

GOVP1200210014

최 종  
연구보고서

# 인공광을 이용한 접목묘의 활착촉진장치 개발 및 광형태형성 제어

Development of an Apparatus for Graft-taking Enhancement  
and Photomorphogenesis of Grafted Seedlings  
Using Artificial Lighting

전 북 대 학 교

농 립 부



# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “인공광을 이용한 접목묘의 활착촉진장치 개발 및 광형태형성 제어에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2001 년 10 월 16 일

주관연구기관명 : 전북대학교

총괄연구책임자 : 김 용 현

세부연구책임자 : 김 용 현

세부연구책임자 : 김 철 수

연 구 원 : 이 지 원

연 구 원 : 이 상 규

# 요 약 문

## I. 제 목

인공광을 이용한 접목묘의 활착촉진장치 개발 및 광형태형성 제어

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

주요 채소의 재배면적과 재식밀도를 고려할 때 우리나라의 연간 채소묘의 수요는 약 124~160억주 정도로 추정되며, 과채류를 중심으로 한 접목묘의 수요는 약 5억주 정도로 추정된다. 현재 육묘시설 또는 농가에서는 과채류의 종류에 따라 호접, 삼접, 합접, 핀접, 활접 등 여러 가지의 접목 방법을 사용하여 접목묘를 생산하고 있다. 접목 과정은 접수와 대목의 준비, 접목, 활착, 순화 단계로 구분된다. 이러한 접목 작업에는 많은 노력이 투입되며, 상품성이 우수한 접목묘의 생산을 위해서 적절한 환경 관리 노력이 요구된다. 특히 접목묘 수요의 증가와 접목 로봇과 같은 자동접목장치의 개발에 따라 대량으로 접목된 접목묘의 안정적인 활착이 요구되고 있다. 즉, 활착 단계에서 접수와 대목의 원활한 결합은 물론 접목묘의 순화를 도모하면서 대량의 접목묘를 안정적으로 생산할 수 있는 방법의 개발이 요구되고 있다.

접목묘의 활착율을 높이려면 활착 단계에서 접수의 위조를 막아야 한다. 한편 접목묘로부터의 과도한 증산은 접수의 위조를 심화시킨다. 그러므로 접목묘의 증산을 억제하면서 활착율을 높이려면 접목 직후 접목묘 주위 공기의 상대습도를 높게 유지하여 묘의 위조를 방지하여야 한다. 따라서 건전한 접목묘를 생산하려면 활착 단계에서 접수와 대목의 결합이 원활하게 이루어지도록 상대습도를 높게 조절한 후 점차 상대습도를 낮추고, 광량은 서서히 증가시키는 등의 방법으로 접목묘 주위의 환경을 관리하여야 한다.

현재 접목묘를 생산하는 육묘시설 또는 농가에서는 폴리에틸렌으로 된 반투과성 필름 또는 차광용 필름으로 온실 내에 터널을 만들어 태양광을 차단시킨 후 활착 과정에 있는 접목묘 주위 공기의 상대습도와 광량을 조절하고 있으나, 환경 요소의 관리가 대부분 관리자의 경험에 의해서 이루어져 정확한 습도와 광량 조절에 많은 어려움을 겪고 있다. 또한 자연광 조건하에서 접목묘의 활착이 이루어져 접목묘의 활착 또는 품질이 외부 환경의 영향을 쉽게 받기 때문에 활착 환경의 효과적인 제어가 불가능한 실정이다. 접목묘의 활착을 촉진시키고, 활착 관리에 요구되는 노력을 절감시키려면 원활한 활착에 요구되는 환경을 쉽게 조성할 수 있는 활착촉진장치가 개발되어야 함과 아울러 활착을 위한 최적 환경조건이 제시되어야 하나, 이에 대한 연구 결과는 미흡한 실정이다.

광질(light quality)은 식물의 성장과 형태형성 반응에 커다란 영향을 미친다. 식물의 생장은 광합성 작용에 의한 결과로서, 광합성에 미치는 광질의 영향에 관해서는 많은 연구가 시도되었으나, 접목묘의 증발산속도 또는 활착에 미치는 광질의 영향에 관한 연구는 전무한 실정이다.

본 연구는 접목묘의 활착 단계에 요구되는 적정 환경조건을 쉽게 조성하면서 관리 노력을 절감할 수 있도록 인공광을 이용한 접목묘의 활착촉진장치 개발과 묘소질이 우수한 접목묘의 생산을 위해서 광형태형성 반응의 응용 가능성을 탐색하고자 수행되었다.

### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

#### 1. 연구개발 목표와 내용

가. 인공광하에서 접목묘의 활착촉진을 위한 최적 환경조건의 구명 및 광합성속도 측정

인공광을 이용한 접목묘의 활착촉진장치 개발에 선행하여 활착촉진에 적합한 기온, 상대습도, 광, 기류속도 등의 최적 환경조건을 구명한다. 이를 위해 기온 및 상대습도의 임의 조절이 가능하도록 시작품으로 제작된 대형 활착촉진장치 내에서 과채류(공시재료: 수박)의 최적 활착 환경조건을 설정하기 위한 기초실험을 수행한다. 즉, 기류속도 제어가 가능한 인공광 조명용 풍동을 제작하여 인공광하의 기온, 상대습도, 기류속도가 접목묘 개체군의 증발산 속도 및 활착에 미치는 영향을 구명한다. 또한, 고습도 환경하에서 접목묘의 광합성능력을 분석하고자 광합성속도 측정 시스템을 구성한다.

나. 접목묘의 생체정보 계측

과채류의 종류와 접목기술의 보유 상태에 따라 편엽합접, 삼접, 핀접, 호접 등 여러 가지 접목방법이 사용되고 있는 바 컴퓨터 시각을 이용하여 접목방법에 따른 접합부 내부구조를 측정한다. 즉, 접목묘 통도조직의 결합상태에 대한 3차원 영상을 분석하여 적정 접목방법을 구명한다. 또한 대목과 접수의 결합 부위에 대한 열화상 정보, 기계적 특성을 분석한다.

다. 인공광을 이용한 접목묘의 활착촉진장치 시작품 제작 및 성능 개선

접목묘의 활착촉진장치 개발에 선행하여 수행된 실험 결과에 따라 인공광을 이용한 접목묘의 활착실을 설계하고 시작품을 제작한다. 활착촉진장치 내부에는 플러그트레이의 구멍(cell) 數에 따라 가변적이거나, 1회에 약 6,000~8,000주의 접목묘를 동시에 수용할 수 있는 이동가능한 多段式 선반을 설치하고 선반의 각 단 상부에는 인공광원으로 형광등을 설치하되 배지 표면에서  $50\sim 100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 광합성유효광량자속을

확보한다. 특히, 접목묘의 활착이 진행되는 동안 증발산을 억제하기 위해서 90% 정도의 높은 범위에서 활착촉진장치 내의 상대습도가 유지되는 고습도 제어에 유의한다.

#### 라. 접목묘의 활착율 및 생육 특성 분석

영양 및 수분 상태, 물리성 등의 배지조건을 일정하게 유지시킨 가운데 인공광하에서 접목 활착과정을 겪은 과채류 접목묘의 활착에 소요되는 日數, 활착율을 분석한다. 생장 지표로서 접목묘의 초장, 엽수, 배축 직경, 배축 길이 등을 분석한다.

#### 마. 인공광을 이용한 접목묘의 광형태형성 제어

접목묘의 증발산 특성과 활착에 미치는 광질의 영향을 분석하여 묘소질이 균일한 접목묘 생산을 위해서 광형태형성 반응의 활용 가능성을 검토한다. 구체적으로 청색, 녹색, 적색 및 원적색의 단색광 LED 모듈과 적색광 LED 모듈에 청색, 원적색광 등을 조합시킨 조합광 LED 모듈을 사용하여 접목묘의 광형태형성 반응을 분석한다. 아울러 광형태형성 제어에 사용된 인공광원의 분광 특성을 분석한다.

#### 바. 광형태형성 제어에 따른 접목묘의 생육 특성 분석

적색광에 청색광 또는 원적색광의 부가 조사가 접목묘의 줄기 직경, 줄기 길이, 엽면적, 엽장, 지상부 생체중 및 건물중, 지하부 생체중 및 건물중, 엽온 등 생육 특성에 미치는 영향을 분석한다. 또한 접목묘의 정식 후 생육, 수량 및 품질을 분석한다.

#### 사. 인공광형 접목묘 활착촉진장치의 시제품 완성

접목묘의 증발산 및 광합성 특성, 광질 변환에 따른 광형태형성 효과 등을 종합하여 접목 후 환경제어가 가능한 인공광형 접목묘 활착촉진장치의 시제품을 완성한다.

2. 세부과제별 연구개발 목표와 내용

본 과제는 “인공광을 이용한 접목묘의 활착촉진장치 개발”과 “광질에 따른 접목묘의 광형태형성 제어 및 생체정보 계측”의 2개의 세부과제로 구성되어 있으며, 수행한 주요 연구내용 및 범위를 요약하면 다음과 같다.

과제명	소과제명	세부 연구개발 내용 및 범위
1. 접목묘의 활착촉진장치 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 접목묘 활착관리 실태 분석</li> <li>◆ 활착촉진장치의 기본 설계, 제작 및 성능분석</li> <li>◆ 가습입자의 평균 입경 분석</li> <li>◆ 활착촉진장치의 전력 소모량 분석</li> <li>◆ 인공광하에서 접목묘의 증발산속도 측정</li> <li>◆ 접목묘의 증발산속도와 활착에 미치는 기온, 광강도, 상대습도 및 기류속도의 영향 분석</li> <li>◆ 활착촉진을 위한 최적 환경조건의 설정</li> <li>◆ 접목묘의 광합성속도 분석</li> <li>◆ 인공광하에서 적정 육묘 조건 확립</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 육묘공장에서의 접목묘 활착관리 실태 조사 및 분석</li> <li>▷ 활착촉진장치의 시제품 제작</li> <li>▷ 활착촉진장치내의 기류속도, 기온 및 상대습도 분포 측정</li> <li>▷ 가습방식에 따른 가습입자의 평균 입경 측정 및 분석</li> <li>▷ 활착촉진장치의 전력소모량 측정 및 전력요금 분석</li> <li>▷ 증발산속도 측정 시스템의 구성</li> <li>▷ 증발산속도에 미치는 기온의 영향 구명</li> <li>▷ 증발산속도에 미치는 광강도의 영향 구명</li> <li>▷ 증발산속도에 미치는 상대습도의 영향 구명</li> <li>▷ 증발산속도에 미치는 기류속도의 영향 구명</li> <li>▷ 상대습도의 계단식 감소 제어가 접목묘의 증발산속도 및 활착에 미치는 영향 구명</li> <li>▷ 상대습도의 계단식 감소 제어가 접목묘의 증발산속도 및 활착에 미치는 영향 구명</li> <li>▷ 접목묘 개체군의 광합성 측정 및 분석</li> <li>▷ 접목묘의 활착율 및 생육 특성 분석</li> <li>▷ 접수와 대목의 생장 특성 구명</li> </ul>

과제명	소과제명	세부 연구개발 내용 및 범위
2. 접목묘의 광형태형성 제어 및 생체정보 계측	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 광형태형성 제어용 단색광 LED 모듈 제작 및 스펙트럼 분석</li> <li>◆ 접목묘의 단색광 LED 형태형성 반응 분석</li> <li>◆ 조합광 LED 모듈 제작 및 스펙트럼 분석</li> <li>◆ 접목묘의 조합광 LED 형태형성 반응 분석</li> <li>◆ 광원부의 광질 개선</li> <li>◆ 접목묘의 생체정보 계측</li> <li>◆ 접목묘 결합부위의 3차원 가시화</li> <li>◆ 열화상을 이용한 접목묘 결합 부위의 생체정보 분석</li> <li>◆ 접목묘의 기계적 특성 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 단색광(청색광, 적색광, 원적색광) LED 모듈 및 전류 제어부 제작</li> <li>▷ 단색광 LED 모듈의 분광 특성 분석</li> <li>▷ 단색광 LED가 접목묘의 광형태형성에 미치는 영향 구명</li> <li>▷ 조합광(650nm+450nm, 650nm+730nm) LED modules 제작</li> <li>▷ 조합광 LED modules의 분광 특성 분석</li> <li>▷ 조합광 LED가 접목묘의 광형태형성에 미치는 영향 구명</li> <li>▷ 적색광 및 청색광을 조합한 활착촉진 장치의 광질 보완</li> <li>▷ 접목묘의 광형태형성 반응 분석</li> <li>▷ 컴퓨터시각을 이용한 접목묘 통도조직의 결합상태 측정 시스템 구성</li> <li>▷ 통도조직 내부구조의 3차원 영상 분석</li> <li>▷ 접목방법에 따른 통도조직의 결합상태 분석</li> <li>▷ 접목묘 결합부위의 열화상정보 측정</li> <li>▷ 결합부위 온도의 경시적 변화 특성 분석</li> <li>▷ 결합부위의 인장, 압축 및 전단강도 분석</li> </ul>

#### IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

##### 1. 연구개발 결과

접목묘의 수요 증가와 접목 로봇과 같은 자동접목장치의 개발에 따라 대량으로 접목된 접목묘의 안정적인 활착이 요구되고 있다. 즉, 활착 단계에서 접수와 대목의 원활한 결합은 물론 접목묘의 순화를 도모하면서 대량의 접목묘를 안정적으로 생산할 수 있는 방법의 개발이 요구되고 있다. 본 연구는 접목묘의 활착 단계에 요구되는 적정 환경조건을 쉽게 조성하면서 관리 노력을 절감할 수 있도록 인공광을 이용한 접목묘의 활착촉진장치 개발과 묘소질이 우수한 접목묘의 생산을 위해서 광형태형성 반응의 응용 가능성을 탐색하고자 수행되었다. 본 연구의 결과를 “인공광을 이용한 접목묘의 활착촉진장치 개발”과 “광질에 따른 접목묘의 광형태형성 제어 및 생체정보 계측”의 2개의 세부과제별로 구분하여 요약하면 다음과 같다.

##### 가. 인공광을 이용한 접목묘의 활착촉진장치 개발

- 1) 국내 육묘공장의 접목묘 생산 및 활착관리 실태를 조사한 결과 접목이 많이 요구되는 작물과 방법은 수박과 삼접으로 나타났다. 또한 활착 환경의 관리가 대부분 관리자의 경험에 의해서 이루어져 접목묘의 묘소질이 불균일하게 나타났다.
- 2) 접목묘의 활착을 촉진하고자 폴리우레탄을 단열재로 증정한 상판을 사용하여 내부 크기가 3,300(W) x 2,800(D) x 2,860(H)인 활착촉진장치를 개발하였다. 활착촉진장치 내에 크기가 2,810(W) x 580(D) x 2,050(H)인 4단식 선반을 2조 설치하였는 바, 1회에 6,400~9,000주의 접목묘를 입고할 수 있다.
- 3) 활착촉진장치 내의 공기 유로에 유공비가 서로 다른 다공철판을 설치하고, PID

제어기와 인버터로서 기류속도, 기온 및 상대습도를 제어한 결과 활착촉진장치 내의 기류속도, 기온 및 상대습도 분포가 매우 균일하게 나타났다.

- 4) 접목묘의 활착 촉진에 이용되는 형광등의 분광 특성과 광강도를 분석하였다.
- 5) 초음파식과 전극봉식(증기식) 가습기에서 발생한 가습입자의 평균 입경을 측정 한 결과 각각  $7.58 \pm 0.14 \mu\text{m}$ ,  $9.01 \pm 0.06 \mu\text{m}$ 로서, 활착촉진장치 내에서 고습도의 균 일한 분포가 요구되는 점을 고려할 때 가습 방식으로서 평균 입경이 작은 가습 입자를 발생하는 초음파식이 효과적일 것으로 판단된다.
- 6) 활착촉진장치 내에서 소비된 전력과 전기요금을 분석하였다. 활착촉진장치 내에 서 소비된 전력의 57%가 가열기에서 이루어져 가장 높게 나타났으며, 컴프레서 (28%), 조명(11%), 가습기(3%), 송풍기(1%)의 순서로 나타났다. 활착촉진장치에서 소비된 전력 가운데 공조 시스템, 즉 냉·난방이 차지하는 비중이 전체의 85%로 서 매우 높게 나타난 바, 활착촉진장치에서 소비전력을 절감하려면 가열기와 컴 프레서에서 소비되는 전력의 절감 방안이 우선적으로 모색되어야 한다.
- 7) 인공광형 활착촉진장치 내의 기온, 상대습도 및 기류속도를 효과적으로 제어할 수 있고, 광강도와 광질을 고려하여 인공광원을 선택할 수 있다. 그러므로 본 연 구에서 개발된 활착촉진장치는 인공광을 이용한 육묘실 또는 배양묘의 순화실로 도 활용할 수 있다.
- 8) 접목묘의 증발산속도에 미치는 물리적 환경요소의 영향을 정량적으로 분석하고 자 기류속도의 조절이 가능한 풍동을 제작하고, 증발산속도 측정 시스템을 구성 하였다.
- 9) 접목묘의 증발산속도와 활착율에 미치는 광주기, 기온, 상대습도, 기류속도, 광 합성유효광량자속의 영향을 분석하였다. 증발산속도와 활착율을 고려할 때 적정 활착 조건은 기온  $25 \sim 27^\circ\text{C}$ , 상대습도 90%, 기류속도  $0.1 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 광합성유효광량 자속  $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의, 광주기  $12 \text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 나타났다. 상기 조건에서 접목묘의 활착율은 90~100%로서 높게 나타나, 활착이 원활하게 이루어짐을 알 수 있다.

- 10) 인공광하에서 5일간 활착된 접목묘의 자연광 조건에서의 순화를 고려하여 접목 초기의 활착 조건, 즉 기온 27℃, 습도 90%, 광합성유효광량자속  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 광 주기  $12\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ , 기류속도  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 활착을 실시한 후 접목 후 3일째부터 상대습도의 계단식 감소(95%→85%)와 광량의 계단식 증가( $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ → $50\sim 75\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )가 건전한 접목묘 생산에 효과적인 것으로 나타났다.
- 11) 접목묘의 순광합성속도가 접목 초기에는  $42\sim 64\text{mgCO}_2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$  로서 매우 작으나, 활착이 진행되면서 순광합성속도가 증가하였다.  $75\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 광합성유효광량자속에서 순광합성속도는  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 경우에 비해서 평균 26% 높게 나타났다. 이러한 결과는 접목묘의 활착 단계에서도 접목묘의 광합성능력이 광량에 의해서 지배됨을 의미하는 것으로서, 접목 초기에 접목묘로부터의 과도한 증발산을 피할 수 있는 범위 내에서 광량의 증가가 바람직한 것으로 판단된다.
- 12) 대목용 박의 육묘 특성에 미치는 광주기의 효과가 광합성유효광량자속에 비해서 높게 나타난 가운데 근활력을 제외한 모든 성장 항목에서 광주기에 따라 고도의 유의차가 인정되었다.
- 13) 수박과 박의 줄기 신장 제어에 적절한 광량과 DIF의 적용이 효과적인 것으로 나타났다. 본 연구에서 적용된 편엽삼점으로 접목을 실시할 경우 대목의 배축은 4~5cm 정도가 적절하였다. 그러므로 명기와 암기를 각각 12시간으로 설정하고, 상대습도가 50%를 유지하는 조건에서 적절한 배축길이를 갖는 박의 육묘 조건은 PPF  $200\sim 300\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 기온 25~27℃, DIF 10℃가 적당하였다.

#### 나. 광질에 따른 접목묘의 광형태형성 제어 및 생체정보 계측

- 1) 청색, 녹색, 적색 및 원적색의 단색광 LED 모듈과 이들을 조합한 조합광 LED 모듈을 제작한 후 분광 특성과 광강도를 분석하였다..

- 2) 접목 후 2일째의 명기에서 증발산속도는 청색 LED > 원적색 LED > 녹색 LED > 적색 LED의 순서로서 각각  $50.5\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $40.7\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $37.6\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $32.15\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 로서 차이가 크게 나타났으나, 시간이 경과할수록 증발산속도에 미치는 광질 처리의 효과가 감소하였다.
- 3) 적색과 녹색광 LED에서 활착된 접목묘의 활착율은 모두 100%이었고, 온실내의 경화 단계에서 생존율은 각각 96%, 88%로서 적색광 LED 처리에서 생존율이 높게 나타났다. 청색광 LED에서 활착된 접목묘의 활착율과 경화 과정에서의 생존율은 각각 96%, 96%로서 적색광 LED의 경우와 거의 유사하게 나타났다. 형광등하에서의 활착율이 90~95%임을 고려할 때 청색과 적색광 LED에서의 활착율은 형광등하에서 활착된 것과 거의 동일한 수준으로 평가된다. 한편 원적색광 LED에서 활착된 경우 접수의 위조 현상이 두드러지게 나타났으며 외관상 묘소질이 저하되는 가운데 활착율은 80%로서 낮게 나타났다.
- 4) 적색광 LED (R), 적색광과 청색광을 4:1의 비율로 혼합한 조합광 LED (RB41), 적색광과 청색광을 3:2의 비율로 혼합한 조합광 LED (RB32), 적색광과 청색광을 2:3의 비율로 혼합한 조합광 LED (RB23), 청색광 LED (B)하에서 활착된 접목묘의 증발산속도를 비교하였다. 활착율은 R, RB32구에서 100%로 나타났고, 나머지 처리에서의 활착율은 92~96%로서 접목묘의 활착 단계에서 적색, 청색의 단색광 LED 뿐 만 아니라 적색광에 청색광을 혼합한 조합광 LED 처리가 효과적인 것으로 나타났다.
- 5) 수박 접목묘의 활착과 경화 특성에 미치는 광질의 효과가 존재하였으며, 광질 처리에 LED의 활용 가능성을 확인하였다. 청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED에서 활착된 접목묘의 묘소질이 경화 단계에서도 일부 지속되는 것으로 판단되는 바, 묘소질의 지속성 여부를 검증하기 위한 인공광원으로서 LED를 유효하게 활용할 수 있다.
- 6) 활착촉진장치 내의 기온, 상대습도, 광합성유효광량자속, 기류속도, 광주기를

각각 27℃, 90%,  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $12\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 조절한 후 청색, 적색, 청색+적색, 백색 형광등하에서 접목묘를 활착시킨 결과 자연광에서 활착된 대조구만이 도장되었을 뿐 청색, 적색, 청색+적색, 백색 형광등하에서 활착된 접목묘의 묘소질은 외관상 모두 균일하게 나타났다.

- 7) 청색, 적색, 청색+적색, 백색 형광등하에서 활착된 접목묘의 정식 후 생육 특성에서 엽수와 절간장은 청색광에서 유의성이 인정될 정도로 크게 나타났다. 나머지 엽장, 엽폭, 줄기직경, 착과율, 초장 등의 생육 특성과 과장, 과고, 과중의 품질 특성에 대한 광질 처리간의 유의차가 없었다.
- 8) 적색, 청색+적색 형광등 처리에서 공동과가 전혀 나타나지 않았으며, 황대 발생이 적어, 적색광, 청색+적색 형광등 처리의 상품율은 높게 나타났다. 한편 다른 처리에 비해서 백색형광등에서 공동과와 황대가 많이 발생하여 기형과율이 높게 나타났다.
- 9) 형광등의 광질 처리에 따른 수박의 수량은 청색광에서 1,580kg/10a로서 가장 높게 나타난 가운데 청색광 > 청색+적색광 = 적색광 > 백색광 > 대조구의 순서로서 모든 처리에서의 수량이 대조구에 비해서 높게 나타났다. 당도는 청색광에서 11.8 °Bx로서 가장 높게 나타났으며, 청색+적색구에서도 10.7 °Bx로서 대조구에 비해서 높게 나타났다.
- 10) 컴퓨터 영상처리 시스템으로 대목과 접수의 결합 부위에 대한 2차원 영상을 획득한 후 통도조직에 대한 3차원 가시화를 시도하였다. 3차원 가시화로 말미암아 입의의 각도에서 결합 과정에 대한 가시적 이해가 가능하였으며, 접목 후 경과된 일수와 접목 방법(편엽삼접, 합접, 호접)에 따른 통도조직의 결합 상태를 확인하였다.
- 11) 서로 다른 환경하에서 활착된 접목묘의 결합 부위에 대한 온도 변화와 결합 상태를 비파괴적으로 해석하고자 열화상과 디지털 영상처리 장치를 사용하였다. 접목 초기에 대목과 접수의 결합부위에 해당하는 식물체 온도가 줄기부분의 온

도에 비해서 0.1~4.2℃정도 낮게 나타났으며, 활착이 진행되면서 결합부위와 줄기부분의 온도차가 감소하였다.

- 12) 접목 방법에 따른 수박 접목묘의 인장, 압축 및 전단 강도 등의 기계적 특성을 분석하였다. 접목후 5일간 활착된 접목묘의 인장강도는 편엽삼접, 호접 및 삼접에서 각각 434.3kPa, 345.6kPa, 129.9kPa로서 편엽삼접의 경우 호접 또는 삼접에 비해서 각각 1.3배, 3.3배 크게 나타났다. 압축강도는 호접> 삼접> 편엽삼접의 순서로서 각각 214.5kPa, 211.8kPa, 130.2kPa로 나타났다. 전단강도는 편엽삼접> 호접> 삼접의 순서로서 각각 683.6kPa, 447.3kPa, 439.5kPa로 나타났다. 상기의 결과를 고려할 때 본 연구에서 적용된 편엽삼접 접목묘의 인장강도와 전단강도가 가장 높게 나타나, 건묘 생산에 편엽삼접의 적용이 유리할 것으로 판단된다.

## 2. 연구 결과 활용에 대한 건의

본 연구에서 개발된 인공광형 접목묘 활착촉진장치는 기온, 상대습도, 기류속도 및 광량 등 환경요소의 제어가 가능하여 묘소질이 균일한 접목묘 생산에 크게 기여할 것이며, 접목묘의 활착 관리에 소요되는 노력을 크게 절감할 것으로 기대된다. 그러므로 접목묘를 대량으로 생산하는 육묘장에서 유용하게 활용될 것으로 판단된다. 특히 접목 로봇의 등장으로 단시간내에 접목이 대량으로 이루어지는 바, 대량생산된 접목묘의 활착에 활착촉진장치가 유용하게 활용될 것이므로 상업화를 도모할 계획이다. 이밖에 활착촉진장치 내의 환경요소가 효과적으로 제어되므로, 활착촉진장치를 조직배양묘의 순화실 또는 발아실로도 활용할 수 있다. 아울러 양질의 접목묘를 생산하기 위한 방법으로서 광질 처리의 가능성을 검토하였다. 향후 이 분야에 관한 더 많은 관심과 연구가 필요할 것으로 판단된다.

# SUMMARY

## I. TITLE

Development of an Apparatus for Graft-taking Enhancement and Photomorphogenesis of Grafted Seedlings Using Artificial Lighting

## II. OBJECTIVES AND NECESSITY

Grafting has become a major technique for the production of fruit-bearing vegetables. Considering the production area and planting density of vegetable, the demand of grafted seedlings for vegetables in Korea is estimated approximately 500 millions. Inarching, insertion, slant-cut or horizontal-cut grafting were used to produce grafted seedlings in domestic nursery.

Grafting requires time, space and materials. Also a high expertise is required for grafting, healing and acclimatization. Usually the shading materials and plastic film are used to keep the high relative humidity and low light intensity around grafted seedlings in greenhouse or tunnel. Farmers or managers rely on their experience for the production of grafted seedlings. However, it is quite difficult to optimally control the environment for graft-taking, healing and acclimatization of grafted seedlings under natural light. Therefore it is required to develop an apparatus to enhance the graft-taking of massive grafted seedlings. And the optimal environment for successful graft-taking should be provided.

Wilting of scions, which is related to excessive evapotranspiration, was prevented to increase the graft-taking of grafted seedlings. High relative humidity is an effective way to prevent the wilting after grafting. And then, it is suggested to lower the relative humidity and increase light intensity for smooth joining of grafted seedlings.

If artificial light is used as a lighting source for graft-taking of grafted seedlings, the light intensity, quality and photoperiod can be easily controlled. Although earlier study showed the suitable conditions for healing of graft unions on tomato scions in a growth chamber, there was no report for the effect of light quality on graft-taking enhancement of whole grafted seedlings under artificial lighting.

The purpose of this study was to develop an apparatus for graft-taking enhancement using artificial lighting and to apply the photomorphogenesis of grafted seedlings for the production of watermelon grafted seedlings with quality.

### III. SCOPES OF THE STUDY

#### A. Development of an Apparatus for Graft-taking Enhancement of Grafted Seedlings (AGEGS) Using Artificial Lighting

1. Survey on the traditional graft-taking of grafted seedlings
2. Development of AGEGS
  - 1) Design of pilot AGEGS
  - 2) Distribution of air current speed, air temperature and relative humidity in AGEGS
  - 3) Analysis of spectral characteristics and light intensity of artificial lighting sources
  - 4) Comparison of particle size by the type of humidifiers
  - 5) Calculation of electric energy consumed in AGEGS
3. Evapotranspiration and graft-taking of grafted seedlings
  - 1) Measurement of evapotranspiration rate (EVTR) of grafted seedlings
  - 2) EVTR and graft-taking of grafted seedlings as affected by photoperiod
  - 3) EVTR and graft-taking of grafted seedlings as affected by air temperature

- 4) EVTR and graft-taking of grafted seedlings as affected by relative humidity
  - 5) EVTR and graft-taking of grafted seedlings as affected by photosynthetic photon flux
  - 6) EVTR and graft-taking of grafted seedlings as affected by air current speed
  - 7) EVTR and graft-taking of grafted seedlings as affected by steps of relative humidity and photosynthetic photon flux
  - 8) Acclimatization characteristics of grafted seedlings
  - 9) Measurement of net photosynthetic rate of grafted seedlings
  - 10) Massive graft-taking of grafted seedlings
4. Optimal environment for raising seedlings under artificial lighting
- 1) Growth of bottle gourd seedlings as affected by photoperiod and photosynthetic photon flux
  - 2) Growth of watermelon and bottle gourd seedlings as affected by air temperature and photosynthetic photon flux
  - 3) Growth of watermelon and bottle gourd seedlings as affected by photosynthetic photon flux and DIF

#### B. Photomorphogenesis and *in-vivo* Information of Grafted Seedlings

##### 1. Photomorphogenesis of grafted seedlings

- 1) Analysis of spectral characteristics and light intensity of light emitting diodes (LED)
- 2) EVTR and graft-taking of grafted seedlings graft-taken under LED
- 3) EVTR and graft-taking of grafted seedlings graft-taken under blue, green, red, and far-red LED
- 4) EVTR and graft-taking of grafted seedlings graft-taken under combination LED of

blue and red

- 5) Graft-taking of grafted seedlings using blue and red fluorescent lamps
- 6) Growth and quality of watermelon after transplanting as affected by light quality

2. *In-vivo* measurement of grafted seedlings

- 1) Image processing for joining part of rootstock and scion
- 2) Three dimensional visualization of vascular bundles
- 3) Comparison of three dimensional visualization of vascular bundles by grafting method
- 4) Measurement of thermal imaging of grafted seedlings
- 5) Analysis of plant temperature of joining part by thermal images
- 6) Analysis of mechanical properties of grafted seedlings

#### IV. RESULTS AND RECOMMENDATIONS

1. Development of an AGECS using artificial lighting

1) Insertion grafting was widely applied for the production of watermelon grafted seedlings in survey on the traditional graft-taking of grafted seedling. Farmers or managers relied on their experience to environment control for graft-taking of grafted seedlings. Thus the quality of grafted seedlings was not uniform.

2) An apparatus with polyurethane panel of 100mm thick for graft-taking enhancement of grafted seedlings using artificial lighting was developed. It has 2,800mm long by 3,300mm wide by 2,860mm high. Grafted seedlings of 6,400 to 9,000 can be graft-taken on two shelves in AGECS at the same time.

3) Since the perforated steel plates with different perforation ratio were attached at the

inlet and exit of air duct in AGEES, air current speed, air temperature and relative humidity were uniformly distributed in AGEES.

4) Spectral characteristics and light intensity of fluorescent lamps as an artificial lighting source for graft-taking enhancement were analyzed.

5) Mean diameters of particle generated from a ultrasonic and steam type humidifier were  $7.58 \pm 0.14 \mu\text{m}$ ,  $9.01 \pm 0.06 \mu\text{m}$ , respectively. Since a ultrasonic type has smaller particle, it can be effective for humidifying.

6) Electric energy and electricity cost consumed in AGEES were analyzed. Electric energy for heating, cooling, lighting, humidifying and air circulation were 57%, 28%, 11%, 3%, and 1%, respectively. Therefore the countermeasures for energy saving in air conditioning should be considered.

7) Air current speed, air temperature and relative humidity in AGEES using artificial lighting sources with adequate light intensity and quality can be fully controlled. This AGEES can be used for a room for germination of seed or acclimatization of cultured seedlings.

8) A wind tunnel for the measurement of evapotranspiration rate (EVTR) from grafted seedlings was designed. Also, a measurement system to analyze quantitatively for the effect of physical environments on EVTR was developed.

9) Effects of photoperiod, air temperature, relative humidity, air current speed and photosynthetic photon flux (PPF) on EVTR and graft-taking of grafted seedlings were analyzed. Optimal conditions for graft-taking were  $25\text{-}27^\circ\text{C}$  for air temperature, more than 90% for relative humidity,  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  for air current speed,  $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  for PPF,  $12 \text{h} \cdot \text{d}^{-1}$  for photoperiod, respectively. Graft-taking higher than 90% was found as these conditions.

10) Humidity decrease of 10% from 95% and PPF increase of  $25 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  from 50

$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  at 3 days after grafting would be effective for the production of healthy grafted seedlings.

11) Although grafted seedlings at 2 days after grafting had a low net photosynthetic rate of  $42\text{-}64\text{mgCO}_2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ , but net photosynthetic rate increased with the increasing days after grafting. Net photosynthetic rate of grafted seedlings at PPF of  $75\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  increased by 26% as compared to those at PPF of  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .

12) Effect of photoperiod on the growth of bottle gourd for rootstock was higher than those of PPF. At the treatment of photoperiod, all growth indices except root activity were highly significant

13) Application of adequate PPF and DIF would be effective for the stem elongation of watermelon and bottle gourd seedlings. In rootstock, hypocotyl of 4-5cm long was needed for slant-cut and insertion grafting used in this study. Optimum environment for the production of healthy rootstock was  $200\text{-}300\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  for PPF,  $25\text{-}27^\circ\text{C}$  for air temperature,  $10^\circ\text{C}$  for DIF, 50% for relative humidity, and  $12\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$  for photoperiod, respectively.

## 2. Photomorphogenesis and *in-vivo* information of grafted seedlings

1) Spectral characteristics and light intensity of blue, green, red, and far-red LED modules were analyzed.

2) Effect of light quality of LED on EVTR of grafted seedlings was investigated. EVTR of grafted seedlings at photoperiod of 2 days after grafting was  $50.5\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$  for blue LED,  $40.7\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$  for far-red,  $37.6\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$  for green, and  $32.15\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$  for red, respectively. Effect of light quality on EVTR decreased with the increasing days after grafting.

3) Graft-taking of grafted seedlings graft-taken under red, green, blue, and far-red LED was 100%, 100%, 96%, and 80%, respectively. Graft-taking of grafted seedlings under red, green, and blue LED was almost same as compared to those under fluorescent lamps.

4) Effect of the addition of blue LED to red LED on EVTR of grafted seedlings was analyzed. Graft-taking of grafted seedlings at the treatment of R (red only), RB32 (red:blue = 3:2), RB23 (red:blue=2:3), B (blue only), and RB41(red:blue=4:1) was 100%, 100%, 96%, 96%, and 92%, respectively. Combination LED of the addition of blue light to red light as well as monochrome LED such as blue or red light would be effective as an artificial lighting source for graft-taking.

5) Effect of light quality using LED on graft-taking and acclimatization of grafted seedlings existed. Since the seedlings quality of grafted seedlings under blue, green, red, and far-red LED was continued to the acclimatization stage, LED will be effectively used as an artificial lighting source for detection of the continuation of seedlings quality.

6) Grafted seedlings grafted-taken under blue, red, blue plus red, and white fluorescent lamps in AGECS controlled to 27°C for air temperature, 90% for relative humidity,  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  for PPF,  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  for air current speed, and  $12\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$  for photoperiod showed visually uniform growth. But grafted seedlings grafted-taken under natural lighting showed spindly and succulent growth.

7) Among the growth indices after transplanting of watermelon grafted seedlings grafted-taken under blue, red, blue plus red, and white fluorescent lamps, difference of number of leaves and length of internode for blue light were significant. Leaf length and width, stem diameter, plant height, fruit setting, fruit length, height and weight showed no significance by the treatment of light

8) Watermelon graft-taken under red and blue plus red fluorescent lamps had high marketable yield, because they had no puffy fruit and low yellow belt. But watermelon

under white fluorescent lamps had high malformed fruit compared to other treatment. It is no certain that whether these results came from by the treatment of light quality at graft-taking stage.

9) Yield of watermelon in the treatments of light quality using fluorescent lamps were higher than those of the control. Yield and soluble solid of watermelon in the treatment of blue fluorescent lamps reached 1,580kg per 10a and 11.8 °Bx. and were greater than in other treatments.

10) Three dimensional visualization for vascular bundles of scions and rootstock watermelon was performed using images captured by computer vision system. It is possible to understand visually the process for the joining of scion and rootstock at any angle of view. Three dimensional visualization for vascular bundles of joining part of grafted seedlings was compared by the grafting method.

11) Plant temperature at the joining part of grafted seedlings was measured using infrared thermography which can detect intactly any material's temperature. Plant temperature at the joining part of scion and rootstock was lower by 0.1-4.2°C than those in other part at the initial stage after grafting. Difference in temperature between joining part and other part of grafted seedlings decreased with the increasing days after grafting.

12) Mechanical properties of grafted seedlings by the grafting method were analyzed. At 5 days after grafting, tensile strength of grafted seedlings by slant-cut and insertion, inarching, and insertion grafting reached 434.3kPa, 345.6kPa, and 129.9kPa, respectively. Hardness of grafted seedlings by grafting method were 130.2kPa for slant-cut and insertion, 214.5kPa for inarching, and 211.8kPa for insertion, respectively. Shearing strength by grafting method reached 683.6kPa for slant-cut and insertion, 439.5kPa for inarching, and 447.3kPa for insertion, respectively. Considering the tensile and shearing strength, slant-cut and insertion applied in this study will be adequate as the grafting method for

production of grafted seedlings with quality.

The developed an apparatus for graft-taking enhancement of grafted seedlings (AGEGS) using artificial lighting has many advantages regarding the quality of produced grafted seedlings, capacity, and simple management. The developed AGEGS will be utilized to produce the grafted seedlings with quality in nursery and commercialized in conjunction with any private company. Since the air current speed, air temperature, and relative humidity in AGEGS using artificial lighting sources can be uniformly controlled, this AGEGS also can be used for a room for germination of seed or acclimatization of cultured seedlings. Possibility for the treatment of light quality to produce the grafted seedlings with quality was considered. More interests and efforts are needed in this area of research.

