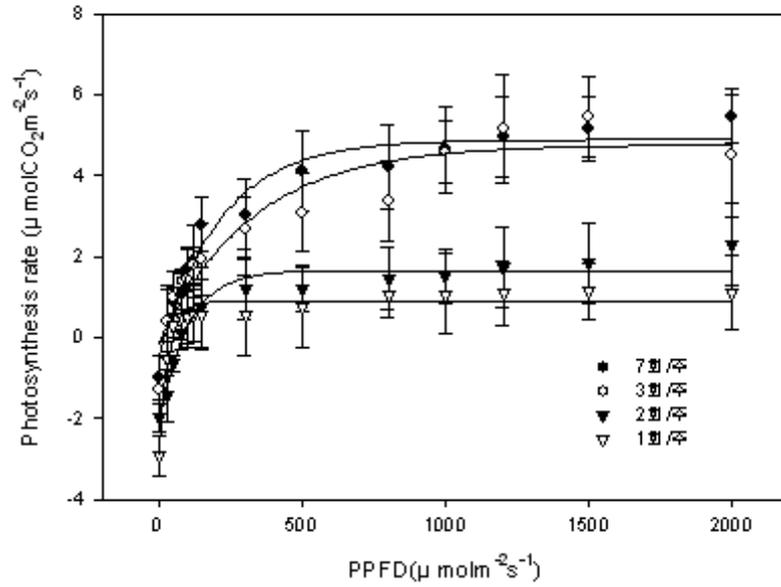


그림 9-12. 급액횟수에 따른 상수리나무(1-0)의 광합성률

표 9-9. 급액량에 따른 노각나무(1-0)의 생육 특성

급액량(포장용수량×%)	수고 (cm)	원줄기직경 (mm)	신초발생수 (개)	엽록소 함량 (SPDA)
50	19.0 c ^z	2.0 c	1.0 b	14.6 d
70	30.2 b	3.2 b	1.3 a	20.9 c
100	30.0 b	2.9 b	1.5 a	38.0 a
150	51.3 a	4.1 a	1.0 b	31.9 b

^zMean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

표 9-10. 급액횟수에 따른 노각나무(1-0)의 생육 특성

급액횟수(회/주)	수고 (cm)	원줄기직경 (mm)	신초발생수 (개)	엽록소 함량 (SPDA)
7	45.5 a ^z	3.5 a	2.0 a	49.8 a
3	44.7 a	3.4 a	1.5 b	38.7 b
2	41.5 b	3.3 a	1.3 b	29.4 c
1	20.0 c	2.2 b	1.5 b	24.4 c

^zMean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

급액량에 따른 노각나무(1-0)의 생육 조사 결과(표 9-9), 수고는 포장용수량 150% 처리에서 가장 우수하였고 포장용수량 50% 처리에서 가장 저조하였고 이 두 처리 간 차이는 32cm로 아주 컸다. 원줄기 직경도 수고와 마찬가지로 경향이었고, 신초발생수는 포장용수량 100% 처리에서 가장 우수하였고 포장용수량 50%와 150% 처리에서 가장 저조하여 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다. 엽록소 함량은 포장용수량 100% 이상 처리에서 우수하였다.

급액횟수에 따른 노각나무(1-0)의 생육 조사 결과(표 9-10), 수고는 7회/주 처리에서 가장 우수하였고 1회/주 처리에서 가장 저조하여 급액횟수가 많을수록 높은 경향이였다. 원줄기 직경은 1회/주 처리에서 가장 저조한 것을 제외하고는 나머지 처리 간 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 신초 발생수는 7회/주 처리에서 가장 우수하였고 나머지 처리 간에는 차이를 나타내지 않았다. 엽록소 함량은 수고와 유사한 경향을 나타내었다.

따라서 노각나무의 양묘 시 적정 급액량은 포장용수량 150%, 급액횟수는 3회/주 이상, 특히 생장이 왕성해질수록 매일 관수하는 것이 효과적으로 생각된다.

급액량에 따른 노각나무(1-0)의 수고 변화를 살펴보면(그림 9-13), 조사 기간 동안 전반 적으로 포장용수량 150% 처리에서 가장 우수하였다. 이러한 경향은 이식 13주 이후로 고온기에 들어서면서 다른 3 처리와 큰 차이를 나타내었다. 포장용수량 70%와 100% 처리에서는 이식 15주 이후에 급격한 증가를 보였으나 후반으로 큰 증가는 없었다. 그러나 포장용수량 50% 처리에서는 조사 기간 전반에 걸쳐 급격한 상승은 없었고 초기와 후반의 수고 간 차이가 아주 적었다.

급액량에 따른 노각나무(1-0)의 원줄기 직경 변화를 살펴보면(그림 9-14), 전반적인 경향은 수고의 변화와 거의 유사하였다.

급액량에 따른 노각나무(1-0)의 엽록소 함량 변화와 광합성률을 살펴보면(그림 9-15와 16), 이식 후 고온기로 가면서는 모든 처리에서 증가하는 경향을 나타내었으나, 이식 15주 이후 감소하는 경향을 나타내었다. 특히, 급액량이 적은 포장용수량 50%와 70% 처리에서 급격한 하락을 나타내었는데 이는 고온기 수분 부족에 따른 엽록소 파괴가 나타났기 때문으로 생각된다. 광합성률은 포장용수량 100% 이상과 이하 처리 간 뚜렷한 차이를 나타내어 수체 성장에서 포장용수량 150%와 100% 처리 간 차이는 광합성률보다는 뿌리 발달 정도에서 오는 것으로 생각된다.

급액횟수에 따른 노각나무(1-0)의 수고 변화를 살펴보면(그림 9-17), 조사 기간에

전반적으로 1회/주 처리에서 가장 저조하였고 나머지 3처리 간에는 큰 차이를 나타내지 않아 급액횟수보다는 급액량의 영향을 더 크게 받는 것으로 판단된다. 전반적으로 2회/주 이상 처리에서는 급격한 증가 경향은 없었고 꾸준한 증가 경향을 나타내었다.

급액횟수에 따른 노각나무(1-0)의 원줄기 직경 변화를 살펴보면(그림 9-18), 수고의 변화 경향과 거의 비슷하였다.

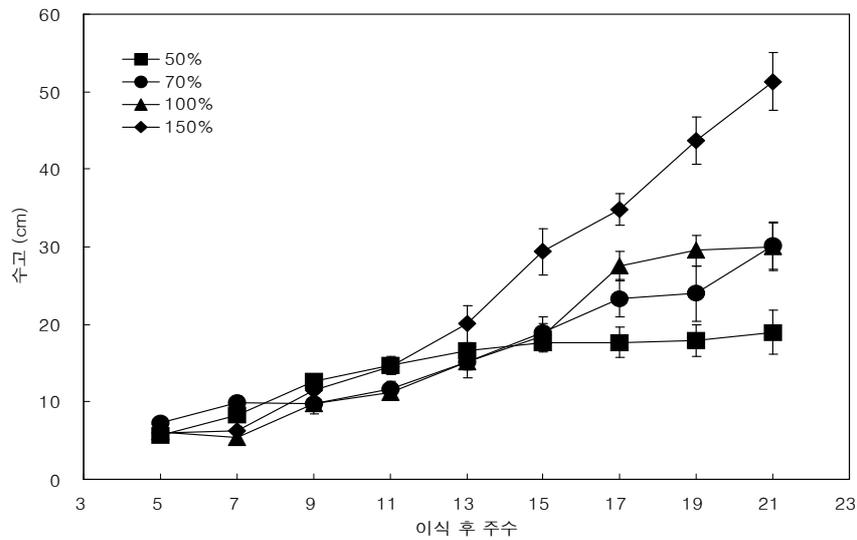


그림 9-13. 급액량에 따른 노각나무(1-0)의 수고 변화

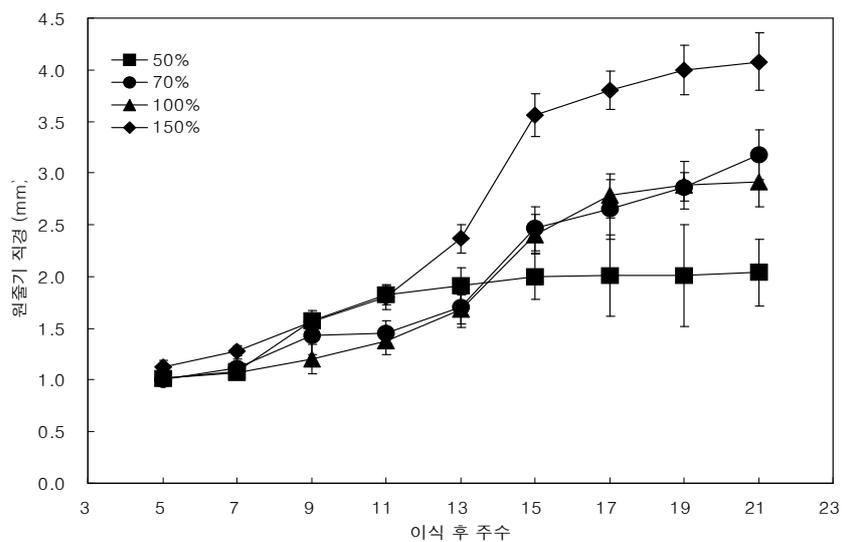


그림 9-14. 급액량에 따른 노각나무(1-0)의 원줄기 직경 변화

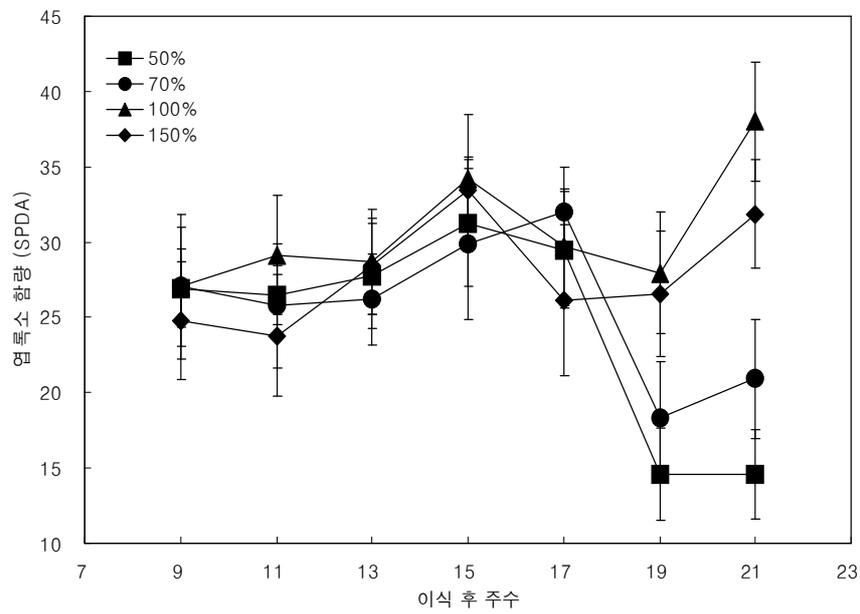


그림 9-15. 급액량에 따른 노각나무(1-0)의 엽록소 함량 변화

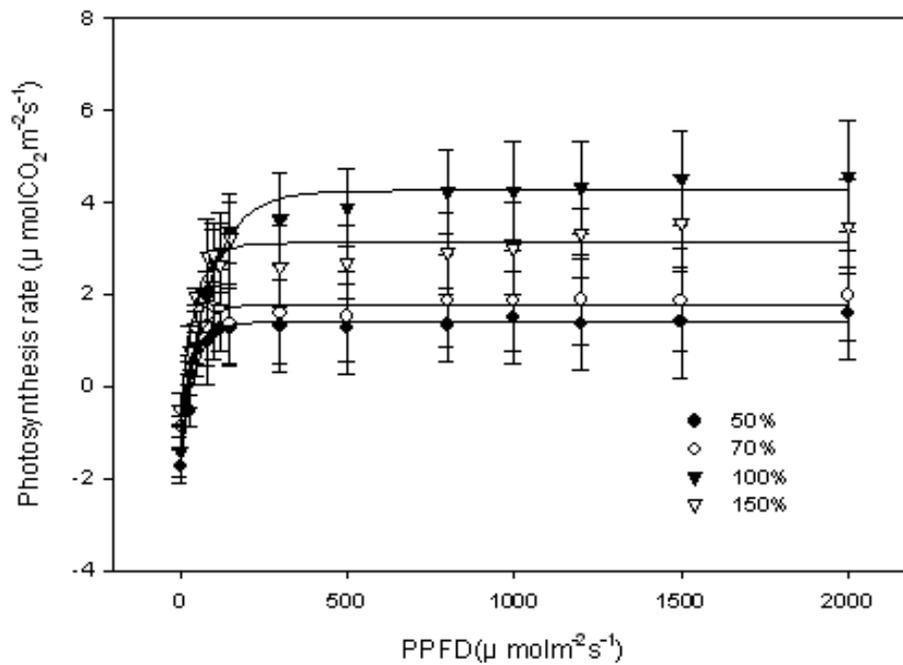


그림 9-16. 급액량에 따른 노각나무(1-0)의 광합성률

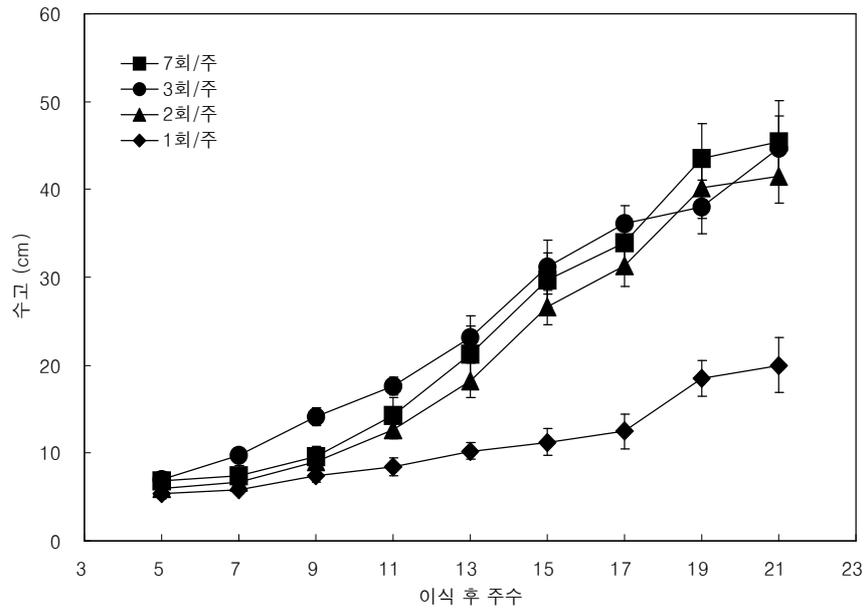


그림 9-17. 급액횟수에 따른 노각나무(1-0)의 수고 변화

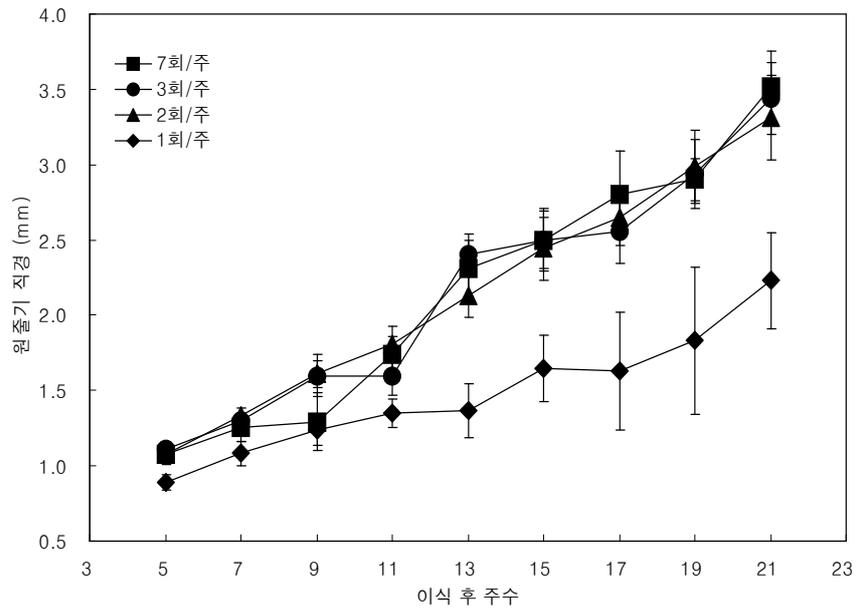


그림 9-18. 급액횟수에 따른 노각나무(1-0)의 원줄기 직경 변화

급액횟수에 따른 노각나무(1-0)의 엽록소 함량 변화를 살펴보면(그림 9-19와 20), 7회/주 처리를 제외한 나머지 3 처리에서는 조사 기간 동안 전반적으로 큰 변화는 없었다. 그러나 7회/주 처리에서는 이식 후 17주째 크게 감소하였다가 이후 크게 증

가되었다. 광합성률은 급액횟수가 많은 처리일수록 높은 경향을 나타내어 엽록소 함량과 일치하지는 않았다. 이는 조사 시점의 차이에서 온 것으로 생각된다.

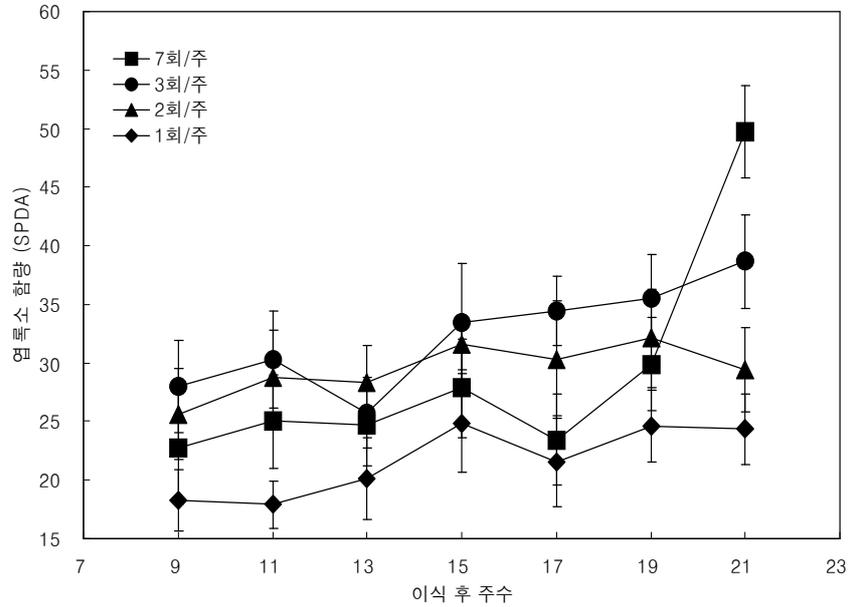


그림 9-19. 급액횟수에 따른 노각나무(1-0)의 엽록소 함량 변화

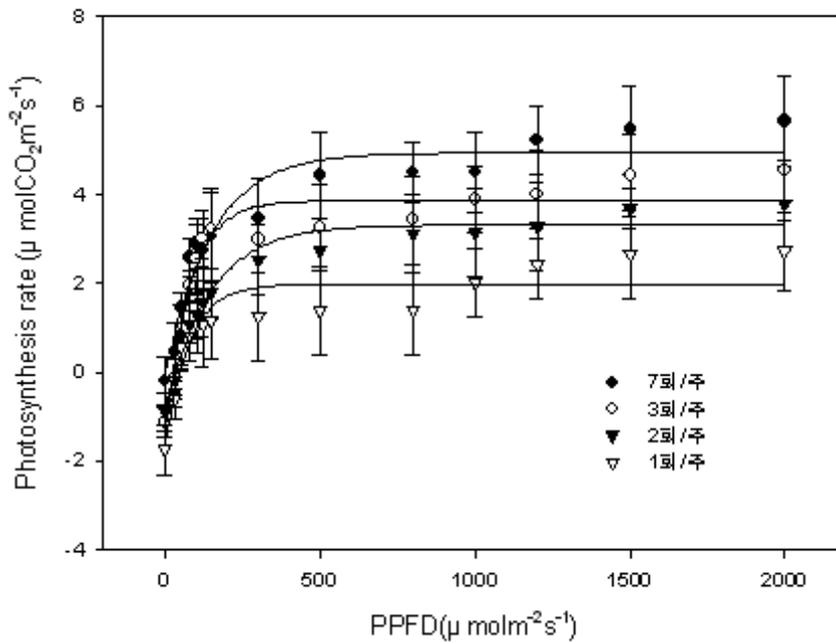


그림 9-20. 급액횟수에 따른 노각나무(1-0)의 광합성률

조사 기간 동안 고온기에 들어서면서 활엽수는 낮은 급액량 처리에서 수분부족에 의한 조기 낙엽 및 수체 고사가 다소 발견되었다. 그러나 일부 수종에서는 동일한 급액량으로 급액횟수를 늘렸을 때에는 고사되지 않아 원활한 수체 성장을 위해서는 급액량보다는 급액횟수가 다소 더 중요한 것으로 판단된다. 이로 보아 양묘할 때에는 1회 급액량을 충분하게 하여도 묘의 흡수 능력 이상은 중력수나 햇볕에 의해 소실되므로 적은 급액량이라도 자주 관수하여 용기 내 상토가 말라있는 시간을 단축하는 것이 더 중요할 것으로 판단된다. 그러나 잣나무의 경우 용기 내 상토가 젖어있는 시간이 너무 길면 과습 피해가 우려된다.

조사 기간 동안 수령에 따른 성장 변화를 고려하면, 대묘를 생산하기 위해서는 수령이 어릴수록 급액량과 급액횟수 관리를 더욱 철저하게 해야 할 것으로 판단된다. 어린 수령일수록 관수 방법에 따라 처리 간 차이는 더욱 컸기 때문에 어릴 때 수체 성장을 최대화하여야 대묘 생산기간을 단축시킬 수 있을 것으로 생각된다. 수종별로 수고를 기준으로 급액량과 급액횟수의 영향 정도를 살펴보면, 소나무는 급액량, 상수리나무는 급액횟수, 노각나무는 급액횟수의 영향이 클 것으로 판단된다.

나. 생육기별 관수 관리

암면 혼합 상토를 이용한 육묘 후 월별 기간 내 소나무(1-0)의 생육 증가량을 보면(표 9-11), 수고 증가량은 5월에는 급액횟수가 많을수록 많은 경향이었다. 특히 7회/주 급액처리에서는 다른 처리의 2~4배 이상 많았고, 1회/주와 2회/주 급액처리 간에는 차이를 보이지 않아 초기 생육에는 많은 량의 관수가 필요한 것으로 판단되었다. 6월에는 처리 간 차이의 폭이 좁아지는 경향이었으나 여전히 급액횟수가 많은 처리에서 많았다. 그러나 고온기인 7월과 8월에는 다른 월 처리 결과와는 달리 3회/주 급액처리에서 가장 많았고 다른 처리 간에는 차이를 나타내지 않았다. 원줄기직경 증가량은 5월에는 2회/주와 3회/주 급액처리, 6월에는 1회/주와 4회/주 급액처리에서 많은 경향이었다. 그리고 7월에는 3회/주와 4회/주, 8월에는 3회/주 급액처리에서 많은 경향이었다. 그리고 생육기와 급액횟수 모두 생육에 영향을 미친 것으로 나타났다. 그 중 원줄기직경의 증가량은 급액횟수의 영향을 더욱 크게 받는 것으로 나타났다.

이로 보아 소나무(1-0)는 5월과 6월 초기 생육 시에는 3회/주 이상의 충분한 급

액을 해주고 이후 생장이 급격히 증가하는 7월 이후에는 매일 급액과 같은 지나친 관수를 피하는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

표 9-11. 암면 혼합 상토를 이용한 소나무(1-0) 양묘 시 월별 급액횟수에 따른 생육 증가량

생육기(기간)	급액횟수(회/주)	수고 증가량(cm)	원줄기직경 증가량(mm)
5월(3주)	1	0.50 c ²	0.35 b
	2	0.50 c	0.56 a
	3	1.00 b	0.52 a
	7	2.17 a	0.40 b
6월(4주)	1	2.67 b	1.29 a
	2	1.83 c	1.05 ab
	3	2.83 a	0.84 b
	7	3.33 a	1.36 a
7월(5주)	1	4.33 b	1.24 b
	2	4.50 b	0.70 c
	3	6.17 a	1.63 a
	7	4.67 b	1.83 a
8월(5주)	1	2.00 bc	0.77 b
	2	1.83 c	0.75 b
	3	3.67 a	0.94 a
	7	3.00 b	0.58 c
생육기		*	*
급액횟수		*	**
생육기*급액횟수		*	*

²Mean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

암면 혼합 상토를 이용한 육묘 후 월별 기간 내 잣나무(1-1)의 생육 증가량을 보면(표 9-12), 수고 증가량은 5월에는 1회/주와 2회/주 급액처리에서 많았다. 6월에는 처리 간 차이를 나타내지 않았으나 1회/주와 3회/주 급액처리에서 다소 많은 경향이 있었다. 그러나 7월과 8월에는 급액횟수가 많은 처리에서 많았다. 원줄기직경 증가량은 5월에는 2회/주 급액처리에서 많은 경향이었고, 6월에는 3회/주 급액처리, 7월에는 1회/주와 2회/주 급액처리, 그리고 8월에는 3회/주 급액처리에서 많은 경향을 나타내었다. 그리고 생육기와 급액횟수 모두 생육에 영향을 미친 것으로 나타났다. 그 중 수고의 증가량은 생육기의 영향을 더욱 크게 받는 것으로 나타나 온도 관리도 매우 중요한 것으로 생각되었다.

이로 보아 잣나무(1-1)는 5월에는 2회/주 정도로 다소 급액을 적게 하고 6월 이

후 생육이 왕성해지면 급액을 3회/주 정도로 다소 늘리는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

표 9-12. 암면 혼합 상토를 이용한 잣나무(1-1) 양묘 시 월별 급액횟수에 따른 생육 증가량

생육기(기간)	급액횟수(회/주)	수고 증가량(cm)	원줄기직경 증가량(mm)
5월(3주)	1	1.50 a ²	0.16 c
	2	1.25 a	0.48 a
	3	0.75 c	0.36 b
	7	1.00 b	0.41 a
6월(4주)	1	1.25 a	0.64 b
	2	1.00 a	0.67 b
	3	1.25 a	0.80 a
	7	1.00 a	0.60 b
7월(5주)	1	5.50 b	1.46 a
	2	3.75 c	1.51 a
	3	7.25 a	0.84 b
	7	5.75 a	0.59 b
8월(5주)	1	1.00 c	0.71c
	2	4.00 b	0.60 c
	3	5.50 a	1.11 a
	7	5.00 a	1.04 b
생육기		**	*
급액횟수		*	*
생육기*급액횟수		*	*

²Mean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

암면 혼합 상토를 이용한 육묘 후 월별 기간 내 비자나무의 생육 증가량을 보면 (표 9-13), 1-0묘의 수고 증가량은 5월에는 1회/주와 3회/주 급액처리에서 다소 많은 경향이었고, 6월에는 1회/주 급액처리에서 많았다. 이후 고온기인 7월과 8월에는 모두 많은 급액처리에서 많았다. 1-1묘의 수고 증가량은 5월과 6월에는 3회/주 급액처리에서 가장 많았고, 7월과 8월에는 7회/주 급액처리에서 많았다. 1-0묘의 원줄기직경 증가량은 5월에는 1회/와 3회/주, 6월에는 2회/주, 7월에는 3회/주, 8월에는 3회/주와 7회/주 급액처리에서 많은 경향을 나타내었다. 1-1묘의 원줄기직경 증가량은 5월에는 7회/주, 6월, 7월 및 8월에는 3회/주 이상 급액처리에서 많은 경향이였다. 그리고 1-0묘와 1-1묘의 수고와 원줄기직경 모두 각각의 생육기와 급액횟수의 영향을 받은 것으로 나타났다. 특히 생육기와 급액횟수는 1-0묘는 원줄기직경, 1-1

묘는 수고에서 영향을 더 크게 주었다.

이로 보아 비자나무는 1-0묘 때에는 5월과 6월 초기 생육 시 2회/주 정도로 급액을 다소 낮게 하고 이후 최소 3회/주 이상 급액하는 것이 좋을 것으로 판단되었다. 그러나 1-1묘 때에는 5월 초기부터 3회/주 정도로 급액을 하고 이후 조금씩 늘려나가는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

표 9-13. 암면 혼합 상토를 이용한 비자나무 양묘 시 월별 급액횟수에 따른 생육 증가량

생육기 (기간)	급액횟수 (회/주)	비자나무(1-0)		비자나무(1-1)	
		수고 증가량 (cm)	원줄기직경 증가량(mm)	수고 증가량 (cm)	원줄기직경 증가량(mm)
5월 (3주)	1	1.50 a ^z	0.62 a	0.17 c	0.54 bc
	2	0.50 b	0.29 b	0.33 c	0.32 c
	3	1.83 a	0.63 a	4.17 a	0.66 b
	7	0.17 c	0.11 b	0.83 b	1.31 a
6월 (4주)	1	3.67 a	0.14 c	3.33 bc	0.75 b
	2	1.33 c	1.02 a	4.33 b	0.89 b
	3	2.00 b	0.70 b	7.67 a	1.50 a
	7	1.42 c	0.33 c	2.83 c	0.59 c
7월 (5주)	1	2.17 c	0.23 b	4.33 b	0.18 c
	2	4.00 b	0.46 b	3.33 b	0.75 bc
	3	3.00 bc	1.94 a	4.33 b	1.21 b
	7	6.17 a	0.34 b	8.67 a	1.88 a
8월 (5주)	1	2.17 b	0.43 b	1.00 b	1.22 ab
	2	2.50 b	0.33 b	2.25 a	1.11 b
	3	1.00 c	0.51 a	2.25 a	1.68 a
	7	4.67 a	0.50 a	2.50 a	1.62 a
생육기		*	**	**	**
급액횟수		*	**	**	*
생육기*급액횟수		*	*	*	*

^zMean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

암면 혼합 상토를 이용한 육묘 후 월별 기간 내 낙우송(1-0)의 생육 증가량을 보면(표 9-14), 수고 증가량은 5월에는 1회/주 급액처리에서 아주 많았으나 이는 처리된 수체의 상태 차이에서 온 것으로 생각된다. 6월에는 3회/주 급액처리에서 많았고, 7월에는 2회/주, 8월에는 3회/주와 7회/주 급액처리에서 많았다. 원줄기직경 증가량은 5월에는 2회/주 급액처리에서 월등히 많았으며, 6월에는 3회/주 급액처리, 7월과 8월에는 7회/주 급액처리에서 많았다. 그리고 수고와 원줄기직경 모두 각각의

생육기와 급액횟수의 영향을 받은 것으로 나타났다. 특히 급액횟수는 수고에서 영향을 더 크게 주었다.

이로 보아 낙우송(1-0)은 5월 생육 초기에는 2회/주 이하로 지나친 급액을 피하고 고온기로 들어서면서 3회/주 이상으로 서서히 급액을 늘려나가는 방법으로 관리하는 것이 좋을 것으로 생각되었다.

표 9-14. 암면 혼합 상토를 이용한 낙우송(1-0) 양묘 시 월별 급액횟수에 따른 생육 증가량

생육기(기간)	급액횟수(회/주)	수고 증가량(cm)	원줄기직경 증가량(mm)
5월(3주)	1	10.33 a ^z	0.66 b
	2	3.67 b	1.25 a
	3	2.50 b	0.31 b
	7	2.00 b	0.46 b
6월(4주)	1	2.50 b	0.82 b
	2	4.33 b	0.40 c
	3	13.00 a	1.24 a
	7	2.83 b	0.25 c
7월(5주)	1	16.50 b	0.76 b
	2	34.33 a	0.80 b
	3	10.67 b	0.66 b
	7	14.83 b	1.10 a
8월(5주)	1	4.67 b	1.11 ab
	2	6.01 b	1.09 b
	3	19.00 a	1.31 ab
	7	18.00 a	1.78 a
생육기		*	*
급액횟수		**	*
생육기*급액횟수		*	*

^zMean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

암면 혼합 상토를 이용한 소나무(1-0) 양묘 시 월별 급액횟수에 따른 상토 내 무기성분 잔류함량을 살펴본 결과(표 9-15), 5월에는 모든 성분은 7회/주 급액처리에 서 높게 나타났다. 이는 수체의 뿌리 수와 활동 능력이 낮은 상태에서 많은 함량의 성분이 공급되다보니 흡수량은 적었기 때문으로 생각되었다. 뿌리 활착이 안정화된 6월에는 칼슘과 마그네슘을 제외하고는 5월과 반대의 경향을 나타내었다.

암면 혼합 상토를 이용한 잣나무(1-1) 양묘 시 월별 급액횟수에 따른 상토 내 무기성분 잔류함량을 살펴본 결과(표 9-16), 5월에는 인을 제외한 성분들은 급액횟수

가 많은 처리에서 많은 함량을 나타내었다. 6월에는 질소는 3회/주, 인은 2회/주, 나머지 성분은 7회/주 급액처리에서 많았다. 7월에는 질소는 3회/주 이상, 칼륨과 마그네슘은 1회/주 또는 2회/주, 칼슘은 3회/주, 마그네슘은 2회/주 급액처리에서 많았다.

표 9-15. 암면 혼합 상토를 이용한 소나무(1-0) 양묘 시 월별 급액횟수에 따른 상토 내 무기성분의 잔류함량

생육기 (기간)	급액횟수 (회/주)	질소 (%)	칼륨	인	칼슘	마그네슘
			(mg·L ⁻¹)			
5월(3주)	1	0.12 b ^z	2,479 b	59 b	20,957 b	7,647 b
	2	0.23 a	2,704 b	36 b	24,158 a	6,872 b
	3	0.31 a	3,044 a	89 ab	22,253 ab	7,482 b
	7	0.29 a	3,297 a	101 a	25,722 a	9,721 a
6월(4주)	1	0.40 a	1,879 b	302 a	7,145 b	6,956 ab
	2	0.33 a	2,269 a	255 a	8,366 b	6,573 b
	3	0.33 a	2,635 a	290 a	15,068 a	8,069 a
	7	0.22 b	1,954 b	59 b	13,468 a	7,474 a
7월(5주)	1	0.37 a	2,488 b	155 b	5,497 b	5,345 b
	2	0.30 ab	2,407 b	232 a	7,139 ab	7,250 ab
	3	0.30 ab	2,973 ab	301 a	9,057 a	8,565 a
	7	0.21 b	3,643 a	41 c	7,995 ab	7,879 a

^zMean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

표 9-16. 암면 혼합 상토를 이용한 잣나무(1-1) 양묘 시 월별 급액횟수에 따른 상토 내 무기성분량

생육기 (기간)	급액횟수 (회/주)	질소 (%)	칼륨	인	칼슘	마그네슘
			(mg·L ⁻¹)			
5월(3주)	1	0.22 b ^z	2,905 a	59 a	24,243 b	9,753 a
	2	0.20 b	2,681 a	76 a	28,907 a	9,058 b
	3	0.27 a	2,712 a	63 a	27,034 a	9,241 a
	7	0.27 a	2,765 a	27 b	28,170 a	9,888 a
6월(4주)	1	0.29 b	2,608 b	83 b	8,605 a	7,084 a
	2	0.27 b	2,674 b	331 a	8,829 a	5,575 b
	3	0.36 a	1,566 b	60 b	6,565 b	5,117 b
	7	0.28 b	9,921 a	114 ab	8,565 a	6,385 a
7월(5주)	1	0.24 b	2,250 a	70 c	14,638 a	7,833 b
	2	0.33 a	1,678 b	71 c	15,787 a	9,814 a
	3	0.32 a	1,683 b	112 b	12,115 b	4,950 c
	7	0.26 b	1,877 b	511 a	14,621 a	7,964 b

^zMean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

암면 혼합 상토를 이용한 비자나무(1-0) 양묘 시 월별 급액횟수에 따른 상토 내 무기성분 잔류함량을 살펴본 결과(표 9-17), 5월에는 모든 성분이 7회/주 급액처리에서 많았고, 6월에는 칼슘이 1회/주와 2회/주 급액처리에서 많았지만 다른 성분은 대부분 다소 급액횟수가 많은 처리에서 많았다. 7월에는 칼슘과 마그네슘을 제외한 다른 성분은 5월과 반대의 경향을 나타내었다.

표 9-17. 암면 혼합 상토를 이용한 비자나무(1-0) 양묘 시 월별 급액횟수에 따른 상토 내 무기성분의 잔류함량

생육기 (기간)	급액횟수 (회/주)	질소 (%)	칼륨	인	칼슘	마그네슘
			(mg·L ⁻¹)			
5월(3주)	1	0.21 b ^z	1,084 c	138 b	10,504 c	3,674 c
	2	0.21 b	2,407 b	98 c	26,606 a	8,789 b
	3	0.24 b	2,464 b	116 b	23,529 b	8,894 b
	7	0.38 a	3,448 a	401 a	29,451 a	10,074 a
6월(4주)	1	0.39 a	1,789 b	43 b	20,596 a	8,847 a
	2	0.25 b	1,793 b	63 b	19,373 a	8,203 a
	3	0.27 b	2,072 a	56 b	16,458 b	5,908 b
	7	0.30 ab	1,513 b	172 a	14,407 b	9,346 a
7월(5주)	1	0.29 a	3,088 a	124 b	8,613 b	4,155 b
	2	0.26 a	2,397 b	175 a	11,620 a	6,497 a
	3	0.28 a	2,461 b	105 b	9,998 b	6,680 a
	7	0.19 b	2,166 b	80 c	13,199 a	6,606 a

^zMean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

표 9-18. 암면 혼합 상토를 이용한 비자나무(1-1) 양묘 시 월별 급액횟수에 따른 상토 내 무기성분의 잔류함량

생육기 (기간)	급액횟수 (회/주)	질소 (%)	칼륨	인	칼슘	마그네슘
			(mg·L ⁻¹)			
5월(3주)	1	0.11 c ^z	3,117 a	118 a	35,085 a	8,929 a
	2	0.20 b	2,682 b	40 b	40,968 a	8,458 a
	3	0.21 a	1,988 c	115 a	21,760 b	5,296 b
	7	0.24 a	2,002 c	101 a	23,608 b	5,914 b
6월(4주)	1	0.33 a	2,993 a	49 c	9,990 c	7,108 a
	2	0.29 b	2,644 ab	98 b	19,996 b	7,420 a
	3	0.30 ab	2,534 b	127 a	24,011 a	6,786 b
	7	0.28 b	2,535 b	53 c	16,369 b	7,263 a
7월(5주)	1	0.35 a	2,439 b	595 a	14,297 b	8,612 ab
	2	0.38 a	2,370 b	444 b	12,459 b	7,957 b
	3	0.26 ab	2,856 a	627 a	17,991 ab	8,374 ab
	7	0.20 b	2,799 a	131 c	20,726 a	9,222 a

^zMean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

암면 혼합 상토를 이용한 비자나무(1-1) 양묘 시 월별 급액횟수에 따른 상토 내 무기성분 잔류함량을 살펴본 결과(표 9-18), 질소는 1-0묘와 비슷한 양상을 나타내었다. 그러나 5월에는 칼슘과 마그네슘, 7월에는 칼슘과 칼륨이 1-0묘와 반대의 경향을 나타내었다.

암면 혼합 상토를 이용한 낙우송(1-0) 양묘 시 월별 급액횟수에 따른 상토 내 무기성분 잔류함량을 살펴본 결과(표 9-19), 5월에는 모든 성분이 7회/주 급액처리에서 많은 경향을 나타내었고, 6월에는 질소와 칼륨이 반대의 경향을 나타내었다. 7월에는 6월에 비해 질소는 비슷한 경향이었으나 칼륨은 6월과 반대의 경향을 나타내었다.

표 9-19. 암면 혼합 상토를 이용한 낙우송(1-0) 양묘 시 월별 급액횟수에 따른 상토 내 무기성분의 잔류함량

생육기 (기간)	급액횟수 (회/주)	질소 (%)	칼륨	인	칼슘	마그네슘
			(mg·L ⁻¹)			
5월(3주)	1	0.28 ab ^z	2,599 b	264 a	30,508 b	9,765 a
	2	0.25 b	3,165 a	71 b	35,138 a	10,842 a
	3	0.30 ab	2,728 b	144 a	29,919 b	8,392 b
	7	0.34 a	3,326 a	75 b	35,885 a	9,237 a
6월(4주)	1	0.35 a	2,874 a	92 b	27,892 a	7,080 b
	2	0.36 a	2,736 a	81 b	23,633 b	7,487 b
	3	0.33 a	2,194 b	125 a	27,211 a	8,044 b
	7	0.32 b	2,252 b	90 b	10,598 c	10,644 a
7월(5주)	1	0.25 a	2,238 b	59 c	14,986 bc	9,596 a
	2	0.25 a	2,570 b	192 b	16,792 b	10,821 a
	3	0.22 b	2,275 b	48 c	10,161 c	8,332 b
	7	0.19 b	3,018 a	532 a	20,570 a	5,397 c

^zMean separation within columns by Least Significant Difference at 5% level.

암면 혼합 상토를 이용한 수목의 7월 양묘 시 급액횟수에 따른 잎 내 무기성분 함량을 보면(표 9-20), 소나무(1-0)에서 질소는 3회/주 이상의 급액처리에서 많은 경향을 나타내었다. 다른 성분은 3회/주 또는 그 이하의 급액처리에서 많았다. 잣나무(1-0)에서 질소와 마그네슘은 7회/주 급액처리에서 가장 많은 경향이었고, 나머지는 2회/주 또는 3회/주 급액처리에서 많았다. 비자나무 중 1-0묘에서 질소, 인, 칼슘

은 7회/주 급액처리에서 가장 많은 경향이었고, 칼륨과 마그네슘은 2회/주 이하의 급액처리에서 많았다. 1-1묘에서는 질소와 인이 7회/주 급액처리에서 많았고 다른 성분은 1회/주 또는 2회/주 급액처리에서 많았다. 낙우송(1-0)에서 질소와 마그네슘은 7회/주 또는 3회/주 급액처리에서 많은 경향이었으나 다른 성분은 1회/주 급액처리에서 많았다.

표 9-20. 압면 혼합 상토를 이용한 수목의 7월 양묘 시 급액횟수에 따른 잎 내 무기성분 함량

수종	급액횟수 (회/주)	질소 (%)	칼륨	인	칼슘	마그네슘
			(mg·L ⁻¹)			
소나무(1-0)	1	1.07	6,321	46	3,388	901
	2	1.43	5,151	42	3,417	889
	3	1.52	7,632	39	3,011	765
	7	1.67	5,151	44	2,077	801
갯나무(1-1)	1	1.27	1,765	98	3,201	1,110
	2	1.01	2,142	111	3,334	986
	3	1.22	2,442	89	4,357	1,200
	7	1.31	2,321	78	3,788	1,315
비자나무(1-0)	1	1.23	6,533	31	7,866	1,541
	2	1.43	8,829	27	6,121	1,210
	3	1.21	8,520	33	8,100	1,043
	7	1.57	8,770	37	7,955	1,154
비자나무(1-1)	1	1.11	8,480	46	9,554	1,545
	2	1.20	8,130	51	10,323	1,345
	3	1.54	6,760	50	9,980	1,444
	7	1.88	7,011	54	8,760	1,245
낙우송(1-0)	1	1.10	8,704	96	5,598	2,010
	2	1.02	8,432	97	5,570	1,980
	3	1.55	8,020	87	5,108	2,370
	7	1.95	6,660	69	4,023	2,271

대부분의 수종은 뿌리의 활착 및 세근 발생 시기인 5월에는 급액을 많이 할수록 상토 내에 집적되는 양도 많은 경향을 나타내었다. 이후 6월에는 급액의 다소에 따라 세근 발생수가 비례관계를 나타내어 급액횟수가 많은 처리의 수체 뿌리에서 흡수량이 많아지는 것으로 생각되었다. 그리고 뿌리의 활착 및 세근 발생 정도와 급

액 정도 간의 차이가 잔류량에 영향을 준 것으로 생각되었다. 따라서 수목류의 시설 양액재배에서는 소실되는 양분의 양이 노지보다 아주 적으므로 노지에서 효과적으로 사용되고 있는 영양제보다는 다소 농도가 낮아도 생육에는 큰 영향이 없을 것으로 생각된다. 너무 농도가 높으면 오히려 생육에 악영향을 미치는 다른 물질의 축적이 일어날 수 있으므로 물만을 급액하는 방식과 일정한 간격으로 배양액을 공급하는 시스템으로 적정하게 변환한다면 생산비용 대비 우량한 묘를 생산할 수 있을 것으로 생각되었다.

제 2 협동과제 : 용기묘 조림체계 시업기술개발

본 연구는 조림지에서 용기묘와 노지에서 키운 나근묘의 조림성과를 비교·분석하기 위한 현장 실태 조사와 함께 용기묘의 조림기술 개발에 필요한 식재 기술 및 임지무육관리기술 등에 대하여 현장 중심의 실연 연구를 실시하였다. 이와 함께 용기묘의 활착 및 생장에 미치는 생육 환경 분석 및 식재된 묘목의 생리적 특성을 구명하기 위한 기초연구 등을 연차적으로 진행하여 용기묘 조림체계의 시업기술개선과 관련한 전반적인 기초자료를 확보하고자 한다.

제 10 절 용기묘와 노지묘의 활착 및 생장에 대한 조림지 실태 비교분석

1. 목적

우리나라 주요 용기양묘 대상 수종인 소나무와 상수리나무 용기묘와 노지묘를 대상으로 근원경과 묘고 성장, 물질생산량, 생리·성장상태 등을 비교 분석하기 위해 조림지에 식재된 이들 묘목의 생육현황과 하층식생의 피압, 묘목의 활력도, 임황, 지황, 토양특성을 포함한 임지환경 등을 지역별로 조사하여, 그 실태를 비교 분석하였다.

이와 함께 각 지역별로 용기묘와 노지묘 조림의 문제점을 파악하고, 용기묘와 노지묘의 조림기술과 조림지 관리방안을 조림지 특성에 따라 개선하고자 관련 조사 분석을 실시하였다.

2. 조사 내용 및 방법

가. 조사 대상 조림지

조사 대상 조림지는 수종과 지역별로 구분하여 강원도 홍천 소나무 조림지(3본군

상, 5본군상), 충남 예산 소나무 조림지, 전북 임실 소나무 조림지, 충남 청양 상수리나무 조림지, 전북 정읍 상수리나무 조림지 등의 5개 조사임지를 대상으로 조사 분석하였다(표 10-1).

표 10-1. 조사 대상 조림지

지역		위 치
강원도 홍천 3본 군상 소나무	용기묘	강원도 홍천군 내면 자운리 산 254-5번지
	노지묘	강원도 홍천군 내면 자운리 산 254-5번지
강원도 홍천 5본 군상 소나무	용기묘	강원도 홍천군 내면 자운리 산 254-5번지
	노지묘	강원도 홍천군 내면 자운리 산 254-5번지
충남 예산 소나무	용기묘	충남 예산군 광시면 서초정리 산 35번지
	노지묘	충남 예산군 광시면 서초정리 산 35번지
전북 임실 소나무	용기묘	전북 임실군 신덕면 오궁리 산 63번지
	노지묘	전북 임실군 신덕면 오궁리 산 124번지
충남 청양 상수리나무	용기묘	충남 청양군 비봉면 관산리 산 10-1번지
	노지묘	충남 청양군 비봉면 관산리 산 18-17번지
전북 정읍 상수리나무	용기묘	전북 정읍시 산외면 평사리 산 53번지
	노지묘	전북 정읍시 산외면 평사리 산 18번지

나. 조사 방법

1) 조림지 입지환경 조사

조림지의 임황 및 지황, 토양 특성과 하층식생의 피압율, 평균높이 및 피압강도(5등급)와 활력도(3등급)를 표 10-2를 기준으로 조사하여, 지역별로 입지환경이 조림한 묘목에 미치는 영향을 분석하였다.

2) 조림 묘목 생육현황 조사

조사 대상 지역별로 용기묘와 노지묘 조림지에 각각 3개 plot을 선정하여 1plot 당 20주, 총 60주의 조림묘목을 대상으로 현재(2006년) 근원경 및 묘고와 조림묘목의 생리·생장상태(5등급)를 표 10-3을 기준으로 조사하였다.

표 10-2. 조림지 하층 식생 관련 인자에 관한 평가 기준

평가인자	1	2	3	4	5
하층식생 피압강도	하층식생이 조림묘 목을 70% 이상 피 압하고 있으며 조림 묘목과 같거나 큰 높이에서 광선을 거 의 차단하는 곳	하층식생이 조림묘 목을 50% 이상 피 압하고 있으며 광선 차단에 의한 영향이 크게 미치는 곳	하층식생이 조림묘 목을 30% 이상 피 압하고 있으며 보통 수준에서 광선 차단 영향이 미치는 곳	하층 식생에 의해 피압 또는 광선 차 단 등의 영향이 부 분적으로 작용하는 곳	하층 식생에 의해 피압되거나 광선의 차단이 거의 없는 상태를 유지하는 곳
하층식생 활력도	생리적 상태가 양 호한 하층식생	생리적 상태가 보 통인 하층식생	생리적 상태가 불 량한 하층식생		

표 10-3. 조림묘목의 생리·생장 특성 관련 인자에 관한 평가 기준

평가인자	1	2	3	4	5
생리상태	신초의 발달이 우 수하며 줄기와 잎의 발달이 매우 양호한 묘목	묘목 1에는 미달 하지만 전체적으로 양호한 상태의 묘목	신초, 줄기 잎 등에 서 어느 하나가 대 단히 불량하거나 전 체적으로 다소의 결 점을 지닌 묘목	묘목 5에 비해 다 소 양호 하지만 신 초, 줄기, 잎 등에서 전체적으로 생리적 상태가 많은 결점을 지닌 묘목	고사 직전의 묘목
생장형태	단일 수간으로 곧 고 수관이 수평적으 로 수간 주위에 동 심원으로 배치된 안 정된 정상적인 형태 의 묘목	수간의 상, 하부가 부분적으로 구부러 지는 결함이 있어 묘목 1에는 미달하 지만 전반적으로 이 상적인 형태를 지닌 묘목	묘목의 줄기, 수관 등이 형태적으로 어 느 하나가 대단히 불량하거나 전체적 으로 다소의 결점을 지닌 묘목	묘목 5에 비해 다 소 양호 하지만 전 체적으로 생장 형태 가 결점이 많은 묘 목	지나치게 빈약하거 나 전체적으로 일그 러진 기형을 보이는 묘목

3) 조림 묘목의 생장 특성 조사

조사 대상 지역별 용기묘와 노지묘 기초림지 당 10주의 조림묘목을 굴취하여 연
간 나이테와 신초의 줄기 생장을 기준으로 현재(2006년)까지 연년 근원경과 묘고의
생장 및 상대생장률을 조사 분석하였으며, 잎, 가지, 뿌리를 각각 구분하여 건중량
을 측정하여 물질생산량을 조사 분석하였다.



<1등급>



<2등급>



<3등급>



<4등급>



<5등급>

그림 10-1. 생리·성장상태에 따른 묘목분류

3. 결과 및 고찰

가. 조림지 입지환경

1) 조림지 임황 및 지황 분석

가) 조림지 임황 및 지황

강원도 홍천 3본 및 5본 군상 소나무 조림지는 대부분 서향 및 북서, 남서 사면에 위치하고 있으며, 사면 중, 상부에 위치하고 있다. 경사도는 30-35°의 급경사 지역이며, 표고는 800m 안팎인 지역에 분포하고 있다. 토양은 유기물층이 10cm 미만, A층의 깊이가 20cm 안팎의 사양토로 이루어진 적운지성 토양으로 평가된다.

충남 예산 소나무 조림지는 대부분 남사면으로, 사면 중, 상부에 위치하고 있다. 경사도는 25° 안팎이며, 표고는 150m 미만인 지역에 분포하고 있다. 토양은 유기물층이 5cm 미만, A층은 20cm 미만의 사양토로 매우 건조하고 척박한 토양으로 평가된다. 조사 대상 조림지 중 유기물층의 깊이가 가장 낮았으며, 토양 상태가 가장 불량한 것으로 평가된다.

전북 임실 소나무 용기묘 조림지는 서향의 사면 상부, 노지묘 조림지는 남향의 사면 중부에 위치하고 있다. 경사도는 20° 미만이며, 용기묘 조림지는 표고 300m 미만, 노지묘 조림지는 200m 미만의 지역에 분포하고 있다. 토양은 유기물층이 10cm 미만, A층의 깊이가 20cm 안팎의 사양토로 이루어진 적운지성 토양으로 평가된다.

충남 청양 상수리나무 조림지는 북향 또는 북서사면으로 사면 중부에 위치하고 있다. 경사도는 20° 미만으로, 표고는 용기묘 조림지가 250m 미만, 노지묘 조림지가 150m 미만의 지역에 분포하고 있다. 토양은 유기물층이 5cm 안팎, A층의 깊이가 20cm 미만으로 용기묘 조림지는 사양토, 노지묘 조림지는 식양토로 이루어진 적운지성 토양으로 평가된다.

전북 정읍 상수리나무 용기묘 조림지는 동향 사면 상부, 노지묘 조림지는 서향 사면 중부에 위치하고 있다. 경사도는 25° 이상의 급경사 지역이며, 표고100m 안팎의 지역에 분포하고 있다. 토양은 유기물층이 5cm 안팎, A층의 깊이가 25cm 미만의 사양토로 이루어진 토양으로 평가되며, 노지묘 조림지는 적운지성 토양인 용기묘 조림지보다 토양이 건조하고 척박한 것으로 평가된다.



강원도-3분군상(소나무)



강원도-5분군상(소나무)



충남예산(소나무)



전북임실(소나무)



전북정읍(상수리나무)



충남청양(상수리나무)

그림 10-2. 조림지 현황

모든 지역의 조림지에서 임관밀도가 상층과 중층에서는 매우 빈약하였다. 반면, 조사 시기가 가을임에도 불구하고 하층의 식피율은 50~90% 이상을 나타냈다. 이는 개별 후 조림한 지역이기 때문이며 상층과 중층의 수관밀도가 매우 빈약하기 때문에 조림 후 건조피해 문제가 발생할 수 있다. 또한 하층식생이 많이 발생하여 조림 묘목과의 수광경쟁이 더욱 심해질 것으로 판단된다.

표 10-4. 조림지의 임황 및 지황 개요

구분	방위(°)	표고(m)	경사(°)	사면위치	지형	토심(cm)		토성	토양수분	수관밀도(%)			
						유기물층	A층			상층	중층	하층	
강원도 홍천 3본 군상 소나무	용기묘	230	780	30	중	직선	7.8	23.8	양토	적윤	0	0	60
	노지묘	260	780	35	상	직선	6.3	20.1	양토	약습	10	10	70
강원도 홍천 5본 군상 소나무	용기묘	285	810	35	상	직선	7.0	18.3	양토	약습	0	0	50
	노지묘	300	780	35	중	직선	8.2	22.4	양토	약습	0	15	60
충남 예산 소나무	용기묘	185	120	25	중	직선	3.2	17.8	사양토	약건	0	0	50
	노지묘	214	145	26	상	직선	1.7	16.3	사양토	과건	0	10	50
전북 임실 소나무	용기묘	285	410	18	상	직선	7.2	18.9	사양토	적윤	0	5	95
	노지묘	197	360	16	중	직선	9.8	20.6	사양토	약습	0	0	90
충남 청양 상수리나무	용기묘	360	240	18	중	직선	6.1	17.9	사양토	적윤	0	0	70
	노지묘	320	140	19	중	직선	4.7	18.9	식양토	적윤	0	0	60
전북 정읍 상수리나무	용기묘	100	100	25	상	직선	6.8	24.8	양토	적윤	0	0	60
	노지묘	285	105	27	중	직선	4.8	17.2	양토	약건	0	0	80

대 면적을 개별한 후에 조림하는 방법은 앞으로 시행될 산림의 임분 구조개선 사업에 그대로 적용하는데 많은 문제점을 지니고 있다. 따라서 과거 획일화된 조림사업이 아닌 소 면적의 불규칙한 정밀 조림사업이 장기적인 안목에서 연차적으로 계속되어야 하며 이와 관련한 대안으로 제시할 수 있는 방안이 대묘 형태로 키운 용기묘의 조림이다. 본 연구 과제는 이와 관련하여 소면적으로 대묘형태의 용기묘를 불규칙하게 조림하는 시업방법개발에 중점을 두어 연구를 실시하였다.

나) 조림지 토양 분석

표 10-5는 지역별 용기묘와 노지묘 조림지의 A층에서 채취한 토양의 이화화학적 특성을 분석한 결과를 보여주고 있다. 조사내용은 토양산도와 유기물 함량, 그리고

대량원소에 속하는 전 질소, 인산, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량을 조사하고 토성 및 양이온치환용량(C.E.C.)도 함께 조사하였다. 이들 토양 분석 결과와 비교하기 위하여 참고자료로 전국 산림토양 분석 자료 평균치를 표 10-5의 하단에 함께 제시하였다.

표 10-5. 기조림지의 토양 분석 결과

구분	pH	Total nitrogen (%)	Organic matter (%)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	EX-Cation (cmol/kg)			토성(%)				C.E.C. (cmol/kg)	
					K ⁺	Ca ²⁺	Mg ⁺	sand	silt	clay	분류		
강원도 홍천 3분 군상 소나무	용기묘	5.16	0.34	9.72	3.49	0.21	1.67	0.42	49.6	34.0	16.4	양토	13.64
	노지묘	5.25	0.23	4.58	5.32	0.19	1.15	0.46	31.5	42.5	26.0	양토	12.88
강원도 홍천 5분 군상 소나무	용기묘	5.25	0.29	7.49	0.27	0.27	2.26	0.54	30.6	48.2	21.2	양토	14.74
	노지묘	5.30	0.22	4.65	0.31	0.15	1.93	0.32	33.7	41.9	24.4	양토	12.76
충남 예산 소나무	용기묘	4.99	0.09	1.50	0.06	0.16	0.49	0.24	57.2	27.6	15.2	사양토	6.82
	노지묘	5.16	0.07	1.08	0.11	0.18	0.64	0.24	66.1	22.5	11.4	사양토	6.38
전북 임실 소나무	용기묘	4.89	0.17	4.33	2.44	0.12	0.58	1.75	15.8	58.2	26.0	사양토	13.42
	노지묘	5.01	0.15	3.37	1.94	0.14	1.80	0.39	29.0	51.2	19.8	사양토	12.54
충남 청양 상수리나무	용기묘	4.82	0.17	4.10	3.85	0.45	0.72	0.15	62.2	25.4	12.4	사양토	8.58
	노지묘	4.82	0.14	3.64	0.21	0.30	0.74	0.43	12.5	50.5	37.0	식양토	9.90
전북 정읍 상수리나무	용기묘	4.98	0.15	3.71	3.42	0.30	1.08	0.48	42.0	47.0	11.0	양토	9.46
	노지묘	4.89	0.19	5.27	5.96	0.16	0.62	0.42	41.5	43.1	15.4	양토	11.88
전국 평균*		5.48	0.19	4.49	25.6	0.23	2.44	1.01	37.3	44.8	17.9	양토	12.5

전국 평균* : 정진현외 3인(2002)

전체적으로 토양산도는 5.0 안팎을 보여 전국 평균치에 비해 낮은 값으로 산성 토양임을 알 수 있다. 전 질소 함량은 대부분의 조사대상 조림지에서 0.20% 미만의 함량을 나타내어 전국 평균치와는 비슷하거나 다소 적은 함량을 보였다. 그러나 강원도 홍천 소나무 조림지는 0.20% 이상으로 전국 평균치 보다 많은 전 질소 함량을 보였으며, 충남 예산 소나무조림지는 0.10% 미만의 매우 적은 전 질소 함량을 나타냈다. 유기물 함량에서도 전 질소 함량과 같이 전국 평균치 보다 강원도 홍천 소나무 조림지는 높은값을, 충남 예산 소나무 조림지는 낮은 값을 나타냈다. 나머지 조림지에서는 4.50% 안팎의 전국 평균치와 비슷한 함량을 보였다. 유효인산은 5mg/kg 미만의 함량으로 전국 평균치(25.6mg/kg)에 비해 대단히 낮은 함량을 보이고 있었다.

칼륨, 칼슘 및 마그네슘의 함량은 각각 일부 지역을 제외하고 평균치에 빈약한 수준을 보이고 있다. 양이온치환용량은 강원도 홍천 소나무 조림지와 전북 임실 소나무 조림지에서 12.50cmol/kg 이상의 함량을 보이면서 전국 평균치 보다 높은 함량을 나타냈지만, 나머지 세 지역의 조림지에서는 6~12.00cmol/kg 범위에서 전국 평균치 보다 낮은 함량을 보였다. 특히 충남 예산 소나무 조림지는 전국 평균치의 1/2 수준을 나타냈다.

이상과 같이 본 조사 대상 조림지의 무기양료 함량이나 토양산도 등이 전국 평균치에 못 미치는 대단히 열악한 수준을 유지하고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 이들 임지에 대한 적극적인 비배관리에 관심을 집중할 필요가 있으며 이를 위해서는 별도의 대책이 수립될 필요가 있다. 특히 모든 조림지에서 유효인산 함량이 매우 낮은 결과를 보였는데, 이 지역의 토양산도가 산성토양이라는 점 때문에 무기양료의 용탈이 심하고 인산이 불용성으로 변할 가능성이 있는 점을 고려하여 석회질 비료를 대량으로 시비하는 등의 방법으로 토양산도를 개선하기 위한 현실적인 방안이 우선적으로 요구된다는 점을 강조할 필요가 있다.

각 지역별 용기묘와 노지묘 조림지 토양 특성은 큰 차이가 나타나지는 않았다. 그러나 지역간 비교에서 지역별 매우 다른 토양 특성이 나타났다. 강원도 홍천 소나무 조림지가 가장 비옥한 토양으로 평가되며, 충남 예산 소나무 조림지는 위의 조림지별 지황의 결과와 같이 가장 불량한 토양으로 평가된다. 이는 획일적인 조림 기술 적용이 아닌 식재시 각각의 지황 상태에 맞는 적정 수종의 선택, 부족한 무기양료 해결을 위한 시비 방법 등의 조림지관리기술이 지역에 따라 다르게 이루어져야 한다고 판단된다.

2) 조림지 하층식생이 식재묘목에 미치는 영향

조림지 입지환경 중 하층식생과 이 하층식생에 대한 임지관리기술은 조림 성과에 있어 가장 많은 영향을 미치는 요소 중 하나이다. 식재된 묘목은 조림지 하층식생과의 수광경쟁에서 우위를 점해야만 조림 후 정상적으로 활착 할 수 있으며, 건전한 묘목으로 성장할 수 있다. 그러나 산림은 다양한 입지환경을 가지고 있으므로 하층식생에 대한 획일화 된 임지관리기술의 적용은 현실적으로 맞지 않으며, 임지별로 다양한 하층식생에 맞는 차별적인 임지관리기술이 필요하다. 이를 위해서는

입지별 하층식생의 발생 정도와 특성을 파악하는 것이 무엇보다 중요하다.

표 10-6은 조사대상 조림지별 하층식생이 식재된 묘목에 가하는 피압율, 피압강도와 하층식생의 평균 높이 및 활력도를 조사하여 하층식생이 묘목에 미치는 영향을 분석하였다.

피압율은 식재된 묘목을 중심으로 1m²의 정사각형 안의 하층식생의 분포 비율을 %로 나타낸 것으로 20~55%의 피압율을 보였다. 피압강도는 대부분의 지역에서 4등급 이상을 보였으며, 하층식생의 활력도는 2등급 이상을 나타냈다. 하층식생의 평균 높이는 대부분 20-40cm 안팎으로 나타났다. 본 조사결과만으로 묘목에 미치는 하층식생의 영향이 크다고 볼 수 없지만 본 연구의 조사 시기가 하층식생이 쇠퇴하는 가을임을 고려해 볼 때 결코 낮은 값이라 할 수 없다. 실제로 하층식생의 생육 활동이 가장 왕성한 봄, 여름의 경우에는 조사된 가을 현재의 결과보다 2배 이상의 영향을 보였을 것으로 추정된다.

표 10-6. 조림지 하층식생의 피압정도 및 활력도(2006년)

구분		피압율(%)	피압강도(5단계)	활력도(3단계)	평균높이(cm)
강원도 홍천 3본 군상 소나무	용기묘	38.50±13.13	4.57±0.59	2.03±0.80	27.50±10.52
	노지묘	33.93±11.30	4.52±0.70	2.70±0.46	29.02±10.28
강원도 홍천 5본 군상 소나무	용기묘	41.83±9.48	4.47±0.68	2.35±0.71	28.83±10.27
	노지묘	54.67±10.96	3.67±0.73	1.75±0.81	37.33±6.86
충남 예산 소나무	용기묘	23.00±17.40	4.37±0.88	2.35±0.73	24.17±15.65
	노지묘	19.83±14.08	4.48±0.77	2.68±0.57	21.67±14.40
전북 임실 소나무	용기묘	30.35±15.81	3.53±1.05	2.19±0.64	21.93±10.43
	노지묘	42.50±19.71	3.07±1.18	2.03±0.82	41.17±19.32
충남 청양 상수리나무	용기묘	27.67±12.80	4.18±0.91	2.33±0.75	24.83±11.27
	노지묘	30.00±21.66	4.42±0.81	2.54±0.62	19.15±11.03
전북 정읍 상수리나무	용기묘	34.00±18.97	3.43±1.24	2.12±0.69	26.17±11.36
	노지묘	48.00±14.59	2.95±0.98	1.75±0.68	46.67±17.34

따라서 하층식생과의 수광경쟁에서 우위를 점하기 위해서는 식재당시의 용기묘 규격 즉, 묘고가 기존의 용기묘 규격보다 크게 높아져야 되며, 이에 따른 근원경 또한 커져야 될것으로 판단한다. 이는 대묘 형태의 용기묘 조림을 목표로 하는 본 연구와 부합되는 것으로 대묘를 조림함으로써 하층식생과의 경쟁에서 초기부터 우위를 점할 수 있어, 조림 시 지존작업에 의한 한번의 풀베기로 추가의 풀베기 작업없

이 어린나무가꾸기 전까지는 무육관리작업을 생략할 수 있어 식재된 묘목의 활착 및 성장 등에서 우수한 성과를 보이면서 조림비용 또한 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

나. 용기묘와 노지묘의 생육현황 비교·분석

조림지역별로 2006년 현재까지의 용기묘와 노지묘의 묘고와 근원경, 생리상태 및 성장형태를 조사하여, 지역별 용기묘와 노지묘의 조림 성과를 비교 분석하였다(표 10-7). 강원도 홍천 3본, 5본 군상 조림지와 충남 청양 상수리나무 조림지는 노지묘가 용기묘보다 묘령이 1년 많다는 것을 참고하여 비교 분석하였다.

표 10-7. 기조림지 지역별 용기묘와 노지묘의 생육현황(2006년)

구분		묘고(cm)	근원경(mm)	생리상태 (5단계)	성장형태 (5단계)
강원도 홍천 3본 군상 소나무	용기묘(6년생)	123.0±18.1	33.7±4.4	1.1±0.3	1.5±0.7
	노지묘(7년생)	144.9±34.5	34.5±5.6	1.3±0.5	1.2±0.4
강원도 홍천 5본 군상 소나무	용기묘(6년생)	141.6±20.8	34.6±6.1	1.3±0.4	1.4±0.6
	노지묘(7년생)	146.8±22.9	34.4±5.7	1.3±0.5	1.2±0.5
충남 예산 소나무	용기묘(4년생)	49.9±7.7	8.8±1.2	2.4±1.0	2.2±1.1
	노지묘(4년생)	34.2±6.4	8.9±1.5	2.6±1.0	2.6±1.1
전북 임실 소나무	용기묘(3년생)	27.6±4.5	4.6±0.7	3.3±1.2	4.0±0.9
	노지묘(3년생)	25.0±2.7	6.3±0.8	2.9±1.0	3.4±0.9
충남 청양 상수리나무	용기묘(3년생)	51.6±9.5	7.1±1.4	2.0±0.6	2.3±0.8
	노지묘(4년생)	111.9±16.2	15.0±2.5	2.1±0.7	2.1±1.1
전북 정읍 상수리나무	용기묘(3년생)	94.5±12.2	13.4±1.5	2.9±0.7	2.7±1.0
	노지묘(3년생)	83.4±13.1	9.5±1.7	2.8±0.6	2.7±1.1

강원도 홍천 소나무 조림지는 노지묘의 묘령이 1년 더 많지만 묘고 생장은 3본 군상에서 약 20cm안팎 노지묘가 용기묘보다 높게 나타났을 뿐, 5본 군상 묘고와 3본, 5본 군상 근원경은 크게 차이를 보이지 않았다. 용기묘가 묘령이 1년 적음에도 생장의 차이가 보이지 않은 것은 용기묘의 생장이 노지묘보다 우수하다고 판단할 수 있으며, 용기묘 조림지가 노지묘 조림지보다는 우수한 조림 성과를 나타낸 것이다. 이들 지역은 조림 후 5년이 지난 조림지이기 때문에 용기묘와 노지묘 모두 조림묘목이 정상적으로 활착되어 안정된 상태이며, 우수한 생리상태와 성장형태를 보

였다.

충남 예산 소나무 조림지는 용기묘의 묘고가 노지묘보다 약 15cm 높았지만, 근원경의 차이는 거의 보이지 않았다. 이는 시설양묘 과정에서 용기묘는 노지묘보다 밀식상태로 자라면서 묘고생장에 비해 근원경 생장은 압박을 많이 받는데 따른 영향으로 추정된다. 생리상태와 성장형태도 강원도 조림지 보다는 좋지 않았지만, 보통 이상의 양호한 묘목으로 조사되었다. 전북 임실 소나무 조림지는 용기묘와 노지묘의 묘고에서 용기묘가 다소 큰 값을 보였지만 그 차이는 크지 않았으며, 근원경은 노지묘가 용기묘보다 약 1.7mm안팎 큰값을 보였다. 생리상태와 성장형태는 보통 또는 보통 이하의 불량한 묘목으로 평가되었다. 예산과 임실 두 조림지 모두 조림 후 2년이 경과 된 지역으로 아직까지는 안정된 활착과 생육을 보여주지 못하고 있으며, 하층식생과의 경쟁에 의해 생리 및 성장 상태가 좋지 않은 것을 볼 수 있다. 이 때문에 이들 지역에서는 현재의 묘고보다 약 30~50cm 더 높아질 때까지 무육관리 등의 임지관리가 필요할 것으로 예상된다.

충남 청양 상수리나무 조림지는 묘령이 1년많은 노지묘의 묘고와 근원경이 용기묘보다 약 2배 이상 높은 값을 보였으며, 생리상태와 성장형태는 다같이 보통 수준의 묘목으로 조사되었다. 용기묘는 노지묘보다 묘령이 작았지만, 일반묘목의 1년 성장치 보다 더 낮은 생장을 보여주는 것으로 추정된다. 이와 같이 청양에서는 다른 조림 지역과 달리 용기묘보다 노지묘의 조림 성과가 좋은 모습을 나타냈다.

전북 정읍 상수리나무 조림지는 용기묘가 노지묘보다 묘고는 약 10cm, 근원경은 약 4mm 높은 값을 보였으며, 생리상태와 성장형태는 다같이 보통 수준의 묘목으로 조사되었다. 전체적으로 정읍에서는 용기묘 조림지가 노지묘 조림지보다 좋은 생장을 나타냈으며, 같은 묘령인 청양 상수리나무 용기묘 조림지보다 약 2배의 묘고와 근원경 생장을 보였다.

이상의 결과를 종합하면 대부분의 조림지에서 묘령의 차이는 있지만 용기묘의 생장이 노지묘보다 우수하다고 볼 수 있다. 그러나 노지묘의 조림 성과가 나쁘다고 해석하는 것보다는 노지묘보다 용기묘 조림 성과가 상대적으로 우수하다는 시각으로 해석할 필요가 있다. 이상을 요약하면 입지별 차이는 있지만 같은 입지환경과 조건에서 노지묘보다 활착과 생장이 우수한 용기묘 조림을 권장하는 것이 바람직하다고 판단된다.

다. 식재 묘목의 성장 특성 분석

1) 묘고와 근원경 성장

그림 10-3, 4, 5, 6, 7, 8은 조사 대상 지역별로 조림지 당 10주의 용기묘와 노지묘 조림묘목을 굴취하여 현재(2006년)까지 근원경과 묘고의 실제 성장치 및 상대성장률을 보여주고 있다.

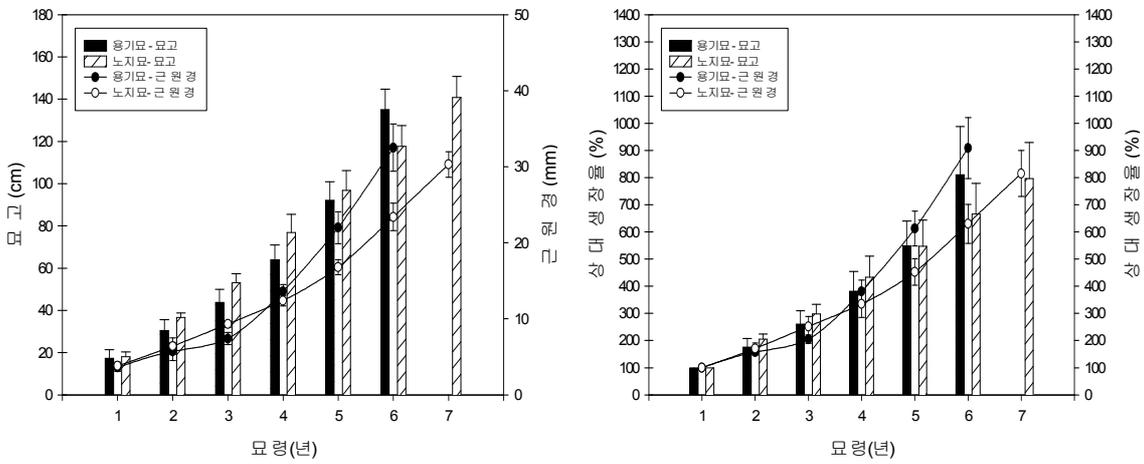


그림 10-3. 강원도 홍천 3분 군상 소나무 조림지의 용기묘와 노지묘의 묘고 및 근원경 성장량(좌)과 상대성장률(우)

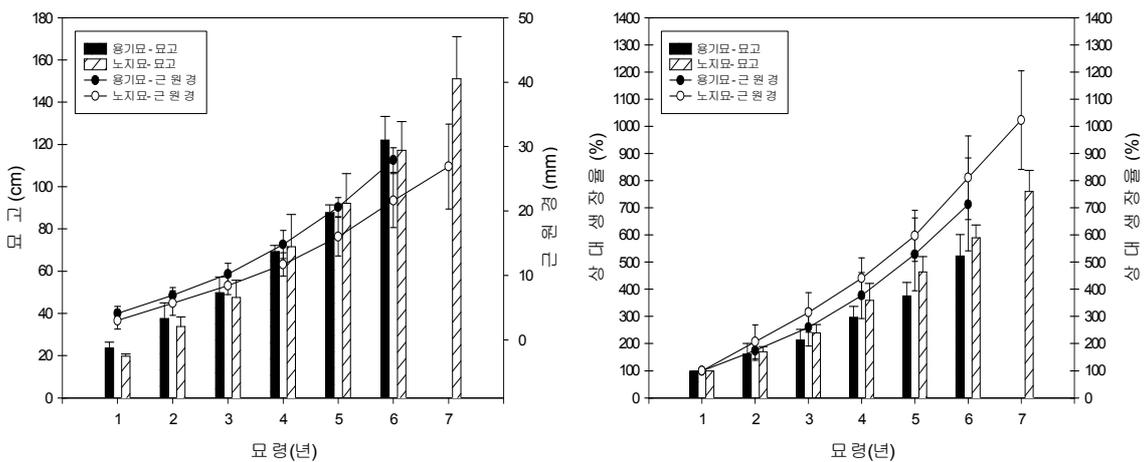


그림 10-4. 강원도 홍천 5분 군상 소나무 조림지의 용기묘와 노지묘의 묘고 및 근원경 성장량(좌)과 상대성장률(우)

강원도 홍천 3본 군상 소나무 조림지의 묘고와 근원경 실제 성장치는 6년생에서 용기묘가 노지묘 보다 묘고는 약 18cm, 근원경은 약 9mm안팎의 큰 값을 보였으며, 상대성장률에서 묘고는 용기묘가 약 150%, 근원경은 280%의 높은 성장률을 보이면서 노지묘보다 우수한 성장을 보였다.

강원도 홍천 5본 군상 소나무 조림지의 묘고와 근원경 6년생에서 상대성장률은 3본 군상 조림지와는 달리 노지묘가 용기묘보다 묘고는 약 70%, 근원경은 100%의 높은 상대성장률을 보였다. 그러나 실제 성장치는 노지묘보다 용기묘가 묘고와 근원경 모두 약 5cm 이상 큰 값을 보였다. 이는 1년생 묘목의 묘고와 근원경이 용기묘보다 노지묘가 작았기 때문에 상대 성장률에서는 반대의 결과가 나타난 것으로 판단된다.

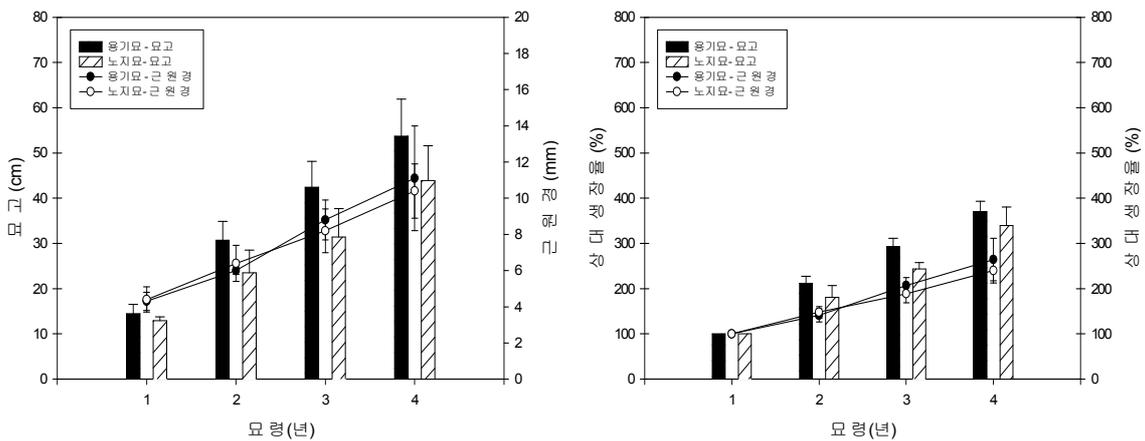


그림 10-5. 충남 예산 소나무 조림지의 용기묘와 노지묘의 묘고 및 근원경 성장량(좌)과 상대성장률(우)

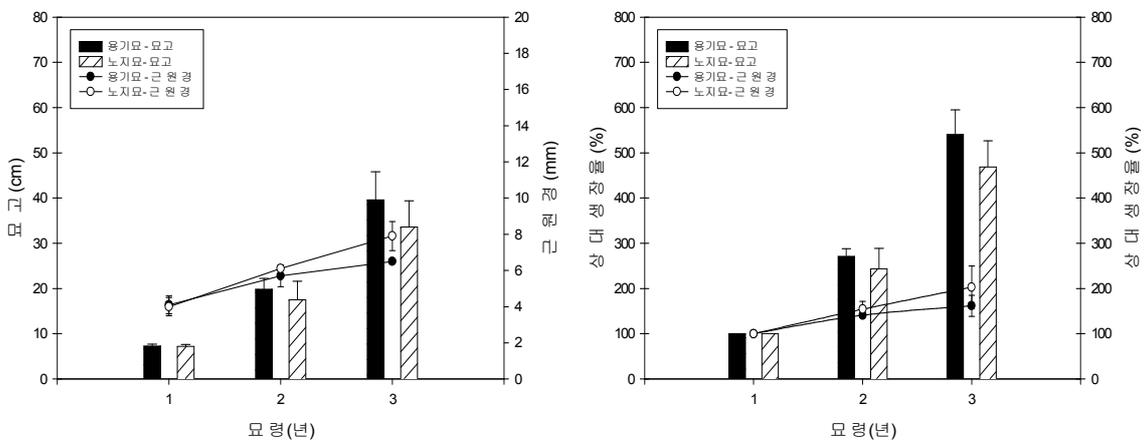


그림 10-6. 전북 임실 소나무 조림지의 용기묘와 노지묘의 묘고 및 근원경 성장량(좌)과 상대성장률(우)

충남 예산 소나무 조림지에서 4년생의 용기묘가 노지묘보다 묘고는 약 10cm 높은 값을 나타냈으며, 근원경은 용기묘가 다소 양호한 성장을 보였지만 큰 차이는 나타내지 않았다. 상대성장률은 용기묘가 노지묘보다 묘고는 약 30%, 근원경은 24%의 높은 상대성장률을 보였다.

전북 임실 소나무 조림지에서 3년생 묘고의 실제 성장치와 상대성장률은 용기묘가 노지묘보다 약 6cm, 70%의 높은 성장치를 보였다. 그러나 근원경의 실제 성장치와 상대성장률은 노지묘가 용기묘보다 좋은 성장을 보였다.

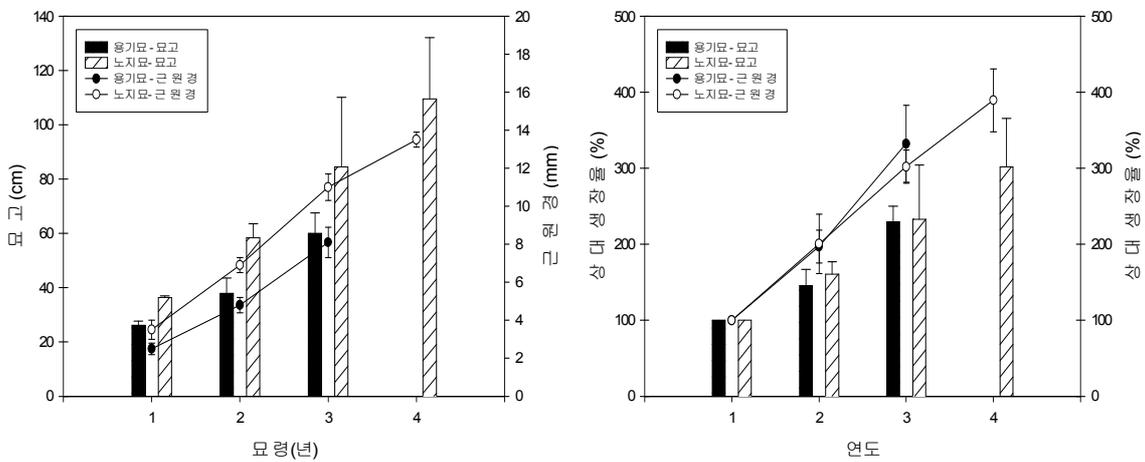


그림 10-7. 충남 청양 상수리나무 조림지의 용기묘와 노지묘의 묘고 및 근원경 성장량(좌)과 상대성장률(우)

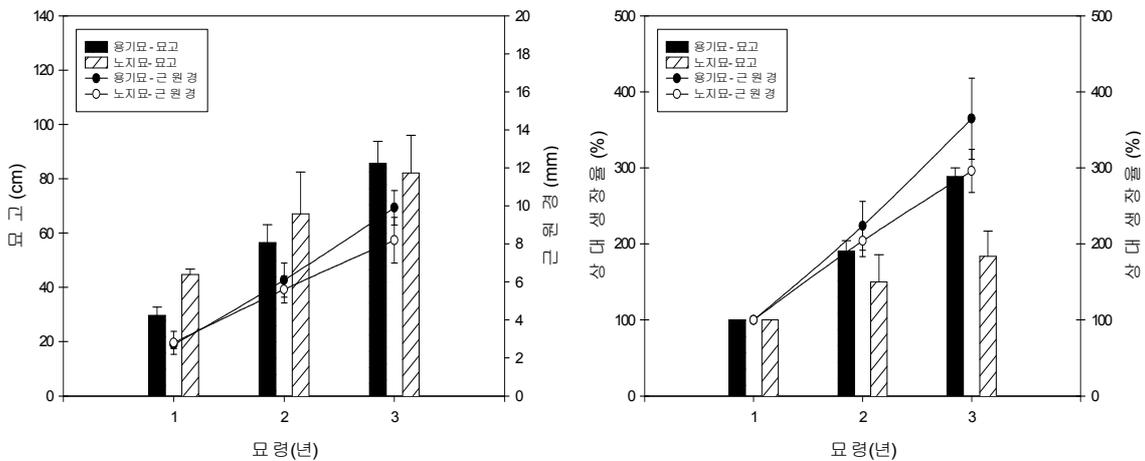


그림 10-8. 전북 정읍 상수리나무 조림지의 용기묘와 노지묘의 묘고 및 근원경 성장량(좌)과 상대성장률(우)

충남 예산과 전북 임실 소나무 조림지에서 조림 묘목의 생장은 같은 묘령에서 비교하였을 때 강원도 홍천 조림지보다 불량한 생장을 보였다. 특히, 전북 임실 소나무 조림지에서는 네 지역의 소나무 조림지 중 가장 불량한 생장을 나타냈다. 이와 같은 불량한 묘목 생장은 조림 성과와 직접적으로 연관되어 불량한 조림 성과로 이어질 것으로 예상되며, 이러한 지역에서는 조림지 입지 환경을 고려하면서 입지 관리, 보식 등의 조림 후 사후 관리에서 보다 세심한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

충남 청양 상수리나무 조림지에서의 묘목생장은 3년생에서 묘고는 노지묘가 용기묘보다 약 24cm, 근원경은 3mm 높은 값을 보였으며, 상대생장률에서는 큰 차이를 보이지는 않았지만 묘고는 노지묘가, 근원경은 용기묘가 다소 높은 상대생장률을 보였다. 이는 노지묘가 용기묘보다 좋은 조림성과를 나타낼 수도 있다는 것을 보여주는 것으로, 이를 고려하면 무조건 용기묘 조림을 권장하는 것보다는 조림지 입지 환경과 조림될 용기묘 또는 노지묘의 묘목 품질을 고려하여 적정 조림이 이루어져야 할 것이다. 이와 함께 활엽수 용기묘의 문제점 중 하나인 활엽수 용기 1-0묘의 초두부 고사에 대한 대책도 필요할 것으로 판단된다.

전북 정읍 상수리나무 조림지에서 묘목생장은 3년생에서 큰 차이는 보이지 않지만, 묘고와 근원경 모두 용기묘가 노지묘보다 높은 값을 보였다. 상대생장률 또한 용기묘가 노지묘보다 묘고는 약 100%, 근원경은 약 70%의 높은 생장률을 보였으며, 청양 조림지와는 달리 용기묘의 생장이 노지묘보다 우수하였다.

전북 임실 소나무 조림지의 근원경과 충남 청양 상수리나무 조림지 묘고와 근원경 생장을 제외하고 대부분의 조림지에서 용기묘의 생장이 노지묘보다 우수하였다. 이를 고려하면 용기묘 조림의 권장과 함께 소나무와 상수리나무로 국한되어있는 용기묘 생산을 위한 대상수종의 확대개발이 필요할 것으로 판단된다. 그러나 조림지 입지환경, 조림 과정에서의 작업 방법, 조림하는 묘목의 수종 및 품질, 조림의 목적 등에 따라 용기묘와 노지묘의 적절한 선택이 필요할 것이다.

2) 물질생산량

조사 대상 지역별로 조림지 당 10주의 용기묘와 노지묘 조림묘목을 굴취하여 잎, 가지, 뿌리를 각각 구분하여 건중량을 측정하여 물질생산량을 조사 분석하였다(표

10-8).

강원도 홍천의 3분 군상 소나무 조림지의 잎, 줄기, 뿌리 각각의 물질생산량은 용기묘가 노지묘보다 높은 값을 보였으며, 총 물질생산량 또한 용기묘가 노지묘보다 많은 양으로 약 150g의 차이를 보였다. 특히 용기묘는 노지묘보다 묘령이 1년 적음에도 물질생산량이 노지묘보다 많았다. 이는 용기묘가 노지묘보다 조림 후 우수한 적응력을 보이면서 안정적인 활착과 함께 왕성한 생육활동을 지속하는 가운데 우수한 물질생산 능력을 보여준 것으로 판단된다. 강원도 홍천 5분 군상 소나무 조림지에서는 뿌리를 제외한 잎, 줄기 및 총 물질생산량이 용기묘보다 노지묘에서 다소 높은 값을 보였다. 그러나 용기묘와 노지묘의 물질생산량 차이는 크지 않았으며, 묘고와 근원경, 그리고 용기묘의 물질생산량은 시간이 지나면서 점점 높아질 것으로 예상된다. 전체적으로 비교할 때 용기묘와 노지묘 모두 3분 군상 조림지가 5분 군상 조림지보다는 높은 물질생산량을 보였다.

표 10-8. 기조림지 지역별 용기묘와 노지묘의 물질생산량(2006년)

구분		건중량(g)			
		잎	줄기	뿌리	전체
강원도 홍천 3분 군상 소나무	용기묘(6년생)	189.3±11.8	404.7±56.4	131.5±131.5	725.5±89.0
	노지묘(7년생)	151.7±17.8	334.0±38.6	91.8±11.8	577.5±48.8
강원도 홍천 5분 군상 소나무	용기묘(6년생)	120.0±22.5	230.0±18.0	72.7±14.8	422.7±54.9
	노지묘(7년생)	126.5±37.5	291.0±62.2	55.1±21.1	472.6±120.8
충남 예산 소나무	용기묘(4년생)	14.1±4.0	23.9±6.0	10.2±4.3	48.2±13.1
	노지묘(4년생)	10.1±1.7	10.7±3.3	5.4±1.0	26.1±5.5
전북 임실 소나무	용기묘(3년생)	8.0±1.0	6.4±1.2	3.2±0.9	17.6±1.4
	노지묘(3년생)	5.7±1.2	6.4±2.2	4.5±0.7	16.5±2.5
충남 청양 상수리나무	용기묘(3년생)	18.7±5.5	19.0±4.3	65.7±8.6	103.3±16.3
	노지묘(4년생)	13.7±2.3	63.7±17.5	185.2±9.6	262.5±14.8
전북 정읍 상수리나무	용기묘(3년생)	28.5±4.9	28.0±0.0	100.4±32.5	156.9±37.4
	노지묘(3년생)	14.7±3.2	21.6±7.9	35.5±14.9	71.8±20.2

충남 예산 소나무 조림지에서 용기묘가 노지묘보다 약 2배 이상 높은 총 물질생산량을 보였으며, 강원도 홍천 조림지와 같이 용기묘의 물질생산량이 우수한 것으로 나타났다. 전북 임실 소나무 조림지는 각 부위별로 차이는 있지만, 용기묘와 노지묘의 총 물질생산량은 크게 차이를 보이지 않았다. 위의 두 조림지역은 묘령이 3~4년생으로 직접 비교하기는 어렵지만 전체적으로 강원도 홍천 소나무 조림지와 비교해 볼 때 매우 낮은 물질생산량을 보여주고 있었다. 이와 같이 물질생산량만을

가지고 조림 성과를 판단해 볼 때 예산과 임실의 소나무묘목은 홍천에 비해 매우 불량한 성장과 물질생산 능력을 나타낸 것이다.

충남 청양 상수리나무 조림지는 묘령의 차이는 있지만 노지묘가 용기묘보다 2배 이상 높은 물질생산량을 보였다. 특히, 줄기와 뿌리 부분의 물질생산량에서는 약 3배의 차이를 나타냈다. 이와 같이 청양의 상수리나무 조림묘목에서는 다른 조림 지역과는 달리 용기묘보다 노지묘의 성장과 물질생산량이 크게 높은 값을 보였다. 전북 정읍 상수리나무 조림지는 용기묘가 노지묘보다 약 2배 안팎의 높은 총 물질생산량을 나타냈으며, 뿌리 부분의 물질생산량은 약 3배의 차이를 보였다. 대부분의 소나무 조림지는 줄기 부분의 물질생산량이 가장 높았다. 반면, 상수리나무 조림지는 용기묘와 노지묘 모두 뿌리 부분에서 물질생산량이 가장 높은 값을 보인 것으로 볼 수 있다. 이는 상수리나무의 뿌리발달이 굵은 직근성 뿌리를 중심으로 발달하기 때문으로 판단된다. 이와 함께 상수리나무 용기묘 생산에서는 직근성 뿌리 특성이 문제가 되지 않도록 묘령별로 적정 혈 용량 규격을 지닌 용기 개발이 필요하다고 판단된다.

제 11 절 용기묘의 활착 및 생장에 미치는 생육환경 분석

1. 목적

시설양묘는 노지양묘와는 달리 묘목의 생육환경의 인위적 조절이 필수적이기 때문에 임업선진국에서는 이에 대한 많은 연구가 수행되어져 왔다. 그러나 우리나라의 경우에는 시설양묘의 역사가 짧아 이에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 이 때문에 용기묘 조림이 확대되고 있는 현 시점에서 보다 건전한 묘목을 양성하는 것이 차후 현지 조림성과에 큰 영향을 미치므로 양묘과정에서 필요한 여러 가지 관련 연구도 대단히 중요하다.

용기묘 양묘과정에서는 광선, 수분, 온도 등의 생육환경조절과 용기의 종류, 배양토, 시비체계 등이 중요한 영향을 미친다. 또한 이와같은 환경인자는 양묘과정뿐만 아니라 조림과정에서도 조림기술과 함께 조림 묘목의 활착 및 생장에 영향을 미친다. 따라서 생육환경에 따른 조림 묘목의 생장 및 생리 특성의 연구는 조림지 입지환경을 고려한 적정 조림 수종의 선택과 조림지의 적정 생육환경 조절, 조림의 목적 따른 용기묘와 노지묘의 적절한 선택 등과 같이 조림지에서 실질적으로 적용 가능한 기초자료로 이용될 수 있다.

본 연구에서는 이상과 관련하여 소나무 용기묘(2-0묘), 노지묘(1-1묘)와 상수리나무 용기묘(1-0묘), 노지묘(1-0묘)를 대상으로 광도, 수분, 시비처리에 따른 광합성 특성, 엽록소 형광반응, 엽록소 함량, 생장 특성 등을 2006년부터 2008년까지 총 3년간 조사 분석하여 생육환경 조절에 따른 생리 및 생장 특성을 구명하고자 하였다.

2. 조사내용 및 분석방법

가. 공시수종 및 시험구 설치

공시수종은 소나무(*Pinus densiflora*) 용기묘(2-0묘), 노지묘(1-1묘)와 상수리나무(*Quercus acutissima*) 용기묘(1-0), 노지묘(1-0)를 사용하였으며, 2006년 4월에 이들

시험용 묘목을 150 L의 대형 플라스틱용기(내경 56cm, 깊이 60cm)에 표 11-1에 제시된 토양분석 자료와 같이 양료가 거의 없는 마사토를 균일하게 채운후 수종별, 처리별 용기묘와 노지묘를 처리별로 각각 8개 plot에 4주씩 총 32주의 묘목을 반복 식재하였다.

표 11-1. 시험에 사용된 토양의 화학적 특성

구분	pH	Total nitrogen (%)	Organic matter (%)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	EX-Cation (cmol/kg)			C.E.C. (cmol/kg)
					K ⁺	Ca ²⁺	Mg ⁺	
시비 처리전	6.27	0.01	0.12	6.72	0.07	2.61	0.23	1.32

나. 생육환경 조절 및 결과분석

1) 피음 처리

2006년 4월 초에 대형용기에 묘목을 식재한 후, 실험대상 수종을 5월 초까지 무피음 하에서 정상적인 생리 상태를 회복할 때까지 활착시킨 다음에, 검정색 차광막을 이용하여 전광구(full sun)와 피음구(40% of full sun)의 인위적인 피음 처리를 실시하였다. 2006년 처리 1년차의 모든 측정이 끝난 후 10월 초 차광막을 제거하였으며, 2007년과 2008년 5월 초 다시 차광막을 이용해 3년간 피음 처리를 실시하였다.



그림 11-1. 피음 처리

피음 처리에 따른 환경요인의 변화를 알아보기 위하여 휴대용 광량측정기(Li-250, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 구름이 없는 맑은 날 피음망 하부의 환경조건을 2시간 간격으로 매회 40번 이상 반복 측정하였다(그림 11-2).

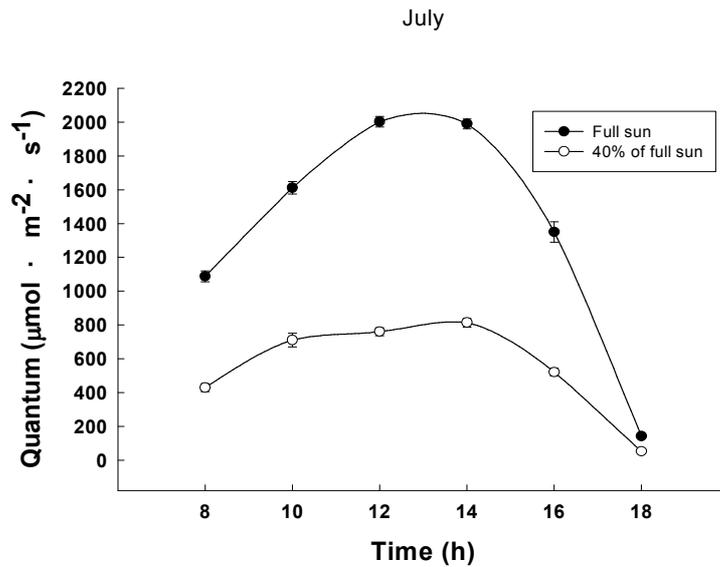


그림 11-2. 피음 처리에 따른 일중 광도 변화

2) 수분 처리



그림 11-3. 수분 처리

2006년 4월 초에 묘목을 식재한 후, 실험대상 수종을 5월까지 정상적인 생리 상

태를 회복할 때까지 활착시킨 다음에, 2006년부터 2008년까지 총 3년간 6월부터 8월까지 습윤구와 건조구로 나누어 습윤구는 주 2회, 건조구는 월 1회 플라스틱통당 20L의 관수를 실시하였다. 실험 중 강우 등 외부의 기후변화에 따른 영향을 최소화하기 위해서 수분처리 실험은 온실에서 실시하였다.

3) 시비 처리

2006년 4월 초에 묘목을 식재하고, 이들 실험대상 묘목이 5월까지 정상적인 생리상태를 회복할 때까지 활착시킨 후, 2006년부터 2008년까지 총 3년간 6월부터 8월까지 시비처리를 반복 하였다. 시비체계는 주 2회씩 20L의 관수와 병행하여 무시비, 500배액, 1,000배액의 3가지 시비처리를 적용하였다. 시비처리에 사용한 MultiFeed 19는 유효성분인 수용성 인산 19%, 전질소 19%, 수용성 가리19%와 마그네슘, 킬레이트철 등 킬레이트형의 다양한 미량원소가 첨부된 완전 수용성 비료이다.



그림 11-4. 시비 처리

다. 측정 및 결과 분석 방법

생육환경 변화에 따른 생리 및 성장 특성변화 조사에서는 침엽수인 소나무의 경우 엽록소 함량과 성장특성을 조사하였으며, 활엽수인 상수리나무는 소나무의 조사 항목에 광합성과 엽록소 형광반응 특성을 추가하여 조사하였다.

1) 광합성 특성

생육환경에 따른 수종별 광합성 특성을 조사하기 위하여 당년생 가지의 잎을 대상으로 2006년부터 2008년까지 총 3년간 연차별로 휴대용 광합성 측정장치(Portable photosynthesis system, LI-6400, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 광합성 속도, 광보상점, 광포화점 등을 상수리나무에 대하여, 처리별로 조사 분석하였다.

측정과정에서 광도를 임의로 조절할 수 있는 LED light source(LI-6400-02, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 PPF(Photosynthetic Photon Flux Density)를 0, 25, 50, 100, 200, 500, 800, 1000, 1500, 2000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 10수준으로 차이를 두어 10:00시부터 14:00시 사이에 광합성 반응을 측정하였다. 측정중에 광합성 측정기의 leaf chamber에 유입되는 공기의 유량은 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$, 온도는 25 $^{\circ}\text{C}$ 로 설정하여 외기의 환경변화로 인한 영향이 없도록 하였다. 또한 CO₂ 농도가 급변하지 않도록 광합성 측정기에 CO₂ injector system(LI-6400-01, LI-COR Inc., USA)을 부착하여 CO₂ 농도를 400 \pm 2 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 범위 내에서 안정된 상태를 유지하도록 하였다.

조사 대상 묘목은 처리별로 생장 속도가 비슷하고 정상적인 생육 상태를 유지하고 있는 묘목 3본을 선정하여 최소 3회 이상 반복 측정하였으며, 측정 대상 잎은 줄기의 2/3 높이 부근에 달린 당년생 건전엽을 이용하였다.

광도별 광합성 속도를 측정하여 그 측정치를 이용하여 광-광합성곡선을 작성하고, 이 곡선에서 순양자수율(apparent quantum yield), 광보상점, 광포화점 및 이때의 광합성 능력(photosynthetic capacity) 등을 산출하였다. 순양자수율은 PPF 0~100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 영역에서 광과 광합성의 직선회귀식 $y = a + bx$ 의 기울기 b 이다. 직선회귀식의 x 절편($-a/b$)은 광보상점으로, 광합성 속도가 증가하다 일정한 값(A_{sat})을 유지하기 시작할 때 x 의 값인 $(A_{\text{sat}} - a)/b$ 가 광포화점이다. 광합성 능력은 광포화점보다 높은 광도에서의 광합성속도 평균값으로 하였다.

순 광합성 능력은 아래의 식으로 계산했다.

$$P_n = U_e(C_e - C_c) / (100s) - C_c \cdot E$$

P_n ; Net photosynthesis($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), U_e ; mole flow rate of air entering the leaf chamber($\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{air}$), C_e ; mole fraction of CO_2 entering the leaf chamber($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{air}$), C_c ; mole fraction of CO_2 in the leaf chamber($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{air}$), s ; leaf area(cm^2), E ; transpiration($\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$),

2) 엽록소 형광 반응

생육환경 차이에 따른 엽록소 형광 반응을 조사하기 위하여 2006년부터 2008년까지 총 3년간 연차별로 엽록소형광반응측정기(Continuous source chlorophyll fluorometer, OSI 30P, ADC, UK)를 이용하여 측정하였다.

형광반응 측정은 광합성 측정과 동일한 잎을 대상으로 sample clip으로 광을 차단하여 측정 전 약 20분간 측정 대상 잎을 암흑에 적응시킨 후 측정하였다. 측정 시 $2,000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광을 조사하였다.

초기 형광반응(F_0), 최대 형광반응(F_m), 형광반응 최대 변화치 ($F_v=F_m-F_0$) 및 광화학반응 효율(F_v/F_m)의 변수를 측정하여 비교 분석하였다.

3) 엽록소 함량

생육환경 차이에 따른 엽록소 함량의 연차적 변화를 분석하기 위하여 2006년부터 2008년까지 총 3년간 처리별·수종별 3주의 묘목을 선정한 후, 한 개체목 당 3반복씩 총 9반복의 잎에 대해 엽록소 함량을 분석하였다.

엽록소의 추출은 Hiscox와 Israelstam(1978)의 방법에 따라 dimethylsulfoxide (DMSO)를 추출 용매로 이용하여 캡 시험관($15\text{mm}\times 12.5\text{cm}$)에 DMSO 10ml를 넣은 후 분석용 전자저울(CH/AB204-S, Mettler-Toled, Switzerland)로 잎의 중앙 부위에서 0.1g의 잎을 정확히 평량하여 시험관에 넣고, 즉시 $65\pm 1^\circ\text{C}$ 의 항온욕조에 약 8시간 담가 엽록소를 추출하였다.

추출액을 UV-Vis spectrophotometer(Nicolet Evolution 100, Thermo Electron Co., USA)를 이용하여 663nm와 645nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 다음의 식으로 엽록소 a와 b의 함량을 구하였다(Arnon, 1949; Mackinney, 1941).

$$\text{Chlorophyll a}(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{fresh wt.}) = (12.7\times A_{663} - 2.69\times A_{645})$$

$$\text{Chlorophyll b}(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{fresh wt.}) = (22.9\times A_{645} - 4.68\times A_{663})$$

$$\text{Total Chlorophyll}(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{fresh wt.}) = (8.02\times A_{663} + 20.20\times A_{645})$$

위 식에서 A_{663} , A_{645} 는 각각 663, 645nm에서의 흡광도이다.

4) 생장 특성

생육환경 차이에 따른 수종별 생장변화를 조사하기 위하여 2006년부터 2008년까지 총 3년간 처리별·수종별로 외관상 평균적인 상태를 유지하고 있는 묘목을 각 10본씩 선정하여 총 묘고와 근원경을 측정하였다.

2008년 9월 중순에 모든 실험이 끝난 후 묘목을 채취하여 잎, 가지, 뿌리를 각각 구분하여 건중량을 측정하였다. 건조하기 전에 상수리나무 잎은 Leaf area meter(LI-3100, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 엽면적을 측정하였다.

건중량 및 엽면적 측정 결과에 의해 묘목의 총 물질생산량과 배분비율 및 T/R율(지상부/지하부), 엽건중량대비 엽면적비율(SLA; specific leaf area = leaf area/leaf dry weight), 총건중량대비 엽면적비율(LAR; leaf area ratio = leaf area/total dry weight), 총건중량대비 엽건중량비율(LWR; leaf weight ratio = leaf dry weight/total dry weight)을 계산하였다.

생육환경 처리에 따른 측정결과를 분석하기 위해서 Duncan의 다중검정법으로 피음 처리간의 유의성 분석을 실시하였다. 모든 통계분석은 PC SAS Program Version 8.2를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 소나무 용기묘와 노지묘의 적정 생육환경 분석

1) 피음 처리에 따른 생리 및 생장 특성

가) 엽록소 함량 분석

표 11-2는 피음 처리에 따른 소나무 용기묘와 노지묘의 총 엽록소 함량, 엽록소 a, b의 함량 및 엽록소 a/b율을 연차별로 보여주고 있다.

소나무의 총 엽록소 함량은 용기묘와 노지묘 모두 전광구보다 피음구에서 $0.2 \sim 0.3 \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 많았으며, 엽록소 a와 b 각각의 함량도 같은 경향을 보였다. 이와 같은 현상이 일어나는 이유는 소나무가 광량이 부족한 광 환경에서 적응하면서 정상적으로 광합성을 지속하기 위해 광 에너지를 가능한 한 많이 확보하는 방법으로 엽록소 함량을 높게 유지할 필요가 있기 때문이다. 일반적으로 피음 수준이 높아지면서 엽록소 b의 함량 증가가 엽록소 a의 함량에 비해 상대적으로 더 크게 증가하며, 이 때문에 피음 강도가 강해지면서 엽록소 a/b율이 감소하는 경향을 보인다. 그러나 본 연구의 결과에서는 엽록소 a/b율도 피음구에서 대부분 높은 값을 보여 상반되는 결과를 보였다.

전광구에서 소나무 용기묘는 실험 1년차인 2006년에는 노지묘가 용기묘보다 총 엽록소 함량이 많았지만 2007년과 2008년까지 실험이 지속되면서 용기묘의 총 엽록소 함량이 노지묘에 비해 높게 나타났다. 이는 시간이 지날수록 용기묘의 생육활동이 노지묘에 비해 더 활발해지는 것으로 판단된다. 피음구에서도 전광구와 같은 경향을 보였으며, 엽록소 a와 b의 함량도 총 엽록소 함량과 같은 경향을 보였다.

표 11-2. 피음 처리에 따른 소나무 용기묘와 노지묘의 엽록소 함량

년 도	구분	피음처리	엽록소 함량 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{fresh weight}$)			엽록소 a/b
			엽록소 a	엽록소 b	총 엽록소	
2006년	용기묘	전광구	0.25 ± 0.03^b	0.13 ± 0.01^b	0.38 ± 0.05^b	1.89 ± 0.08^b
		피음구	0.42 ± 0.04^{ab}	0.18 ± 0.01^{ab}	0.59 ± 0.05^{ab}	2.38 ± 0.09^{ab}
	노지묘	전광구	0.40 ± 0.04^{ab}	0.18 ± 0.02^{ab}	0.58 ± 0.06^{ab}	2.21 ± 0.05^{ab}
		피음구	0.59 ± 0.05^a	0.23 ± 0.02^a	0.82 ± 0.07^a	2.59 ± 0.11^{ab}
2007년	용기묘	전광구	0.29 ± 0.03^b	0.11 ± 0.02^a	0.40 ± 0.04^b	2.72 ± 0.43^a
		피음구	0.43 ± 0.09^a	0.15 ± 0.01^a	0.59 ± 0.10^{ab}	2.83 ± 0.45^a
	노지묘	전광구	0.27 ± 0.02^b	0.11 ± 0.01^a	0.38 ± 0.02^b	2.49 ± 0.31^a
		피음구	0.42 ± 0.07^a	0.14 ± 0.04^a	0.56 ± 0.07^{ab}	3.04 ± 0.46^a
2008년	용기묘	전광구	1.14 ± 0.04^a	0.36 ± 0.02^a	1.50 ± 0.06^a	3.15 ± 0.02^a
		피음구	1.33 ± 0.20^a	0.45 ± 0.08^a	1.78 ± 0.28^a	2.99 ± 0.05^a
	노지묘	전광구	1.03 ± 0.15^a	0.33 ± 0.04^a	1.35 ± 0.19^a	3.13 ± 0.13^a
		피음구	1.19 ± 0.01^a	0.38 ± 0.02^a	1.57 ± 0.03^a	3.15 ± 0.46^a

이상의 결과를 종합해 보면 소나무는 광선 요구량이 많은 곳에서 생육 및 생리활

동이 활발해지며, 부족한 광 환경에서 광합성 활동을 위해 엽록소 함량이 증가되는 적응 능력은 노지묘보다 용기묘가 더 우수하다는 것을 알 수 있었다. 즉, 소나무 조림은 전광과 가까운 지역에 실시하는 것이 바람직하며, 조림지가 그렇지 못한 경우 입지환경에 따라 변화되는 광 환경 조건에서 용기묘의 적응력이 노지묘보다 우수하기 때문에 용기묘의 조림이 알맞을 것으로 판단된다.

나) 생장 특성

소나무의 근원경과 묘고 생장에서 실제 생장치는 용기묘와 노지묘 모두 피음구보다 전광구에서 유의적인 차이를 보이는 높은 생장을 기록하였다. 전체적으로 전광구는 용기묘가, 피음구는 노지묘가 높은 생장을 보였지만 큰 차이는 나타나지 않았다. 용기묘 근원경의 상대생장률에서는 약 60% 이상 전광구가 높았으며, 노지묘 근원경의 상대생장률도 전광구가 높았지만 피음 처리간 차이는 크지 않았다. 묘고의 상대생장률은 용기묘와 노지묘 모두 전광구가 피음구보다 약 170~180% 이상 높은 값을 보였다(그림 11-5).