# CONTENTS

Chapter 1. Introduction .....	31
Section 1. Objectives and necessity .....	31
Section 2. Literature review .....	33
1. Evapotranspiration and graft-taking of grafted seedlings .....	33
2. Photomorphogenesis of grafted seedlings .....	35
3. In-vivo information of grafted seedlings .....	36
Section 3. Contents and scopes .....	38
1. Objectives and contents .....	38
2. Scopes by subsection .....	40
Chapter 2. Development of AGEKS .....	42
Section 1. Introduction .....	42
Section 2. Traditional graft-taking of grafted seedlings .....	43
1. Survey on graft-taking of grafted seedlings in domestic nursery .....	43
2. Survey sites .....	43
3. Present status of graft-taking in domestic nursery .....	44
Section 3. Design of AGEKS .....	51
1. Considerations for design of AGEKS.....	51
2. Performance of AGEKS (type I) .....	52
3. Performance of AGEKS (type II) .....	72
4. Spectrum and light intensity of artificial lighting sources .....	74
5. Comparison of particle size by the type of humidifiers .....	89
Section 4. Electric energy consumption in AGEKS .....	96
1. Introduction .....	96

2. Domestic system of electricity cost .....	96
3. Comparison of electricity cost .....	99
Section 5. Conclusions .....	105
 Chapter 3. Evapotranspiration and graft-taking of grafted seedlings .....	107
 Section 1. Introduction .....	107
Section 2. Analysis of evapotranspiration rate and graft-taking .....	108
1. A wind tunnel used for the measurement of EVTR .....	108
2. Measurement of EVTR .....	111
3. EVTR and graft-taking as affected by photoperiod .....	114
4. EVTR and graft-taking as affected by physical environments .....	119
Section 3. Acclimatization of grafted seedlings .....	145
1. Introduction .....	145
2. Growth and acclimatization after graft-taking .....	145
Section 4. Photosynthesis and massive graft-taking of grafted seedlings .....	156
1. Measurement of photosynthetic rate .....	156
2. Massive graft-taking of grafted seedlings .....	161
Section 5. Conclusions .....	163
 Chapter 4. In-vivo measurement of grafted seedlings .....	165
 Section 1. Introduction .....	165
Section 2. Three dimensional visualization of vascular bundles .....	165
1. Introduction .....	165
2. Preparation of samples .....	166
3. Image processing system .....	167
4. Image processing for joining part of rootstock and scion .....	168
5. Steps for three dimensional visualization .....	169

6. Three dimensional visualization of vascular bundles .....	172
Section 3. Thermal imaging of grafted seedlings .....	181
1. Introduction .....	181
2. Measurement of thermal images .....	181
3. Analysis of thermal images .....	186
Section 4. Mechanical properties of grafted seedlings .....	200
1. Introduction .....	200
2. Mechanical properties of hypocotyl .....	200
Section 5. Conclusions .....	206
 Chapter 5. Photomorphogenesis of grafted seedlings .....	 207
Section 1. Introduction .....	207
Section 2. Spectral characteristics and light intensity of LED .....	208
1. LED .....	208
2. Opto-electric characteristics of LED modules .....	210
3. Spectral characteristics and light intensity of LED modules .....	218
Section 3. EVTR and graft-taking under LED .....	223
1. Introduction .....	223
2. EVTR and graft-taking under blue, green, red and far-red LED .....	223
3. ENTR and graft-taking under combination LED of blue and red .....	229
Section 4. Conclusions .....	234
 Chapter 6. Optimal environment for raising seedlings under artificial lighting .....	 236
Section 1. Introduction .....	236
Section 2. Growth of bottle gourd as affected by photoperiod and light intensity at seedlings stage .....	 236
1. Experimental condition .....	236

2. Growth indices of bottle gourd .....	237
Section 3. Growth of watermelon and bottle gourd as affected by air temp., and light intensity at seedlings stage .....	240
1. Experimental condition .....	240
2. Growth indices of watermelon and bottle gourd .....	241
Section 4. Growth of watermelon and bottle gourd as affected by light intensity and DIF at seedlings stage .....	243
1. Experimental condition .....	243
2. Growth indices of watermelon and bottle gourd .....	245
3. Optimal environment for the production of quality rootstocks .....	246
Section 5. Conclusions .....	247
 Chapter 7. Growth of watermelon after transplanting .....	248
 Section 1. Introduction .....	248
Section 2. Improvement of light quality .....	249
1. Fluorescent lamps for the improvement of light quality .....	249
2. Graft-taking under blue and red fluorescent lamps .....	249
Section 3. Growth of watermelon after transplanting .....	251
1. Materials and methods .....	251
2. Growth and quality of watermelon .....	252
Section 4. Conclusions .....	256
 Chapter 8. Conclusions .....	257
 Literature cited .....	263

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	31
제1절 연구개발의 목적 및 중요성 .....	31
제2절 연구사 .....	33
1. 접목묘의 증발산 특성과 활착 .....	33
2. 접목묘의 광형태형성 반응 .....	35
3. 접목묘의 생체정보 .....	36
제3절 연구개발의 내용 및 범위 .....	38
1. 연구개발 목표와 내용 .....	38
2. 세부과제별 연구개발 범위 .....	40
제 2 장 인공광형 접목묘 활착촉진장치의 개발 .....	42
제1절 서 언 .....	42
제2절 기존의 접목묘 활착 관리 .....	43
1. 육묘공장에서 접목묘의 활착 실태 조사 .....	43
2. 방문 지역의 선정 .....	43
3. 육묘공장의 활착관리 실태 .....	44
제3절 활착촉진장치의 시작용 설계 및 제작 .....	51
1. 활착촉진장치 시작용의 설계시 고려 사항 .....	51
2. 활착촉진장치 시작용 I형의 설계 및 성능 .....	52
3. 활착촉진장치 시작용 II형의 설계 및 성능 .....	72
4. 접목묘 활착촉진용 인공광원의 분광 특성 및 광강도 분석 .....	79
5. 가습 방식에 따른 가습입자의 평균입경 측정 및 분석 .....	89
제4절 활착촉진장치 내의 소비전력 분석 .....	96
1. 서 언 .....	96

2. 국내의 전기요금 체계 .....	96
3. 요금체계별 전기요금의 비교 .....	99
제5절 결론 .....	105
제 3 장 접목묘의 증발산 및 활착 특성 .....	107
제1절 서 언 .....	107
제2절 접목묘의 증발산속도 및 활착율 분석 .....	108
1. 접목묘의 증발산속도 측정을 위한 실험용 품종의 제작 .....	108
2. 접목묘의 증발산속도 측정 .....	111
3. 접목묘의 증발산속도와 활착에 미치는 광주기의 영향 .....	114
4. 접목묘의 증발산속도와 활착에 미치는 광량, 기온, 상대습도 및 기류속도의 영향 .....	119
제3절 접목묘의 순화 특성 .....	145
1. 서 언 .....	145
2. 접목묘의 활착 후 생장 및 순화 특성 .....	145
제4절 접목묘의 광합성 특성 및 대량 활착 .....	156
1. 접목묘의 광합성속도 측정 .....	156
2. 접목묘의 대량 활착 실험 .....	161
제5절 결론 .....	163
제 4 장 접목묘의 생체정보 계측 .....	165
제1절 서 언 .....	165
제2절 접목묘 통도조직의 3차원 가시화 .....	165
1. 서 언 .....	165
2. 공시 접목묘의 준비 .....	166
3. 가시화를 위한 영상처리 시스템의 구성 .....	167
4. 접목묘 통도조직의 결합 단면에 대한 영상 입력 .....	168

5. 접목묘 통도조직의 3차원 시각화 단계 .....	169
6. 접목묘 통도조직의 3차원 가시화 .....	172
제3절 접목묘 결합 부위의 열화상 정보 해석 .....	181
1. 서 언 .....	181
2. 열화상 정보의 측정 .....	181
3. 접목묘 결합 부위의 열화상 정보 .....	186
제4절 접목묘 결합 부위의 기계적 특성 .....	200
1. 서 언 .....	200
2. 접목묘 배축의 기계적 특성 분석 .....	200
제5절 결 론 .....	206
제 5 장 접목묘의 광형태형성 특성 .....	207
제1절 서 언 .....	207
제2절 발광다이오우드의 분광 특성과 광강도 .....	208
1. 발광다이오우드 .....	208
2. 단색광 LED 모듈의 설계 및 특성 .....	210
3. 조합광 LED 모듈의 분광 특성 및 광강도 분석 .....	218
제3절 LED하에서 활착된 접목묘의 증발산과 활착 특성 .....	223
1. 서 언 .....	223
2. 단색광 LED하에서 활착된 접목묘의 증발산 및 활착 특성 .....	223
3. 조합광 LED하에서 활착된 접목묘의 증발산 및 활착 특성 .....	229
제4절 결 론 .....	234
제 6 장 인공광하에서 적정 육묘조건을 확립 .....	236
제1절 서 언 .....	236
제2절 대목용 박의 육묘에 미치는 광주기와 광강도의 영향 .....	236
1. 공시 재료 및 실험 조건 .....	236

2. 육묘 단계에서 대목용 박의 생육 특성 .....	237
제3절 수박과 박의 육묘에 미치는 기온과 광강도의 영향 .....	240
1. 공시 재료 및 실험 조건 .....	240
2. 수박과 박의 육묘 특성 .....	241
제4절 수박과 박의 육묘에 미치는 광강도와 DIF의 영향 .....	243
1. 공시 재료 및 실험 조건 .....	243
2. 수박과 박의 육묘 특성 .....	245
3. 인공광하에서 건묘 육묘를 위한 대목의 적정 육묘 조건 .....	246
제5절 결 론 .....	247
제 7 장 접목묘의 정식 후 생육 특성 .....	248
제1절 서 언 .....	248
제2절 형광등을 이용한 광원부 개선 및 활착 실험 .....	249
1. 광질 개선용 형광등 .....	249
2. 청색과 적색 형광등하에서 접목묘의 활착 실험 .....	251
제3절 접목묘의 정식 후 생육 특성 .....	251
1. 정식 실험과 조사 항목 .....	251
2. 수박의 생육과 품질 특성 .....	252
제4절 결 론 .....	256
제 8 장 종합 결론 .....	257
참 고 문 헌 .....	263

# 제 1 장 서 론

## 제1절 연구개발의 목적 및 중요성

최근 들어 육묘시설의 양적 증가와 육묘 기술 수준의 향상에 힘입어 플러그묘의 보급이 확대되고 있다. 더구나 육묘업자에 의한 전문적인 묘생산과 생산농가에 의한 재배의 분업화가 진행되고, 고품질 묘의 안정된 수급에 대한 관심이 늘어나면서 육묘 산업에 대한 비중이 점차 증가하고 있다.

이 가운데 연작장해를 방지하면서 耐病性, 耐寒性 또는 耐暑性의 강화, 식물의 조기 생육 촉진 및 과실의 상품성을 향상시키기 위한 수단으로 생산되는 과채류 접목묘는 고품질 묘에 대한 인식이 확산되면서 그 수요가 꾸준히 증가하고 있다.

주요 채소의 재배면적과 재식밀도를 고려할 때 우리나라의 연간 채소묘의 수요는 약 124~160억주 정도로 추정되며, 과채류를 중심으로 한 접목묘의 수요는 약 5억주 정도로 추정된다(김과 이, 2000). 현재 육묘시설 또는 농가에서는 과채류의 종류에 따라 호접, 삼접, 합접, 핀접, 활접 등 여러 가지의 접목 방법을 사용하여 접목묘를 생산하고 있다. 접목 과정은 접수와 대목의 준비, 접목, 활착, 순화 단계로 구분된다. 이러한 접목 작업에는 많은 노력이 투입되며, 상품성이 우수한 접목묘의 생산을 위해서 적절한 환경 관리 노력이 요구된다. 특히 접목묘 수요의 증가와 접목 로봇과 같은 자동접목장치의 개발에 따라 대량으로 접목된 접목묘의 안정적인 활착이 요구되고 있다. 즉, 활착 단계에서 접수와 대목의 원활한 결합은 물론 접목묘의 순화를 도모하면서 대량의 접목묘를 안정적으로 생산할 수 있는 방법의 개발이 요구되고 있다.

접목묘의 활착율을 높이려면 활착 단계에서 접수의 위조를 막아야 한다. 한편 접목묘로부터의 과도한 증산은 접수의 위조를 심화시킨다. 그러므로 접목묘의 증산을 억제하면서 활착율을 높이려면 접목 직후 접목묘 주위 공기의 상대습도를 높게 유지하여 묘의 위조를 방지하여야 한다. 따라서 건전한 접목묘를 생산하려면 활착 단계에서

접수와 대목의 결합이 원활하게 이루어지도록 상대습도를 높게 조절한 후 점차 상대 습도를 낮추고, 광량은 서서히 증가시키는 등의 방법으로 접목묘 주위의 환경을 관리 하여야 한다.

현재 접목묘를 생산하는 육묘시설 또는 농가에서는 폴리에틸렌으로 된 반투과성 필름 또는 차광용 필름으로 온실 내에 터널을 만들어 태양광을 차단시킨 후 활착 과정에 있는 접목묘 주위 공기의 상대습도와 광량을 조절하고 있으나, 환경 요소의 관리가 대부분 관리자의 경험에 의해서 이루어져 정확한 습도와 광량 조절에 많은 어려움을 겪고 있다. 또한 자연광 조건하에서 접목묘의 활착이 이루어져 접목묘의 활착 또는 품질이 외부 환경의 영향을 쉽게 받기 때문에 활착 환경의 효과적인 제어가 불가능한 실정이다. 접목묘의 활착을 촉진시키고, 활착 관리에 요구되는 노력을 절감시키려면 원활한 활착에 요구되는 환경을 쉽게 조성할 수 있는 활착촉진장치가 개발되어야 함과 아울러 활착을 위한 최적 환경조건이 제시되어야 하나, 이에 대한 연구 결과는 미흡한 실정이다.

접목 방법 가운데 삽접, 합접 또는 편접의 경우 접수의 끝부분이 절단된 상태에서 접목이 이루어지므로 활착 단계에서 상대습도를 90% 이상의 높은 수준으로 유지시켜야 접수로부터의 증발산이 억제되면서 접수와 대목의 결합이 정상적으로 진행된다. 그러므로 접목묘의 활착율을 증대시키려면 90% 이상의 높은 상대습도를 효과적으로 제어하면서 광, 기온 및 기류속도의 제어가 가능한 접목활착실을 이용하는 것이 바람직하다. 그러나, 고습도 분포가 균일하게 나타나는 활착촉진실이 개발되어 있지 않으며, 활착을 제고를 위한 최적 환경조건이 구멍이 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이 경우 최적환경은 온실과 같은 개방형의 자연광 조건에 비하여 인공광을 이용한 폐쇄형 시스템에서 보다 쉽게 이루어질 수 있다. 그러므로 인공광하에서 고습도 환경의 정확한 계측 및 제어는 접목묘 활착촉진실의 개발에 있어서 핵심을 이루는 부분이다.

광질(light quality)은 식물의 성장과 형태형성 반응에 커다란 영향을 미친다(Hart, 1988; Fujiwara and Kozai, 1995). 식물의 생장은 광합성 작용에 의한 결과로서, 광합성

에 미치는 광질의 영향에 관해서는 많은 연구가 시도되었으나, 접목묘의 증발산속도 또는 활착에 미치는 광질의 영향에 관한 연구는 전무한 실정이다. 자연광에는 다양한 광질이 포함되어 있으나, 식물의 성장 또는 형태형성 반응을 촉진할 수 있는 특정한 파장 영역의 광을 선택하여 조사하기가 쉽지 않다. 한편, 인공광원의 赤色光(red light, R)과 遠赤色光(far-red light, FR)의 비율, 즉 R/FR을 조절하면 식물의 花芽形成, 발근, shoot 형성, 葉의 전개 등과 관계되는 光形態形成(photomorphogenesis) 반응의 센서 기능을 갖는 파이토크롬(phytochrome)의 光平衡狀態 函數( $\Phi$ )를 변화시킬 수 있으며, 묘의 광형태형성 제어에 따른 伸長調節이 가능하여 초장이 짧고 줄기 직경이 큰 우량묘를 생산할 수 있다. 그러므로 광질 조절에 의해서 식물의 광형태형성 반응을 촉진하려면 특정한 파장 영역의 선택적인 조사가 가능한 인공광을 사용하는 것이 효과적이다.

본 연구는 접목묘의 활착 단계에 요구되는 적정 환경조건을 쉽게 조성하면서 관리 노력을 절감할 수 있도록 인공광을 이용한 접목묘의 활착촉진장치 개발과 묘소질이 우수한 접목묘의 생산을 위해서 광형태형성 반응의 응용 가능성을 탐색하고자 수행되었다.

## 제2절 연구사

### 1. 접목묘의 증발산 특성과 활착

과채류 재배에서 접목은 연작장해를 방지하고, 耐病性 또는 耐暑性を 강화시킨 건묘의 생산 뿐만 아니라 식물의 조기생육 촉진 및 과실의 상품성 향상을 위해서 육묘 과정에 반드시 필요한 작업단계로서, 과채류의 종류 또는 재배농가의 접목 기술 상태에 따라 호접, 삼접, 할접, 편접 등 여러 가지 접목방법이 사용되고 있다(渡部와 板木, 1990; Oda, 1995).

접목묘는 접목 방법에 따라 다소 차이는 있으나 접목 초기에 대목과 접수의 통도조직이 연결되지 않았기에 대목의 근부에서 흡수된 양분 또는 수분이 접수까지 효과적

으로 전달되지 않는다. 이로 인하여 접수가 쉽게 시들게 되는 데, 접목묘의 활착을 촉진하려면 접목 후 활착이 이루어지기까지 접수로부터의 과도한 증발산을 억제하도록 적정 환경조건이 설정되어야 한다. 이를 위해서 인공광하에서 접목묘의 증발산속도 및 광합성속도에 미치는 환경요소, 즉 기온, 상대습도 및 기류속도 제어의 영향이 구명되어야 한다.

접목묘의 증발산속도에 미치는 환경요소의 영향을 정량적으로 분석하려면 기류속도 분포가 균일하게 나타나는 실험용 풍동을 제작하여 증발산속도를 측정하는 것이 효과적이다. 김과 古在(1996a)는 국내외적으로 최초로 인공광을 이용한 플러그묘 육묘용 풍동을 설계 및 제작하여 플러그묘 개체군 내외에서의 기류속도 분포를 측정하였으며 기류속도의 제어에 따라 묘개체군 위에서의 난류확산저항 및 확산계수 등의 공기역학적 특성을 결정하였다. 또한 플러그묘 개체군내외에서의 기온, 상대습도, 포차, CO<sub>2</sub> 농도 등의 미기상 요소가 기류속도의 영향을 받아 기류의 진행방향과 수직방향으로의 미기상 요소의 구배가 존재하며, 0.7 m·s<sup>-1</sup>의 기류속도에서 플러그묘 개체군의 최대 순광합성속도가 나타남을 보고한 바 있다(김과 古在, 1996b, 1999c). 그러므로 인공광하에서 균일한 묘소질을 확보하려면 적정 환경제어 기술이 확립되어야 하는 데, 이를 위하여 묘개체군내의 미기상 변화에 커다란 영향을 미치는 기류속도 제어가 중요함을 알 수 있다.

우량 접목묘 수요의 증가에 힘입어 접목의 자동화 및 인공광하에서 접목묘의 활착을 촉진하기 위한 환경제어 기술의 확립을 목표로 이에 대한 기초 연구가 점차 진행되는 가운데 西浦와 穗波(1997)는 접목묘의 순화환경 제어에 관한 기초 연구를 수행하면서 고습도 환경하에서 접목묘의 광합성속도를 측정할 수 있는 계측 시스템을 구성하였다. Kozai et al.(2000)은 인공광을 이용한 폐쇄형의 식물묘생산 시스템을 개발하면서 묘소질이 우수한 식물묘의 생산에 인공광의 적용이 적합하며, 인공광을 이용한 폐쇄형 식물묘생산 시스템에서 조명, 냉방 등에 소요되는 비용과 시스템의 성능을 검토한 결과 경제성이 있음을 보고한 바 있다.

국내의 육묘공장에 보급되어 있는 접목묘 활착촉진장치에서는 인공광을 사용하지 않은 가운데 내부의 기온, 상대습도, 광, 기류속도 분포가 균일하지 않으므로 접목묘가 도장하거나, 묘의 활착상태가 불균일하게 이루어지는 등의 문제점이 발생되어 제대로 사용되지 않고 있다. 따라서 활착환경을 효과적으로 제어할 수 있는 접목묘의 활착촉진장치 개발이 시급하게 요구되고 있는 형편이다. 인공광을 이용한 접목묘의 활착촉진장치 개발과 관련한 국내 연구는 전무한 실정이라 기초 자료조차 확보할 수 없으며 현재의 기술수준은 매우 낮은 상태로 평가된다.

## 2. 접목묘의 광형태형성 반응

인공광을 이용한 식물재배로서 형광등, 고압나트륨 램프, 메탈할라이드 램프 등의 인공광원을 보광용으로 설치하여 식물의 광합성을 촉진시키기 위한 연구는 많이 수행되어 왔으나, 식물의 광형태형성 제어를 목적으로 인공광을 이용한 연구는 소수에 불과하다. 인공광을 이용한 묘생산 시스템에서 묘의 생육제어 또는 광형태형성 제어는 묘소질이 균일한 우량묘의 대량 생산과 묘의 부가가치 제고에 크게 기여할 것이다. 이 가운데 인공광원으로 발광다이오드(Light emitting diode, LED)를 이용하여 접목묘의 생장 또는 광형태형성을 제어하기 위한 시도는 최근에 이루어지고 있는 실정이다. LED를 이용한 묘의 광형태형성 제어에 관한 연구는 식물 생육제어와 최근 급속하게 발전되어가는 반도체 기술을 접합시킨 것으로서 우량묘 생산을 위한 첨단 전자기술의 응용을 더욱 가속화시킬 뿐만 아니라 高效率 및 高輝度の LED 생산, 새로운 인공광원의 개발 등 관련분야의 산업 육성에도 크게 기여할 것이다.

LED는 소형이나 輝도가 높으며 여러 종류의 單色光을 방출시킬 수 있으므로 기존의 인공광원에 R/FR의 변환 또는 추가에 LED를 사용할 경우 묘의 생육 또는 광형태형성 제어에 효과적일 것으로 판단되나 이에 관한 연구는 전무한 실정이다. 相賀(1994)는 광환경의 적색광과 원적색광의 비율, 즉 R/FR 을 변환시킴에 따라 식물의 伸長反應이 조절됨을 보고하였고, 식물재배용 인공광원으로서 R/FR을 변환시킨 3종류의 식물재배용 형광등을 제작하였으며, 자연광하에서 식물의 신장생장 제어를 목적으로

적색광 파장 또는 원적색광 파장을 선택적으로 흡수하는 색소를 첨가한 시설원예용 피복재를 제작한 바 있다. Brown et al(1995)은 660 nm의 적색 및 735 nm의 원적색광의 LED를 이용한 가운데 피망고추의 성장과 형태를 메탈할라이드 램프하에서 재배된 경우와 비교한 바 적색광 LED만을 사용한 경우 메탈할라이드 램프구에 비해서 식물체의 葉重, 根重, 생체중 및 건물중 등이 모두 작게 나타났으나, 적색 LED 이외에 청색 형광등을 보조광원으로 사용하면 생장이 촉진됨을 보고하였다. 또한 원적색광과 청색광의 照射는 식물체의 광형태형성에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉 적색광과 원적색광 LED를 조합하여 사용하면 식물체가 徒長되어 줄기의 건물중이 증가되나, 청색형광등을 사용하면 엽수가 증가함을 보고하였다. 상기의 결과로부터 식물의 광형태형성 제어에는 적색광을 단독으로 사용하는 것보다 청색광을 조합하여 동시에 사용하는 것이 유효할 것으로 판단된다. 기존의 LED에 비해서 효율과 휘도가 우수한 LED 개발에 대한 보고(Yanagi et al., 1996; Okamoto et al., 1996)가 있기는 하나, 식물의 형태형성 제어에 적합한 조합광 LED의 적정 조합비율에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 형편이다.

### 3. 접목묘의 생체정보

과채류의 종류 또는 재배농가의 접목 기술 상태에 따라 호접, 삼접, 편연합접, 편접 등 여러 가지 접목방법이 사용되고 있으나(渡部와 板木, 1990), 접목방법 또는 접목 후 환경요소의 변화에 따라 통도조직의 연결 및 접목묘의 생장이 다르게 나타난다. 이 가운데 컴퓨터시각을 이용하여 접목묘 통도조직의 결합 상태 판정과 같은 생체정보 계측은 접목묘의 활착 촉진에 미치는 환경요소의 영향 구명에 유용할 것이다.

접목묘의 생산은 육묘, 접목 조작 및 활착 순화의 3단계를 거치게 된다. 육묘 단계에서는 접목에 최적인 묘를 준비하고, 접목조작 단계에서는 효율적인 결합과 묘에 스트레스가 주어지지 않도록 단시간 내에 처리하여야 한다. 또한 성묘로의 마무리를 위한 활착 순화 단계에서는 접목묘의 접수와 대목이 결합부를 형성하고, 통도조직이 결합되려면 상호의 캘루스(callus) 증식 및 분화되기 위한 생리 반응이 필요하다(Oda,

1995). 그러므로 접목묘의 생산 효율을 향상시키거나 식물의 생리 활성을 유지하려면 활착 과정에서 최적환경을 탐색한 후 조성하는 것이 바람직하다. 접목묘의 활착을 촉진시키기 위한 최적환경 조건을 확립하려면 접목 후 묘의 상태에 대한 생체정보를 수집하고, 생체정보에 기초하여 환경제어를 실시하는 것이 유효할 것으로 판단된다.

3차원 가시화는 2차원 영상을 입체적으로 표현할 수 있는 기술로서, 컴퓨터 그래픽스 분야를 중심으로 가시화를 위한 다양한 기법(Senger, 1999)들이 개발되고 있다. 최근에는 자기공명영상(Magnetic resonance image) 또는 컴퓨터 단층촬영(Computer tomography)에 의해서 획득된 인체 특정 부위의 2차원 영상 자료를 이용하여 3차원 가시화를 이룰 뿐만 아니라 종합적인 생체정보를 추출하기 위한 시도가 의학 분야에 적용되고 있다(Traina et al., 1997).

한편 원예분야에서 3차원 가시화를 시도한 사례는 보고되지 않는 가운데 현미경 또는 CCD camera를 이용하여 2차원 영상 정보를 획득하거나 영상 정보를 해석하는 수준에 머물러 있다. 그런데 2차원 영상 정보만으로서 원예 작물의 생육 반응을 가시적으로 이해하는 데는 한계가 있다. 본 연구에서 관심을 갖는 접목묘 통도조직의 결합 과정에 대한 가시적 이해 또는 생리적 해석을 시도하려면, 접수와 대목의 결합 부위에 대한 3차원 가시화가 요구된다. 이 경우 통도조직 단면에 대한 2차원 영상이 획득되어야 한다. 통도조직에 대한 2차원 영상 정보는 접목묘의 생체정보를 추출할 때 유용한 자료로서 활용되며, 3차원 가시화를 위한 기본적인 자료가 될 것이다.

## 제3절 연구개발의 내용 및 범위

### 1. 연구개발 목표와 내용

가. 인공광하에서 접목묘의 활착촉진을 위한 최적 환경조건의 구명 및 광합성속도 측정

인공광을 이용한 접목묘의 활착촉진장치 개발에 선행하여 활착촉진에 적합한 기온, 상대습도, 광, 기류속도 등의 최적 환경조건을 구명한다. 이를 위해 기온 및 상대습도의 임의 조절이 가능하도록 시작품으로 제작된 대형 활착촉진장치 내에서 과채류(공시재료: 수박)의 최적 활착 환경조건을 설정하기 위한 기초실험을 수행한다. 즉, 기류속도 제어가 가능한 인공광 조명용 풍동을 제작하여 인공광하의 기온, 상대습도, 기류속도가 접목묘 개체군의 증발산 속도 및 활착에 미치는 영향을 구명한다. 또한, 고습도 환경하에서 접목묘의 광합성능력을 분석하고자 광합성속도 측정 시스템을 구성한다.

### 나. 접목묘의 생체정보 계측

과채류의 종류와 접목기술의 보유 상태에 따라 편엽합접, 삼접, 편접, 호접 등 여러 가지 접목방법이 사용되고 있는 바 컴퓨터 시각을 이용하여 접목방법에 따른 접합부 내부구조를 측정한다. 즉, 접목묘 통도조직의 결합상태에 대한 3차원 영상을 분석하여 적정 접목방법을 구명한다. 또한 대목과 접수의 결합 부위에 대한 열화상 정보, 기계적 특성을 분석한다.

### 다. 인공광을 이용한 접목묘의 활착촉진장치 시작품 제작 및 성능 개선

접목묘의 활착촉진장치 개발에 선행하여 수행된 실험 결과에 따라 인공광을 이용한 접목묘의 활착실을 설계하고 시작품을 제작한다. 활착촉진장치 내부에는 플러그트레이의 구멍(cell) 數에 따라 가변적이거나, 1회에 약 6,000~8,000주의 접목묘를 동시에 수용할 수 있는 이동가능한 多段式 선반을 설치하고 선반의 각 단 상부에는 인공광원으로 형광등을 설치하되 배지 표면에서  $50\sim 100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 광합성유효광량자속을

확보한다. 특히, 접목묘의 활착이 진행되는 동안 증발산을 억제하기 위해서 90% 정도의 높은 범위에서 활착촉진장치 내의 상대습도가 유지되는 고습도 제어에 유의한다.

#### 라. 접목묘의 활착율 및 생육 특성 분석

영양 및 수분 상태, 물리성 등의 배지조건을 일정하게 유지시킨 가운데 인공광하에서 접목 활착과정을 겪은 과채류 접목묘의 활착에 소요되는 日數, 활착율을 분석한다. 생장 지표로서 접목묘의 초장, 엽수, 배축 직경, 배축 길이 등을 분석한다.

#### 마. 인공광을 이용한 접목묘의 광형태형성 제어

접목묘의 증발산 특성과 활착에 미치는 광질의 영향을 분석하여 요소질이 균일한 접목묘 생산을 위해서 광형태형성 반응의 활용 가능성을 검토한다. 구체적으로 청색, 녹색, 적색 및 원적색의 단색광 LED 모듈과 적색광 LED 모듈에 청색, 원적색광 등을 조합시킨 조합광 LED 모듈을 사용하여 접목묘의 광형태형성 반응을 분석한다. 아울러 광형태형성 제어에 사용된 인공광원의 분광 특성을 분석한다.

#### 바. 광형태형성 제어에 따른 접목묘의 생육 특성 분석

적색광에 청색광 또는 원적색광의 부가 조사가 접목묘의 줄기 직경, 줄기 길이, 엽면적, 엽장, 지상부 생체중 및 건물중, 지하부 생체중 및 건물중, 엽온 등 생육 특성에 미치는 영향을 분석한다. 또한 접목묘의 정식 후 생육, 수량 및 품질을 분석한다.

#### 사. 인공광형 접목묘 활착촉진장치의 시제품 완성

접목묘의 증발산 및 광합성 특성, 광질 변환에 따른 광형태형성 효과 등을 종합하여 접목 후 환경제어가 가능한 인공광형 접목묘 활착촉진장치의 시제품을 완성한다.

## 2. 세부과제별 연구개발 범위

본 과제는 “인공광을 이용한 접목묘의 활착촉진장치 개발”과 “광질에 따른 접목묘의 광형태형성 제어 및 생체정보 계측”의 2개의 세부과제로 구성되어 있으며, 수행한 주요 연구내용 및 범위를 요약하면 다음과 같다.

과제명	소과제명	세부 연구개발 내용 및 범위
1. 접목묘의 활착촉진장치 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 접목묘 활착관리 실태 분석</li> <li>◆ 활착촉진장치의 기본 설계, 제작 및 성능분석</li> <li>◆ 가습입자의 평균 입경 분석</li> <li>◆ 활착촉진장치의 전력 소모량 분석</li> <li>◆ 인공광하에서 접목묘의 증발산속도 측정</li> <li>◆ 접목묘의 증발산속도와 활착에 미치는 기온, 광강도, 상대습도 및 기류속도의 영향 분석</li> <li>◆ 활착촉진을 위한 최적 환경조건의 설정</li> <li>◆ 접목묘의 광합성속도 분석</li> <li>◆ 인공광하에서 적정 육묘 조건 확립</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 육묘공장에서의 접목묘 활착관리 실태 조사 및 분석</li> <li>▷ 활착촉진장치의 시제품 제작</li> <li>▷ 활착촉진장치내의 기류속도, 기온 및 상대습도 분포 측정</li> <li>▷ 가습방식에 따른 가습입자의 평균 입경 측정 및 분석</li> <li>▷ 활착촉진장치의 전력소모량 측정 및 전력요금 분석</li> <li>▷ 증발산속도 측정 시스템의 구성</li> <li>▷ 증발산속도에 미치는 기온의 영향 구명</li> <li>▷ 증발산속도에 미치는 광강도의 영향 구명</li> <li>▷ 증발산속도에 미치는 상대습도의 영향 구명</li> <li>▷ 증발산속도에 미치는 기류속도의 영향 구명</li> <li>▷ 상대습도의 계단식 감소 제어가 접목묘의 증발산속도 및 활착에 미치는 영향 구명</li> <li>▷ 상대습도의 계단식 감소 제어가 접목묘의 증발산속도 및 활착에 미치는 영향 구명</li> <li>▷ 접목묘 개체군의 광합성 측정 및 분석</li> <li>▷ 접목묘의 활착율 및 생육 특성 분석</li> <li>▷ 접수와 대목의 생장 특성 구명</li> </ul>

과제명	소과제명	세부 연구개발 내용 및 범위
2. 접목요의 광형태형성 제어 및 생체정보 계측	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 광형태형성 제어용 단색광 LED 모듈 제작 및 스펙트럼 분석</li> <li>◆ 접목요의 단색광 LED 형태형성 반응 분석</li> <li>◆ 조합광 LED 모듈 제작 및 스펙트럼 분석</li> <li>◆ 접목요의 조합광 LED 형태형성 반응 분석</li> <li>◆ 광원부의 광질 개선</li> <li>◆ 접목요의 생체정보 계측</li> <li>◆ 접목요 결합부위의 3차원 가시화</li> <li>◆ 열화상을 이용한 접목요 결합 부위의 생체 정보 분석</li> <li>◆ 접목요의 기계적 특성 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ 단색광(청색광, 적색광, 원적색광) LED 모듈 및 전류 제어부 제작</li> <li>▷ 단색광 LED 모듈의 분광 특성 분석</li> <li>▷ 단색광 LED가 접목요의 광형태형성에 미치는 영향 구명</li> <li>▷ 조합광(650nm+450nm, 650nm+730nm) LED modules 제작</li> <li>▷ 조합광 LED modules의 분광 특성 분석</li> <li>▷ 조합광 LED가 접목요의 광형태형성에 미치는 영향 구명</li> <li>▷ 적색광 및 청색광을 조합한 활착촉진 장치의 광질 보완</li> <li>▷ 접목요의 광형태형성 반응 분석</li> <li>▷ 컴퓨터시각을 이용한 접목요 통도조직의 결합상태 측정 시스템 구성</li> <li>▷ 통도조직 내부구조의 3차원 영상 분석</li> <li>▷ 접목방법에 따른 통도조직의 결합상태 분석</li> <li>▷ 접목요 결합부위의 열화상정보 측정</li> <li>▷ 결합부위 온도의 경시적 변화 특성 분석</li> <li>▷ 결합부위의 인장, 압축 및 전단강도 분석</li> </ul>

## 제 2 장    인공광형 접목묘 활착촉진장치의 개발

### 제1절 서 언

접목묘의 활착율을 높이려면 활착 단계에서 접수의 위조를 막아야 한다. 한편 접목묘로부터의 과도한 증산은 접수의 위조를 심화시킨다. 그러므로 접목묘의 증산을 억제하면서 활착율을 높이려면 접목 직후 접목묘 주위 공기의 상대습도를 높게 유지하여 묘의 위조를 방지하여야 한다. 따라서 건전한 접목묘를 생산하려면 활착 단계에서 접수와 대목의 결합이 원활하게 이루어지도록 상대습도를 높게 조절한 점차 상대습도를 낮추고, 광량은 서서히 증가시키는 등의 방법으로 접목묘 주위의 환경을 관리하여야 한다.

접목묘의 활착을 촉진시키고, 활착 관리에 요구되는 노력을 절감시키려면 원활한 활착에 요구되는 환경을 쉽게 조성할 수 있는 활착촉진장치가 개발되어야 함과 아울러 활착을 위한 최적 환경조건이 제시되어야 한다. 접목묘의 증발산속도 또는 활착촉진에 미치는 기온, 상대습도, 기류속도, 광 등과 같은 환경요소의 영향을 정량적으로 구명하려면 활착촉진장치 내에서 상기 환경요소를 효과적으로 제어하여야 한다. 접목묘의 활착촉진에 미치는 환경요소의 영향이 구명되면 접목묘의 활착촉진을 위한 최적 환경조건 설정과 최적제어가 가능할 것이다.

본 연구의 목적은 접목묘의 활착을 촉진할 수 있는 인공광형 활착촉진장치의 시제품을 개발하는 데 있다. 본 연구에서 설계 및 제작된 활착촉진장치는 기본적으로 기온, 상대습도 및 기류속도의 제어가 가능하며 광량 및 광질은 사용하고자 하는 임의의 광원에 대한 광합성유효광량자속, 조도, 복사조도 등의 광강도와 광질 분석에 대한 결과를 고려하여 선택하도록 하였다. 활착촉진장치 내의 환경을 효과적으로 제어할 수 있으므로 본 연구에서 개발된 활착촉진장치는 인공광을 이용한 육묘실 또는 배양묘의 순화실로도 활용할 수 있다.

## 제2절 기존의 접목묘 활착 관리

### 1. 육묘공장에서 접목묘의 활착 실태 조사

접목이란 연작재배를 함으로써 많이 발생하기 쉬운 토양전염성 병의 피해 방지, 겨울철 저온과 여름철의 고온에 견딜 수 있는 내서·내한성의 증대, 흡비력 향상에 따른 조기 생육 촉진 등을 통해 불량 환경 조건에서도 재배와 생산의 안정성을 확보하고 과실의 상품성 향상을 위하여 친화성이 높은 대목의 뿌리 부분과 재배하고자하는 작물의 성장점 부위를 연결하는 것을 의미한다. 국내에서의 접목 재배되는 작물은 과채류로서 수박, 참외, 오이, 멜론, 토마토, 가지 등이 이에 해당된다. 이들 작물의 접목 방법은 작물에 따라 서로 다르다. 또한 접목후의 활착을 촉진시키고자 환경을 다르게 설정하고 있다. 그래서 본 연구에서는 접목묘를 생산하는 국내 주요 육묘공장을 대상으로 접목 방법 및 접목후의 활착 실태에 관한 방문 조사를 실시하되, 수박을 중심으로 현지 방문조사를 실시하였다.

### 2. 방문 지역의 선정

현재 국내에 보급되어 있는 100여개의 육묘공장에서는 주로 채소류의 플러그묘와 접목묘를 전문적으로 생산하고 있으며, 일부 육묘공장에서는 화훼류의 플러그묘를 생산하고 있다.

본 연구진은 인공광을 이용한 접목묘 활착촉진장치의 개발 방향과 개발에 필요한 설계 자료를 입수하고자 육묘공장을 대상으로 접목묘의 대량 생산과 활발하게 경영이 이루어지고 있는가의 여부를 사전에 검토한 후 표 1와 같이 방문 지역을 선정하였다. 표 1로부터 경상남도와 전라북도에 위치한 육묘공장의 개소수가 타지역에 비해서 비교적 많음을 알 수 있다. 이것은 진주를 중심으로 한 경남지역에서 일찍부터 시설원에 재배가 이루어져 품질이 우수한 묘생산에 대한 관심이 높고 이로 말미암아 묘생산 시설이 많이 보급됨을 의미하는 것이며, 전북지역은 고창군을 중심으로 수박재배 농가가 많기 때문인 것으로 판단된다. 주요 설문내용은 육묘장 면적, 묘의 생산 본수,

접목 방법 및 접목후 활착 관리 실태 등이다.

표 1. 육묘공장의 방문 조사 지역.

지역	개 소 수
경기도	3 (안성 2, 여주)
강원도	4 (춘천, 평창 2, 횡성)
충청남도	3 (공주, 서산, 천안)
충청북도	3 (충주, 청원, 제천)
경상남도	10 (진주 4, 사천, 창녕 2, 밀양 2, 합천)
경상북도	3 (성주 2, 구미)
전라남도	3 (함평, 담양, 나주)
전라북도	5 (고창 2, 장수, 김제, 남원)
계	34

### 3. 육묘공장의 활착관리 실태

국내 주요 육묘공장을 대상으로 과채류의 접목 방법 및 접목후의 활착 실태에 관한 현지 방문조사를 실시한 결과 각각의 육묘공장에서 적용되고 있는 접목 방법은 다르게 나타났으나, 접목후 관리 요령은 유사하게 나타났다. 표 2는 설문조사를 통하여 정리된 것으로서 방문조사된 육묘공장에서 적용되고 있는 접목 방법과 접목묘 생산 주수를 표시한 것이다. 조사된 결과에 의하면 과채류 가운데 육묘공장에서 접목이 많이 이루어지는 품목은 수박> 오이> 참외> 토마토의 순서로 나타났다.

각각의 육묘공장에서 접목묘 생산주수는 보통 수십만~수백만주로서, 접목묘의 품질, 경영 능력 등에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. 접목묘의 소요가 연간 약 5억 주로 추정됨을 고려할 때 육묘공장에서 생산된 접목묘의 비중이 높지 않음을 알 수 있다. 이것은 대부분의 과채류 재배농가에서 접목묘를 직접 생산하여 재배하고 있음을 의미하는 것이다. 실제로 특정 과채류의 주산지역에서는 육묘공장에서 공급된 접목묘보다 자가육묘한 접목묘가 널리 사용되고 있는 것으로 조사되었다. 이러한 이유

로서 관행적인 방법에 의한 자가육묘의 선호성, 육묘공장에서 생산된 플러그묘 또는 접목묘의 묘소질에 대한 농민들의 불만족 등을 제시할 수 있다. 육묘공장이 기계화된 작업체계에 의해서 규격화된 묘를 공급할 수 있는 장점을 지니고 있음에도 불구하고 육묘공장에서 생산된 접목묘의 비중이 낮다는 것은 묘소질이 우수한 접목묘를 지속적으로 공급할 수 있도록 육묘공장에서 묘생산 기술을 향상시키기 위한 노력이 이루어져야함을 의미하는 것이다.

표 2. 방문조사된 육묘공장에서 사용되는 접목 방법 및 접목묘의 생산주수

품 목	접 목 방 법	생 산 주 수
수 박	삼접(7,566,000), 호접(2,790,000), 편접(2,480,000), 할접(1,700,000), 합접(1,100,000), 기타(2,000,000)	17,636,000
오 이	편접(2,300,000), 합접(2,100,000), 삼접(1,215,000), 호접(1,120,000), 할접(300,000),	7,035,000
참 외	호접(700,000), 합접(550,000), 편접(300,000), 할접(100,000), 기타(30,000)	1,680,000
토마토	편접(1,220,000), 삼접(170,000), 합접(150,000), 기타(100,000)	1,640,000
가 지	삼접(400,000), 편접(380,000)	780,000
멜 른	합접(300,000)	300,000
계	삼접(9,351,000), 편접(6,680,000), 호접(4,610,000), 합접(4,200,000), 할접(2,100,000), 기타(2,130,000)	29,071,000

육묘공장에서 널리 사용되는 접목방법은 과채류의 종류에 따라 다르게 나타났다. 수박의 경우 편엽삼접 또는 단근삼접과 같은 삼접이 널리 사용되고 있으며, 다음으로 호접, 편접, 할접 등의 순서로 나타났다. 오이와 토마토에서는 편접이 널리 사용되고 있었으며, 참외의 경우 호접이 차지하는 비중이 높은 것으로 나타났다. 접목방법을 전

체적으로 살펴보면 삽접이 널리 사용되고 있었으며, 핀접, 호접, 합접 등이 다음을 차지하였다.

국내의 육묘공장에서 생산되는 접목묘의 대부분은 주로 2~4월의 저온기에 걸쳐 이루어지고, 일부가 7~8월의 고온기에 생산되고 있다. 접목 후 활착을 촉진시키고자 육묘공장에서 널리 사용되고 있는 방법을 간단하게 설명하면 다음과 같다.

우선, 접목 직전에 충분한 관수를 실시하고 접목을 실시한다. 저온기에는 반투과성 폴리에틸렌 필름 또는 보온용 커튼재를 사용하며(그림 1), 고온기에는 투과율이 30~50%인 차광망을 사용하여 온실 내에 터널 형태의 활착용 공간을 조성하여 태양광을 차단시킨 후 활착 과정에 있는 접목묘 주위 공기의 상대습도와 광량을 조절하고 있다(그림 2, 그림 3).



1.

활착 기간동안 접목묘가 계속해서 터널 내에 있으면 접목묘가 도장하는 등 묘소질이 저하될 우려가 있으므로 육묘공장에서는 자연광의 광강도가 높지 않은 시각에 1~2시간 정도 태양광에 노출시키면서 환기를 실시하고 있다. 이 과정에 터널 내의 기온과 상대습도를 조절하려 하나, 자연광하에서 효과적인 조절은 근본적으로 불가능한

체적으로 살펴보면 삽접이 널리 사용되고 있었으며, 편접, 호접, 합접 등이 다음을 차지하였다.