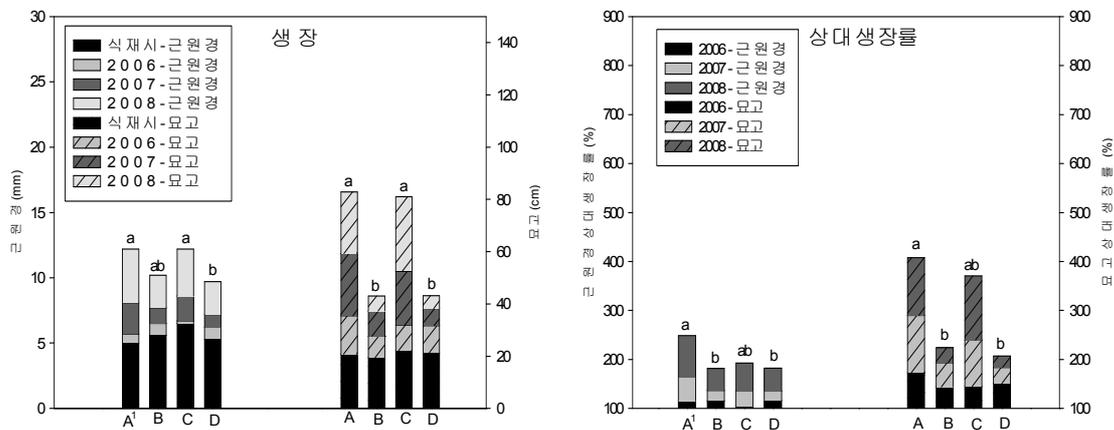


그림 11-5. 피음 처리에 따른 소나무 용기묘와 노지묘의 근원경 및 묘고의 생장(좌)과 상대생장률(우)

1; A: 용기묘-full sun, B: 용기묘-40% of full sun, C: 노지묘-full sun, D: 노지묘-40% of full sun;

피음 처리구 모두 소나무의 근원경과 묘고의 상대생장률은 식재 초기부터 시간이 지날수록 점점 증가하였는데 노지묘는 용기묘에 비해 그 증가율이 다소 떨어졌다.

또한 증가율은 피음구가 전광구에 비해 현저히 낮았다. 전광구와 피음구에서 소나무 용기묘와 노지묘의 근원경과 묘고 성장에서 실제 성장치와 상대성장률은 대부분 용기묘가 다소 높거나 큰 차이를 나타내지 않았다. 이는 소나무의 경우에 부족한 광 조건에서 조림에 부적합하지만, 이와같이 부족한 광을 보이는 조림지에 소나무를 조림해야 할 경우에는 노지묘보다 적응력이 다소 우수한 용기묘를 조림하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

소나무의 잎, 줄기, 뿌리 각각의 물질생산량 측정치는 용기묘와 노지묘 모두 전광구가 피음구보다 높은 값을 기록했다. 총 물질생산량에 있어서도 전광구는 피음구보다 약 15~20g 높은 값을 보였다. 그러나 전광구와 피음구 모두 용기묘와 노지묘 간에는 총 물질생산량에서 큰 차이를 보이지 않았다. 용기묘와 노지묘 모두 전광구에서의 T/R율은 피음구보다 높은 값을 나타냈다(표 11-3).

표 11-3. 피음 처리에 따른 소나무 용기묘와 노지묘의 물질생산량과 T/R율

구 분	피음처리	건중량(g)				T/R율
		잎	줄기	뿌리	계	
용기묘	전광구	17.70±4.42 ^b	25.40±6.06 ^a	15.07±1.89 ^a	58.17±42.93 ^a	2.85±0.57 ^a
	피음구	15.10±4.35 ^b	16.23±1.45 ^{ab}	11.60±1.45 ^{ab}	42.93±6.93 ^{ab}	2.77±1.02 ^a
노지묘	전광구	20.67±9.36 ^a	24.77±9.98 ^a	13.70±3.13 ^a	59.13±20.45 ^a	3.22±0.61 ^a
	피음구	11.20±0.75 ^b	15.60±1.83 ^{ab}	12.43±1.10 ^{ab}	39.23±2.61 ^{ab}	2.16±0.13 ^b

피음 처리 따른 광량 감소와 함께 총 물질생산량은 감소하였다. 또한 광량의 감소로 각 부위별 물질생산량도 감소하지만 묘목에서 잎과 가지의 비율은 증가하며 뿌리의 비율은 감소하는 결과를 나타냈다. 이는 피음 처리의 영향이 묘목의 부위별로 다르게 작용한다는 것을 보여주고 있다. 피음 처리에 의해 뿌리의 상대적인 비율이 감소하면서 전광구에 비해 피음구에서 높은 T/R율을 보였는데, 이는 낮은 광도에서 성장한 묘목에서는 부족한 광도를 극복하기 위해 뿌리로 분배되는 광합성 산물의 비율이 상대적으로 낮기 때문이라고 알려져 있다. 또한 광도가 감소된 조건에서는 지상부의 수광경쟁이 강화되면서 순물질생산량의 대부분이 줄기의 묘고 성장에 이용되므로 T/R율은 증가하게 되는 것이다.

2) 수분 처리에 따른 생리 및 성장 특성

가) 엽록소 함량 분석

표 11-4는 소나무 용기묘와 노지묘의 총 엽록소 함량, 엽록소 a, b의 함량 및 엽록소 a/b을변화를 수분처리 연도별로 보여주고 있다.

소나무의 총 엽록소 함량은 실험 1년차인 2006년을 제외한 2007과 2008년에는 용기묘와 노지묘 모두 건조구보다 습윤구에서 더 높은 함량을 보였으며, 엽록소 a와 b 각각의 함량도 같은 경향을 나타냈다. 또한 2006년과 2007년에는 수분 처리별 엽록소 함량에서 큰 차이를 나타내지 않았지만, 2008년에는 습윤구에서 건조구보다 2 배 이상의 높은 엽록소 함량을 보였다.

습윤구와 건조구 모두 2006년을 제외하고 2007년부터는 총 엽록소 함량과 엽록소 a와 b의 함량이 노지묘보다 용기묘에서 높은 값을 보였다. 또한 실험 기간이 지날 수록 습윤구에서는 엽록소 함량의 증가와 함께 용기묘의 생육활동이 노지묘보다 활발해질 것으로 판단된다. 또한 건조구에서는 부족한 수분 환경에서 노지묘보다 용기묘가 비교적 생육활동의 저해를 적게 받을 것으로 판단된다. 이는 수분 스트레스에 대한 저항성이 노지묘보다 용기묘가 크다는 것을 보여주는 것이다.

표 11-4. 수분 처리에 따른 소나무 용기묘와 노지묘의 엽록소 함량

년 도	구 분	수분처리	엽록소 함량 (mg·g ⁻¹ ·fresh weight)			엽록소 a/b
			엽록소 a	엽록소 b	총 엽록소	
2006년	용기묘	습윤구	1.09±0.15 ^b	0.37±0.04 ^b	1.46±0.19 ^b	2.93±0.13 ^a
		건조구	1.08±0.05 ^b	0.38±0.01 ^b	1.46±0.05 ^b	2.86±0.03 ^a
	노지묘	습윤구	1.30±0.14 ^{ab}	0.45±0.05 ^{ab}	1.75±0.18 ^{ab}	2.86±0.03 ^a
		건조구	1.32±0.05 ^{ab}	0.46±0.02 ^{ab}	1.78±0.07 ^{ab}	2.86±0.04 ^a
2007년	용기묘	습윤구	1.02±0.13 ^a	0.39±0.02 ^a	1.41±0.11 ^a	2.67±0.46 ^a
		건조구	0.99±0.14 ^a	0.32±0.04 ^a	1.32±0.18 ^a	3.10±0.10 ^a
	노지묘	습윤구	0.99±0.06 ^a	0.35±0.03 ^a	1.34±0.09 ^a	2.83±0.11 ^a
		건조구	0.96±0.02 ^a	0.33±0.01 ^a	1.28±0.02 ^a	2.94±0.14 ^a
2008년	용기묘	습윤구	1.33±0.20 ^a	0.45±0.08 ^a	1.78±0.28 ^a	2.99±0.05 ^a
		건조구	0.73±0.05 ^{ab}	0.27±0.02 ^{ab}	0.99±0.07 ^{ab}	2.72±0.09 ^a
	노지묘	습윤구	1.19±0.01 ^a	0.38±0.02 ^{ab}	1.57±0.03 ^a	3.15±0.16 ^a
		건조구	0.48±0.17 ^b	0.19±0.04 ^b	0.67±0.21 ^b	2.50±0.44 ^a

조립과정에서 상토로 싸여있는 용기묘의 뿌리는 노지묘에 비해 수분 손실에 따른 피해를 적게 받기 때문에 조립 묘목의 활착 및 성장에서도 좋은 결과를 보일 것으

로 판단된다. 따라서 수분 환경이 좋지 않은 척박한 지역에서 조림 할 경우나 온도가 높은 여름철에 조림 할 때에는 용기묘의 식재가 노지묘보다 조림성과를 높일 수 있을 것이다.

나) 성장 특성

소나무 용기묘와 노지묘에서 다같이 근원경과 묘고의 성장과 상대성장률은 수분 스트레스가 심한 건조구보다 습윤구에서 높은 값을 나타냈다. 근원경의 실제 성장치에서는 습윤구와 건조구 모두 노지묘가 높은 측정치를 보였다. 이는 식재 초기에 묘목의 근원경이 용기묘에 비해 노지묘가 더 컸기 때문으로 판단되며, 상대성장률에서는 용기묘가 노지묘보다 약 20~50% 높은 값을 보여 대조를 보인다. 묘고의 실제 성장치와 상대성장률은 모두 용기묘에서 높은 값을 보였다(그림 11-6).

이는 엽록소 함량의 결과와 같이 수분 스트레스에 대한 저항력이 용기묘가 더 우수하여 노지묘보다 근원경과 묘고의 생장이 양호한 결과를 보인것으로 판단되며, 척박지 또는 여름철 조림 시에는 용기묘의 조림이 노지묘의 조림보다 높은 활착률과 좋은 성장을 나타낼 것으로 생각할 수 있다

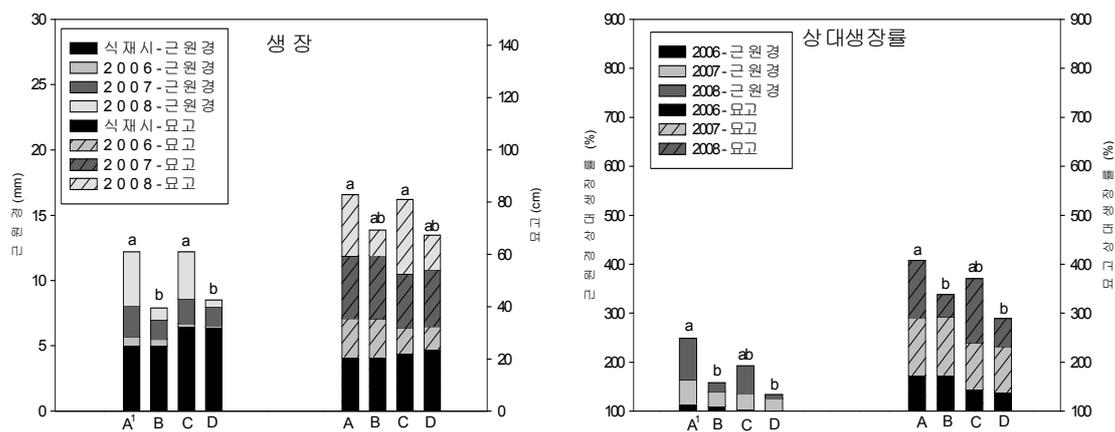


그림 11-6. 수분 처리에 따른 소나무 용기묘와 노지묘의 근원경 및 묘고의 성장(좌)과 상대성장률(우)

1; A: 용기묘-습윤구, B: 용기묘-건조구, C: 노지묘-습윤구, D: 노지묘-건조구

소나무 용기묘와 노지묘의 총 물질생산량과 뿌리, 줄기, 잎 각각의 물질생산량은

건조구에 비해 습윤구가 약 2배 이상 높았다. 그러나 습윤구와 건조구 모두 용기묘와 노지묘의 물질생산량 차이는 거의 나타나지 않았다. T/R율은 용기묘와 노지묘 모두 습윤구가 건조구보다 높았다. 이는 부족한 수분 환경에 적응하기 위해서 뿌리 부분으로의 물질 분배가 상대적으로 많아진 것으로 판단된다.(표 11-5).

표 11-5. 수분처리에 따른 소나무 용기묘와 노지묘의 물질생산량과 T/R율

구 분	수분처리	건중량(g)				T/R율
		잎	줄기	뿌리	계	
용기묘	습윤구	20.67±9.36 ^a	24.77±9.98 ^a	13.70±3.13 ^a	59.13±20.45 ^a	3.22±0.61 ^a
	건조구	7.27±3.43 ^b	8.03±2.90 ^b	7.77±1.94 ^b	23.07±6.36 ^b	2.02±0.85 ^{ab}
노지묘	습윤구	17.70±4.42 ^a	25.40±6.06 ^a	15.07±1.89 ^a	58.17±11.83 ^a	2.85±0.57 ^a
	건조구	6.27±2.20 ^b	9.70±5.12 ^b	6.47±1.00 ^b	22.43±4.56 ^b	2.54±0.96 ^a

3) 시비 처리에 따른 생리 및 성장 특성

가) 엽록소 함량 분석

표 11-6은 시비 처리에 따른 소나무 용기묘와 노지묘의 총 엽록소 함량, 엽록소 a, b의 함량 및 엽록소 a/b율을 연차별로 보여주고 있다.

소나무 용기묘와 노지묘의 총 엽록소 함량은 무시비구에 비해 시비구에서 약 2~3배 높은 값을 유지했다. 시비 처리구간에는 2006년은 500배액 시비구, 2007년과 2008년은 1,000배액 시비구가 높은 엽록소 함량을 보였다. 시간이 지날수록 1,000배액 시비구의 엽록소 함량이 500배액 시비구에 비해 상대적으로 많아지는데, 이는 과량의 시비로 인해 500배액 시비구에서는 어느 정도 생리적 장애에 따른 생육저하 현상이 나타난 것을 판단 할 수 있다. 소나무의 경우 1,000배액 안팎에서 적정 시비량을 산출 할 필요가 있을 것으로 판단된다. 엽록소 a와 b의 함량도 총 엽록소 함량과 같은 경향을 보였다.

무시비구와 시비구의 세가지 시비구 모두 용기묘가 노지묘보다 높은 엽록소 함량을 보였으며, 시비에 따른 생육 활동이 노지묘보다 용기묘가 더 활발할 것으로 판단된다.

엽록소 a/b율은 용기묘와 노지묘 모두 시비구가 무시비구보다 높았다. 이는 시비에 의한 적정 생육 환경이 조성되면서 엽록소 b의 함량 증가에 비해 엽록소 a의 함

량 증가가 많았기 때문이다.

표 11-6. 시비 처리에 따른 소나무 용기묘와 노지묘의 엽록소 함량

년 도	구 분	시비처리 ¹	엽록소 함량 (mg·g ⁻¹ ·fresh weight)			엽록소 a/b
			엽록소 a	엽록소 b	총 엽록소	
2006년	용기묘	대조구	0.28±0.03 ^b	0.14±0.01 ^b	0.42±0.04 ^b	2.08±0.04 ^b
		500배액	1.04±0.04 ^a	0.31±0.03 ^a	1.35±0.07 ^a	3.40±0.22 ^{ab}
		1000배액	0.99±0.15 ^a	0.30±0.03 ^{ab}	1.29±0.16 ^a	3.37±0.58 ^{ab}
	노지묘	대조구	0.38±0.06 ^b	0.17±0.02 ^b	0.54±0.07 ^b	2.27±0.11 ^{ab}
		500배액	0.97±0.19 ^a	0.31±0.05 ^a	1.29±0.24 ^a	3.12±0.09 ^{ab}
		1000배액	0.98±0.09 ^a	0.29±0.04 ^{ab}	1.27±0.13 ^a	3.42±0.20 ^{ab}
2007년	용기묘	대조구	0.29±0.03 ^b	0.11±0.02 ^b	0.40±0.04 ^b	2.72±0.43 ^b
		500배액	1.00±0.19 ^a	0.28±0.05 ^{ab}	1.28±0.24 ^a	3.56±0.27 ^{ab}
		1000배액	1.38±0.12 ^a	0.37±0.05 ^{ab}	1.75±0.16 ^{ab}	3.76±0.31 ^{ab}
	노지묘	대조구	0.27±0.02 ^b	0.11±0.01 ^b	0.38±0.02 ^b	2.49±0.31 ^b
		500배액	1.00±0.07 ^a	0.27±0.04 ^{ab}	1.27±0.11 ^a	3.65±0.27 ^{ab}
		1000배액	1.25±0.27 ^{ab}	0.37±0.07 ^{ab}	1.62±0.35 ^{ab}	3.41±0.16 ^{ab}
2008년	용기묘	대조구	0.28±0.06 ^b	0.14±0.02 ^b	0.43±0.08 ^b	1.99±0.19 ^b
		500배액	0.98±0.10 ^a	0.29±0.03 ^a	1.28±0.13 ^a	3.34±0.04 ^a
		1000배액	1.26±0.19 ^{ab}	0.37±0.03 ^{ab}	1.63±0.19 ^{ab}	3.38±0.59 ^a
	노지묘	대조구	0.24±0.04 ^b	0.13±0.01 ^b	0.37±0.05 ^b	1.76±0.26 ^b
		500배액	0.92±0.11 ^{ab}	0.28±0.03 ^a	1.20±0.14 ^{ab}	3.24±0.00 ^a
		1000배액	0.98±0.11 ^{ab}	0.32±0.03 ^{ab}	1.29±0.13 ^{ab}	3.05±0.15 ^a

시비처리¹: 대조구: 무시비구, 처리구: 500배액, 1000배액

나) 생장 특성

소나무 용기묘와 노지묘의 근원경과 묘고생장에서 실제 생장치는 약 2배의 차이를 보이면서 무시비구보다 시비구가 높은 값을 보였으며, 1,000배액 시비구가 500배액 시비구보다 양호한 생장을 보였다. 또한 대부분의 시비구에서 용기묘의 근원경과 묘고의 생장이 노지묘보다 빠른 생장을 보였다. 상대생장률에서는 무시비구보다 시비구가 근원경은 약 2~3배, 묘고는 약 2배 이상 높은 생장률을 보였으며, 실제 생장치에서와 같이 1,000배액 시비구가 대부분 가장 높은 상대생장률을 나타냈다. 각 시비 처리구별로 근원경과 묘고의 상대생장률은 대부분 노지묘보다 용기묘가 높은 값을 유지했다(그림 11-7).

500배액 시비구에서의 실제 생장치와 상대생장률이 무시비구보다 좋은 생장을 보였지만 1,000배액 시비구보다 낮은 값을 보인것은, 적정 시비량을 초과한 과량 시비로 인해 수목의 생리 및 생육활동에 저해 현상이 초래된 것으로 판단된다. 용기묘

는 노지묘에 비해 시비처리에 더 크게 반응하여 우수한 성장을 보였으며 이를 고려한다면 조림할 때, 소나무의 묘령에 맞는 적정량의 시비를 할 경우에 그 효과는 노지묘보다 용기묘에서 더 크게 표현될 것으로 판단할 수 있다.

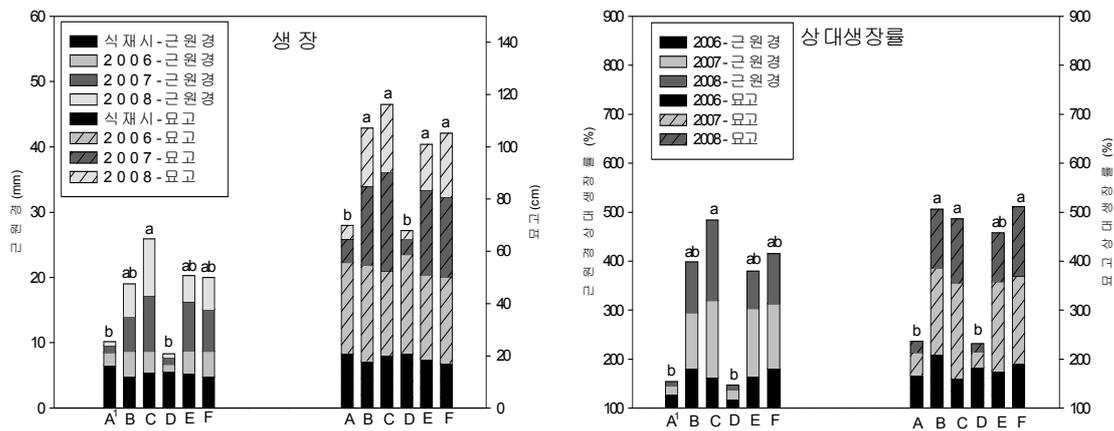


그림 11-7. 시비 처리에 따른 소나무 용기묘와 노지묘의 근원경과 묘고 및 성장(좌)과 상대성장률(우)

1; A: 용기묘-대조구, B: 용기묘-500배액, C: 용기묘-1000배액, D: 노지묘-대조구, E: 노지묘-500배액, F: 노지묘-1000배액

시비 처리에 따른 용기묘와 노지묘의 총 물질생산량과 뿌리, 줄기, 잎 각각의 물질생산량은 1,000배액 시비구가 가장 높았으며, 500배액 시비구, 무시비구 순으로 나타났다. 시비구와 무시비구의 물질생산량은 약 4~11배의 차이를 보였다. 시비 처리구구별 총 물질생산량은 모든 처리구에서 용기묘가 노지묘보다 높게 나타났으며, 뿌리, 줄기, 잎 각각의 물질생산량도 같은 경향을 보였다(표 11-7).

표 11-7. 시비 처리에 따른 소나무 용기묘와 노지묘의 물질생산량과 T/R율

구 분	시비처리 ¹	건중량(g)				T/R율
		잎	줄기	뿌리	계	
용기묘	대조구	7.47±3.73 ^c	14.33±3.23 ^c	13.77±4.74 ^c	35.57±5.48 ^c	1.74±0.70 ^b
	500배액	41.65±27.65 ^b	64.50±1.56 ^b	51.00±0.28 ^b	157.15±28.92 ^b	2.08±0.58 ^{ab}
	1000배액	151.20±78.54 ^a	151.83±41.49 ^a	118.97±24.70 ^a	422.00±142.32 ^a	2.50±0.53 ^{ab}
노지묘	대조구	2.90±0.44 ^c	7.57±3.58 ^c	9.83±0.83 ^c	20.30±2.36 ^c	1.09±0.43 ^b
	500배액	44.25±22.42 ^b	60.10±10.89 ^b	35.15±18.88 ^{bc}	139.50±52.18 ^b	3.17±0.76 ^a
	1000배액	58.60±25.41 ^b	69.90±20.96 ^b	59.97±19.28 ^b	188.47±60.63 ^b	2.20±0.76 ^{ab}

시비처리¹: 대조구: 무시비구, 처리구: 500배액, 1000배액

수중에 따른 적정 양분 요구량이 주어지면 용기묘가 노지묘에 비해 더 크게 반응을 하면서 생육활동이 활발해 지는 것으로, 다른 생육환경 처리 실험에 비해 월등히 높은 물질생산량을 보여주는 것은 충분한 양분에 의해 활발한 광합성 활동과 그 산물의 생산에 의한 것으로 판단된다. 그러나 과량의 시비는 생육 활동을 저해시킬 수 있으므로 수중과 묘령에 맞는 적정 수준의 시비가 필요하다.

나. 상수리나무 용기묘와 노지묘의 적정 생육환경 분석

1) 피음 처리에 따른 생리 및 성장 특성

가) 광합성 특성

피음구와 전광구에서 생육하는 상수리나무 용기묘와 노지묘의 광도별 광합성 속도를 측정하고 그 측정치를 이용하여 광-광합성곡선을 작성한 다음에(그림 11-8), 이 곡선에서 순양자수율(apparent quantum yield), 광보상점, 광포화점 및 이때의 광합성 능력(photosynthetic capacity) 등을 산출하였다(표 11-8).

3년간의 실험 기간동안 측정된 광합성 능력은 상수리나무 용기묘와 노지묘 모두 피음구보다 전광구에서 높은 값을 보였다. 또한 실험 기간이 경과할수록 처리구 간에 광합성 능력의 차이는 더욱 커져 2008년에 상수리나무 용기묘의 광합성 능력은 전광구가 피음구에 비해 약 2배 이상 높은 값을 나타냈다. 상수리나무는 용기묘와 노지묘 모두 피음 조건보다는 전광 조건에서 양호한 결과를 보이고 있었다.

비교적 저광도 조건에서 광합성 능력의 지표가 되는 순양자수율 또한 상수리나무 용기묘와 노지묘 모두 전광구가 피음구보다 높은 값을 보였다. 이는 광합성 능력의 결과와 같은 경향을 보인 것으로, 높은 광화학계 활성화에 의해서 상대적으로 높은 광합성 능력이 나타나는 것으로 판단되며, 대부분 광합성 능력과 광화학계 활성화는 비례관계를 보이고 있는 것을 알 수 있었다. 광보상점과 광포화점은 피음처리별로 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다.

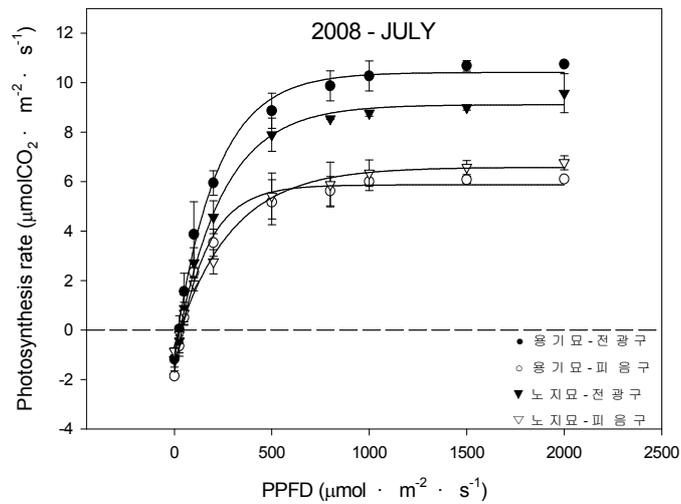
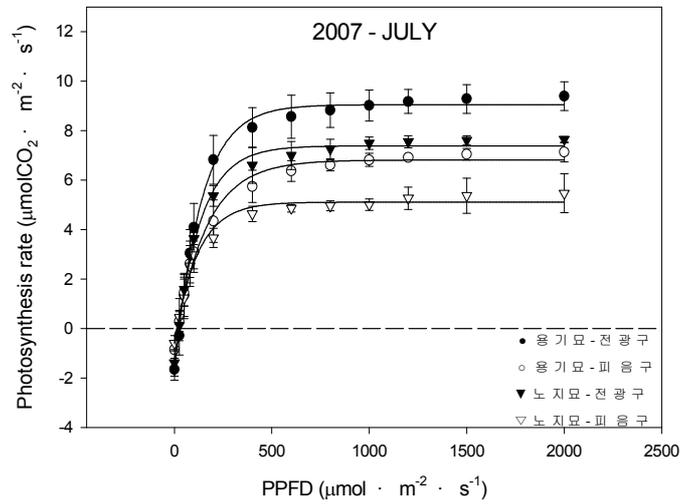
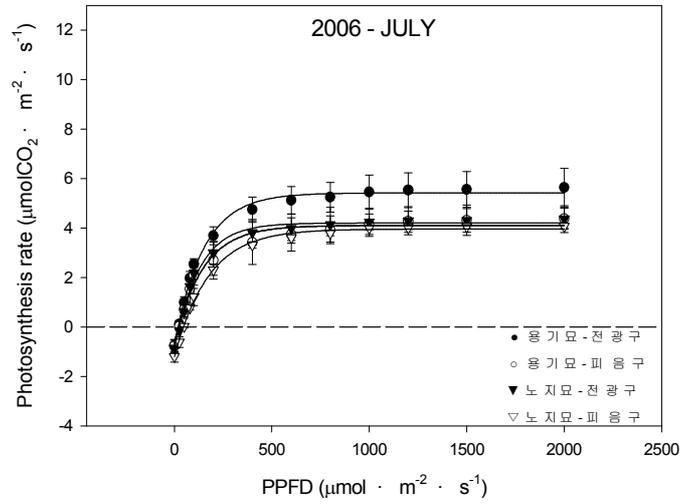


그림 11-8. 피음 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 광-광합성 곡선

상수리나무는 전광구와 피음구 간의 광합성 능력이 분명한 차이를 나타내며 피음구에서는 광합성 능력이 감소하였다. 이와 같은 결과를 보면 상수리나무가 양수의 광합성 특성을 보이면서 광선이 부족한 환경에서 성장할 때 광합성 능력이 점점 약화되는 것으로 생각된다.

전광구와 피음구 모두 용기묘가 노지묘보다 높은 광보상점, 광포화점 및 광합성 능력과 순양자수율을 보이면서 동일한 광도 조건에서 용기묘가 노지묘보다 우수한 광합성 능력을 보여주었다. 또한 광선이 부족한 환경에서 양수인 상수리나무는 용기묘의 광합성 능력 저하가 노지묘보다 크지 않기 때문에 용기묘는 광선이 부족한 입지환경을 지닌 조림지에서 노지묘보다 조림성과를 높일 수 있을 것으로 판단된다.

표 11-8. 피음 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 광합성 특성

구 분	피음처리	광보상점 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)			광포화점 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)			광합성 능력 ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)			순 양자수율 ($\text{mmol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$)		
		2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008
용기묘	전광구	21.9	28.6	22.6	710	679	984	5.4	9	10.4	33.2	58	50.8
	피음구	25.9	18.3	41.9	601	703	648	4.1	6.8	5.8	28.3	40.2	41.7
노지묘	전광구	29	23.8	31.5	609	601	1109	4.2	7.4	9.1	30.8	50.5	40.1
	피음구	49.6	14.8	31	835	500	1281	4	5.1	6.5	24.4	36.3	28.6

나) 엽록소 형광 반응 특성

상수리나무 용기묘와 노지묘의 엽록소 형광 반응 특성을 조사하여 피음하에서의 광선 부족에 따른 스트레스에 대한 수목의 생리적 특성을 전광에서 자라는 묘목과 비교 분석하였다(그림 11-9).

수목의 광화학 반응에 대한 순양자수율의 최대치(F_w/F_m)인 광화학 효율은 상수리나무 용기묘와 노지묘 모두 전광구가 피음구 보다 높은 값을 보였다. 이는 광합성 능력과 같은 경향을 보인 것으로 엽록소 형광반응과 광합성 능력은 서로 비례관계에 있는 것으로 판단된다.

광화학 효율은 두 처리구 모두 용기묘가 노지묘보다 높은 효율을 나타냈으며, 광합성 능력과 같은 경향을 보였다. 이는 부족한 광도에 따른 스트레스에 대한 저항

력이 용기묘가 노지묘보다 높아 저 광도 조건에서 노지묘보다 용기묘의 광합성 활동이 보다 활발히 일어나는 것으로 해석될 수 있다.

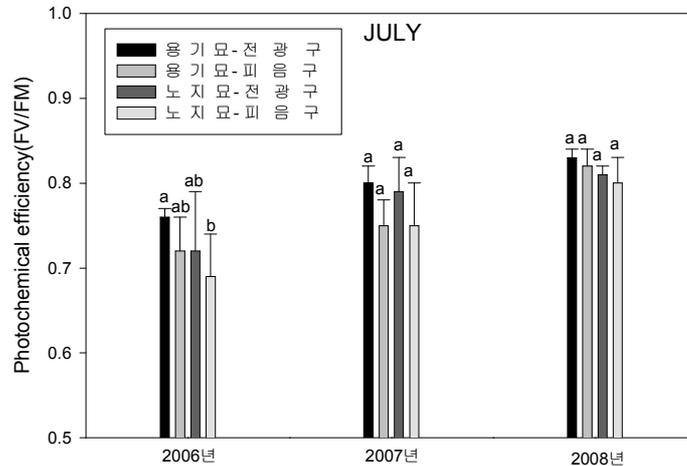


그림 11-9. 피음 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 엽록소 형광반응 특성

식물의 건전한 잎은 일반적으로 0.83 정도의 광화학 효율이 나타나지만, 본 실험에서의 대상 수종들은 이식 후유증 등의 스트레스로 인해 광화학 효율이 건전 잎 수준에는 못 미쳤다. 그러나 시간이 지날수록 수종별로 적정 광 조건에 적응하여 스트레스가 감소하면서 광화학 효율이 높아졌다. 광화학 효율은 광 스트레스에 대한 중요한 지표로서, 광합성 능력과 밀접한 관계가 있으며, 서로 비례 관계를 나타낸다. 본 실험의 결과에서도 피음 처리에 대한 광화학 효율이 높은 처리구는 상대적으로 좋은 광합성 능력을 나타냈다. 이는 광화학 효율이 광합성 특성에 영향을 주는 여러 가지 요인 중의 하나로서, 그림 11-9에서는 피음 처리에 따른 각 수종별 엽록소 형광 반응 특성을 보여주고 있다.

다) 엽록소 함량 분석

표 11-9는 피음 처리별로 상수리나무 용기묘와 노지묘의 총 엽록소 함량, 엽록소 a, b의 함량 및 엽록소 a/b율을 연차별로 보여주고 있다.

상수리나무의 총 엽록소 함량은 연차별 차이는 있지만 전광구보다 피음구에서 용기묘는 $0.5 \sim 0.8 \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 노지묘는 $0.3 \sim 0.5 \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 안팎 높은 값을 보였으며, 엽록소

a와 b 각각의 함량도 같은 경향을 보였다. 이는 상수리나무가 광량이 부족한 광 환경에 적응하면서 정상적으로 광합성을 지속하기위해 광 에너지를 가능한 많이 확보하는 방법으로 엽록소 함량을 높게 유지할 필요가 있기 때문이다. 일반적으로 피음 수준이 높아지면서 엽록소 b의 함량이 엽록소 a의 함량에 비해 상대적으로 더 크게 증가하며, 이 때문에 피음 강도가 강해지면서 엽록소 a/b율이 감소하는 경향을 보인다. 그러나 본 연구의 결과에서는 엽록소 a/b율이 2007년 노지묘와 2008년 용기묘의 결과를 제외하고는 상반되는 결과를 보였다.

표 11-9. 피음 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 엽록소 함량

년 도	구 분	피음처리	엽록소 함량 (mg·g ⁻¹ ·fresh weight)			엽록소 a/b
			엽록소 a	엽록소 b	총 엽록소	
2006년	용기묘	전광구	1.09±0.18 ^a	0.62±0.10 ^b	1.71±0.28 ^b	1.76±0.13 ^b
		피음구	1.64±0.16 ^{ab}	0.92±0.14 ^a	2.56±0.30 ^a	1.78±0.09 ^b
	노지묘	전광구	0.83±0.13 ^b	0.52±0.14 ^b	1.35±0.25 ^b	1.62±0.28 ^{ab}
		피음구	1.10±0.29 ^a	0.54±0.13 ^b	1.64±0.41 ^b	2.01±0.09 ^a
2007년	용기묘	전광구	1.06±0.16 ^a	0.78±0.12 ^b	1.83±0.28 ^{ab}	1.36±0.02 ^a
		피음구	1.26±0.49 ^{ab}	0.87±0.17 ^{ab}	2.13±0.64 ^a	1.41±0.32 ^a
	노지묘	전광구	0.87±0.22 ^b	0.66±0.12 ^b	1.53±0.32 ^{ab}	1.32±0.21 ^a
		피음구	1.04±0.25 ^a	0.80±0.04 ^b	1.83±0.25 ^{ab}	1.30±0.32 ^a
2008년	용기묘	전광구	2.28±0.32 ^a	1.64±0.75 ^a	3.92±1.05 ^b	1.52±0.46 ^a
		피음구	2.47±0.07 ^a	2.03±0.13 ^a	4.49±0.19 ^{ab}	1.22±0.05 ^{ab}
	노지묘	전광구	2.15±0.62 ^a	1.71±0.57 ^a	3.85±1.17 ^b	1.27±0.13 ^{ab}
		피음구	2.48±0.01 ^a	1.92±0.17 ^a	4.40±0.17 ^{ab}	1.30±0.12 ^{ab}

상수리나무 용기묘는 전광구나 피음구 다같이 실험 연차가 증가할수록 총 엽록소 함량이 노지묘에 비해 높게 유지되었다. 이와 함께 용기묘의 광합성 활동이 활발해지고, 생육 또한 노지묘에 비해 더 양호한 모습을 보이는 것으로 판단된다.

이상의 결과를 종합해 보면 상수리나무는 광 환경이 양호한 곳에서 생육 및 생리 활동이 활발해지며, 부족한 광 환경에서 광합성 활동을 유지하기 위해 엽록소 함량이 증가되는 적응 능력은 노지묘보다 용기묘가 더 우수하다는 것을 알 수 있었다.

라) 생장 특성

그림 11-10은 피음 처리에 따른 상수리나무의 용기묘와 노지묘의 생장 및 상대생장률을 나타낸 것이다.

상수리나무 용기묘와 노지묘의 근원경과 묘고의 실제 생장치는 전광구가 피음구

보다 높게 나타났다. 상대생장률 또한 유의적 차이를 보이면서 같은 경향을 보였다. 전광구에서 근원경의 상대생장률은 용기묘와 노지묘 모두 실험 1년차인 2006년부터 2007년, 2008년으로 갈수록 높은 상대생장률을 보였으며, 묘고의 상대생장률에서도 같은 경향을 나타냈다. 피음구에서도 시간이 지날수록 근원경과 묘고의 상대생장률이 증가하였지만 그 증가율은 전광구에 비해 낮았다. 전체적으로 상수리나무는 용기묘와 노지묘 모두 전광 조건에서 우수한 근원경과 묘고 성장을 나타낸 것이다.

전광구와 피음구 모두, 용기묘의 근원경과 묘고의 실제 성장치가 노지묘보다 낮았는데 이는 식재 초기에 용기묘의 근원경과 묘고의 규격이 노지묘보다 작았기 때문이라 생각된다. 그러나 상대생장률은 두 처리구 모두 용기묘의 성장률이 80~190% 이상 높았으며, 이는 광합성 특성에서와 같은 경향을 보인 것으로 생각할 수 있다. 전반적으로 상수리나무는 동일한 광도 조건에서는 용기묘의 광합성 능력이 노지묘 보다 우수하기 때문에 근원경과 묘고의 상대생장률 또한 높은 값을 나타낸 것으로 판단할 수 있다.

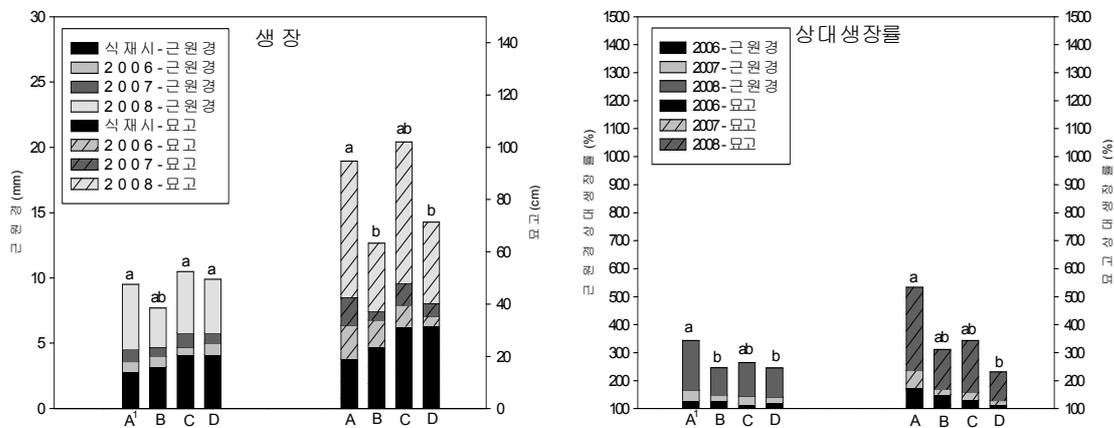


그림 11-10. 피음 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 근원경 및 묘고의 생장(좌)과 상대생장률(우)

1; A: 용기묘-full sun, B: 용기묘-40% of full sun, C: 노지묘-full sun, D: 노지묘-40% of full sun

상수리나무의 잎, 줄기, 뿌리 각각의 물질생산량은 용기묘와 노지묘 모두 전광구가 피음구보다 많은 것으로 조사되었으며 총 물질생산량에 있어서도 전광처리구가 약 42~63g 높은 값을 보였다. 또한 전광구와 피음구 모두 용기묘와 노지묘의 총 물질생산량은 40g 이상의 차이를 보이면서 용기묘가 높은 값을 기록했다. T/R율은

전체적으로 불규칙한 경향을 보였다.(표 11-10).

광량 감소와 함께 총 물질생산량과 각 부위별 물질생산량은 함께 감소하였지만 그 영향은 묘목의 부위별로 다르게 작용하는 모습을 보였다.

근원경과 묘고의 실제 성장치는 노지묘가 용기묘보다 높았지만 용기묘는 노지묘보다 많은 물질생산량을 보였다. 이는 묘목의 규격 자체에서는 노지묘의 생장이 우수하였지만, 질적인 면에서는 용기묘의 생장이 우수하였기 때문이라 판단된다

표 11-10. 피음 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 물질생산량과 T/R율

구 분	피음처리	건중량(g)				T/R율
		잎	줄기	뿌리	계	
용기묘	전광구	30.90±16.91 ^a	73.23±9.03 ^a	66.33±24.05 ^a	170.47±42.65 ^a	1.65±0.46 ^{ab}
	피음구	16.90±5.55 ^b	41.57±12.40 ^{ab}	48.80±17.08 ^{ab}	107.27±34.97 ^b	1.21±0.06 ^b
노지묘	전광구	19.23±0.85 ^b	52.23±12.63 ^{ab}	55.93±18.52 ^a	127.40±30.23 ^{ab}	1.33±0.27 ^b
	피음구	15.13±3.62 ^b	38.37±5.66 ^{ab}	31.63±12.87 ^b	85.13±18.68 ^b	1.90±0.78 ^a

피음 처리 실시 후 3년간 성장한 조사 대상 수종의 건중량과 엽면적을 이용하여 specific leaf area(SLA), leaf area ratio(LAR), leaf weight ratio(LWR)를 구하였다 (표 11-11).

엽면적은 용기묘와 노지묘 모두 전광구가 높은 값을 보였지만, 엽면적비(SLA)는 피음구가 높았다. 엽면적율(LAR)과 엽건중비(LWR)는 처리별 차이를 보이지 않았다.

표 11-11. 피음 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 엽형특성

구 분	피음처리	엽면적 (cm ²)	엽면적비 (cm ² · g ⁻¹)	엽면적율 (cm ² · g ⁻¹)	엽건중비 (g · g ⁻¹)
용기묘	전광구	4006.03±2242.78 ^a	129.08±14.08 ^{ab}	22.39±6.87 ^a	0.17±0.05 ^a
	피음구	2413.42±891.90 ^{ab}	142.21±13.20 ^a	22.34±1.42 ^a	0.16±0.01 ^a
노지묘	전광구	2143.59±522.16 ^{ab}	110.81±22.68 ^b	17.18±4.85 ^a	0.16±0.03 ^a
	피음구	1666.77±351.33 ^b	111.52±14.46 ^b	19.91±4.03 ^a	0.18±0.06 ^a

일반적으로 피음 처리에 의해 광량이 감소할수록 엽면적비는 증가하는 경향이 있다. 본 실험에서도 피음구가 유의적인 차이를 보이면서 전광구보다 높은 값을 보였다. 엽 중량당 엽면적은 피음구가 높은 값을 보이지만, 묘목에 달린 전체 잎의 엽면적은 전광구에서 높은 값을 보였다. 즉, 부족한 광 조건에서는 광합성 활동을 위해 단위 중량당 잎의 면적을 넓히지만 성장 자체가 좋지 못하기 때문에 피음구에서 전체 엽면적은 낮은 값을 보이는 것이다. 또한 부족한 광을 가능한한 많이 흡수하기 위해서 수광면적을 넓히는 방법으로 엽 면적은 커지며, 엽두께는 감소하는 경향을 보인다.

2) 수분 처리에 따른 생리 및 성장 특성

가) 광합성 특성

그림 11-11. 수분 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 광-광합성 곡선
수분 처리별로 상수리나무 용기묘와 노지묘의 광도별 광합성 속도를 측정하여 그 측정치를 이용하여 광-광합성곡선을 작성하고, 이 곡선에서 순양자수율(apparent quantum yield), 광보상점, 광포화점 및 이때의 광합성 능력(photosynthetic capacity) 등을 산출하였다(표 11-12).

상수리나무 용기묘와 노지묘 모두 건조구보다 습윤구에서 대부분 높은 광포화점, 광합성 능력 및 순양자수율을 나타냈다. 반면 광보상점은 건조구에서 높은 값을 보였다. 수분은 수목의 성장에 많은 영향을 미치는 인자로 건조구에 비해 습윤구에서는 생리적인 대사 활동이 활발해져서 광합성 활동 또한 활발한 것으로 보이며, 저광도에서 먼저 광합성 활동을 시작할 수 있기 때문에 광보상점도 낮은 것으로 판단된다.

두 처리구 모두 상수리나무 용기묘가 노지묘에 비해 더 높은 광합성 능력을 보였으며 특히, 상대적으로 수분함량이 낮은 건조 처리구에서 용기묘가 노지묘보다 높은 광합성 능력을 나타냈다. 이는 용기묘가 노지묘에 비해 비교적 수분 스트레스에 대한 저항력이 크기 때문에, 수분 환경이 좋지 못한 조립지에서 식재된 용기묘의 활착 및 생장이 노지묘보다 양호할 것으로 예상된다.

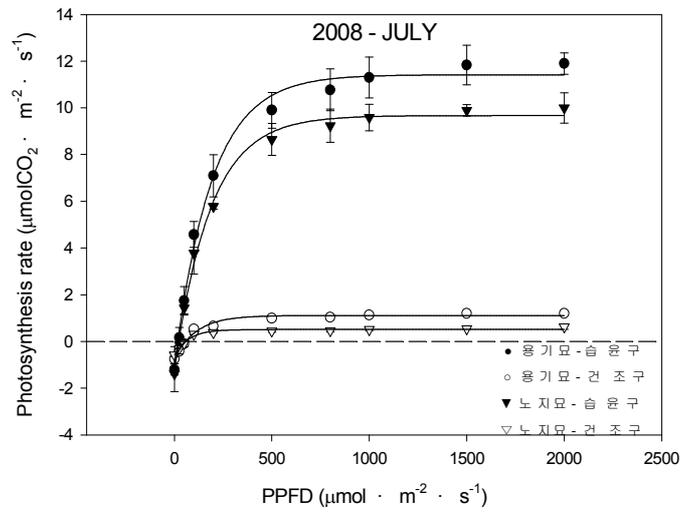
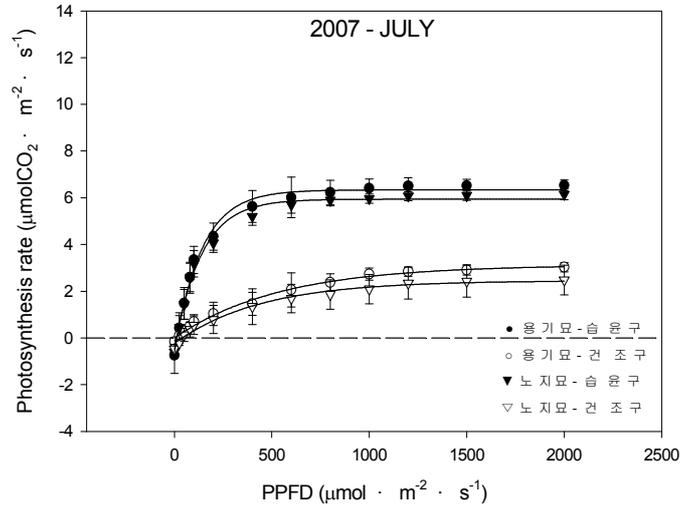
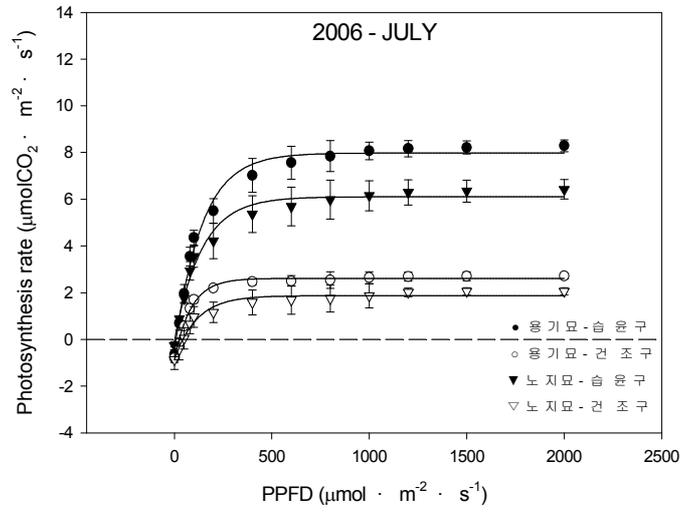


그림 11-11. 수분 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 광-광합성 곡선

비교적 저광도 조건에서 광합성 능력의 지표가 되는 순양자수율은 광합성 능력과 같이 상수리나무 용기묘와 노지묘 모두 습윤구가 건조구에 비해 높은 값을 나타냈다. 또한 습윤구와 건조구 모두 상수리나무 용기묘는 노지묘에 비해 높은 순양자수율을 보였다. 이는 광합성 능력의 결과와 같은 경향을 보인 것으로 높은 광화학계 활성화에 의해서 상대적으로 높은 광합성 능력이 나타나는 것으로 판단된다.

표 11-12. 수분 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 광합성 특성

구 분	수분처리	광보상점 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)			광포화점 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)			광합성 능력 ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)			순 양자수율 ($\text{mmol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$)		
		2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008
용기묘	습윤구	11.8	16.0	21.0	687	664	906	8.0	6.3	11.4	50.6	40.5	58.2
	건조구	30.0	16.6	58.4	304	1718	335	2.6	3.0	1.1	25.4	8.3	12.8
노지묘	습윤구	4.3	14.1	26.0	679	703	906	6.1	5.9	9.7	37.9	38.1	52.1
	건조구	47.0	44.1	62.4	390	1554	179	1.8	2.4	0.5	18.6	10.2	8.7

나) 엽록소 형광 반응 특성

상수리나무 용기묘와 노지묘의 엽록소 형광 반응 특성을 수분처리별로 조사하여 수분 스트레스에 대한 수목의 생리적 특성을 비교 분석 하였다(그림 11-12).

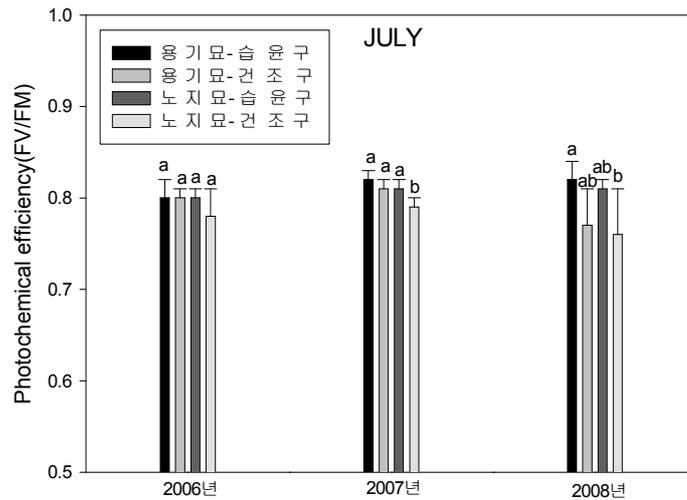


그림 11-12. 수분 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 엽록소 형광반응 특성

수목의 광화학 반응에 대한 순양자수율의 최대치(F_v/F_m)인 광화학 효율은 상수리 나무 용기묘와 노지묘 모두 습윤구가 건조구보다 높은 값을 보였다. 이는 광합성 능력과 같은 경향을 보인 것으로 엽록소 형광반응과 광합성 능력은 서로 비례관계에 있는 것으로 판단된다.

수분 처리별 광화학 효율은 두 처리구 모두 용기묘가 노지묘보다 높은 효율을 나타냈으며, 광합성 능력과 같은 경향을 보였다. 수분이 부족한 건조구에서는 용기묘와 노지묘의 광화학 효율의 차이가 습윤 처리구에서 비해 크게 나타났다. 이 때문에 불량한 수분 환경에서 용기묘의 수분 스트레스 저항성이 노지묘보다 우수하여, 수분이 부족한 척박한 조림지에서 용기묘 조림이 노지묘보다 높은 활착과 생장에 의해 보다 양호한 조림 성과를 나타낼 것으로 판단된다.

수분이 부족한 건조구에서는 실험 연차가 지날수록 광화학 효율이 점점 낮아지는 경향을 보였다. 이는 수분 스트레스에 대한 반응이 시간이 지날수록 커지는 것을 보여주는 것이다. 이와달리 습윤구에서는 광화학 효율이 0.80 정도를 계속 유지하는 것을 볼 수 있다.

광화학 효율은 광합성 능력과 밀접한 관계가 있으며, 본 실험의 결과에서도 광화학 효율이 높은 처리구는 상대적으로 좋은 광합성 능력을 나타냈으며, 피음 처리에 따른 결과와 유사한 경향을 보였다.

다) 엽록소 함량 분석

표 11-13은 수분 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 총 엽록소 함량, 엽록소 a, b의 함량 및 엽록소 a/b율을 연차별로 보여주고 있다.

상수리나무 용기묘와 노지묘 모두 총 엽록소 함량은 습윤구보다 건조구에서 높은 값을 보였으며, 엽록소 a와 b 각각의 함량도 같은 경향을 보였다. 이는 부족한 수분 조건을 극복하기 위해 엽록소 함량을 증가시키는 것으로 판단된다.

엽록소 a/b율은 대부분 습윤구보다 건조구에서 낮은 값을 보였다. 이는 수분 부족에 의한 엽록소 함량의 증가가 엽록소 a에 비해 엽록소 b의 함량이 높았기 때문이라 판단되며, 피음 처리의 결과와 같이 수분 처리 또한 생육 환경 조건이 불량해지면 총 엽록소 함량의 증가와 함께 엽록소 b의 비율이 높아지는 것을 볼 수 있다.

습윤구와 건조구 모두 용기묘의 총 엽록소 함량 및 엽록소 a와 b의 함량이 노지묘보다 높은 값을 기록했다.

표 11-13. 수분 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 엽록소 함량

년 도	구 분	수분처리	엽록소 함량 (mg·g ⁻¹ ·fresh weight)			엽록소 a/b
			엽록소 a	엽록소 b	총 엽록소	
2006년	용기묘	습윤구	2.48±0.05 ^a	1.65±0.17 ^a	4.12±0.22 ^a	1.51±0.13 ^a
		건조구	2.47±0.02 ^a	1.82±0.35 ^a	4.29±0.37 ^a	1.39±0.25 ^a
	노지묘	습윤구	2.40±0.04 ^b	1.62±0.57 ^a	4.02±0.58 ^a	1.59±0.47 ^a
		건조구	2.45±0.03 ^a	1.76±0.39 ^a	4.21±0.41 ^a	1.43±0.30 ^a
2007년	용기묘	습윤구	2.03±0.25 ^a	1.14±0.09 ^b	3.17±0.33 ^{ab}	1.78±0.10 ^a
		건조구	2.26±0.17 ^a	1.43±0.16 ^a	3.69±0.33 ^a	1.59±0.07 ^b
	노지묘	습윤구	1.80±0.21 ^a	1.07±0.08 ^b	2.87±0.27 ^b	1.69±0.14 ^{ab}
		건조구	1.88±0.33 ^a	1.22±0.19 ^{ab}	3.10±0.52 ^{ab}	1.54±0.03 ^b
2008년	용기묘	습윤구	2.17±0.28 ^{ab}	1.74±0.26 ^a	3.91±0.53 ^b	1.25±0.09 ^a
		건조구	2.47±0.07 ^a	2.03±0.13 ^a	4.49±0.19 ^a	1.22±0.05 ^a
	노지묘	습윤구	2.12±0.17 ^{ab}	1.76±0.31 ^a	3.87±0.47 ^b	1.22±0.14 ^a
		건조구	2.48±0.01 ^a	1.92±0.17 ^a	4.40±0.17 ^a	1.30±0.12 ^a

라) 성장 특성

그림 11-13은 수분 처리에 따른 상수리나무의 용기묘와 노지묘의 성장 및 상대생장률을 나타낸 것이다.