국내의 육묘공장에서 생산되는 접목묘의 대부분은 주로 2~4월의 저온기에 걸쳐 이루어지되고, 일부가 7~8월의 고온기에 생산되고 있다. 접목 후 활착을 촉진시키고자 육묘공장에서 널리 사용되고 있는 방법을 간단하게 설명하면 다음과 같다.

우선, 접목 직전에 충분한 관수를 실시하고 접목을 실시한다. 저온기에는 반투과성 폴리에틸렌 필름 또는 보온용 커튼재를 사용하며(그림 1), 고온기에는 투과율이 30~50%인 차광망을 사용하여 온실 내에 터널 형태의 활착용 공간을 조성하여 태양광을 차단시킨 후 활착 과정에 있는 접목묘 주위 공기의 상대습도와 광량을 조절하고 있다(그림 2, 그림 3).

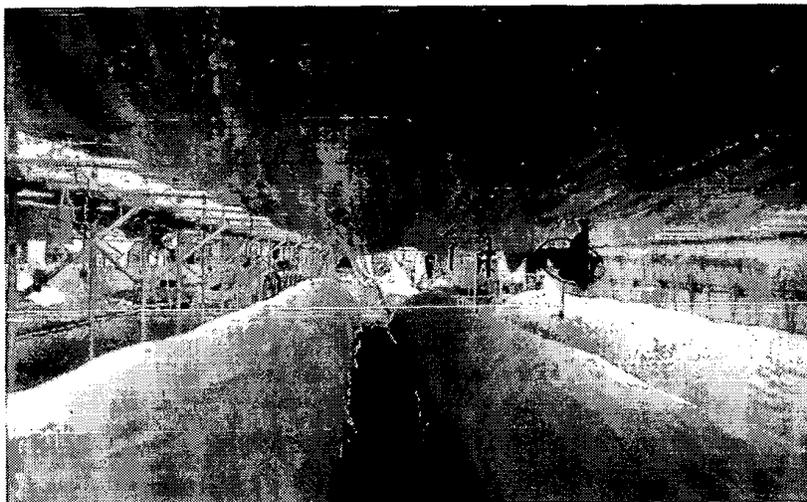


그림 1. 저온기의 접목묘 활착

활착 기간동안 접목묘가 계속해서 터널 내에 있으면 접목묘가 도장하는 등 묘소질이 저하될 우려가 있으므로 육묘공장에서는 자연광의 광강도가 높지 않은 시각에 1~2시간 정도 태양광에 노출시키면서 환기를 실시하고 있다. 이 과정에 터널 내의 기온과 상대습도를 조절하려 하나, 자연광하에서 효과적인 조절은 근본적으로 불가능한



1. (A)



3. (B)

실정이다. 더구나 환경 요소의 관리가 대부분 관리자의 경험에 의해서 이루어져 습도와 광량의 정확한 조절이 근본적으로 불가능하며, 상대습도 관리를 위해서 인력으로 살수를 시도하기도 한다(그림 4). 이와 같이 자연광 조건하에서 접목묘를 활착시킬 때 활착용 공간 내의 환경이 온실 외부 환경의 영향을 받게 됨과 아울러 접목묘의 활착

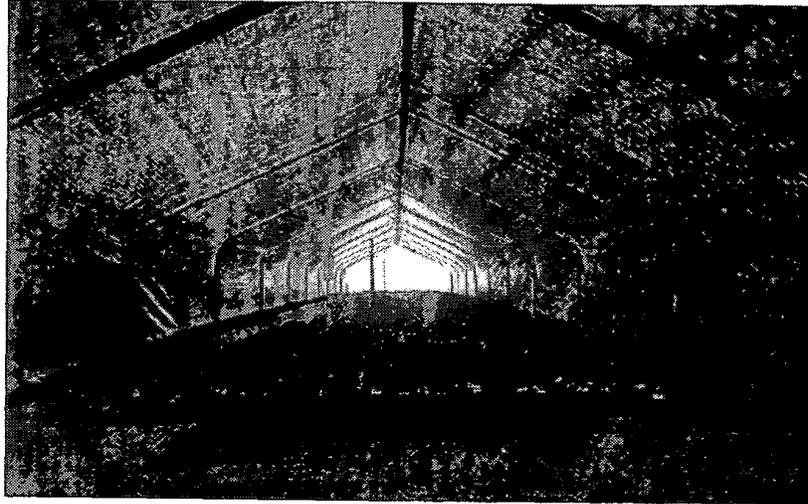


그림 1. 고온기의 접목묘 활착 (A)



그림 3. 고온기의 접목묘 활착 (B)

실정이다. 더구나 환경 요소의 관리가 대부분 관리자의 경험에 의해서 이루어져 습도와 광량의 정확한 조절이 근본적으로 불가능하며, 상대습도 관리를 위해서 인력으로 살수를 시도하기도 한다(그림 4). 이와 같이 자연광 조건하에서 접목묘를 활착시킬 때 활착용 공간 내의 환경이 온실 외부 환경의 영향을 받게 됨과 아울러 접목묘의 활착



4.

특성이 외부 환경의 영향을 쉽게 받아 겹목묘의 묘소질이 저하되기도 한다.

한편, 플러그트레이에서 증발산된 수분이 외부로 방출되지 못하여 터널내의 공기는 거의 포화상태에 이르기 때문에 겹목묘의 활착율은 일정 수준에 이르는 것으로 조사되었다. 결국 겹목 과정 뿐만 아니라 겹목후의 활착 관리에 많은 노력과 세심한 주의가 요구되어, 겹목후 활착 관리에 투입되는 노력을 경감시키기 위한 대책이 요구됨을 알 수 있다.

일부 육묘공장에서는 겹목묘의 활착을 촉진하면서 활착용 공간을 효과적으로 사용하고자 온실 내에서 다단식의 활착실을 사용하고 있다(그림 5). 그런데 이와 같은 활착실 내의 기온, 상대습도, 기류속도가 효과적으로 제어되지 않으며 광환경이 매우 열악한 실정이다. 활착용 공간을 효과적으로 사용할 수 있다는 측면에서 다단식 선반의 설치가 바람직하나, 이 경우 선반의 각 단에서 활착에 필요한 최소한의 광량을 확보할 수 있는 방안이 마련되어야 한다. 또한 노즐을 이용한 수분 분사로서 습도를 조절하나, 노즐에서 분사된 입자 크기의 한계로 인하여 활착실 내의 습도 분포가 불균일하거나 과습 상태가 이루어진다. 때문에 겹목묘가 도장하거나, 묘의 활착이 불균일하

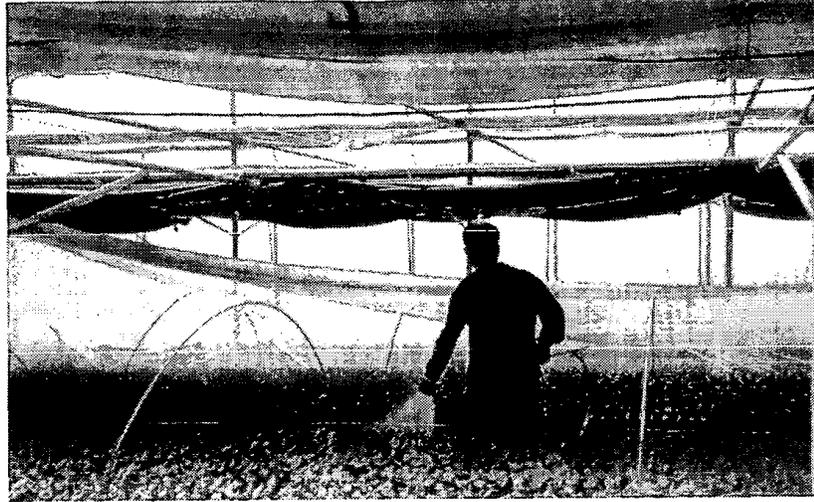


그림 4. 인력 살수에 의한 상대습도 조절

특성이 외부 환경의 영향을 쉽게 받아 접목묘의 묘소질이 저하되기도 한다.

한편, 플러그트레이에서 증발산된 수분이 외부로 방출되지 못하여 터널내의 공기는 거의 포화상태에 이르기 때문에 접목묘의 활착율은 일정 수준에 이르는 것으로 조사되었다. 결국 접목 과정 뿐만 아니라 접목후의 활착 관리에 많은 노력과 세심한 주의가 요구되어, 접목후 활착 관리에 투입되는 노력을 경감시키기 위한 대책이 요구됨을 알 수 있다.

일부 육묘공장에서는 접목묘의 활착을 촉진하면서 활착용 공간을 효과적으로 사용하고자 온실 내에서 다단식의 활착실을 사용하고 있다(그림 5). 그런데 이와 같은 활착실 내의 기온, 상대습도, 기류속도가 효과적으로 제어되지 않으며 광환경이 매우 열악한 실정이다. 활착용 공간을 효과적으로 사용할 수 있다는 측면에서 다단식 선반의 설치가 바람직하나, 이 경우 선반의 각 단에서 활착에 필요한 최소한의 광량을 확보할 수 있는 방안이 마련되어야 한다. 또한 노즐을 이용한 수분 분사로서 습도를 조절하나, 노즐에서 분사된 입자 크기의 한계로 인하여 활착실 내의 습도 분포가 불균일하거나 과습 상태가 이루어진다. 때문에 접목묘가 도장하거나, 묘의 활착이 불균일하



5

게 이루어지는 등의 여러 가지 문제점이 발생하여 제대로 사용되고 있지 않는 실정이다.

삽접, 합접 또는 핀접의 경우 접수의 끝부분이 절단된 상태에서 접목이 이루어지므로 활착 단계에서 상대습도를 90% 이상의 높은 수준으로 유지시켜야 접수로부터의 증발산이 억제되면서 접수와 대목의 결합이 정상적으로 진행된다. 그러므로 접목묘의 활착율을 증대시키려면 90% 이상의 높은 상대습도를 효과적으로 제어하면서 광, 기온 및 기류속도의 제어가 가능한 접목활착장치를 이용하는 것이 바람직하다. 그러나, 고습도 분포가 균일하게 나타나는 활착촉진장치가 개발되어 있지 않으며, 활착을 제고를 위한 최적 환경조건의 구명이 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이 경우 최적환경은 온실과 같은 개방형의 자연광 조건에 비하여 인공광을 이용한 폐쇄형 시스템에서 보다 쉽게 이루어질 수 있다. 그러므로 인공광하에서 고습도 환경의 정확한 계측 및 제어는 접목묘 활착촉진장치의 개발에 있어서 핵심을 이루는 부분이다.

활착용 공간을 효과적으로 사용하는 데 적합한 다단식 선반의 각 단에서 활착에 필요한 최소한의 광량을 균일하게 확보하려면 인공광원의 사용이 불가피하다. 그러므로 활착용 공간 내의 환경을 효과적으로 제어하면서 묘소질이 균일한 접목묘를 생산하려

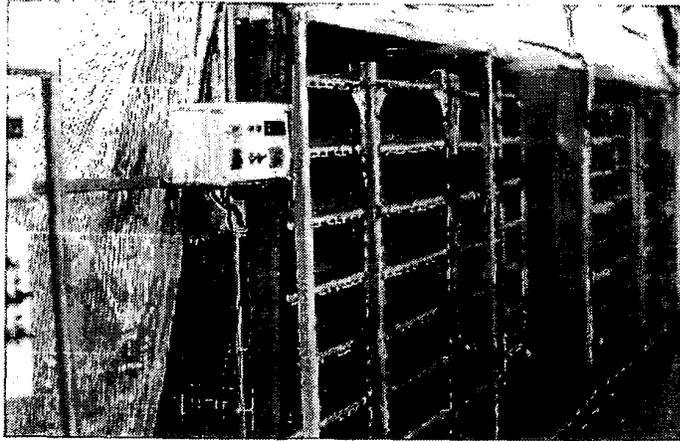


그림 5 자연광을 이용한 다단선반식 활착실

게 이루어지는 등의 여러 가지 문제점이 발생하여 제대로 사용되고 있지 않는 실정이다.

삼접, 합접 또는 편접의 경우 접수의 끝부분이 절단된 상태에서 접목이 이루어지므로 활착 단계에서 상대습도를 90% 이상의 높은 수준으로 유지시켜야 접수로부터의 증발산이 억제되면서 접수와 대목의 결합이 정상적으로 진행된다. 그러므로 접목묘의 활착율을 증대시키려면 90% 이상의 높은 상대습도를 효과적으로 제어하면서 광, 기온 및 기류속도의 제어가 가능한 접목활착장치를 이용하는 것이 바람직하다. 그러나, 고습도 분포가 균일하게 나타나는 활착촉진장치가 개발되어 있지 않으며, 활착을 제고를 위한 최적 환경조건의 구멍이 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이 경우 최적환경은 온실과 같은 개방형의 자연광 조건에 비하여 인공광을 이용한 폐쇄형 시스템에서 보다 쉽게 이루어질 수 있다. 그러므로 인공광하에서 고습도 환경의 정확한 계측 및 제어는 접목묘 활착촉진장치의 개발에 있어서 핵심을 이루는 부분이다.

활착용 공간을 효과적으로 사용하는 데 적합한 다단식 선반의 각 단에서 활착에 필요한 최소한의 광량을 균일하게 확보하려면 인공광원의 사용이 불가피하다. 그러므로 활착용 공간 내의 환경을 효과적으로 제어하면서 묘소질이 균일한 접목묘를 생산하려

면 광, 기온, 상대습도, 기류속도 등의 환경 요소를 효과적으로 제어할 수 있으며, 인공조명이 가능하도록 다단식 선반을 구비한 인공광형 접목묘 활착촉진장치가 개발되어야 한다. 또한 접목묘의 활착을 촉진시키면서, 활착 관리에 요구되는 노력을 절감시킬 수 있도록 활착을 위한 최적 환경조건이 제시되어야 하나, 이에 대한 연구 결과는 미흡한 실정이다.

### 제3절 활착촉진장치의 시작품 설계 및 제작

#### 1. 활착촉진장치 시작품 설계시 고려 사항

국내의 주요 육묘공장을 대상으로 방문조사된 접목묘의 활착 후 관리 실태 조사를 기초로 하여 본 연구에서 설정된 접목묘 활착촉진장치의 기본 개발 목표는 다음과 같다.

- ① 활착촉진장치 내의 기온, 상대습도, 기류속도 등 환경요소를 쉽게 제어하여야 한다.
- ② 활착촉진장치 내의 기온, 상대습도, 기류속도 분포가 균일하여야 한다.
- ③ 활착촉진장치 내의 환경요소가 외부의 영향을 받지 않도록 촉진실 벽체의 높은 단열성과 기밀성이 요구된다.
- ④ 활착용 공간을 효과적으로 사용하도록 플러그트레이를 올려놓을 수 있는 다단식 선반을 설치한다.
- ⑤ 일정량의 접목묘가 입고될 수 있는 크기이어야 한다.
- ⑥ 다단식 선반의 각 단에서 활착에 필요한 일정량의 광량자속을 확보할 수 있도록 인공광원을 설치한다.
- ⑦ 필요시 인공광원의 광질을 쉽게 변경할 수 있는 광원을 선택한다.
- ⑧ 활착촉진장치에서 소모되는 소비전력을 최소화할 수 있는 구조로 한다.
- ⑨ 활착촉진장치 내의 습도가 높게 유지되어야 하므로, 사용되는 부품 또는 재료는 부식에 견딜 수 있어야 한다.

활착촉진장치의 기본 개발 목표 가운데 ①항에서 90% 이상의 고습도 환경의 정확한 계측 및 제어는 접목묘 활착촉진장치의 개발에 있어서 핵심을 이루는 부분이다. 왜냐하면, 삼접, 합접 또는 편접의 경우 접수의 끝부분이 절단된 상태에서 접목이 이루어지므로 활착 단계에서 상대습도를 90% 이상의 높은 수준을 정확하게 유지하여야 접수로부터의 증발산이 억제되면서 접수와 대목의 결합이 정상적으로 진행되기 때문

이다.

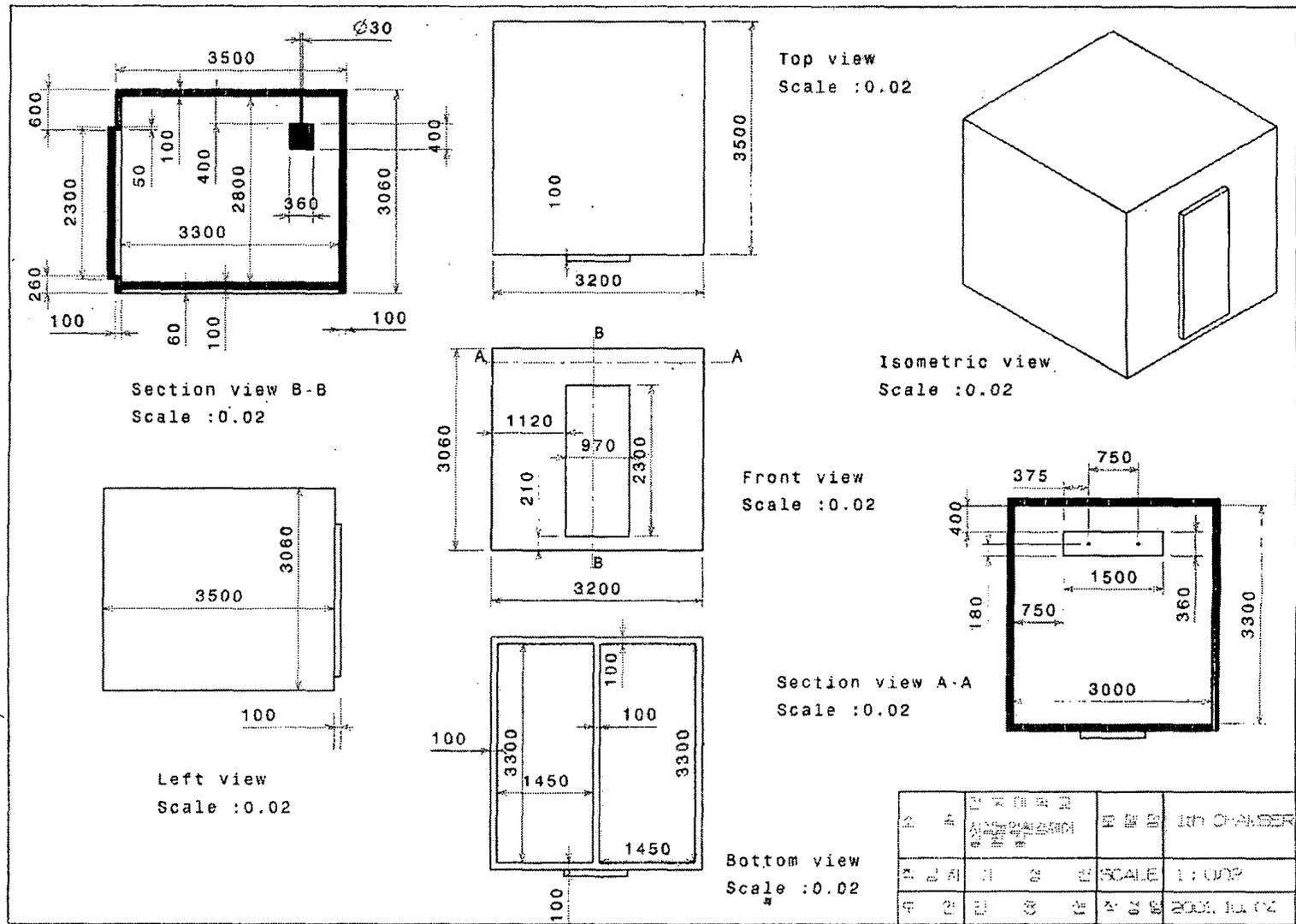
## 2. 활착축진장치 시작품 I형의 설계 및 성능

접목묘의 증발산속도 또는 활착축진에 미치는 기온, 상대습도, 기류속도, 광 등 환경요소의 영향을 정량적으로 구명하려면 상기 환경요소의 제어가 가능하도록 활착축진장치가 설계 및 제작되어야 한다. 본 연구에서 설계 및 제작된 활착축진장치 내에서는 개발 목표에서 제시된 바와 같이 기온, 상대습도 및 기류속도가 균일한 분포를 이루며 제어되고, 광량 및 광질은 사용하고자 하는 임의의 광원에 대한 광합성유효광량자속(photosynthetic photon flux, PPF), 조도, 복사조도 등의 광강도와 광질 분석에 대한 결과를 고려하여 선택하도록 하였다. 본 연구에서 개발된 활착축진장치는 기본적으로 인공광하에서 접목묘의 활착을 촉진시키기 위한 목적으로 설계되었으나, 활착축진장치 내의 환경제어가 가능하므로 인공광을 이용한 육묘실 또는 기내 배양묘의 순화를 위한 공간으로도 활용할 수 있다. 표 3은 전북대학교 농업기계공학과 시설농환경제어연구실에서 개발한 접목묘 활착축진장치 내의 환경요소 제어에 관한 기본 설계 조건을 나타낸 것이다.

활착축진장치의 크기는 외부 3,500(W) x 3,200(D) x 3,060(H), 내부 3,300(W) x 2,800m(D) x 2,860m(H)이며, 벽체로서는 두께 100mm의 폴리우레탄(polyurethane)을 단열재로 충전한 강판을 사용하였다(그림 6, 그림 8). 활착축진장치 내부에는 크기가 2,810(W) x 580(D) x 2.050(H)로서 스테인레스로 제작된 4단식 선반을 설치하였다(그림 7, 그림 9). 선반의 각 단에는 크기 260(W) x 530(D)인 플러그트레이가 8개씩 놓이게 된다. 그러므로 다단식 선반에 플러그트레이를 위치시킬 때 활착축진장치 내에 1회에 입고 가능한 접목묘의 주수는 다음과 같다.

- 50공의 플러그트레이를 사용할 경우

$$50\text{주/개} \times 8\text{개/단} \times 4\text{단/열} \times 4\text{열} = 6,400\text{주}$$



소	주	기	조	대	과	장	부	장	10th CHAMBER
주	장	기	조	대	과	장	부	장	SCALE 1:1000
주	장	기	조	대	과	장	부	장	2001. 10. 12

그림 6. 활착촉진장치 I형의 주요 도면

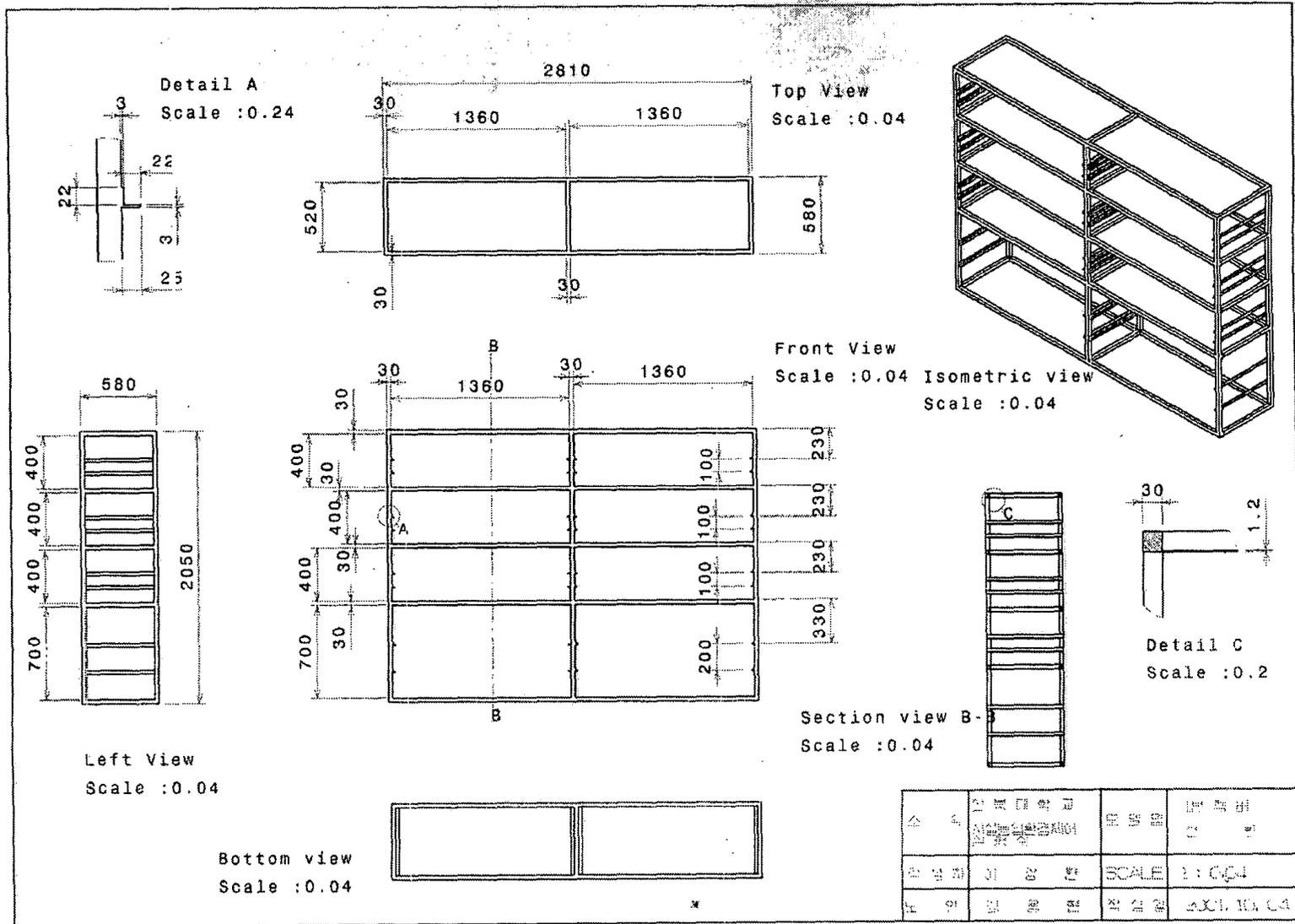
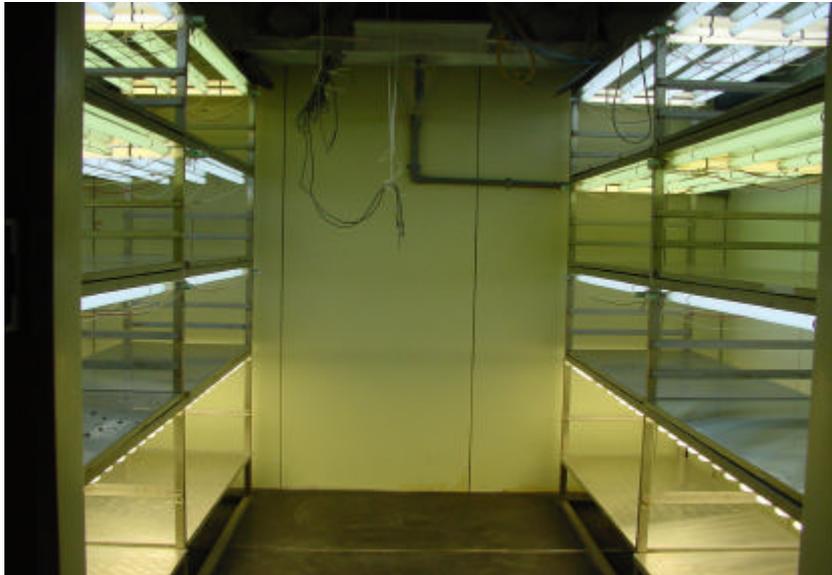


그림 7. 활착축진장치 I형의 다단식 선반



8. I



9.

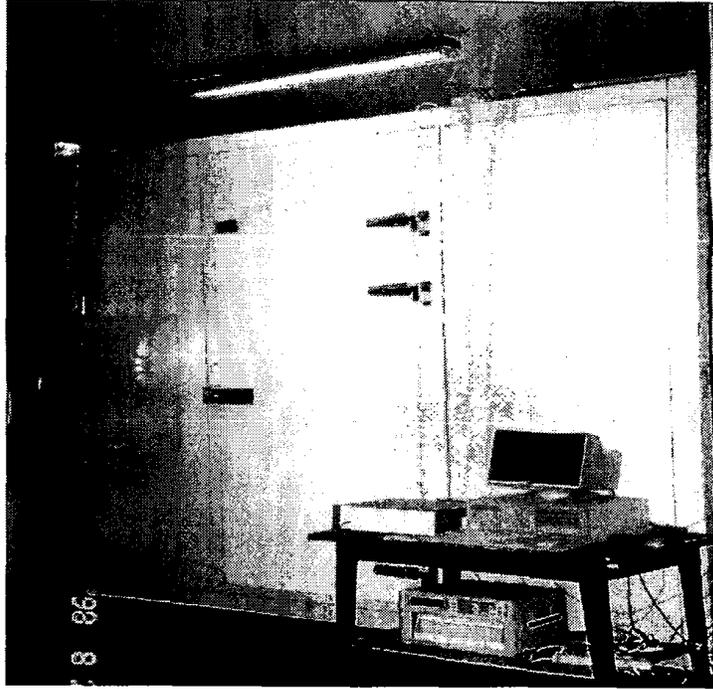


그림 8. 활착축진장치 I형의 전경

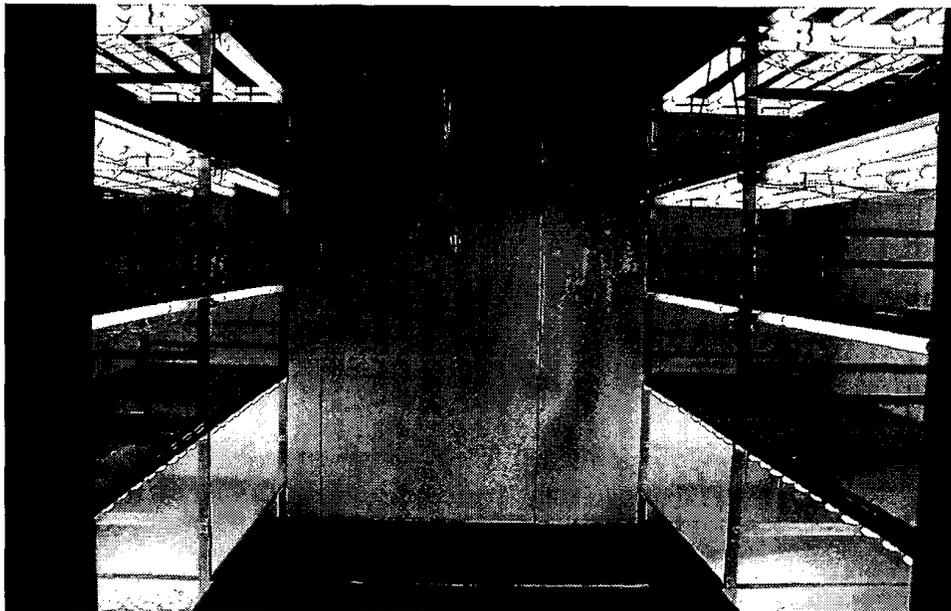


그림 9. 활착축진장치 내의 다단식 선반

- 72공의 플러그트레이를 사용할 경우

$$72\text{주/개} \times 8\text{개/단} \times 4\text{단/열} \times 4\text{열} = 9,216\text{주}$$

결국 플러그트레이의 구멍(cell) 수에 따라 차이가 있으나, 활착촉진장치 내에 1회 입고 가능한 접목묘는 6,400~9,216주이다. 개발 목표를 설정하면서 1회에 입고 가능한 접목묘를 6,000~8,000주로 가정하였는 바, 실제의 활착실 용량이 설계 기준을 상회하는 것으로 나타났다.

표 3. 접목묘 활착촉진장치의 환경제어 설계 기준

항 목	설 계 기 준
기 온	제어 범위 : 10~40℃ 제어 정도 : ±0.5℃ 제어 방식 : PID 제어
상대습도	제어 범위 : 30~100% 제어 정도 : ±5%RH 제어 방식 : PID 제어
기류속도	제어 범위 : 0~1.0m · s <sup>-1</sup> 제어 정도 : ±0.1m · s <sup>-1</sup> 제어 방식 : 주파수 제어
광	제어 범위 : 0~100μmol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> 제어 정도 : ±10μmol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> 제어 방식 : On-Off 제어

#### 가. 활착촉진장치 내의 공조 설계

표 3과 같은 접목묘 활착촉진장치의 환경제어 설계 기준을 충족시키려면 적절한 공조 설계가 요구된다. 이 경우 냉방장치의 선정에 우선하여 다음과 같이 냉방부하를 계산하였다.

1) 벽면을 통한 열관류량

$$Q_w = K A (t_o - t_i) \quad (1)$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_o} + \frac{\ell}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_i} \quad (2)$$

$Q_w$ : 열관류량(kcal · h<sup>-1</sup>)

$K$ : 총합열전달계수(kcal · m<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup> · °C<sup>-1</sup>)

$\alpha_o$ : 외기와 외벽면사이의 대류열전달계수(≃20kcal · m<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup> · °C<sup>-1</sup>)

$\lambda$ : 벽면의 열전도계수(kcal · m<sup>-1</sup> · h<sup>-1</sup> · °C<sup>-1</sup>)

$\ell$ : 벽면의 두께(m)

$\alpha_i$ : 내벽면과 실내공기 사이의 대류열전달계수(≃8kcal · m<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup> · °C<sup>-1</sup>)

$A$ : 표면적(m<sup>2</sup>)

$t_o$ : 외기온(°C)

$t_i$ : 실내기온(°C)

2) 환기전열량

$$Q_i = Q_{is} + Q_{i\ell} \quad (3)$$

$$Q_{is} = \gamma C_p V (t_o - t_i) n \quad (4)$$

$$Q_{i\ell} = \frac{V}{\nu} L (x_o - x_i) n \quad (5)$$

$Q_i$ : 환기전열량(kcal · h<sup>-1</sup>)

$Q_{is}$ : 현열환기전열량(kcal · h<sup>-1</sup>)

$Q_{i\ell}$ : 잠열환기전열량(kcal · h<sup>-1</sup>)

$\gamma$ : 공기의 밀도(≃1.2kg · m<sup>-3</sup>)

$C_p$ : 공기의 비열(≃0.24kcal · kg<sup>-1</sup> · °C<sup>-1</sup>)

$V$ : 실내 체적(m<sup>3</sup>)

n: 환기회수(回 · h<sup>-1</sup>)

v: 공기의 비체적(≒0.83m<sup>3</sup> · kg<sup>-1</sup>)

L: 물의 증발잠열(≒597kcal · kg<sup>-1</sup>)

x<sub>o</sub>: 외기의 절대습도(kg · kg<sup>-1</sup>)

x<sub>i</sub>: 실내공기의 절대습도(kg · kg<sup>-1</sup>)

3) 지중전열량(Q<sub>g</sub>, kcal · h<sup>-1</sup>) : 지중전열량은 무시한다.

4) 식물체로부터의 발열량

$$R = \mu (x_s - x) = (a/C_p) (x_s - x) \quad (6)$$

$$Q_p = L R A \quad (7)$$

Q<sub>p</sub>: 식물체로부터의 발열량(kcal · h<sup>-1</sup>)

R: 증발량(kg · m<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup>)

A: 재배면적(m<sup>2</sup>)

μ: 물질전달계수(kg · m<sup>-3</sup> · h<sup>-1</sup>)

x<sub>s</sub>: 증발면온도에 대한 절대습도(kg · kg<sup>-1</sup>)

x: 주위 공기온도에 대한 절대습도(kg · kg<sup>-1</sup>)

a: 대류열전달계수(kcal · m<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup> · °C<sup>-1</sup>)

5) 인공광으로부터의 발열량

$$Q_e = 0.86 P \quad (8)$$

Q<sub>e</sub>: 인공광으로부터의 발열량(kcal · h<sup>-1</sup>)

P: 램프용량(W), 단 광원과 안정기를 동일 실내에 설치할 경우에는 입력전원으로 한다.

6) 동력으로부터의 발열량

$$Q_m = 1300 W \quad 0.15kW \leq W \leq 0.5kW \quad (9a)$$

$$Q_m = 1080 W \quad 0.75kW \leq W \leq 3kW \quad (9b)$$

$$Q_m = 1000 W \quad 4kW \leq W \leq 15kW \quad (9c)$$

$$Q_m = 960 \text{ W} \qquad 17\text{kW} \leq W \leq 45\text{kW} \qquad (9d)$$

$$Q_m = 950 \text{ W} \qquad 45\text{kW} \leq W \qquad (9e)$$

$Q_m$ : 동력으로부터의 발열량(kcal · h<sup>-1</sup>)

$W$ : 전동기의 출력(kW)

상기 식에서 계산된 열량을 이용하여 접목묘 활착촉진장치의 소요 냉방능력을 결정한다. 계산에 사용된 자료로서 외기온과 상대습도는 여름철의 최고기온에 상당하는 33℃, 75%R.H.로 하였으며, 실내설정기온과 상대습도의 설정치는 각각 18℃, 70%R.H.로 하였다. 다음은 냉방부하의 계산 과정을 나타낸 것이다.

#### 7) 벽면을 통한 열관류량(Q<sub>w</sub>)

접목묘의 활착촉진장치의 외벽체로서 두께 100mm의 폴리우레탄을 단열재로 충전한 강판을 사용하였다. 단열재의 열전도계수가 0.016kcal · m<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup> · °C<sup>-1</sup>인 단열재를 사용하였는 바, 벽면을 통한 열관류량은 다음과 같이 계산된다.

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_o} + \frac{\ell}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_i} = \frac{1}{20} + \frac{0.1}{0.016} + \frac{1}{8} = 6.425$$

$$A = (3.5)(3.2)(2) + (3.5)(3.06)(2) + (3.2)(3.06)(2) = 63.404\text{m}^2$$

$$Q_w = K A (t_o - t_i) = (0.156)(63.404)(33-18) = 148.4\text{kcal} \cdot \text{h}^{-1}$$

#### 8) 환기전열량(Q<sub>i</sub>)

외기조건(33℃, 75%R.H.)과 실내조건(18℃, 70%R.H.)을 고려하여 환기전열량을 계산하였다. 이 때 환기회수는 1회 · h<sup>-1</sup>로 가정하였다.

$$V = (3.3)(2.8)(3) = 27.72\text{m}^3$$

$$Q_{is} = \gamma C_p V (t_o - t_i) n = (1.2)(0.24)(27.72)(33-18)(1) = 119.8\text{kcal} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$Q_{i\ell} = \frac{V}{\nu} L (x_o - x_i) n = \left(\frac{27.72}{0.83}\right)(597)(0.0241-0.0090)(1) = 301.1\text{kcal} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$Q_i = Q_{is} + Q_{ie} = 119.8 + 301.1 = 420.9 \text{kcal} \cdot \text{h}^{-1}$$

9) 지중전열량( $Q_g$ ,  $\text{kcal} \cdot \text{h}^{-1}$ ) : 지중전열량은 무시한다.

$$Q_g \approx 0$$

10) 식물체로부터의 발열량( $Q_p$ )

대류열전달계수를  $0.3 \text{kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$ , 주위 공기온도와 상대습도를 각각  $18\text{°C}$ ,  $70\% \text{R.H}$ , 증발면온도를  $19\text{°C}$ 로 가정하여 식물체로부터의 발열량을 결정하였다.

$$R = \mu (x_s - x) = (a/C_p) (x_s - x) = (0.3/0.24)(0.0138-0.0090) = 0.006 \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$A = (0.26)(0.53)(8)(4)(4) = 17.64 \text{m}^2$$

$$Q_p = (597)(0.006)(17.64) = 63.2 \text{kcal} \cdot \text{h}^{-1}$$

11) 인공광으로부터의 발열량( $Q_e$ )

접목묘의 활착촉진용 인공광원으로서 입력전원  $40\text{W}$ , 광속  $3,350\text{lm}$ 의 3과장 형광등을 사용할 때 활착촉진용 광합성유효광량자속(photosynthetic photon flux, PPF)의 설계기준인  $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 를 확보하고자 선반의 각 단에 4개의 형광등을 설치하였다. 이 경우 인공광으로부터의 발열량은 다음과 같이 계산된다.

$$Q_e = (0.86)(4)(2)(4)(4) = 110.1 \text{kcal} \cdot \text{h}^{-1}$$

12) 동력으로부터의 발열량( $Q_m$ )

활착촉진장치에서 형광등을 제외한 가열기와 전동기의 동력부하는 전부  $3.5\text{kW}$ 로 가정하였다.

$$Q_m = (1,000)(4.5) = 4,500 \text{kcal} \cdot \text{h}^{-1}$$

이상의 결과로부터 실내 설정기온  $18\text{°C}$ 를 유지할 때 요구되는 냉방부하는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Q &= Q_w + Q_i + Q_g + Q_p + Q_e + Q_m \\ &= 148.4 + 420.9 + 0 + 63.2 + 110.1 + 4,500 \\ &= 5,242.6 \text{kcal} \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

냉방시스템의 안전율을 3으로 가정할 경우 전체 냉방부하는  $(5,242.6)(3) =$

15,727.8kcal · h<sup>-1</sup> 이다.

공조 설계에 기초하여 활착축진장치 냉방시스템의 냉동기로서 밀폐형 압축기 (AGA5561EXT, Tecumseh)를 설치하였고, 가습기로서 2ℓ · h<sup>-1</sup>의 최대 가습능력을 지닌 초음파가습기(HU-4200, 오성사)를 설치하였다. 활착실 내에서 공기를 순환시키며 일정한 기류속도를 확보하고자 냉방시스템의 유닛쿨러(unit cooler)에 20 m<sup>3</sup> · min<sup>-1</sup>의 송풍량을 갖는 축류식 송풍기를 2대 부착하였다. 활착축진장치 내의 기온과 상대습도 제어를 위해서 PID 제어기(UP750, Yokogawa)를 사용하였으며, 기류속도를 제어하고자 가변전압 가변주파수(variable voltage variable frequency, VVVF) 방식의 인버터(MOSCON-G3, SAMSUNG)를 설치하였다. 인버터는 4~20mA의 입력전류로서 송풍기의 회전속도를 제어한다.

본 연구에서 사용된 PID 제어기의 주요 사양과 회로의 구성이 표 4와 그림 10에 각각 실려 있다. PID 제어기의 주요 장점을 열거하면 다음과 같다. 첫째, 대용량의 프로그램 설정이 가능하다. 즉, 300 pattern의 프로그램 입력이 가능할 뿐만 아니라 각 pattern마다 300 segment의 풍부한 입력이 가능하며 프로그램의 반복이 최대 999회까지 가능하다. 둘째, 다양한 경보 기능으로서 측정치, 설정치, 편차, 자기진단, sensor 접지 경보 등 30여 가지의 경보 기능을 보유하고 있으며 프로그램 설정시 1 segment 당 time event를 16개까지 설정할 수 있다. 셋째, touch screen 방식에 의해서 간편한 화면 전개가 가능하며, 누구나 조작할 수 있는 대화식 화면과 한글로 구성된 도움말 기능을 갖고 있어 조작이 용이하다. 넷째, 프로그램 제어와 정치제어에 의한 운전이 1대의 제어기로서 이루어지며 fuzzy로 구현한 over-shoot 억제 기능을 갖고 있다. 이밖에, 컬러 LCD 화면을 사용하여 측정치, 설정치, 출력치, 경보, 이상 상태 등의 다양한 정보를 하나의 화면에 표시할 수 있으며, RS-485에 의한 고속 interface (최대 38.4 kbps) 기능을 갖고 있다. 그림 11(a)는 PID 제어기에 입력된 제어설정의 확인 화면으로서 화면 아랫 부분에 표시된 숫자는 위로부터 각각 기온, 상대습도, time interval을 의미한다. 그림 11(b)는 프로그램의 운전 화면을 나타낸 것이다.

표 4. PID 제어기의 특성

Item	Specifications
Number of I/O signals	
Inputs	2 (thermocouples, RTD, DC voltage, DC current)
Control outputs	2 (4~20mADC or 0~20mADC) ± 0.3% of span
Digital inputs	7 (non-voltage contact or transistor open collector)
Digital outputs	7 (3 relay output, 4 transistor open-collector output)
Displays	7-segment red LEDs for 5-digit
Power	100~240VAC(±10%), 50/60Hz
Communication	RS-485

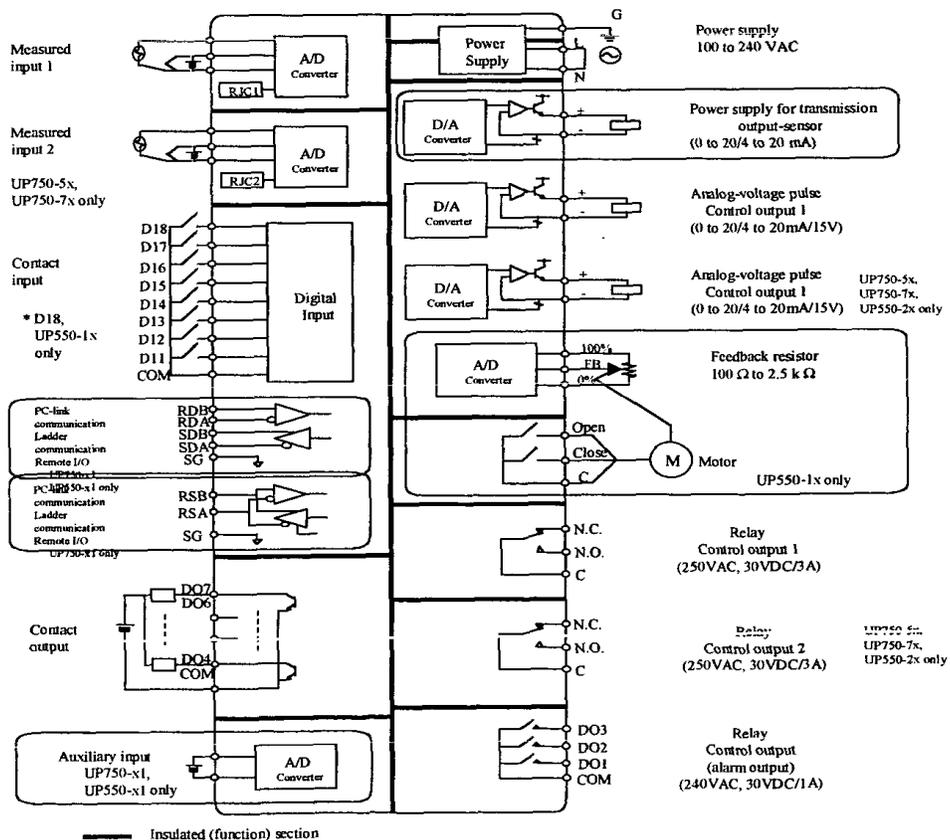
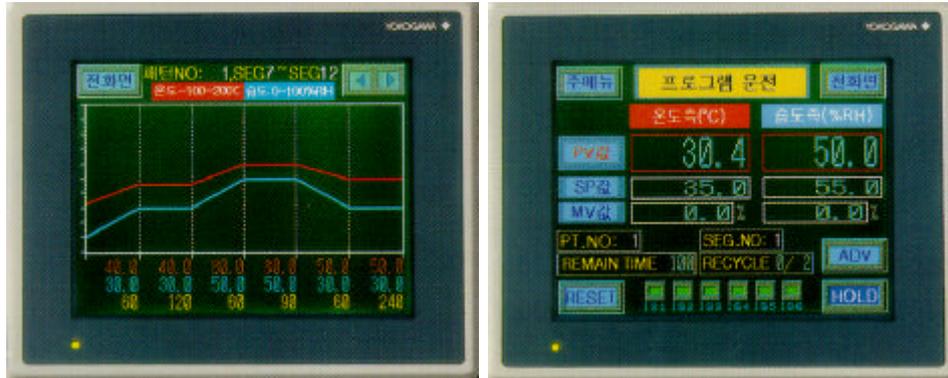


그림 10. PID 제어기의 회로 구성



(a)

(b)

## 11. PID

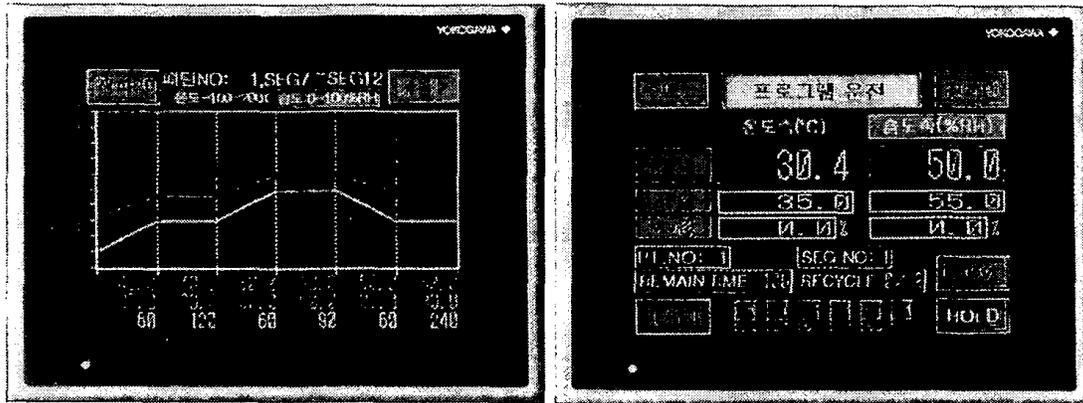
나. 활착속진장치 내의 기류속도, 기온 및 상대습도 분포

### 1) 기류속도 분포

활착속진장치 내의 기류속도를 일정한 크기로 유지하고자 가변전압 가변주파수 (variable voltage variable frequency, VVVF) 방식의 인버터를 사용하여 송풍기의 회전속도를 제어하였다.

인버터는 사용 전원으로로부터 공급된 전력의 주파수와 전압을 변환시켜 전동기의 회전속도를 제어할 수 있는 정지식 전동기 속도제어 장치로서, 제어 요소에 따라 크게 전압형과 전류형으로 구분되나 최근 들어 전압형이 상용화되어 있다. 상용전원이 인버터에 들어오면 다이오우드 또는 싸이리스터 정류기로 이루어진 변환기에 의해 교류전압을 직류전압으로 변환시킨다. 이 때 변환된 직류전압의 맥동(ripple)을 없애기 위해 전해콘덴서가 사용된다. 이렇게 변환된 직류전압은 인버터에 의해 短形波 교류전압으로 변환되고, 주파수 설정 명령에 따라 임의의 주파수를 갖는 正弦波 전압으로 출력된다.

일반적으로 유도전동기 회전자의 회전속도는 다음과 같이 표시된다.



(a) 입력설정 확인

(b) 프로그램 운전

그림 11. PID 제어기의 주요 화면

나. 활착축진장치 내의 기류속도, 기온 및 상대습도 분포

1) 기류속도 분포

활착축진장치 내의 기류속도를 일정한 크기로 유지하고자 가변전압 가변주파수 (variable voltage variable frequency, VVVF) 방식의 인버터를 사용하여 송풍기의 회전속도를 제어하였다.

인버터는 사용 전원에서부터 공급된 전력의 주파수와 전압을 변환시켜 전동기의 회전속도를 제어할 수 있는 정지식 전동기 속도제어 장치로서, 제어 요소에 따라 크게 전압형과 전류형으로 구분되나 최근 들어 전압형이 상용화되어 있다. 상용전원이 인버터에 들어오면 다이오우드 또는 싸이리스터 정류기로 이루어진 변환기에 의해 교류전압을 직류전압으로 변환시킨다. 이 때 변환된 직류전압의 맥동(ripple)을 없애기 위해 전해콘덴서가 사용된다. 이렇게 변환된 직류전압은 인버터에 의해 短形波 교류전압으로 변환되고, 주파수 설정 명령에 따라 임의의 주파수를 갖는 正弦波 전압으로 출력된다.

일반적으로 유도전동기 회전자의 회전속도는 다음과 같이 표시된다.

$$N = \frac{120 f (1-S)}{P} \quad (10)$$

N: 전동기 회전자의 회전속도(rpm)

f: 주파수(Hz)

S: 슬립(%)

P: 고정자의 극수

식(10)에서 전동기 회전자의 회전속도는 주파수에 비례함을 알 수 있다. 따라서, 주파수를 제어하면 광범위한 범위에 걸쳐 전동기의 원활한 속도제어가 가능하다. 그런데 전동기의 회전력은 공극자속(空隙磁束)과 전류의 곱에 비례한다. 공극자속은 전압과 주파수에 대한 전압의 비에 비례하기 때문에 주파수만 제어하게 되면 효율적인 회전력을 발생시킬 수 없다. 본 연구에서는 주파수와 전압을 동시에 비례적으로 제어함으로써 원활한 속도제어가 가능하도록 가변전압 가변주파수 방식의 인버터가 요구된다. 본 연구에서는 가변전압 가변주파수 방식의 인버터를 사용하여 4~20mA의 입력전류로서 송풍기의 회전속도를 제어하였다.

송풍기의 회전속도를 제어하는 데 요구되는 4~20mA의 전류는 인버터에 연결된 PID 제어기의 프로그램 설정 화면을 통하여 입력된다. 입력전류의 최저치에 해당되는 4mA로 설정한 경우 송풍기의 작동이 이루어지지 않았다. 이것은 4mA에서 이루어진 출력이 송풍기 구동용 최저출력보다 부족하였기 때문이다. 이후 입력전류의 최대치인 20mA까지 1mA씩 증가시키면서 송풍기의 회전속도를 제어하고, 활착촉진장치 내의 좌우 벽면 근처 및 중앙의 3개 부위와 각 부위의 수직방향으로 3점(활착촉진장치의 바닥으로부터 각각 0.4m, 1.1m, 1.8m에 해당되는 높이), 즉 전부 9개 지점에서 기류속도를 측정하였다.

입력전류를 최대치로 설정하여도 활착촉진장치 내의 기류속도가  $1.0m \cdot s^{-1}$  이하의 저속을 나타내므로 본 연구에서는 표 5에 표시한 저속 정밀 측정용 풍속계

(CLIMOMASTER 6521, KANOMAX)를 사용하여 기류속도를 측정하였다.

표 5. 저속 정밀 측정용 풍속계의 특성

Item	Specifications
Air current speed	0.05~0.99m/s ± 0.02m/s 1.00~2.00m/s ± 0.05m/s
Air temperature	-10.0~60.0℃ ± 0.5℃
Relative humidity	3.0~79.9% ± 2% 80.0~98.0% ± 3%
Probe dimension	φ2.5 (velocity sensor grip) φ11(grip part φ20) x 190
Analog output	0~1VDC, linear
Digital output	RS-232C, Baud rate 4800

그림 12는 활착축진장치의 바닥으로부터 각각 0.4m, 1.1m, 1.8m의 높이에서의 평균 기류속도를 나타낸 것이다. 1개 지점에서의 기류속도는 30초 동안 측정된 값의 평균치에 해당된다. 입력전류가 증가할수록 활착축진장치 내의 기류속도가 거의 직선적으로 증가하여 인버터에 의한 송풍기의 회전속도 제어가 효과적으로 이루어짐을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 인버터에 의한 송풍기의 회전속도 제어에 의해서 활착축진장치 내의 기류속도가 균일하게 유지될 수 있음을 의미하는 것이다. 높이별 기류속도를 살펴보면 입력전류가 10mA 이하에서는 높이에 따른 기류속도의 차이가 거의 없었으나, 10mA 이상에서는 활착축진장치의 바닥면을 향할수록 기류속도가 높게 나타났다. 또한, 1.1m 에서의 기류속도는 높이별 기류속도의 평균치와 거의 유사하게 나타났다. 이밖에  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 낮은 기류속도를 나타내는 데 필요한 입력전류는 8~9mA로 나타났다.

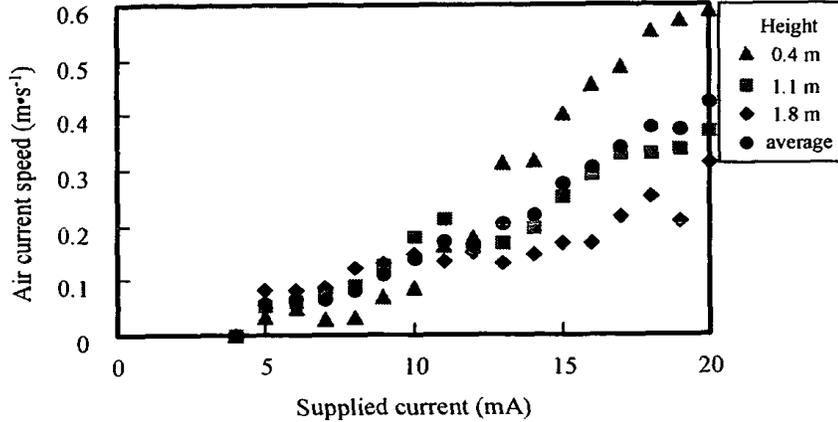


그림 12. 활착촉진장치 내의 기류속도 분포

## 2) 기온 제어

대형의 활착촉진장치 내에서 측정 위치에 따른 기온 또는 상대습도의 편차가 기류속도의 크기에 따라 다르게 나타날 수 있다. 본 연구에서는 앞 부분에서 제시한 기류속도 제어 방법에 기초하여 기류속도의 크기가 활착촉진장치 내의 기온 분포에 미치는 영향을 살펴보았다.

활착촉진장치 내에서 기온의 측정 높이는 기류속도의 측정 높이(활착촉진장치의 바닥으로부터 각각 0.4m, 1.1m, 1.8m에 해당되는 높이)와 동일하나, 기온측정용 센서는 활착촉진장치 내의 4벽면 근처 및 중앙의 5개 부위에 설치하였다. 그러므로 기온측정용 센서는 전부 15개 지점에 설치되었다. 기온측정용 센서로서 직경 0.3mm의 copper-constan 열전대를 사용하였으며, 데이터로거(23X, Campbell Scientific Inc.)를 사용하여 10분 간격으로 측정하였다.

그림 13은 활착촉진장치 내의 상대습도를 65%로 유지시킨 가운데 인버터의 입력전류를 4mA로부터 20mA에 이르기까지 4mA 간격으로 입력전류를 증가시켜가면서 측정한 활착촉진장치 내의 기온 분포를 나타낸 것이다. 이 때 활착촉진장치 내의 기온은 명기와 암기에 따라 각각 25℃, 20℃로 설정하였다. 그림에 표시된 기온은 활착촉진장

치의 바닥면으로부터 0.4m, 1.1m, 1.8m 떨어진 높이의 서로 다른 위치에서 측정된 5개 지점에서의 기온 평균치에 해당된다.

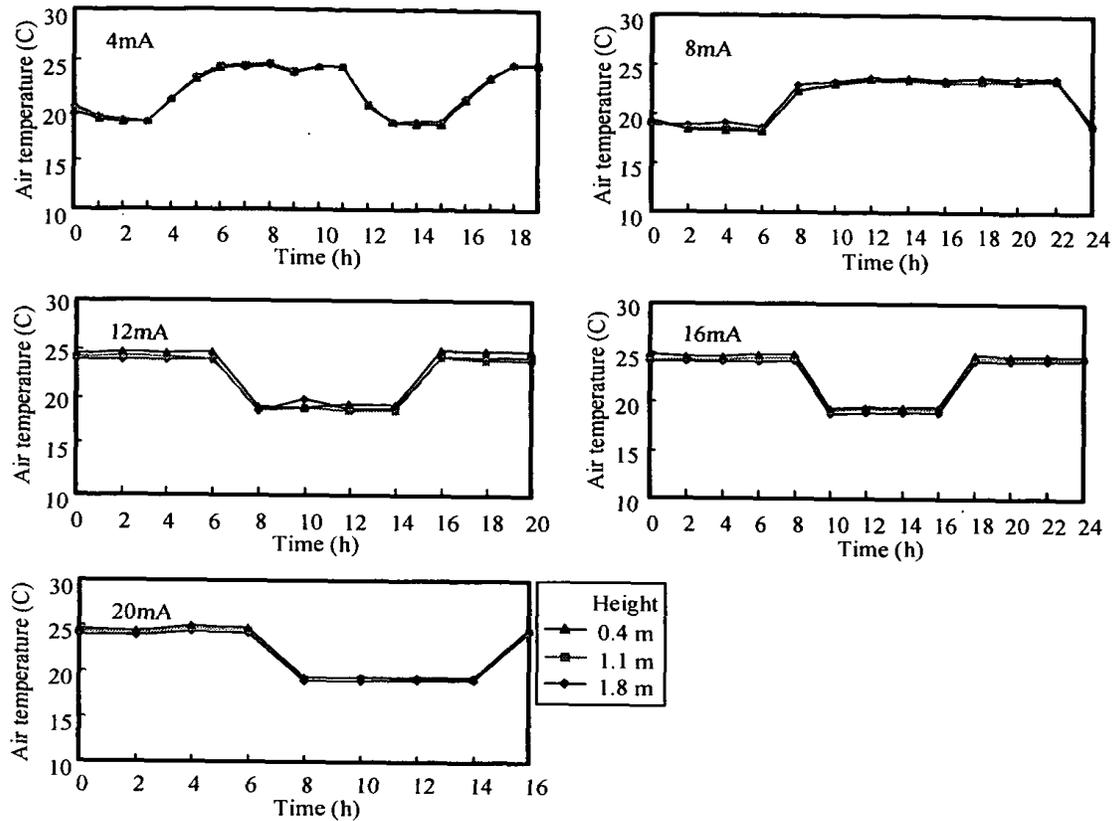


그림 13. 인버터의 입력전류에 따른 활착촉진장치 내의 기온 변화

표 6은 입력전류에 따라 명기와 암기에서의 기온의 측정 결과를 정리한 것이다. 입력전류가 4mA, 즉 송풍기가 구동되지 않는 조건에서 활착촉진장치 내의 기류 이동은 오직 자연대류에 의해서만 이루어지므로 명기의 경우에 기온의 측정치가 설정치에 비해서 0.4~3.9°C 정도 낮게 나타났을 뿐만 아니라 시간에 따른 기온의 변화가 크게 나타났다. 그러나 8mA 이상의 입력전류에서 기온의 측정치는 설정치에 근사하게 나타났으며, 입력전류가 증가할수록 기온의 편차는 더욱 감소하는 것으로 나타났다. 한편,

암기의 측정치는 입력전류의 크기에 따른 영향을 명기에 비해서 적게 받는 가운데 거의 균일하게 나타났다.

표 6. 입력전류에 따른 활착촉진장치 내의 기온

Input current (mA)	Mean & standard deviation of air temperatures		Average air current speed ( $m \cdot s^{-1}$ )
	Photoperiod	Dark period	
4	$23.6^{\circ}C \pm 0.7^{\circ}C$	$19.2^{\circ}C \pm 0.4^{\circ}C$	0
8	$24.4^{\circ}C \pm 0.7^{\circ}C$	$19.2^{\circ}C \pm 0.5^{\circ}C$	0.08
12	$24.3^{\circ}C \pm 0.7^{\circ}C$	$19.0^{\circ}C \pm 0.9^{\circ}C$	0.16
16	$24.4^{\circ}C \pm 0.4^{\circ}C$	$19.1^{\circ}C \pm 0.5^{\circ}C$	0.30
20	$24.5^{\circ}C \pm 0.4^{\circ}C$	$19.2^{\circ}C \pm 0.5^{\circ}C$	0.42

### 3) 상대습도 제어

온도제어에서 살펴본 바와 같은 방법으로 입력전류의 크기가 활착촉진장치 내의 상대습도 분포에 미치는 영향을 검토하였다.

접목 초기에는 대목과 접수의 통도조직이 연결되지 않으므로 대목의 근부에서 흡수된 양분 또는 수분이 접수까지 효과적으로 전달되지 않는다. 이로 인하여 접수가 쉽게 시들게 되는 데, 접목묘의 활착을 촉진시키려면 접목후 활착이 이루어지기까지 접수의 증발산속도를 억제하기 위해서 90~95% 정도의 높은 상대습도를 유지하는 것이 필요하다. 그런데 기존의 상대습도 측정용 센서를 사용하면 90% 이하의 상대습도 범위에서는 비교적 정확성을 유지하나, 90% 이상의 고습도 환경하에서는 정확성이 급격하게 저하되거나 재현성이 저하되는 문제점이 나타난다. 더구나 상대습도를 제어할 때 공간 내의 상대습도 편차를 해결하기 위한 방법을 고려하지 않아 측정위치에 따라 상대습도 편차가 크게 나타날 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 90% 이상의 고습도 환경하에서도 정확성과 재현성을 비교적 높게 유지하면서 직선성이 매우 우수한 상대습도 측정용 센서(CHS-UPS, TDK)를

확보하여 활착촉진장치 내의 상대습도를 측정하였다. 본 연구에서 사용된 습도센서는 조직배양기내에서와 같이 고습도를 유지하는 조건에서 정확한 상대습도 계측을 목적으로 개발된 것이다. 표 7과 그림 14는 각각 습도센서의 특성과 외형을 나타낸 것이다.

표 7. 상대습도 센서의 특성

Item	Specifications
Measuring range	5~95% ± 3%
Rated input voltage	5 VDC
Output voltage	10 mV/%RH
Output impedance	200 Ω
Response time	1 min.

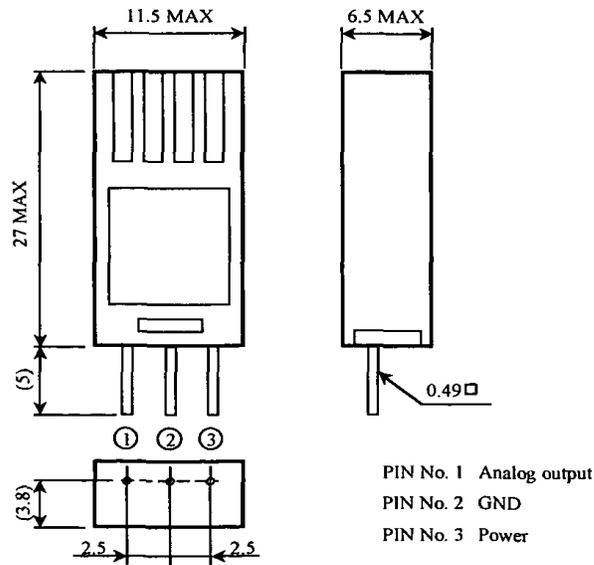


그림 14. 고분자박식 습도센서의 외형 및 치수 [unit; mm]

기지의 상대습도와 습도센서로부터의 출력과의 회귀식을 결정하기 위해서 본 연구에서는 시약을 증류수에 과포화 상태로 용해시켜 75%, 95%의 상대습도 환경을 조성하였다. 이때 주의할 사항은 유리병의 입구를 가능한한 완전하게 밀봉하는 것이다. 본 연구에서는 유리병 입구 직경에 적합한 고무마개를 제작하여 끼운 후 파라핀(parafilm)으로 밀봉 처리하였다.

- 75%의 상대습도 조성 : 용량 1ℓ의 유리병에 NaCl과 증류수를 무게비로 하여 1:1의 비율로 넣은 후 과포화 용해시킨다.
- 95%의 상대습도 조성 : 용량 1ℓ의 유리병에 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 증류수를 무게비로 하여 1:1의 비율로 넣은 후 과포화 용해시킨다.

상기의 방법으로 75%, 95%의 상대습도 환경을 조성한 후 습도 센서로부터의 출력을 측정하여 상대습도 환산한 결과 그림 15와 같이 10~20분 사이에 목표치에 도달하는 것으로 나타났다.

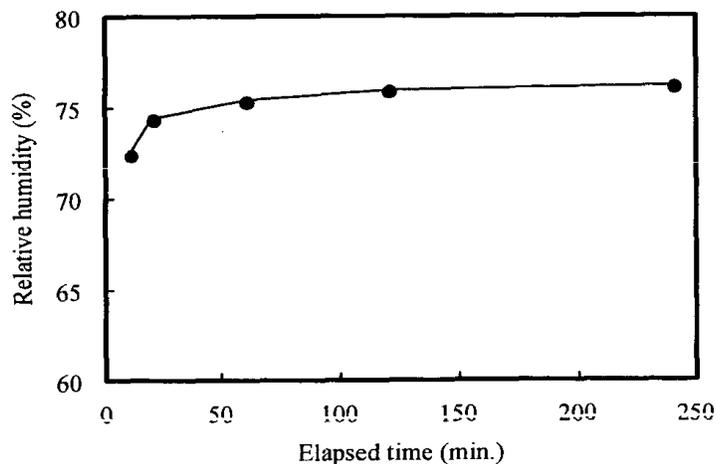


그림 15. 포화염 용액 내에서 측정된 상대습도의 경시적 변화

그림 16은 상대습도 계측에 사용된 센서를 대상으로 센서로부터의 출력과 실제 상대습도와의 회귀관계를 나타낸 것이다. 그림으로부터 센서의 출력과 상대습도 사이에

직선성이 매우 높음을 알 수 있다.

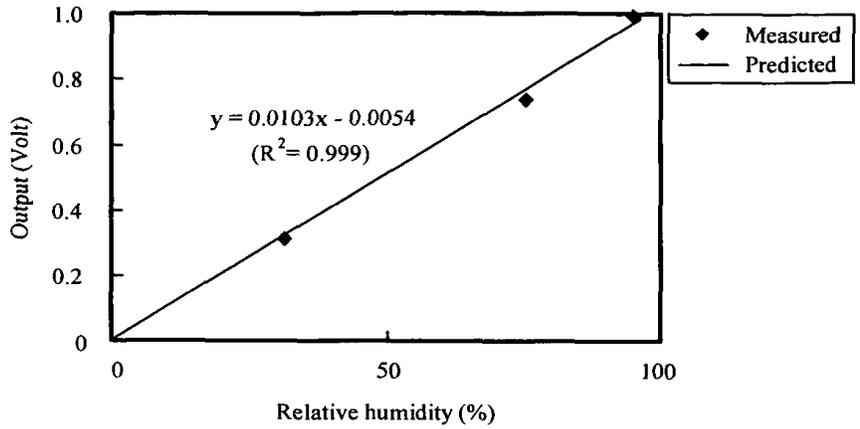


그림 16. 습도 센서의 출력과 상대습도의 회귀 관계

기지의 상대습도하에서 센서로부터의 출력에 대한 calibration이 완료된 습도센서 4개를 활착측진장치 내에 설치한 후 기류속도가 상대습도 분포에 미치는 영향을 검토하였다. 습도센서는 활착측진장치 내의 중앙부에서 수직방향으로 3점, 즉 바닥면으로부터 0.4m, 1.1m, 1.8m 떨어진 지점에 설치하였다. 0~1VDC에 해당하는 센서로부터의 출력은 데이터로거(23X, Campbell Scientific Inc.)에 의해서 10분 간격으로 저장된다.

그림 17은 활착측진장치 내의 기온과 상대습도의 설정치가 각각 28℃, 65%이고, 명기와 암기가 각각 16시간, 8시간이며 인버터의 입력전류가 4mA와 12mA 일 때 측정 높이에 따른 상대습도 분포를 나타낸 것이다. 입력전류가 4mA로서 송풍기가 작동하지 않을 때 1.8m 높이에서 상대습도는 65% 정도를 유지하나, 0.4m와 1.1m 높이에서는 설정치보다 약 5~7% 정도 높게 나타났다. 입력전류가 12mA로서 활착측진장치 내의 평균 기류속도가 0.16m·s<sup>-1</sup>일 때 1.1m와 1.8m 높이에서 상대습도는 66~67% 정도를 유지하였으며, 0.4m 높이에서는 1.1m와 1.8m 높이에 비해서 상대습도가 3~4% 정도 높게 나타나 높이에 따른 상대습도의 편차가 감소함을 알 수 있다.

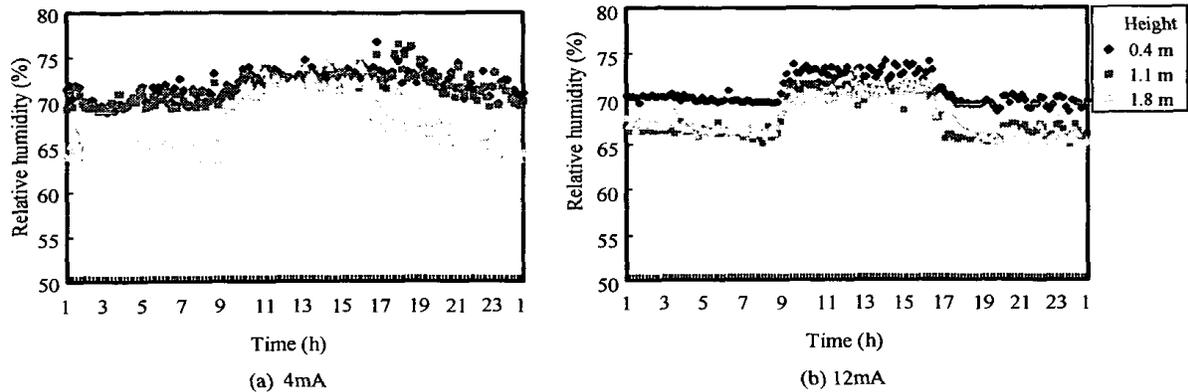


그림 17. 인버터의 입력전류에 따른 활착축진장치 내의 상대습도 변화

전체적으로 12mA의 입력전류에서 명기 또는 암기에 모두 일정한 상대습도가 나타났다. 그러므로 일정한 상대습도의 유지를 위해서 어느 정도의 기류속도가 요구됨을 알 수 있다. 한편, 암기에는 높이에 따른 상대습도의 편차가 명기에 비해서 크게 감소하였다. 이러한 결과는 암기에 인공광원으로 사용된 형광등으로부터의 발열이 전무하였기 때문인 것으로 판단된다.

### 3. 활착축진장치 시작품 II형의 설계 및 성능

#### 가. 활착축진장치의 기류처리 장치 보완

1) 활착축진장치 내에서 기온, 상대습도 분포의 개선을 위한 기류처리용 다공판의 설계

접목묘 활착축진장치 I형의 공기조화부는 가열기(heater), 가습기(humidifier), 공기압축기(copmressor), 송풍기(fan) 등으로 구성된다. 그림 18에서 볼 수 있는 바와 같이 I형 활착축진장치에서 가열기, 가습기 및 송풍기가 활착실 내에 설치되어 있으므로, 공기는 활착실의 천정 또는 벽면을 따라 커다란 난류를 이루며 순환된다. 이로 인하여 활착실 내의 공기가 충분히 혼합되어 활착실 내의 기온과 상대습도가 균일한 분포를 갖게 된다. 그런데 활착축진장치가 대형으로서 천정이 높게 되거나, 활착축진장치

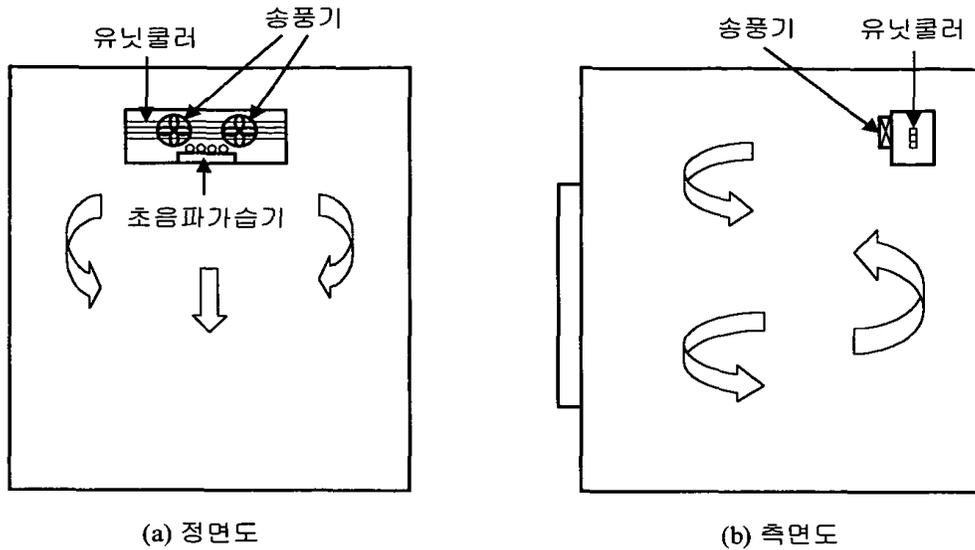


그림 18. 활착축진장치 I형에서 공기의 순환 모형

내의 체적에 비해서 송풍기로부터 공급되는 송풍량이 작을 경우 공기의 혼합이 충분하지 못하여 수직방향으로 온도 또는 상대습도의 불균일한 분포가 나타날 수 있다.

그러므로 활착축진장치 I형에서 나타날 수 있는 기온 또는 상대습도의 불균일한 분포를 해결하고자 그림 19와 같이 활착축진장치의 좌우 벽면과 천장 사이에 공기가 통과할 수 있는 덕트가 설치된 활착축진장치 II형을 제작하였다. 또한 활착실 내에서 기온 또는 상대습도의 균일한 분포를 얻기 위해서 활착실의 좌우 벽면에 2,440mm x 520mm 크기의 다공철판(perforated plate)을 설치하였다. 각 벽면에서의 다공철판은 전부 4장으로 구성되며, 각각의 다공철판에는 직경 10mm의 구멍을 450~750개씩 설치하였다. 따라서 다공철판 면적에 대하여 구멍이 차지하는 면적비, 즉 유공면적비는 각각 9.3%, 13.7%, 16.1% 및 38.2%로 나타났다. 한편, 가열기와 송풍기는 좌측 상부 덕트에 설치하였고, 가습기는 우측 상부 덕트에 설치하였다.

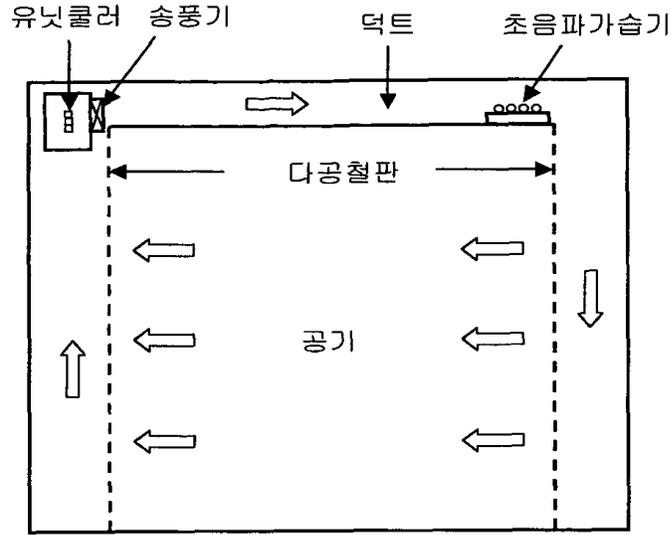


그림 19. 활착축진장치 II형에서 공기의 순환 모형

2) 다공철판의 유공면적비 및 배열에 따른 활착축진장치 내의 기류속도 분포

다공철판의 유공면적비와 기류의 입구측과 출구 측에서 다공철판의 배열 방법이 활착축진장치 내의 기류속도 분포에 미치는 효과를 검토하고자 표 8과 같이 실험 조건을 설정하였다.

조건 A는 입구측과 출구측에 유공면적비가 동일한 다공철판을 배열하였다. 조건 B는 입구측에 상부로부터 유공면적비가 큰 순서로 다공철판을 배열하였고, 반대로 출구측에 상부로부터 유공면적비가 작은 순서로 다공철판을 배열하였다. 이와 같은 조건이 유지될 경우 입구측의 상부와 출구측의 하부에서 공기 저항이 작게 나타난다. 그러므로 기류가 입구 상부로부터 출구 하부 방향으로 형성되어 활착실 내에서 공기의 혼합이 상하 방향으로 충분하게 이루어질 수 있다. 조건 C는 조건 B와 정반대인 경우로서 입구측의 하부로부터 출구측의 상부로 기류가 형성된다. 한편, 조건 D는 입구측과 출구측의 상부로부터 유공면적비가 큰 순서로 다공철판을 배열하였다. 조건 B, C, D에서 평균 유공면적비는 19.3%로서 조건 A의 경우와 유사하다

표 8. 유공철판의 배열 방법에 따른 조건

조건	배열 방법
A	유공면적비가 동일하게 20.7%인 다공철판을 입구측과 출구측에 배열
B	입구측 : 상부로부터 유공면적비가 점감하는 38.2%, 16.1%, 13.7%, 9.3% 순서로 배열 출구측 : 상부로부터 유공면적비가 점증하는 9.3%, 13.7%, 16.1%, 38.2% 순서로 배열
C	입구측 : 상부로부터 유공면적비가 점증하는 9.3%, 13.7%, 16.1%, 38.2% 순서로 배열 출구측 : 상부로부터 유공면적비가 점감하는 38.2%, 16.1%, 13.7%, 9.3% 순서로 배열
D	입구측 : 상부로부터 유공면적비가 점감하는 38.2%, 16.1%, 13.7%, 9.3% 순서로 배열 출구측 : 입구측과 동일한 배열

상기 조건에 따른 활착실 내의 기류속도 분포를 검토하고자 저속 정밀 측정용 풍속계(CLIMOMASTER 6521, KANOMAX)를 사용하여 활착실 내의 기류속도를 측정하였다. 측정 위치는 활착실 내 입구, 중앙, 출구측의 각각 상부, 중간, 하부에 해당되는 곳으로서 모두 9개 위치에서 측정하였다. 기류속도를 측정할 때 인버터(SV008iG-2, LG)를 사용하여 송풍기의 회전속도를 조절하였다. 이 때 인버터로 공급되는 주파수의 범위는 0~60Hz로서 10Hz 간격으로 조절하였다.

그림 20~23은 실험 조건 A, B, C, D에서 활착실 내의 기류속도 분포를 나타낸 것이다. 실험 조건 A의 경우 전체적으로 인버터로 공급되는 주파수의 증가에 따라 활착실 내의 기류속도가 증가하는 것으로 나타났다. 또한 조건 A에서 활착실 내의 위치에 따른 기류속도는 하부, 중앙, 상부의 순서로 높게 나타났다(그림 20). 이것은 그림 2의 II형 활착축진장치에서 볼 수 있는 바와 같이 활착실의 입구 측에서 덕트가 직각을 이루므로 다공철판을 통한 기류가 균일하게 유입되지 않고, 상대적으로 정압이 높은 기류가 하부를 통해서 많이 유입되었기 때문인 것으로 판단된다. 한편 인버터로 공급

되는 주파수가 증가할수록, 즉 기류속도가 커질수록 활착실 내 상부와 하부에서 기류 속도의 차는 더욱 크게 나타났다.

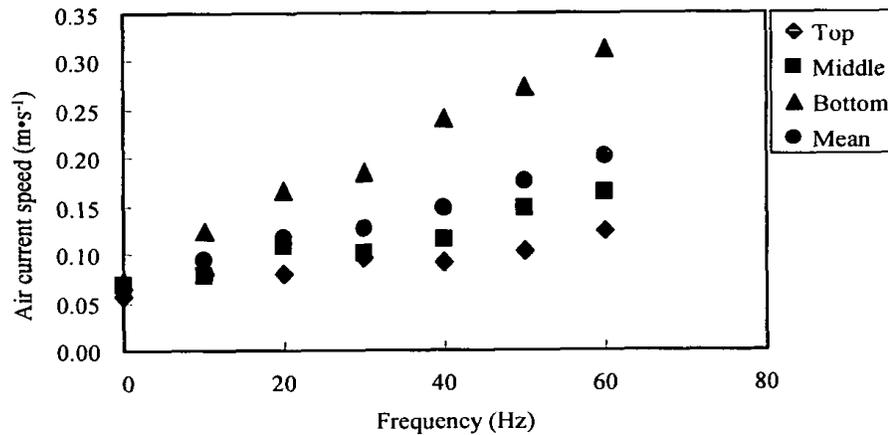


그림 20. 인버터의 주파수와 활착촉진장치 내의 기류속도와의 관계 (실험 조건 A)

실험 조건 B의 경우 인버터로 공급되는 주파수가 20Hz 이하에서는 활착실 내 중앙과 하부에서의 기류속도가 상부에 비해서 다소 높게 나타났고, 30Hz 이상에서는 상부와 중앙에서의 기류속도가 하부에 비해서 다소 높게 나타났다(그림 21). 그러나 활착실 내의 위치에 따른 기류속도의 차이가 작게 나타나면서, 실험 조건 A에 비해서 기류속도가 균일하게 나타났다. 결국 기류의 입구 측에서는 상부로부터 유공면적이 큰 다공철판을 배열하고, 출구 측에서는 하부로부터 유공면적이 큰 다공철판을 배열할 때 활착실 내 기류속도의 균일성이 상당히 개선되는 것으로 나타났다.