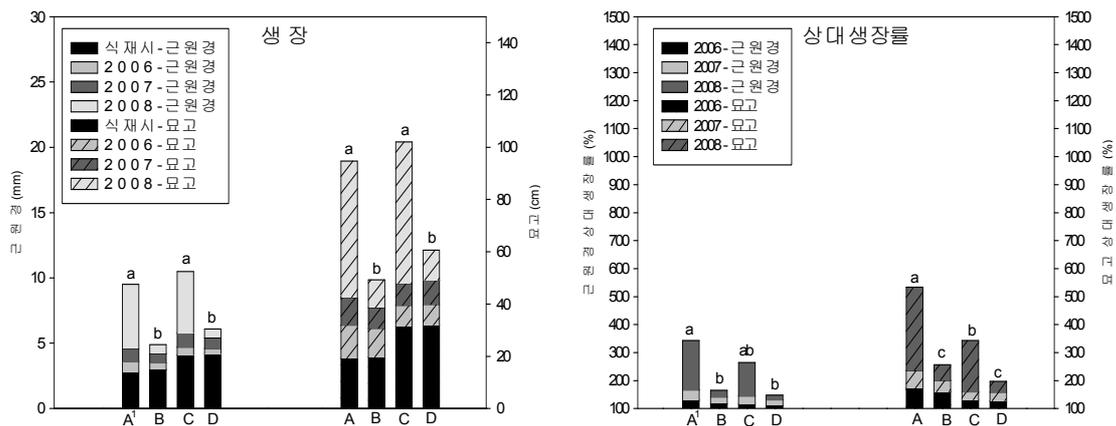


그림 11-13. 수분 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘 근원경 및 묘고의 성장 (좌)과 상대생장률(우)

1; A: 용기묘-습윤구, B: 용기묘-건조구, C: 노지묘-습윤구, D: 노지묘-건조구

수분 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 근원경과 묘고의 실제 성장치는 습윤구가 건조구보다 약 2배 이상 높은 값을 보였다. 상대생장률 또한 유의적 차이를 보이면서 같은 경향을 보였다. 습윤구에서 근원경의 상대 성장률은 용기묘와 노지묘 모두 실험 1년차인 2006년보다 시간이 지날수록 높은 상대생장률을 보였으며, 묘고의 상대생장률에서도 같은 경향을 나타냈다. 건조구에서는 시간이 지날수록 근원경과 묘고의 상대생장률이 증가하였지만 그 증가율은 습윤구에 비해 낮았다. 이는 수분 부족이 상수리나무의 성장에 미치는 영향을 보여주는 것으로, 상수리나무는 용기묘와 노지묘 모두 습윤구에서 우수한 근원경과 묘고 성장을 나타낸 것이다.

습윤구와 건조구의 두 처리구 모두 용기묘의 근원경과 묘고의 실제 성장치가 노지묘보다 낮았다. 이는 식재 당시 용기묘의 근원경과 묘고의 규격이 노지묘보다 매우 낮았기 때문이라 생각된다. 그러나 상대생장률은 두 처리구 모두 용기묘의 성장률이 높게 나타났으며, 이는 광합성 특성에서와 같은 경향을 보인 것으로 상수리나무는 동일한 수분 조건에서는 용기묘의 광합성 능력이 노지묘보다 우수하기 때문에 안정적으로 활착되어 생리적인 대사 활동이 활발해짐에 따라 근원경과 묘고의 상대 성장률도 노지묘보다 높아진 것으로 사료된다. 특히 적정 수분 조건인 습윤구에서는 그 차이가 건조구 보다 더 크게 벌어졌다.

표 11-14. 수분 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 물질생산량과 T/R율

구 분	수분처리	건중량(g)				T/R율
		잎	줄기	뿌리	계	
용기묘	습윤구	30.90±16.91 ^a	73.23±9.03 ^a	66.33±24.05 ^a	170.47±42.65 ^a	1.65±0.46 ^{ab}
	건조구	10.93±1.02 ^b	19.03±3.01 ^c	18.93±3.96 ^b	48.90±6.24 ^c	1.61±0.19 ^{ab}
노지묘	습윤구	19.23±0.85 ^{ab}	52.23±12.63 ^b	55.93±18.52 ^a	127.40±30.23 ^b	1.33±0.27 ^b
	건조구	10.23±0.15 ^b	19.17±5.96 ^c	13.47±1.82 ^b	42.87±7.60 ^c	2.17±0.16 ^a

상수리나무의 잎, 줄기, 뿌리 각각의 물질생산량은 용기묘와 노지묘 모두 습윤구가 건조구보다 높은 값을 기록했다. 총 물질생산량에 있어서도 습윤구가 건조구보다 약 3배 이상 많았다. 습윤구에서는 용기묘와 노지묘의 총 물질생산량이 40g 이상의 차이를 보이면서 용기묘가 노지묘보다 많았다. T/R율은 불규칙한 경향을 보였

다.(표 11-14).

적정 수분 조건에서 생육한 상수리나무 용기묘는 노지묘보다 우수한 성장을 보여 주었으며, 수분 조건이 열악한 건조구에서도 큰 차이는 나타나지 않았지만 용기묘의 물질생산 능력이 다소 높은 것을 알 수 있었다. 또한 근원경과 묘고의 실제 생장치는 노지묘가 용기묘보다 높았지만, 피음 처리 시험에서의 물질생산량에 대한 결과와 같이 용기묘가 노지묘보다 많은 물질생산량을 보였다. 이는 묘목의 규격 자체에서는 노지묘의 생장이 우수하였지만, 질적인 면에서는 용기묘의 생장이 우수하였기 때문이라 판단된다.

엽형 특성에서 엽면적과 엽면적비(SLA)는 용기묘와 노지묘 모두 습윤구에서 건조구보다 높았다. 또한 같은 시비 처리내에서는 엽면적과 엽면적비(SLA)는 용기묘가 노지묘에 비해 높은 값을 보였다. 그러나 엽면적율(LAR)과 엽건중비(LWR)는 처리별 수종별로 유의적인 차이를 보이지 않았다(표 11-15).

표 11-15. 수분 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 엽형특성

구 분	수분처리	엽면적 (cm ²)	엽면적비 (cm ² · g ⁻¹)	엽면적율 (cm ² · g ⁻¹)	엽건중비 (g · g ⁻¹)
용기묘	습윤구	4006.03±2242.78 ^a	129.08±14.08 ^a	22.39±6.87 ^a	0.17±0.05 ^a
	건조구	969.40±52.66 ^b	89.29±11.18 ^{ab}	19.94±1.39 ^a	0.23±0.04 ^a
노지묘	습윤구	2143.59±522.16 ^{ab}	110.81±22.68 ^{ab}	17.18±4.85 ^a	0.16±0.03 ^a
	건조구	776.79±367.54 ^b	75.88±36.03 ^b	18.79±9.51 ^a	0.24±0.05 ^a

적정 수분 조건인 습윤구에서는 광합성 활동을 위해 많은 잎이 발달되었으며, 건조구에서는 수분부족에 적응하기 위한 방법으로 잎의 발달이 위축됨으로써 광합성 활동이 습윤구에 비해 활발하지 못한 것으로 생각되며, 이 때문에 묘목의 생리 및 성장 상태가 불량한 것으로 판단된다.

3) 시비 처리에 따른 생리 및 성장 특성

가) 광합성 특성

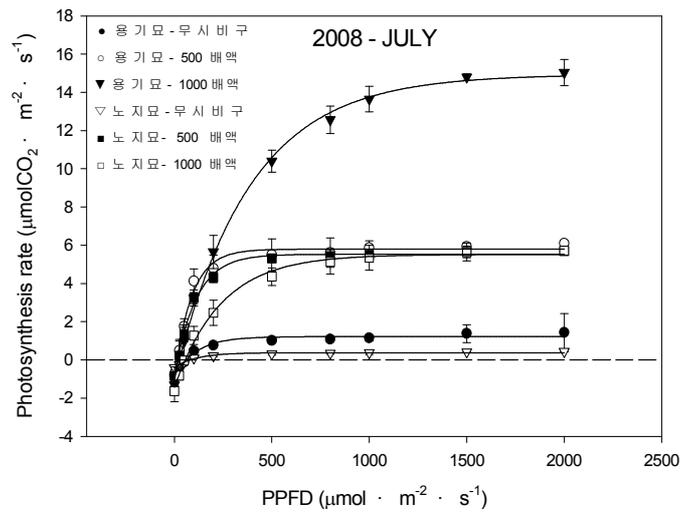
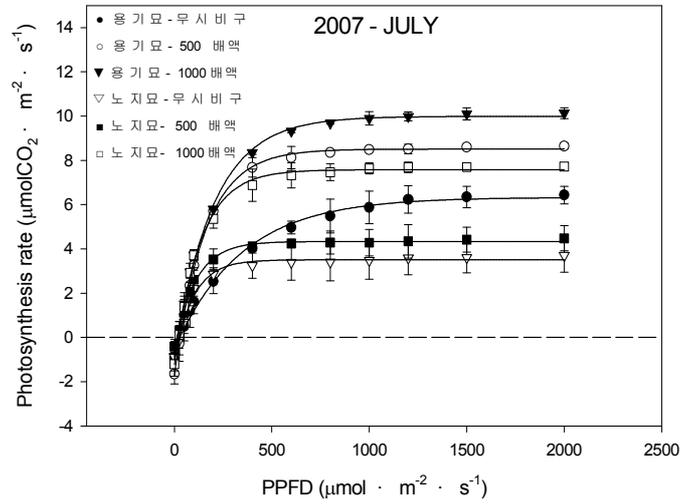
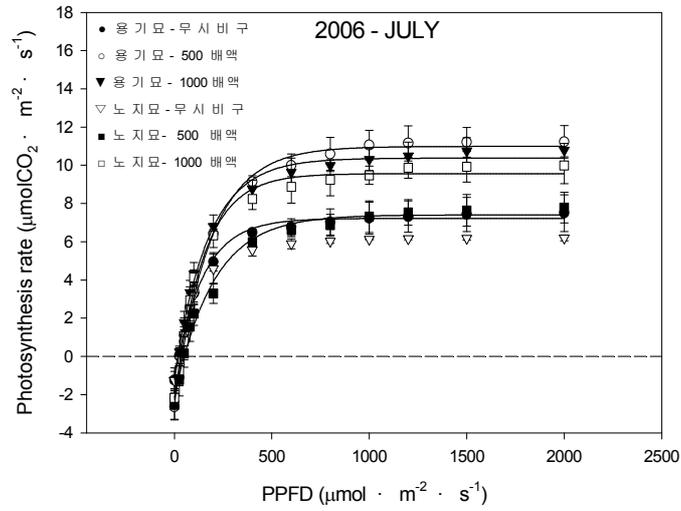


그림 11-14. 시비 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 광-광합성 곡선

시비 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 광도별 광합성 속도를 측정하여 그 측정치를 이용하여 광-광합성곡선을 작성하고, 이 곡선에서 순양자수율(apparent quantum yield), 광보상점, 광포화점 및 이때의 광합성 능력(photosynthetic capacity) 등을 산출하여 그 결과를 그림 11-14와 표 11-16에 제시하였다.

시비 처리에 따른 광합성 능력의 차이에서 상수리나무 용기묘와 노지묘 모두 무시비구보다 시비구가 우수한 결과를 보였다. 특히, 시비구에서도 1,000배액의 시비구에서 가장 높은 광합성 능력을 보였다. 또한 무시비구는 양료 부족으로, 500배액 시비구는 과량 시비에 의한 양료 과다의 영향으로 해가 지날수록 광합성 능력이 떨어지는 것을 알 수 있었다. 이와같이 상수리나무는 양료의 영향을 많이 받으며, 과량 시비시에는 오히려 생장의 저해를 가져올 수 있을 것이라 판단된다. 따라서 상수리나무 양묘 또는 조립과정에서 적정 양료 요구량에 대한 정확한 판단을 위해 다양한 실험을 하여 보다 정확한 시비 관리가 필요할 것으로 판단된다.

본 시험에서는 상수리나무 용기묘가 1,000배액 시비구에서 실험 연도가 지날수록 다른 처리구에 비해 높은 광합성 능력을 나타내고 있지만 보다 정확한 적정 시비량 결정을 위해서는 여러 가지 조건을 고려한 다양한 시비실험이 반복될 필요가 있다.

광보상점은 용기묘와 노지묘 모두 연차별, 처리별로 이는 있지만 무시비구가 시비구들보다 높은 값을 나타냈다. 이는 부족한 양료 조건에서 묘목의 광합성 활성이 늦게 시작되기 때문으로 판단된다. 순양자수율은 시비구가 높은 값을 보였으며, 이는 적정 양료 조건에서는 광화학계 활성이 무시비구보다 시비구에서 높은 것을 보여주는 것이다. 이와같은 결과는 광합성 능력의 결과와 같은 경향을 보인 것으로 높은 광화학계 활성에 의해서 상대적으로 높은 광합성 능력과 활발한 생육 활동을 나타내는 것으로 판단된다.

무시비구와 시비구에서 상수리나무 용기묘가 노지묘에 비해 전반적으로 더 높은 광합성 능력을 보였는데 부족한 양료 조건에서도 용기묘의 광합성 능력은 노지묘보다 우수하여 양료가 충분한 조건에서는 광합성 능력의 차이가 더 커지는 것을 볼 수 있었다. 이는 조립 시 시비 처리에 따라 활착 및 생육 상황이 달라질 수 있는 것을 보여주는 것으로, 특히 용기묘 조립에서는 시비효과가 대단히 높을 것을 확인할 수 있어 수종 및 묘령에 따른 적정 요구량의 시비는 용기묘 조립 성과에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다.

표 11-16. 시비 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 광합성 특성

구 분	시비처리	광보상점 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)			광포화점 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)			광합성 능력 ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)			순 양자수율 ($\text{mmol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$)		
		2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008
용기묘	무시비구	25.7	33.9	61.6	570	1453	320	7.2	6.3	1.2	45.6	25.5	13
	500배액	41.4	31.9	15.1	914	757	382	11.0	8.5	5.8	61.8	48.7	48.9
	1000배액	20.9	19.2	29.2	804	1023	1632	10.4	10.0	14.8	55.8	47	45.7
노지묘	무시비구	27.2	29.3	77.8	484	398	289	6.1	3.5	0.4	45.3	30.3	4.9
	500배액	50.3	14.0	20.0	984	453	500	7.4	4.3	5.5	48.5	30.6	40.9
	1000배액	35.5	23.2	54.1	718	632	1148	9.6	7.6	5.5	63.9	49.6	29

나) 엽록소 형광 반응 특성

광화학 반응에 대한 순양자수율의 최대치(F_v/F_m)인 광화학 효율은 상수리나무 용기묘와 노지묘 모두 시비구가 무시비구보다 높은 값을 보였다. 특히, 1,000배액 시비구에서 가장 높은 광화학 효율을 나타냈다(그림 11-15). 광합성 능력과 같은 경향을 보인 것으로 엽록소 형광반응과 광합성 능력은 서로 비례관계에 있는 것으로 보여 주는 것이다. 그러나 시간이 지남에 따라 처리구 간의 차이는 점점 작아지는 경향을 나타냈다. 이는 모든 처리구에서 시간이 지남에 따라 이식 후유증 등의 스트레스를 벗어나 안정적으로 활착하여 생육 활동을 하기 때문인 것으로 판단된다.

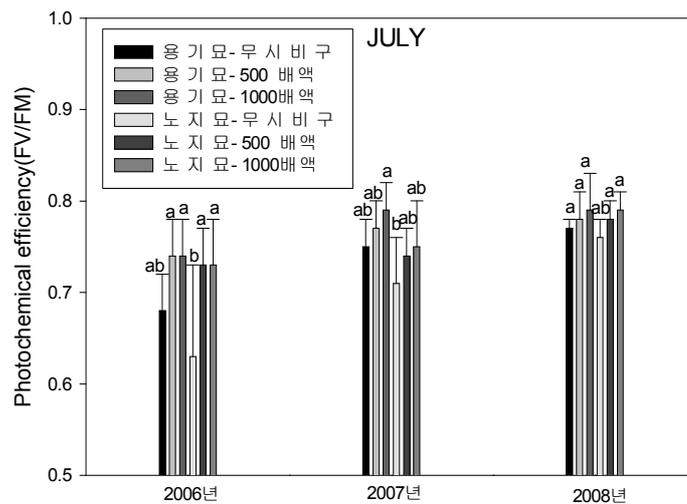


그림 11-15. 시비 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 엽록소 형광반응 특성

시비 처리별 광화학 효율은 세 처리구 모두 용기묘가 노지묘보다 높은 광화학 효율을 나타냈다. 특히, 양료가 부족한 무시비구에서 가장 큰 차이를 보였다. 그러나 시비구에서는 연도가 지나면서 용기묘와 노지묘의 광화학 효율의 차이가 점점 적어졌다. 이는 적정 시비 조건에서는 용기묘와 노지묘의 생육 활동이 크게 차이 나지 않는 것으로 판단되지만, 양료가 부족할 경우에는 용기묘의 적응성이 노지묘보다 높다는 것으로 해석할 수 있다.

다) 엽록소 함량 분석

표 11-17은 시비 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 총 엽록소 함량, 엽록소 a, b의 함량 및 엽록소 a/b율을 연차별로 보여주고 있다.

표 11-17. 시비 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 엽록소 함량

년 도	구분	시비처리	엽록소 함량 (mg·g ⁻¹ ·fresh weight)			엽록소 a/b
			엽록소 a	엽록소 b	총 엽록소	
2006년	용기묘	무시비구	0.84±0.26 ^b	0.55±0.15 ^b	1.39±0.40 ^b	1.52±0.12 ^b
		500배액	1.50±0.53 ^{ab}	0.78±0.17 ^{ab}	2.28±0.69 ^{ab}	1.88±0.26 ^b
		1000배액	2.05±0.34 ^a	1.08±0.40 ^a	3.13±0.73 ^a	1.99±0.36 ^{ab}
	노지묘	무시비구	0.60±0.17 ^b	0.41±0.07 ^b	1.01±0.18 ^b	1.48±0.50 ^b
		500배액	1.09±0.37 ^b	0.59±0.23 ^b	1.68±0.58 ^{ab}	1.94±0.53 ^{ab}
		1000배액	1.00±0.17 ^b	0.59±0.09 ^b	1.58±0.25 ^{ab}	1.70±0.11 ^b
2007년	용기묘	무시비구	1.06±0.16 ^b	0.78±0.12 ^b	1.83±0.28 ^b	1.36±0.02 ^b
		500배액	1.59±0.22 ^{ab}	0.85±0.08 ^b	2.44±0.29 ^{ab}	1.88±0.12 ^{ab}
		1000배액	2.15±0.12 ^a	1.10±0.05 ^{ab}	3.24±0.16 ^a	1.96±0.07 ^{ab}
	노지묘	무시비구	0.87±0.22 ^b	0.66±0.12 ^b	1.53±0.32 ^b	1.32±0.21 ^b
		500배액	1.48±0.24 ^{ab}	0.74±0.06 ^b	2.23±0.29 ^{ab}	1.99±0.22 ^{ab}
		1000배액	1.77±0.16 ^{ab}	1.09±0.23 ^{ab}	2.86±0.38 ^{ab}	1.65±0.21 ^{ab}
2008년	용기묘	무시비구	1.20±0.31 ^b	1.18±0.08 ^b	2.38±0.39 ^b	1.01±0.21 ^b
		500배액	2.09±0.12 ^a	1.34±0.05 ^{ab}	3.43±0.17 ^a	1.57±0.05 ^{ab}
		1000배액	2.23±0.11 ^a	1.24±0.08 ^b	3.46±0.05 ^a	1.81±0.2 ^{ab1}
	노지묘	무시비구	1.03±0.27 ^b	1.12±0.12 ^b	2.15±0.35 ^b	0.92±0.21 ^b
		500배액	1.54±0.10 ^{ab}	1.15±0.25 ^b	2.68±0.25 ^{ab}	1.39±0.33 ^{ab}
		1000배액	2.02±0.41 ^a	1.15±0.15 ^b	3.17±0.55 ^a	1.76±0.18 ^{ab}

상수리나무 용기묘와 노지묘 모두 총 엽록소 함량은 무시비구보다 시비구에서 높은 값을 보였으며 시비구내에서는 1,000배액 처리구에서 가장 높은 총 엽록소 함량 측정치를 보였다. 엽록소 a와 b의 함량도 같은 경향을 나타냈다. 이는 시비 처리에 따른 적정 양료 조건에 의해 상수리나무의 엽록소 함량이 증가하는 것이며, 이로 인해 시비구에서는 활발한 생육활동이 이루어지는 것이다. 또한 엽록소 a/b율도 무

시비구보다 시비구에서 높은 경향을 보였다. 시비구의 적정 생육 환경에서는 엽록소 b의 증가율 보다는 엽록소 a의 증가율이 높게 나타나기 때문이라 판단된다.

세 처리구 모두 용기묘의 엽록소 함량이 노지묘보다 많았으며, 이는 같은 양료 조건에서 노지묘에 비해 용기묘의 생육 활동이 활발하기 때문으로 해석된다. 특히 생육환경이 비교적 좋지 않은 환경조건에서도 용기묘는 노지묘에 비해 불리한 생육 환경의 영향을 덜 받음으로써 비교적 보다 정상적인 생육 활동을 유지해 나갈 것으로 판단된다.

라) 성장 특성

그림 11-16은 시비 처리에 따른 상수리나무의 용기묘와 노지묘의 성장 및 상대생장률을 나타낸 것이다.

시비 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 근원경과 묘고의 실제 성장치는 무시비구에 비해 500배액 시비구는 약 2배 이상, 1,000배액 시비구는 약 3배 이상 높았다. 상대생장률 또한 유의적 차이를 보이면서 상당한 차이를 보였다. 연간 실제 성장치와 상대생장률은 실험 2년차인 2007년에 가장 높은 값을 보였다.

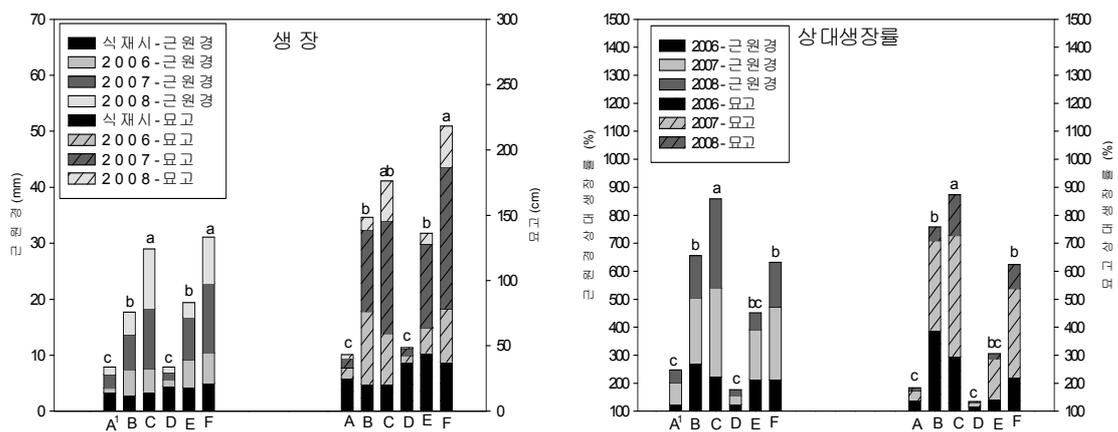


그림 11-16. 시비 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘 근원경 및 묘고의 성장(좌)과 상대생장률(우)

1; A: 용기묘-대조구, B: 용기묘-500배액, C: 용기묘-1000배액, D: 노지묘-대조구, E: 노지묘-500배액, F: 노지묘-1000배액

무시비구와 시비구의 세 처리구 모두 용기묘의 근원경과 묘고의 실제 성장치는 노지묘보다 낮았다. 이는 식재 당시에 용기묘의 근원경과 묘고의 규격이 노지묘보다 상대적으로 작았기 때문이라 생각된다. 그러나 상대생장률은 세 처리구 모두 용기묘의 상대생장률이 높았으며, 이는 광합성 특성에서와 같은 경향을 보인 것으로 상수리나무는 동일한 양료 조건에서는 용기묘의 광합성 능력이 노지묘보다 우수하고 생육 활동이 또한 활발하여 근원경과 묘고의 상대생장률이 높은 값을 보인 것으로 판단된다. 특히 적정 양료 조건인 1,000배액 시비구에서는 그 차이가 가장 크게 나타났다.

상수리나무 용기묘의 잎, 줄기, 뿌리 각각의 물질생산량과 총 물질생산량은 1,000배액 시비구, 500배액 시비구, 무시비구 순으로 많았으며, 특히 1,000배액 시비구는 총 물질생산량이 무시비구보다 용기묘는 약 15배 이상, 노지묘는 약 8배 이상 높았다. T/R율은 시비구가 무시비구보다 높은 값을 보이는데, 이는 충분한 양료 조건에서는 활발한 광합성 활동을 하면서 지하부에 비해 지상부의 생장이 더 활발해짐에 따라 시비구에서 높은 T/R율을 나타낸 것으로 판단된다(표 11-18).

표 11-18. 시비 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 물질생산량과 T/R율

구 분	시비처리	건중량(g)				T/R율
		잎	줄기	뿌리	계	
용기묘	무시비구	7.60±2.98 ^c	16.47±1.80 ^c	52.07±21.00 ^c	76.13±20.22 ^c	0.53±0.28 ^c
	500배액	45.23±23.54 ^b	151.83±40.45 ^b	109.10±89.59 ^{bc}	306.17±152.30 ^{bc}	2.31±0.94 ^b
	1000배액	126.57±85.69 ^a	557.60±251.42 ^a	416.10±189.38 ^a	1100.27±517.97 ^a	1.66±0.27 ^b
노지묘	무시비구	10.30±1.01 ^c	18.37±7.91 ^c	45.60±15.40 ^c	74.27±18.12 ^c	0.67±0.22 ^c
	500배액	55.63±6.74 ^b	172.93±40.17 ^b	63.00±3.38 ^c	291.57±44.98 ^{bc}	3.61±0.49 ^a
	1000배액	62.57±33.38 ^b	342.60±178.34 ^{bc}	225.10±116.15 ^b	630.27±285.11 ^b	1.88±0.34 ^b

용기묘와 노지묘의 총 물질생산량은 1,000배액 시비구를 제외한 나머지 두 처리구에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 1,000배액 시비구는 용기묘의 총 물질생산량이 노지묘보다 약 500g 이상 많았다. 이와같은 적정 양료 조건인 1,000배액 시비구에서는 큰 차이를 보였지만, 지나치게 양료가 부족하거나, 과량의 상태인 무시비구와 500배액 시비구에서는 용기묘와 노지묘의 총 물질생산량의 차이를 나타내지 않았다.

시비 처리 실시 후 3년간 성장한 조사 대상 수종의 건중량과 엽면적을 이용하여

specific leaf area(SLA), leaf area ratio(LAR), leaf weight ratio(LWR)를 구하였다 (표 11-19).

엽형 특성에 있어서 엽면적은 용기묘와 노지묘 모두 시비구에서 무시비구보다 높은 값을 보였으며, 1,000배액 시비구에서 가장 높은 값을 보였다. 엽면적비(SLA)와 엽면적율(LAR)은 시비구에서 높은 값을 나타냈으며, 이는 적정 양료 조건을 지닌 생육 환경에서는 묘목의 활발한 생육 활동을 위해 지상부 특히, 광합성과 가장 밀접하게 연관이 있는 잎의 생장이 좋았기 때문이라 판단된다. 엽건중비(LWR)는 처리별 유의적 차이를 보이지 않았다.

표 11-19. 시비 처리에 따른 상수리나무 용기묘와 노지묘의 엽형특성

구 분	시비처리	엽면적 (cm ²)	엽면적비 (cm ² ·g ⁻¹)	엽면적율 (cm ² ·g ⁻¹)	엽건중비 (g·g ⁻¹)
용기묘	무시비구	398.06±250.23 ^c	55.25±28.53 ^c	4.90±1.84 ^c	0.10±0.04 ^b
	500배액	6439.05±1234.74 ^b	167.50±80.39 ^a	25.01±13.82 ^a	0.15±0.02 ^b
	1000배액	12970.46±8862.73 ^a	102.10±7.53 ^b	11.20±2.57 ^b	0.11±0.03 ^b
노지묘	무시비구	378.46±139.08 ^c	36.28±11.65 ^c	4.97±0.78 ^c	0.14±0.03 ^b
	500배액	4745.31±2958.57 ^{bc}	88.09±59.91 ^c	17.69±14.05 ^{ab}	0.19±0.03 ^a
	1000배액	6760.33±4653.47 ^b	103.37±17.11 ^b	12.21±9.50 ^b	0.11±0.07 ^b

제 12 절 용기묘 조립 적정 시비 기술 개발

1. 목적

조립지의 토양, 수분, 광선, 온도 등의 생육환경과 함께 식재방법, 식재시기, 시비 처리, 하층식생 처리 등의 식재기술은 조립 성과에 큰 영향을 미친다. 특히 각 수종별로 묘령 및 생육상태와 조립지 하층식생의 입지환경에 맞는 적정 시비량 선택 및 시비 기술은 조립성과에 많은 영향을 미친다. 조립 묘목이 활착한 후에 우수한 생장을 지속하여 조기에 하층식생과의 경합을 벗어나기 위해서는 충분한 시비를 통해 양료 공급이 이루어져야 한다. 시비시에는 비료의 특성과 조립지의 토양특성을 정확히 분석해야 하며, 산지 조립에 있어서 추가적인 시비의 어려움을 고려하여 추가적인 시비 없이 지속적인 시비 효과를 얻을 수 있도록 과량시비에 의한 묘목의 피해가 없는 한도 안에서 수종별·규격별로 최대한의 적정 시비량과 시비 방법이 구명되어야 한다.

본 연구에서는 수종별·규격별 용기묘를 대상으로 시비 처리에 따른 생육반응 특성을 조사하여 용기묘 조립과정에서 보다 효율적인 적정 시비량 및 시비 방법을 구명하고자 한다.

2. 조사 내용 및 방법

가. 공시수종 및 조립지 시험구 설치

1) 공시수종

소나무, 상수리나무, 물푸레나무, 산딸나무 및 자작나무 용기묘와 노지묘 등 5수종을 이용하였다.

2) 조립지 시험구 설치

산림생산기술연구소 시험림(경기도 포천), 강원도 홍천 및 전북 진안의 3곳을 대상으로 시험지별로 하층식생이 발달하지 않은 B 지역에 각각 3개 plot을 설치하였으며, plot당 수종별·규격별 20주씩 총 60주의 묘목을 반복 식재하였다. 시험지 임황 및 지황과 토양특성은 다음 표 12-1, 2와 같다.

표 12-1. 시험지 임황 및 지황 개요

지역	plot	방위(°)	표고(m)	경사(°)	사면위치	지형	토심(cm)		토성	토양수분	
							유기물층	A층			
경기도 포천	A ¹	1	172	160	19	하	직선	5	21	양토	적윤
		2	172	160	24	하	직선	2	19	사양토	적윤
		3	174	170	29	상	직선	5	23	양토	약습
	B	1	70	245	36	상	직선	4	29	사양토	적윤
		2	67	240	19	상	직선	2.5	22	사양토	적윤
		3	85	240	19	상	직선	3	28	사토	약건
강원도 홍천	A	1	222	930	16	하	직선	7	20	사양토	습
		2	221	930	18	하	직선	1	7	사양토	습
		3	221	930	17	하	직선	17	30	사양토	습
	B	1	173	950	39	상	직선	4	16	사양토	적윤
		2	172	950	40	상	직선	5	17	사양토	적윤
		3	175	960	39	상	직선	6	20	사토	적윤
전북 진안	A	1	248	410	24	하	직선	2	14	사양토	적윤
		2	200	410	31	하	직선	1.5	8	사양토	적윤
		3	200	410	32	중	직선	0.5	12	사양토	약건
	B	1	243	475	39	상	직선	1	19	사양토	적윤
		2	244	475	40	상	직선	1.5	18	사양토	적윤
		3	246	485	41	상	직선	4	20	사양토	적윤

A¹ : 하층식생이 발달하여 무성한 지역, B: 하층식생이 발달하지 않은 지역

표 12-2. 시험지 토양 특성 결과

구분	pH	Total nitrogen (%)	Organic matter (%)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	EX-Cation (cmol/kg)			토성(%)				C.E.C. (cmol/kg)	
					K ⁺	Ca ²⁺	Mg ⁺	sand	silt	clay	분류		
경기도 포천	A ¹	4.40	0.12	3.44	2.20	0.38	1.10	0.46	30.0	32.5	37.5	식양토	9.44
	B	4.55	0.12	2.51	6.40	0.20	0.18	0.14	40.0	30.0	30.0	식양토	6.88
강원도 홍천	A	5.10	0.39	0.75	2.60	0.44	4.97	0.61	42.5	30.0	27.5	양토	2.88
	B	4.85	0.16	4.98	0.82	0.32	0.52	0.17	40.0	25.0	35.0	식양토	16.00
전북 진안	A	4.60	0.22	5.56	83.2	0.42	0.74	0.23	25.0	35.0	40.0	식양토	16.42
	B	5.10	0.29	7.55	1.38	0.53	2.40	0.54	32.5	32.5	35.0	식양토	19.90

A¹ : 하층식생이 발달하여 무성한 지역, B: 하층식생이 발달하지 않은 지역

나. 시비 처리 및 분석

1) 시비 처리

가) 적정 시비량 및 시비 기술 시험

2006년에 식재된 실험 묘목에 식재당시 무시비, 심층시비 20g 및 표층시비 20g 등의 3가지 처리를 실시하였다. 또한 2007년 이후 식재된 실험 묘목에 있어서는 무시비, 심층시비 20g, 50g, 100g 및 표층시비 20g 등의 5가지 처리를 실시하였다. 시비처리에 사용된 비료는 시중에서 시판되는 복합비료(N:P:K=15:10:10)를 사용하였다. 심층시비는 묘목의 뿌리 끝에서 수직으로 약 10cm 이하에, 표층시비는 묘목의 측방 약 10cm 떨어진 표층에 각각 시비처리를 하였다.

나) 최대 적정시비량 구명을 위한 과량시비 실험

2007년 식재 시에 심층시비 100g, 200g, 300g 등의 3가지 과량 시비를 실시하였으며, 3가지 시비량 처리별로 시비 깊이를 묘목의 뿌리 끝에서 10cm, 20cm, 30cm 등의 3가지 처리로 구분하여 실시하였다.

2) 측정 및 결과 분석

조사 대상 지역에 따라 수종별, 처리별, 규격별로 근원경 및 묘고와 조림묘목의 생리상태(표 9-3)를 식재 시부터 2008년까지 총 2~3년간 반복 조사하여, 연차별 생장과 상대생장률을 분석하였다. 2008년 9월 중순 모든 실험이 끝난 후 묘목을 채취하여 잎, 가지, 뿌리를 구분하여 각각의 건조량을 측정하였다. 건조량 측정결과에 의해 묘목 총 물질생산량과 배분비율 및 T/R율(지상부/지하부)을 계산하였다. 또한 2008년 가을 현재의 처리별 생존율과 생리적인 형질 특성을 조사하였다.



그림 12-1. 용기묘 식재방법

3. 결과 및 고찰

가. 적정 시비량 및 시비 기술 시험

1) 시비 처리에 따른 생존율 및 생리적 형질 평가

가) 생존율

다음은 2006년부터 2008년까지 식재된 묘목에 대해 시비 처리에 따른 조립 묘목의 생존율을 나타낸 표이다(표 12-3, 4, 5).

표 12-3. 시비 처리에 따른 조립 묘목의 생존율(2006년 식재)

지역	처리	생존율(%)			
		상수리나무		소나무	
		용기묘(1-0)	용기묘(1-0)	용기묘(2-0)	노지묘(1-1)
경기도 포천	무시비	100.0	93.3	86.7	100.0
	심층시비 20g	93.3	100.0	86.7	100.0
	표층시비 20g	93.3	93.3	80.0	100.0
강원도 홍천	무시비	60.0	53.3	60.0	33.3
	심층시비 20g	80.0	26.7	53.3	33.3
	표층시비 20g	53.3	73.3	80.0	60.0
전북 진안	무시비	80.0	93.3	100.0	53.3
	심층시비 20g	66.7	60.0	80.0	53.3
	표층시비 20g	86.7	80.0	100.0	60.0

표 12-4. 시비 처리에 따른 조립 묘목의 생존율(2007년 식재)

지역	처리	생존율(%)				
		상수리나무		소나무		
		용기묘(1-0)	노지묘(1-0)	용기묘(1-0)	노지묘(1-0)	
경기도 포천	무시비	88.9	88.9	88.9	100.0	
	심층 시비	20g	88.9	100.0	100.0	88.9
		50g	66.7	100.0	88.9	88.9
		100g	77.8	88.9	88.9	88.9
	표층시비 20g	77.8	88.9	100.0	88.9	
강원도 홍천	무시비	77.8	100.0	66.7	11.1	
	심층 시비	20g	88.9	77.8	55.6	11.1
		50g	77.8	77.8	77.8	0.0
		100g	88.9	77.8	88.9	11.1
	표층시비 20g	66.7	66.7	77.8	0.0	
전북 진안	무시비	44.4	77.8	88.9	44.4	
	심층 시비	20g	22.2	66.7	44.4	44.4
		50g	22.2	44.4	77.8	11.1
		100g	11.1	55.6	77.8	22.2
	표층시비 20g	22.2	66.7	77.8	33.3	

표 12-5. 시비 처리에 따른 조림 묘목의 생존율(2008년 식재)

지역	처리	생존율(%)			
		물푸레나무 용기묘(2-0)	자작나무 용기묘(2-0)	산딸나무 용기묘(2-0)	
경기도 포천	무시비	75.0	100.0	75.0	
	심층 시비	20g	100.0	100.0	50.0
		50g	75.0	100.0	75.0
		100g	75.0	100.0	50.0
	표층시비 20g	100.0	50.0	50.0	

조림묘목의 생존율은 시비 처리간 뚜렷한 차이가 없이 대단히 불규칙하게 나타났다. 이는 시비처리보다 식재당시의 묘목상태나 입지환경, 식재 조건 등이 보다 큰 영향을 미쳤기 때문으로 판단되지만, 조림 후 정상적인 활착이 이루어진 후에는 묘목의 성장에는 시비처리의 영향이 크게 미치는 것으로 판단된다. 또한 본 실험에서 사용된 실험 대상 수종들은 100g 이상의 시비를 실시하여도 과량 시비에 의한 피해가 없을 것으로 예상된다.

나) 생리적 형질 특성

다음은 2006년부터 2008년까지 식재된 묘목의 시비 처리에 따른 조림 묘목의 생리상태를 시비처리별로 나타낸 표이다(표 12-6, 7, 8).

표 12-6. 시비 처리에 따른 조림 묘목의 생리적 형질(2006년 식재)

지역	처리	생리 형질 지수			
		상수리나무	소나무		
		용기묘(1-0)	용기묘(1-0)	용기묘(2-0)	노지묘(1-1)
경기도 포천	무시비	2.2±0.8	1.6±1.2	1.6±1.4	1.1±0.5
	심층시비 20g	1.7±1.1	1.3±0.8	1.6±1.4	1.1±0.5
	표층시비 20g	2.2±1.1	2.0±1.4	1.8±1.7	1.1±0.3
강원도 홍천	무시비	3.9±1.0	4.0±1.1	3.1±1.6	4.4±1.1
	심층시비 20g	3.5±0.7	4.6±0.5	3.8±1.4	4.3±1.1
	표층시비 20g	4.1±1.0	3.7±1.0	3.3±1.1	3.7±1.2
전북 진안	무시비	2.8±1.1	1.5±0.9	1.1±0.4	3.1±1.9
	심층시비 20g	2.0±0.7	2.4±1.4	1.4±1.1	2.7±1.8
	표층시비 20g	2.3±0.8	2.0±1.6	1.0±0.0	2.5±1.9

표 12-7. 시비 처리에 따른 조립 묘목의 생리적 형질(2007년 식재)

지역	처리		생리 형질 지수			
			상수리나무		소나무	
			용기묘(1-0)	노지묘(1-0)	용기묘(1-0)	노지묘(1-0)
경기도 포천	무시비		2.9±0.9	3.1±0.8	1.8±0.8	1.9±0.8
	심층 시비	20g	2.2±1.3	2.8±0.7	1.1±0.3	1.6±1.3
		50g	3.0±1.7	2.7±0.7	1.8±1.3	1.7±1.3
		100g	2.7±1.5	2.9±1.2	1.8±1.3	1.9±1.3
	표층시비 20g		2.6±1.5	3.0±0.9	1.4±0.5	1.8±1.4
강원도 홍천	무시비		3.6±1.0	3.4±0.5	2.9±0.9	4.7±1.0
	심층 시비	20g	3.3±0.9	3.9±0.6	3.2±1.1	4.8±0.7
		50g	3.6±1.0	3.7±0.9	3.0±0.9	5.0±0.0
		100g	3.3±0.7	3.7±0.9	2.4±0.5	4.6±0.9
	표층시비 20g		3.7±1.0	4.1±0.8	2.8±1.2	5.0±0.0
전북 진안	무시비		3.9±1.4	3.2±1.3	2.0±0.9	2.9±1.5
	심층 시비	20g	4.3±1.3	3.6±1.1	3.1±1.5	3.3±1.2
		50g	4.1±1.5	3.8±1.2	2.1±1.3	3.4±1.6
		100g	4.0±1.2	3.6±1.1	2.3±1.1	3.7±1.8
	표층시비 20g		3.7±1.2	3.3±1.1	1.9±0.9	3.8±1.9

표 12-8. 시비 처리에 따른 조립 묘목의 생리적 형질(2008년 식재)

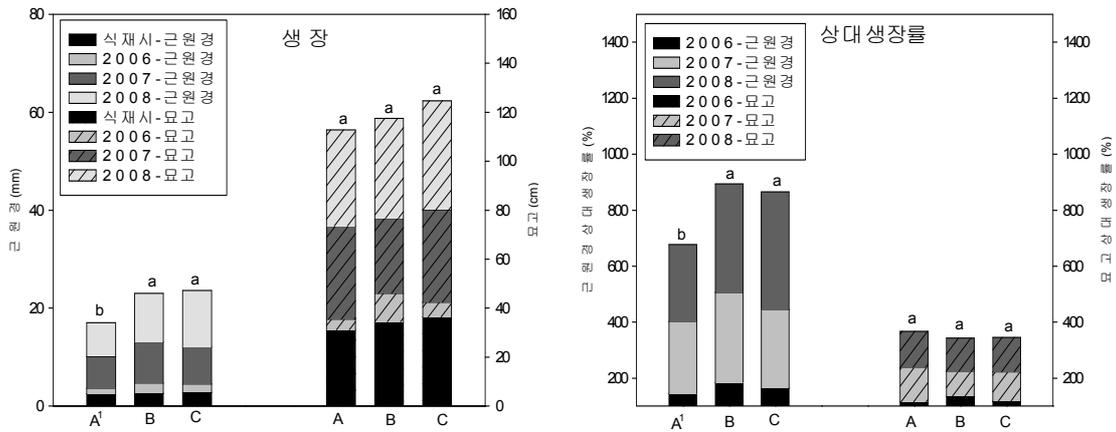
지역	처리		생리 형질 지수		
			물푸레나무	자작나무	산딸나무
			용기묘(2-0)	용기묘(2-0)	용기묘(2-0)
경기도 포천	무시비		2.0±0.0	2.0±0.0	2.5±0.6
	심층 시비	20g	2.0±0.0	1.5±0.6	3.0±1.4
		50g	2.0±0.8	1.8±0.5	2.8±0.5
		100g	1.5±0.6	1.8±0.5	3.8±1.5
	표층시비 20g		2.3±1.0	1.5±0.6	2.5±0.6

조립묘목의 생리적인 형질 지수는 수종별, 규격별, 시험지별로 차이를 보였지만, 시비 처리간의 차이는 크지 않았다. 그러나 같은 규격에서는 용기묘의 생리상태가 노지묘보다 전반적으로 우수하였다. 이는 시비 처리에 따른 생존율과 유사한 경향으로 시비처리에 따른 영향이 묘목의 질적인 면에서 큰 영향을 미치지 않았다. 즉, 시비 처리는 양적인 면인 묘고와 근원경 성장 및 물질생산량에 영향을 크게 미치는 것으로 판단된다.

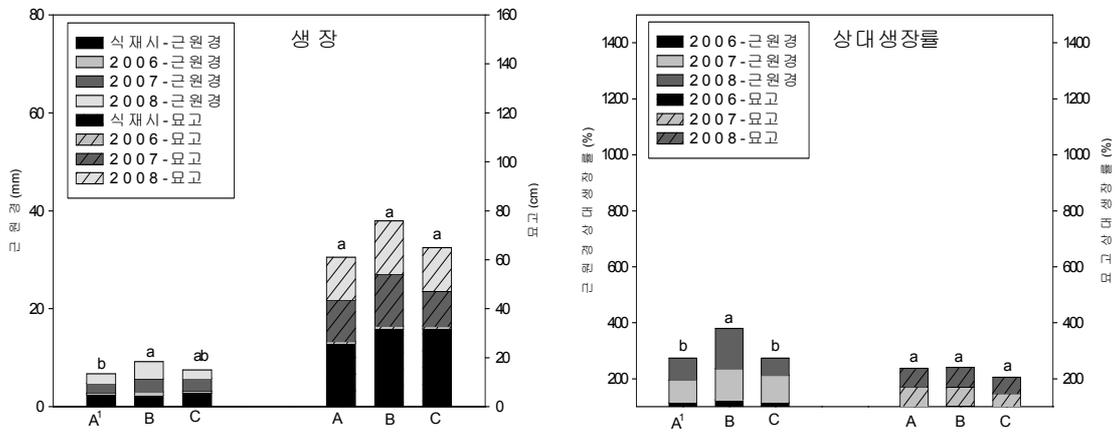
2) 시비 처리에 따른 성장 특성

가) 근원경과 묘고 성장

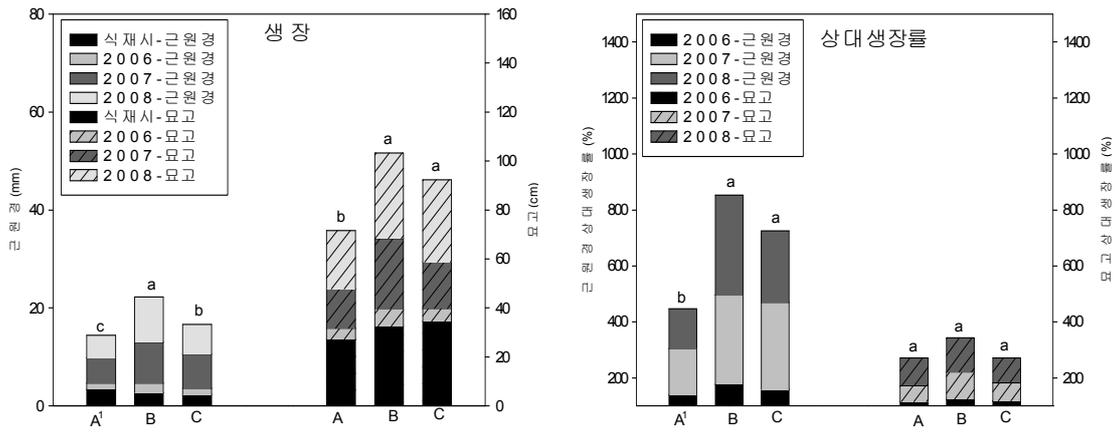
① 2006년 식재 실험



<경기도 포천>



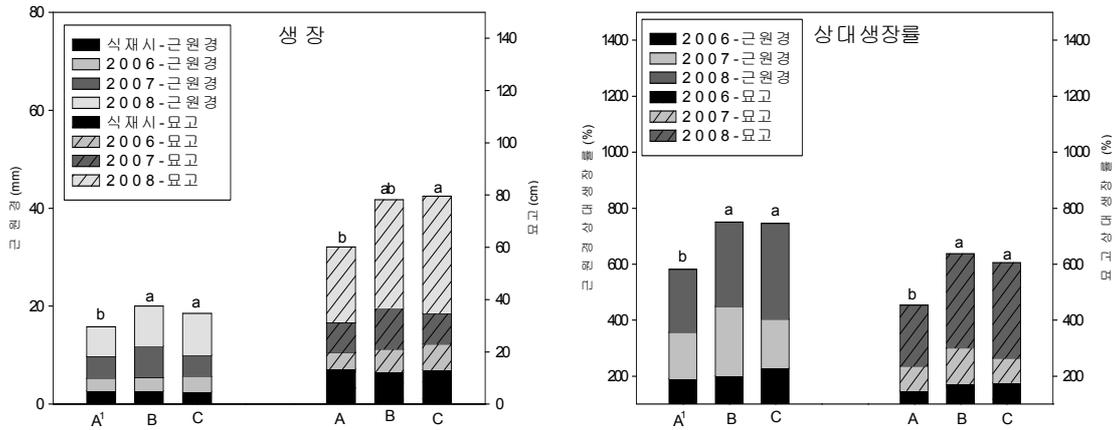
<강원도 홍천>



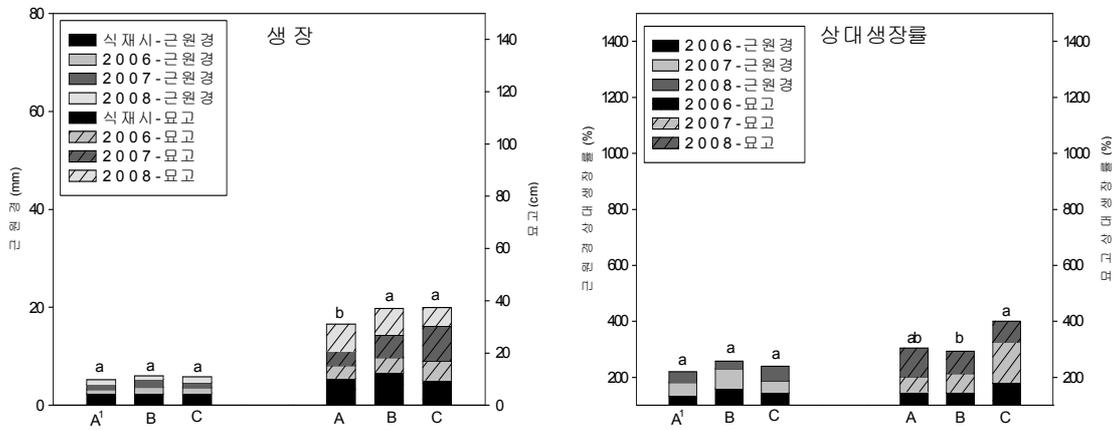
<전북 진안>

그림 12-2. 시비 처리에 따른 상수리나무 용기묘(1-0)의 근원경 및 묘고 성장(좌)과 상대성장률(우)

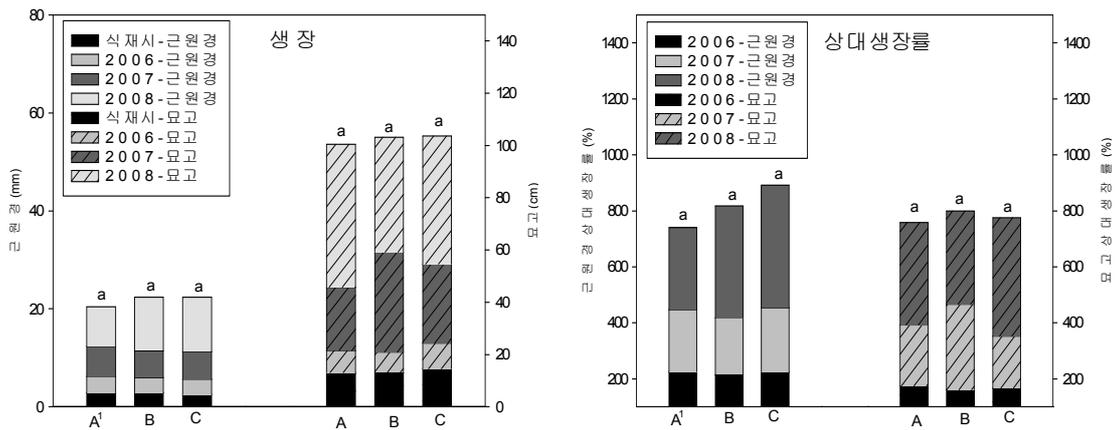
1; A: 무시비, B: 심층시비 20g, C: 표층시비 20g



<경기도 포천>



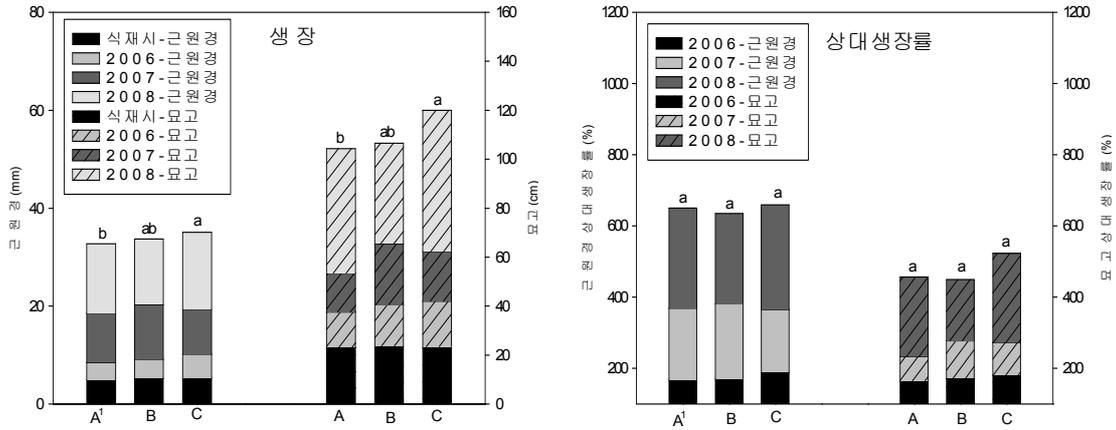
<강원도 홍천>



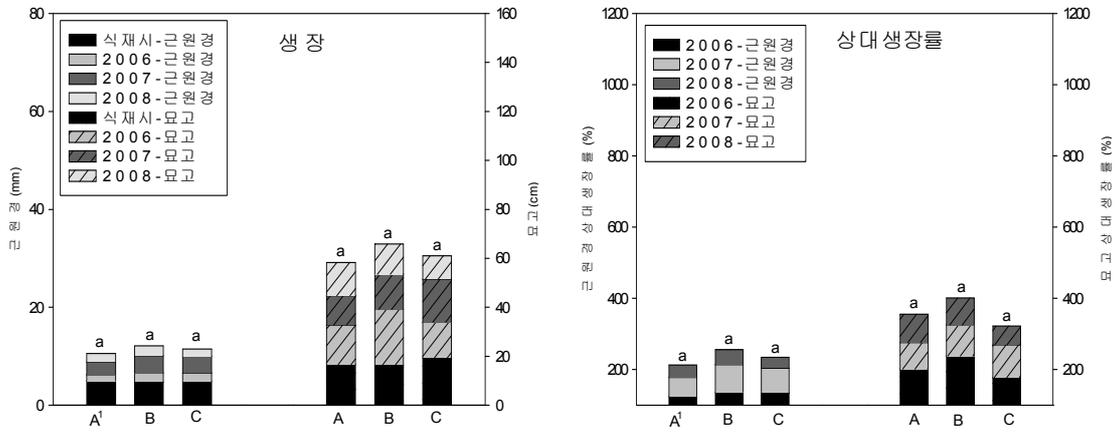
<전북 진안>

그림 12-3. 시비 처리에 따른 소나무 용기묘(1-0)의 근원경 및 묘고 성장(좌)과 상대생장률(우)

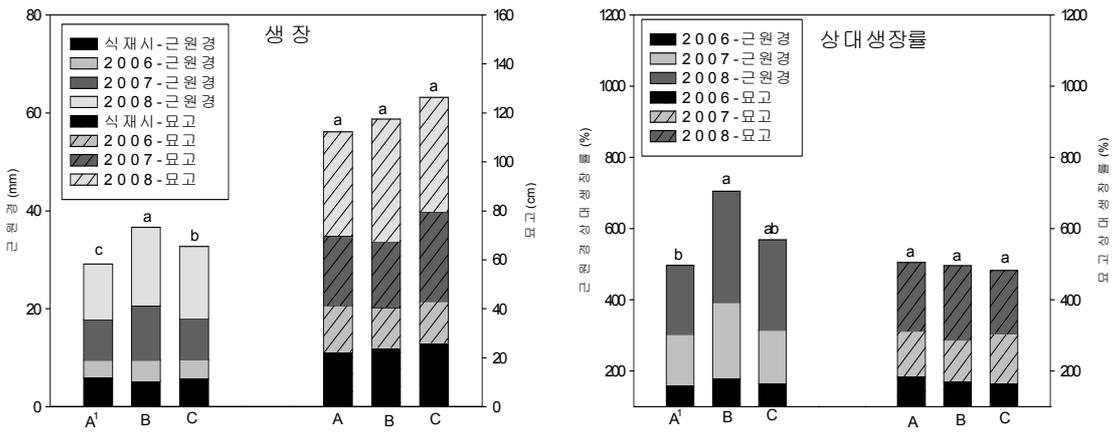
1; A: 무시비, B: 심층시비 20g, C: 표층시비 20g



<경기도 포천>



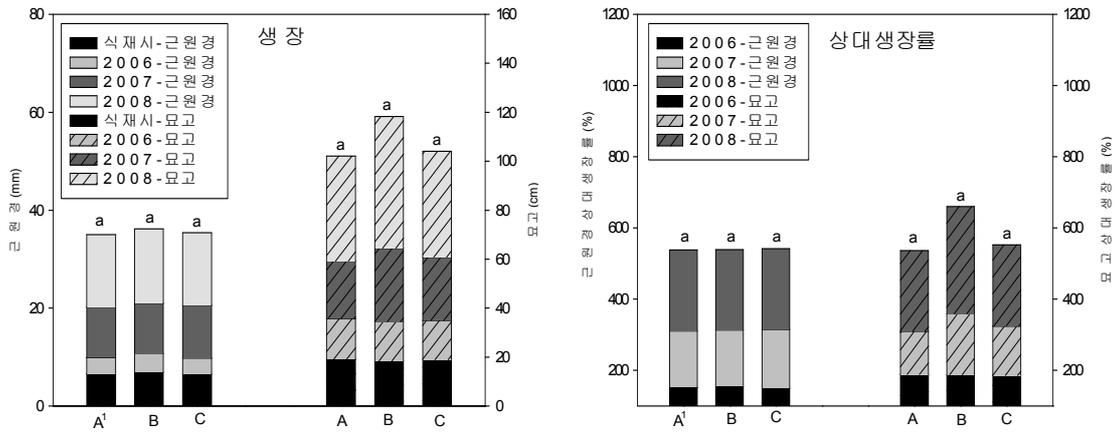
<강원도 홍천>



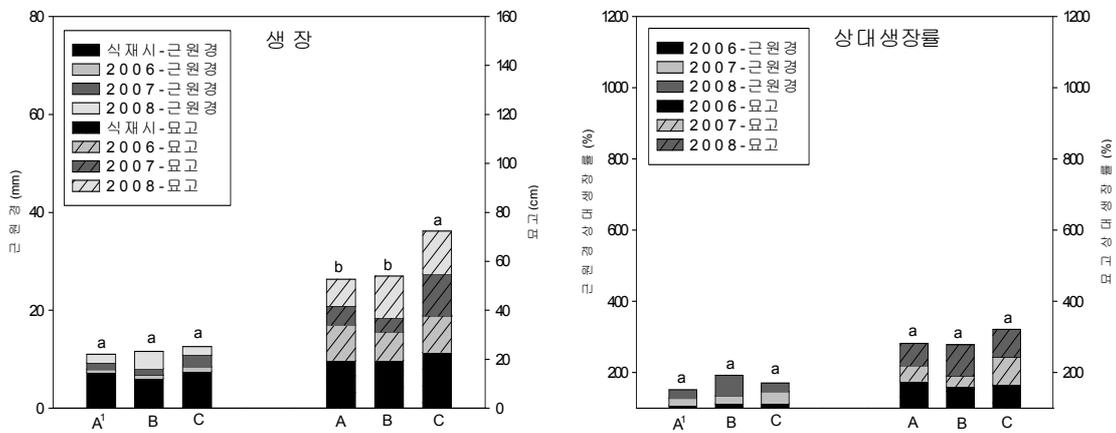
<전북 진안>

그림 12-4. 시비 처리에 따른 소나무 용기묘(2-0)의 근원경 및 묘고 성장(좌)과 상대성장률(우)

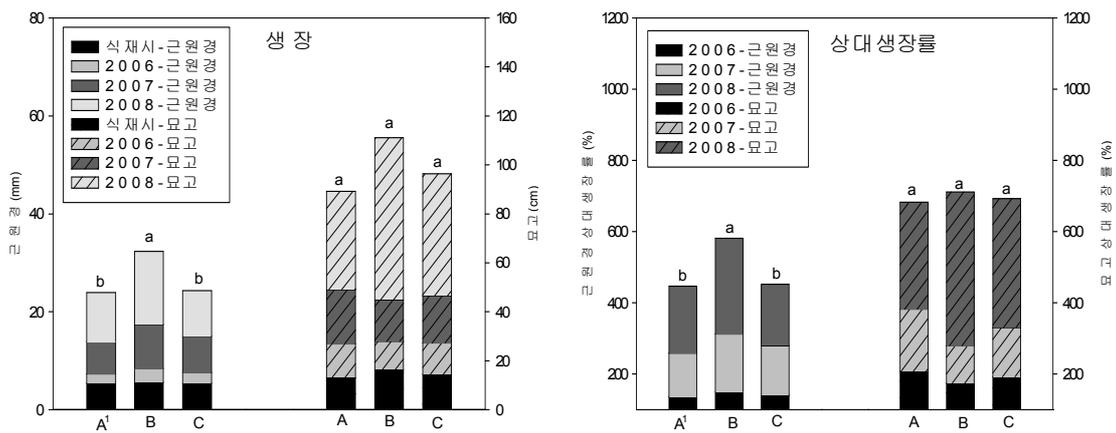
1; A: 무시비, B: 심층시비 20g, C: 표층시비 20g



<경기도 포천>



<강원도 홍천>



<전북 진안>

그림 12-5. 시비 처리에 따른 소나무 노지묘(1-1)의 근원경 및 묘고 성장(좌)과 상대성장률(우)

1; A: 무시비, B: 심층시비 20g, C: 표층시비 20g

그림 12-2, 3, 4, 5는 시비 처리와 함께 2006에 식재된 상수리나무 용기묘(1-0), 소나무 용기묘(1-0), 소나무 용기묘(2-0), 소나무 노지묘(1-1)의 근원경과 묘고의 실제 성장치와 상대성장률을 지역별로 구분하여 나타낸 그래프이다.