그림 22는 실험 조건 C에 해당되는 결과이다. 인버터로 공급되는 주파수가 30Hz 이하에서는 활착실 내 하부에서의 기류속도가 상부 또는 중앙에 비해서 높게 나타났고, 40Hz 이상에서는 중앙에서의 기류속도가 상부 또는 하부에 비해서 높게 나타났다. 전체적으로 실험 조건 A에 비해서 활착실 내의 기류속도가 균일하게 나타났으나, 상부에서의 기류속도가 중앙 또는 하부에 비해서 작게 나타나는 단점을 지니고 있다.

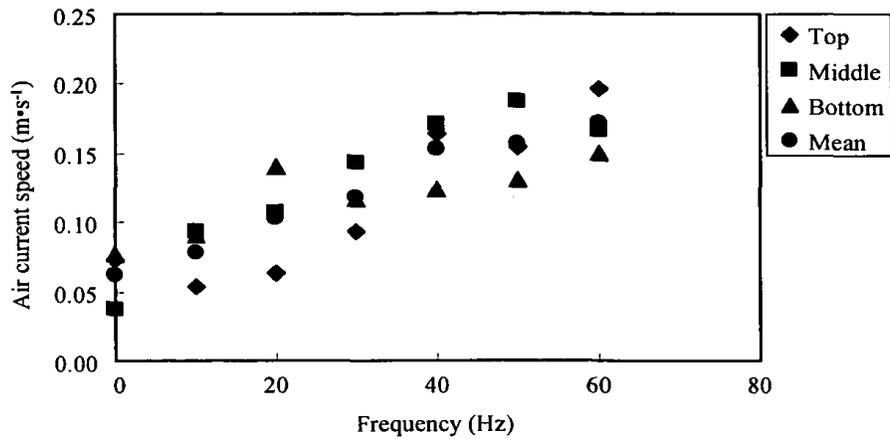


그림 21. 인버터의 주파수와 활착촉진장치 내의 기류속도와의 관계 (실험 조건 B)

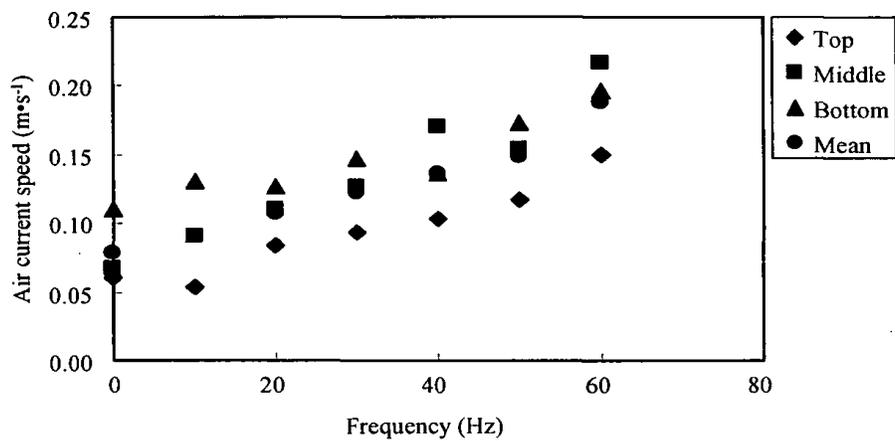


그림 22. 인버터의 주파수와 활착촉진장치 내의 기류속도와의 관계 (실험 조건 C)

그림 23은 실험 조건 D, 즉 입구 측과 출구 측의 상부로부터 유공면적이 큰 다공철판을 배열한 경우에 해당하는 기류속도 분포이다. 인버터의 주파수가 증가함에 따라 기류속도가 증가하는 경향을 나타내나, 위치에 따른 기류속도 분포가 불균일하게 나타났다. 또한 인버터의 주파수가 증가할수록 상부와 하부에서의 기류속도 차이가 크게 나타나, 활착촉진장치 내의 균일한 기류속도 분포를 얻는 데 있어서 조건 D는 부

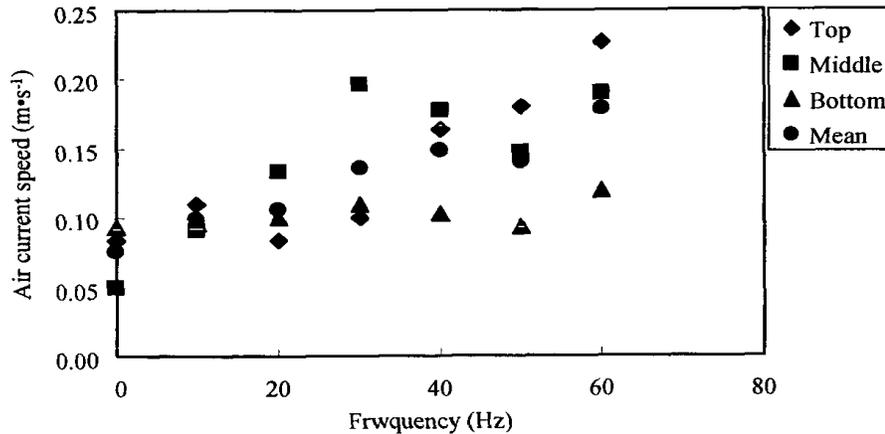


그림 23. 인버터의 주파수와 활착촉진장치 내의 기류속도와와의 관계 (실험 조건 D)

적합한 것으로 나타났다.

상기의 결과를 종합하면 다공철판의 유공면적비가 유사할지라도 배열 방법에 따라 활착촉진장치 내의 기류속도가 다르게 나타남을 알 수 있다. 일반적으로 대형 성장상 (growth chamber)에서 수직방향으로 기온 또는 상대습도의 불균일 분포가 나타나는 데, 이러한 결과는 성장상 내의 기류속도가 불균일하게 나타나기 때문이다. 본 연구의 목표가 되는 인공광형 접목묘의 활착촉진장치의 경우 활착촉진장치 내에서 기류속도가 균일한 분포를 이루어야 수직방향으로 기온 또는 상대습도 차이가 완화되면서 균일한 분포를 얻을 수 있다. 더구나 활착실이 다단(多段) 선반 구조를 이룰 경우 각 단에서 일정한 기류속도가 확보되어야 균일한 상대습도를 얻을 수 있다.

### 3) 기류처리용 다공철판의 유공면적비와 배열 방법에 따른 기온과 상대습도 분포

II형의 활착촉진장치 내에서 기온과 상대습도 분포의 균일성을 확인하고자 활착실 내부에 온습도 센서를 설치하고, 일정 시간 간격으로 온도와 상대습도를 측정하였다. 온도센서로서 직경 0.3mm의 Copper-constantan 열전대를 사용하였으며, 활착실 내의 공기 입구측, 중앙부, 출구측에 바닥으로부터 수직방향으로 0.3m, 0.8m, 1.3m, 1.8m 떨어진 지점에 전부 12점의 온도센서를 설치하였다. 상대습도 센서로서는 유기고분자박막

임피던스 변화 검출 방식의 습도센서(CHS-UPS, TDK)를 활착실 중앙부에 바닥으로부터 수직방향으로 0.3m, 0.8m, 1.3m, 1.8m 떨어진 지점에 전부 4점의 습도센서를 설치하였다. 온습도 센서로부터의 출력은 데이터로거(23X, Campbell Scientific Inc.)에 의해서 10분 간격으로 저장되었다. 활착축진장치 내의 기온과 상대습도를 측정할 때 평균 기류속도가  $0.15\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 를 유지하도록 송풍기의 풍량을 조절하였다.

그림 24(a)와 24(b)는 활착축진장치 내의 기온과 상대습도의 목표치를 각각  $28^{\circ}\text{C}$ , 90%로 설정한 조건에서 측정된 기온과 상대습도 분포를 나타낸 것이다. 공기 입구측, 중앙부, 출구측에서의 기온 분포는 각각  $28 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ,  $28 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ,  $28 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다. 이와 같은 결과는 I형 활착축진장치에서 측정된 기온에 비해서 양호한 것이다. 한편, 활착실의 중앙부에서 측정된 상대습도는 바닥면 부근에서 높게 나타났으며, 천정으로 향할수록 조금씩 감소하였다. 측정된 상대습도는  $90 \pm 0.9\%$ 로 나타났다. I형 활착축진장치 내의 상대습도 목표치를 65%로 설정하였을 때 활착실내의 기류가 정지된 상태에서 1.8m 높이에서의 상대습도가 65%로 나타났으며, 0.4m와 1.1m 높이에서는 설정치보다 약 5~7% 정도 높게 나타났다. 활착축진장치 내의 평균 기류속도가  $0.16\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 일 때 1.1m와 1.8m 높이에서 상대습도는 66~67% 정도를 유지하였으며, 0.4m 높이에서는 1.1m와 1.8m 높이에 비해서 상대습도가 3~4% 정도 높게 나타났다. 그러므로 II형 활착축진장치 내의 기온과 상대습도 분포가 I형에 비해서 상당히 개선된 것으로 나타났다. 활착축진장치 내로 다량의 접목묘가 입고되기 위해서 여러개의 다단 선반이 설치되는 상황을 고려한다면, 상기의 결과로부터 활착축진장치 내에 덕트와 공기조화부를 활착실 외부의 덕트에 설치하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

#### 4. 접목묘 활착용 인공광원의 분광 특성 및 광강도 분석

가. 육묘 및 접목묘의 활착 축진을 위한 근점조명용 인공광원으로서 형광등의 선정  
정식후 식물체의 생육, 수량 및 품질이 묘소질에 따라 다르게 나타나기 때문에 양질의 묘에 대한 관심과 수요가 증대되고 있다. 양질의 묘를 생산하려면 전문적인 육

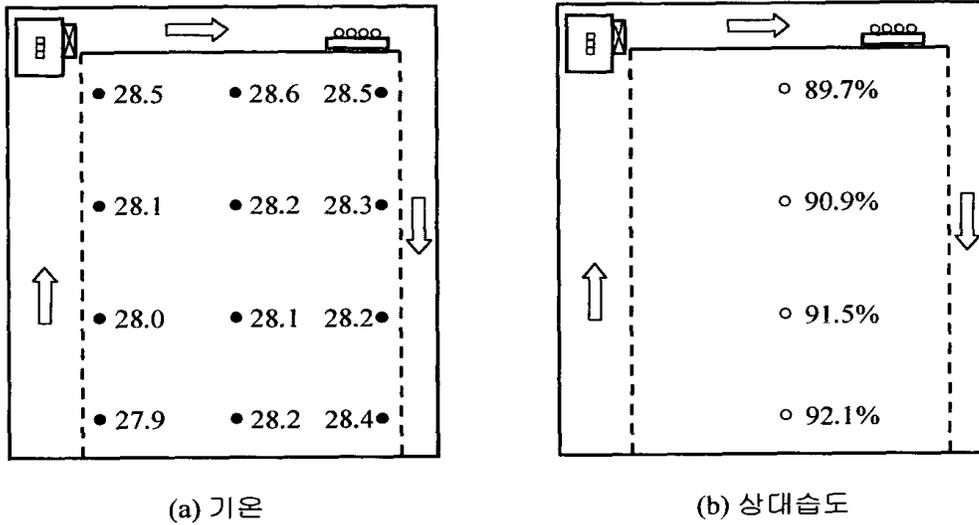


그림 24. II형 활착축진장치에서 기온과 상대습도 분포

묘 관리기술이 요구되므로, 묘생산과 식물체의 재배에 대한 분업화가 진행되는 가운데 고도의 환경제어 시설을 갖춘 식물묘공장(이하 '식물공장'이라 칭함)에서 육묘가 점차 이루어지고 있다. 식물공장은 광원의 종류에 따라 태양광 이용형, 인공광 이용형, 태양광과 인공광의 병용형의 3가지 시스템으로 구분된다. 현재 국내에 보급되어 있는 육묘공장은 태양광 이용형으로서 재배농가의 위탁을 받아 전문적으로 묘를 생산하는 시설로 활용되고 있다. 그런데, 태양광 이용형 육묘공장에서는 기후의 영향을 쉽게 받는 자연광하에서 육묘가 이루어지기 때문에 품질이 균일한 묘의 계획적인 생산이 불가능하다. 이 때문에 인공광과 태양광의 병용 또는 인공광만을 사용한 식물생산의 상업화에 대한 관심이 증대되는 가운데 조직배양묘, 접목묘, 실생묘 등을 인공광하에서 효율적으로 생산하기 위한 식물묘 생산의 실용화 연구가 수행되고 있다.

인공광형 식물공장의 광원으로 고압나트륨등, 메탈할라이드등, 형광등이 주로 사용되고 있다. 이 가운데 고압나트륨등과 메탈할라이드등의 경우 램프효율은 높으나 각각 청색광 또는 적색광이 부족하여 단독으로 사용되지 않고 다른 광원과 병행해서 보

광용으로 사용되므로 식물공장의 근접 조명용 단독 광원으로서 부적합하다. 형광등은 고압나트륨등과 같은 고휘도 방전등에 비해서 광속은 낮으나 광이용효율이 높기 때문에 조직배양묘의 근접 조명용 또는 활착용 광원으로 적합한 특성을 갖고 있다. 이제까지 국내외에서 플러그묘의 대량 생산 또는 접목묘의 활착촉진을 위한 인공광원으로서 형광등을 사용한 예는 매우 드물다. 더구나 국내에 보급되어 있는 형광등에 대해서는 광속 정도만 알려져 있을 뿐 식물생산과 관련된 광강도 및 분광 특성에 대한 보고 또는 근접 조명 설계에 필요한 자료가 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 식물생산과 관련된 광강도 및 분광 특성을 분석하고자 국내에 보급되어 있는 주요 형광등을 선정하였다.

#### 나. 실험용 형광등의 선정

식물공장의 근접조명용 광원으로서 형광등의 광강도 및 분광 특성을 분석하고자 표 9에 제시한 바와 같은 6종류의 형광등을 선정하였다. 표 9에서 FL 계통은 국내의 금호전기(주)에서 생산한 직관형 형광등이다. 이 가운데 FL20SD/18과 FL20SEX-D/18은 각각 일반 조명용 형광등(이하 “일반등”이라 칭함)과 이중3파장형광등(이하 “이중3파장등”이라 칭함)에 해당되며, 광원색으로 주광색을 갖는다. 한편, FL20SPG/18는 식물재배용 형광등(이하 “PG등”이라 칭함)으로 사용되며, FL20S·B와 FL20S·R는 각각 청색과 적색의 단색광을 나타내는 형광등이다. DULUXL55W/21-840은 OSRAM에서 직관형을 브릿지(bridge) 기술로 결합시킨 3파장의 이중형광등(twin fluorescent lamp, 이하 “이중3파장등”이라 칭함)으로서 냉백색의 광원색을 갖는다. 이중3파장등은 휘도가 높으며, 기구내의 배선이 용이한 장점을 지니고 있다.

#### 다. 측정 방법

실험용으로 선정된 광원의 분광 특성을 측정하고자 300~1,100nm의 파장 범위에서 분광 분석이 가능한 분광복사계(LI-COR, LI-1800)를 사용하였다. 이 때 광원으로부터 분광복사계의 센서부까지의 거리는 40cm로 고정하였다.

표 9. 광강도 및 분광분석에 사용된 형광등의 주요 특성

구 분	램프 <sup>1)</sup> 전력 (W)	규 격 <sup>1)</sup>		광속 <sup>1)</sup> (lm)	광원색 <sup>1)</sup>	램프효율 <sup>2)</sup> (lm W <sup>-1</sup> )
		길이 (mm)	직경 (mm)			
FL20SD/18	18	580	28	1,070	주광색	59
FL20SEX-D/18	18	580	28	1,380	주광색	77
FL20SPG/18	18	580	28	420	-	23
FL20S · B	18	580	28	250	청색	14
FL20S · R	18	580	28	700	적색	39
DULUXL55W/21-840	55	533	17.5	4,800	냉백색	87

1) Values are cited from the manufacturer's catalogue.

2) Luminous efficacy is defined as the ratio of luminous flux to lamp wattage.

또한 형광등의 광강도를 분석하고자 광합성유효광량자속(photosynthetic photon flux, PPF), 조도(illuminance), 복사조도(irradiance)를 측정하였으며, 이를 위하여 광량자센서(LI-COR, LI-190SA), 조도센서(LI-COR, LI-210SA), 일사센서(LI-COR, LI-200SA)를 사용하였다. 60cm x 57cm 크기의 사각판에 형광등을 각 4분씩 등간격으로 배열하였고, 근접조명에 필요한 자료를 얻고자 광원으로부터 수직 방향으로 5~50cm 떨어진 지점에서 5cm 간격마다 광강도를 측정하였다. 이 때 사각판의 반사율을 높이고자 한 겹의 알루미늄 호일을 씌웠으며, 외부로부터의 간섭을 차단하기 위해서 암조건에서 실험을 수행하였다. 광강도의 측정 센서가 놓여진 수평판의 크기는 광원이 부착된 사각판과 동일하며, 수평판을 9등분한 지점의 각 중앙에서 광강도를 측정하였다.

#### 라. 형광등의 분광 특성

형광등은 형광체의 선택 또는 조합에 따라 서로 다른 분광에너지 분포를 갖는다. 단색광을 제외한 대부분의 형광등은 400~700nm의 광합성 유효복사 영역에서 분광에너지 분포를 갖기 때문에 고압나트륨등 또는 메탈할라이드등과 달리 열복사의 방출이 적게 된다.

그림 25로부터 일반등은 430nm에서 단위과장당 복사조도가 최고치를 나타내었고, PG등에서는 660nm에서 최고치가 나타났으나 500~600nm에 해당되는 황녹색광이 매우 적음을 알 수 있다. 이것은 녹색광이 적고 적색광이 차지하는 비중이 큰 PG등의 특성 때문에 일반등에 비해서 PG등이 조도는 낮으나 PPF가 높으므로 식물재배용 광원으로 적합함을 암시하는 것이다. 실제로 단위에너지당 방출되는 광량자수는 과장이 길수록 많이 된다.

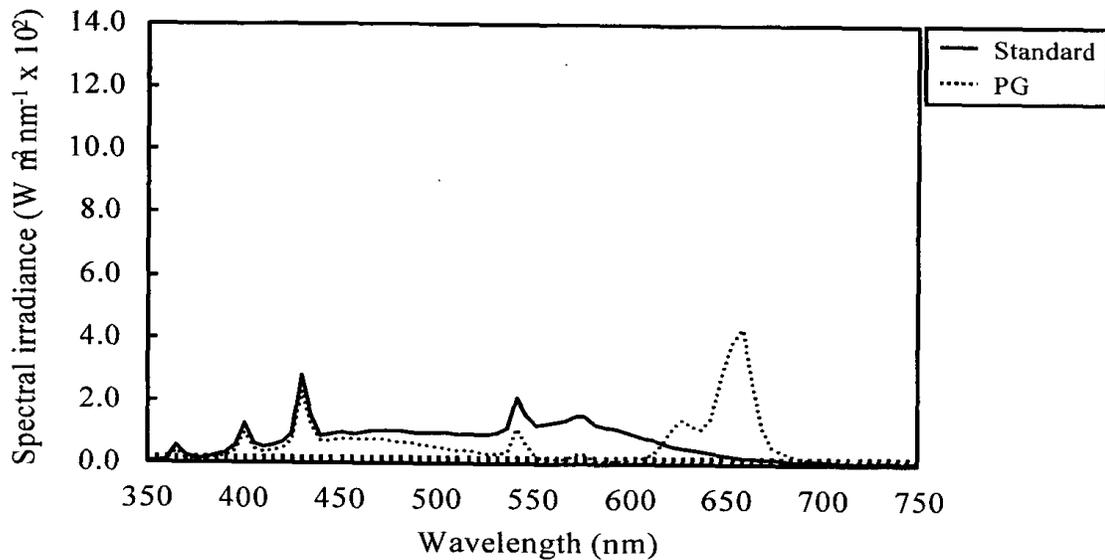


그림 25. 표준형광등과 PG형광등의 분광 특성

그림 26은 일중 및 이중3과장등에 대한 분광 특성으로서 각각 545nm의 녹색광에서 단위과장당 복사조도의 최고치를 나타내었고, 다음으로 610nm, 435nm에서 높게 나타났다. 전체적으로 이중3과장등의 복사조도가 높게 나타난 가운데 특히, 610nm에서 복사조도는 일중3과장등에 비해서 3배 이상 높게 나타났다.

청색과 적색의 단색광 형광등에 대한 분광에너지 분포가 그림 27에 실려 있다. 적색광은 660nm에서 복사조도의 최고치를 나타낸 가운데 비교적 과장 폭이 작은 단색

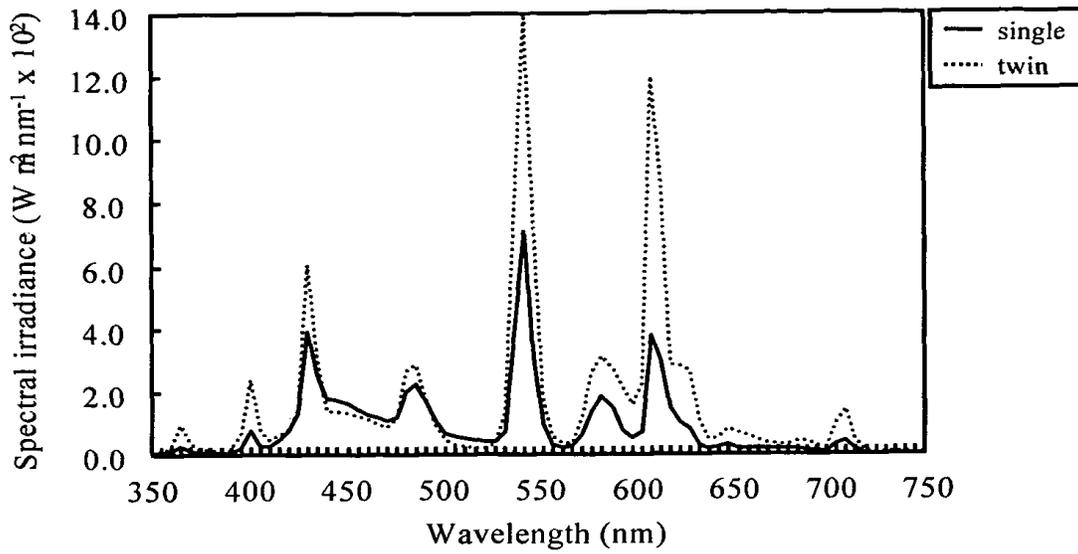


그림 26. 일중 3파장과 이중 3파장 형광등의 분광 특성

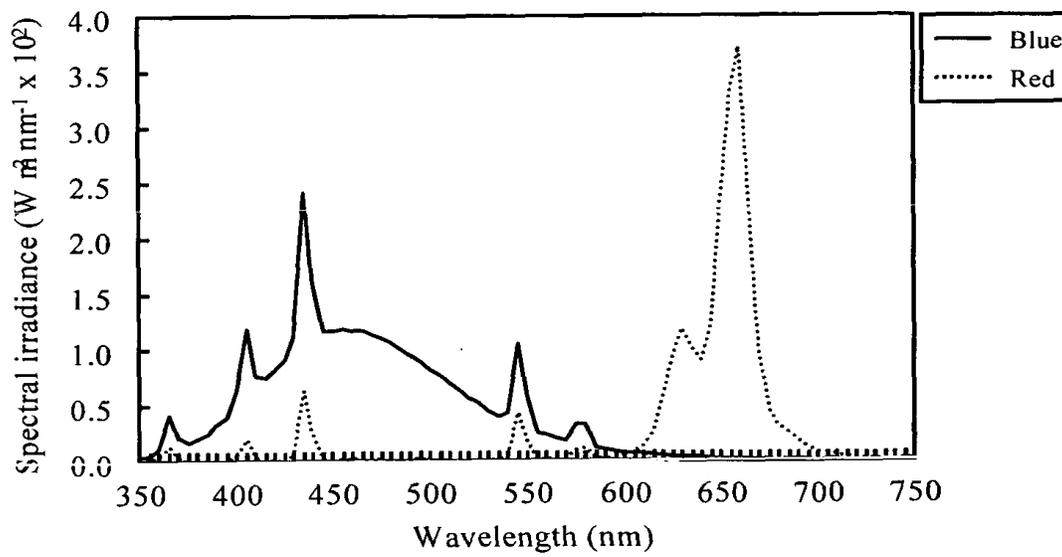


그림 27. 청색과 적색 형광등의 분광 특성

광의 특성을 지니고 있어 적색광의 부가에 유용할 것으로 예상된다. 한편, 청색광은 425nm에서 최고치가 나타났으나, 파장 폭이 상대적으로 크기 때문에 보광용으로 사용하려면 광강도 뿐만 아니라 광질을 고려해야 할 것으로 판단된다.

마. 형광등의 광강도

1) 광합성유효광량자속

광량자속은 단위시간 · 단위면적당 입사된 광량자수를 의미한다. 이 가운데 파장 영역이 400~700nm인 복사, 즉 광합성 유효복사에 해당되는 광량자속을 광합성유효광량자속(이하 “PPF”라 칭함)라 한다. 그림 28은 일반등, PG등, 일중 및 이중3파장등으로부터의 수직거리에 따른 PPF 변화를 나타낸 것이다. 광원으로부터 5cm 떨어진 지점에서의 PPF가 이중3파장, 일중3파장, PG, 일반등의 순서로서 각각  $580\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $265\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $217\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $174\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 나타난 가운데 광원으로부터의 수직거리가 증가함에 따라 PPF는 자연대수의 관계로서 감소하였다. 50cm 떨어진

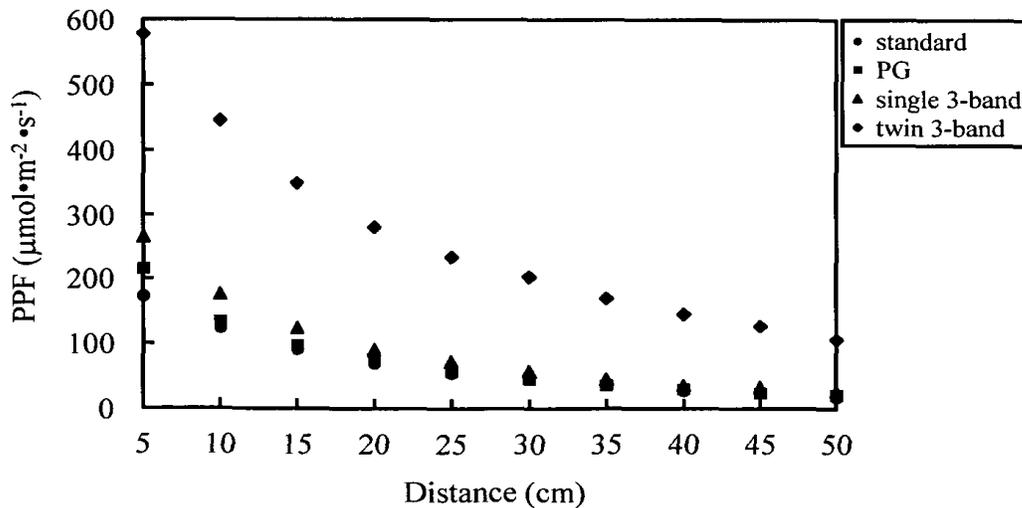


그림 28. 형광등으로부터의 수직거리에 따른 광합성유효광량자속 변화

지점에서의 PPF는 이중3파장등에서  $107\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , 나머지의 경우  $19\sim 28\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 나타났다. 이와 같은 결과는 표 9에 제시한 바와 같이 이중3파장등의 광속이 나머지 형광등의 광속에 비해서 높기 때문인 것으로 판단된다. PG등의 광속은 일반등 또는 이중3파장등에 비해서 30~38%에 불과하나, PPF가 일반 등보다 높고 이중3파장 등보다는 작은 특성을 갖고 있는 것으로 나타났다.

채소류 가운데 호광성을 제외한 상당 부분의 플러그묘를 육묘할 때 배지 표면에서의 적정 PPF는  $250\sim 300\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  이상이 요구된다. 이러한 수준의 PPF는 이중3파장등을 나란하게 4본 배열할 때 광원으로부터 20~25cm 떨어진 지점에서 얻을 수 있는 광강도이므로, 이중3파장등의 사용에 의한 근접 조명이 가능함을 알 수 있다. 한편, 인공광하에서 접목묘의 활착촉진 단계와 종속영양배양(heterotrophic culture)은 물론 광독립영양배양(photoautotrophic culture)으로 증식되는 식물의 조직배양 단계에서 적정 PPF가  $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  이하임을 감안할 때, 일반등, PG등 또는 이중3파장등 가운데 어느 것을 근접 조명용 광원으로 사용할지라도 요구되는 PPF를 얻을 수 있다.

## 2) 조도

조도는 단위면적·단위시간당 입사된 복사에너지를 표준비시감도에 기초하여 평가한 것이다. 종래에는 식물의 광-광합성곡선 또는 광합성의 광포화점을 표시할 때 조도가 널리 사용되었으나, 식물 생육과 관련된 광의 지표로서 사용하기에 부적합하므로 최근에는 조도 대신에 PPF가 널리 사용되고 있다.

그림 29는 본 실험에 사용된 형광등으로부터의 수직거리에 따른 조도 변화를 나타낸 것이다. 광원으로부터 5cm 떨어진 지점에서의 조도가 이중3파장등, 일중3파장등, 일반등, PG등의 순서로서 각각 45,000lx, 20,000lx, 14,000lx, 6,000lx 로 나타났다. PG등에서 조도가 가장 작게 나타난 것은 나머지 형광등과 다르게 PG등에 녹색광이 상대적으로 작게 들어 있기 때문이다. 녹색광의 파장 영역이 500~570nm이고, 비시감도가 555nm에서 최고치를 나타내므로 녹색광이 부족하면 조도는 당연히 감소된다.

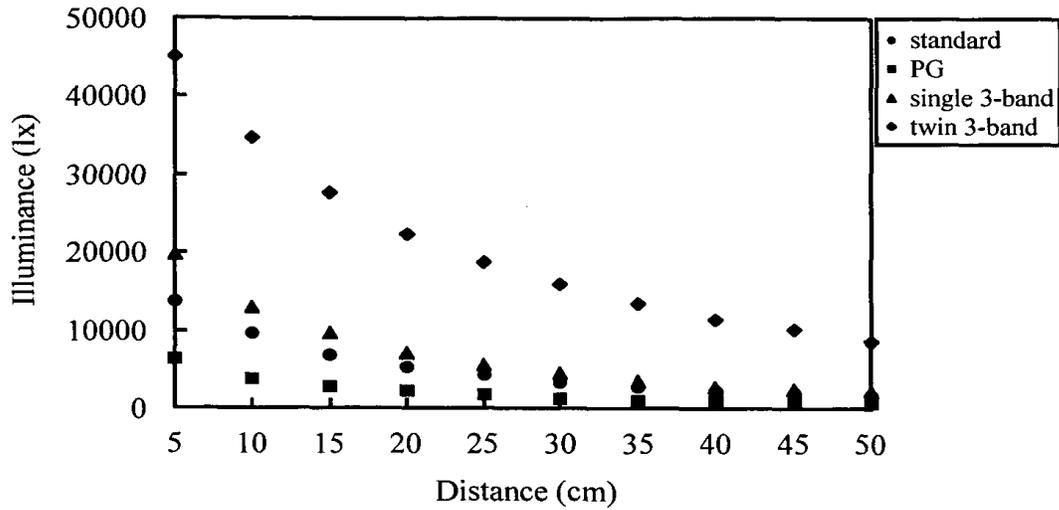


그림 29. 형광등으로부터의 수직거리에 따른 조도 변화

### 3) 복사조도

복사조도는 단위면적 · 단위시간당 입사된 복사에너지를 의미한다. 형광등과 같은 인공광원에서 발생하는 열은 식물공장내의 공조부하에 커다란 영향을 미치게 된다. 그림 30은 형광등으로부터의 수직거리에 따른 복사조도를 나타낸 것이다. 광원으로부터 5cm 떨어진 지점에서 이중3파장등의 조도가  $123\text{W} \cdot \text{m}^2$ 로서 일중3파장등, PG등 및 일반등에 비해서 각각 2.5배, 2.8배, 3.4배 높게 나타났다. 형광등을 점등할 때 입력 전력의 약 10%가 안정기에 의해서 소비되면서 열로 방출되는 것으로 보고되었다. 그러므로 본 실험에 사용된 이중3파장등과 같이 많은 열을 방출하는 형광등에서는 안정기를 식물공장 외부에 설치하여 냉방부하를 작게 하는 것이 바람직하다.

### 4) 광합성유효광량자속, 조도 및 복사조도의 변환 관계

임의의 광속을 갖는 광원에 대해서 측정된 광합성유효광량자속, 조도 및 복사조도 사이에는 비례관계가 성립하므로 상호 변환이 가능하다. 그러므로 광강도 사이의 변환계수가 알려지면 기지의 광강도로부터 또 다른 광강도의 추정이 가능하다. 일반등, PG등, 일중 및 이중3파장등으로부터 수직 방향으로 5~50cm 떨어진 지점에서 5cm 간

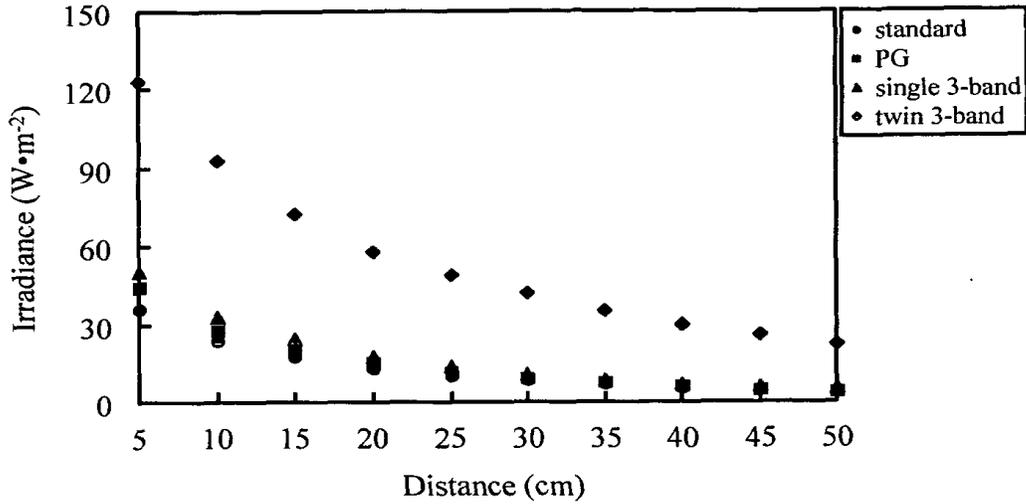


그림 30. 형광등으로부터의 수직거리에 따른 복사조도 변화

격으로 측정된 PPF, 조도 및 복사조도 사이의 상호 변환계수에 대한 평균치가 표 10에 실려 있다. PPF에 대한 조도의 변환계수가 일반등, 일중 및 이중3과장등에서는 76~79lx/μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>이나, PG등에서는 29.7lx/μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>로 낮게 나타났다. 한편, 복사조도에 대한 PPF의 변환계수가 4.85~5.34μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>/W·m<sup>-2</sup>로서 실험에 사용된 형광등 사이에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

표 10. 형광등 종류에 따른 광합성유효광량자속, 조도 및 복사조도의 변환계수

광 원	변 환 계 수	
	lx/μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup>	μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> /W·m <sup>-2</sup>
FL20SD/18	78.2	5.27
FL20SPG/18	29.7	5.09
FL20SEX-D/18	76.2	5.34
DULUXL55W/21-840	79.2	4.85

## 5. 가습 방식에 따른 가습 입자의 평균 입경 측정 및 분석

### 가. 초음파식과 전극봉식(증기식)에 의해서 분사된 가습 입자의 평균 크기 측정

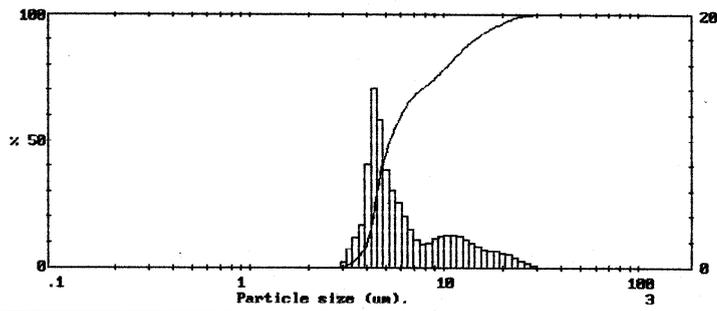
수박, 토마토 등에 널리 적용되는 삽접, 할접, 핀접 등의 접목 방법에서는 접수의 배축이 절단된 상태에서 접목이 이루어진다. 그러므로 상기의 접목 방법이 적용될 때 접수의 위조를 방지하고 접목묘의 활착율을 증대시키려면 접목 초기에 접목묘로부터 증발산이 과도하게 이루어지지 않도록 활착 환경이 조절되어야 한다. 인공광하에서 활착되는 접목묘로부터 증발산을 억제하면서 활착율을 높이려면 활착실 내에서 90% 이상의 높은 상대습도가 유지되어야 한다.

일반적으로 활착실내의 상대습도 조절에 초음파 가습기, 전극봉식(증기식) 가습기, 고압 노즐 등이 사용되고 있다. 가습기 또는 노즐을 통해서 형성된 가습 입자의 크기는 활착실 내의 상대습도 분포에 영향을 미칠 것으로 판단되나, 이제까지 가습기로부터 분출된 가습 입자의 크기에 관한 연구 결과가 보고되지 않고 있다. 그러므로 본 연구에서는 공조용 가습기로 널리 사용되고 있는 초음파 가습기(HU-4200, 오성사)와 전극봉식 가습기(SBU-10, 서울시스템)에 대한 가습 입자의 크기 분포를 분석하였다. 입자분석기로는 농업기계화연구소에서 보유하고 있는 Laser diffraction particle sizer(2600C series, Malvern)를 사용하였다(그림 31). 가습기 토출구로부터 particle sizer의 laser beam에 이르는 거리를 20cm로 고정한 가운데 측정된 초음파식과 전극봉식의 가습 입자 크기 분포에 대한 출력이 그림 32에 실려 있다. 도표에 입자 크기에 따른 크기별 분포와 누적 확률이 표시되어 있음을 알 수 있다. 측정된 입자 분포를 근거로 하여 계산된 입자 크기는  $D[4,3]$ ,  $D[3,2]$ 로 표시되는 데, 이것은 각각 가습 입자의 평균 직경(mean diameter)과 입자의 표면적에 대한 체적의 비율, 즉 Sauter mean diameter를 의미한다. 가습기 토출구로부터 particle sizer의 laser beam에 이르는 거리를 20cm로 고정한 가운데 3반복에 의해서 측정된 입자 크기가 표 11에 실려 있다.

표 11로부터 초음파식과 전극봉식 가습기에서 발생된 가습 입자의 평균 직경은 각각  $7.58 \pm 0.14 \mu\text{m}$ ,  $9.01 \pm 0.06 \mu\text{m}$ 로서 두 방식 모두  $10 \mu\text{m}$  이하의 가습 입자를 발생하였



31. Laser diffraction particle size 가



Upper	in	Lower	Under	Upper	in	Lower	Under	Upper	in	Lower	Under	Span
				36.3	0.0	31.4	100	6.18	10.8	5.33	51.5	1.96
				31.4	0.3	27.1	99.7	5.33	17.6	4.60	33.9	D[4,3]
				27.1	1.0	23.3	98.7	4.60	25.2	3.97	8.8	7.42µm
				23.3	2.0	20.2	96.7	3.97	6.4	3.42	2.4	
118	0.0	102	100	20.2	2.7	17.3	94.0	3.42	2.4	2.95	0.0	D[3,2]
102	0.0	88.2	100	17.3	2.9	15.0	91.2	2.95	0.0	2.55	0.0	5.74µm
88.2	0.0	76.0	100	15.0	4.0	12.9	87.2	2.55	0.0	2.19	0.0	
76.0	0.0	65.6	100	12.9	5.0	11.1	82.2	2.19	0.0	1.90	0.0	D[v,0.9]
65.6	0.0	56.6	100	11.1	5.1	9.63	77.1	1.90	0.0	1.64	0.0	14.29µm
56.6	0.0	48.8	100	9.63	4.6	8.31	72.5	1.64	0.0	1.41	0.0	
48.8	0.0	42.1	100	8.31	3.9	7.16	68.6	1.41	0.0	1.22	0.0	D[v,0.1]
42.1	0.0	36.3	100	7.16	6.3	6.18	62.3	1.22	0.0	0.32	0.0	4.02µm
Source =		:Sample	Beam length = 300.0 mm	Model indep		D[v,0.5]						
Focal length = 63 mm		Log. Diff. = 4.600	Volume Conc. = 0.0000%		5.24µm							
Presentation = lds		Obscuration = 0.0001	Sp.S.A 1.0454 m <sup>2</sup> /cc.		Shape OFF							
		Volume distribution										

Malvern Instruments

32. 가

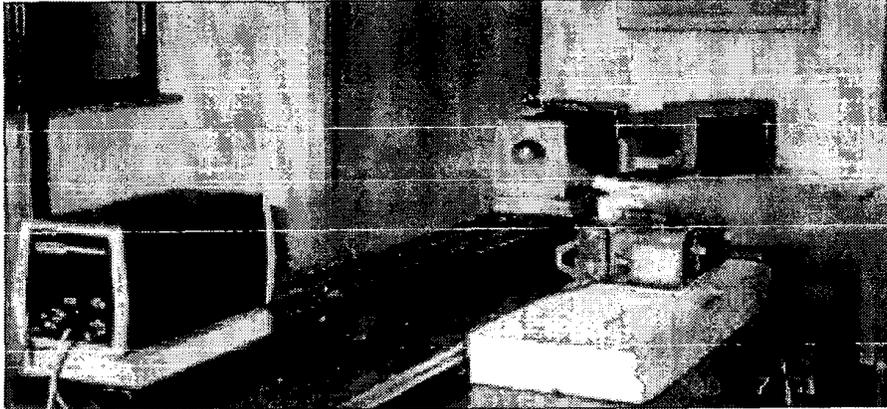
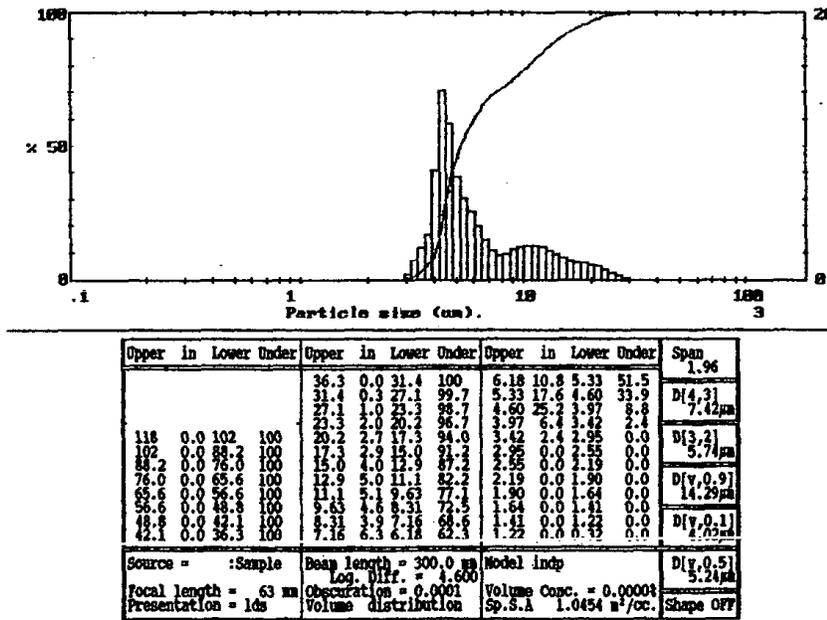


그림 31. Laser diffraction particle sizer를 이용한 가슴입자의 평균 입경 측정



Malvern Instruments

그림 32. 가슴 입자 분포의 출력

으며, 전극봉식에 비해서 초음파 가습기에서 발생된 가습 입자의 평균 입경이 상대적으로 작음을 알 수 있다. 가습기에서 발생한 입자가 클수록 비산 거리가 짧고 부유가 쉽지 않으므로 상대습도의 공간 분포가 불균일하게 나타날 수 있다. 활착촉진장치 내에서 고습도의 균일한 분포가 요구되는 점을 고려할 때 가습 방식으로 초음파식이 효과적인 것으로 판단된다.

표 11. 가습입자의 평균 입경 비교

Type Repl.	Particle size			
	Ultrasonic humidifier		Steam humidifier using electrodes	
	Mean diameter (μm)	Sauter mean diameter (μm)	Mean diameter (μm)	Sauter mean diameter (μm)
1	7.61	5.86	9.01	8.62
2	7.70	5.53	8.96	8.48
3	7.42	5.74	9.07	8.64
Mean	7.58	5.71	9.01	8.58
Standard deviation	0.14	0.17	0.06	0.09

나. 분사 거리가 가습 입자의 평균 크기에 미치는 영향

가습기 토출구로부터 particle sizer의 laser beam에 이르는 거리가 가습 입자의 크기에 미치는 영향을 검토하고자 가습기 토출구로부터의 거리를 각각 10cm, 20cm, 30cm로 달리한 가운데 입자 크기를 분석하였다. 가습기 종류에 따른 가습입자의 평균 직경과 Sauter mean diameter에 영향을 미치는 토출구로부터의 거리 효과가 그림 33에 실려 있다.

초음파식 가습기에서 평균 직경은 토출구로부터 10cm, 20cm, 30cm 떨어진 지점에서 각각 7.48μm, 7.58μm, 8.12μm로서 토출구로부터의 거리가 증가할수록 가습 입자의 크기가 조금씩 증가하는 것으로 나타났다. 전극봉식 가습기의 경우 토출구로부터 10cm,

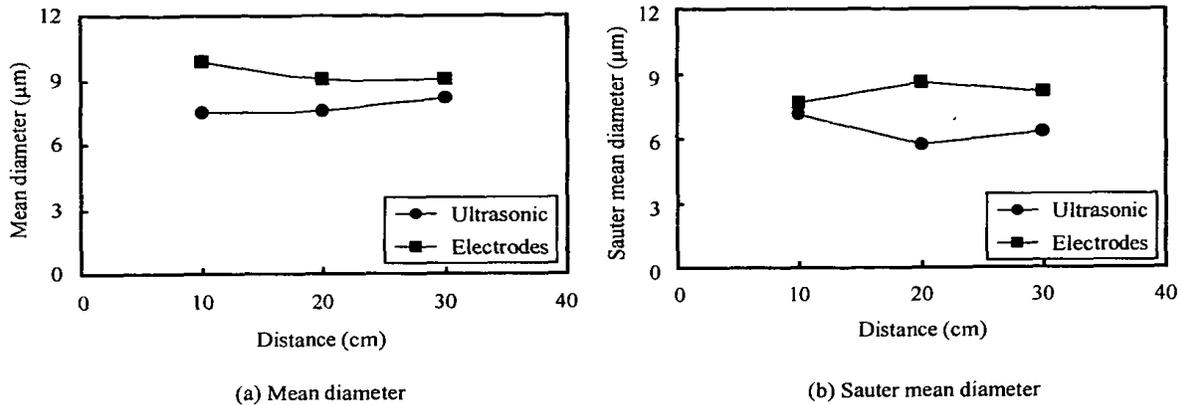


그림 33. 가습기 출구로부터의 거리에 따른 가습입자의 평균 직경

20cm, 30cm 떨어진 지점에서의 평균 직경은 각각 9.83 $\mu\text{m}$ , 9.01 $\mu\text{m}$ , 9.06 $\mu\text{m}$ 로서 10cm 떨어진 지점을 제외하면 토출구로부터의 거리가 증가할수록 가습 입자의 크기가 조금씩 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 가습기에서 발생된 입자가 토출구로부터 멀어질수록 입자 상호간의 결합에 의해서 입자 크기가 조금씩 증가함을 의미하는 것이다. 한편, Sauter mean diameter는 평균 직경에 비해서 입자 크기에 미치는 토출구로부터의 거리 영향이 크지 않은 것으로 나타났다.

#### 다. 전극봉식 가습 방식을 사용한 활착실 내의 상대습도 조절

##### 1) 전극봉식 가습 시스템의 구성 및 설치

전극봉식 가습기는 실린더내에 설치된 전극 사이로 전류가 흘러 수온을 상승시켜 청정한 스팀(steam)을 발생시키는 장치로서, 전기전도도 측정용 전극이 포함된 급수 탱크, 스팀 발생용 전극, 원통형 보일러, 배수용 밸브, 제어부, 전류계 등으로 구성된다. 특히 전극봉식의 경우 고온의 스팀에 의해서 가습 입자가 발생되므로 작업자의 안전에 우선적으로 유의해야 하고, 활착촉진장치 내의 다른 시설물이 스팀에 의해서 영향을 받지 않도록 활착촉진장치 내의 적당한 공간에 설치되어야 한다. 더구나 스팀 토출구가 수평 방향과 평행하게 설치되거나 아래로 경사지게 설치될 경우 스팀의 분

출이 제대로 이루어지지 않는 바 이 점에 유의하여야 한다. 본 연구에서는 스팀의 효과적인 분출과 안전을 위해서 전극봉식 가습기를 활착축진장치 상부에 위치한 덕트 중간에 설치하였다. 본 연구에서 사용된 전극봉식 가습기의 제어부에 대한 회로가 그림 34에 실려 있다.

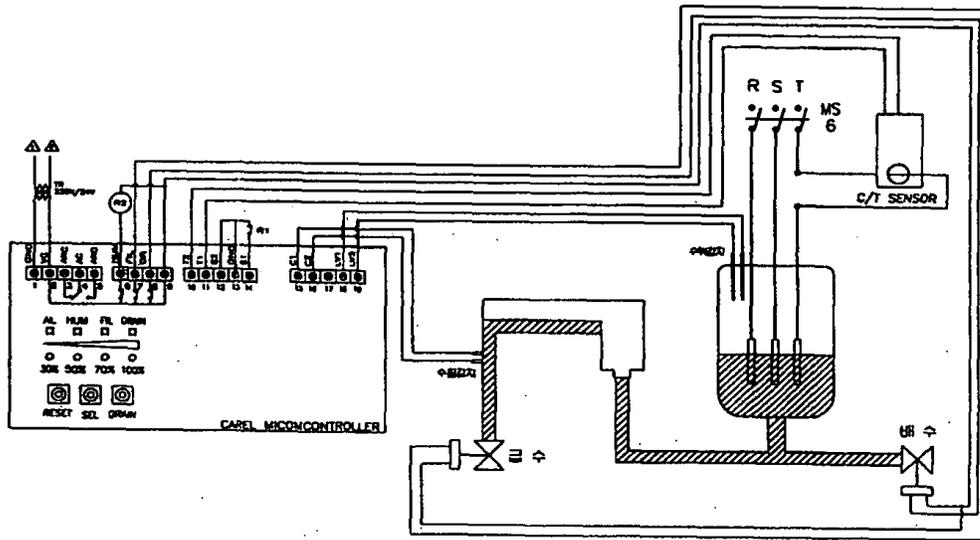


그림 34. 전극봉식 가습기의 제어부 회로

## 2) 활착축진장치 내의 상대습도 측정 및 공간 분포 특성의 구명

Ⅱ형 활착축진장치에 전극봉식 가습기를 설치한 후 상대습도 분포의 균일성을 확인하고자 활착실 내부에 습도 센서를 설치하고, 일정 시간 간격으로 상대습도를 측정하였다. 상대습도 센서로서 유기고분자박막 임피던스 변화 검출 방식의 습도센서 (CHS-UGS, TDK)를 사용하였으며, 활착실내의 공기 입구측, 중앙부, 출구측에 바닥으로부터 수직방향으로 0.4m, 1.1m, 1.8m 떨어진 지점에 전부 9점의 습도센서를 설치하였다. 또한 습도센서가 설치된 동일한 위치에 직경 0.3mm의 Copper-constantan 열전대를 설치하여 활착실내의 온도 분포를 측정하였다. 온습도 센서로부터의 출력은 데이

터로거(23X, Campbell Scientific Inc.)에 의해서 10분 간격으로 측정되었다. 활착실 내의 상대습도와 기온을 측정할 때 평균 기류속도가  $0.15\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 를 유지하도록 송풍기의 풍량을 조절하였다.

그림 35는 활착촉진장치 내의 상대습도 제어에 사용된 가습기의 종류에 따른 습도 분포를 나타낸 것으로서, 활착촉진장치 내의 기온과 상대습도의 목표치를 각각  $28^{\circ}\text{C}$ , 90%로 설정한 상태에서 상대습도를 측정된 결과이다. 그림에서의 상대습도는 바닥면으로부터 동일한 높이의 입구측, 중앙부, 출구측에서 측정된 값을 평균치에 해당한다. 전극봉식 가습기를 사용하였을 경우 초음파식에서와 마찬가지로 활착실의 중앙부에서 측정된 상대습도는 바닥면 부근에서 높게 나타났으며, 천장으로 향할수록 조금씩 감소하였다. 전체적으로 전극봉식을 사용한 조건에서 측정된 평균 상대습도는  $91.1 \pm 2.1\%$ 인 바, 초음파식에서의  $90 \pm 0.9\%$ 에 비해서 습도의 공간 분포가 불균일하게 나타남을 알 수 있다. 이러한 결과는 가습기의 입자 분포 결과와 관련이 있는 것으로 판단된다. 즉, 전극봉식 가습기에서 발생된 가습 입자가 초음파식에 비해서 다소 크게

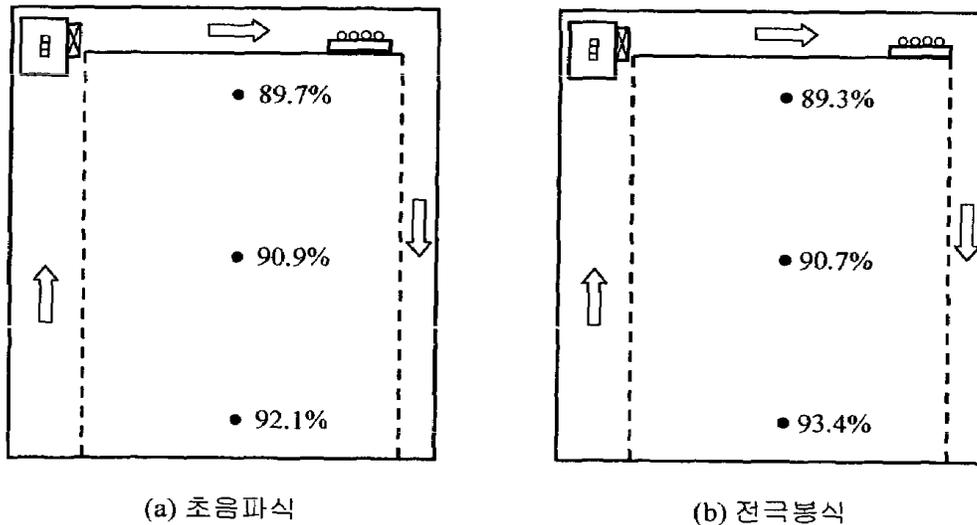


그림 35. 가습 방식에 따른 활착촉진장치 내에서의 상대습도 분포

이루어지기 때문에 입자의 비산 거리가 상대적으로 짧고 부유가 쉽지 않으므로 활착실의 바닥면 부근에서 습도가 높게 나타나고, 습도의 공간 분포가 불균일하게 나타난 것으로 판단된다. 활착촉진장치 내에서 고습도의 균일한 분포가 요구되는 점을 고려할 때 가습 방식으로 초음파식이 효과적인 것으로 판단된다.

## 제4절 활착촉진장치 내의 소비전력 분석

### 1. 서 언

접목묘의 활착에 필요한 광원으로 자연광 대신에 인공광을 사용하면 광량의 제어가 용이하고, 선반을 이용한 다단 구조가 가능하여 활착실 공간을 효과적으로 활용할 수 있으며, 활착실 공간에 대한 밀폐가 가능하여 활착실 내의 물리적 환경을 손쉽게 제어할 수 있는 장점을 지닌다. 그런데 인공광을 이용하여 묘를 생산할 때 광원으로부터의 발열에 따른 냉방부하의 경감을 위해서 적지 않은 전력이 소요되는 바 전기 에너지를 절감할 수 있는 방안이 마련되어야 한다. 본 연구에서는 접목묘의 활착 기간에 소비된 전력을 항목별로 측정하여 전체 전력소모량을 산정하고, 국내의 전력요금 체계에 따라 전력요금을 계산하였다.

인공광을 사용한 묘생산 시스템에서 조명에 의한 전력소모를 절감시키려면 고효율의 인공광원이 개발되어야 한다. 또한 광원으로부터 조사된 광에너지의 대부분이 상면 또는 벽면 등에 의해서 흡수되지 않고, 식물에 의해서만 흡수될 수 있도록 조명시스템이 개발되어야 한다. 이와 같은 조명시스템의 개발은 조명전력 뿐만 아니라 냉방전력의 절감에 크게 기여할 것이다.

### 2. 국내의 전기 요금 체계

현재 국내의 전력 요금 체계는 주택용, 일반용(갑, 을), 교육용, 산업용(갑, 을, 병), 농사용, 심야전력, 가로등으로 구분된다. 이에 본 연구에서는 주택용과 가로등을 제외한 요금 체계별 전기 요금을 비교하였으며, 일반용과 산업용은 모두 갑으로 가정하여 계산하였다. 표 12~표 16은 각각의 요금 체계별 전기요금을 나타낸 것이다.

농사용에서 육묘 또는 전조재배에 사용되는 전력은 농사용(을)에 해당하므로, 본 연구에서는 농사용(을)을 적용하여 전기요금을 계산하였다. 심야전력은 한국전력이 인정하는 심야전력 기기를 설치하여 전력 사용이 적은 심야(밤 10시~아침 8시)에 열, 온수 또는 얼음을 생산, 저장하였다가 하루 종일 난방 또는 냉방에 이용하는 경우에 적

용한다.

표 12. 일반용(갑)의 전기 요금

구 분		기본요금 (원/kW)	전력량 요금 (원/kWh)		
			여름 (7~8월)	봄, 가을 (7~6, 9월)	겨울 (10~3월)
저압전력		5,720	101.20	67.50	71.80
선택 I	고압 A	5,890	101.00	67.30	71.70
	고압 B		98.10	65.30	69.60
선택 II	고압 A	6,780	96.50	62.80	67.20
	고압 B		93.60	60.80	65.10

\* 타종별을 제외한 계약전력 3,000kW 미만 고객에 적용

표 13. 교육용의 전기 요금

구 분		기본요금 (원/kW)	전력량 요금 (원/kWh)		
			여름 (7~8월)	봄, 가을 (4~6, 9월)	겨울 (10~3월)
저압전력		5,210	93.00	59.70	64.30
선택 I	고압 A	5,520	92.50	59.40	64.10
	고압 B		91.80	59.00	63.40
선택 II	고압 A	6,330	88.40	55.30	60.00
	고압 B		87.70	54.90	59.30

표 14. 산업용(갑)의 전기 요금

구 분		기본요금 (원/kW)	전력량 요금 (원/kWh)		
			여름 (7~8월)	봄, 가을 (4~6, 9월)	겨울 (10~3월)
저압전력		4,240	65.10	49.10	52.90
선택 I	고압 A	4,490	64.80	48.90	52.50
	고압 B		63.90	48.10	51.70
선택 II	고압 A	4,140	61.40	45.50	49.10
	고압 B		60.60	44.80	48.40

표 15. 농사용의 전기 요금

구 분	기본요금 (원/kW)	전력량 요금 (원/kWh)
갑	360	21.40
을	960	27.20
병	1,100	37.80
전등	W당 19.80원 (월 최저요금 : 660원)	

표 16. 심야전력의 전기 요금

구 분	기본요금 (원/kW)	전력량 요금 (원/kWh)
갑	23.20 (월 최저요금 464원)	
을	6,210원 x $\frac{\text{기타시간 사용전력량}}{\text{월간 총 사용전력량}}$	심야 시간 : 26.20 기타 시간 : 76.80

인공광을 이용한 접목묘 활착촉진장치 시작품의 성능을 평가하려면 적정 환경을 조합한 조건에서 접목묘의 활착 실증 실험에 따른 전력소모량과 활착촉진장치의 에너지 절감 방안이 제시되어야 한다.

### 3. 요금 체계별 전기요금의 비교

표 17은 II형 활착촉진장치의 기온, 상대습도 및 기류속도를 각각 27℃, 90%, 0.1 m·s<sup>-1</sup>로 제어하고, 최초 24시간의 암조건을 거쳐 명기/암기가 12/12h인 조건에서 플러그트레이의 배지 표면에서 광합성유효광량자속을 50μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>로 유지할 때 5~6일간의 활착 기간에 가열기, 컴프레서, 송풍기, 가습기, 형광등의 소모 전력, 운전시간을 나타낸 것이다. 계절에 따른 전력소모의 차이를 검토하고자 본 연구에서는 2월, 8월, 10월의 3차례에 걸쳐 적산전력계를 사용하여 전력소모량을 측정하였다. 이 기간에 가열기, 컴프레서, 송풍기, 가습기, 형광등의 시간당 평균 전력소모량은 각각 2.34kW, 2.51kW, 0.08kW, 0.19kW, 0.21kW로서 이들의 구성비는 각각 43.9%, 47.1%, 1.5%, 3.6%, 3.9%로 나타났다. 결국 활착촉진장치에서 소비되는 전력의 91.0%가 공기조화시스템에서 이루어져 활착촉진장치에서 소비전력을 절감하려면 공조시스템에서 에너지 소비를 최소화할 수 있는 방안이 우선적으로 고려되어야 함을 알 수 있다.

전력소모의 실측치를 기초로 하여 계산된 1개월 동안의 소비전력에 대한 요금 체계별 전기요금을 그림 36에 나타내었다. 일반용, 교육용, 산업용은 계절에 따라 요금이 차등으로 부과되어 소비전력 요금은 전력 수요가 큰 여름철(7~8월)이 가장 높으며, 다음으로 겨울철(10~3월)과 봄, 가을철(4~6, 9월)의 순서로 나타났다. 한편, 농사용과 심야전력은 계절과 무관하게 일정한 요금이 적용된다. 전체적으로 요금 체계별 전기요금을 비교하면 일반용>교육용>산업용>심야전력>농사용의 순서로 높게 나타났다. 이 가운데 농사용과 심야전력의 전기요금은 여름철의 일반용(감)에 비해서 각각 31.3%, 45.0%에 불과하여 저렴한 것으로 나타났다.

표 17. 활착축진장치에서 소비된 전기에너지

Item		Electric consumption (kWh)	Operating time (h)	Average electric energy consumed (kW)
가열기	1차	190.68	87	2.19
	2차	267.90	102	2.63
	3차	318.90	144	2.21
	평균	<b>259.16</b>	<b>111</b>	<b>2.34</b>
컴프레서	1차	245.10	87	2.82
	2차	278.20	102	2.73
	3차	286.70	144	1.99
	평균	<b>270.00</b>	<b>111</b>	<b>2.51</b>
송풍기	1차	7.40	87	0.08
	2차	9.10	102	0.09
	3차	11.10	144	0.08
	평균	<b>9.20</b>	<b>111</b>	<b>0.08</b>
가습기	1차	17.25	87	0.20
	2차	22.90	102	0.22
	3차	25.49	144	0.14
	평균	<b>20.23</b>	<b>111</b>	<b>0.19</b>
형광등	1차	7.17	32	0.22
	2차	8.32	42	0.20
	3차	13.15	60	0.22
	평균	<b>9.55</b>	<b>45</b>	<b>0.21</b>

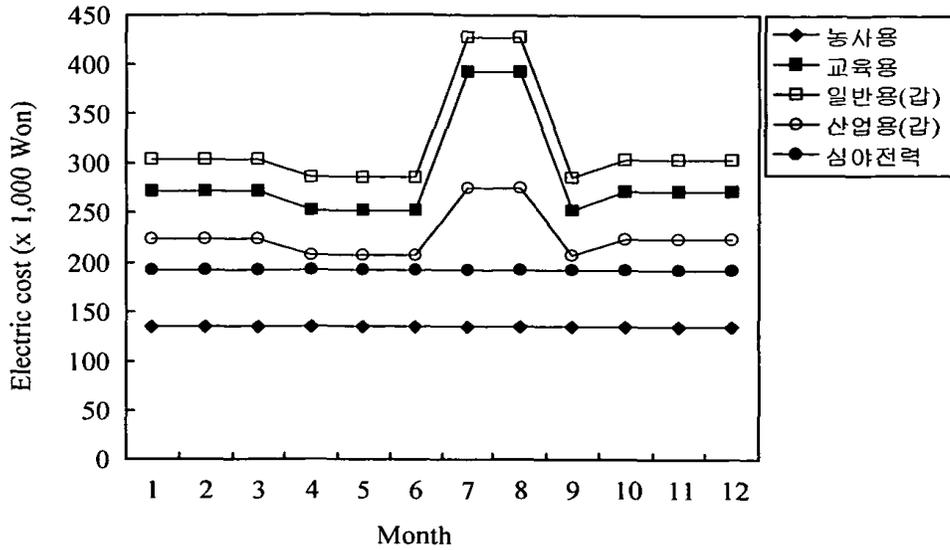


그림 36. 요금 체계에 따른 전기요금 비교

대량으로 접목된 접목묘의 활착 단계에서 전기요금을 산출하고자 II형 활착촉진장치 내에 1회에 2,400주(50공 플러그트레이 48개에 해당)의 접목묘를 활착시키면서 적산전력계를 사용하여 소비전력을 측정하였다. 다음으로 1회의 활착에 5일이 소요되는 바, 1개월에 최대 6회의 활착이 가능하여 월 14,400주의 접목묘를 생산하는 데 소비되는 전기요금을 요금 체계별로 산출한 후 1주당 활착에 소비되는 전기요금이 그림 32에 실려 있다. 이 때 심야전력은 한국전력이 인정하는 심야전력 기기를 설치하여야 하고, 전력 사용이 적은 심야(밤 10시~아침 8시)에 열, 온수 또는 얼음을 생산, 저장하였다가 하루 종일 난방 또는 냉방에 이용하는 경우에만 적용되는 바, 접목묘의 대량 활착 단계에서 심야전력에 기초한 전기요금의 계산은 배제하였다.

그림 37에서 접목묘 1주를 활착시키는 데 필요한 전기요금은 농사용을 적용할 경우 9.24원으로서 가장 저렴하게 나타났으며, 산업용, 교육용, 일반용의 순서로 높게 나타났다. 요금 체계가 가장 비싼 일반용으로 적용할 때 봄과 가을, 겨울, 여름철의 1주당 전기요금은 각각 21.2원, 22.6원, 32원으로서 농사용과 비교할 때 각각 2.3배, 2.4배, 3.4배에 해당하였다. 계절에 따라 전기요금의 차이는 나타난 가운데 접목묘의 활착에

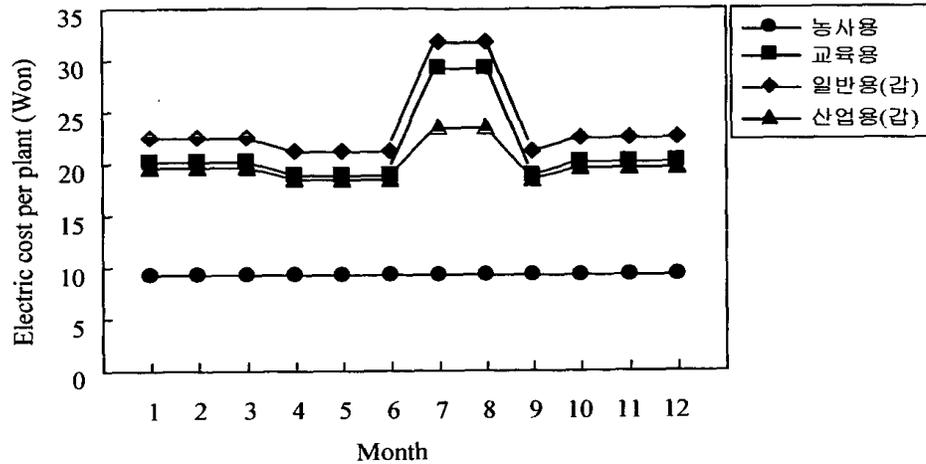
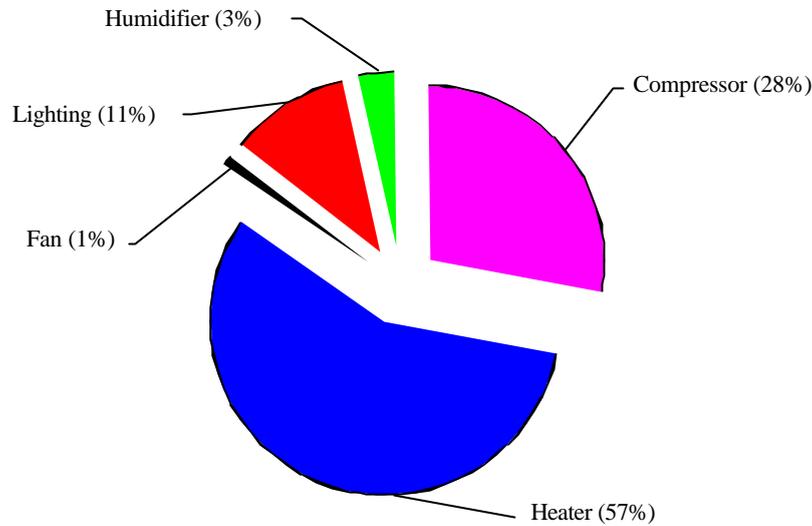


그림 37. 접목묘의 활착 단계에서 1주당 투입된 전력요금

필요한 1주당 전기요금은 농사용에 비해서 타 종별에서 약 2~3.4배 높게 나타났다. 이러한 원인은 근본적으로 요금 체계의 차이에 기인한다.

1개월 동안 활착촉진장치에서 소비된 전력을 가열기, 컴프레서, 조명, 송풍기, 가습기 등의 구성별로 표시한 결과가 그림 38에 제시되어 있다. 전체 사용 전력량의 57%가 가열기에서 소비되어 가장 높게 나타났으며, 컴프레서(28%), 조명(11%), 가습기(3%), 송풍기(1%)의 순서로 나타났다. 활착촉진장치에서 소비된 전력 가운데 공조 시스템, 즉 냉·난방이 차지하는 비중이 전체의 85%로서 매우 높게 나타난 바, 활착촉진장치에서 소비전력을 절감하려면 가열기와 컴프레서에서 소비되는 전력의 절감 방안이 우선적으로 모색되어야 한다.

본 연구에서는 활착촉진장치 내의 기온과 상대습도를 정확하게 제어하고자 컴프레서를 연속으로 작동하면서 가열기의 작동량을 결정하였다. 그 결과 활착촉진장치 내의 기온과 상대습도는 목표치에 도달하는 만족스런 결과를 나타냈으나, 공조 시스템에서 소비전력이 높게 나타났다. 그러므로 활착촉진장치가 소비하는 전력을 절감하려면 공조 시스템에 대한 전력소모량의 절감 방안이 우선적으로 강구되어야 한다. 특히 활착 과정에 있는 접목묘에 스트레스를 부여하지 않는 범위 내에서 기온과 상대습도



38.

의 제어 범위를 설정하고, 가열기와 컴프레서에서 소비되는 전력이 최소화 되도록 제어 방식을 적용하면 공조 시스템에서 소비전력의 대폭적인 절감이 기대된다.

현재까지의 실험 결과를 바탕으로 활착축진장치의 소비전력을 경감시키기 위하여 고려될 수 있는 방안은 다음과 같다. 첫째, 활착축진장치의 벽면을 통한 열손실을 감소시키기 위하여 단열 효과가 높은 자재를 사용하고, 활착축진장치 내의 환기회수를 최소화시킨다. 둘째, 활착축진장치의 제어부에서 컴프레서를 항상 작동시키는 가운데 가열기의 PID 제어에 의해서 실내 기온이 유지되는 바, 컴프레서의 단속제어를 실시한다. 셋째, 컴프레서와 유닛쿨러(unit cooler)로 구성된 냉방시스템의 성능계수를 향상시킨다. 넷째, 접목묘의 적정 활착 기온이 27~29℃로 나타났으나, 활착 단계에서 접목묘가 스트레스를 받지 않는 범위 내에서 기온을 낮추는 것이 요구된다. 다섯째, 명기와 암기에 기온을 동일하게 유지하였으나, 활착 후기의 암기에 기온을 낮추는 것이 바람직하다. 여섯째, 형광등의 경우 입력된 전력의 10~20%가 안정기에서 소비되어,

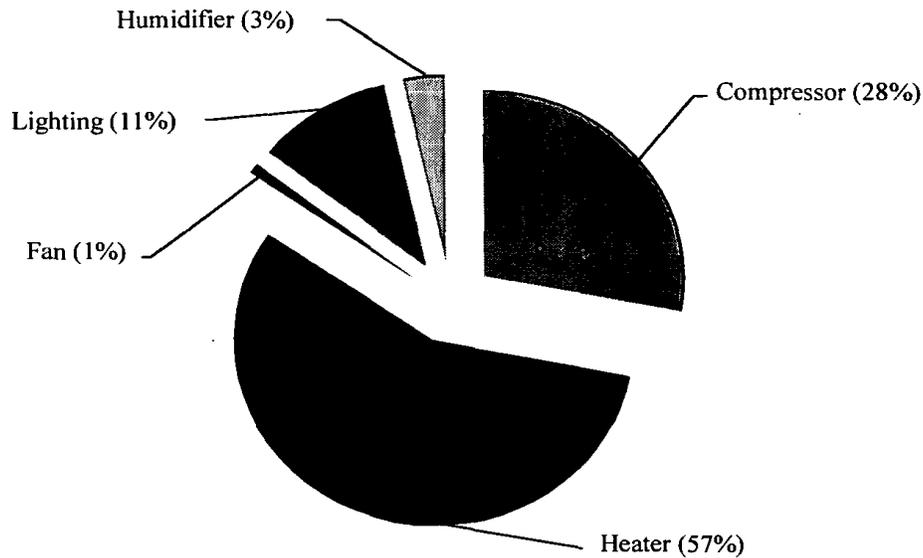


그림 38. 활착축진장치에서 소비전력의 구성

의 제어 범위를 설정하고, 가열기와 컴프레서에서 소비되는 전력이 최소화 되도록 제어 방식을 적용하면 공조 시스템에서 소비전력의 대폭적인 절감이 기대된다.

현재까지의 실험 결과를 바탕으로 활착축진장치의 소비전력을 경감시키기 위하여 고려될 수 있는 방안은 다음과 같다. 첫째, 활착축진장치의 벽면을 통한 열손실을 감소시키기 위하여 단열 효과가 높은 자재를 사용하고, 활착축진장치 내의 환기회수를 최소화시킨다. 둘째, 활착축진장치의 제어부에서 컴프레서를 항상 작동시키는 가운데 가열기의 PID 제어에 의해서 실내 기온이 유지되는 바, 컴프레서의 단속제어를 실시한다. 셋째, 컴프레서와 유닛쿨러(unit cooler)로 구성된 냉방시스템의 성능계수를 향상시킨다. 넷째, 접목묘의 적정 활착 기온이 27~29℃로 나타났으나, 활착 단계에서 접목묘가 스트레스를 받지 않는 범위 내에서 기온을 낮추는 것이 요구된다. 다섯째, 명기와 암기에 기온을 동일하게 유지하였으나, 활착 후기의 암기에 기온을 낮추는 것이 바람직하다. 여섯째, 형광등의 경우 입력된 전력의 10~20%가 안정기에서 소비되어,

열로서 방출되므로, 안정기와 같이 열을 발생시키는 기구를 활착촉진장치 외부에 설치한다. 일곱째, 접목묘의 활착이 원활하게 이루어지는 범위 내에서 명기시간과 광합성유효광량자속을 조절한다. 여덟째, 활착촉진장치 내의 벽면, 천장, 바닥면의 반사율을 증가시켜 조명율이 향상되도록 조명 방식을 개선한다. 또한 광원으로부터 조사된 광에너지의 대부분이 상면 또는 벽면 등에 의해서 흡수되지 않고, 식물에 의해서만 흡수될 수 있도록 조명시스템을 개발한다. 아홉째, 고효율의 인공광원을 개발한다. 이밖에, 본 연구에서는 접목묘의 활착에 50공 플러그트레이를 사용하였으나 묘소질을 저하시키지 않는 범위 내에서 재식밀도를 높이고자 72공 트레이를 사용한다면 1주당 소비전력은 더욱 절감될 것으로 예상된다.

## 제5절 결 론

접목묘의 활착을 촉진시키고, 활착 관리에 요구되는 노력을 절감하고자 인공광을 이용한 접목묘 활착촉진장치를 개발한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 국내 육묘공장의 접목묘 생산 및 활착관리 실태를 조사한 결과 접목이 많이 요구되는 작물과 방법은 수박과 삼점으로 나타났다. 또한 활착 환경의 관리가 대부분 관리자의 경험에 의해서 이루어져 접목묘의 묘소질이 불균일하게 나타났다.
2. 접목묘의 활착을 촉진하고자 폴리우레탄을 단열재로 충전한 강판을 사용하여 내부 크기가 3,300(W) x 2,800(D) x 2,860(H)인 활착촉진장치를 개발하였다. 활착촉진장치 내에 크기가 2,810(W) x 580(D) x 2,050(H)인 4단식 선반을 2초 설치하였는 바, 1회에 6,400~9,000주의 접목묘를 입고할 수 있다.
3. 활착촉진장치 내의 공기 유로에 유공비가 서로 다른 다공철판을 설치하고, PID 제어기와 인버터로서 기류속도, 기온 및 상대습도를 제어한 결과 활착촉진장치 내의 기류속도, 기온 및 상대습도 분포가 매우 균일하게 나타났다.
4. 접목묘의 활착 촉진에 이용되는 각종 형광등의 분광 특성과 광강도를 분석하였다.
5. 초음파식과 전극봉식(증기식) 가습기에서 발생된 가습입자의 평균 입경을 측정된 결과 각각  $7.58 \pm 0.14 \mu\text{m}$ ,  $9.01 \pm 0.06 \mu\text{m}$ 로서, 활착촉진장치 내에서 고습도의 균일한 분포가 요구되는 점을 고려할 때 가습 방식으로서 평균 입경이 작은 가습입자를 발생하는 초음파식이 효과적일 것으로 판단된다.
6. 활착촉진장치 내에서 소비된 전력과 전기요금을 분석하였다. 활착촉진장치 내에서 소비된 전력의 57%가 가열기에서 이루어져 가장 높게 나타났으며, 컴프레서(28%), 조명(11%), 가습기(3%), 송풍기(1%)의 순서로 나타났다. 활착촉진장치에서 소비된 전력 가운데 공조 시스템, 즉 냉·난방이 차지하는 비중이 전체의 85%로서 매우 높

게 나타난 바, 활착축진장치에서 소비전력을 절감하려면 가열기와 컴프레서에서 소비되는 전력의 절감 방안이 우선적으로 모색되어야 한다.

7. 인공광형 활착축진장치 내의 기온, 상대습도 및 기류속도를 효과적으로 제어할 수 있고, 광강도와 광질을 고려하여 인공광원을 선택할 수 있다. 그러므로 본 연구에서 개발된 활착축진장치는 인공광을 이용한 육묘실 또는 배양묘의 순화실로도 활용할 수 있다.

## 제 3 장 접목묘의 증발산 및 활착 특성

### 제1절 서 언

최근 들어 육묘시설의 양적 증가와 육묘 기술 수준의 향상에 힘입어 플러그묘의 보급이 확대되고 있다. 더구나 육묘와 재배의 분업화가 진행되고, 고품질 묘의 안정된 수급에 대한 관심이 늘어나면서 육묘 산업에 대한 비중이 점차 증가하고 있다.

이 가운데 연작장해의 방지, 耐病性 또는 耐暑性의 강화, 식물의 조기생육 촉진 및 과실의 상품성을 향상시키기 위한 수단으로 생산되는 과채류 접목묘는 고품질 묘에 대한 인식이 확산되면서 그 수요가 지속적으로 증가하고 있다(渡部와 板木, 1990; Oda, 1995). 육묘시설 또는 농가에서 과채류의 종류에 따라 적용되는 여러 가지의 접목 방법과 자동접목장치의 개발에 따라 활착 단계에서 접수와 대목의 원활한 결합은 물론 접목묘의 순화를 도모하면서 대량의 접목묘를 안정적으로 생산할 수 있는 방법의 개발이 요구되고 있다.

접목묘의 활착율을 높이려면 활착 단계에서 접수의 위조를 막아야 한다. 한편 접목묘로부터의 과도한 증산은 접수의 위조를 심화시킨다. 그러므로 접목묘의 증산을 억제하면서 활착율을 높이려면 접목 직후 접목묘 주위 공기의 상대습도를 높게 유지하여 묘의 위조를 방지하여야 한다. 활착 단계에서 접수와 대목의 결합이 원활하게 이루어지면 건전한 접목묘 생산을 위해서 점차 상대습도를 낮추고, 광량은 서서히 증가시키는 등의 환경관리가 요구된다.

현재 접목묘를 생산하는 육묘시설 또는 농가에서는 온실 내에서 폴리에틸렌 필름 또는 차광용 필름을 이용하여 상대습도와 광량을 조절하고 있으나, 환경 요소의 관리가 대부분 관리자의 경험에 의해서 이루어져 정확한 습도와 광량 조절에 많은 어려움을 겪고 있다. 또한 접목묘의 활착은 대부분 자연광 조건하에서 이루어져 접목묘의 활착 또는 품질이 외부 환경의 영향을 쉽게 받기 때문에 활착 환경의 효과적인 제어

가 불가능한 실정이다. 접목묘의 활착을 촉진시키고, 활착 관리에 요구되는 노력을 절감시키려면 활착에 대한 최적 환경조건이 제시되어야 한다. 이 경우 최적환경은 온실과 같은 개방형의 자연광 조건에 비하여 인공광을 이용한 폐쇄형 시스템에서 보다 쉽게 이루어질 수 있다.

이제까지 Nobuoka et al.(1996, 1997)에 의해서 토마토 접수의 증산에 미치는 상대습도와 광강도의 효과, 풍속과 포차의 효과가 시도된 바 있으나, 접목묘 개체군의 증발산 특성에 미치는 환경요소의 영향은 보고된 바 없다. 본 연구는 활착촉진장치 내에서 접목묘 개체군의 증발산속도를 측정할 수 있는 시스템을 구성하여 광주기, 광량, 기온, 상대습도, 기류속도 등 환경요소가 접목묘 개체군의 증발산에 미치는 영향을 정량적으로 구명하고자 시도되었다.

## 제2절 접목묘의 증발산속도 및 활착율 분석

### 1. 접목묘의 증발산속도 측정을 위한 실험용 풍동의 제작

본 연구에서 제작된 접목묘의 증발산속도 측정용 풍동은 정류장치, 생육실, 송풍기와 송풍량 제어장치 및 광원으로 구성된다. 미국기계공학회(American Society of Mechanical Engineers, ASME)는 풍동내의 균일한 기류속도를 확보하기 위한 정류장치(air flow conditioner)의 설계 기준을 다음과 같이 제시하였다.

$$d \leq D/4 \tag{11}$$

$$L \geq 8 d \tag{12}$$

$$n \pi d^2/4 \leq 0.5 \pi D^2/4 \tag{13}$$

여기서, d: 정류장치의 정류파이프 직경(m), D: 풍동 직경(m), L: 정류장치의 길이(m), n: 정류파이프의 수이다.

풍동내의 생육실에 폭 0.28 m, 길이 0.55 m의 플러그트레이(plug tray) 2개가 길이 방향으로 놓이는 것으로 상정한 후, 식 (11)~(13)을 이용하여 균일한 기류속도를 얻기

위한 정방형 풍동의 한변의 길이를 0.315 m로 결정하였다. 또한, 정류장치의 정류파이프로서 내경 20 mm, 외경 23 mm, 길이 0.63 m 의 철제 파이프를 사용하였다. 그림 39와 같이 풍동의 입구측에 상기의 정류장치를 설치하였으며, 생육실은 두께 5 mm의 아크릴판으로 제작하였다. 표 18에서 볼 수 있는 바와 같이, 송풍기(DVN-121)의 최대 송풍량은  $30 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ 으로서, 배기식으로 제작된 송풍기를 흡기식으로 개조하여 사용하였다. 풍동내의 기류속도는 송풍기의 송풍량을 제어하는 방식에 의해서 조절되며, 플러그트레이에 담겨있는 배지 표면으로부터 18 cm 떨어진 높이에서 일정한 기류속도가 유지되도록 기류속도 제어 시스템을 구성하였다.