세 시험지 대부분 상수리나무 용기묘(1-0)의 근원경 실제 성장치와 상대성장률은 무시비구보다 시비구에서 유의적인 차이를 나타내며 높은 값을 보였고, 묘고의 실제 성장치와 상대성장률도 같은 경향을 보였지만, 유의적인 차이는 없었다. 시비구 내에서는 심층시비 20g에서 근원경과 묘고의 생장이 가장 높은 값을 보였다. 근원경의 생장은 식재 1년차에는 시비 처리에 따른 차이가 크지 않았지만, 2년차부터는 점점 처리간의 성장 차이가 크게 벌어졌다. 그러나 묘고의 생장에 있어서는 식재 2년차에서 시비구에서 무시비구보다 높은 성장을 보였지만, 시비 처리간 차이는 거의 나타나지 않았다. 이와 같이 상수리나무 용기묘(1-0)는 시비처리가 묘고보다 근원경의 생장에 영향을 더 미치는 것으로 판단된다.

소나무 용기묘(1-0)에서는 경기도 포천 시험지에서 근원경과 묘고의 실제 성장치와 상대성장률이 무시비구보다 시비구에서 유의적인 차이를 보이며 높은 성장을 보였지만 시비구간의 차이는 없었다. 그러나 조립 시에 시비 처리과정에서 심층시비보다 표층시비가 작업의 효율성면에서는 좋지만, 표층시비된 양료를 묘목 뿐만 아니라 주변 하층식생들도 흡수하여 수광경쟁에 있어서 식재된 묘목에 불리한 조건을 만들 수 있다. 이와 반대로, 묘목의 뿌리는 시간이 지날수록 땅속밑으로 깊게 뻗기 때문에 심층시비를 하면 시비효과를 묘목에만 한정지을 수 있고, 지효성복합 비료를 시비하면 지속적으로 묘목에 양료를 제공할 수 있어 심층시비를 지향하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 나머지 두 시험지에서도 근원경과 묘고의 생장이 무시비구보다 시비구에서 높은 값을 보였지만, 시비구간에는 큰 차이가 없었다.

소나무 용기묘(2-0)에서 근원경의 실제 성장치는 경기도 포천 시험지와 전북 진안 시험지에서는 시비구에서 무시비구보다 유의적인 차이를 보이며 높은 값을 보였으며, 강원도 홍천 시험지는 처리구간에 유의적인 차이는 없었다. 묘고의 실제 성장치는 경기도 포천 시험지에서만 처리구간 유의적인 차이를 보였으며, 나머지 두 시험지에서는 유의적인 차이가 없었다. 묘고의 상대성장률은 세 시험지 모두 처리구간에 큰 차이가 없었다. 근원경의 생장은 식재 1년차에는 시비 처리에 따른 차이가 크게 나타나지 않았지만, 2년차부터는 점점 처리간의 성장 차이가 커졌다. 그러나

묘고의 생장은 전북 진안 시험지를 제외한 두 시험지에서 식재 1년차부터 처리구간의 차이를 보였는데, 특히 소나무 1-0묘 보다 2-0묘에서 시비가 묘고의 생장에 영향을 더 많이 주었다.

소나무 노지묘(1-1)는 세 시험지 모두 근원경과 묘고의 생장이 무시비구보다 시비구에서 높은 값을 보였으며, 상대생장률도 같은 경향을 나타냈다. 경기도 포천 시험지와 강원도 홍천 시험지에서는 근원경과 묘고의 실제 생장 및 상대 생장률이 심층시비 20g에서 가장 높은 값을 보였으며, 무시비구와 표층시비 20g 처리구간의 차이는 거의 없었다. 전북 진안 시험지는 근원경과 묘고의 실제 생장 및 상대 생장률이 표층시비 20g에서 가장 높은 값을 보였지만, 시비구간의 유의적인 차이는 없었다. 근원경과 묘고의 생장은 식재 1년차에는 시비구간 차이를 크게 보이지 않았으나, 2년차부터는 점점 처리구간의 생장 차이가 크게 나타났다. 같은 묘령인 소나무 용기묘(2-0)와 노지묘(1-1)의 근원경과 묘고의 생장과 상대생장률이 식재 1년차에는 용기묘가 우수하였지만 실험 연차가 지날수록 용기묘와 노지묘 모두 비슷한 생장을 보였다. 이는 용기묘가 노지묘보다 초기활착 및 생육과정에서 이식에 따른 스트레스의 영향을 덜 받는 것으로 판단되며, 시비처리에 따른 영향은 노지묘가 용기묘보다 더 많이 받을 것으로 판단된다.

② 2007년 식재 실험

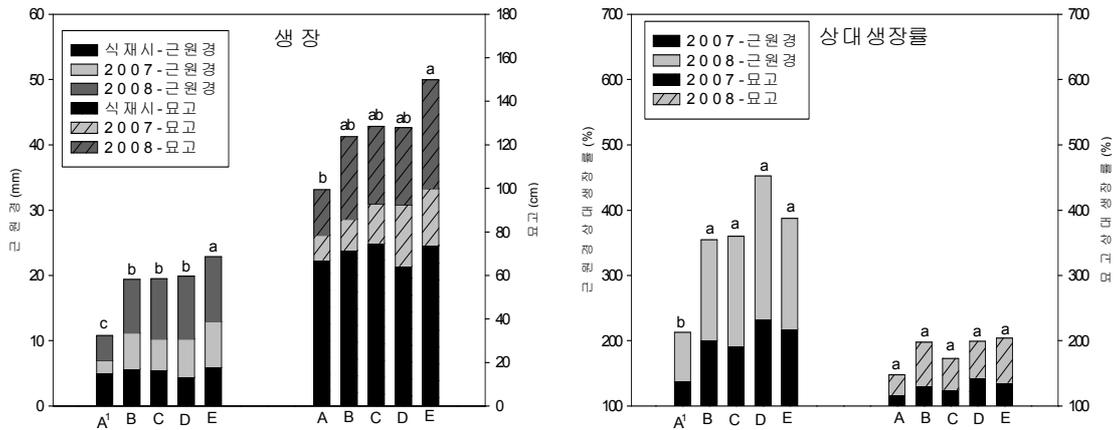
상수리나무 용기묘(1-0)의 근원경과 묘고의 생장은 세 시험지 대부분 무시비구보다 시비구에서 높은 값을 보였으며 상대생장률은 전북 진안 시험지를 제외한 나머지 두 시험지에서는 생장과 같은 경향을 나타냈다(그림 12-6). 경기도 포천 시험지와 강원도 홍천 시험지에서는 근원경과 묘고의 상대생장률이 심층시비 100g에서 가장 높은 값을 보였으며, 전북 진안 시험지는 심층시비 100g 처리구는 모두 고사하여 근원경과 묘고의 생장을 측정하지 못했다. 근원경과 묘고의 생장과 상대생장률은 식재 1년차보다는 2년차에서 높은 값을 보였으며, 무시비구와 시비구간의 차이는 식재 1년차부터 나타났다.

상수리나무 노지묘(1-0)의 근원경과 묘고의 생장은 용기묘와 유사하게 세 시험지 대부분 무시비구보다 시비구에서 높은 값을 보였으며 상대생장률도 같은 경향을 나타냈다(그림 12-7). 근원경의 생장은 세 시험지에서 심층시비 50g과 심층시비 100g

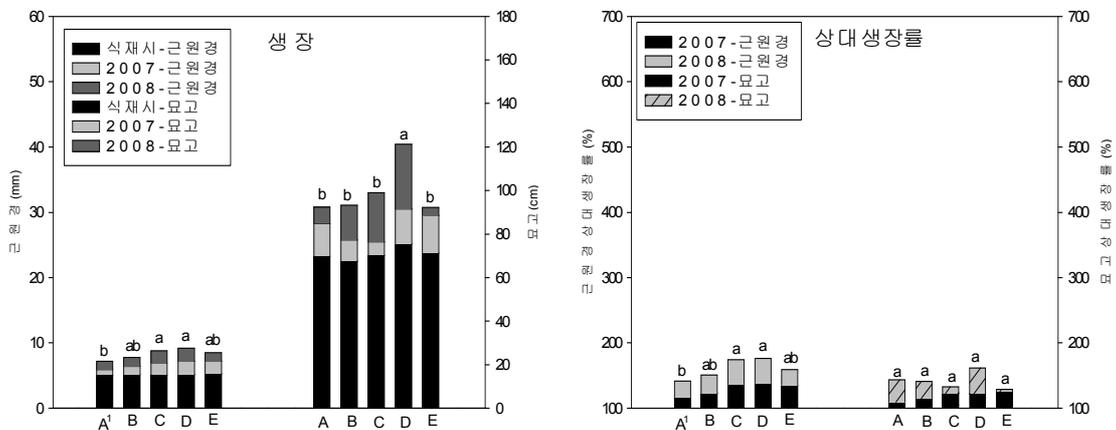
에서 가장 높은 값을 보였으며 두 처리구간에는 차이가 없었다. 그러나 묘고의 생장에서는 강원도 홍천 시험지와 전북 진안 시험지에서는 심층시비 100g에서 경기도 포천 시험지에서는 심층시비 50g에서 가장 높았다. 근원경과 묘고의 상대생장률은 경기도 포천 시험지와 전북 진안 시험지는 심층시비 50g과 심층시비 100g에서 높았으며, 강원도 홍천 시험지는 표층시비 20g에서 높은 값을 보였다. 같은 시비 처리별로 상수리나무 용기묘와 노지묘의 근원경과 묘고의 상대생장률을 비교할 경우에 식재 1년차에는 용기묘가 우수하였지만 실험 연도가 지날수록 점차 비슷한 상대생장률을 보였다. 이는 용기묘가 노지묘보다 이식에 따른 스트레스에 의한 영향을 덜 받아 초기 활착에 유리할 것으로 판단되지만 정상적인 활착 후에는 용기묘와 노지묘의 생육활동에 차이가 없을 것으로 판단된다.

소나무 용기묘(1-0)는 근원경의 실제생장과 상대생장률이 세 시험지 대부분 무시비구보다 시비구에서 높은 값을 보였으며 특히 심층시비 100g에서 유의적인 차이를 보이며 가장 높은 값을 보였다. 묘고의 실제 생장과 상대생장률은 세 시험지에서 처리구간에 다소 불규칙한 경향을 보였지만, 심층시비 100g에서 가장 높은 값을 보였다(그림 12-8). 강원도 홍천 시험지를 제외한 나머지 두 시험지에서는 근원경과 묘고의 생장이 심층 시비 50g과 심층시비 100g에서 큰 차이가 없이 비슷한 수준을 보였다. 또한 근원경과 묘고의 생장과 상대생장률이 식재 1년차 보다 2년차에서 높은 값을 보였는데 이는 식재 2년차부터 시비에 따른 영향을 더 많이 받기 때문인 것으로 판단된다.

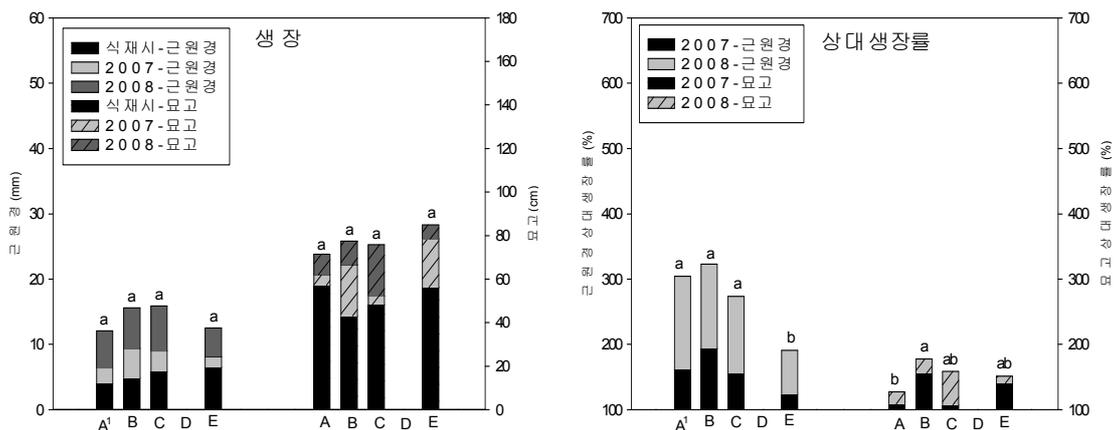
소나무 노지묘(1-0)는 근원경과 묘고의 실제생장과 상대생장률이 두 시험지 대부분 무시비구보다 시비구에서 유의적인 차이를 보이며 높은 값을 기록했다. 근원경과 묘고의 생장은 경기도 포천 시험지는 심층시비 100g에서, 전북 진안 시험지는 표층시비 20g에서 가장 높은 값을 보였으며 근원경의 상대생장률은 두 시험지 모두 유의적 차이를 보이며 심층시비 100g에서 가장 높았지만, 묘고의 상대생장률은 두 시험지 모두 심층시비 50g에서 가장 높은 값을 보였다(그림 12-9). 또한 근원경과 묘고의 생장과 상대생장률이 식재 1년차보다 2년차에서 월등히 높은 값을 보였다. 같은 시비 처리별로 비교할 때, 소나무 용기묘와 노지묘의 근원경과 묘고의 실제생장 및 상대생장률은 용기묘가 노지묘보다 우수한 결과를 나타냈는데 이는 조립과 동시에 적정 시비처리를 하면 용기묘의 초기생육이 노지묘보다 유리할 것으로 판단되는 결과이다.



<경기도 포천>



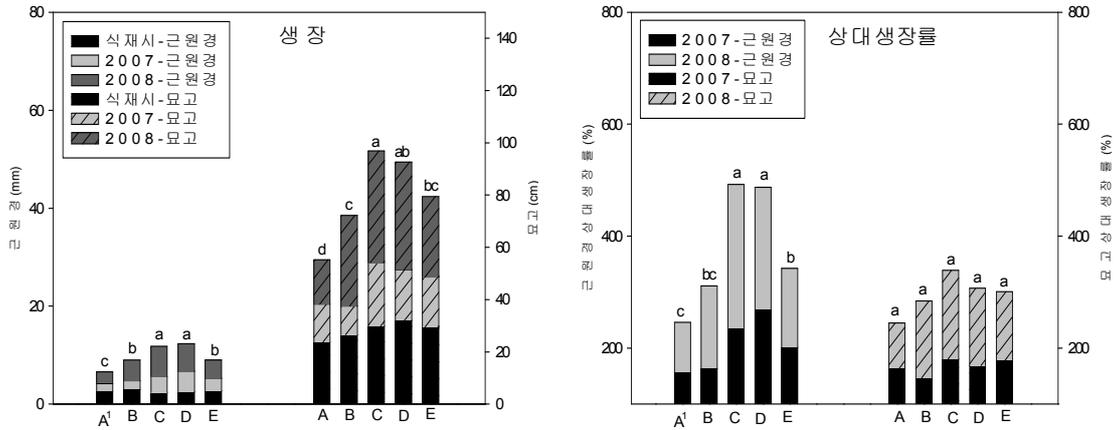
<강원도 홍천>



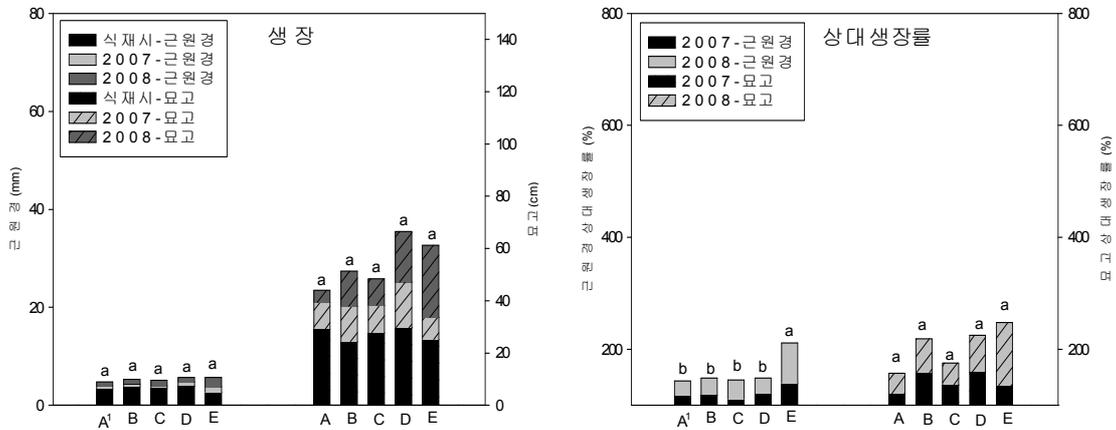
<전북 진안>

그림 12-6. 시비 처리에 따른 상수리나무 용기묘(1-0)의 근원경 및 묘고 성장(좌)과 상대성장률(우)

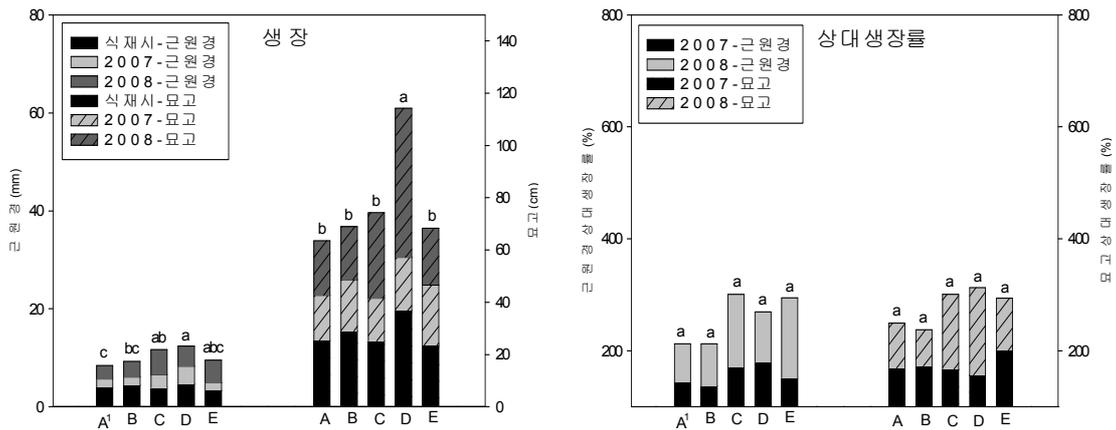
1; A: 무시비, B: 심층시비 20g, C: 심층시비 50g, D: 심층시비 100g, E: 표층시비 20g,



<경기도 포천>



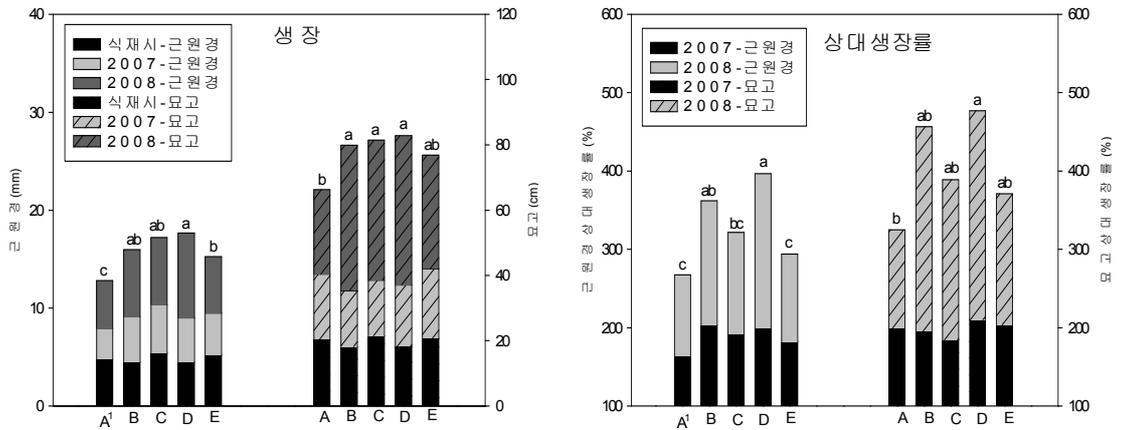
<강원도 홍천>



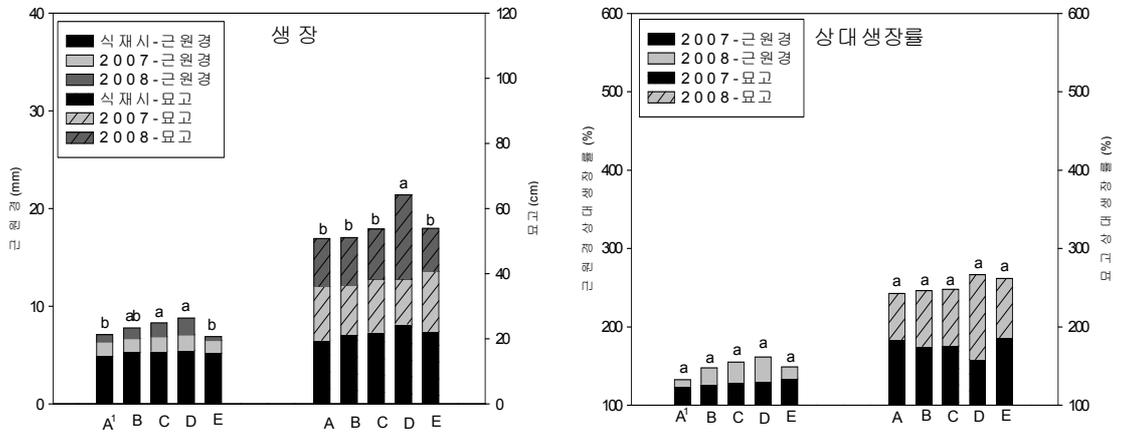
<전북 진안>

그림 12-7. 시비 처리에 따른 상수리나무 노지묘(1-0)의 근원경 및 묘고 성장(좌)과 상대성장률(우)

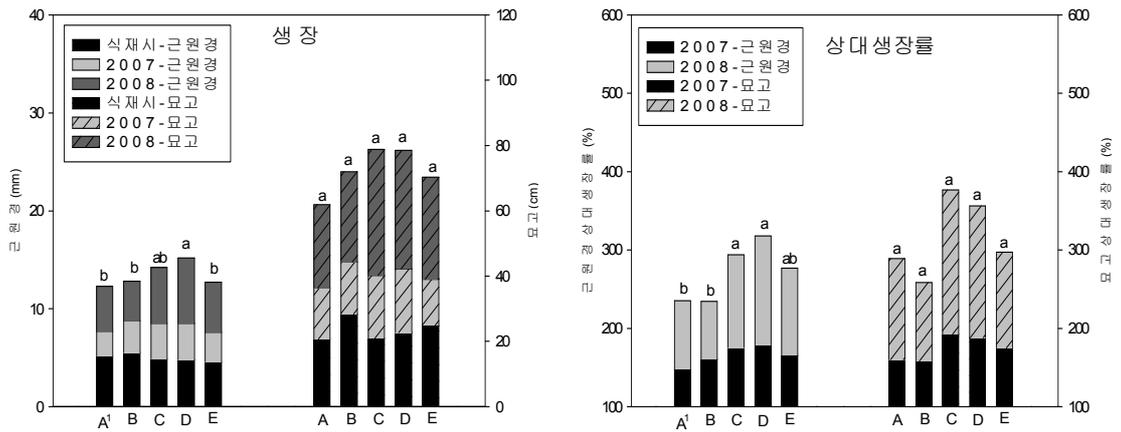
1; A: 무시비, B: 심층시비 20g, C: 심층시비 50g, D: 심층시비 100g, E: 표층시비 20g,



<경기도 포천>



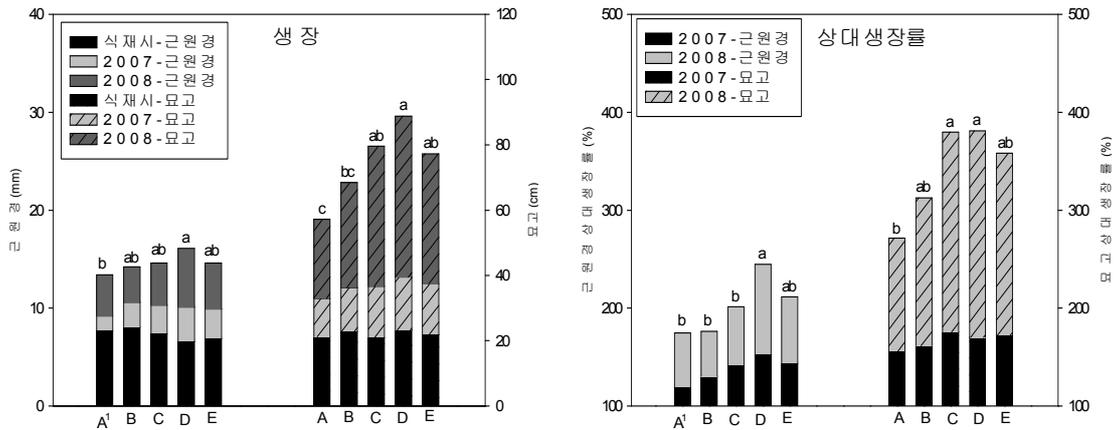
<강원도 홍천>



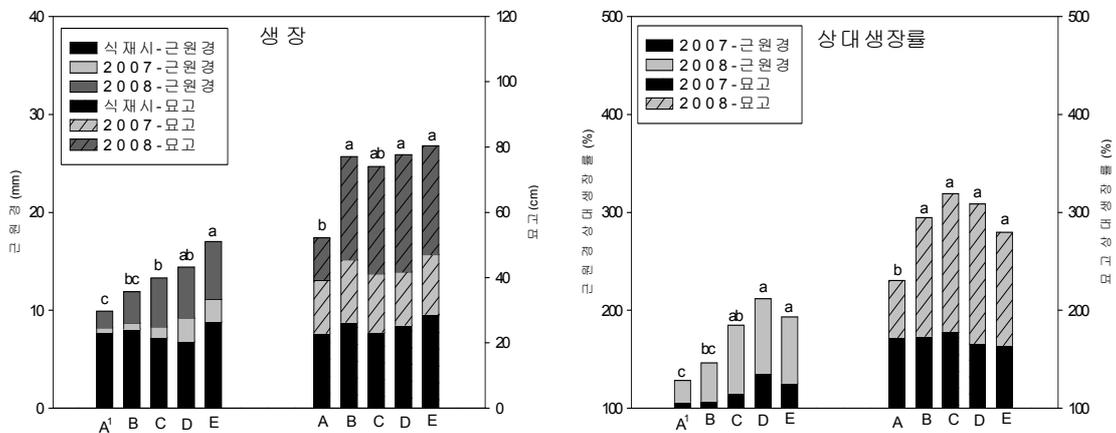
<전북 진안>

그림 12-8. 시비 처리에 따른 소나무 용기묘(1-0)의 근원경 및 묘고 성장(좌)과 상대성장률(우)

1; A: 무시비, B: 심층시비 20g, C: 심층시비 50g, D: 심층시비 100g, E: 표층시비 20g,



<경기도 포천>



<전북 진안>

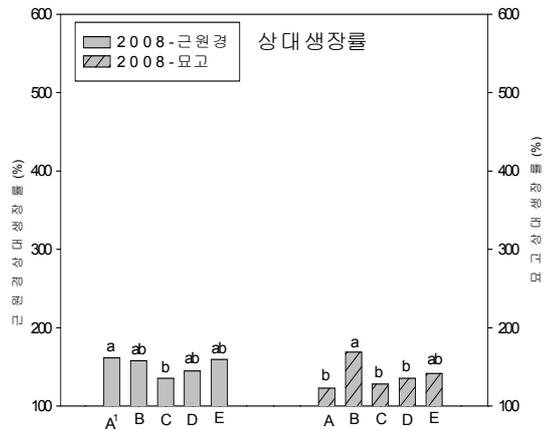
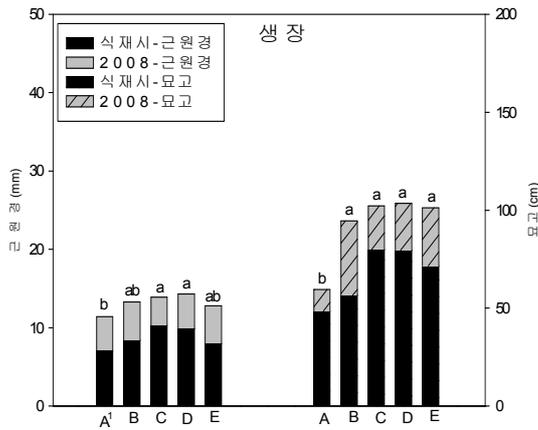
그림 12-9. 시비 처리에 따른 소나무 노지묘(1-0)의 근원경 및 묘고 성장(좌)과 상대성장률(우)

1; A: 무시비, B: 심층시비 20g, C: 심층시비 50g, D: 심층시비 100g, E: 표층시비 20g.

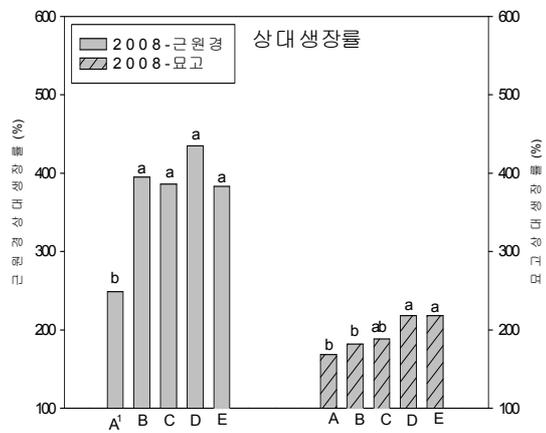
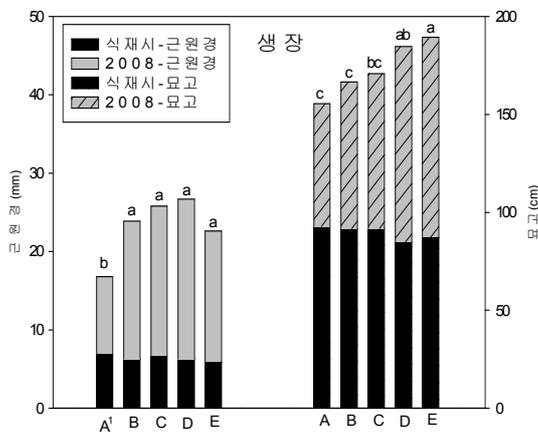
강원도 홍천 시험지 소나무 노지묘는 대부분 고사하거나 조사가 불가능한 묘목으로 시비 처리에 따른 본 실험에서는 제외 되었다.

③ 2008년 식재 실험

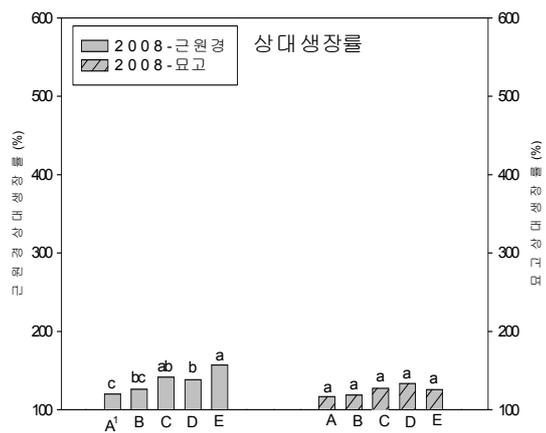
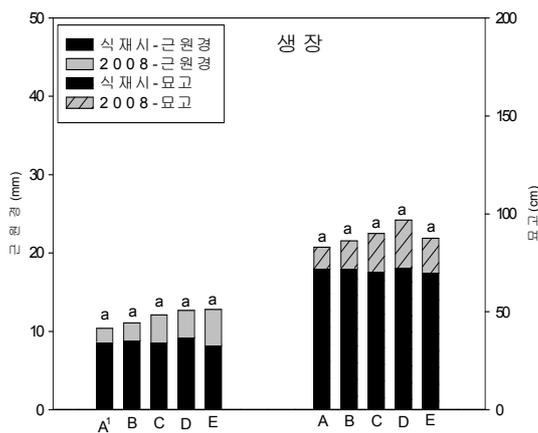
2008년에는 세 시험지 중 경기도 포천 시험지에만 물푸레나무 용기묘, 자작나무 용기묘 및 산딸나무 용기묘를 식재하여 시비처리에 따른 근원경과 묘고의 실제 성장치와 상대성장률을 분석하였다(그림 12-10).



<물푸레나무 용기묘>



<자작나무 용기묘>



<산딸나무 용기묘>

그림 12-10. 시비 처리에 따른 조림 묘목의 근원경 및 묘고 성장(좌)과 상대성장률(우)

1; A: 무시비, B: 침층시비 20g, C: 침층시비 50g, D: 침층시비 100g, E: 표층시비 20g,

물푸레나무와 자작나무 용기묘는 근원경과 묘고의 생장이 무시비구보다 시비구에서 유의적인 차이를 보이며 높을 값을 보였으며, 산딸나무는 같은 경향을 보였지만 유의적인 차이는 없었다. 근원경과 묘고의 상대성장률도 세 수종 대부분 무시비구보다 시비구에서 높은 값을 보였다. 물푸레나무와 산딸나무 용기묘는 근원경과 묘고의 생장이 심층시비 100g에서 가장 높은 값을 보였으며 자작나무 용기묘에서는 근원경의 생장은 심층시비 100g에서, 묘고는 표층시비 20g에서 가장 높은 값을 보였다. 상대적으로 속성 수종인 자작나무 용기묘는 식재 1년차에 시비처리에 따른 영향을 많이 받아 무시비구보다 시비구에서 근원경과 묘고의 생장이 양호한 모습을 보였으며, 물푸레나무와 산딸나무 용기묘는 식재 1년차에는 무시비구와 시비구간의 근원경과 묘고의 생장 차이가 크지 않았다.

위의 결과를 종합해보면, 조림 초기에 빠른 시비효과와 작업의 효율성 및 편의성을 높이기 위해서는 심층시비보다 표층시비가 보다 바람직한 결과를 보여줄 수도 있다. 그러나 시비처리 초기에 보이는 결과와 달리 심층시비를 할 경우에는 지효성 비료를 최대한의 적정시비를 해줌으로서 연차적으로 지속적인 시비효과를 볼 수 있을 것으로 판단된다. 또한 추가적인 시비 작업을 생략하기 위해서도 생육 가능한 범위내에서 최대량의 심층시비가 적합하다고 판단된다.

나) 물질생산량 및 T/R율

표 12-9, 10은 시비 처리에 따른 소나무 1-0 용기묘와 노지묘 및 상수리나무 1-0 용기묘와 노지묘의 물질생산량과 T/R율을 나타낸 것이다.

시비 처리에 따른 물질생산량 분석에서 상수리나무와 소나무 모두 시험지별, 수종별로 차이는 있지만 대부분 심층시비 100g 처리구에서 가장 높은 값을 보였으며, 심층시비 50g, 표층시비 20g, 심층시비 20g, 무시비구 순으로 감소되었다. 심층시비 100g과 50g 처리구에서는 식재초기 물질생산량의 차이가 크지 않았다. 그러나 식재 초기에 시비량 증가에 따른 생육촉진 효과가 비슷한 결과를 보였음에도 불구하고 지속적인 시비 효과를 기대하기 위해서는 조림한 묘목에 피해가 없는 한도 안에서 최대한의 적정 시비가 필요할 것으로 판단된다. 또한 최대한의 적정 시비는 추가적인 시비 작업을 생략할 수 있어 초기 비용을 제외하고 작업 효율성이나 경제적인 측면에서 이점으로 작용될 수도 있다.

표 12-9. 시비 처리에 따른 상수리나무의 물질생산량 및 T/R율(2007년 식재)

수종	지역	처리	건중량(g)				T/R율	
			잎	줄기	뿌리	전체		
용기묘	경기도 포천	무시비	28.9±9.2 ^b	41.3±19.6 ^b	58.9±15.8 ^d	129.0±23.0 ^c	1.3±0.9 ^a	
		심층 시비	20g	33.3±5.6 ^b	53.3±26.8 ^b	92.2±10.2 ^c	178.8±22.3 ^b	1.0±0.5 ^a
			50g	56.0±7.0 ^a	92.8±7.2 ^a	128.3±10.7 ^b	277.0±10.9 ^a	1.2±0.1 ^a
			100g	28.5±3.7 ^b	96.2±19.5 ^a	166.2±16.0 ^a	290.8±39.1 ^a	0.7±0.1 ^a
	표층시비 20g	25.2±8.0 ^b	76.3±22.6 ^{ab}	103.0±8.9 ^c	204.4±21.7 ^b	1.0±0.4 ^a		
	강원도 홍천	무시비	6.0±1.8 ^c	8.3±0.2 ^b	14.1±1.8 ^b	28.4±0.2 ^b	1.0±0.3 ^a	
		심층 시비	20g	11.0±2.5 ^{ab}	15.7±6.0 ^{ab}	23.4±7.6 ^a	50.1±15.9 ^a	1.1±0.0 ^a
			50g	11.6±3.5 ^{ab}	20.8±5.9 ^a	21.9±5.8 ^{ab}	54.3±8.4 ^a	1.6±0.7 ^a
			100g	12.9±0.4 ^a	16.2±5.0 ^{ab}	24.9±2.6 ^a	53.9±7.2 ^a	1.2±0.1 ^a
	표층시비 20g	8.1±1.2 ^{bc}	13.3±0.8 ^{ab}	16.6±2.4 ^{ab}	37.9±4.4 ^{ab}	1.3±0.1 ^a		
	전북 진안	무시비	19.1±2.4 ^{ab}	25.5±7.1 ^b	34.7±3.3 ^c	79.2±1.5 ^c	1.3±0.3 ^a	
		심층 시비	20g	23.8±5.6 ^{ab}	37.5±9.0 ^{ab}	51.4±5.5 ^b	112.7±20.1 ^b	1.2±0.2 ^a
			50g	26.6±4.2 ^a	49.5±5.9 ^a	50.1±0.4 ^b	126.2±9.8 ^{ab}	1.5±0.2 ^a
			100g	32.7±0.0 ^a	48.7±0.0 ^a	59.3±0.0 ^a	140.7±0.0 ^a	1.4±0.0 ^a
	표층시비 20g	12.0±9.4 ^b	52.8±5.7 ^a	41.8±0.5 ^c	106.5±3.3 ^b	1.6±0.1 ^a		
	노지묘	경기도 포천	무시비	10.5±1.9 ^a	14.4±9.2 ^a	35.1±4.6 ^a	60.0±15.7 ^a	0.7±0.2 ^c
심층 시비			20g	23.1±24.2 ^a	38.8±36.1 ^a	41.7±32.7 ^a	103.6±92.5 ^a	1.2±0.6 ^{abc}
			50g	23.5±1.6 ^a	40.5±0.6 ^a	41.6±4.1 ^a	105.5±2.0 ^a	1.6±0.2 ^a
			100g	26.8±2.6 ^a	42.2±9.1 ^a	50.1±15.8 ^a	119.0±27.4 ^a	1.4±0.2 ^{ab}
표층시비 20g		17.6±1.0 ^a	18.8±5.0 ^a	43.5±10.4 ^a	79.9±16.4 ^a	0.9±0.1 ^{bc}		
강원도 홍천		무시비	3.6±0.6 ^b	7.2±0.1 ^a	7.2±1.0 ^c	18.0±1.7 ^a	1.5±0.1 ^a	
		심층 시비	20g	5.1±0.4 ^a	5.4±0.5 ^{bc}	7.6±0.5 ^c	18.1±1.4 ^a	1.4±0.0 ^{ab}
			50g	4.1±0.1 ^b	4.6±0.1 ^{cd}	10.3±0.4 ^b	19.0±0.2 ^a	0.9±0.0 ^c
			100g	3.5±0.2 ^b	4.2±1.3 ^d	12.8±1.1 ^a	20.4±2.2 ^a	0.6±0.0 ^d
표층시비 20g		4.2±0.7 ^b	6.3±0.2 ^{ab}	7.8±0.1 ^c	18.2±0.9 ^a	1.3±0.1 ^b		
전북 진안		무시비	14.5±1.1 ^b	30.1±0.0 ^a	32.6±14.8 ^b	77.1±15.8 ^b	1.5±0.7 ^b	
		심층 시비	20g	24.4±3.3 ^{ab}	27.3±7.0 ^a	30.7±1.9 ^b	82.4±12.1 ^{ab}	1.7±0.2 ^b
			50g	31.1±1.4 ^a	40.2±2.3 ^a	43.2±1.6 ^{ab}	114.4±2.5 ^{ab}	1.7±0.0 ^b
			100g	30.0±10.2 ^a	36.9±13.8 ^a	55.7±23.3 ^a	122.6±47.3 ^a	1.2±0.1 ^b
표층시비 20g		24.6±7.9 ^{ab}	32.9±3.1 ^a	24.7±4.1 ^b	82.1±8.9 ^{ab}	2.4±0.2 ^a		

시험지별로는 상수리나무와 소나무 모두 경기도 포천 시험지에서 가장 높은 물질 생산량을 보였으며, 전북 진안, 강원도 홍천 시험지 순으로 나타났다. 또한 수종별로 처리간 비교에서 용기묘는 노지묘에 비해 2배 이상의 물질생산량을 보였으며, 이는 같은 입지환경에서 충분한 양료가 공급되면 용기묘의 생육활동이 노지묘보다

우수하다는 것을 보여주는 것으로 수종별, 규격별 적정 시비 작업을 통해 용기묘 조림의 성과를 높일 수 있을 것으로 기대된다.

표 12-10. 시비 처리에 따른 소나무의 물질생산량 및 T/R율(2007년 식재)

수종	지역	처리	건중량(g)				T/R율	
			잎	줄기	뿌리	전체		
용기묘	경기도 포천	무시비	27.5±11.7 ^{b1}	22.8±7.5 ^c	7.7±0.7 ^a	58.0±5.0 ^b	6.5±0.0 ^a	
		심층 시비	20g	22.2±1.0 ^b	55.8±7.2 ^a	16.0±0.2 ^a	93.9±8.3 ^{ab}	4.9±0.5 ^a
			50g	54.7±5.6 ^a	42.0±2.3 ^b	34.0±0.3 ^a	130.6±8.1 ^a	2.8±0.2 ^b
			100g	50.2±2.0 ^a	45.5±1.2 ^{ab}	36.4±4.5 ^a	132.0±5.3 ^a	2.7±0.3 ^b
	표층시비 20g	23.9±10.2 ^b	29.5±6.9 ^c	56.8±59.4 ^a	110.2±45.6 ^a	2.3±2.4 ^b		
	강원도 홍천	무시비	2.2±0.3 ^c	6.6±1.7 ^a	4.1±0.1 ^a	12.9±1.8 ^a	2.2±0.5 ^c	
		심층 시비	20g	4.2±1.5 ^b	8.8±4.1 ^a	2.4±0.9 ^b	15.4±6.0 ^a	5.5±1.4 ^a
			50g	5.2±1.0 ^b	9.5±1.0 ^a	3.5±0.4 ^a	18.2±1.6 ^a	4.3±1.0 ^{ab}
			100g	7.0±0.8 ^a	7.1±1.3 ^a	4.6±0.2 ^a	18.6±1.9 ^a	3.1±0.5 ^{bc}
	표층시비 20g	4.9±0.2 ^b	8.7±0.1 ^a	4.1±0.9 ^a	17.6±0.7 ^a	3.5±0.8 ^{bc}		
	전북 진안	무시비	16.6±4.5 ^b	20.8±3.5 ^d	15.1±2.3 ^c	52.5±10.3 ^e	2.5±0.2 ^a	
		심층 시비	20g	17.0±4.3 ^b	30.0±5.2 ^{cd}	23.1±5.9 ^b	69.7±5.7 ^d	2.2±0.9 ^a
			50g	28.7±5.5 ^a	47.1±9.1 ^{ab}	27.1±5.8 ^b	102.9±5.1 ^b	2.9±0.9 ^a
			100g	34.8±1.7 ^a	54.2±4.1 ^a	40.6±0.9 ^a	129.5±1.6 ^a	2.2±0.1 ^a
	표층시비 20g	17.1±4.4 ^b	41.1±7.7 ^{bc}	29.8±3.3 ^b	88.0±6.7 ^c	2.0±0.1 ^a		
	노지묘	경기도 포천	무시비	14.2±7.0 ^b	22.8±1.6 ^b	10.6±3.0 ^c	47.5±8.4 ^b	3.6±0.5 ^b
심층 시비			20g	21.9±3.4 ^{ab}	37.7±12.1 ^a	12.3±1.1 ^{bc}	71.9±10.0 ^a	4.8±0.3 ^a
			50g	28.8±0.6 ^a	28.4±4.1 ^{ab}	19.4±5.3 ^a	76.5±8.8 ^a	3.1±0.7 ^b
			100g	26.3±3.9 ^a	31.3±1.8 ^{ab}	20.3±2.9 ^a	77.9±5.0 ^a	2.9±0.3 ^b
표층시비 20g		26.9±5.3 ^a	30.1±1.1 ^{ab}	17.5±2.1 ^{ab}	74.4±4.2 ^a	3.3±0.8 ^b		
전북 진안		무시비	13.3±2.9 ^b	11.3±3.4 ^d	8.3±1.3 ^d	32.9±1.8 ^e	3.0±0.4 ^a	
		심층 시비	20g	15.8±3.7 ^b	31.8±0.1 ^{bc}	17.7±1.9 ^c	65.3±1.9 ^d	2.7±0.5 ^a
			50g	24.3±0.0 ^a	28.8±0.0 ^c	36.7±0.0 ^b	89.8±0.0 ^b	1.4±0.0 ^b
			100g	17.8±2.1 ^b	43.6±1.1 ^a	42.3±3.8 ^a	103.7±4.8 ^a	1.5±0.1 ^b
		표층시비 20g	19.2±1.0 ^{ab}	35.9±4.7 ^b	18.8±0.9 ^c	73.9±4.8 ^c	2.9±0.4 ^a	

시비 처리에 따른 T/R율 조사에서 상수리나무는 1.0~2.0, 소나무는 2.0~6.5 범위 내에서 불규칙한 경향을 보였다. 생육환경이 양호하여 활발한 생육활동을 하게 되면 우선 지상부의 생장이 지하부에 비해 상대적으로 촉진되며, 이 때문에 T/R율이 높아지는 경향을 보이는 것이 일반적인데, 본 실험에서는 이러한 경향이 분명하게

구분되지 않아 더 이상의 관찰이 필요할 것으로 판단된다..

강원도 홍천 시험지 소나무 노지묘는 대부분 고사하거나 조사가 불가능한 묘목으로 시비 처리에 따른 본 실험에서는 제외 되었다.

나. 최대 적정 시비량 구명을 위한 과량시비 시험

1) 과량시비 처리에 따른 생존율 변화 및 생리적 형질 평가

가) 생존율

과량시비에 의해 조립한 묘목이 피해를 입지 않으면서도 지속적으로 시비효과를 기대할 수 있는 적정 최대 시비량을 구명하기 위하여 시비량 및 시비 깊이별로 조립한 묘목의 생존율을 조사하였다(표 12-11).

표 12-11. 시비 처리에 따른 조립 묘목의 생존율(2007년 식재)

처리		생존율(%)	
시비량 (g)	시비 깊이 (cm)	소나무 용기묘(1-2묘)	
		A ¹	B
100	10	100.0	100.0
	20	80.0	100.0
	30	60.0	100.0
200	10	60.0	100.0
	20	80.0	100.0
	30	60.0	100.0
300	10	80.0	100.0
	20	60.0	100.0
	30	100.0	100.0

A¹ ; 하층식생이 발달하여 무성한 지역, B ; 하층식생이 발달하지 않은 지역

시비 처리에 따른 생존율은 하층식생이 발달한 A지역에서 60~100%, 하층식생이 많지 않은 B지역에서는 모든 처리구에서 100%를 보였다. 최대 시비량인 300g의 시비를 실시하여도 생존율은 떨어지지 않았으며, 소나무 용기묘 3년생의 경우에 300g

정도의 시비에서 묘목에 대한 과량시비의 피해는 없는 것으로 판단된다. 또한 A지역이 B지역에 비해 생존율이 낮은 결과는 시비처리에 의한 것이 아니라 A지역이 하층식생이 발달하여 B지역에 비해 식생 상호간의 경합이 심하기 때문이라 생각된다. 이 때문에 본 시험에서 적용한 과량의 시비 처리는 조립한 묘목의 생존율에 영향을 미치지 보다는 활착한 후에 묘목의 생육활동에 지속적으로 영향을 미칠 가능성이 있다.

나) 생리적 형질 특성

시비 처리별로 조립한 묘목의 생리상태에서는 A지역은 처리별 차이는 있지만 전체적으로 다소 양호한 상태로 평가되었으며, B지역은 모든 처리구에서 매우 우수한 생리형질을 보이고 있었다(표 12-12).