표 18. 실험용 풍동의 제원

---

Total size: W 315 mm x H 315 mm X L 2430 mm
Air flow conditioner
material: Steel pipes
size: ID 23 mm x OD 25 mm X L 630 mm
Plant growth room
material: Acrylic plate (5 mm thick)
size: W 315 mm x H 315 mm x L 1150 mm
Fan & fan controller
fan: axial flow type (DVN-121, Dongkun)
air flow rate : $30 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
fan controller: transformer (DAEKWANG)
Light source: fluorescent twin lamp (DULUXL55W/21-840, OSRAM)

---

광원으로는 3파장 형광등(FL20SEX-D/18, Keumho Electric Co.)을 사용하였다. 기류제어에 관한 실험은 실내온도와 상대습도가 각각  $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ,  $65 \pm 3\%$ 로 유지되는 활착촉진장치 내에서 이루어졌다. 기류 속도는 플러그트레이의 배지 표면으로부터 18cm 떨어진 높이에서 0.2, 0.4, 0.6 및  $0.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  의 4 수준으로 설정된 가운데, 열선풍속계



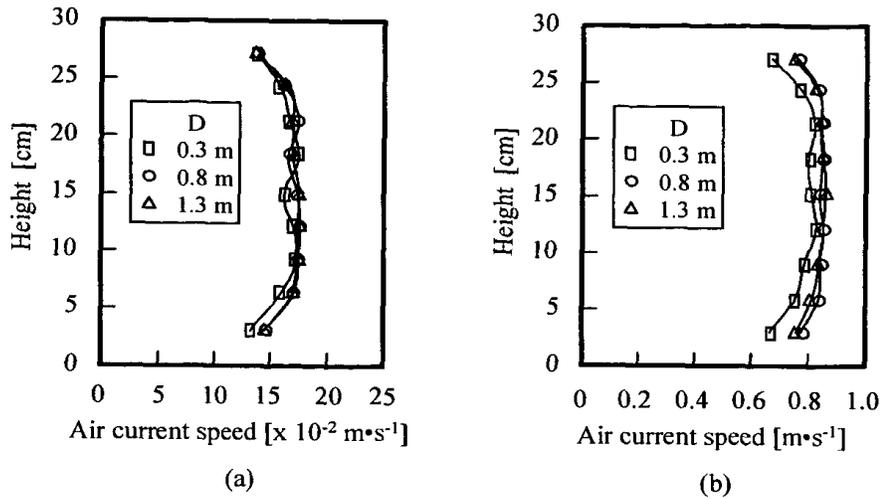


그림 40. 풍동 내의 기류속도 ( $u$ )를 달리 설정한 가운데 정류장치 출구로부터의 거리 ( $D$ )에 따른 기류속도의 분포  
 (a)  $u = 0.17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$     (b)  $u = 1.50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

## 2. 접목묘의 증발산속도 측정

접목묘는 접목 방법에 따라 다소 차이는 있으나 접목 초기에 대목과 접수의 통도조직이 연결되지 않으므로 대목의 근부에서 흡수된 양분 또는 수분이 접수까지 효과적으로 전달되지 않는다. 이로 인하여 접수가 쉽게 시들게 되는 데, 접목묘의 활착을 촉진시키려면 접목후 활착이 이루어지기까지 접수의 증발산속도를 억제하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 접목묘의 증발산속도에 미치는 환경요소, 즉 기온, 상대습도, 기류속도, 광량 등의 영향을 정량적으로 살펴보고자 증발산속도 측정 시스템을 구성하였다. 1)에서 제작된 실험용 풍동의 생육실의 前部에 플러그트레이 1매가 놓여질 수 있는 알루미늄판을 제작하고, 알루미늄판 하부에 load cell(MLP-25, Transducer Technic)을 부착하여 플러그트레이의 무게 변화를 연속적으로 측정할 가운데 식 (14)를 사용하여 접목묘의 증발산속도를 계산하였다.

$$E = \frac{W}{S} \tag{14}$$

여기서, E: 접목묘의 증발산속도( $\text{gH}_2\text{O} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ), W: 플러그트레이의 단위시간당 무게 변화( $\text{gH}_2\text{O} \cdot \text{h}^{-1}$ ), S: 플러그트레이의 면적( $\text{cm}^2$ ) 이다.

표 19는 load cell의 주요 사양을 나타낸 것이며, 그림 41은 load cell에 걸린 하중과 출력과의 관계를 나타낸 것이다.

표 19. 로드셀의 사양

Item	Specifications
Measurement range	0 ~ 25 lbs
Linearity	0.1% F.S.
Rated output	2mV/V nominal
Excitation voltage	10 VDC

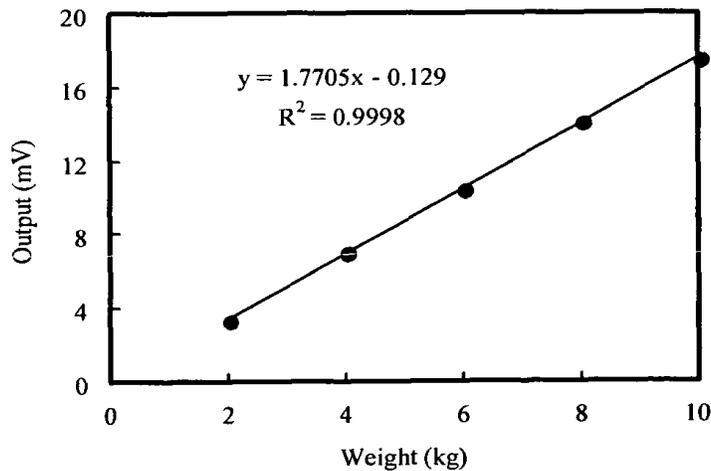
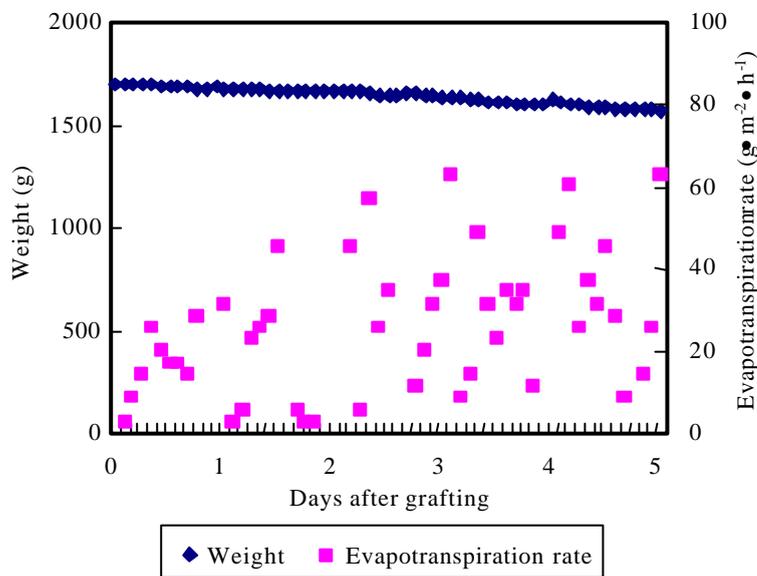


그림 41. 하중과 로드셀 출력의 회귀 관계

그림 42는 기온, 상대습도 및 광강도가 각각 25℃, 95%,  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 일 때 접목묘의 증량 변화 및 증발산속도를 나타낸 것이다. 활착실내의 기류속도는  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 고정하고 접목 직후 24시간은 암조건으로 설정하였다. 접목 후 초기 24시간은 암조건

을 유지하였으며, 24시간이 경과한 이후부터 명기와 암기를 각각 12시간씩으로 조절하였다. 접목 후 초기 24시간을 암조건으로 유지한 것은 예비 실험에서 나타난 결과에 따른 것이다. 즉 예비 실험에서 접목 직후부터 광을 조사한 결과 접수에서 위조 현상이 나타나, 접목 후 일정 시간이 경과한 후부터 광을 조사하는 것이 바람직함을 알 수 있었다. 그러므로 본 연구에서는 상기의 문제점을 극복하고자 접목 후 요구되는 최소의 암조건을 24시간으로 설정하였다.



42.

접목 후 1일간의 암기에서 증발산속도는  $300\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 로서 매우 작게 나타났다. 접목묘의 증발산속도는 2일째까지 낮은 값을 유지하였으나, 3일째부터는 접목묘의 중량 변화가 크게 나타나면서 증발산속도가  $400 \sim 600\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 높게 나타났다. 이것은 접목 후 2일 사이에는 접수와 대목의 통도조직이 완전하게 결합되지 않았기에 대목의 뿌리에서 흡수한 수분이 접수까지 충분하게 도달하지 않았음을 의미하는 것이다. 이로 인하여 접수에서의 증산이 매우 미약한 가운데 증발산량의 대부분은 배지에서의 증발

을 유지하였으며, 24시간이 경과한 이후부터 명기와 암기를 각각 12시간씩으로 조절하였다. 접목 후 초기 24시간을 암조건으로 유지한 것은 예비 실험에서 나타난 결과에 따른 것이다. 즉 예비 실험에서 접목 직후부터 광을 조사한 결과 접수에서 위조 현상이 나타나, 접목 후 일정 시간이 경과한 후부터 광을 조사하는 것이 바람직함을 알 수 있었다. 그러므로 본 연구에서는 상기의 문제점을 극복하고자 접목 후 요구되는 최소의 암조건을 24시간으로 설정하였다.

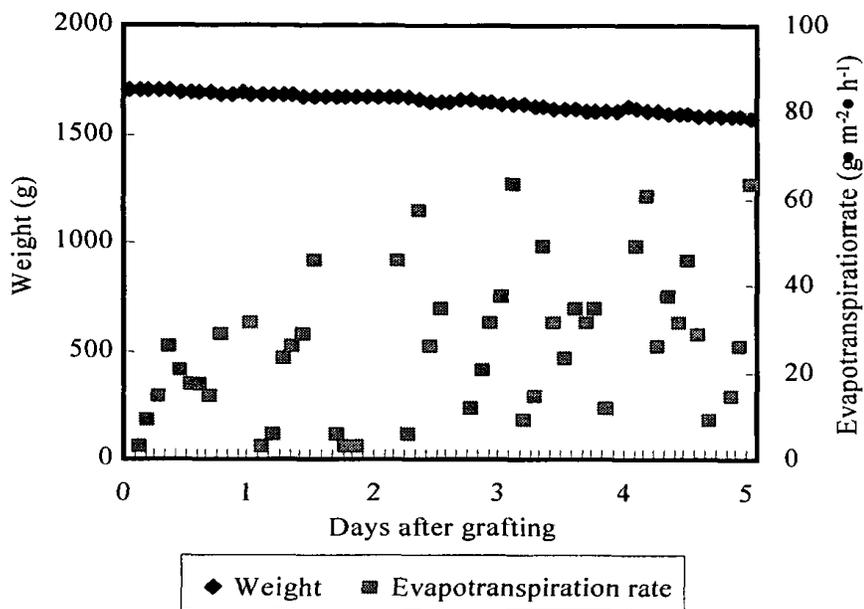


그림 42. 인공광하에서 접목묘 개체군의 무게와 증발산속도 변화

접목후 1일간의 암기에서 증발산속도는  $300\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 로서 매우 작게 나타났다. 접목묘의 증발산속도는 2일째까지 낮은 값을 유지하였으나, 3일째부터는 접목묘의 증량 변화가 크게 나타나면서 증발산속도가  $400 \sim 600\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 높게 나타났다. 이것은 접목후 2일 사이에는 접수와 대목의 통도조직이 완전하게 결합되지 않았기에 대목의 뿌리에서 흡수한 수분이 접수까지 충분히 도달하지 않았음을 의미하는 것이다. 이로 인하여 접수에서의 증산이 매우 미약한 가운데 증발산량의 대부분은 배지에서의 증발

량에 해당함을 알 수 있다. 3일째부터는 시간이 경과할수록 증발산속도가 점차 증가하는 것으로 나타났다. 이 시기에는 대목과 접수의 결합이 서서히 이루어져 도관을 통한 양분과 수분의 이동이 원활하게 이루어질 수 있으며 접목묘 주위의 환경 변화에 따라 증발산속도가 크게 영향을 받게 된다. 그러므로 접목묘의 활착율을 증대시키려면 접목 후 2일 동안은 가능한 한 환경 스트레스와 증발산을 억제한 가운데 대목과 접수의 통도조직이 제대로 결합할 수 있도록 상대습도를 95% 이상으로 유지시키는 것이 바람직하다. 아울러 대목과 접수가 결합되기 시작하면 환경 변화에 대한 적응력이 향상되므로 점차 환경 스트레스를 부여하여 접목묘를 튼튼하게 육성하여야 한다.

### 3. 접목묘의 증발산속도와 활착에 미치는 광주기의 영향

#### 가. 접목묘의 증발산속도에 미치는 광주기의 영향

인공광하에서 접목묘의 활착을 촉진시키려면 접목묘에 대한 최적 활착조건이 제시되어야 하나, 이에 관한 연구는 최근에 이루어지고 있다. 접목묘의 활착 단계에서 접수의 위조를 방지하면서 활착율을 높이려면, 접목 직후 접목묘로부터의 증발산을 억제하는 것이 요구된다.

인공광을 이용한 접목묘의 활착실에서 조명과 공기조화 장치의 전력소모는 활착실에서 소비되는 전체 전력의 대부분을 차지한다. 그러므로 인공광형 활착실에서 전력소모를 절감시키려면 광량, 광주기, 조명을 등에 대한 검토가 이루어져야 한다. 본 연구의 목적은 접목묘의 증발산과 활착에 미치는 광주기의 효과를 구명하는 데 있다.

접수와 대목으로 각각 수박(감로, 홍농종묘.)과 박(FR King, 홍농종묘.)을 사용한 가운데 편엽삽접된 수박 접목묘의 증발산속도와 활착율에 미치는 광주기의 영향을 구명하고자 명기/암기를 3수준(24/0h · d<sup>-1</sup>, 18/6h · d<sup>-1</sup>, 12/12h · d<sup>-1</sup>)으로 설정하였다. 접목은 접수의 자엽이 완전히 전개된 시기에 실시하였다. 접목 후 초기 24시간은 암조건을 유지하였으며, 24시간이 경과한 이후부터 명기와 암기를 각각 12시간씩으로 조절하였다. 접목이 이루어진 접목묘는 활착촉진장치 내에서 5일 동안 입고되었다. 이 때 활착실내 선반에 위치한 플러그트레이 표면에서의 광합성유효광량자속은 2수준(30μmol ·

$\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )으로 설정하였으며, 활착실의 기온과 상대습도는 각각  $27^{\circ}\text{C}$ , 95%로 제어하였다. 표 20은 본 실험에 적용된 활착 조건을 나타낸 것이다.

표 20. 광주기에 따른 접목묘의 활착 환경 조건

처리	환경 조건	광원
A	광주기 : $24/0\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ PPF : $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	냉백색 3과장 형광등
B	광주기 : $24/0\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ PPF : $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	"
C	광주기 : $18/6\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ PPF : $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	"
D	광주기 : $18/6\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ PPF : $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	"
E	광주기 : $12/12\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ PPF : $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	"
F	광주기 : $12/12\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ PPF : $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	"

처리 A, C 및 E에 대한 접목묘의 증발산 특성이 그림 43에 제시되어 있다. 광합성 유효광량속이  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 을 유지할 때  $24\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 광주기 즉, 연속조명이 이루어지는 처리에서의 증발산속도는 광주기가  $18\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ ,  $12\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 인 경우에 비해서 접목 후 2~3일 사이에 높게 나타났다. 암기가 존재하는 처리 C와 E에서 암기의 증발산속도는 연속조명이 이루어진 처리 A에 비해서 약 40~50% 정도로 나타났다.

그림 44는 광합성유효광량속이  $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 으로 상대적으로 낮게 유지될 때 광주기에 따른 증발산속도를 나타낸 것이다. 전체적으로 상대적인 약광하에서 접목묘의 증발산속도는 강광 조건에 비해서  $3 \sim 13\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  정도 낮게 나타났으나, 광주기의 영향은 강광 처리의 경우와 유사하게 나타났다. 한편,  $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 약광하에서 광주기가 각각  $24\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 와  $18\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 일 때 명기에서의 증발산속도는 거의 동일하게

나타났다. 이로 말미암아 약광하에서 접목묘의 증발산속도에 미치는 광주기의 영향은 강광 조건에 비해서 작음을 알 수 있다.

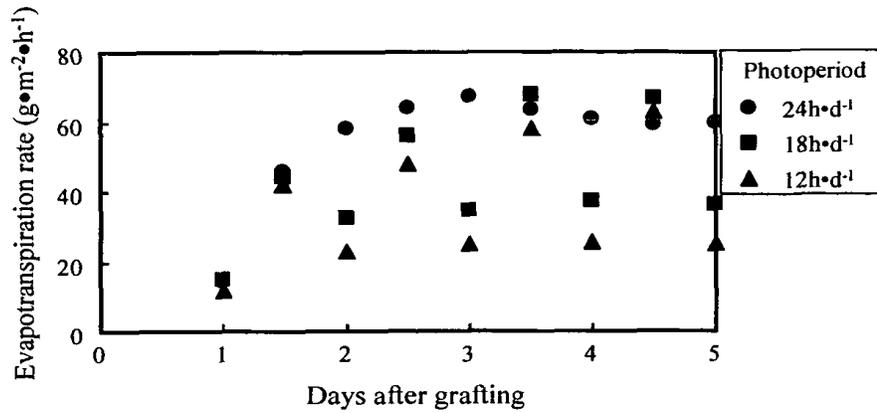


그림 43. 광주기에 따른 접목묘의 증발산속도  
(광합성유효광량자속  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )

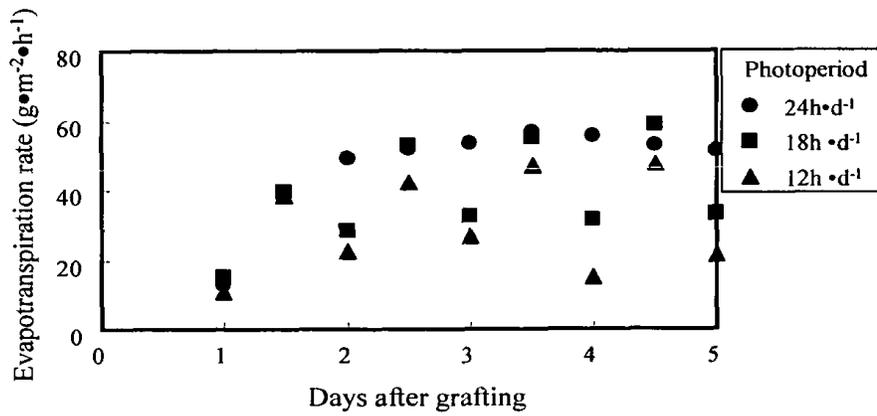


그림 44. 광주기에 따른 접목묘의 증발산속도  
(광합성유효광량자속  $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )

그림 43과 그림 44로부터 광주기가 증가할수록 접목묘의 증발산속도가 증가함을 알 수 있다. 이것은 인공광의 조명시간에 따라 접목묘의 증발산속도에 차이가 나타남을 암시하는 것이다. 강광조건에서  $24\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 명기 즉, 연속조명이 이루어질 때 접목묘의 증발산속도는 명기가 각각  $18\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ ,  $12\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 으로 유지되는 조건에 비해서 접목 후 3~4일 동안 높게 나타났다. 한편 약광하에서 광주기가 접목묘의 증발산속도에 미치는 영향은 강광하의 경우와 유사하게 나타났다. 약광하에서 광주기가 각각  $24\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 와  $18\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 인 경우 명기에서의 증발산속도는 거의 동일하게 나타났다. 이로 말미암아 약광하에서 접목묘의 증발산속도에 미치는 광주기의 영향은 강광 조건에 비해서 작음을 알 수 있다.

#### 나. 접목묘의 활착에 미치는 광주기의 영향

접목묘의 활착율에 미치는 광주기의 효과가 그림 45에 실려 있다. 활착율은 접목묘 가운데 인공광하에서 5일간의 활착 기간 동안에 건묘로서 활착된 묘가 차지하는 비율을 의미한다. 접목묘의 성공적인 활착 여부를 결정할 때 접수와 대목의 결합이 원활하게 이루어지지 않거나, 접수에 위조가 나타난 접목묘는 배제하였다. 광합성유효광량자속이  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 를 유지할 때 광주기  $12\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ ,  $18\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ ,  $24\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 에 따른 각각의 활착율은 92%, 96%, 98%로 나타났으며, 광합성유효광량자속이  $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 를 유지하는 조건에서 광주기  $12\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ ,  $18\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ ,  $24\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 에 따른 활착율은 각각 88%, 100%, 96%로 나타났다. 한편 광주기가  $24\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 유지된 환경하에서 활착된 접목묘의 접수는 암기가 포함된 환경하에서 활착된 접목묘에 비해서 외관상 활력이 다소 처지는 것으로 나타났다.

이와 같은 결과로부터 명기시간이 증가할수록 접목묘의 활착율은 증가하였으나, 증가 정도가 그다지 높지 않음을 알 수 있다. 이러한 결과는 명기시간이 접목묘의 증발산속도에 미치는 효과와 함께 인공광을 이용한 접목묘의 활착 단계에서 에너지의 절감 방안을 제시해주는 것으로 판단된다. 일반적으로 인공광을 이용한 묘의 생산 단계에서 소요전력량의 상당 부분이 조명기구에 의한 소비전력으로 알려져 있다. 그러므

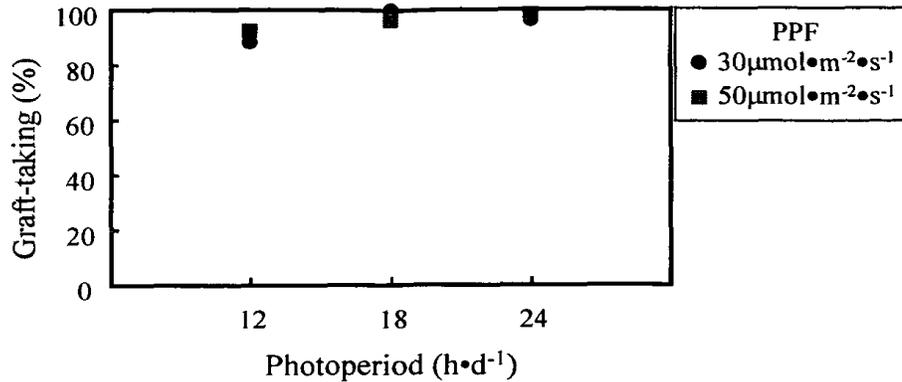


그림 45. 광주기와 광합성유효광량자속에 따른 접목묘의 활착율

로 조명기구가 소비하는 전력을 절감시키는 것은 인공광을 이용한 활착실의 개발에서 주요 과제에 해당한다.

인공광하에서 접목묘의 증발산 특성에 미치는 광주기의 효과를 구명한 결과, 접목묘의 증발산속도는  $24\text{h} \cdot \text{d}^{-1} > 18\text{h} \cdot \text{d}^{-1} > 12\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 순서로 나타났다. 한편 광주기가 클수록 접목묘의 활착율은 증가하였으나 활착율에 미치는 광주기의 영향이 그다지 크지 않은 바, 상대적으로 짧은  $12\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 광주기에서도 접목묘의 활착은 충분한 것으로 판단된다. 이러한 결과는 광주기가 접목묘의 증발산속도에 미치는 효과와 더불어 인공광을 이용한 접목묘의 활착 단계에서 소비에너지의 절감 가능성을 제시해주는 것이다. 즉 명기가 짧을수록 조명기구가 소비하는 전력이 작게되므로, 에너지의 절감 효과가 기대된다. 그림 46은 광주기와 광합성유효광량자속을 달리한 가운데 5일 동안 활착된 접목묘를 나타낸 것이다. 광량과 광주기가 클수록 접수의 배축 길이가 짧게된 것을 제외하면 접목묘의 활착 상태, 지상부와 지하부의 생육에 차이가 없음을 알 수 있다.



(a) 12/12h,  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$



(c) 18/6h,  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$



(e) 24/0h,  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$



(b) 12/12h,  $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$



(d) 18/6h,  $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$



(f) 24/0h,  $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

46.

#### 4. 접목묘의 증발산속도와 활착에 미치는 광량, 기온, 상대습도 및 기류속도의 영향

접목묘의 증발산속도에 미치는 미기상 요소의 영향을 구명하고자 기온 4수준( $23^{\circ}\text{C}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $27^{\circ}\text{C}$ ,  $29^{\circ}\text{C}$ ), 상대습도 3수준(85%, 90%, 95%), 광강도 2수준( $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), 기류속도 2수준( $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $0.25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )을 설정하였다. 표 21은 본 연구에서 수행된 접목묘의 활착 조건을 나타낸 것이다. 2수준의 광강도를 설정하는 데 필요한 광원으로 3과장 형광등(FL20SEX-D/18, Keumho Electric Co.)을 사용하였다.

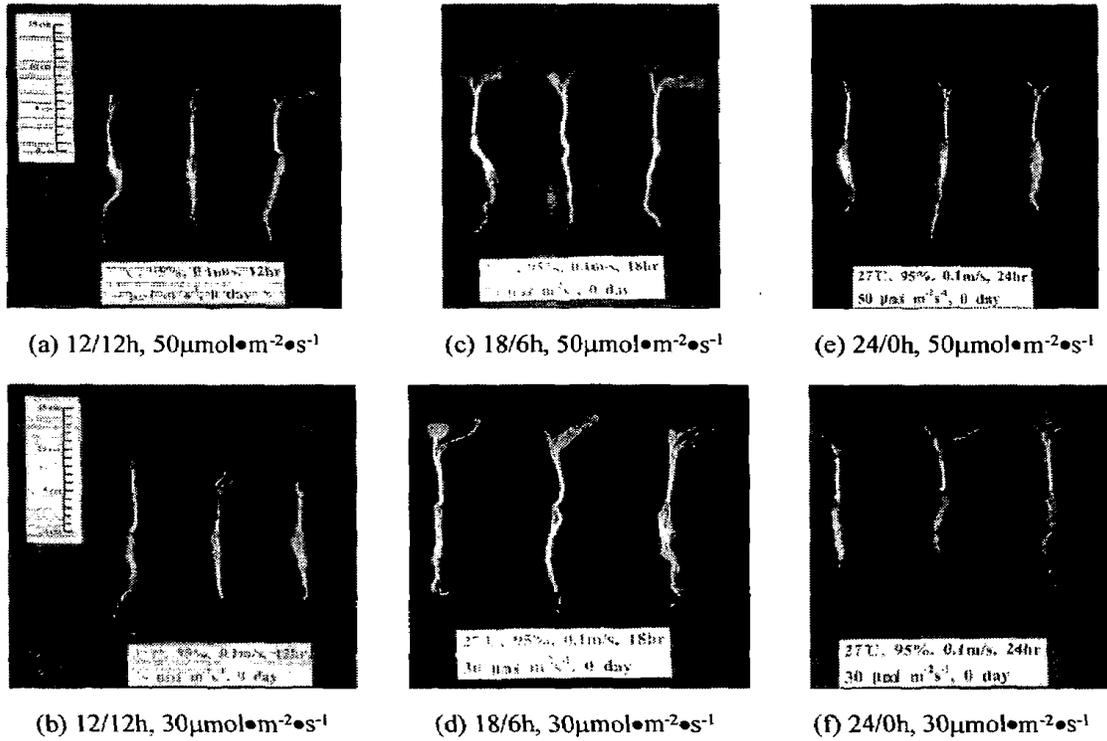


그림 46. 광주기와 광합성유효광량자속에 따른 접목묘의 활착 상태

#### 4. 접목묘의 증발산속도와 활착에 미치는 광량, 기온, 상대습도 및 기류속도의 영향

접목묘의 증발산속도에 미치는 미기상 요소의 영향을 구명하고자 기온 4수준( $23^{\circ}\text{C}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $27^{\circ}\text{C}$ ,  $29^{\circ}\text{C}$ ), 상대습도 3수준(85%, 90%, 95%), 광강도 2수준( $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), 기류속도 2수준( $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $0.25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )을 설정하였다. 표 21은 본 연구에서 수행된 접목묘의 활착 조건을 나타낸 것이다. 2수준의 광강도를 설정하는 데 필요한 광원으로 3파장 형광등(FL20SEX-D/18, Keumho Electric Co.)을 사용하였다.

표 21. 접목묘의 활착 환경 조건

처리	환경 조건	광원
TA111	기온 : 23℃, 상대습도 : 85% PPF : 30 $\mu$ mol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> , 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	냉백색 3과장 형광등
TA112	기온 : 23℃, 상대습도 : 85% PPF : 50 $\mu$ mol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> , 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"
TA121	기온 : 23℃, 상대습도 : 90% PPF : 30 $\mu$ mol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> , 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"
TA122	기온 : 23℃, 상대습도 : 90% PPF : 50 $\mu$ mol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> , 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"
TA131	기온 : 23℃, 상대습도 : 95% PPF : 30 $\mu$ mol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> , 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"
TA132	기온 : 23℃, 상대습도 : 95% PPF : 50 $\mu$ mol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> , 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"
TA211	기온 : 25℃, 상대습도 : 85% PPF : 30 $\mu$ mol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> , 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"
TA212	기온 : 25℃, 상대습도 : 85% PPF : 50 $\mu$ mol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> , 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"
TA221	기온 : 25℃, 상대습도 : 90% PPF : 30 $\mu$ mol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> , 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"
TA222	기온 : 25℃, 상대습도 : 90% PPF : 50 $\mu$ mol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> , 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"
TA231	기온 : 25℃, 상대습도 : 95% PPF : 30 $\mu$ mol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> , 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"
TA232	기온 : 25℃, 상대습도 : 95% PPF : 50 $\mu$ mol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> , 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"
TA311	기온 : 27℃, 상대습도 : 85% PPF : 30 $\mu$ mol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> , 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"
TA312	기온 : 27℃, 상대습도 : 85% PPF : 50 $\mu$ mol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> , 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"
TA321	기온 : 27℃, 상대습도 : 90% PPF : 30 $\mu$ mol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> , 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"
TA322	기온 : 27℃, 상대습도 : 90% PPF : 50 $\mu$ mol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> , 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"
TA331	기온 : 27℃, 상대습도 : 95% PPF : 30 $\mu$ mol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> , 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"
TA332	기온 : 27℃, 상대습도 : 95% PPF : 50 $\mu$ mol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> , 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"

표 21(계속)

처리	환경 조건	광원
TA411	기온 : 29℃, PPF : 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 85%, 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	냉백색 3과장 형광등
TA412	기온 : 29℃, PPF : 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 85%, 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"
TA421	기온 : 29℃, PPF : 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 90%, 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"
TA422	기온 : 29℃, PPF : 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 90%, 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"
TA431	기온 : 29℃, PPF : 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 95%, 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"
TA432	기온 : 29℃, PPF : 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 95%, 기류속도 : 0.1m · s <sup>-1</sup>	"
TB111	기온 : 23℃, PPF : 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 85%, 기류속도 : 0.25m · s <sup>-1</sup>	"
TB112	기온 : 23℃, PPF : 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 85%, 기류속도 : 0.25m · s <sup>-1</sup>	"
TB121	기온 : 23℃, PPF : 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 90%, 기류속도 : 0.25m · s <sup>-1</sup>	"
TB122	기온 : 23℃, PPF : 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 90%, 기류속도 : 0.25m · s <sup>-1</sup>	"
TB131	기온 : 23℃, PPF : 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 95%, 기류속도 : 0.25m · s <sup>-1</sup>	"
TB132	기온 : 23℃, PPF : 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 95%, 기류속도 : 0.25m · s <sup>-1</sup>	"
TB211	기온 : 25℃, PPF : 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 85%, 기류속도 : 0.25m · s <sup>-1</sup>	"
TB212	기온 : 25℃, PPF : 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 85%, 기류속도 : 0.25m · s <sup>-1</sup>	"
TB221	기온 : 25℃, PPF : 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 90%, 기류속도 : 0.25m · s <sup>-1</sup>	"
TB222	기온 : 25℃, PPF : 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 90%, 기류속도 : 0.25m · s <sup>-1</sup>	"
TB231	기온 : 25℃, PPF : 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 95%, 기류속도 : 0.25m · s <sup>-1</sup>	"
TB232	기온 : 25℃, PPF : 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 95%, 기류속도 : 0.25m · s <sup>-1</sup>	"

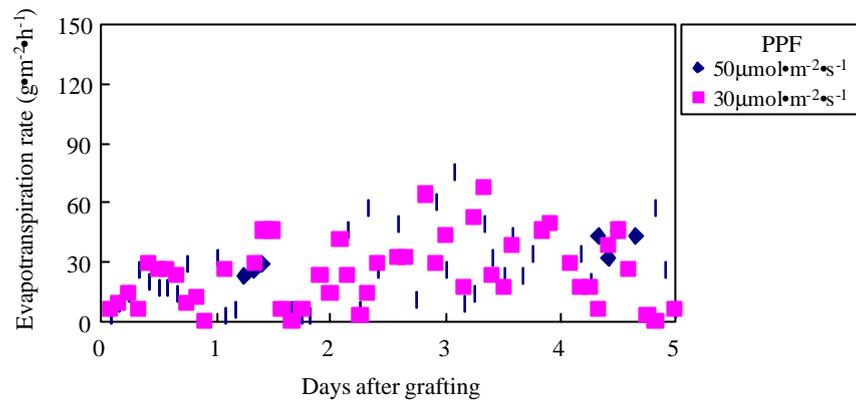
표 21(계속)

처리	환경 조건	광원
TB311	기온 : 27℃, PPF : 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 85% 기류속도 : 0.25 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	냉백색 3파장 형광등
TB312	기온 : 27℃, PPF : 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 85% 기류속도 : 0.25 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	"
TB321	기온 : 27℃, PPF : 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 90% 기류속도 : 0.25 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	"
TB322	기온 : 27℃, PPF : 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 90% 기류속도 : 0.25 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	"
TB331	기온 : 27℃, PPF : 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 95% 기류속도 : 0.25 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	"
TB332	기온 : 27℃, PPF : 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 95% 기류속도 : 0.25 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	"
TB411	기온 : 29℃, PPF : 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 85% 기류속도 : 0.25 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	"
TB412	기온 : 29℃, PPF : 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 85% 기류속도 : 0.25 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	"
TB421	기온 : 29℃, PPF : 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 90% 기류속도 : 0.25 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	"
TB422	기온 : 29℃, PPF : 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 90% 기류속도 : 0.25 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	"
TB431	기온 : 29℃, PPF : 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 95% 기류속도 : 0.25 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	"
TB432	기온 : 29℃, PPF : 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 상대습도 : 95% 기류속도 : 0.25 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	"

가. 접목묘의 증발산속도와 활착에 미치는 광강도의 영향

1) 접목묘의 증발산속도에 미치는 광강도의 영향

그림 47은 활착촉진장치 내의 기온, 상대습도 및 기류속도가 각각 23℃, 90%, 0.1  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  인 조건에서 상대적인 강광(PPF 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )과 약광(PPF 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )하에서 접목묘의 증발산속도 변화를 2시간 간격으로 측정한 결과이다. 접목 초기에 기류의 순환이 과도하게 이루어지면 접수와 대목의 원활한 결합 대신에 접목묘에 물



47.  
( 23°C, 90%, 0.1m·s<sup>-1</sup>)

리적인 스트레스를 가하게 되는 바 최초 암기에는 기류의 순환이 이루어지 않도록 접목 직후 24시간 동안 암조건을 유지하였다. 접목 후 24시간의 암기동안 활착촉진장치 내의 기류속도는 평균 0.1m·s<sup>-1</sup>의 기류속도를 유지하였는데, 이 시기에 접목묘의 증발산속도는 30g·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> 이하로 낮게 나타났다. 24시간의 암기가 종료됨과 동시에 12시간 간격으로 형광등을 점등하였다. 명기 개시와 함께 접목묘의 증발산속도가 30~46g·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> 정도로 나타났으며, 접목 후 3일이 경과한 시기에 증발산속도는 63~80g·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> 정도로 증가하였다.

증발산속도의 증가는 접수와 대목의 통도조직을 통한 수분의 이동이 이루어진 결과로서 접수와 대목의 통도조직이 서서히 결합됨을 의미하는 것이다. 한편 광강도에 따른 증발산속도의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

그림 48은 활착실 내의 기온, 상대습도 및 기류속도가 각각 29°C, 90%, 0.1m·s<sup>-1</sup> 일 때 상대적인 강광(50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )과 약광(30 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 조건하에서 접목묘의 증발산속도 변화를 나타낸 것이다. 그림 12에서와 마찬가지로 상대적인 강광 조건에서 증발산속도가 다소 크게 나타나는 경향을 보였으나, 그 차이는 미약하였다. 기온이 2

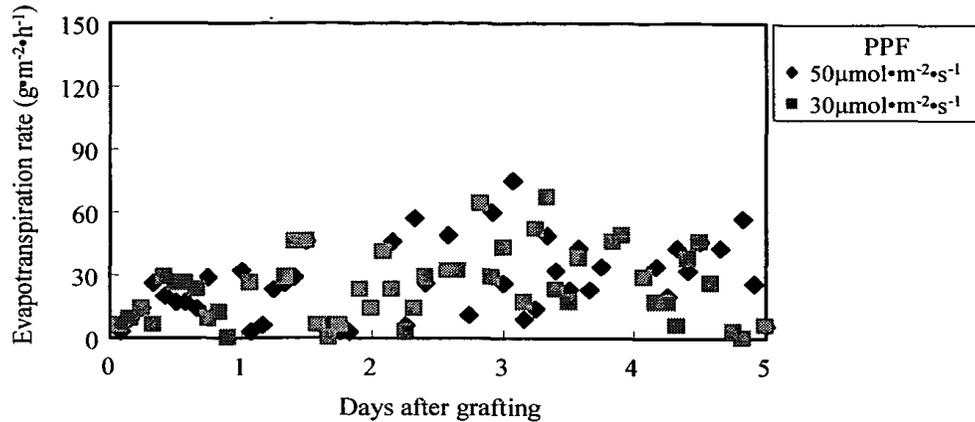


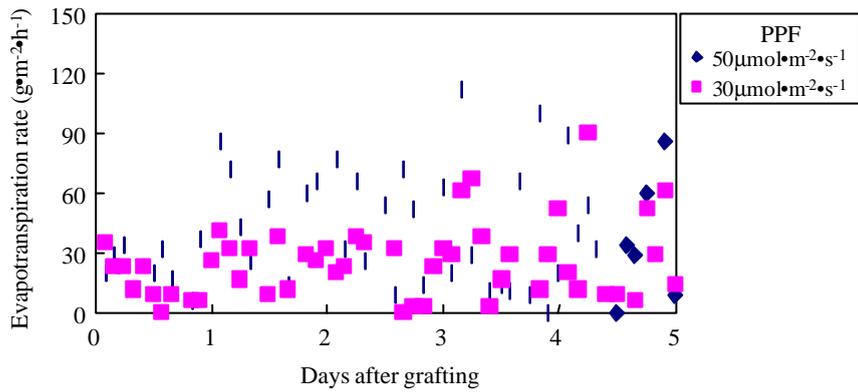
그림 47. 광합성유효광량자속에 따른 접목묘의 증발산속도 (기온 23°C, 상대습도 90%, 기류속도 0.1m·s<sup>-1</sup>)

리적인 스트레스를 가하게 되는 바 최초 암기에는 기류의 순환이 이루어지 않도록 접목 직후 24시간 동안 암조건을 유지하였다. 접목 후 24시간의 암기동안 활착촉진장치 내의 기류속도는 평균 0.1m·s<sup>-1</sup>의 기류속도를 유지하였는데, 이 시기에 접목묘의 증발산속도는 30g·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> 이하로 낮게 나타났다. 24시간의 암기가 종료됨과 동시에 12시간 간격으로 형광등을 점등하였다. 명기 개시와 함께 접목묘의 증발산속도가 30~46g·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> 정도로 나타났으며, 접목 후 3일이 경과한 시기에 증발산속도는 63~80g·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> 정도로 증가하였다.

증발산속도의 증가는 접수와 대목의 통도조직을 통한 수분의 이동이 이루어진 결과로서 접수와 대목의 통도조직이 서서히 결합됨을 의미하는 것이다. 한편 광강도에 따른 증발산속도의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

그림 48은 활착실 내의 기온, 상대습도 및 기류속도가 각각 29°C, 90%, 0.1m·s<sup>-1</sup> 일 때 상대적인 강광(50μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)과 약광(30μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>) 조건하에서 접목묘의 증발산속도 변화를 나타낸 것이다. 그림 12에서와 마찬가지로 상대적인 강광 조건에서 증발산속도가 다소 크게 나타나는 경향을 보였으나, 그 차이는 미약하였다. 기온이 2

3℃의 경우와 비교할 때 명기의 개시와 더불어 접목묘의 증발산속도가 증가하는 경향이 29℃의 강광 조건에서 분명하게 나타났다. 결국 상대습도, 광강도 및 기류속도가 동일할 때 저온(23℃)에 비해서 고온(29℃)에서 접목묘의 통도조직이 왕성하게 결합되고, 이로 말미암아 접목묘의 증발산속도가 높게 나타난 것으로 판단된다.



48.  
( 29℃, 90%, 0.1m·s<sup>-1</sup>)

## 2) 접목묘의 활착에 미치는 광강도의 영향

상대습도와 기류속도가 각각 90%, 0.1m·s<sup>-1</sup>로 제어될 때 처리 TA121(기온 23℃, PPF 30μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>), TA122(기온 23℃, PPF 50μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>), TA421(기온 29℃, PPF 30μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>) 및 TA422(기온 29℃, PPF 50μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)에서 활착된 접목묘의 활착율이 그림 49에 실려 있다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 각각의 처리에서 활착율은 98~100%로 매우 높게 나타났다. 그러므로 광합성유효광량자속 30μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>와 50μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>에서 활착율에 미치는 광강도의 영향은 거의 없는 것으로 판단된다.

3℃의 경우와 비교할 때 명기의 개시와 더불어 접목묘의 증발산속도가 증가하는 경향이 29℃의 강광 조건에서 분명하게 나타났다. 결국 상대습도, 광강도 및 기류속도가 동일할 때 저온(23℃)에 비해서 고온(29℃)에서 접목묘의 통도조직이 왕성하게 결합되고, 이로 말미암아 접목묘의 증발산속도가 높게 나타난 것으로 판단된다.