표 12-12. 시비 처리에 따른 조립 묘목의 생리적 형질(2007년 식재)

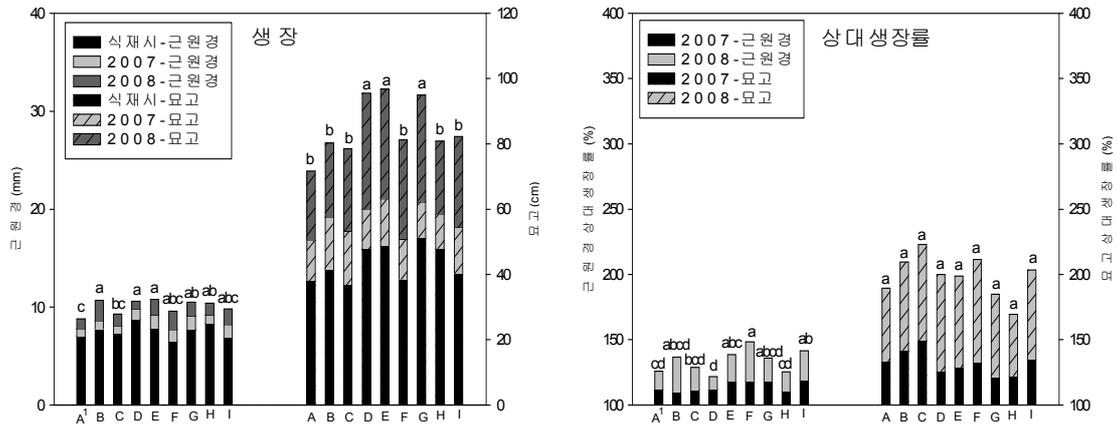
처리		생리 형질 지수	
시비량 (g)	시비 깊이 (cm)	소나무 용기묘(1-2묘)	
		A ¹	B
100	10	1.2±0.4	1.0±0.0
	20	2.0±1.7	1.0±0.0
	30	2.6±2.2	1.0±0.0
200	10	2.6±2.2	1.0±0.0
	20	2.2±1.6	1.0±0.0
	30	2.8±2.0	1.0±0.0
300	10	2.0±1.7	1.0±0.0
	20	2.6±2.2	1.0±0.0
	30	1.2±0.4	1.0±0.0

A¹ ; 하층식생이 발달하여 무성한 지역, B ; 하층식생이 발달하지 않은 지역

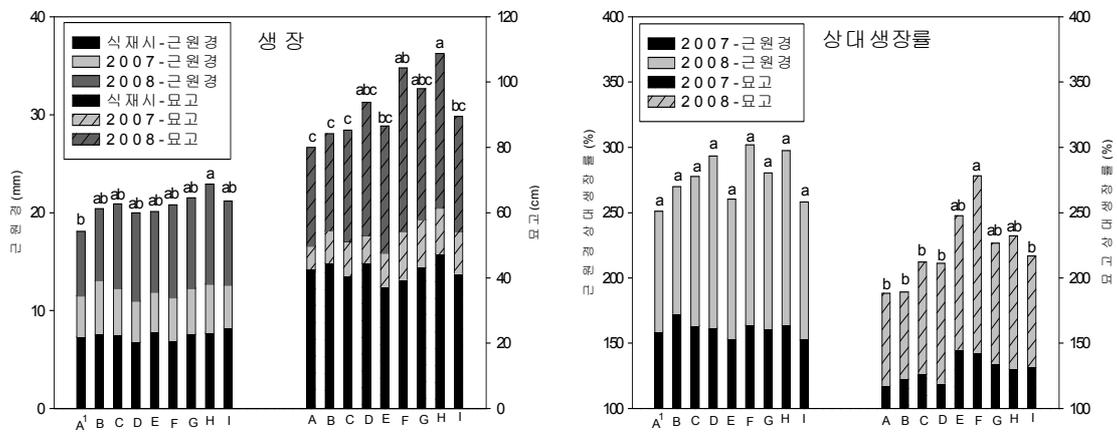
생존율의 결과와 같이 시비 처리에 따른 영향보다는 시험지 하층식생 발달 정도에 따른 영향이 나타난 것으로 보이며, 하층식생 처리 등의 적정 임지 관리가 이루어진다면 시비에 따라 조립한 묘목은 보다 우수한 생장을 할 것으로 판단된다.

2) 시비 처리에 따른 생장 특성

가) 근원경과 묘고 성장



<경기도 포천 A 지역>



<경기도 포천 B 지역>

그림 12-11. 시비 처리에 따른 소나무 용기묘 근원경 및 묘고의 생장(좌)과 상대성장률(우)

1; A: 100g-10cm, B: 100g-20cm, C: 100g-30cm, D: 200g-10cm, E: 200g-20cm, F: 200g-30cm, G: 300g-10cm, H: 300g-20cm, I: 300g-30cm

그림 12-11은 시비 처리와 함께 2007년에 식재 된 소나무 용기묘 1-2묘의 근원경과 묘고의 실제 성장치와 상대성장률을 하층식생 발달 정도에 따라 A지역과 B지역

으로 구분하여 나타낸 그래프이다.

A지역은 근원경은 8.8~10.8mm, 묘고는 71.7~95.8cm 범위 내에서 시비량 및 시비 깊이에 따라 차이를 보였으며, B지역에서는 근원경은 18.8~22.9mm, 묘고는 80.0~108.7cm 범위 내에서 차이를 보였다. A지역의 근원경은 B지역의 약 1/2 수준을 보였으며, 묘고는 약 10cm 이상 작았다. 또한 묘고와 근원경의 상대성장률도 같은 경향을 보였다. 이는 하층식생과의 경쟁이 없는 B지역에서 시비의 효과가 A지역보다 월등히 크게 나타난 것으로 해석되며, 입지환경에 따라 하층식생과의 경합이 심해지면 시비 효과가 반감될 수 있다는 것을 보여주는 것이다. 즉, 시비 효과를 극대화하기 위해서는 하층식생과 같이 조립한 묘목의 활착 및 생장을 방해하는 환경요인의 영향을 최소한으로 제한하는 조립 기술 및 입지관리방법 개선 등이 필요할 것이다.

시비량에 따른 조립묘목의 성장 차이에서는 200g 또는 300g 시비 처리에서 우수한 성장을 보였으며, 시비 깊이에 따른 성장 결과는 불규칙하게 나타났다.

이상을 종합해 보면 시비량과 시비 방법에 따른 식재초기의 성장 특성 차이는 크게 벌어지지 않은 것으로 평가된다. 이 때문에 조립 비용의 경제성을 고려해 보면 100g의 시비량이 적정 수준이라 판단된다. 그러나 1~2년의 시비 효과가 아닌 지속적인 시비효과를 기대할 때는 시비량을 늘려도 조립한 묘목의 활착 및 생육에 문제가 없다는 점을 고려하여 시비량을 100g 이상으로 증가하는 방법도 고려해 볼 수 있다. 또한 시비를 할 때는 하층식생에 의한 양료 손실을 줄이기 위하여 표층시비를 피하고 뿌리 끝에서 10cm 이상 심층으로 시비하는 것이 가장 적합하다고 판단된다. 그러나 시비 깊이가 낮으면 조립한 묘목이 과량의 시비로 인해 피해를 입을 수 있으므로 300g 이상의 시비를 할 경우 시비 깊이를 보다 심층으로 조정할 필요가 있다고 판단된다.

시비의 지속적인 효과를 기대할 경우에 본 시험에 적용된 묘목과 식재지와 같은 조건에서는 300g의 시비량과 10cm 이상의 심층시비가 가장 적합할 것으로 판단된다. 그러나 작업의 효율성이나 경제성 등을 고려해 보면 조립 비용에서 큰 차이가 나타날 수 있으므로 조립묘목의 수종과 묘령 및 조립지 입지환경 등의 조립 특성을 고려하여 시비량과 시비 깊이를 합리적인 선에서 제한할 수도 있다.

나) 물질생산량 및 T/R율

표 12-13은 시비 처리에 따른 물질생산량과 T/R율을 보여주고 있다.

시비량에 따른 물질생산량은 대부분 300g의 시비 처리에서 가장 높았으며, 시비량별 시비 깊이에 따른 물질생산량은 20cm의 깊이에서 가장 우수하였다. 그러나 200g과 300g의 시비량에서의 차이는 크게 나타나지 않았으며, 시비 깊이 20cm와 30cm에서도 큰 차이가 나타나지 않았다.

하층식생이 발달한 A지역에 비해 그렇지 않은 B지역에서는 약 5배 이상의 많은 물질생산량을 보였으며, 이는 조림지 입지환경에 문제가 없거나 입지 관리가 적절히 이루어진 조림지의 경우에 수종과 묘령에 따라 적정 시비에 따른 효과를 몇 배 이상으로 개선할 수 있다는 것을 보여주는 것이다.

표 12-13. 시비 처리에 따른 소나무 물질생산량 및 T/R율(2007년 식재)

수종	구분	처리		건중량(g)				T/R율
		시비량(g)	시비 깊이(cm)	잎	줄기	뿌리	전체	
소나무 용기묘 (1-2묘)	A ¹	100	10	6.1±5.1 ^a	11.1±7.1 ^b	4.1±1.1 ^{ab}	21.4±12.4 ^b	4.2±2.9 ^c
			20	9.8±6.5 ^a	22.1±13.0 ^{ab}	5.4±2.8 ^{ab}	37.4±21.7 ^{ab}	5.7±1.2 ^{bc}
			30	6.7±4.0 ^a	20.7±9.7 ^{ab}	4.1±1.7 ^{ab}	31.5±7.6 ^{ab}	7.1±1.8 ^{abc}
		200	10	7.8±4.0 ^a	25.4±5.3 ^{ab}	4.0±2.7 ^b	37.2±4.5 ^{ab}	10.3±5.0 ^{ab}
			20	11.6±8.2 ^a	30.1±8.2 ^a	5.0±1.2 ^{ab}	46.7±10.2 ^a	8.9±3.6 ^{abc}
			30	10.7±0.7 ^a	26.0±9.1 ^{ab}	8.2±2.4 ^a	44.9±10.2 ^a	4.7±1.6 ^c
		300	10	6.6±5.6 ^a	31.4±3.0 ^a	3.4±0.8 ^b	41.4±9.3 ^{ab}	11.2±0.9 ^a
			20	6.1±4.7 ^a	36.1±4.6 ^a	5.2±1.4 ^{ab}	47.4±10.0 ^a	8.3±0.9 ^{abc}
			30	6.6±4.6 ^a	30.3±10.4 ^a	7.0±2.9 ^{ab}	43.9±7.1 ^a	6.3±3.8 ^{abc}
	B	100	10	56.8±5.7 ^a	63.7±7.7 ^a	11.4±4.8 ^a	132.0±9.8 ^a	12.0±5.0 ^a
			20	70.3±25.3 ^a	76.9±19.9 ^a	46.3±38.5 ^a	193.4±83.1 ^a	4.2±2.2 ^b
			30	69.1±27.3 ^a	71.9±28.2 ^a	30.3±23.7 ^a	171.3±77.5 ^a	5.9±3.1 ^b
		200	10	61.0±44.4 ^a	79.2±36.7 ^a	23.7±12.8 ^a	163.9±93.9 ^a	5.9±0.3 ^b
			20	94.2±60.9 ^a	98.1±35.1 ^a	34.5±22.9 ^a	226.9±118.5 ^a	5.9±0.9 ^b
			30	71.3±52.0 ^a	98.1±53.8 ^a	32.4±27.5 ^a	201.8±130.0 ^a	6.0±3.3 ^b
		300	10	80.9±53.0 ^a	106.0±42.9 ^a	33.0±16.2 ^a	219.9±112.0 ^a	5.9±0.3 ^b
			20	109.6±55.6 ^a	109.2±37.5 ^a	34.5±17.9 ^a	253.5±106.0 ^a	5.9±0.9 ^b
			30	86.6±11.3 ^a	104.2±33.1 ^a	34.5±6.1 ^a	225.4±35.2 ^a	6.0±3.3 ^b

A¹ ; 하층식생이 발달하여 무성한 지역, B ; 하층식생이 발달하지 않은 지역

이상의 결과를 전체적으로 종합해 보면, 시비량과 시비 방법에 따른 생장 특성의 차이는 크지 않았다고 볼 수 있다. 이 때문에 조림 비용의 경제성을 고려해 보면 본 시험에서는 100g안팎의 시비량이 적정 수준이라 판단할 수도 있다. 그러나 1~2년의 시비 효과가 아닌 지속적인 시비효과를 기대할 때는 시비량을 더 이상 늘려도 조림한 묘목의 생육이 가능하므로 시비량을 100g 이상으로 증가하는 방법도 고려해 볼 수 있다. 또한 조림 작업의 효율성을 생각하여 뿌리 끝에서 밑으로 10cm안팎의 심층에 시비 하는 것이 가장 적합하다고 판단되지만 비료의 용탈과 지피식생에 의한 손실 또는 시비량 증가에 따라 시비 깊이가 낮으면 조림한 묘목이 과량의 시비로 인해 피해를 입을 수 있다는 점 등을 고려하여 300g 이상의 시비를 할 경우에 시비 깊이를 보다 심층으로 조정할 필요가 있다고 판단된다.

제 13 절 용기묘 조림 적정 식재 시기 구명

1. 목적

조림지의 생육환경과 함께 식재방법, 식재시기, 시비처리, 하층식생 처리 등의 식재기술은 조림 성과에 큰 영향을 미친다. 특히 각 수종별로 묘령 및 생육상태와 조림지 하층식생 관리 등을 고려하여 입지 환경별로 식재시기의 적절한 선택은 조림 성과에 많은 영향을 미친다. 용기묘의 조림에서 3~5년 동안 지속되는 하층 식생과의 수광경쟁 문제를 해결하기 위해서는 조림한 묘목이 가능한한 빠르게 임지에 활착되어 신속하게 성장할 수 있도록 하는 조림기술이 필요하며 이를 위해서는 용기묘의 종류별로 식재시기, 식재방법, 시비처리, 하층식생처리 등과 관련된 기술개발과 연관된 기초 또는 실연 연구가 필요하다.

본 연구에서는 소나무 용기묘(1-0)를 대상으로 식재시기에 따른 생육반응 특성을 조사하여 용기묘 조림과정에서 보다 유리한 적정 식재시기를 구명하고자 하였다.

2. 조사 내용 및 방법

가. 공시수종 및 조림지 시험구 설치

1) 공시수종

소나무 용기묘 1-0묘를 이용하였다.

2) 조림지 시험구 설치

산림생산기술연구소 시험림(경기도 포천), 강원도 홍천 및 전북 진안의 3곳을 대상으로 시험지별로 하층식생이 발달하여 무성한 A 지역과 하층식생이 발달하지 않은 B 지역으로 구분하여 각각 3개 plot 총 6개 plot을 설치하였으며, plot당 수종별, 규격별로 20주씩 총 60주의 묘목을 반복 식재하였다. 시험지 임황 및 지

황과 토양특성은 표 12-1, 2와 같다.

나. 식재 시기 처리 및 분석

1) 식재 시기 처리

소나무 용기묘(1-0)를 2006년 봄(4월), 여름(7월), 가을(9월)의 세 가지 시기로 나누어 식재하였다. 식재 시에는 묘목의 뿌리 끝에서 수직으로 약 10cm 이하에 20g 씩 심층 시비를 하였으며, 식재 전에 풀베기 작업을 실시하였다.

2) 측정 및 결과 분석 방법

조사 대상 지역별로 처리별 근원경 및 묘고와 생리상태(표 10-3)를 식재 시부터 2008년까지 총 2~3년간 조사하여, 연차별 성장과 상대성장률을 분석하였다. 2008년 9월 중순에 모든 실험이 끝난 후 묘목을 채취하여 잎, 가지, 뿌리를 구분하여 건중량을 측정하였다. 건중량 결과에 의해 묘목의 총 물질생산량과 배분비율 및 T/R율(지상부/지하부)을 계산하였다. 또한 2008년 가을 현재의 처리별 생존율과 생리적 형질 특성을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 식재 시기에 따른 생존율 및 생리적 형질 평가

1) 생존율

식재시기별 생존율에서는 모든 시험지에서 여름 식재 시에 가장 높은 생존율을 보였다(표 13-1). 이는 하층식생이 가장 무성한 여름 풀베기를 실시하면서 우기에 식재를 하여, 봄 또는 가을보다 하층식생과의 수광경쟁에서 조립한 묘목이 우위를 점할 수 있었기 때문이다. 또한 용기묘는 이식과정에서 근계를 보호하여 수분 스트레스에 대해 어느 정도의 저항력을 가지고 있기 때문에(11절 결과), 고온의 여름철

이지만 우기에 식재를 실시하면 조기에 활착되어 바로 생장을 지속할 수 있을 것으로 판단된다.

표 13-1. 식재시기에 따른 조립 묘목의 생존율

식재시기	생존율(%)					
	경기도 포천		강원도 홍천		전북 진안	
	A ¹	B	A	B	A	B
봄(4월)	68.9	95.6	77.8	51.1	42.2	77.8
여름(7월)	88.9	97.8	95.6	77.8	66.7	77.8
가을(9월)	82.2	91.1	66.7	77.8	37.8	53.3

A¹ ; 하층식생이 발달하여 무성한 지역, B; 하층식생이 발달하지 않은 지역

2) 생리적 형질 특성

식재시기별로 조립묘목의 생리상태를 비교할 때 생존율에서의 결과와 같이 여름 식재시에 가장 우수한 모습을 보였다(표 13-2). 또한 강원도 홍천 시험지를 제외한 두 시험지에서는 하층식생과의 경쟁이 적은 B지역에서 우수한 생리상태를 보였다. 그러나 강원도 홍천 시험지는 B지역이 계곡부의 입지환경이 좋지 못한 입지이기 때문에 생리상태가 좋지 못한 결과를 보인 것으로 판단된다.

표 13-2. 식재시기에 따른 조립 묘목의 생리적 형질

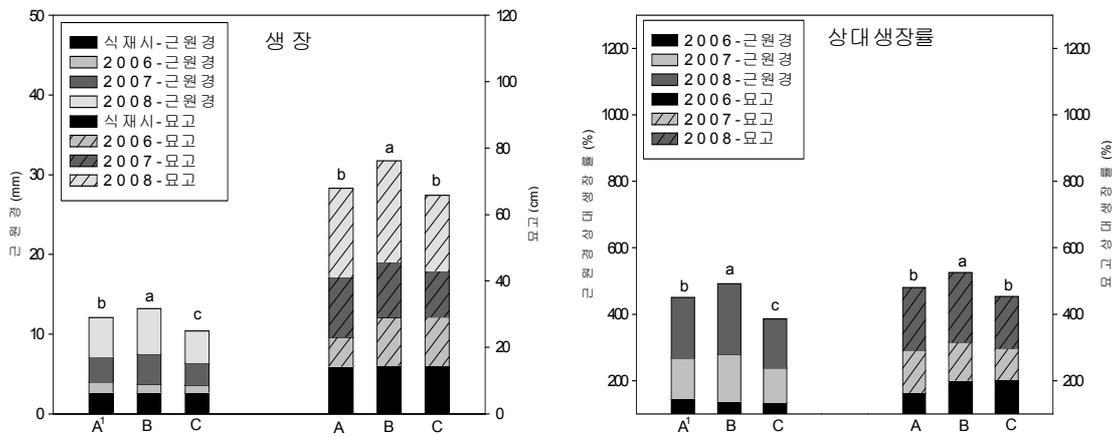
식재시기	생리 형질 지수					
	경기도 포천		강원도 홍천		전북 진안	
	A ¹	B	A	B	A	B
봄(4월)	3.09±1.47	2.16±0.93	3.49±1.04	4.20±1.01	3.89±1.12	2.82±1.37
여름(7월)	2.78±1.08	1.80±0.89	2.76±0.91	3.49±1.04	3.07±1.53	2.84±1.17
가을(9월)	3.02±1.02	2.48±1.05	3.62±1.25	3.60±0.96	4.07±1.30	3.80±1.24

A¹ ; 하층식생이 발달하여 무성한 지역, B; 하층식생이 발달하지 않은 지역

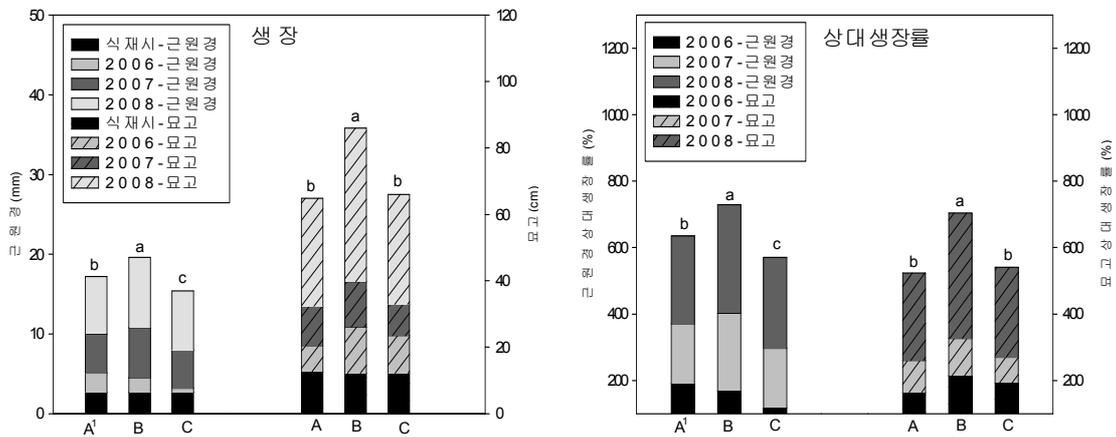
나. 식재 시기 처리에 따른 생장 특성

1) 근원경과 묘고 생장

그림 13-1, 2, 3은 2006년 식재한 소나무 용기묘 1-0묘의 식재시기별 근원경과 묘고의 실제 생장치와 상대생장률을 나타낸 그래프이다.



<경기도 포천 A 지역>



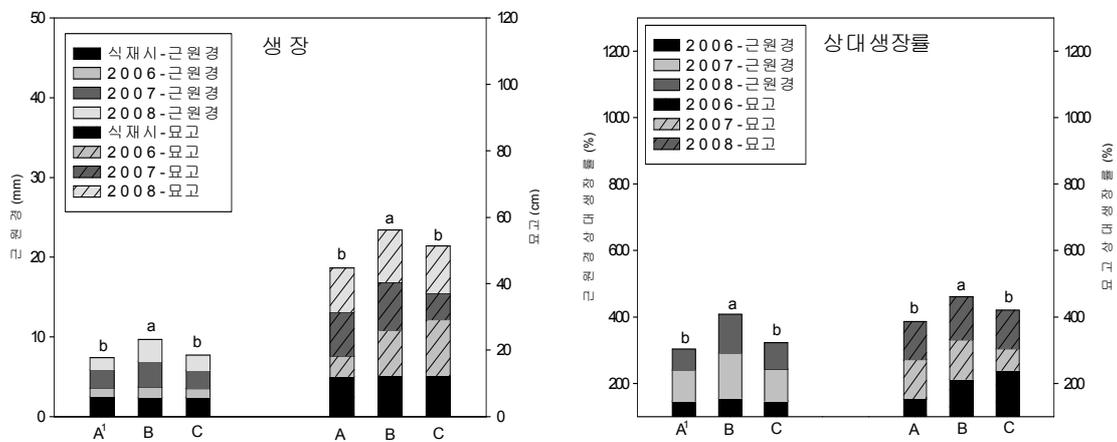
<경기도 포천 B 지역>

그림 13-1. 식재시기에 따른 소나무 용기묘(1-0)의 근원경 및 묘고 생장(좌)과 상대생장률(우)

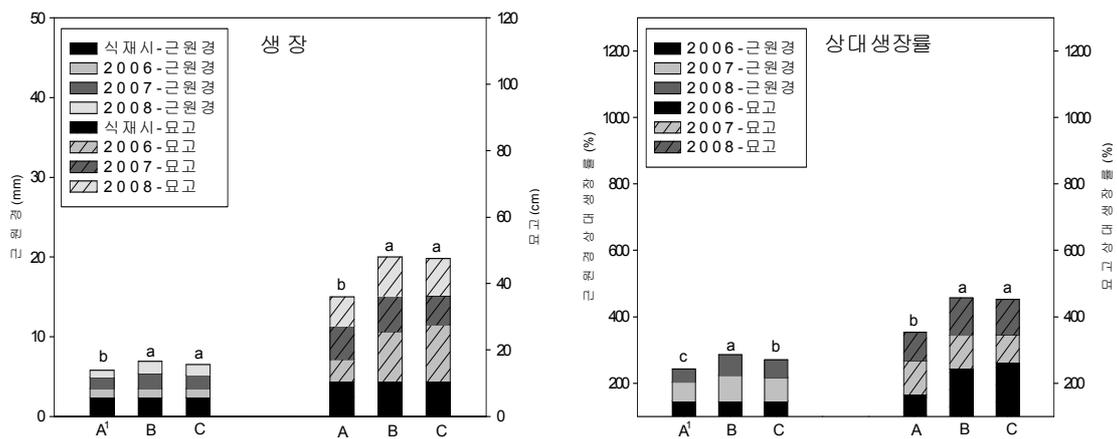
1; A: 봄 식재, B: 여름 식재, C: 가을 식재

세 시험지 모두 근원경 생장은 여름에 식재할 경우에 가장 양호한 모습을 보였

다. 또한 대부분의 시험지에서 식재 1년차에는 생장이 가장 불량하였으며, 해가 지날수록 성장률이 높아지는 것을 볼 수 있다. 이는 식재 초기에 이식 후유증 등의 스트레스에 따라 영향을 받는 것으로 판단되며, 식재 후 3년차 이상이 되어야 묘목이 어느 정도의 안정된 성장 패턴으로 돌아올 수 있다고 생각되어 진다. 이를 개선하기 위해서는, 식재 후에 관찰되는 묘목의 스트레스를 최소한으로 줄이면서, 가능한 빠르게 임지에 활착되어 성장할 수 있는 용기묘 식재기술 개발에 대해 다양한 실연연구가 필요하다.



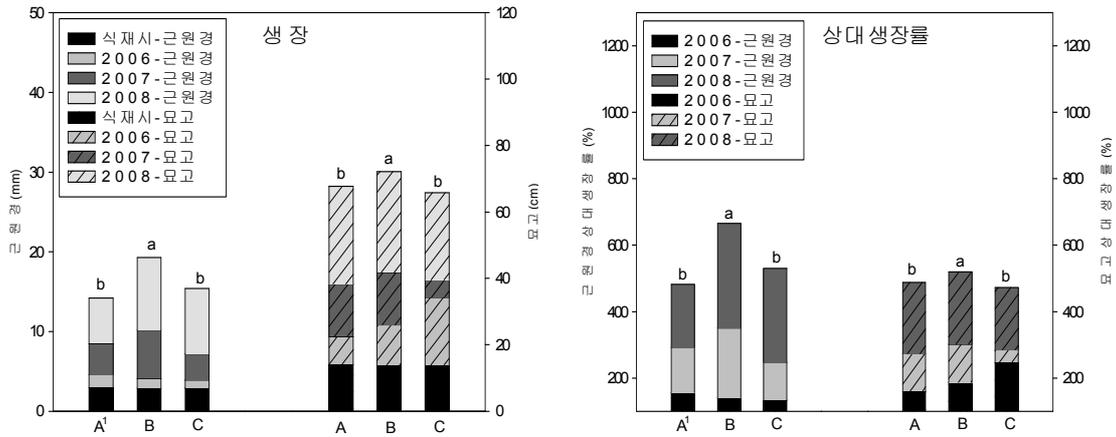
<강원도 홍천 A 지역>



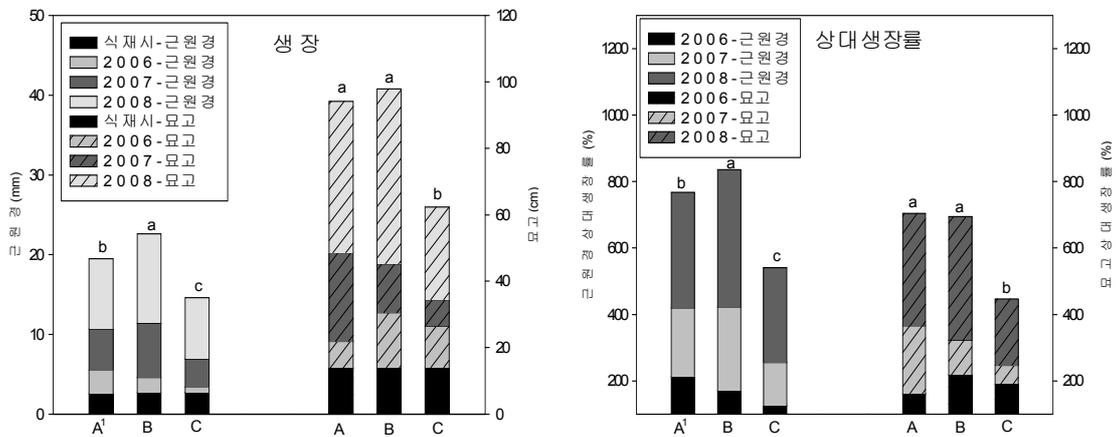
<강원도 홍천 B 지역>

그림 13-2. 식재시기에 따른 소나무 용기묘(1-0)의 근원경 및 묘고의 성장(좌)과 상대성장률(우)

1; A: 봄 식재, B: 여름 식재, C: 가을 식재



<전북 진안 A 지역>



<전북 진안 B 지역>

그림 13-3. 식재시기에 따른 소나무 용기묘(1-0)의 근원경 및 묘고의 생장(좌)과 상대성장률(우)

1; A: 봄 식재, B: 여름 식재, C: 가을 식재

대부분의 시험지에서 묘고 생장은 또한 여름에 식재 할 경우에 가장 우수한 결과를 보였으며, 봄과 가을간의 차이는 거의 나타나지 않았다. 그러나 강원도 홍천 시험지에서 B지역은 여름과 가을 식재가, 전북 진안 시험지에서는 B지역은 봄과 여름 식재 시에 큰 차이가 나타나지 않았다. 묘고의 생장은 근원경의 생장과 달리 대부분 식재 2년차에 가장 낮은 성장률을 보였다. 이는 소나무의 고정 성장 특성에 의해 1년차 생장은 대부분 조립 전 양묘과정에서 형성된 세포들의 생장에 의한 것으로 유리한 생육환경을 지닌 시설 내에서 자라는 과정을 통해 다수의 건전한 세포들이 형성되어 이식 1년차 생장을 주도함으로써 양호한 성장을 한 것으로 볼 수 있

다. 그러나 이식 후유증 등의 스트레스에 의해 이식 당년에는 다음해에 자랄 세포의 형성이 제약을 받음으로서 이식 2년차의 생장은 크게 위축되는 것으로 판단되며, 3년차부터는 입지환경에 적응하면서 생리적인 활력이 안정 상태로 회복되어 다시 높은 생장을 보여주는 것이다.

지역별 근원경과 묘고의 상대생장률은 진안 시험지가 가장 우수하며, 경기도 포천, 강원도 홍천 시험지 순으로 나타났다. 또한 대부분의 시험지에서 하층식생이 무성하지 않은 B지역이 무성한 A지역 보다 높은 생장률을 나타냈다. 이는 조림한 묘목과 하층식생과의 경쟁이 조림 성과에서 중요한 영향을 미친다는 것을 보여주는 것으로 조림지 하층식생 조건에 따른 차별화된 식재 기술개발이 필요하다는 것을 가시적으로 나타내는 결과로 볼 수 있다.

이상의 결과를 전체적으로 종합해 보면 하층 식생이 발달하여 조림한 묘목에 가장 큰 영향을 주는 여름에 용기묘를 조림할 경우, 조림 직전 하층식생이 가장 왕성할 때 풀베기를 실시하기 때문에 봄 또는 가을에 식재한 용기묘보다 하층식생과의 경쟁을 적게 받을 수 있다. 또한 여름에 조림함에 있어 당해년도에 더 이상의 추가적인 풀베기가 필요하지 않음에 따라 조림 후 풀베기 횟수를 줄여줌으로써 무육관리 과정에서 비용을 절감할 수 있는 것이다.

식재시기별 활착률과 생장률을 동시에 고려하면 소나무 용기묘(1-0)는 지역별로 다소 차이는 있지만 여름철 우기 식재가 가장 적합하다고 판단된다. 또한 풀베기 작업 등의 무육관리를 최소한으로 줄일 수 있기 때문에 경제적으로도 비용을 절감할 수 있다.

2) 물질생산량 및 T/R율

식재시기에 따른 물질생산량 차이에서 세 시험지 모두 유의적 차이를 보이면서 여름 식재 시에 가장 높은 값을 보였다. 또한 경기도 포천과 전북 진안 시험지는 하층식생이 발달하지 않은 B지역의 물질생산량이 A지역 보다 높은 값을 나타냈으며, 강원도 홍천 시험지는 B지역의 입지환경이 불량하여 하층식생의 영향보다는 다른 입지조건의 영향으로 A지역 보다 낮은 물질생산량을 보였다. T/R율은 지역별 차이는 있지만 물질생산량이 많을수록 높아지는 경향을 보였는데, 이는 처리에 따라 우수한 입지조건에서는 활발한 광합성 활동을 위해 지상부의 생장이 지하부 생

장보다 신속하게 이루어지면서 T/R율이 높아지는 것으로 판단할 수 있는 것이다 (표 13-3).

표 13-3. 식재시기에 따른 조립 묘목의 물질생산량 및 T/R율

수종	지역	구분	시기	건중량(g)				T/R율
				잎	줄기	뿌리	전체	
소나무 용기묘 (1-0)	경기도 포천	A ¹	봄	10.3±5.9 ^a	15.3±5.6 ^b	10.8±9.2 ^a	36.3±4.4 ^{ab}	4.0±2.6 ^a
			여름	15.6±4.8 ^a	25.1±6.1 ^a	6.7±1.7 ^a	47.4±12.7 ^a	6.1±0.2 ^a
			가을	8.4±3.0 ^a	14.8±2.4 ^b	6.1±5.6 ^a	29.2±10.3 ^b	5.7±3.6 ^a
		B	봄	20.9±1.5 ^b	23.8±3.4 ^b	22.3±11 ^{a,4}	67.0±6.5 ^b	2.6±1.8 ^a
			여름	50.0±5.4 ^a	55.6±5.2 ^a	17.7±3.5 ^a	123.3±9.2 ^a	6.1±1.1 ^a
			가을	24.1±9.4 ^b	30.2±12.0 ^b	8.7±3.7 ^b	62.9±12.6 ^b	9.1±2.3 ^a
	강원도 홍천	A	봄	4.8±1.9 ^a	5.4±1.5 ^a	6.0±2.3 ^a	16.2±1.9 ^a	2.0±1.1 ^b
			여름	7.4±1.9 ^a	7.7±2.4 ^a	3.3±2.0 ^a	18.4±5.0 ^a	5.3±2.2 ^a
			가을	5.2±0.8 ^a	8.0±1.5 ^a	3.2±0.9 ^a	16.3±1.5 ^a	4.5±1.7 ^{ab}
		B	봄	2.0±1.9 ^a	3.3±0.6 ^b	2.5±2.1 ^a	7.7±1.6 ^b	4.8±2.9 ^a
			여름	3.8±1.2 ^a	6.0±1.2 ^a	2.0±1.1 ^a	11.8±1.6 ^a	5.9±3.0 ^a
			가을	2.3±1.2 ^a	4.9±1.1 ^{ab}	2.6±0.8 ^a	9.8±1.2 ^{ab}	3.1±1.3 ^a
	전북 진안	A	봄	22.7±15.1 ^a	32.9±7.1 ^{ab}	12.1±5.0 ^a	67.7±18.0 ^a	5.4±2.9 ^a
			여름	30.0±8.7 ^a	39.6±4.9 ^a	9.9±6.1 ^a	79.6±9.2 ^a	11.5±1.1 ^a
			가을	26.4±3.2 ^a	30.2±2.5 ^b	10.1±2.4 ^a	66.7±3.6 ^a	5.9±1.8 ^a
		B	봄	33.0±20.8 ^a	47.4±6.6 ^b	25.0±20.7 ^a	105.4±19.4 ^{ab}	5.0±3.3 ^a
			여름	45.2±6.9 ^a	56.0±4.5 ^a	15.8±6.5 ^a	117.1±16.0 ^a	7.1±2.8 ^a
			가을	29.3±5.9 ^a	40.2±9.6 ^b	10.4±6.1 ^a	79.8±14.9 ^b	8.5±4.7 ^a

A¹ ; 하층식생이 발달하여 무성한 지역, B; 하층식생이 발달하지 않은 지역

제 14 절 용기 규격에 따른 조림 성과 분석

1. 목적

용기묘 양묘과정에서는 광선, 수분, 온도 등의 생육환경조절과 함께 용기의 종류나 배양토, 시비체계 등도 중요한 영향을 미치며, 이와 같은 양묘조건에서 생산된 묘목은 조림과정에서도 조림의 성과와 직접적으로 연계되어 영향을 미친다. 수종별·묘령별 적정 용기 규격에 양묘된 묘목은 근원경과 묘고의 생장이 우수할 뿐만 아니라 불량한 입지환경 스트레스에 대한 저항성도 높게 나타난다. 또한 용기의 활용량이 커질수록 뿌리의 생장이 우수해지며, 이는 조림 시 높은 활착률로 이어질 수 있다. 따라서 양묘과정에서 수종과 묘령에 따른 적정 용기규격을 구명해야 하며, 이 적정 용기 규격에서 양묘된 조림묘목은 실질적인 조림과정에서도 활착 및 성장에 영향을 미쳐서 우수한 조림성으로 나타날 것이다.

본 연구에서는 용기 규격을 달리하여 양묘한 소나무 용기묘 1-0묘와 2-0묘를 대상으로 조림 시 생육반응 특성을 조사하여 용기묘 조림과정에서 용기 규격에 따라 조림한 묘목의 조림성과에 미치는 영향을 구명하고자 하였다.

2. 조사 내용 및 방법

가. 공시수종 및 조림지 시험구 설치

1) 공시수종

소나무 용기묘 1-0묘와 2-0묘를 이용하였다.

2) 조림지 시험구 설치

산림생산기술연구소 시험림(경기도 포천), 강원도 홍천 및 전북 진안의 3곳을 대상으로 시험지별로 하층식생이 발달하여 무성한 A 지역과 하층식생이 발달하지

않은 B 지역으로 구분하여 각각 3개 plot 총 6개 plot을 설치하였으며, plot당 수종별·규격별 20주씩 총 60주의 묘목을 반복 식재하였다. 시험지 임황 및 지황과 토양 특성은 표 12-1, 2와 같다.

나. 용기 규격별 식재 및 분석

1) 용기 규격별 식재

용기 규격을 104혈과 35혈로 제작하여 양묘한 소나무 용기묘(1-0)를 대상으로 2006년 봄(4월)에 식재하였다. 식재 시 묘목의 뿌리 끝에서 수직으로 약 10cm 이하에 20g씩 심층 시비를 하였으며, 식재 전 풀베기 작업을 실시하였다. 또한 경기도 포천 시험지는 용기 규격을 15혈과 대표용 포트로 양묘한 소나무 용기묘(2-0)를 추가적으로 식재하여 실험을 실시하였다.

2) 측정 및 결과 분석 방법

조사 대상 지역에 따라 용기 규격별 근원경 및 묘고와 조림묘목의 생리상태(표 10-3)를 식재 시부터 2008년까지 총 3년간 조사하여, 연차별 성장과 상대성장률을 분석하였다. 2008년 9월 중순 모든 실험이 끝난 후 묘목을 채취하여 잎, 가지, 뿌리를 각각 구분하여 건중량을 측정하였다. 건중량 결과에 의해 묘목의 총 물질생산량과 배분비율 및 T/R율(지상부/지하부)을 계산하였다. 또한 2008년 가을 현재의 용기 규격별 생존율과 생리적 형질 특성을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 용기 규격에 따른 생존율 및 생리적 형질 평가

1) 생존율

용기 규격에 따른 조림묘목의 생존율은 대부분 큰 차이를 보이지 않았으며 용기

묘 자체의 특성이나 조림지 입지환경에 따라 불규칙한 경향을 보였다(표 14-1). 대부분 하층식생과의 경쟁이 적은 B지역에서 높은 생존율을 나타냈지만, 강원도 홍천 지역은 B지역이 불량한 입지환경을 가지고 있어서 낮은 생존율을 보였다.

표 14-1. 용기 규격에 따른 조림 묘목의 생존율

용기규격		생존율(%)					
		경기도 포천		강원도 홍천		전북 진안	
		A ¹	B	A	B	A	B
소나무 용기묘 (1-0)	104형 (60ml)	88.9	97.8	92.6	77.8	66.7	77.8
	35형 (240ml)	82.2	95.	84.4	77.8	57.8	80.0
소나무 용기묘 (2-0)	15형 (350ml)	95.6	97.8	X			
	대묘용포트 (800ml)	91.1	100.0				

A¹ ; 하층식생이 발달하여 무성한 지역, B; 하층식생이 발달하지 않은 지역

2) 생리적 형질 특성

표 14-2. 용기 규격에 따른 조림 묘목의 생리적 형질

용기규격		생리 형질 지수					
		경기도 포천		강원도 홍천		전북 진안	
		A ¹	B	A	B	A	B
소나무 용기묘 (1-0)	104형 (60ml)	2.56±1.29	1.38±0.83	3.56±0.93	3.53±0.81	3.33±1.52	2.60±1.19
	35형 (240ml)	2.53±1.31	1.33±0.80	2.82±0.78	3.38±1.01	2.76±1.52	1.93±1.07
소나무 용기묘 (2-0)	15형 (350ml)	2.18±1.11	1.49±0.87	X			
	대묘용포트 (800ml)	1.76±1.09	1.11±0.38				

A¹ ; 하층식생이 발달하여 무성한 지역, B; 하층식생이 발달하지 않은 지역

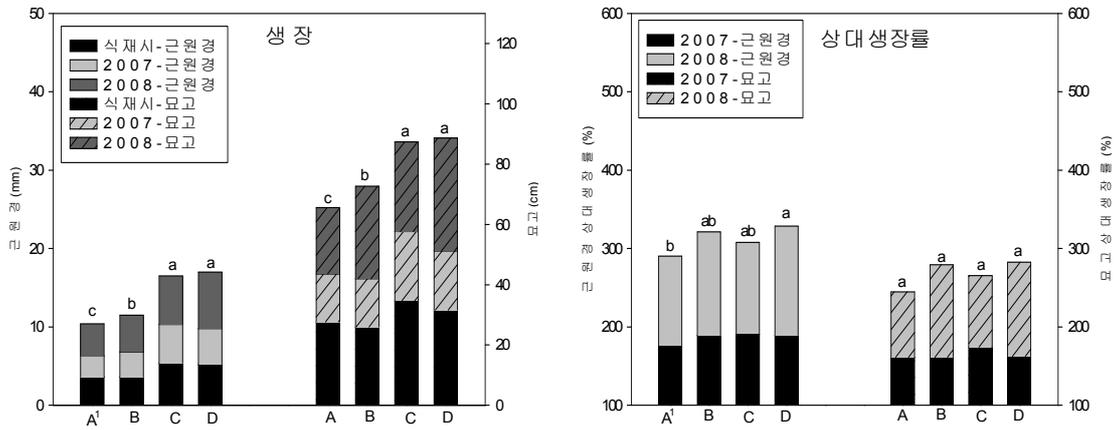
용기 규격에 따른 조림묘목의 생리상태는 지역별 차이는 있지만 혈용량이 커질수록 전체적으로 우수한 생리형질을 보였다(표 14-2). 또한 강원도 홍천 시험지를 제외한 두 시험지에서는 하층식생과의 경쟁이 적은 B지역에서 우수한 생리상태를 보였다. 그러나 강원도 홍천 시험지는 B지역이 계곡부의 입지환경이 좋지 못한 임지이기 때문에 생리상태가 좋지 못한 결과를 나타낸 것으로 판단된다. 혈용량이 클수록 뿌리의 생장이 발달했기 때문에 조림 초기에 우수한 활착을 보이면서 생장과 생

리상태가 우수한 것으로 판단된다.

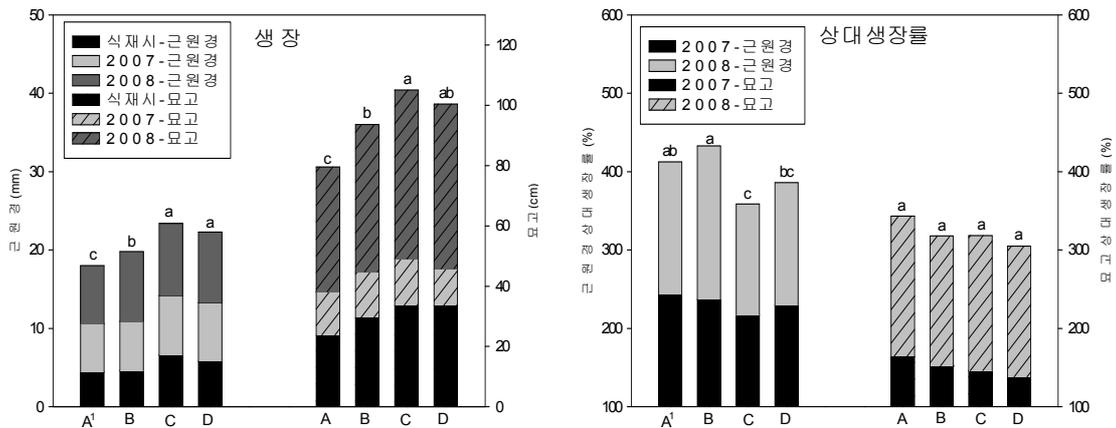
나. 용기 규격에 따른 성장 특성

1) 근원경과 묘고 성장

그림 14-1, 2, 3은 규격이 다른 용기에서 키운 소나무 용기묘 1-0묘와 2-0묘를 2006년에 지역별로 식재한 후 이들의 근원경과 묘고의 실제 성장치와 상대성장률을 연도별로 측정하여 나타낸 그래프이다.



< 경기도 포천 A 지역 >

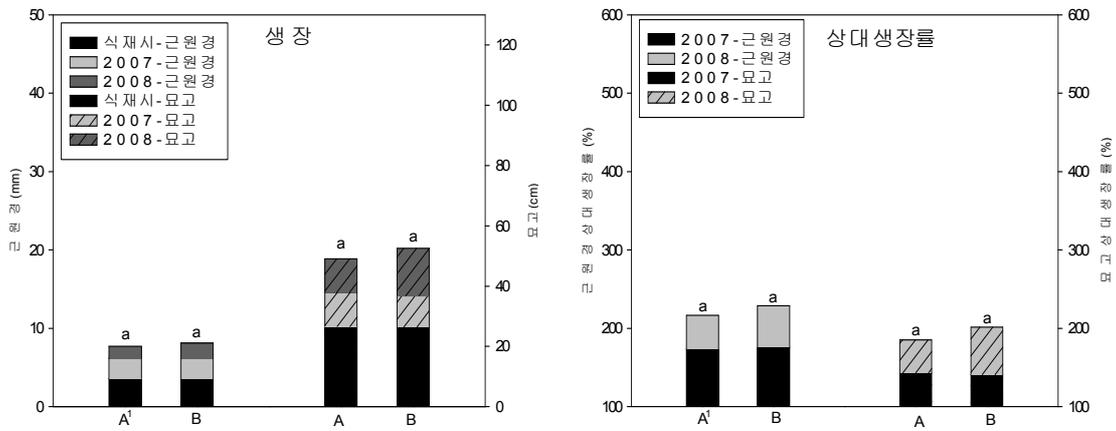


< 경기도 포천 B 지역 >

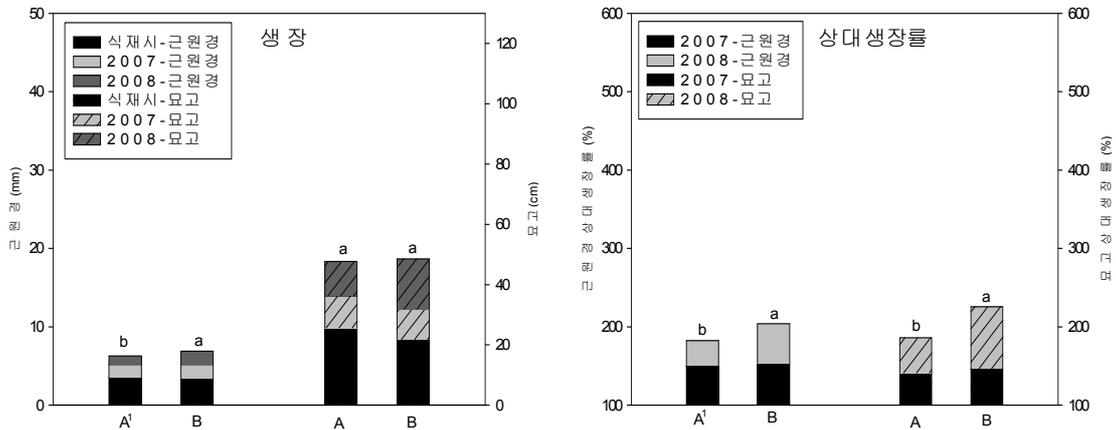
그림 14-1. 용기 규격에 따른 소나무 용기묘의 근원경 및 묘고의 성장(좌)과 상대성장률(우)

1; A: 1-0묘 104월(60ml), B: 1-0묘 35월(240ml), C: 2-0묘 15월(350ml), D: 2-0묘 대묘용 포트(8000ml)

소나무 용기 1-0묘는 세 시험지 모두 104월 용기묘 보다 35월 용기에서 양묘하여 조립한 묘목이 양호한 성장을 보였으며, 상대성장률 또한 대부분의 시험지에서 높은 값을 보였다. 경기도 포천 시험지에서 추가적으로 조사한 소나무 용기 2-0묘는 혈용량이 적은 15월 용기묘가 대묘용 포트보다 다소 우수한 성장을 보일 경우가 많았지만, 서로간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다.



< 강원도 홍천 A 지역 >

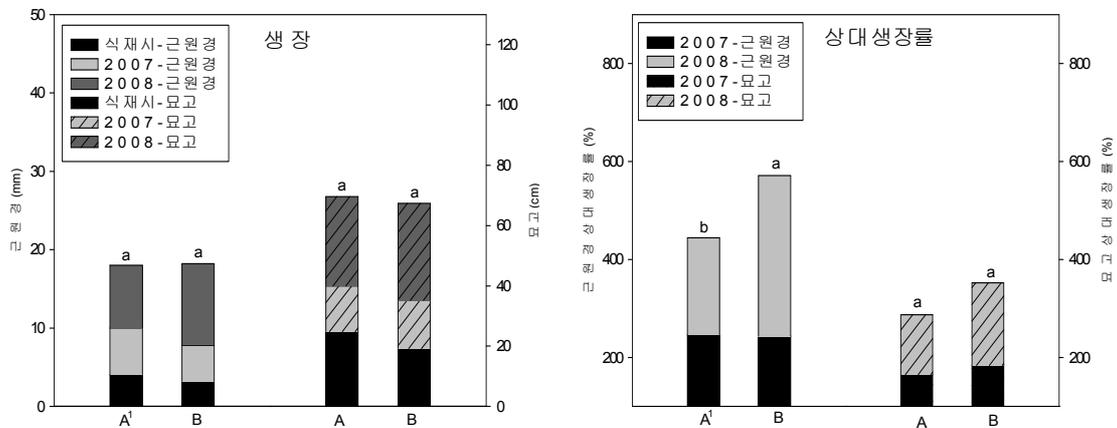


< 강원도 홍천 B 지역 >

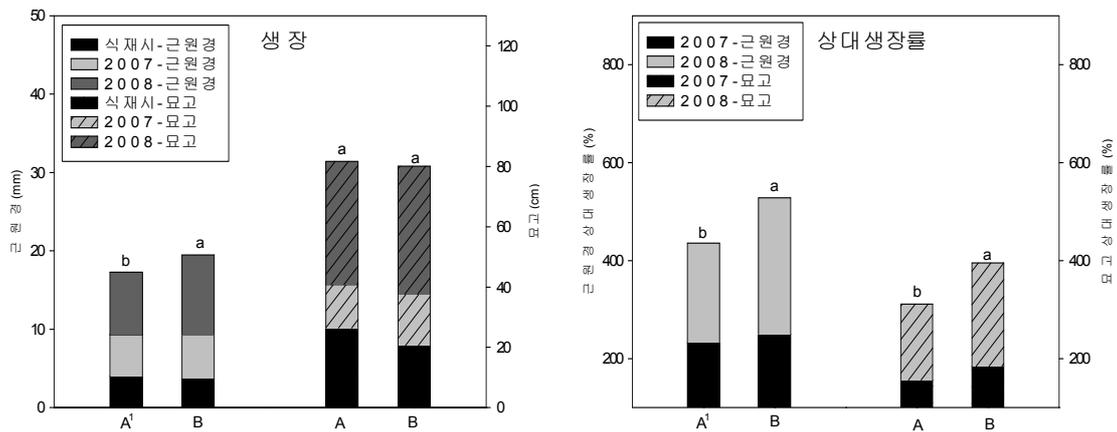
그림 14-2. 용기 규격에 따른 소나무 용기묘의 근원경 및 묘고의 성장(좌)과 상대성장률(우)
 1; A: 1-0묘 104월(60ml), B: 1-0묘 35월(240ml)

이와 같은 결과로 볼 때, 2년생 소나무에서 15월 용기가 적정규격을 지니고 있어 그이상의 혈용량을 가지는 용기에 양묘를 하여도 조립 후 성장에 있어 서로간에 큰

차이가 없을 것으로 예상된다. 이 때문에 경제적인 측면을 고려하면 2년생 소나무에서는 15월 이상의 용기 규격은 불필요한 것으로 판단된다. 이와 달리, 소나무 1-0묘를 대량 생산할 경우에는 104월 용기 규격에 양묘하는 것이 경제적으로 타당하지만, 묘목의 질적인 측면을 개선하고 조림성과를 높이기 위해서는 혈용량이 큰 35월 용기 규격에 양묘하여 조림하는 것이 바람직하다고 판단된다. 또한 35월 이상의 용기 규격에 대해서도 보다 적합한 용기규격이 제시될 수 있는지 알아보기 위한 실질적인 실연연구가 필요할 것이다.



< 전북 진안 A 지역 >



< 전북 진안 B 지역 >

그림 14-3. 용기 규격에 따른 소나무 용기묘의 근원경 및 묘고의 성장(좌)과 상대성장률(우)

1; A: 1-0묘 104월(60ml), B: 1-0묘 35월(240ml)

이상의 결과를 종합해 보면 수종과 묘령에 따른 적정 용기 규격은 양묘과정에서

도 우수한 묘목을 생산할 뿐만 아니라 조립과정에서도 활착 및 생장에 영향을 미쳐 우수한 조립 성과를 나타낼 것이다. 즉, 여러 가지 조립 수종에 있어 각 수종별로 묘령에 맞추어 질적 측면과 경제적인 측면을 동시에 고려한 적정 용기 규격을 구명해야 하며, 이러한 기술 개발정보는 양묘와 조립 과정에서 중요한 자료로 이용될 수 있을 것이다.

2) 물질생산량 및 T/R율

표 14-3은 용기 규격에 따른 용기묘 1-0묘와 2-0묘의 물질생산량과 T/R율을 시험지 별로 나타낸 것이다.

표 14-3. 용기 규격에 따른 조립 묘목의 물질생산량 및 T/R율

수종	지역		혈용량	건중량(g)				T/R율
				잎	줄기	뿌리	전체	
소나무 용기묘 (1-0)	경기도 포천	A	104혈(60ml)	8.5±5.4 ^b	15.3±2.8 ^b	4.9±0.2 ^b	28.8±5.5 ^b	4.9±1.3 ^a
			35혈(240ml)	8.5±1.2 ^b	16.0±1.7 ^b	5.2±0.6 ^b	29.7±0.4 ^b	4.8±0.5 ^a
		B	104혈(60ml)	50.0±5.4 ^b	55.6±5.2 ^b	17.7±3.5 ^b	123.3±9.2 ^c	6.1±1.1 ^a
			35혈(240ml)	59.6±8.2 ^b	65.2±16.1 ^{ab}	21.5±1.2 ^b	146.3±23.3 ^{bc}	5.8±0.9 ^a
	강원도 홍천	A	104혈(60ml)	5.3±2.3 ^a	6.4±2.0 ^b	2.6±1.4 ^a	14.4±4.7 ^a	5.0±1.9 ^a
			35혈(240ml)	6.6±2.4 ^a	10.7±3.5 ^a	2.5±1.2 ^a	19.8±6.3 ^a	7.5±2.0 ^a
		B	104혈(60ml)	3.8±1.3 ^b	6.5±0.6 ^a	2.9±0.8 ^a	13.2±1.9 ^b	3.7±1.0 ^a
			35혈(240ml)	8.0±1.5 ^a	7.8±1.4 ^a	4.2±1.2 ^a	19.9±3.0 ^a	3.9±0.9 ^a
	전북 진안	A	104혈(60ml)	20.0±9.0 ^a	33.6±7.1 ^a	9.9±2.0 ^a	63.5±7.3 ^a	5.6±1.6 ^a
			35혈(240ml)	24.6±5.1 ^a	36.6±4.7 ^a	10.2±1.1 ^a	71.4±10.4 ^a	6.0±0.8 ^a
		B	104혈(60ml)	28.3±7.3 ^b	46.1±6.0 ^b	15.6±4.4 ^a	90.1±15.1 ^b	5.0±1.2 ^a
			35혈(240ml)	50.5±10.8 ^a	71.0±6.6 ^a	18.2±2.7 ^a	139.7±19.8 ^a	6.7±0.4 ^a
소나무 용기묘 (2-0)	경기도 포천	A	15혈(350ml)	24.0±8.0 ^a	20.2±9.7 ^{ab}	8.1±2.7 ^{ab}	52.2±5.6 ^a	5.9±1.8 ^a
			대묘용포트(800ml)	19.6±2.2 ^a	32.2±9.2 ^a	9.9±1.7 ^a	61.7±12.0 ^a	5.2±0.5 ^a
	B	15혈(350ml)	87.1±24.3 ^a	93±30.5 ^{ab}	26.2±6.9 ^b	206.3±58.6 ^{ab}	7.0±1.8 ^a	
		대묘용포트(800ml)	90.8±14.0 ^a	102.1±45.3 ^a	36.6±9.9 ^a	229.5±56.2 ^a	5.3±0.8 ^a	

물질생산량에서는 용기묘 1-0묘의 경우에 세 시험지 모두 35혈(240ml)이 104혈에 비해 높은 생산량을 보였다. 이는 혈용량이 크기 때문에 양묘과정부터 뿌리의 발달이 우수하여 물질생산량에서 유리한 조건을 갖추었기 때문이다. 이 때문에 조림과정에서 우수한 활착과 생장을 보이면서 뿌리뿐만 아니라 지상부의 생장도 활발하게 이루어져 줄기, 잎 각각의 물질생산량도 높게 나타난 것으로 판단된다. 그러나 혈용량이 클수록 조림성고가 우수하다고 수종과 묘령에 상관없이 용기 규격을 지나치게 크게 하는 것은 경제적으로 불리하며 양묘나 조림작업에 있어서도 효율적이지 못할 것으로 판단된다. 이 때문에 양묘과정뿐만 아니라 조림과정에서의 실연연구를 통해 수종과 묘령에 맞는 적정 규격의 용기를 개발하는 연구가 지속적으로 이루어져야 할 필요가 있다. 용기묘 2-0묘 또한 1-0묘와 같이 혈용량이 큰 대묘용 포트에서 높은 물질생산량을 보였으며, 1-0묘보다 2배 이상의 물질생산량을 나타냈다. 지역별로는 경기도 포천 시험지에서 가장 높은 물질생산량을 보였으며, 전북 진안, 강원도 홍천 시험지 순으로 이어졌다. 용기 규격에 따른 T/R율은 경기도 포천 시험지는 용기규격이 큰 조림묘목에서, 강원도 홍천과 전북 진안 시험지는 용기 규격이 작은 조림묘목에서 낮게 나타나, 전체적으로 불규칙한 경향을 보이면서 유의적인차이 또한 인정되지 않았다.

제 15 절 용기묘 조림지의 임지관리 기술 개발

1. 목적

하층식생에 대한 임지관리기술은 조림 성과에 가장 많은 영향을 미치는 요소 중 하나이다. 조림한 묘목은 하층식생과의 수광경쟁에서 유리한 조건을 지속적으로 유지하면서 살아남아야 조림 후 안정적인 활착을 할 수 있으며, 건전한 묘목으로 성장 할 수 있다. 그러나 산림은 다양한 임지환경을 가지고 있으므로 하층식생에 대한 획일화된 임지관리기술의 적용은 현실적으로 맞지 않으며, 임지별로 다양한 하층식생에 대처하는 차별적인 임지관리기술이 필요하다. 이를 위해서는 임지별 하층식생의 정도와 특성을 파악하는 것이 무엇보다 중요하다. 또한 식재 후 적용되는 임지관리 기술에서는 수종이나 용기묘의 규격 또는 배식 방법별로 하층식생이나, 수광조건, 토양 등을 포함한 조림지의 다양한 임지 환경을 고려한 차별화된 적정 관리 기술의 개발 및 적용이 필요하다.

하층식생과의 수광경쟁에서 우위를 점하기 위해서는 용기묘의 규격 즉, 묘고가 기존의 용기묘 규격보다 커야 되며, 이에 따른 근원경 또한 커져야 된다. 이와 관련하여 제시할 수 있는 방안이 대묘 형태로 키운 용기묘의 조림이다. 대묘형태의 용기묘는 하층식생과의 경쟁에서 우위를 점하면서 신속히 활착되어 왕성한 성장을 보임으로서 조기에 식생경쟁으로부터 벗어날 수 있다. 이 때문에 조림과정에서 여름철에 조림지 준비를 위한 풀베기작업을 한 다음에 바로 조림을 실시하면 추가적인 풀베기 작업 없이 어린나무가꾸기 전까지의 무육관리를 생략할 수도 있다. 이와 같은 조림기술은 앞으로 소면적 불규칙식재를 효과적으로 실시하기 위한 전제조건으로 문제가 되는 풀베기 작업을 생략하기 위해 반드시 필요하다.

대묘 형태의 용기묘 개발은 이러한 하층 식생과의 수광경쟁에서 현재의 용기묘보다 높은 경쟁력을 나타낼 것이며, 이는 높은 활착률로 이어질 것이다. 따라서 대묘 형태의 용기묘 시업기술의 체계적인 확립은 앞으로 이들 대묘형태의 용기묘를 성공적으로 확대 보급하는데 전제 조건이 된다.

하층 식생과의 경쟁 문제를 해결하기 위해서는 조림한 대묘가 가능한 빠르게 임지에 활착되어 성장할 수 있는 기술이 필요하며 이를 위해서는 용기묘의 종류별로

식재시기, 식재방법, 시비처리 등의 식재 기술과 함께 특히 하층식생처리 등과 관련된 임지관리 기술 개발과 연관된 기초 또는 실연 연구가 필요하다.

이상과 관련하여 수종별·규격별 용기묘를 대상으로 풀베기 처리 유·무 및 비닐과 부직포 멀칭 처리 등을 이용한 하층식생처리에 따른 조림묘목의 생존율 및 성장 특성을 조사·분석하여 용기묘 조립 시 수종에 따른 적정 임지관리 기술을 구명하고자 한다.

2. 조사 내용 및 방법

가. 대상수종 및 조림지 시험구 설치

1) 공시수종

소나무, 상수리나무 및 고로쇠나무 용기묘와 노지묘 등 3수종을 이용하였다.

2) 조림지 시험구 설치

산림생산기술연구소 시험림(경기도 포천), 강원도 홍천 및 전북 진안의 3곳을 대상으로 시험지별로 하층식생이 발달하여 무성한 A지역에 각각 3개 plot을 설치하였으며, plot당 수종별·규격별 20주씩 총 60주의 묘목을 반복 식재하였다. 시험지 임황 및 지황과 토양특성은 표 12-1, 2와 같다.

나. 하층식생 처리 및 분석

1) 하층식생 처리

연구 1년차인 2006년에 하층식생을 제거하고 묘목을 식재한 시험임지를 대상으로 풀베기 무처리구, 연 2회 풀베기 처리구 및 흑색 비닐 멀칭 처리구 등의 세가지 처리를 실시하였으며, 2007년에는 풀베기 무처리구, 연 2회 풀베기 처리구 및 흑색 비닐과 흑색 부직포 멀칭 처리구 등의 네 처리를 실시하였다. 비닐 및 부직포 멀칭처

리는 묘목 식재 직후에 묘목의 주변에 반경 약 0.5m까지 멀칭처리를 실시하였다.



경기도 포천 A



경기도 포천 B



강원도 홍천 A



강원도 홍천 B



전북 진안 A



전북 진안 B

그림 15-1. 조림지 시험구



풀베기 무처리



풀베기처리



비닐멀칭처리



부식포멀칭처리

그림 15-2. 하층식생 처리

2) 측정 및 결과 분석 방법

조사 대상 지역별로 실시된 풀베기작업 처리에 따라 수종별, 묘목규격별로 근원경 및 묘고와 생리상태를 식재 시부터 2008년까지 2~3년간 반복 조사하여, 연차별 성장과 상대성장률을 분석하였다. 2008년 9월 중순 모든 실험이 끝난 후 묘목을 채취하여 잎, 가지, 뿌리를 각각 구분하여 건중량을 측정하였다. 건중량에 의해 묘목의 총 물질생산량과 배분비율 및 T/R율(지상부/지하부)을 계산하였다. 또한 2008년 가을 현재의 처리별 생존율과 생리적 형질 특성을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 하층식생 처리에 따른 생존율 및 생리적 형질 평가

1) 생존율

2006년 4월과 2007년 4월에 실험대상 조림묘목을 지역별로 식재한 후 2008년 9월에 이들의 생존율을 조사하였다(표 15-1, 2).

2006년에 식재 된 묘목은 모든 시험지에서 풀베기 무처리구보다 처리구들에서 대부분 높은 생존율을 보였으며, 풀베기 처리구와 비닐 멀칭 처리구에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 지역별로는 강원도 홍천 시험지가 가장 높은 생존율을 보였으며, 경기도 포천, 전북 진안 시험지 순으로 나타났다. 또한 소나무 2년생은 지역별·처리별로 용기묘가 노지묘보다 전체적으로 높은 생존율을 보였다. 이는 용기묘의 활착 및 생육활동이 노지묘보다 우수하다는 것을 보여주는 것이다. 묘령별 비교에서는 용기묘 1-0묘가 2-0묘보다 대부분 낮은 생존율을 보였으며, 이는 묘고의 영향으로 용기묘 2-0묘가 하층식생과의 수광경쟁에서 1-0묘보다 경쟁력이 높았기 때문으로 판단된다.

표 15-1. 하층식생 처리에 따른 조림 묘목의 생존율(2006년 식재)

지역	처리	생존율(%)		
		소나무		
		용기묘(1-0)	용기묘(2-0)	노지묘(1-1)
경기도 포천	풀베기 무	55.6	77.8	45.8
	풀베기 유	75.0	83.3	66.7
	비닐 멀칭	75.0	100.0	83.3
강원도 홍천	풀베기 무	50.0	100.0	66.7
	풀베기 유	91.7	100.0	87.5
	비닐 멀칭	77.8	91.7	91.7
전북 진안	풀베기 무	33.3	22.2	22.2
	풀베기 유	55.6	79.2	37.5
	비닐 멀칭	50.0	83.3	50.0

표 15-2. 하층식생 처리에 따른 조림 묘목의 생존율(2007년 식재)

지역	처리	생존율(%)				
		상수리나무		소나무		고로쇠나무
		용기묘(1-0)	노지묘(1-0)	용기묘(1-0)	노지묘(1-0)	용기묘(1-0)
경기도 포천	풀베기 무	72.2	55.6	44.4	27.8	66.7
	풀베기 유	77.8	77.8	72.2	33.3	83.3
	비닐 멀칭	77.8	66.7	55.6	66.7	88.9
	부직포 멀칭	100.0	88.9	77.8	44.4	77.8
강원도 홍천	풀베기 무	66.7	44.4	88.9	44.4	55.6
	풀베기 유	88.9	55.6	100.0	88.9	100.0
	비닐 멀칭	100.0	55.6	88.9	88.9	77.8
	부직포 멀칭	66.7	77.8	100.0	66.7	100.0
전북 진안	풀베기 무	11.1	11.1	11.1	22.2	22.2
	풀베기 유	25.0	25.0	25.0	25.0	20.8
	비닐 멀칭	0.0	55.6	33.3	66.7	22.2
	부직포 멀칭	11.1	77.8	33.3	55.6	44.4

2007년에 식재된 묘목은 모든 시험지에서 대부분 2006년과 같은 경향으로, 풀베기 무처리구가 가장 낮은 생존율을 보였다. 또한 소나무와 상수리나무 각 처리구별로 세 지역 모두 용기묘의 생존율이 노지묘보다 높았다. 침엽수종인 소나무의 하층식생 처리구들과 무처리구와의 생존율 차이가 활엽수종인 상수리나무에서보다 컸는데, 이는 묘고의 크기가 활엽수종은 1년생의 경우에도 50cm 이상을 보이기 때문이다. 이 때문에 같은 묘령에서는 하층식생과의 경쟁에서 소나무와 같은 침엽수종보다 상수리나무가 경쟁력이 있는 것으로 판단된다. 또한 수종별로 차이는 있겠지만 상수리나무와 같은 활엽수종은 2년의 양묘과정을 거치면 대묘형태의 용기묘 규격이 될 수 있을 것으로 판단되어, 조림지에서 우수한 활착 및 성장을 보일 것이다. 침엽수종의 경우에 대묘규격의 용기묘가 되기 위해서는 수종의 차이는 있겠지만 소나무와 같은 수종은 3년 이상의 양묘과정이 있어야 될 것으로 판단된다.

2) 생리적 형질 특성

묘목의 생육활동이 가장 왕성한 시기인 2008년 7~8월에 표 10-3을 기준으로 생리적 형질을 5단계로 평가하였다(표 15-3, 4). 고사목에 대해서는 제일 낮은 5등급으로 평가하였다.

2006년에 식재된 묘목은 세 지역 모두 풀베기 무처리구가 가장 낮은 생리상태를 보였으며, 풀베기 처리구, 비닐 멀칭 처리구 순으로 이어졌다. 소나무 용기묘 2-0묘는 전체적으로 양호한 생리상태를 보였으며, 소나무 용기묘 1-0묘는 다소 결점이 있는 생리상태를 보였다. 또한 소나무 노지묘 1-1묘는 용기묘에 비해 상대적으로 결점이 많은 생리상태를 나타냈다. 하층식생 처리구중에서는 특히 비닐 멀칭 처리구에서 우수한 생리상태를 보였으며, 전체적으로 생존율과 유사한 결과를 보였다.

2007년에 식재된 묘목은 세 지역 모두 하층 식생 무처리구보다 처리구들에서 좋은 생리상태를 보였으며, 특히 풀베기 처리구보다 비닐과 부직포 멀칭 처리구에서 우수한 생리상태를 나타냈다. 상수리나무에서 경기도 포천 시험지는 각 처리별로 노지묘의 생리상태가 전반적으로 좋았다. 반면, 강원도 홍천과 전북 진안 시험지는 용기묘와 노지묘의 생리상태가 유사하거나 용기묘가 조금 우수한 상태를 나타냈다. 소나무 용기묘와 노지묘는 세 지역 모두 용기묘의 생리상태가 좋은 것으로 조사되었으며, 고로쇠나무 용기묘는 지역별 차이는 있지만 보통 묘목 이하의 낮은 생리상태를 보였다.

표 15-3. 하층식생 처리에 따른 조림 묘목의 생리적 형질(2006년 식재)

지역	처리	생리 형질 지수		
		소나무		
		용기묘(1-0)	용기묘(2-0)	노지묘(1-1)
경기도 포천	풀베기 무	3.1±1.7	2.0±1.7	3.0±1.7
	풀베기 유	2.8±1.7	2.0±1.5	3.4±1.8
	비닐 멀칭	2.8±1.7	1.3±10.6	2.2±1.6
강원도 홍천	풀베기 무	4.1±1.0	2.8±1.1	3.1±1.5
	풀베기 유	3.4±0.7	2.0±0.7	2.7±1.1
	비닐 멀칭	3.4±0.9	2.1±0.6	2.7±1.0
전북 진안	풀베기 무	3.7±1.7	3.7±2.0	4.1±1.4
	풀베기 유	3.6±1.4	2.1±1.6	4.0±1.4
	비닐 멀칭	2.7±1.7	1.9±1.5	3.3±1.8

하층식생 처리시험에서 조사된 생존율과 생리적 형질을 보면 대부분 하층식생 처리구에서 높은 생존율과 우수한 생리상태를 보였다. 특히, 비닐과 부직포 멀칭 처리구에서 좋은 결과를 나타냈다. 또한 지역별, 처리별로 다소의 차이는 있지만 용기묘의 생존율과 생리상태가 전반적으로 노지묘보다 우수하였다.

표 15-4. 하층식생 처리에 따른 조림 묘목의 생리적 형질(2007년 식재)

지역	처리	생리 형질 지수				
		상수리나무		소나무		고로쇠나무
		용기묘(1-0)	노지묘(1-0)	용기묘(1-0)	노지묘(1-0)	용기묘(1-0)
경기도 포천	풀베기 무	4.2±0.8	2.8±0.7	3.9±1.5	4.3±1.3	3.0±0.9
	풀베기 유	3.5±1.0	2.7±1.6	3.1±1.4	4.3±1.2	2.7±1.2
	비닐 멀칭	3.7±1.1	2.4±1.6	3.2±1.4	3.2±1.6	3.2±1.6
	부직포 멀칭	2.9±0.9	2.6±1.4	2.8±1.5	3.8±1.3	3.1±1.5
강원도 홍천	풀베기 무	3.2±1.4	4.1±1.1	2.8±1.4	3.7±1.4	3.6±1.2
	풀베기 유	3.3±1.4	4.0±1.0	2.2±0.7	2.7±1.0	2.9±0.6
	비닐 멀칭	2.7±1.0	3.7±1.0	2.0±1.2	2.8±1.3	3.4±1.1
	부직포 멀칭	2.7±0.5	3.3±0.5	2.1±0.6	3.6±1.1	2.8±0.7
전북 진안	풀베기 무	4.9±0.3	4.9±0.3	4.0±1.5	4.4±1.1	4.1±1.3
	풀베기 유	4.1±1.3	4.2±1.6	4.1±1.3	4.0±1.5	4.2±1.0
	비닐 멀칭	5.0±0.0	4.2±1.2	3.8±1.5	3.0±1.6	4.0±1.2
	부직포 멀칭	4.7±1.0	3.3±1.0	4.2±1.2	3.4±1.7	3.2±1.2

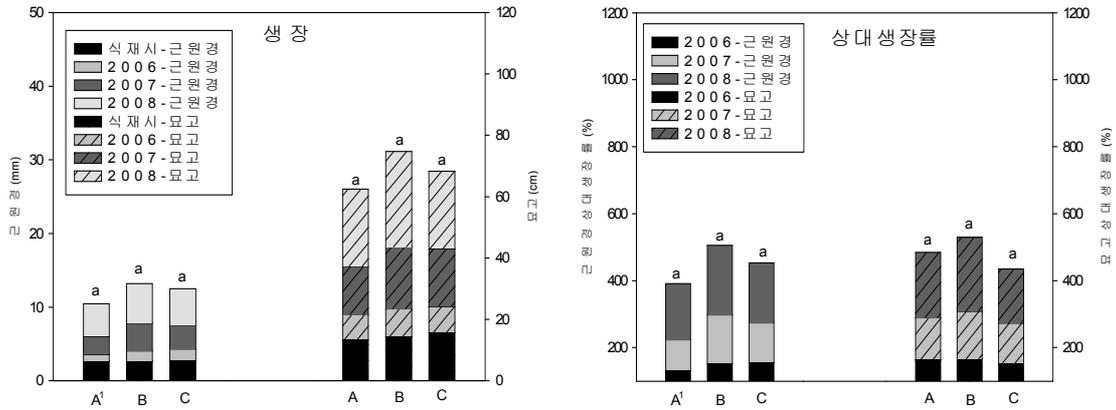
나. 하층식생 처리에 따른 생장 특성

1) 근원경과 묘고 생장

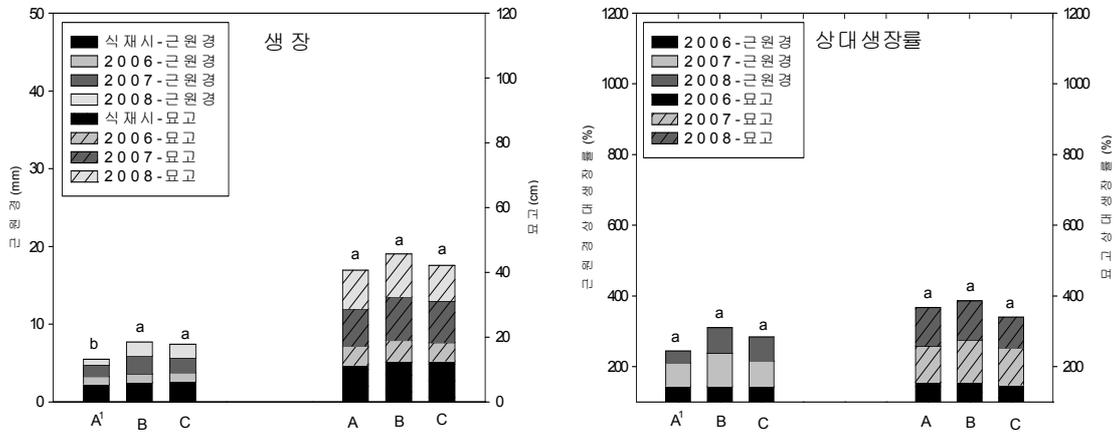
가) 2006년 식재

그림 15-3, 4, 5는 하층식생 처리시험에서 2006년에 식재된 소나무 용기묘 1-0와 소나무 용기묘 2-0 및 소나무 노지묘 1-1의 근원경과 묘고의 실제 생장치와 상대 생장률을 지역별로 나타낸 그래프이다.

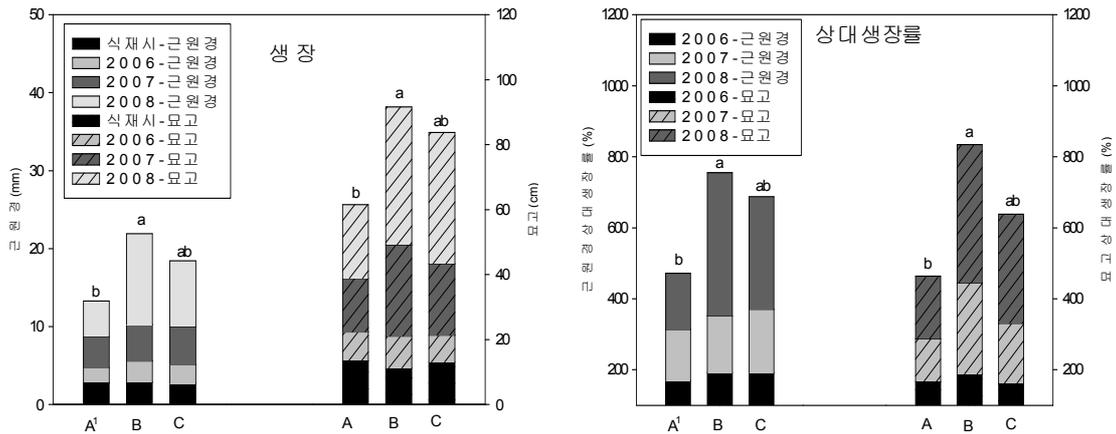
세 시험지 대부분, 소나무 용기묘(1-0)의 근원경과 묘고의 실제 생장치와 상대생장률은 풀베기 처리구에서 가장 높은 값을 보였으며, 비닐멀칭 처리구, 풀베기 무처리구 순으로 낮은 값을 보였다. 근원경의 생장은 식재 1년차에는 하층식생 처리별 차이를 크게 보이지 않았으나, 2년차부터는 처리간의 생장 차이가 시간이 지날수록 커지는 것을 볼 수 있다. 그러나 묘고의 생장은 식재 1년차부터 처리간의 차이를 보였으며, 이는 조림 후 하층식생과의 경쟁에서 근원경보다 묘고의 생장이 영향을 더 받는 것으로 판단된다.



<경기도 포천>



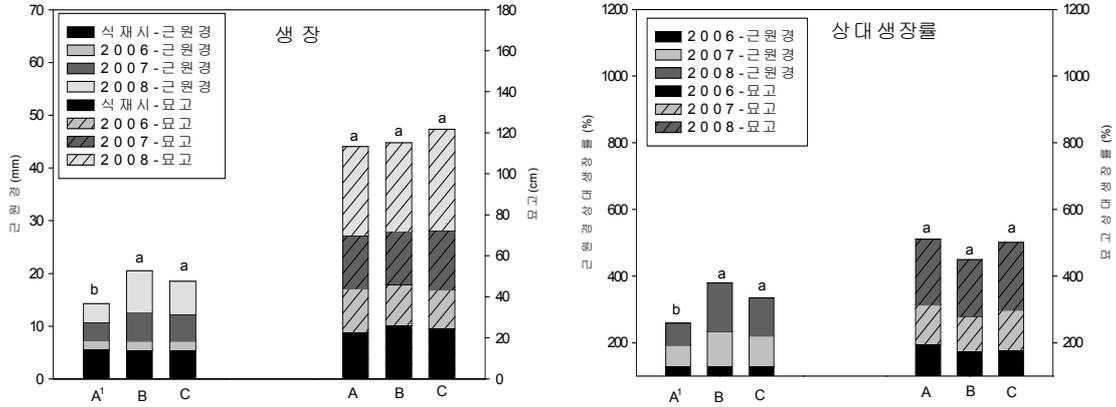
<강원도 홍천>



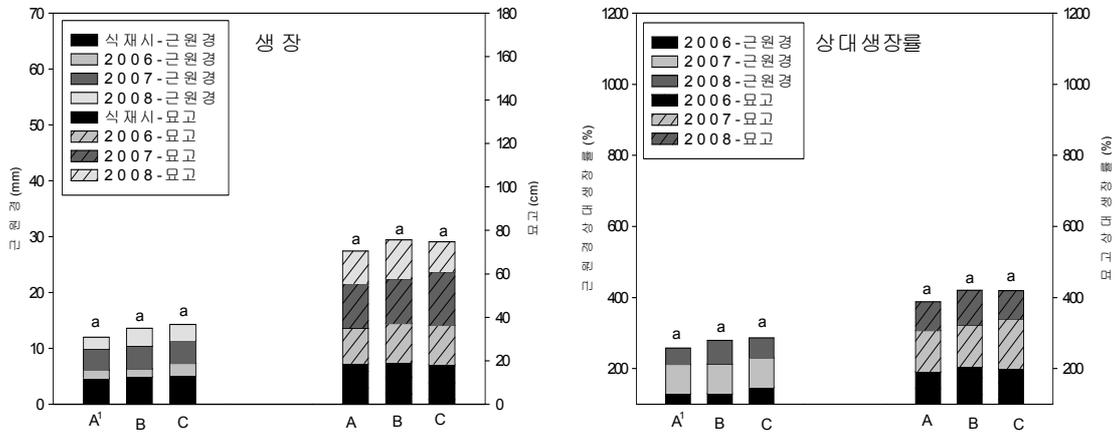
<전북 진안>

그림 15-3. 하층식생 처리에 따른 소나무 용기묘(1-0)의 근원경 및 묘고의 성장(좌)과 상대성장률(우)

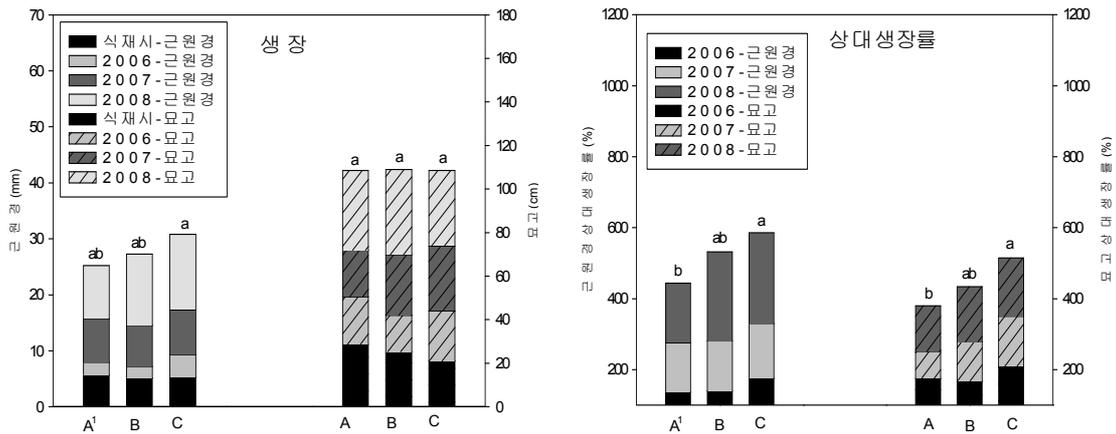
1; A: 무처리, B: 풀베기 처리, C: 비닐멀칭 처리



<경기도 포천>



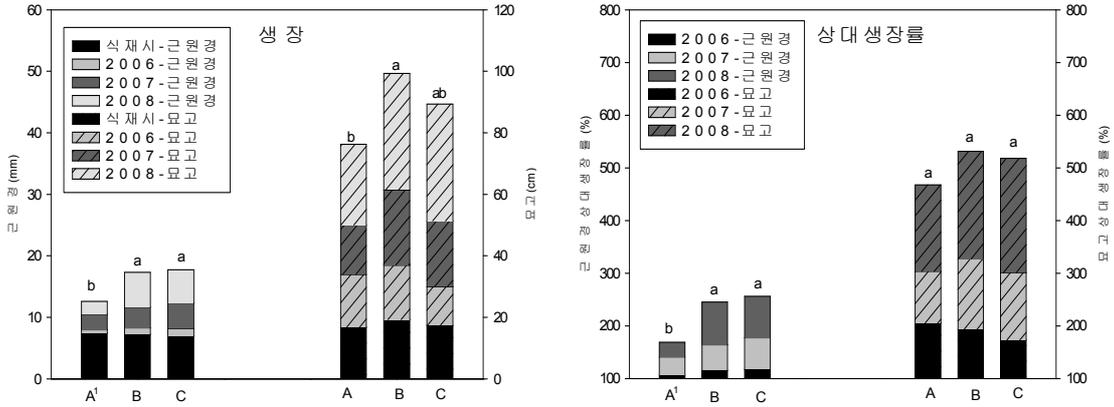
<강원도 홍천>



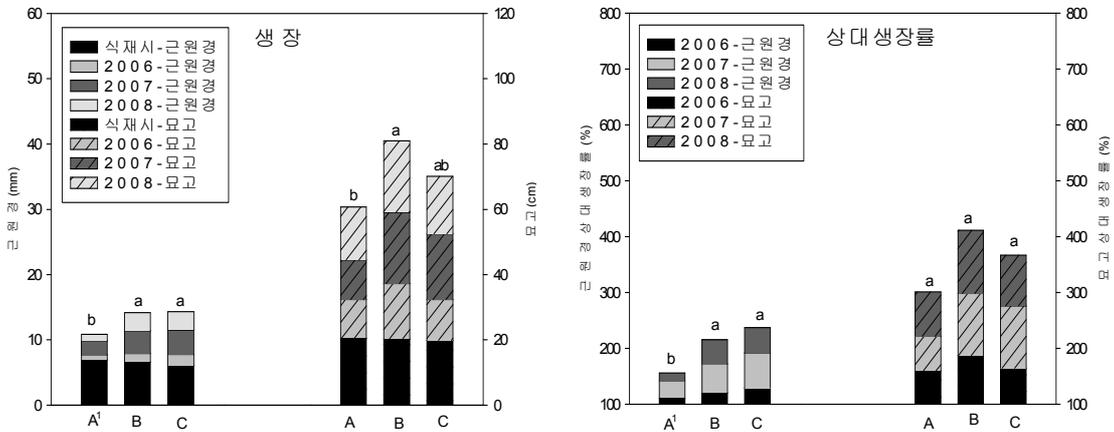
<전북 진안>

그림 15-4. 하층식생 처리에 따른 소나무 용기묘(2-0)의 근원경 및 묘고의 성장(좌)과 상대성장률(우)

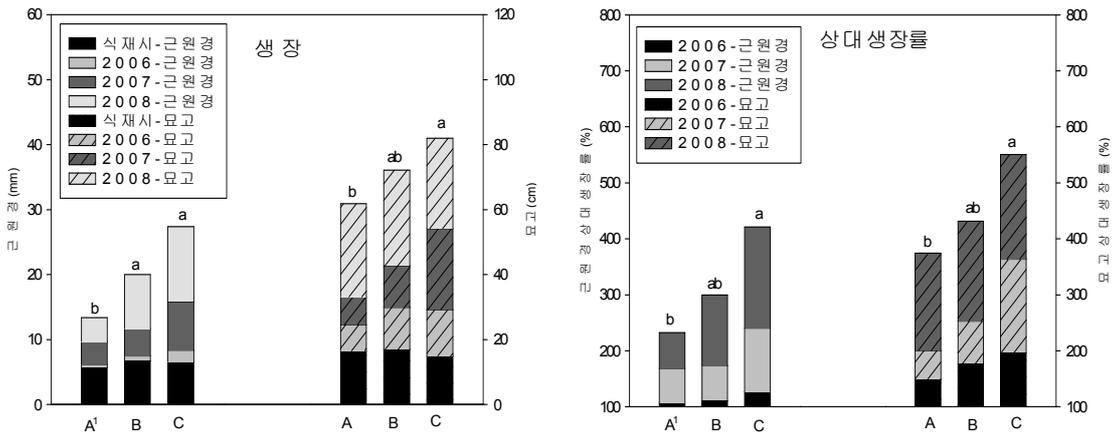
1; A: 무처리, B: 풀베기 처리, C: 비닐멀칭 처리



<경기도 포천>



<강원도 홍천>



<전북 진안>

그림 15-5. 하층식생 처리에 따른 소나무 노지묘(1-1)의 근원경 및 묘고의 성장(좌)과 상대성장률(우)

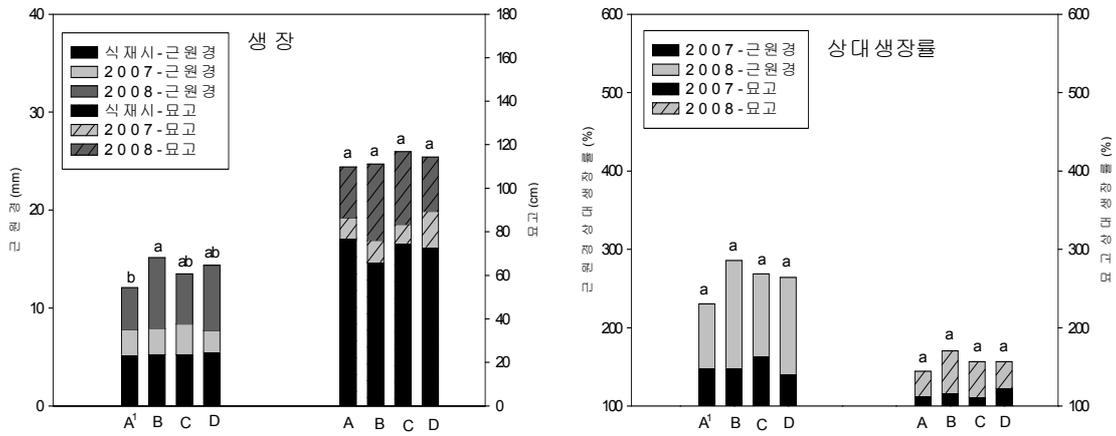
1; A: 무처리, B: 풀베기 처리, C: 비닐멀칭 처리

소나무 용기묘(2-0)는 경기도 포천 시험지에서 풀베기 처리구가 가장 높은 근원경의 생장을 보였으며, 나머지 두 시험지는 비닐멀칭 처리구에서 가장 우수한 생장을 나타냈다. 그러나 묘고의 생장은 세 시험지 모두 하층식생 처리구들에서 다소 좋은 생장을 보였지만, 풀베기 무처리구와의 차이가 거의 나타나지 않았다. 이는 소나무 1-0묘보다 2-0묘의 묘고가 식재 시 약 두 배의 차이를 보이기 때문에 식재 후 초기 수광경쟁에서 1-0묘보다 유리한 조건을 갖추었기 때문이라 판단된다.

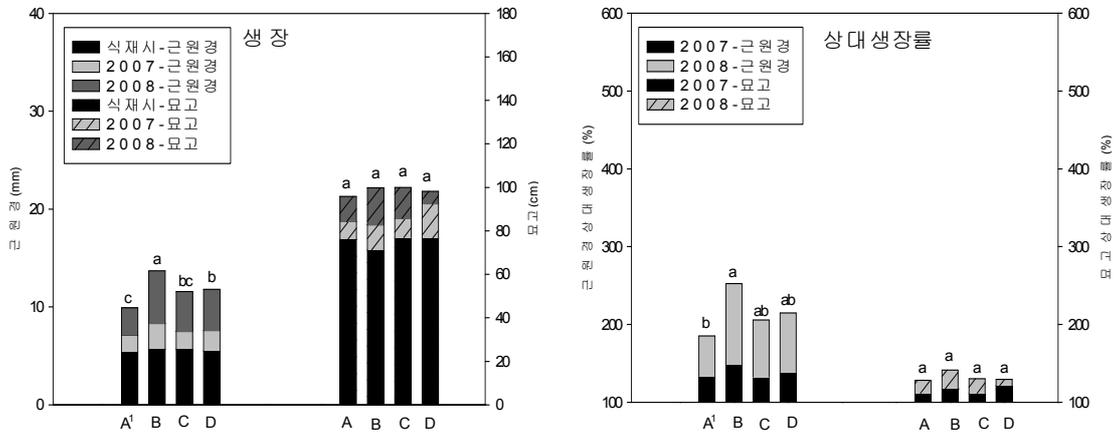
소나무 노지묘(1-1)는 세 시험지 모두 하층식생 무처리구에 비해 처리구들에서 유의적 차이를 보이면서 높은 생장을 보였으며, 상대생장률도 같은 경향을 나타냈다. 이와같이 하층식생 처리간 생장의 차이는 용기묘보다 노지묘에서 뚜렷하게 나타났다. 이는 하층식생에 대해 노지묘가 용기묘보다 큰 영향을 받는 것으로 판단되며, 불량한 입지 조건 즉, 하층식생이 무성한 지역에서는 노지묘보다 용기묘의 경쟁능력이 우수할 것으로 판단된다. 또한 같은 묘령인 용기묘(2-0)와 노지묘(1-1)의 근원경과 묘고의 생장 및 상대생장률이 모든 시험지에서 용기묘가 우수한 것으로 조사되었다. 이상의 결과로 보면 조림지 입지환경이 불량한 지역일수록 보다 안정적이고, 생리 및 생장의 측면에서 우수한 용기묘의 조림이 권장되어야 한다고 판단된다.

나) 2007년 식재

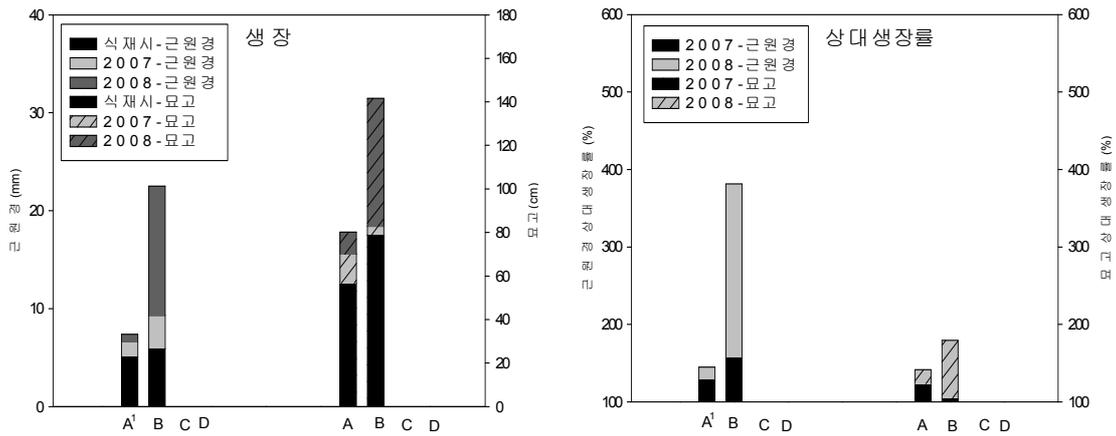
2007년에 식재된 상수리나무 용기묘(1-0)의 근원경 생장은 세 시험지 대부분 하층식생 처리구에서 높은 값을 보였으며, 특히 풀베기 처리구에서 가장 높은 생장과 상대생장률을 나타냈다. 그러나 전북 진안 시험지를 제외한 두 시험지의 묘고 생장은 하층식생 처리구들에서 생장이 높았지만, 처리간 차이가 크지 않았다(그림 15-6). 전북 진안 시험지의 비닐과 부직포 멀칭 처리구는 숲가꾸기사업 작업단의 실수로 묘목이 제거되어 근원경과 묘고의 생장을 측정하지 못했다. 근원경과 묘고의 생장과 상대생장률은 식재 1년차 보다는 2년차에서 높은 값을 보였으며, 이는 식재 1년차에는 이식 후유증 등의 스트레스로 인해 생장이 위축되었으나 2년차부터는 안정된 모습을 보이면서 정상적인 생육활동을 하는 것으로 해석된다.



<경기도 포천>



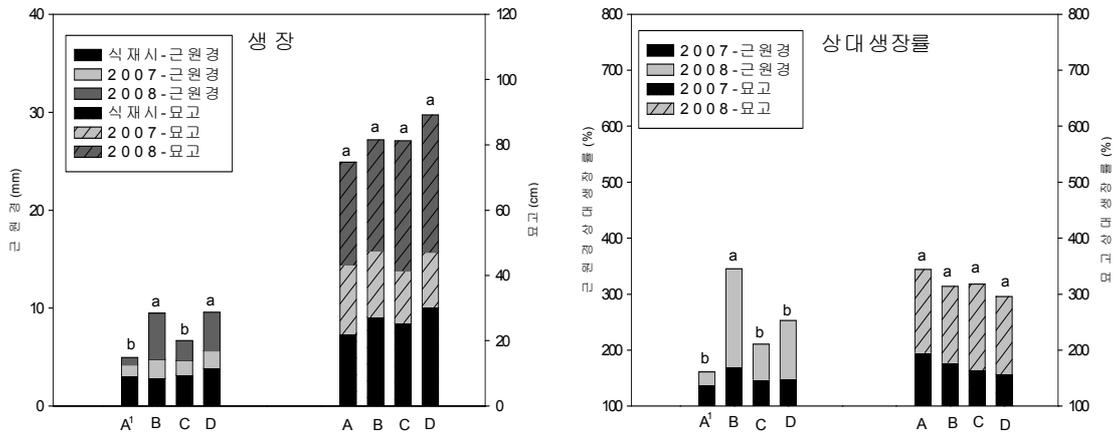
<강원도 홍천>



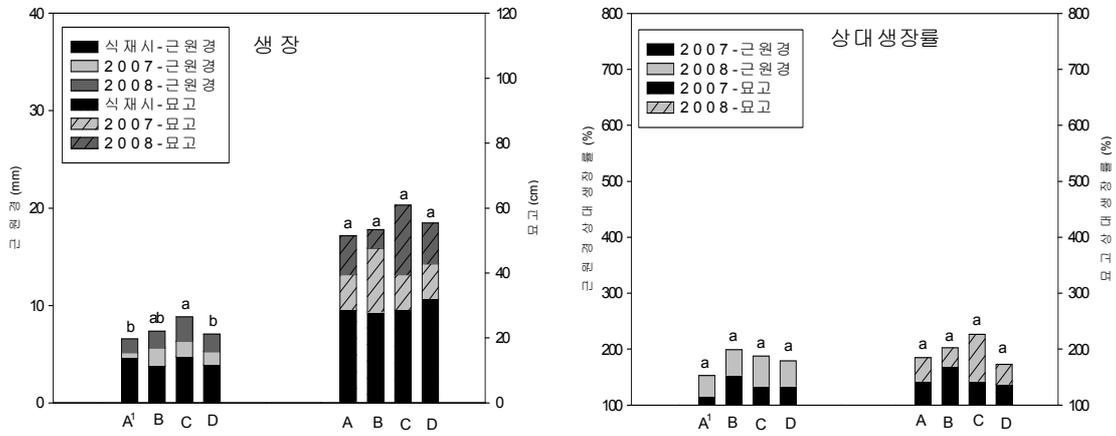
<전북 진안>

그림 15-6. 하층식생 처리에 따른 상수리나무 용기묘(1-0)의 근원경 및 묘고의 생장(좌)과 상대성장률(우)

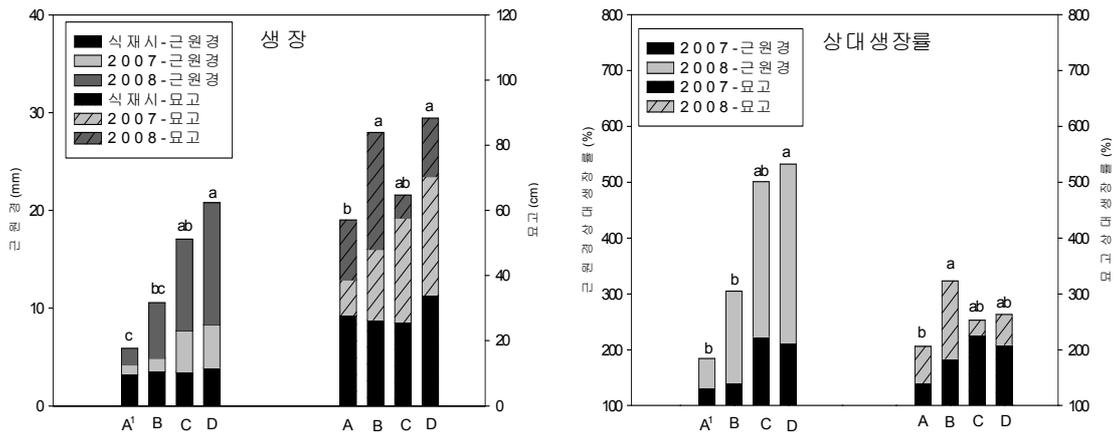
1; A: 무처리, B: 풀베기 처리, C: 비닐멀칭 처리, D: 부직포멀칭 처리



<경기도 포천>



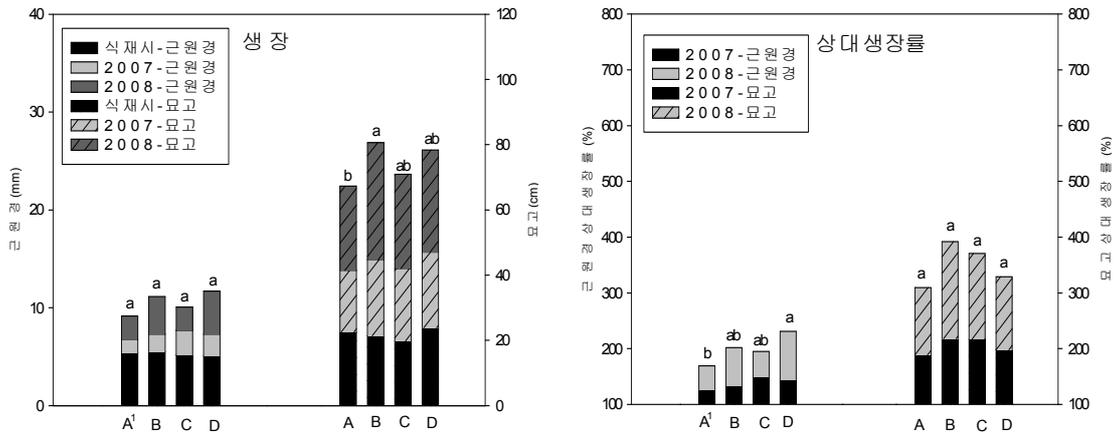
<강원도 홍천>



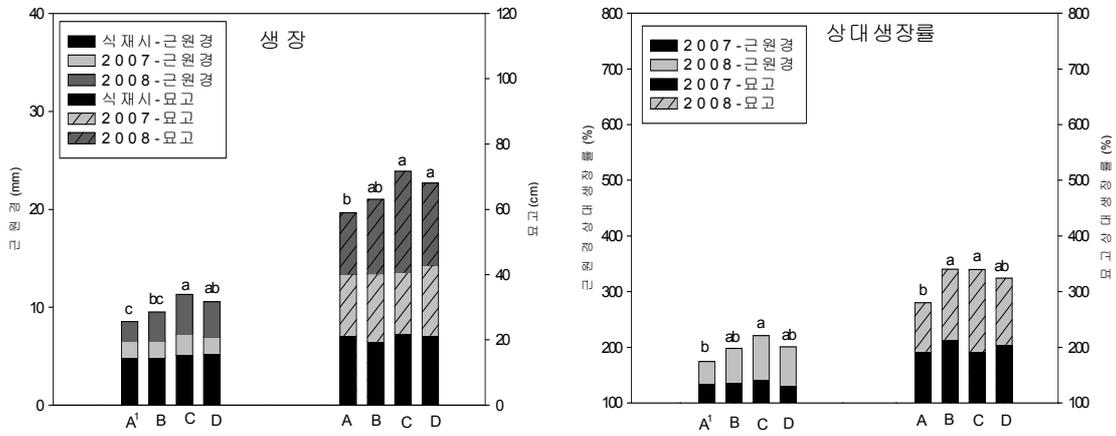
<전북 진안>

그림 15-7. 하층식생 처리에 따른 상수리나무 노지묘(1-0)의 근원경 및 묘고의 생장(좌)과 상대성장률(우)

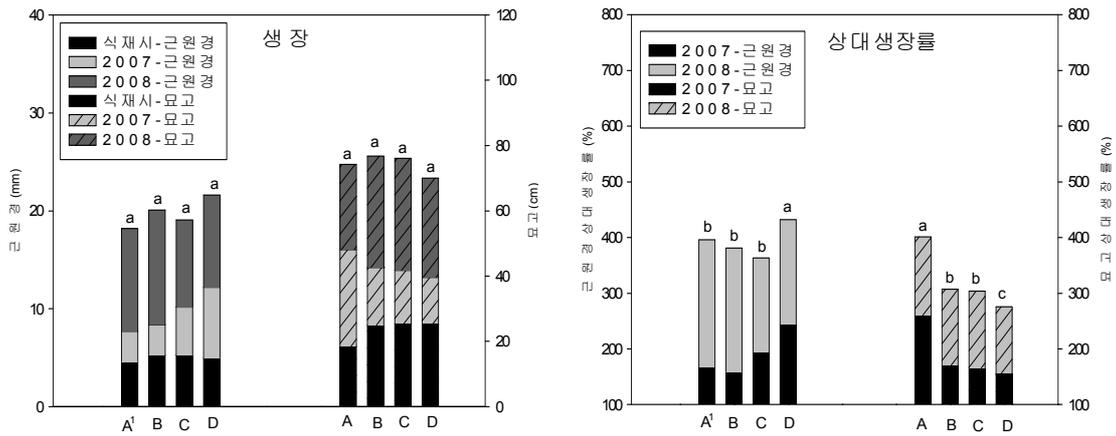
1: A: 무처리, B: 풀베기 처리, C: 비닐멀칭 처리, D: 부직포멀칭 처리



<경기도 포천>



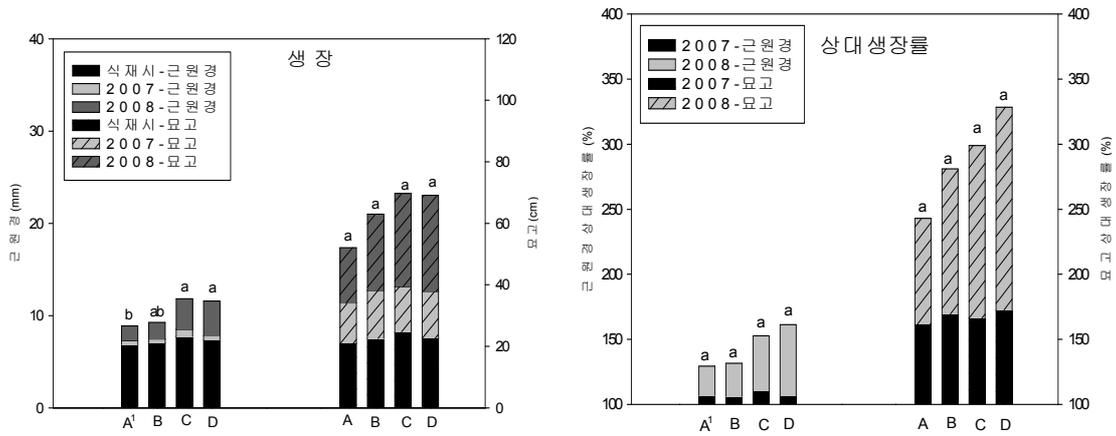
<강원도 홍천>



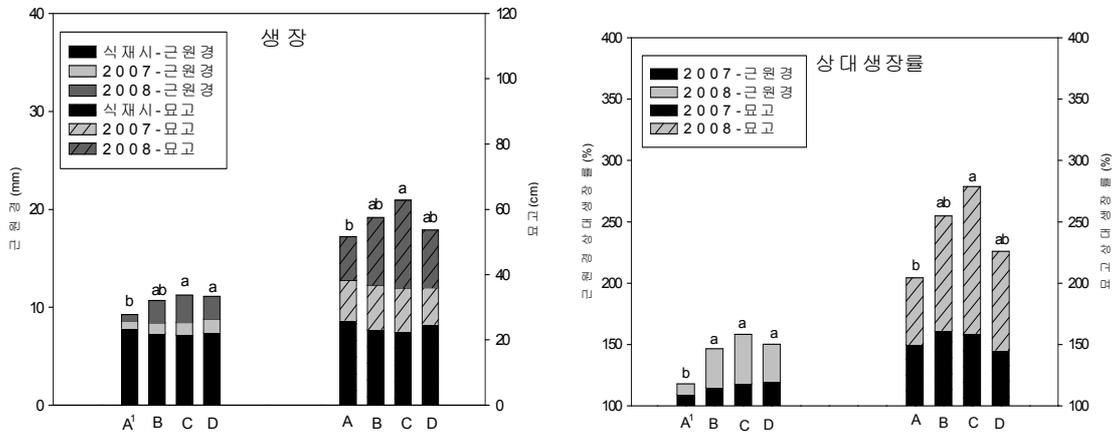
<전북 진안>

그림 15-8. 하층식생 처리에 따른 소나무 용기묘(1-0)의 근원경 및 묘고의 성장(좌)과 상대성장률(우)

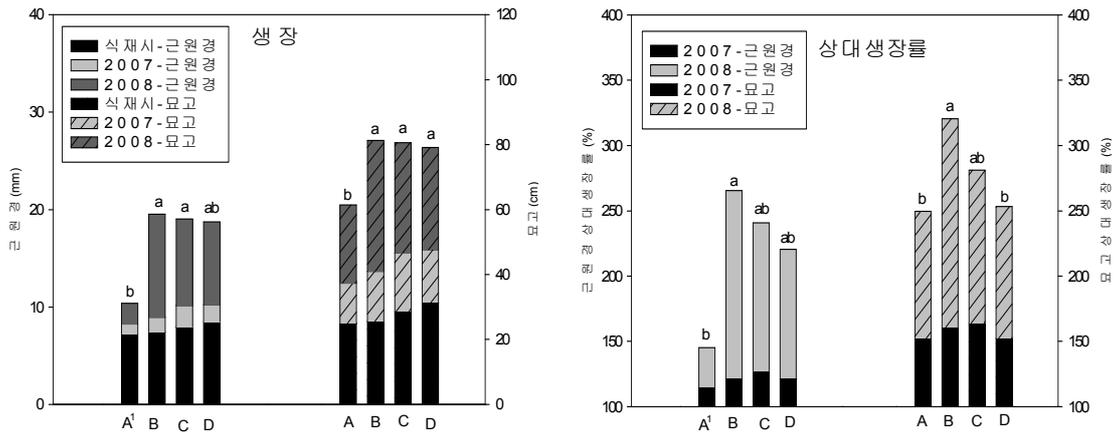
1; A: 무처리, B: 풀베기 처리, C: 비닐멀칭 처리, D: 부직포멀칭 처리



<경기도 포천>



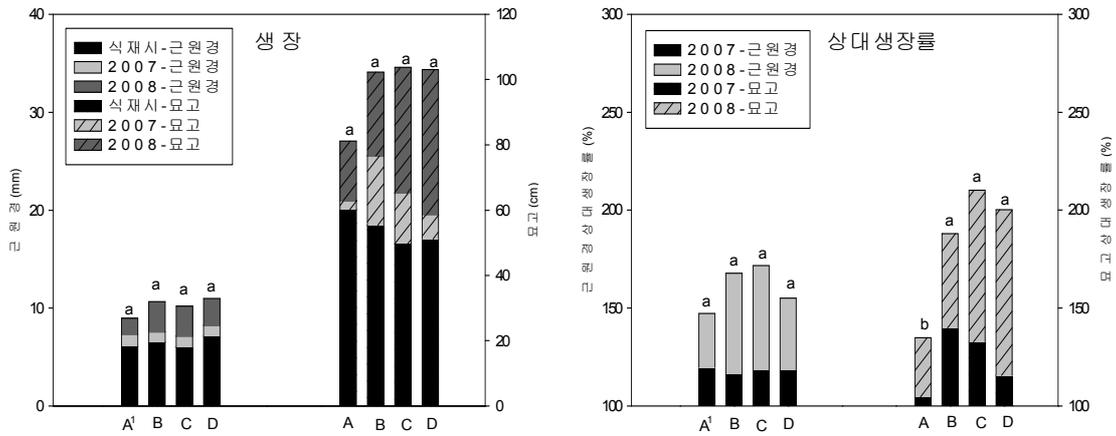
<강원도 홍천>



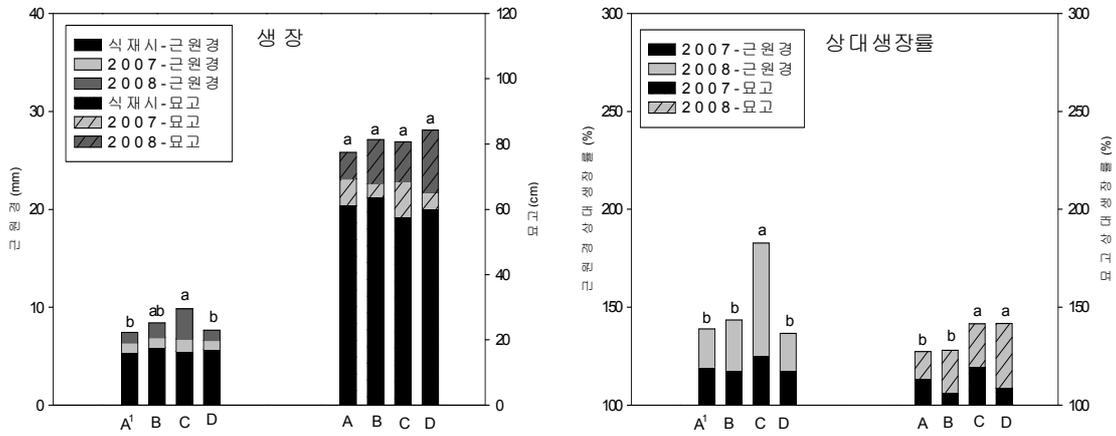
<전북 진안>

그림 15-9. 하층식생 처리에 따른 소나무 노지묘(1-0)의 근원경 및 묘고의 성장(좌)과 상대생장률(우)

1: A: 무처리, B: 풀베기 처리, C: 비닐멀칭 처리, D: 부직포멀칭 처리



<경기도 포천>



<강원도 홍천>

그림 15-10. 하층식생 처리에 따른 고로쇠나무 용기묘(1-2)의 근원경 및 묘고의 성장(좌)과 상대성장률(우)

1; A: 무처리, B: 풀베기 처리, C: 비닐멀칭 처리, D: 부직포멀칭 처리

상수리나무 노지묘(1-0) 근원경과 묘고의 생장은 용기묘와 유사하게 하층식생 처리구들에서 전반적으로 좋은 성장을 보였다. 그러나 하층식생 세 처리구들 간에는 지역별로 다소 불규칙한 경향을 보였다(그림 15-7).

같은 하층식생 처리에서 상수리나무 용기묘의 생장이 노지묘보다 양호한 모습을 보였다. 멀칭 처리구들 간의 성장 차이는 지역별로 불규칙하였지만, 무처리구보다는 전체적으로 매우 우수한 성장을 보였다. 조림지 입지 환경과 경제성을 고려하면서 조림 수종이 활엽수종처럼 빠르게 자라는 경우에는 비닐 멀칭을 침엽수종처럼 생장이 늦어 멀칭 처리가 몇 년간 지속되어야 한다면 부직포 멀칭을 상황에 맞게 적절

히 혼용하여 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

2007년에 식재된 소나무 용기묘(1-0)의 근원경 생장은 풀베기 무처리구에서 가장 낮은 값을 보였으며, 묘고의 생장도 전북 진안 지역을 제외하고 같은 경향을 보였다(그림 15-8). 소나무 노지묘(1-0)의 근원경과 묘고는 세 시험지 대부분 하층식생 무처리구와 처리구들간에 유의적 차이를 보이면서 처리구들에서 우수한 생장을 보였지만, 처리구들 간에는 생장차이가 불규칙한 결과를 나타냈다(그림 15-9). 소나무 용기묘의 근원경과 묘고 생장은 노지묘보다 우수하였으며, 용기묘와 노지묘 모두 식재 1년차에 비해 2년차에서 우수한 생장과 상대생장률을 나타냈다. 여러 가지 현실적인 문제와 실용적인 가치등을 고려할 때 멀칭 처리 재료 선택에서는 보다 많은 조사가 있어야 할 것이며, 조림지 입지와 조림 수종에 따른 차별화된 멀칭 기술의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

2007년 식재된 고로쇠 나무 용기묘(1-2) 근원경 생장은 경기도 포천 시험지는 처리간에 큰 차이를 보이지 않았으며, 강원도 홍천 지역은 비닐멀칭 처리구에서 양호한 생장을 보였다(그림 15-10). 전체적으로 묘고의 생장은 하층식생 처리구들에서 우수한 생장을 보였지만 처리간 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

전북 진안 시험지의 고로쇠나무 용기묘는 숲가꾸기 작업자들의 실수로 제거되어 조사가 불가능하여 하층식생 처리실험에서는 제외되었다.

2) 물질생산량 및 T/R율

가) 2006년 식재

표 15-5는 2006년에 식재된 소나무에 대해 하층식생 처리별 물질생산량과 T/R율을 나타낸 것이다.

소나무 용기묘 1-0묘와 2-0묘 및 노지묘 1-1묘 모두 비닐멀칭 처리구에서 전반적으로 가장 높은 총 물질생산량과 뿌리, 줄기, 잎 각각의 물질생산량을 나타냈으며, 다음으로 풀베기 처리구, 풀베기 무처리구 순을 보였다. 또한 비닐멀칭 처리구는 풀베기 무처리구에 비해 약 2배 이상의 높은 물질생산량을 나타냈다. 그러나 T/R율은 하층식생 처리별로 불규칙한 경향을 보였다.

용기묘(2-0)와 노지묘(1-1)의 비교에서는 각 처리별로 용기묘의 물질생산량이 노

지묘보다 전체적으로 높은 값을 보였다. 그러나 하층식생 처리구인 풀베기 처리구와 비닐멀칭 처리구에서 총 물질생산량은 용기묘와 노지묘의 차이가 크지 않았다. 이와달리 풀베기 무처리구에서는 대부분 용기묘와 노지묘의 물질생산량 차이가 처리구들에서 보다 크게 벌어졌다. 이는 식재묘목과 경합하는 하층식생이 제거되지 않은 입지환경에서는 용기묘의 활착 및 생육활동이 노지묘보다 우수하다는 것을 보여주는 것이다.

표 15-5. 하층식생 처리에 따른 물질생산량 및 T/R율(2006년 식재)

수종	지역	처리	건중량(g)				T/R율
			잎	줄기	뿌리	전체	
소나무 용기묘(1-0)	경기도 포천	무처리	2.2±2.1 ^{a1}	7.4±1.8 ^a	16.3±11.4 ^a	25.9±14.6 ^a	0.9±0.7 ^b
		풀베기	15.2±4.2 ^a	18.6±2.6 ^a	6.0±1.6 ^a	39.7±7.4 ^a	5.8±1.1 ^a
		비닐멀칭	16.5±14.4 ^a	24.4±19.1 ^a	7.4±6.3 ^a	48.3±39.4 ^a	5.5±0.3 ^a
	강원도 홍천	무처리	2.6±0.5 ^b	3.9±0.8 ^a	1.1±0.3 ^a	7.6±1.4 ^a	2.0±0.6 ^b
		풀베기	2.6±0.5 ^b	3.9±0.8 ^a	1.1±0.3 ^a	7.6±1.4 ^a	6.1±1.1 ^a
		비닐멀칭	5.3±1.2 ^a	3.8±2.1 ^a	4.1±3.5 ^a	13.2±5.6 ^a	3.3±2.1 ^{ab}
	전북 진안	무처리	16.5±11.3 ^a	16.8±10.1 ^a	19.1±12.3 ^a	52.4±9.1 ^a	4.2±3.8 ^a
		풀베기	8.1±2.3 ^a	35.9±4.8 ^a	14.7±2.0 ^a	58.7±5.1 ^a	3.1±0.9 ^a
		비닐멀칭	57.5±41.4 ^a	101.2±71.7 ^a	31.4±19.7 ^a	190.1±131.1 ^a	4.9±0.4 ^a
소나무 용기묘(1-0)	경기도 포천	무처리	25.6±20.9 ^a	55.7±27.4 ^a	11.4±6.9 ^a	92.6±55.1 ^a	7.4±1.3 ^a
		풀베기	32.6±18.4 ^a	48.9±20.3 ^a	14.4±3.9 ^a	95.9±42.3 ^a	5.4±1.5 ^a
		비닐멀칭	42.8±18.0 ^a	68.3±25.2 ^a	15.4±5.8 ^a	126.5±47.6 ^a	7.2±0.0 ^a
	강원도 홍천	무처리	13.5±3.9 ^a	20.3±8.5 ^a	8.3±3.2 ^a	42.1±15.3 ^a	4.1±0.3 ^a
		풀베기	16.8±9.3 ^a	26.7±11.1 ^a	8.1±3.8 ^a	51.6±23.5 ^a	5.8±2.3 ^a
		비닐멀칭	15.6±13.8 ^a	24.8±7.0 ^a	15.3±2.2 ^a	55.6±19.1 ^a	2.8±1.7 ^a
	전북 진안	무처리	45.3±5.0 ^a	91.0±23.4 ^a	32.3±14.0 ^a	168.5±42.3 ^a	4.7±1.2 ^a
		풀베기	103.6±62.1 ^a	178.3±105.6 ^a	33.3±6.2 ^a	315.2±167.1 ^a	8.7±5.7 ^a
		비닐멀칭	139.1±63.3 ^a	220.2±101.9 ^a	60.9±32.2 ^a	420.1±197.3 ^a	6.2±0.6 ^a
소나무 노지묘(1-1)	경기도 포천	무처리	20.9±11.1 ^a	29.5±11.3 ^a	8.7±6.9 ^a	59.1±27.8 ^a	7.4±3.7 ^a
		풀베기	36.2±23.8 ^a	52.2±20.9 ^a	23.0±11.2 ^a	111.4±55.2 ^a	3.9±0.6 ^a
		비닐멀칭	51.1±27.1 ^a	62.6±34.8 ^a	17.8±7.7 ^a	131.5±69.5 ^a	6.2±0.8 ^a
	강원도 홍천	무처리	12.0±2.6 ^a	24.4±3.4 ^a	7.1±0.3 ^a	43.5±2.4 ^a	5.1±0.5 ^a
		풀베기	20.1±16.0 ^a	36.4±26.5 ^a	9.2±5.5 ^a	65.7±47.7 ^a	6.0±1.5 ^a
		비닐멀칭	13.0±5.4 ^a	22.8±8.8 ^a	9.3±5.0 ^a	45.1±18.3 ^a	4.1±1.5 ^a
	전북 진안	무처리	20.4±3.9 ^a	36.0±11.0 ^a	15.8±5.4 ^a	72.2±9.5 ^a	4.4±2.4 ^a
		풀베기	30.7±0.0 ^a	46.5±0.0 ^a	10.5±0.0 ^a	87.7±0.0 ^a	7.4±0.0 ^a
		비닐멀칭	98.7±37.4 ^a	145.9±45.6 ^a	79.4±27.1 ^a	324.0±104.3 ^a	3.1±0.3 ^a

나) 2007년 식재

소나무 용기묘의 물질생산량은 시험지별로 차이는 있지만 풀베기 처리구 또는 비닐멀칭 처리구가 높은 값을 보일때가 많았으며, 풀베기 무처리구에서 가장 낮은 물질생산 능력을 보였다. 소나무 노지묘 또한 무처리구에서 낮은 건중량 측정치를 보인 반면에 부직포 멀칭구에서 전체적으로 높은 값을 보였다(표 15-6).

표 15-6. 하층식생 처리에 따른 소나무 물질생산량 및 T/R율(2007년 식재)

수종	지역	처리	건중량(g)				T/R율
			잎	줄기	뿌리	전체	
소나무 용기묘(1-0)	경기도 포천	무처리	4.7±3.9 ^a	10.8±6.2 ^a	4.7±4.1 ^a	20.2±13.8 ^a	4.7±3.5 ^a
		풀베기	7.4±5.1 ^a	17.8±12.1 ^a	2.8±1.2 ^a	27.9±14.9 ^a	11.3±10.9 ^a
		비닐멀칭	5.5±4.3 ^a	11.5±3.8 ^a	4.3±2.3 ^a	21.3±10.0 ^a	4.2±1.9 ^a
		부직포멀칭	6.2±3.8 ^a	13.4±2.3 ^a	5.1±1.0 ^a	24.7±7.1 ^a	9.2±1.7 ^a
	강원도 홍천	무처리	4.5±2.3 ^a	9.9±4.1 ^b	2.8±1.2 ^a	17.2±7.5 ^b	5.1±0.3 ^a
		풀베기	8.8±6.7 ^a	13.3±4.6 ^b	6.8±2.0 ^a	28.9±11.9 ^{ab}	3.2±0.5 ^a
		비닐멀칭	12.8±3.5 ^a	22.3±2.1 ^a	7.6±4.1 ^a	42.8±5.1 ^a	5.6±2.8 ^a
		부직포멀칭	6.9±3.1 ^a	12.4±3.7 ^b	6.3±2.7 ^a	25.6±9.1 ^b	5.8±2.7 ^a
	전북 진안	무처리	42.7±0.0 ^a	44.9±0.0 ^a	11.1±0.0 ^a	98.7±0.0 ^a	7.9±0.0 ^a
		풀베기	64.4±7.2 ^a	59.9±2.1 ^a	2.4±0.9 ^a	144.6±7.5 ^a	6.1±0.3 ^{ab}
		비닐멀칭	55.2±0.0 ^a	59.6±0.0 ^a	18.4±0.0 ^a	133.2±0.0 ^a	6.2±0.0 ^{ab}
		부직포멀칭	58.3±25.5 ^a	53.4±18.4 ^a	19.3±4.2 ^a	131.0±48.1 ^a	3.0±1.6 ^b
소나무 노지묘(1-0)	경기도 포천	무처리	4.9±4.4 ^a	8.3±0.8 ^a	5.3±2.7 ^a	18.4±2.5 ^a	4.0±3.0 ^a
		풀베기	1.8±0.7 ^a	13.1±1.5 ^a	4.4±1.5 ^a	19.3±0.7 ^a	3.7±1.4 ^a
		비닐멀칭	6.1±4.7 ^a	13.1±5.5 ^a	5.0±2.7 ^a	24.2±12.0 ^a	3.9±1.5 ^a
		부직포멀칭	6.1±4.4 ^a	11.3±4.5 ^a	7.0±1.8 ^a	24.5±3.1 ^a	2.7±1.4 ^a
	강원도 홍천	무처리	6.7±2.8 ^a	16.0±4.0 ^a	9.2±1.5 ^a	31.9±7.5 ^a	2.4±0.3 ^b
		풀베기	8.9±4.3 ^a	17.4±5.9 ^a	7.2±1.6 ^a	33.4±11.6 ^a	3.6±0.7 ^{ab}
		비닐멀칭	10.2±3.3 ^a	15.2±1.9 ^a	6.1±0.8 ^a	31.5±5.5 ^a	4.2±0.7 ^a
		부직포멀칭	10.2±7.0 ^a	19.2±5.9 ^a	13.2±9.9 ^a	42.6±20.5 ^a	2.7±1.3 ^{ab}
	전북 진안	무처리	12.6±0.0 ^a	16.1±0.0 ^a	2.8±0.0 ^b	31.5±0.0 ^b	10.3±0.0 ^a
		풀베기	19.3±9.8 ^a	49.5±36.5 ^a	14.5±8.2 ^{ab}	83.3±54.5 ^{ab}	4.4±0.9 ^b
		비닐멀칭	39.4±16.8 ^a	40.8±8.9 ^a	20.7±9.0 ^{ab}	100.9±26.2 ^{ab}	4.3±1.4 ^b
		부직포멀칭	37.4±2.8 ^a	66.2±17.2 ^a	22.0±3.9 ^a	125.6±17.8 ^a	4.8±0.6 ^b

용기묘와 노지묘 모두 전북 진안 시험지의 물질생산량이 다른 두 시험지보다 약 2~6배 높았으며, 2006년 소나무 실험 결과와는 달리 노지묘의 생산량이 용기묘 보다 높았다. 하층식생 처리별 T/R율은 처리별로 물질생산량이 낮아지면 높아지는 경향이지만, 대부분 불규칙한 경향을 보였다.

상수리나무 용기묘와 노지묘의 물질생산량도 소나무와 같은 경향을 보이면서, 비닐 또는 부직포 멀칭 처리구에서 가장 높은 물질생산량을 나타냈다(표 15-7). 특히, 부직포 멀칭 처리구에서 높은 생산량을 보였으며, 각 처리구별 용기묘의 물질생산

량이 노지묘보다 높았다. 상수리나무의 물질생산량은 반 이상 뿌리 부분이 차지하고 있으며, 용기묘의 물질생산량이 노지묘보다 높은 것은 용기묘의 근계가 이식과정에서 피해를 입지않아 신속하게 활착하여 생장을 지속하였기 때문으로 판단된다. 전북 진안 시험지의 비닐과 부직포 멀칭 처리구는 조사 묘목이 풀베기 작업단의 실수로 제거되어 조사할 수 없었다.

표 15-7. 하층식생 처리에 따른 상수리나무의 물질생산량 및 T/R율(2007년 식재)

수종	지역	처리	건중량(g)				T/R율
			잎	줄기	뿌리	전체	
상수리나무 용기묘(1-0)	경기도 포천	무처리	12.9±2.0 ^a	29.1±7.8 ^a	36.5±19.8 ^a	78.5±22.6 ^a	1.5±1.2 ^a
		풀베기	26.0±12.9 ^a	56.3±18.0 ^a	69.1±30.9 ^a	151.4±59.8 ^a	1.2±0.1 ^a
		비닐멀칭	26.3±10.3 ^a	43.7±12.6 ^a	65.6±35.5 ^a	135.7±53.4 ^a	1.3±0.7 ^a
		부직포멀칭	28.8±10.7 ^a	58.9±30.1 ^a	101.5±67.9 ^a	189.2±103.3 ^a	1.0±0.4 ^a
	강원도 홍천	무처리	13.0±2.7 ^a	28.5±5.6 ^a	44.9±9.2 ^a	86.4±16.8 ^a	0.9±0.1 ^a
		풀베기	17.7±9.4 ^a	25.5±10.1 ^a	57.2±26.2 ^a	100.5±45.7 ^a	0.8±0.0 ^a
		비닐멀칭	23.6±10.6 ^a	37.9±16.9 ^a	59.6±19.7 ^a	121.1±43.8 ^a	1.0±0.3 ^a
		부직포멀칭	18.5±13.7 ^a	24.2±9.5 ^a	55.3±34.8 ^a	98.0±57.7 ^a	0.8±0.1 ^a
	전북 진안	무처리	1.8±0.0	6.4±0.0	5.3±0.0	13.5±0.0	1.5±0.0
		풀베기	54.6±23.3	89.7±46.5	135.1±91.9	279.4±158.8	1.4±0.7
		비닐멀칭					
		부직포멀칭					
상수리나무 노지묘(1-0)	경기도 포천	무처리	2.2±0.5 ^a	5.2±4.1 ^a	9.3±1.7 ^a	16.7±4.6 ^a	0.8±0.3 ^a
		풀베기	10.1±2.3 ^a	17.5±12.3 ^a	22.2±13.6 ^a	49.8±25.4 ^a	1.4±0.5 ^a
		비닐멀칭	13.5±13.0 ^a	18.9±17.6 ^a	26.1±25.4 ^a	58.5±55.9 ^a	1.3±0.0 ^a
		부직포멀칭	7.5±4.4 ^a	18.0±14.1 ^a	24.4±10.7 ^a	49.9±25.8 ^a	1.0±0.4 ^a
	강원도 홍천	무처리	5.0±2.0 ^a	3.8±0.3 ^a	16.8±7.3 ^a	25.6±9.5 ^a	0.6±0.2 ^a
		풀베기	5.5±4.3 ^a	6.3±5.7 ^a	19.8±14.2 ^a	31.6±23.2 ^a	0.7±0.5 ^a
		비닐멀칭	9.4±3.7 ^a	9.7±2.2 ^a	24.6±6.4 ^a	43.7±11.4 ^a	0.8±0.0 ^a
		부직포멀칭	4.9±2.2 ^a	5.3±1.8 ^a	19.6±8.8 ^a	29.8±11.6 ^a	0.5±0.1 ^a
	전북 진안	무처리	6.3±0.0 ^a	16.0±0.0 ^a	18.4±0.0 ^a	40.7±0.0 ^a	1.2±0.0 ^a
		풀베기	8.9±5.7 ^a	22.2±21.2 ^a	23.5±8.2 ^a	54.7±29.1 ^a	1.3±1.2 ^a
		비닐멀칭	6.1±0.2 ^a	37.0±1.2 ^a	11.3±0.9 ^a	54.4±0.6 ^a	3.9±0.4 ^a
		부직포멀칭	8.3±6.0 ^a	46.1±21.3 ^a	34.9±24.5 ^a	89.3±43.1 ^a	2.1±1.7 ^a

이상의 연구결과를 종합해보면 세 시험지 모두 풀베기 무처리구보다는 처리구들에서 양호한 생장이 보였다. 이는 하층식생에 대한 관리가 중요시 되어야 한다는 것을 보여주는 것으로, 조림지 특성에 따른 하층식생 관리의 필요성을 엿볼 수 있다. 본 연구에서는 비닐 또는 부직포 멀칭 처리가 조림한 묘목의 생장특성, 생존율 및 생리상태 등 종합적인 면을 고려할 때 가장 바람직한 결과를 보인 것으로 평가된다. 그러나 조림 비용의 경제성이나 산지에서의 멀칭처리 작업의 효율성 등의 현실적인 이유로 이와 같은 방법을 적용하는 것이 어려울 것으로 예상되며, 이를 대신하기 위한 방안으로 대묘형태의 용기묘 조립과정에서 식재시기를 조절하여 풀베

기 작업을 최소화하는 방안(제 13절)을 모색하거나 또는 친환경적이며 실용적인 조립용 멀칭패드 개발 등도 심도있게 검토할 필요가 있다고 판단된다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 목표달성도

구분	평가의 착안점 및 달성 정도	
	착안사항	달성도(%)
1차년도 (2006년)	용기 대묘 수종 및 대묘용 용기 선정	100
	암면 혼합 상토를 이용한 양묘 시 암면의 적정 혼합 비율	100
	용기묘와 노지묘의 활착 및 생장에 대한 조림지 실태 비교분석	100
	용기묘의 활착 및 생장에 미치는 생육환경 분석	100
2차년도 (2007년)	대묘 생산 생육관리 시스템 개발	100
	암면 혼합 상토를 이용한 양묘 시 비료의 최적 화학적 구성 및 적정 농도	100
	용기묘 식재 기술 개발	100
	용기묘 조림지의 임지관리 기술 개발	100
3차년도 (2008년)	대묘 생산 용기 개발	100
	용기 대묘의 식재 방비 개발	100
	암면 혼합 상토를 이용한 양묘 시 관수 시스템	100
	용기묘 조림지의 종합적인 육림 보호관리 기술 개발	100
	종합평가	100

2. 기술적 기여도

- 시설양묘를 이용한 다양한 수종의 용기 대묘 생산 사업체계 확립으로 생력화 도모
- 시설양묘의 대상 수종에 맞는 적정 용기 개발로 시설양묘관련 산업의 발전 유도
- 재활용된 친환경자재를 이용한 시설양묘용 상토개발로 양묘분야 경쟁력 확보
- 수경재배 시스템을 이용한 시설양묘 기술의 표준화
- 용기묘의 식재 기술 개발로 용기 산업 활성화
- 용기묘의 활착 및 생장에 미치는 생육환경 분석
- 용기묘 조립지의 임지관리 기술 개발, 조립지 보호 대책 수립으로 체계적인 조립지 관리 효과
- 침·활엽수의 대묘생산용 용기 산업재산권 확보

3. 경제적·산업적 기여도

- 노지양묘의 사업기간을 단축할 수 있는 대묘생산 용기개발을 통하여 양묘산업의 경쟁력 확보
- 초기 원가를 절감할 수 있는 친환경상토 개발과 시설양묘 산업화로 양묘산업 진흥 및 수입상토 재료의 대체효과
- 수경재배 시스템을 이용한 양묘 생산 기술의 표준화 전반적인 시설양묘 관리의 경제성 확보
- 용기묘 조립 체계 사업 기술 확보로 다양한 조립지의 제약 극복 및 조립시기 확대 및 노동력 분산 도모
- 친환경적, 경제적, 합리적 양묘산업 도모 및 양묘기술 체계화

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

1. 연구개발 성과

가. 학술지 게재

- 용기양묘 시 폐암면 혼합 비율에 따른 몇 가지 수종의 생육 특성(2007), 생물환경조절학회지.
- 상토 조성이 활엽수 용기묘의 성장 특성에 미치는 영향(2006), 생물환경조절학회지.
- 폐암면 혼합 상토를 이용한 수목류 용기묘의 급액 적정 농도(2009), 생물환경조절학회지.

나. 학술발표

- 시비처리에 따른 용기묘의 생리적 특성(2007), 한국임학회.
- 조림지 입지환경 조절에 따른 용기묘의 생육반응(2007), 한국임학회.
- 암면 혼합 상토를 이용한 용기 양묘 시 암면과 상토의 적정 혼합 비율(2007), 한국원예학회.
- 조림지 시비처리에 따른 용기묘의 생육반응(2007), 한국임학회.
- 식재시기에 따른 용기묘의 생육반응(2008), 한국임학회
- 폐암면 혼합 상토를 이용한 용기 양묘 시 적정 급액량과 급액횟수(2008), 한국원예학회.
- 조림지 입지환경 조절에 따른 소나무와 상수리나무의 생육반응(2008), 한국임학회.
- 온도환경이 물푸레나무와 상수리나무의 성장 및 엽록소 함량에 미치는 영향(2008), 한국임학회.
- 조림시기에 따른 소나무 용기묘(1-0)의 생육반응(2009), 한국임학회.

다. 인력 양성

- 석사학위 1명
- 수목류의 용기묘 생산을 위한 재활용 암면 상토 개발과 배양액 급액농도 구명

(2009), 원광대학교 석사학위논문.

라. 기술거래

- 육묘용기 특허기술 실시

마. 사업화

- 육묘용기 특허출원기술 유상 기술 실시

바. 교육 및 지도활동

- 최고농업경영자과정 : 조경수목의 시설양묘기술
- 양묘실무자과정 : 시설양묘기술 강의 및 실습
- 임업기술컨설팅 : 시설양묘기술
- 시설양묘기술현지설명회 : 조경수목의 시설양묘기술
- 시설양묘기술현지설명회 : 시설양묘기술 현지설명회

사. 전시회 참여

- 2008농림수산식품과학기술대전 : 휴대형 식혈기 전시
- SIEMSTA2008 : 휴대형 식혈기 전시

2. 활용 계획

가. 지속적인 학회 투고에 의한 개발기술 보급

나. 연구회 및 심포지엄을 통한 개발기술 보급

다. 시설양묘 기술 교육 및 지도에 활용

라. 시설양묘 농가의 적용 시험

마. 시설양묘 농가의 지도 자료 활용

바. 용기묘 조립 적용 시험 및 조립기술 지도 자료 활용

사. 관련 연구기관의 자료로 활용

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 일본의 컨테이너 양묘의 시작

일본에서 컨테이너 양묘가 시작된 것은 1950년경 노르웨이에서 개발된 지피포트(Jiffy pot)가 수입되면서부터이다. 지피포트는 피트모스를 주재료로 한 용기로서, 지상에서 6개월에서 1년간 재배한 후 용기채로 현지에 정식할 수 있는 특징이 있다. 1955년에 오카야마에서 이 용기를 사용하여 삼나무, 편백 등의 산림 묘목을 재배하였다. 지피포트 양묘는 현지 활착률이 좋고, 수목의 현지 식재 후 초기생장이 빠르고, 계절에 관계없이 언제든지 식재할 수 있으나, 반면에 용기와 생산비용이 비싸고 현지 식재 시 작업자들이 용기묘를 지고 사면을 오르면서 식재하는 것을 기피하게 되어 1965년 후반부터 용기양묘 및 식재가 급속하게 감소하게 되었다. 그러나 지피포트는 오늘날의 컨테이너 양묘와 거의 같은 기술로 일부 생산자가 그 기술을 활용하여 조경수 생산에 적용하여 조경수목 컨테이너 재배의 시작이 되었다.

2. 일본의 컨테이너 양묘 기술

현재 대부분의 컨테이너 대묘 재배기술은 수고 1.5m 이하에서 이루어지고 있다. 건설성에서도 수고 1.5m 이하에서는 규격을 결정하고 이를 기준으로 하여 생산·유통하고 있다. 수고 1.5m 이상에 대해서는 생산, 수요, 운반 등 다양한 영향에 의하여 수요가 적다. 대상수종으로는 교목은 가문비나무, 황금측백, 나한송, 소나무, 홍가시나무, 노각나무, 산딸나무 등이 주류를 이루고 있다. 또한 수고 1.5m이하의 수종에 대한 재배경험과 기술이 어느 정도 진행되어 있어 노지에서 생산된 묘목보다 품질 및 가격의 경제성에 있어서도 월등한 경쟁력을 가지고 있다. 그리고 수고가 3.0m 이상으로 어느 정도 큰 용기묘는 대부분 줄기 굵기를 규정하기 때문에 과중부터 용기묘로 생산하여 점차 큰 용기로 이식하여 교목의 용기묘를 생산하는 방법은 생산비용이 높게 되어 경제성이 떨어지게 된다. 그래서 노지에서 유묘를 생산하여 어느 정도 크기의 조경수가 되었을 때 컨테이너 즉 용기에 이식하여 재배하는 방식을 취하고 있다. 이때 수목의 뿌리가 상처를 입을 수 있으므로 컨테이너 지중재배를 활용하고 있다. 컨테이너 지중재배는 다양한 방법이 있는데 일본에서는 주로 부

직포를 사용하고 있으며, 부직포는 뿌리가 나오지 않은 형태와 세근이 나오는 형태를 생산목적에 따라 사용하고 있다. 또한 포트를 이중으로 재배하는 방법의 경우 공기층의 형성으로 뿌리발육이 좋으며 바람의 피해를 방지할 수 있다. 조경수의 컨테이너 양묘는 다양한 품종재배가 활발히 이루어지기 때문에 우수한 품종의 보존과 초기 성장 촉진을 위하여 삼목기술이 발달하였는데, 삼목상의 온도 및 습도를 유지하기 위한 이중 비닐온실을 이용한 삼목상의 활용 및 관리기술은 높은 수준이었다.



부직포컨테이너 지중재배



플라스틱컨테이너 이중재배



품종별 삼목



상토 조제 및 혼합

그림 1. 일본 컨테이너 양묘 기술

가. 상토의 조제

컨테이너 양묘의 경우 충분한 영양분의 공급은 우량묘 생산에 필수적이며 생산원가에도 많은 영향을 미치고 있다. 일본의 경우 농장마다 특별한 상토의 조제기술을 가지고 있으며 대개 피트모스를 포함하여 유기질은 각자의 방법으로 조제하여 이용하고 있으며 컨테이너묘의 상토를 보고 조경수 생산자를 알 수 있을 정도로 상토조제는 각 농장의 NO-HOW이다.

나. 바람에 의한 도복방지 및 균일한 간장생장

컨테이너 양묘에서 바람에 의한 도복의 방지와 간장의 균일한 생장을 위하여 그물망을 설치하며, 묘목의 생장에 따라 그물망의 높이를 조절하고 있으며 컨테이너 양묘에서 간과하기 쉬운 재배방법이었다.



그림 2. 컨테이너 도복방지 재배 및 관수시설

다. 컨테이너의 종류

컨테이너는 부직포, 코코피트, 플라스틱 등 다양하게 제작 활용되었으나 가격의 저항을 받는 부직포와 코코피트컨테이너는 점차 사라지고 현재는 플라스틱컨테이너를 주로 사용하고 있었으며, 수종과 묘목의 크기에 따라 다양한 용기를 개발하여 사용하고 있음



부직포

코코피트

플라스틱(중형)

플라스틱(대형)

그림 3. 여러 가지 재질별 컨테이너 용기

제 7 장 참고문헌

- 권기원. 2003. 시설양묘 시스템을 이용한 용기묘 생산 전략. In : 우리나라 임업시설 양묘 발전을 위한 적정 용기 개발. 세미나 자료집. 임업연구원 중부 임업시험장. pp. 21-42.
- 권기원, 김선아, 이돈구. 1996. 인공 피음 처리 하에서 자라는 몇 가지 침엽수 및 활엽수 잎의 엽록소 함량에 미치는 광도 효과. 충남대학교 환경문제연구소. 14: 42-49.
- 권기원, 최정호, 송호경, 강병식. 2003. 임분내 광환경의 차이에 따른 주요 참나무 수종의 성장과 엽록소 함량 변화에 관한연구. 한국바이오에너지학회 22(3): 20-28.
- 권영명. 1989. 광합성. 아카데미서적. 226p.
- 김영모, 한상섭, 이성재. 1990. 잣나무 채종목의 클론별 침엽의 엽록소함량의 연간 변동. 임목육종연구보고 26: 97-103.
- 김종진 외 7인. 2006. 소나무·상수리나무 용기묘와 노지묘의 생육 비교분석 및 효율적 조림방안 연구. 산림청. 228p.
- 김종진, 송국현, 윤택승. 2008. 소나무 용기묘의 적정 월동 관리. 한국임학회지 97(1): 53-60.
- 김종진과 홍성각. 1998. 자작나무 콘테이너묘의 경화단계 성장에 미치는 UV-B와 수분스트레스의 효과. 한국임학회지 87(4): 601-610.
- 김관기, 이용섭, 정동준, 우수영, 성주한, 이은주. 2001. 광도가 내음성이 서로 다른 3수종의 광합성 생리에 미치는 영향. 한국임학회지 90(4): 476-487.
- 김관기와 이은주. 2001a. 광합성의 생리상태(1) - 광도와 엽육내 CO₂분압 변화에 대한 광합성 반응 -. 한국농림기상학회지 3(2): 126-133.
- 김관기와 이은주. 2001b. 광합성의 생리상태(2) - 환경변화에 대한 광합성의 적응반응 -. 농림기상학회지 3(3): 171-176.
- 농업기술연구소. 1988. 토양분석법: 토양, 식물체 토양미생물. 농촌진흥청 농업기술연구소. 450p.
- 박재형, 이경준. 2001. 질소와 인 시비가 Open-Top Chamber 내에서 오존에 노출시킨 소나무(Pinus densiflora) 묘목의 성장, 탄수화물 농도와 광합성에 미치는 영향.

- 한국임학회지 90(3): 306-313.
- 변재경, 김용석, 이명중, 손요환, 김춘식, 정진현, 이천용, 정용호. 2007. 시비수준에 따른 소나무, 낙엽송, 자작나무, 상수리나무 묘목의 성장변화. 한국임학회지 96(6): 693-698.
- 산림청. 2005. 2005 사업계획(자원정책·자원조성·종묘분야). 산림청 산림자원과. 283p.
- 시그마 플롯. 2000. 필사이언스. 136p.
- 안승환. 2005. 민유종묘산업 발전방향. In : 시설양묘기술 개발 및 연구방향. 세미나 자료집. 국립산림과학원 산림생산기술연구소. pp. 37-56.
- 우수영과 이돈구. 1992. 광도와 양료 조건을 달리 했을 때 상수리나무묘목의 광합성과 Ribulose - Diphosphate Carboxylase의 활성에 미치는 영향. 한국임학회지 81(1): 11-20.
- 유장걸, 송성준, 한센 후테. 1994. 형광분석법에 의한 시설재배작물의 광합성 Stress 측정. 한국환경농학회지 13(2): 183-190.
- 윤태승, 임지영, 김종진. 2005. 용기의 형태와 용적에 따른 찰피나무 유묘의 성장. 생물환경조절학회지 14(4): 239-244.
- 윤태승, 홍성각. 2002. 헛개나무 플라스틱 망포트 容器苗 생산에 관한 연구. 농자원 개발논집 24:43-48.
- 이경준. 1993. 수목생리학. 서울대학교 출판부. 504p.
- 이수원 외 11인. 2005. 고품질 용기묘 생산 시업기술 개발. 농림부. 180p.
- 이수원, 최정호, 유세걸, 김석권, 배종향, 한석교. 2006. 상토 조성이 활엽수 용기묘의 성장특성에 미치는 영향. 한국생물환경조절학회 15(3): 244-249.
- 이수원. 2007. 시설양묘용 상토의 기능과 특성의 이해. 산림청. 12p.
- 이임균, 손요환. 2004. 질소와 인 시비가 리기다소나무와 낙엽송 침엽 및 소지에서 부위별 양분의 계절적 변화 및 재분배에 미치는 영향. 한국생태학회지 27(4): 199-210.
- 임경빈. 1985. 조림학원론. 향문사. 491p.
- 정진현, 구교상, 이충화, 김춘식. 2002. 우리나라 산림토양의 지역별 이화학적 특성. 한국임학회지 91(6): 694-700.
- 조민석. 2008. 광도 변화가 온대중부 주요 활엽수종의 생리 및 성장에 미치는 영향. 충남대학교 대학원 석사학위논문 81p.

- 최용봉과 김종희. 1995. 인공산성우의 처리에 따른 소나무와 곰솔 침엽의 엽록소 형광변화. 한국임학회지 84(1): 97-102.
- 최정호, 권기원, 정진철. 2002. 인공피음처리가 주요 활엽수종의 성장과 물질생산에 미치는 영향. 21(1): 65-75.
- 최정호. 2001. 인공피음이 주요수종의 성장 및 수분특성과 광합성에 미치는 영향. 충남대학교 대학원 박사학위논문 152p.
- 한상섭, 김하선. 1989. 4종의 참나무엽의 광합성 속도와 호흡속도에 미치는 광, 온도, 수분의 영향. 한국임학회지 78(2): 151-159.
- 홍한표 외 11인. 2000. 시설양묘를 이용한 묘목의 대량생산 시업기술 개발. 농림부. 400p.
- 황재홍, 장경환, 설예주. 2008. 용기묘의 관수 및 시비방법. 산림청. 11p.
- 황정옥, 손요환, 이명중, 변재경, 정진현, 이천용. 2003. 비료의 성분 및 종류와 묘목과의 관계 연구. I. 생체량, SLA 및 엽록소 함량에 미치는 영향. 산림바이오에너지 22: 44-53.
- An, D.C., Y.D. Chin, J.C. Hwang, J.G. Kim, J.B. Kim, and B.R. Jeong. 2003. Cut flower yield and quality of *Rosa hybrida* 'Vital' grown in hydroponics using mixed mediums with waste rock wool. J. Kor. Soc. Hort. Sic. 44(5): 762-766.
- Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta Vulgaris*. Plant Physiol. 24(1): 1-15.
- Arnott, J. T. and D. E. Macey. 1985. Effect of supplemental light intensity on white spruce, engelmann spruce, and mountain hemlock seedlings grown under an extended photoperiod. Can. J. For. Res. 15: 295-300.
- Barker, M. G., M. C. Press, and N. D. Brown. 1997. Photosynthetic characteristics of dipterocarp seedlings in three tropical rain forest light environments: a basis for niche partitioning. Oecologia 112: 453-463.
- Beon, M.S. 2000. Germination and growth of oaks (*Quercus serrata*, *Q. mongolica*, *Q. variabilis*) seedlings by gradient of light intensity and soil moisture. Kor. J. Agri. For. Meteorology 2(4): 183-189.
- Binkley, D. 1986. Forest nutrient management. John Wiley and Sons. New York. 290p.
- Burden, A.X. and P.A.F. Martin. 1982. Chemical root pruning of coniferous seedlings. HortScience 17(4): 622-624.

- Chabot, B.F. and D.J. Hicks. 1982. The ecology of leaf life spans. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 13: 229–250.
- Cole, D.W. and M. Rapp. 1981. Element cycling in forest ecosystems. In: Reichle, D.E. (ed.). *Dynamic properties of forest ecosystems*. International Biological Programme 23. Cambridge University Press, London. pp. 341–409.
- Cowling, E.B. and W. Merrill. 1966. Nitrogen in wood and its role in wood deterioration. *Can. J. Bot.* 44: 1539–1554.
- Demmig, B. and O. Björkman. 1987. Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence (77K) and photon yield of O₂ evolution in leaves of higher plants. *Planta* 171: 171–184.
- Einhorn, K. S., E. Rosenqvist, and J. W. Leverenz. 2004. Photoinhibition in seedlings of *Fraxinus* and *Fagus* under natural light conditions: implications for forest regeneration?. *Oecologia* 140(2): 241–251
- Fahey, T.J. and E. Brik. 1991. Measuring internal distribution and resorption. In: Lassoie, J.P. and T.M. Hinckley (ed.). *Techniques and approaches in forest tree ecophysiology*. Boca Raton, Fl. pp. 225–245.
- Girouard, R.M. 1982. Green house production of white spruce, black spruce, jack pine and red pine seedlings in three types of containers. Rep. No. LAU-X-57E. Saint-Foy, PQ, Can. For. Service, Laurentian For. Research Center 14p.
- Gower, S.T. and J.H. Richards. 1990. Larches: Deciduous conifers in an evergreen world. *BioScience* 40: 818–826.
- Graciano, C., J. J. Guiamet and J. F. Goya. 2006. Fertilization and water stress interations in young *Eucalyptus grandis* plants. *Can. J. For. Res.* 36: 1028–1034.
- Hampp, R. and H. Schnabl. 1975. Effect of aluminum ions on ¹⁴CO₂ fixation and membrane system of isolated spinach chloroplasts. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd.* 76: 300–306.
- Han, Q. and Y. Kakubari 1996. Drought-dependent responses of photosynthesis, transpiration and water use efficiency of Japanese cypress and Japanese red pine seedlings. *J. For. Res.* 1: 73–78.
- Haywood, J.D., A.E. Tiarks, and E. Shoulders. 1990. Loblolly and slash pine height and diameter are related to soil drainage in winter on poorly drained silt loams. *New Forests* 4: 81–96.
- Hecht-Buchholz, C., C.A. Jorns, and P. Keil. 1987. Effect of excess aluminum

- and manganese on Norway spruce seedlings as related to magnesium nutrition. *J. Plant Nutri.* 10: 1103–1110.
- Helmisaari, H.S. 1992. Nutrient retranslocation in three *Pinus sylvestris* stands. *For. Ecol. Manage.* 51: 347–367.
- Hiscox, J. D. and G. F. Israelstam. 1978. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Can. J. Bot.* 57: 1332–1334.
- Hutchinson, T.C., L. Bozic, and G. Munoz–Vega. 1986. Responses of five species of conifer seedlings to aluminum stress. *Water, Air and Soil Pollution* 31: 283–285.
- Izuta, T., K. Noguchi, M. Aoki, and T. Totsuka. 1995. Effects of excess manganese on growth, water content and nutrient status of Japanese cedar seedlings. *Environ. Sci.* 3: 209–220.
- Jeong, H. H. and K. S. Kim. 1999. Effects of shading on the Growth of *Hedera rhombea* Bean and *Pachysandra terminalis* Sieb. et Zucc. *Kor. J. Hort. Sci. & Tech.* 17(1): 29–32.
- Kang, J.Y., S.N. Park, H.H. Lee, and K.H. Kim. 2004. Determination of water retention characteristics of organic and inorganic substrates for horticulture by European Standard Method. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 37(2): 55–58.
- Keltjens, W.G. and E.V. Loenen. 1989. Effects of aluminum nutrient on growth and chemical composition of hydroponically grown seedlings of five different forest tree species. *Plant and Soil* 119: 39–50.
- Kim, G.H. and B.R. Jeong. 2004. Composition of growth medium using rockwool and chestnut woodchips for the mat–subirrigated hydroponic culture of potted miniature rose 'Silk Red'. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 22(4): 467–472.
- Kim, J.W. 1990. A syntaxonomic scheme for the deciduous oak forests of South Korea. *Abstracta Botanica* 14: 51–81.
- Kim, O.I., J.Y. Cho, and B.R. Jeong. 2000. Medium composition including particles of used rockwool and wood affects growth of plug seedlings of petunia 'Romeo'. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 18(1): 33–38.
- Kinghorn, J.M. 1974. Principles and concepts in container planting. In: Tinus, R.W., W.I. Stein, W.E. Ealmer, ed. *Proceedings, North American Containerized Forest Tree Seedling Symposium*. 1974 August 26–29, Denver, CO. Publ. 68. Great Plains Agricultural Council, pp. 8–18.
- Klinka, K., Q. Wang, G. J. Kayahara, R. E. Carter, and B. A. Blackwall. 1992. Light–growth response relationships in Pacific silver fir (*Abies amabilis*) and

- subalpine fir (*Abies lasiocarpa*). Can. J. Bot. 70: 1919–1930.
- Kramer, P.J. and T.T. Kozlowski. 1979. Physiology of woody plants. Academic Press, New York. 811p.
- Kwon, K.W. and J.H. Lee. 1994. Growth performances and physiological responses of *Quercus* spp. and *Fraxinus rhynchophylla* subjected to different soil moisture regimes and nutrition levels. J. Kor. For. Soc. 83(2): 164–174.
- Lange, O.L., L. Kappen, and E.D. Schulze. 1976. Water and plant life. Springer-Verlag, Berlin. 536p.
- Lee, C.H. 1998. Effects of soil acidification on growth and nutrient status of *Pinus densiflora* seedlings. J. Kor. For. Soc. 87(4): 611–619.
- Lee, C.H., H.O. Jin, and T. Izuta. 1999. Growth, nutrient status and net photosynthetic rate of *Pinus densiflora* seedlings in various levels of aluminum concentrations. J. Kor. For. Soc. 88(2): 249–254.
- Lee, C.H., H.O. Jin, and Y.K. Kim. 2001. Effects of Al and Mn on the growth, nutrient status and gas exchange rates of *Pinus densiflora* seedlings. J. Kor. For. Soc. 90(1): 74–82.
- Lee, C.H., S.W. Lee, E.Y. Kim, Y.K. Kim, J.K. Byun, H.G. Won, and H.O. Jin. 2005. Growth of *Pinus densiflora* seedlings in artificially acidified soils. Kor. J. Ecol. 28(6): 389–393.
- Lee, C.H., S.W. Lee, H.O. Jin, J.H. Jeong, and C.Y. Lee. 2002. Effects of Mn on the growth and nutrient status of *Pinus densiflora* seedling in nutrient culture solution. Kor. J. Ecol. 25(5): 349–352.
- Lee, J.S., G.S. Kim, H.J. Bae, S.J. Jeong, and H.N. Jeong. 2000. Studies on optimum kinds and concentration of fertilizer for seedling of *Pinus densiflora* in greenhouse. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 18(2): 258.
- Lee, J.S., Y.H. Kim, G.S. Kim, H.E. Lee, H.H. Lee, J.P. Kim, J.W. Kim, and M.B. Lee. 1998. Development of best optimum container on nurse *Betula tauschii* in greenhouse house. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 16(1): 126.
- Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stress. Vol. 2. pp. 322–445. Water, radiation salt, and other stresses. Academic Press, New York.
- Li, B., H. L. Allen and S. E. Mckeand. 1991. Nitrogen and family effects on biomass allocation of loblolly pine seedlings. Forest Science 37: 271–283.
- Mackinney, G. 1941. Absorption of light by chlorophyll solution. J. Biol. Chem. 140: 315–322.
- Malik, V. and V.R. Timmer. 1998. Biomass partitioning and nitrogen retranslocation in black spruce seedlings on competitive mixed wood sites: a

- bioassay study. *Can. J. For. Res.* 28: 206–215.
- Malziris, D.L. and G. Nakos. 1978. Effects of simulated acid rain on juvenile characteristics of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill). *For. Ecol. Manag.* 1: 267–272.
- Matthews, M. A. and J. S. Boyer. 1984. Acclimation of photosynthesis to low leaf water potentials. *Plant Physiol.* 74: 161–166.
- McKee, W.H. and L.P. Wilhite. 1986. Loblolly pine response to bedding and fertilization varies by drainage class on lower Atlantic Coastal Plain sites. *South. J. Appl. For.* 10: 16–21.
- Meier, C.E., C.C. Grier, and D.W. Cole. 1985. Below- and aboveground N and P use by *Abies amabilis* stands. *Ecology* 66: 1928–1942.
- Mori, A., K. Haibara, and Y. Aiba. 1991. Seasonal and diurnal variations of mineral concentrations in the branch xylem sap of *Cornus controversa*. *J. Jpn. For. Soc.* 73: 466–470. (in Japanese)
- Munson, A.D. and P.Y. Bermer. 1993. Comparing natural and planted black spruce seedling. II. Nutrition uptake and efficiency of use. *Can. J. For. Res.* 23: 2435–2442.
- Nelson, P.V. 1991. Greenhouse operation and management, 4th ed. pp. 189–226. Prentice Hall. Englewood Cliffs, N. J.
- Proe, M.F. and P. Millard. 1994. Relationships between nutrient supply, nitrogen partitioning and growth in young Sitka spruce (*Picea sitchensis*). *Tree Physiol.* 14: 75–88.
- Reich, P. B., M. G. Tjoelker, M. B. Walters, D. W. Vanderklein, and C. Buschena. 1998. Close association of RGR, leaf and root morphology, seed mass and shade tolerance in seedlings of nine boreal tree species grown in high and low light. *Functional Ecol.* 12: 327–338.
- Rengel, Z. 1992. Role of calcium in aluminum toxicity. *New Phytol.* 121: 499–513.
- Richie, G.A. 1984. Root growth potential, principles, procedures, and predictive ability. In: Duryea, M.L. Proceedings, evaluating seedling quality, principles, procedures, and predictive abilities of major tests. October. pp. 16–18.
- Ryu, K.O., J.H. Song, H.S. Choi, H.Y. Kwon, and Y.R. Kwon. 2007. Quality of yellow poplar (*Liriodendron tulipifera*) seedlings by the method of seedling production. *J. Kor. For. Soc.* 96(3): 307–316.
- SAS institute Inc. 2000. SAS/STAT TM Guide for Personal Computer. Version 9 Edition. SAS Institute Inc., N. C. 1026p.

- Schaedle, M., F.C. Thornton, D.J. Raynal, and H.B. Tepper. 1989. Response of tree seedlings to aluminum. *Tree Physiol.* 5: 337–356.
- Seiler, J. R. and J. D. Johnson. 1988. Physiological and Morphological Responses of Tree Half-Sib Families of Loblolly Pine to Water-Stress Conditioning. *Forest Science* 34(2): 487–495.
- Shin, J.A., Y.H. Son, S.G. Hong, and Y.K. Kim. 1999. Effect of N and P fertilization on nutrient use efficiency of *Pinus densiflora*, *Larix leptolepis*, and *Betula platyphylla* var. *japonica* seedlings. *Kor. J. Environ. Agri.* 18(4): 304–309.
- Sieth, B., E. George, H. Marschner, T. Wallenda, C. Schaeffer, W. Einig, A. Wingler, and R. Hampp. 1996. Effects of varied soil nitrogen on Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.). I. Shoot and root growth and nutrient uptake. *Plant Soil.* 184: 291–298.
- Singh, S.P. and G.C.S. Negi. 1992. Leaf nitrogen dynamics with particular reference to retranslocation in evergreen and deciduous tree species to Kumaun Himalaya. *Can. J. For. Res.* 23: 349–357.
- Smillie, R. M. and S. E. Hetherington. 1983. Stress tolerance and stress induced injury in crop plants measured by chlorophyll fluorescence in vivo. Chilling, freezing, ice cover, heat and high light. *Plant Physiol.* 72: 1043–1050.
- Son, Y. and S.T. Gower. 1991. Aboveground nitrogen and phosphorus use by five plantation-grown trees with different leaf longevities. *Biogeochemistry* 14: 167–191.
- Stark, N. and C. Spitzner. 1985. Xylem sap analysis for determining the nutrient status and growth of *Pinus ponderosa*. *Can. J. For. Res.* 15: 783–790.
- Ulrich, B., R. Mayer, and P.K. Khanna. 1980. Chemical changes due to acid precipitation in a Loess-derived soil in central Europe. *Soil Sci.* 130: 193–199.
- Valladres, F., M. T. Allen, and R. W. Pearcy. 1997. Photosynthetic responses to dynamic light under field conditions in six tropical rainforest shrubs occurring along a light gradient. *Oecologia* 111: 505–514.
- Waring, R.H. and J.F. Franklin. 1979. Evergreen coniferous forests of the Pacific Northwest. *Science* 204: 1380–1385.
- Wightman, F., E.A. Schneider, and K.V. Thimann. 1980. Hormonal factors controlling the initiation and development of lateral roots. II. Effects of exogenous growth factors on lateral root formation in pea roots. *Physiol. Plant* 49: 304–314.

- Wilcox, H.E. 1968. Morphological studies of the root of red pine, *Pinus resinosa*. I. Growth characteristics and patterns of branching. Ameri. J. Bot. 5:247–254.
- Wood, T. and F.H. Bormann. 1974. The effects of artificial acid mist upon the growth of *Betula alleghaniensis* Britt. Environ. Pollut. 7: 259–269.
- Wood, T. and F.H. Bormann. 1975. Increase in foliar leaching caused by acidification of an artificial mist. Ambio 4: 169–171.
- Wood, T. and F.H. Bormann. 1976. Shortterm effects of a simulated acid rain upon the growth and nutrient relations of *Pinus strobus* L., U.S.D.A. For. Serv. Gen. Technol. Rep. NE-23. pp. 815–826.
- Yim, Y.J. 1995. Composition and distribution of deciduous broad-leaved forests in Korea. In: Vegetation science in forestry. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht Boston London, pp. 273–298.
- Šestak, Z., J. Čatský, and P. G. Jarvis. 1971. Plant Photosynthetic Production Manual of Methods. The Hague. Hertogenbosch. 818p.

주 의

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