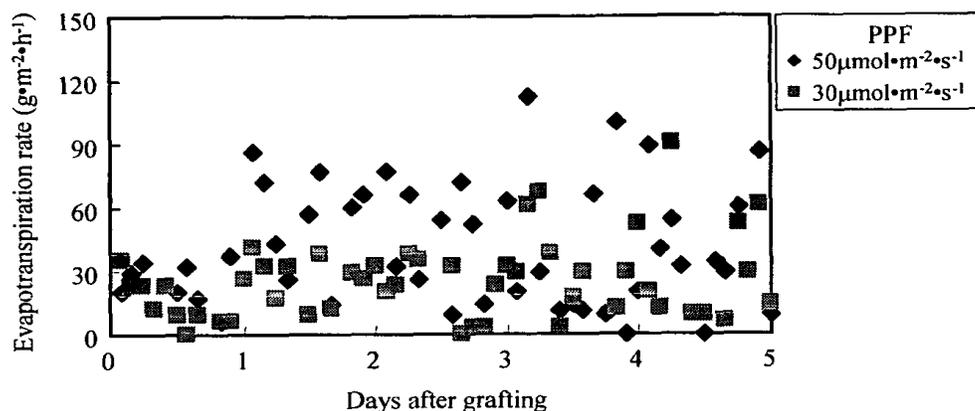


그림 48. 광합성유효광량자속에 따른 접목묘의 증발산속도 (기온 29℃, 상대습도 90%, 기류속도 0.1m·s<sup>-1</sup>)

## 2) 접목묘의 활착에 미치는 광강도의 영향

상대습도와 기류속도가 각각 90%, 0.1m·s<sup>-1</sup>로 제어될 때 처리 TA121(기온 23℃, PPF 30μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>), TA122(기온 23℃, PPF 50μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>), TA421(기온 29℃, PPF 30μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>) 및 TA422(기온 29℃, PPF 50μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)에서 활착된 접목묘의 활착율이 그림 49에 실려 있다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 각각의 처리에서 활착율은 98~100%로 매우 높게 나타났다. 그러므로 광합성유효광량자속 30μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>와 50μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>에서 활착율에 미치는 광강도의 영향은 거의 없는 것으로 판단된다.

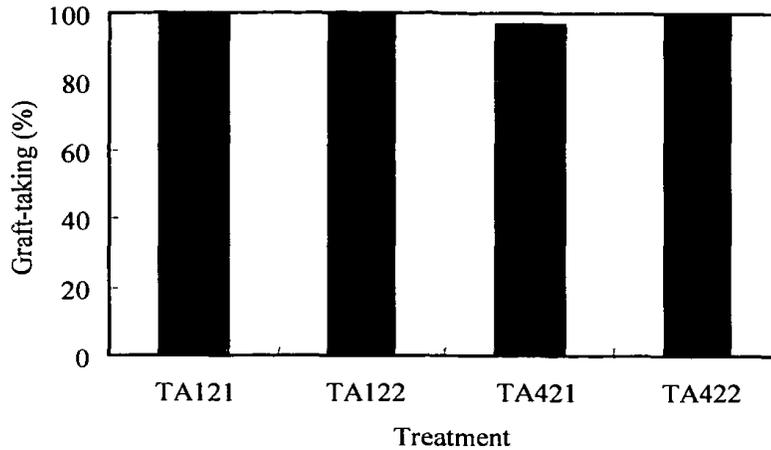


그림 49. 기온과 광합성유효광량자속에 따른 접목묘의 활착을 비교 (상대습도 90%, 기류속도  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

나. 접목묘의 증발산속도와 활착에 미치는 기온과 상대습도의 영향

1) 접목묘의 증발산속도에 미치는 기온의 영향

상대습도, 광합성유효광량자속 및 기류속도가 각각 95%,  $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  인 조건에서 접목묘의 증발산속도에 미치는 기온의 효과가 그림 50에 실려 있다. 접목묘의 증발산속도는 기온과 접목 후 경과된 일수가 증가함에 따라 증가하였는데, 이러한 결과는 명기에서 분명하게 나타났다. 접목 후 초기 24시간이 경과하면서부터 개시되는 명기에서의 증발산속도는 기온에 따라 차이를 갖는 것으로 나타났다. 즉 기온이  $23^{\circ}\text{C}$  일 때의 증발산속도는 약  $16\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  이나,  $29^{\circ}\text{C}$  에서의 증발산속도는 약  $43\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  로서 2.7배 높게 나타났다. 표 22에서 살펴본 바와 같이 기온이 높아지면 포차는 증가한다. 포차가 증가하여 증산량이 증가하면 엽내 수분이 감소하고, 이에 따라 기공개도가 작아진다. 한편, 증산량이 줄어들어 엽내 수분이 회복되면서 수분이 많아지면 기공개도는 커진다. 그러므로 포차가 클 경우 기공개도는 시간에 따라 변화하는 주기운동의 형태를 갖게 된다(矢吹, 1985). 그런데 그림 50의 경우 기온이 증가할수록 증발산속도가 높게 나타났는데, 이것은 상대습도가 95%의 경우로서 이러한 조건

에서 포차는 0.14~0.2kPa의 낮은 수준에 불과하여 포차에 따른 기공개도의 변화가 크지 않았기 때문인 것으로 판단된다. Nobuoka et al.(1996)은 기공개도의 증가와 엽온의 상승으로 인하여 접목묘의 증발산속도가 증가한다고 보고하였다. 그러므로 상대습도와 광합성유효광량자속이 각각 95%,  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 유지되는 조건에서 기온의 증가에 따라 증발산속도가 높게 나타난 것은 기공개도의 증가에 의한 영향보다 엽온의 상승에 따른 결과로 판단된다. 엽온이 상승하면 엽의 수증기압이 높아져 증산속도가 증가한다. 한편 접목 직후 암기에서의 증발산속도는  $6.5\sim 14.8\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 로서 명기의 증발산속도에 비해서 약  $\frac{1}{2}$  수준에 불과하였다. 광합성유효광량자속이  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 인 조건에서 접목묘의 증발산속도에 미치는 기온의 효과는 광합성유효광량자속이  $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 인 경우와 유사하게 나타났다(그림 51). 이밖에 상대습도가 각각 90%, 85%를 유지할 때 증발산속도에 미치는 기온과 광합성유효광량자속의 효과가 그림 52~그림 55에 실려 있다.

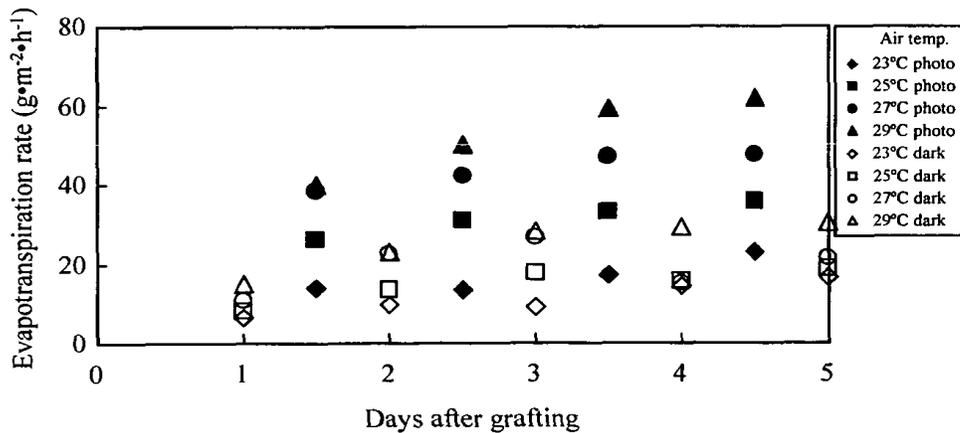


그림 50. 기온에 따른 접목묘의 증발산속도 변화  
(상대습도 95%, 광합성유효광량자속  $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  
기류속도  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

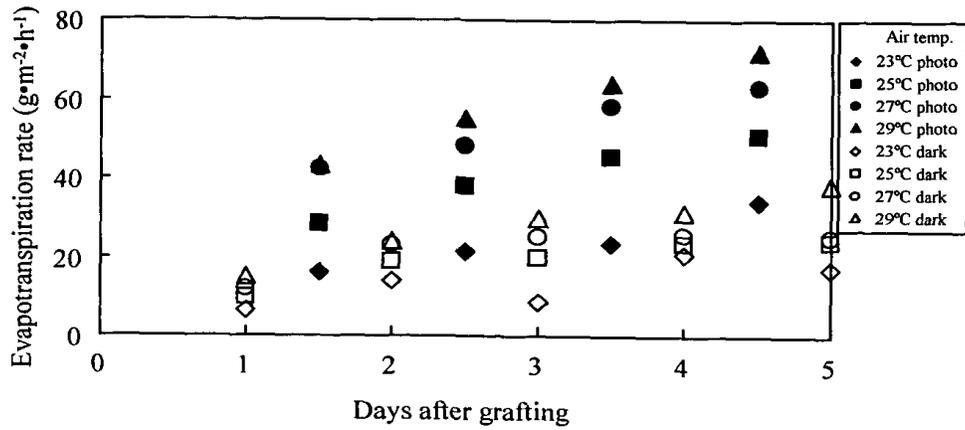


그림 51. 기온에 따른 접목묘의 증발산속도 변화  
(상대습도 95%, 광합성유효광량자속  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  
기류속도  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

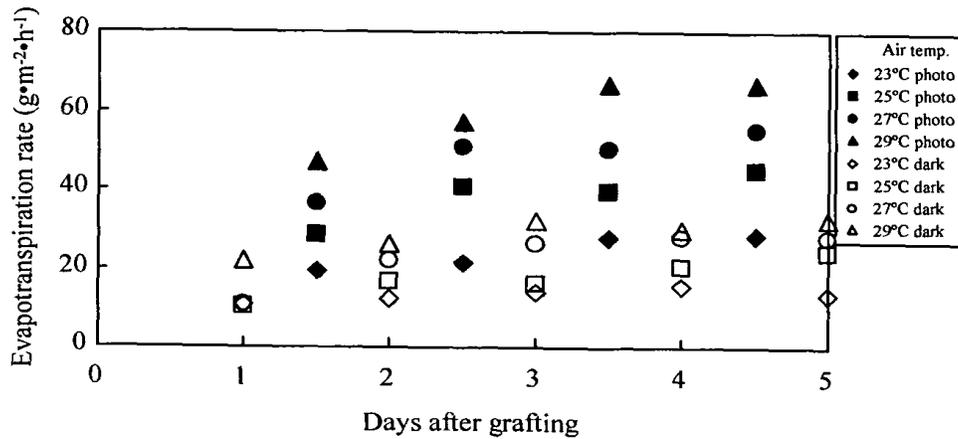


그림 52. 기온에 따른 접목묘의 증발산속도 변화  
(상대습도 90%, 광합성유효광량자속  $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  
기류속도  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

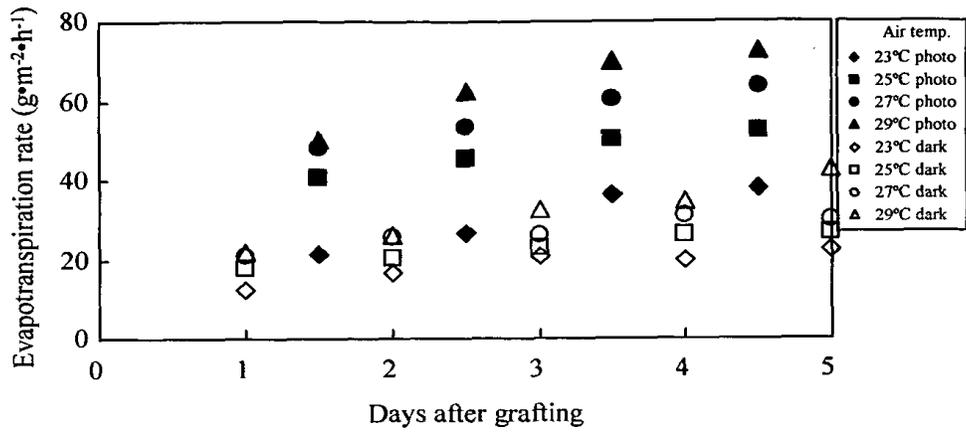


그림 53. 기온에 따른 접목묘의 증발산속도 변화  
(상대습도 90%, 광합성유효광량자속  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  
기류속도  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ .)

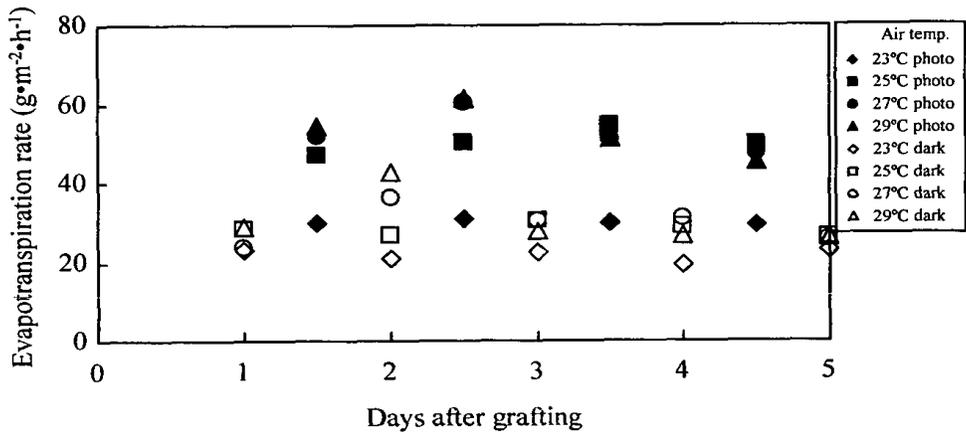


그림 54. 기온에 따른 접목묘의 증발산속도 변화  
(상대습도 85%, 광합성유효광량자속  $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  
기류속도  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ .)

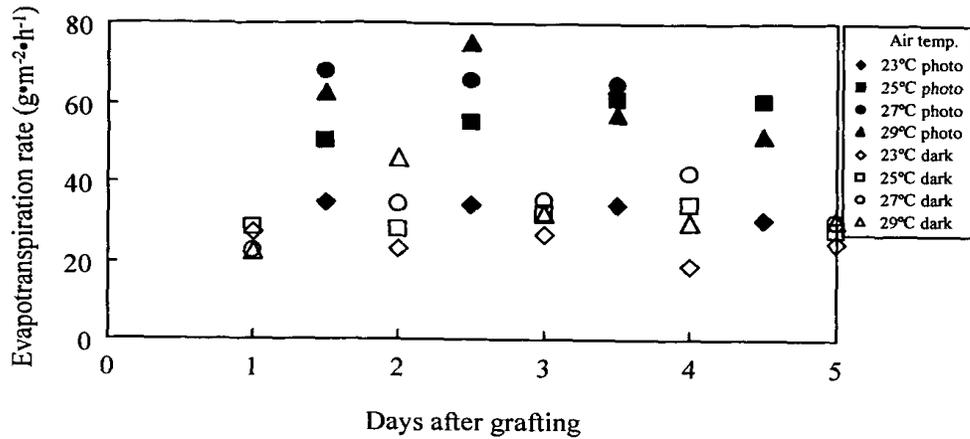


그림 55. 기온에 따른 접목묘의 증발산속도 변화  
(상대습도 85%, 광합성유효광량자속  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  
기류속도  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

## 2) 접목묘의 증발산속도에 미치는 상대습도의 영향

그림 56과 그림 57은 기온이 27°C를 유지할 때 상대습도가 접목묘의 증발산속도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 그림으로부터 상대습도가 상대적으로 낮게 유지될 때 증발산속도가 높게 나타남을 알 수 있다. 즉 상대습도가 85%인 조건에서 증발산속도가 약  $16\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 로서 다른 처리에 비해서 높게 나타났으나, 접목 후 경과된 시간에 따라 증발산속도가 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 Nobuoka et al.(1996)의 결과에서도 유사하게 나타났다. 이로 말미암아 접수의 위조가 관찰되었다. 이것은 대목과 접수가 완전하게 결합되지 않아 접수의 유관속으로 수분의 공급이 충분하게 이루어지지 않은 가운데 증발산속도가 높게 나타났기 때문인 것으로 판단된다. 한편 상대습도가 90% 이상을 유지하는 조건에서 명기에서의 증발산속도는 85%의 경우와 다르게 계속하여 증가하는 것으로 나타났으나, 상대습도가 90%와 95%에서 증발산속도의 차이는 미약하게 나타났다.

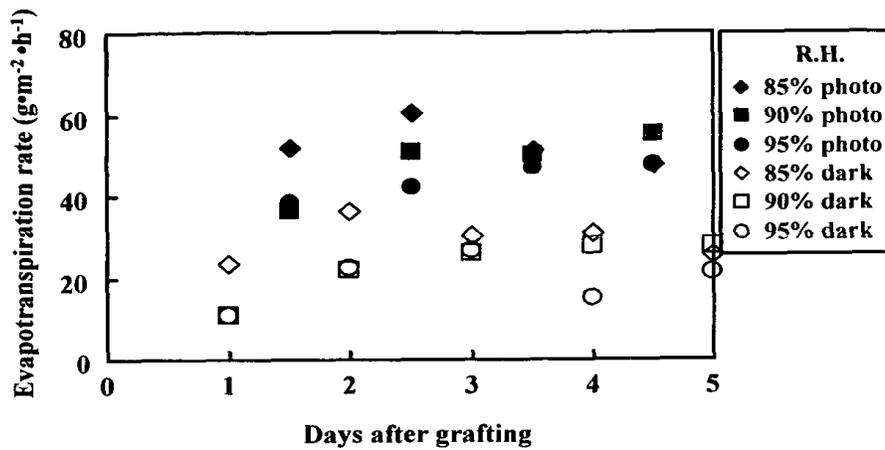


그림 56. 상대습도에 따른 접목묘의 증발산속도  
(기온 27°C, 광합성유효광량자속 30 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  
기류속도 0.1 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

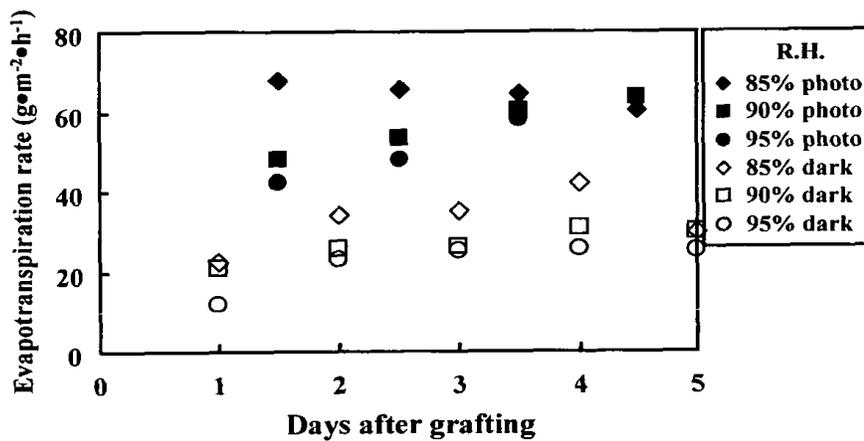
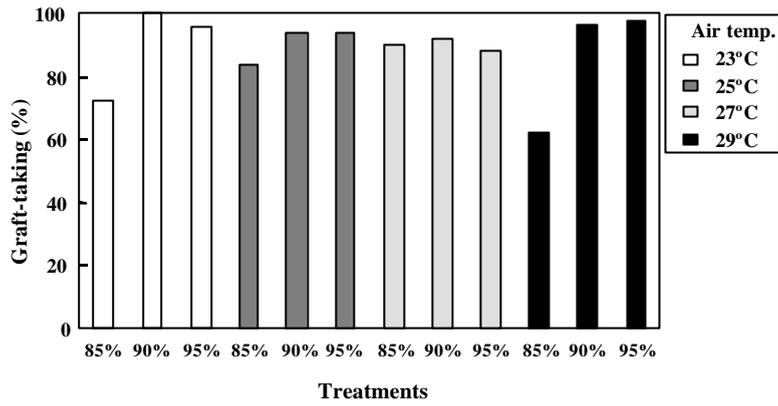


그림 57. 상대습도에 따른 접목묘의 증발산속도  
(기온 27°C, 광합성유효광량자속 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  
기류속도 0.1 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

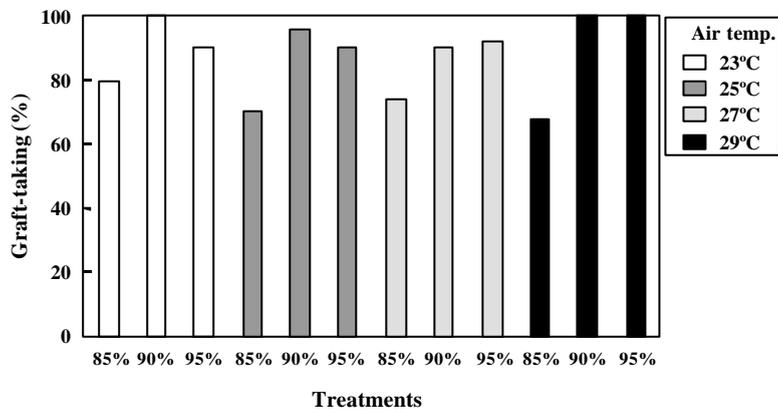
### 3) 접목묘의 활착에 미치는 기온과 상대습도의 영향

그림 58과 그림 59는 본 연구의 처리 조건에 따른 접목묘의 활착율을 비교하여 나타낸 것이다. 기온에 따른 활착율은 27°C의 처리에서 다소 낮게 나타난 것을 제외하

면 처리에 따른 효과가 작게 나타났다. 27℃의 처리에서 활착율이 다소 나타난 것은 다른 처리에서와 다르게 접목 직후 접수에서 위조현상이 관찰되었는데, 접수와 대목의 결합이 제대로 이루어지지 않아 접수의 유관속으로 수분의 공급이 충분하게 이루어



58. ( $30\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )



59. ( $50\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )

면 처리에 따른 효과가 작게 나타났다. 27°C의 처리에서 활착율이 다소 나타난 것은 다른 처리에서와 다르게 접목 직후 접수에서 위조현상이 관찰되었는데, 접수와 대목의 결합이 제대로 이루어지지 않아 접수의 유관속으로 수분의 공급이 충분하게 이루어

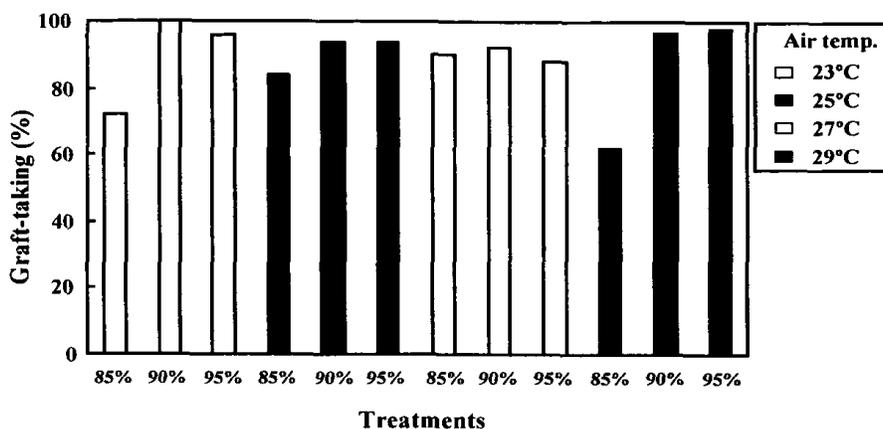


그림 58. 상대습도와 기온에 따른 접목묘의 활착율 (광합성유효광량자속 30μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)

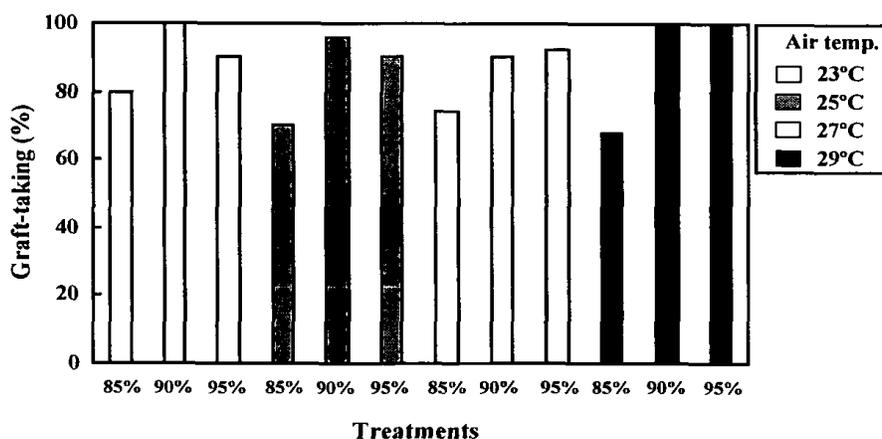


그림 59. 상대습도와 기온에 따른 접목묘의 활착율 (광합성유효광량자속 50μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)

어지지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

상대습도가 높을수록 활착율은 높았으며, 90% 이상으로 상대습도가 유지되는 조건에서 활착율은 기온과 무관하게 90% 이상으로 높게 나타났다. 그러므로 광합성유효광량자속과 기류속도가 각각  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 제어된 활착 조건에서 접목묘의 활착율에 미치는 환경 요소는 기온에 비해서 상대습도의 영향이 큰 것으로 판단된다.

#### 4) 접목묘의 활착에 미치는 포차의 영향

포차는 포화수증기압과 현재의 수증기압 차이로 정의된다. 본 연구에서 처리된 활착 조건에 따른 포차가 표 22에 실려 있다. 표 22로부터 기온이 증가할수록, 상대습도가 낮아질수록 포차가 증가함을 알 수 있다.

표 22. 활착조건에 따른 포차

기온 (°C)	상대습도 (%)	포차 (kPa)
23	85	0.42
23	90	0.28
23	95	0.14
25	85	0.48
25	90	0.32
25	95	0.16
27	85	0.54
27	90	0.36
27	95	0.18
29	85	0.60
29	90	0.40
29	95	0.20

포차가 접목묘의 활착율에 미치는 영향이 그림 60에 실려 있다. 그림 60으로부터 포차가 작으면 활착율이 높으나, 포차가 커지면 활착율이 낮아짐을 알 수 있다. 본 실

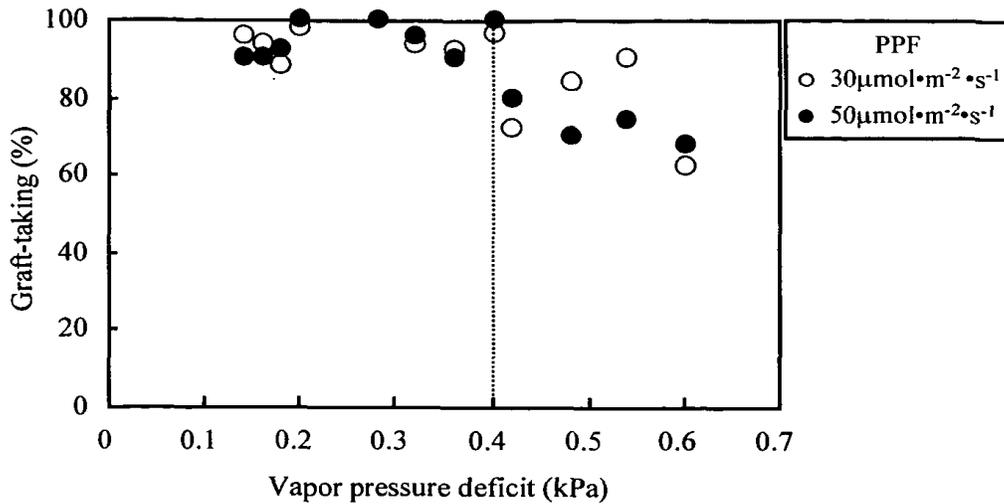


그림 60. 접목묘의 활착율과 포차의 관계

협에서 포차가 0.14~0.2kPa에 해당하는 조건, 즉 상대습도가 95%를 유지할 때 활착율은 93~100%로 높게 나타났다. 다음으로 포차가 0.28~0.4kPa에 해당하는 조건, 즉 상대습도가 90%를 유지할 때 활착율은 88~100%로서 상대습도가 95%를 유지하는 조건에 비해서 다소 작게 나타났으나 그 차이는 미약하였다. 한편, 포차가 0.24~0.26Pa에 해당하는 조건, 즉 상대습도가 85%를 유지할 때 활착율은 68~80%로서 다른 처리에 비해서 활착율이 매우 낮게 나타났다. 그러므로 포차가 0.4kPa 이하를 유지하는 조건에서 약 90% 이상의 활착율을 얻을 수 있으나, 포차가 0.4kPa 이상인 경우 활착율이 80% 이하로서 급격하게 저하되었다.

상기의 결과로부터 수박 접목묘의 증발산속도를 억제하면서 활착을 촉진하려면 상대습도의 효과적인 제어가 요구됨을 알 수 있다. 본 연구에서 처리된 기온과 상대습도에서 포차가 0.4kPa 이하로 나타나려면 상대습도가 적어도 90% 이상을 유지하여야 한다. 따라서 수박의 접목 초기에 증발산속도를 억제하여 접수의 위조를 방지하고, 활착율을 높이려면 상대습도를 최소한 90% 이상으로 조절해주는 것이 효과적이다.

다. 접목묘의 증발산속도와 활착에 미치는 기류속도의 영향

1) 접목묘의 증발산속도에 미치는 기류속도의 영향

그림 61은 활착실 내의 기온과 상대습도가 각각 25℃, 85%인 조건에서 기류속도와 광강도에 따른 접목묘의 증발산속도 변화를 나타낸 것이다. 활착실 내의 기류속도가 0.25m·s<sup>-1</sup>로 유지될 때 접목 후 2일째의 증발산속도는 61~67g·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>로서, 기류속도가 0.1m·s<sup>-1</sup>인 경우에 비해서 증발산속도가 약 1.5배 정도 높게 나타났으며, 이러한 결과는 약광(30μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)에 비해서 강광(50μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>) 조건에서 분명하게 나타났다. 접목 후 3일째로 들어서면서 증발산속도는 점차 감소하면서 기류속도가 0.1m·s<sup>-1</sup>인 경우와 비슷한 증발산 특성을 나타내었다. 그림 62와 그림 63은 활착실 내의 기온이 25℃이면서 상대습도가 각각 90%, 95%일 때 기류속도와 광강도에 따른 접목묘의 증발산속도 변화를 나타낸 것이다. 상대습도가 높게 유지될수록 증발산속도가 작게 나타났으나, 증발산속도에 미치는 기류속도의 영향은 유사하게 나타났다. 그러므로 접목묘의 증발산속도에 미치는 기류속도의 효과가 분명하게 존재함을 알 수 있다.

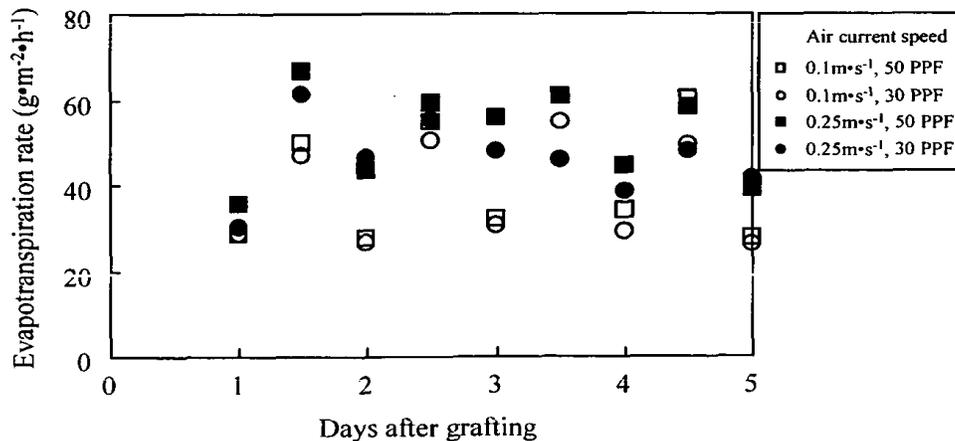


그림 61. 기류속도와 광합성유효광량자속에 따른 접목묘의 증발산속도 (기온 25℃, 상대습도 85%)

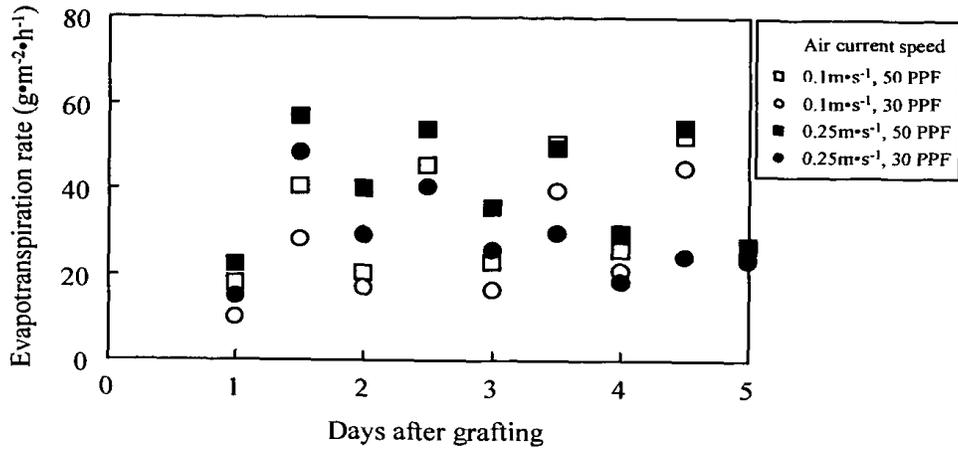


그림 62. 기류속도와 광합성유효광량자속에 따른 접목묘의 증발산속도 (기온 25°C, 상대습도 90%)

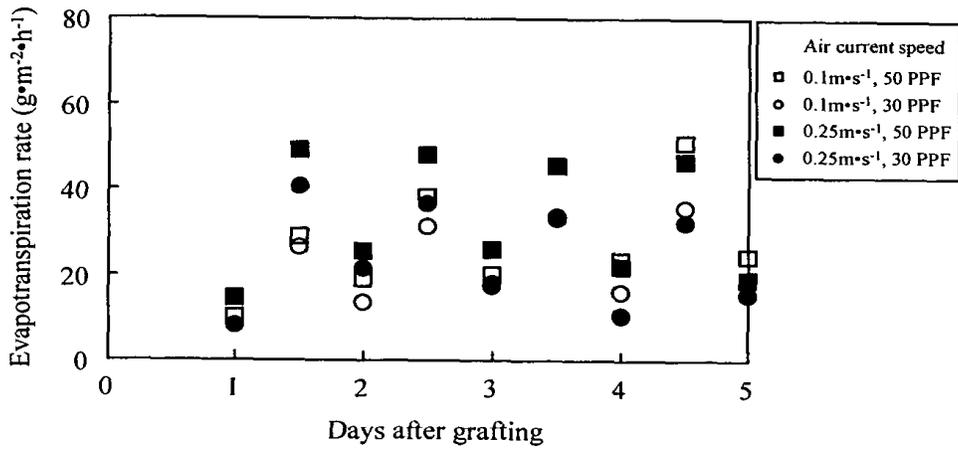


그림 63. 기류속도와 광합성유효광량자속에 따른 접목묘의 증발산속도 (기온 25°C, 상대습도 95%)

## 2) 접목묘의 활착에 미치는 기류속도의 영향

그림 64와 그림 65는 기온이 25℃로 제어되면서 광합성유효광량속이 약광( $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )과 강광( $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )일 때 기류속도와 상대습도에 따른 활착율을 비교하여 나타낸 것이다. 기류속도가  $0.25\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 를 유지할 때의 활착율은 기류속도가  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 제어되는 경우에 비해서 낮게 나타났다. 이러한 결과는 활착촉진장치 내의 상대습도가 85%로 낮게 제어된 조건에서 분명하게 나타났다. 상대습도가 낮을 때 접목묘 주변 공기의 포차가 커져 접목묘로부터의 증발산이 높게 이루어진다. 더구나 동일한 환경 조건에서 기류속도가 클 경우 증발산속도는 더욱 커진다. 상대습도가 85%로 제어되면서 기류속도가  $0.25\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 를 유지할 때 접목묘로부터 증발산이 과도하게 이루어져 접수와 대목의 결합이 원활하게 이루어질 수 없다. 그러므로 상기 조건에 해당하는 TB211, TB212의 처리에서 활착율이 40%로서 매우 낮게 나타남을 확인할 수 있다. 따라서 접목 후 활착 초기에 활착촉진장치 내의 기류속도는  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  이내로 유지하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

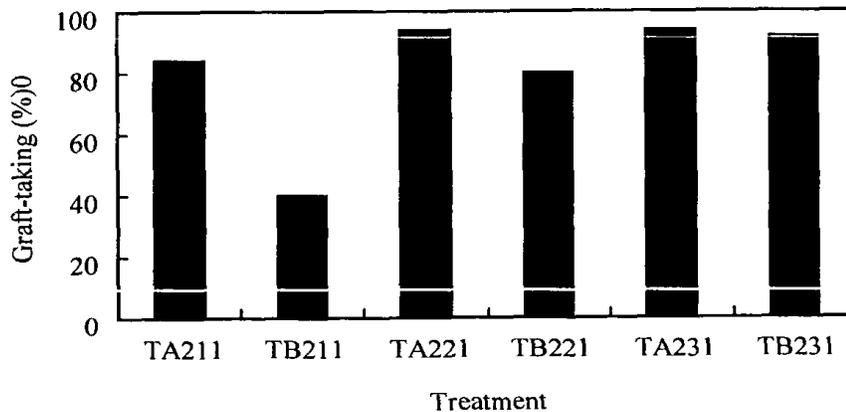


그림 64. 기류속도와 상대습도 처리에 따른 접목묘의 활착율 (기온 25℃, 광합성유효광량속  $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )

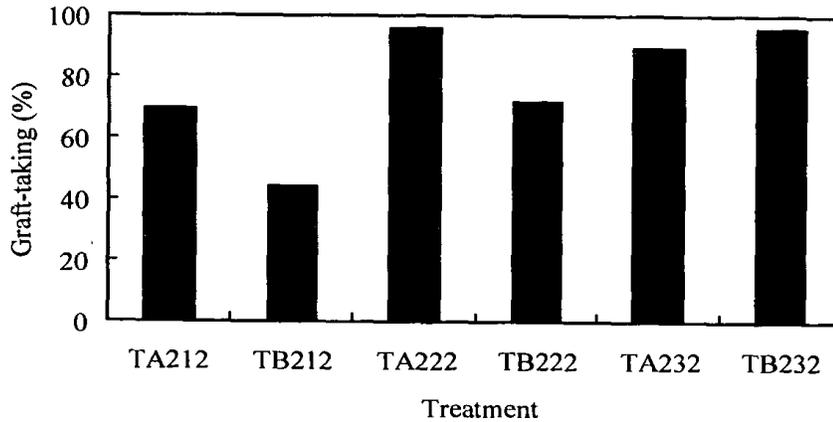


그림 65. 기류속도와 상대습도 처리에 따른 접목묘의 활착율 (기온 25°C, 광합성유효광량자속  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )

라. 상대습도의 계단식 감소가 접목묘의 증발산속도 및 활착율에 미치는 영향

이제까지의 연구 결과에서 접목묘의 활착율에 미치는 상대습도 3수준(85%, 90%, 95%)의 영향은 상대습도가 높을수록 활착율이 증가하는 것으로 나타났다. 한편 2수준 ( $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )의 광합성유효광량자속이 접목묘의 활착율에 미치는 효과는 그다지 높지 않게 나타났다. 한편 인공광하에서 활착된 접목묘는 정식 후의 환경에 대한 적응력을 높이고자 순화가 요구된다. 인공광하에서의 활착 환경을 순화가 이루어지는 환경과 비교하면 순화 환경에서의 상대습도가 낮고 광합성유효광량자속은 매우 높음을 알 수 있다. 그러므로 인공광하에서 활착된 접목묘의 순화 또는 정식 후의 환경에 대한 적응력을 높이려면 가능한 한 활착 단계에서 상대습도를 서서히 낮추고 광강도는 서서히 증가시키는 방안이 고려될 수 있다.

접목묘의 활착을 위한 초기 적정 조건으로 기온 27°C, 습도 90%, 광합성유효광량자속  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 광주기  $12\text{h}\cdot\text{d}^{-1}$ , 기류속도  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 가 제시된 바 있다. 그러므로 상기 조건에서 활착을 실시한 후 상대습도를 계단식으로 감소시키고 광강도를 계단식으로 증가시키는 것이 건묘 생산을 위한 효과적인 환경제어 방법으로 제시될 수

있다.

그러므로 본 연구에서는 상대습도의 계단식 감소가 접목묘의 증발산과 활착 특성에 미치는 영향을 구명하고자 다음과 같은 처리를 실시하였다. 표 23에서 마지막열의 숫자는 상대습도를 계단식으로 감소시킨 접목 후 경과된 일수를 의미한다. 모든 처리에서 기온과 기류속도는 각각  $27^{\circ}\text{C}$ ,  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 제어되었고, 광주기는 접목 후 최초 1 일간의 암기 후  $12\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 를 유지하였다.

표 23. 상대습도의 계단식 감소 처리

Code	Photosynthetic photon flux ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Relative humidity (%)	Remarks
PR11	50	95 → 85	1 day
PR12	50	95 → 85	2 days
PR13	50	90 → 85	1 day
PR21	75	95 → 85	1 day
PR22	75	95 → 85	2 days
PR23	75	90 → 85	1 day

광합성유효광량속이 각각  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $75\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  일 때 표 2의 처리에 따른 증발산 특성이 그림 66과 그림 67에 실려 있다. 초기 상대습도 95%에서 접목 후 2일째부터 상대습도를 85%로 낮춘 처리 PR11에서의 증발산속도는 약  $65\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 나타났다. 이와 같은 증발산속도는 활착기간 동안 상대습도를 95%로 일정하게 유지한 조건, 즉 처리 TA332에서의 증발산속도에 비해서 약 1.5배정도 높은 수준이다. 초기 상대습도 90%에서 접목 후 2일째부터 상대습도를 85%로 낮춘 처리 PR13에서의 증발산특성은 처리 PR11에서의 증발산 특성과 유사하게 나타났다. 이밖에 상대습도 95%에서 접목 후 3일째부터 상대습도를 85%로 낮춘 처리 PR12에서의 증발산속도는 2일째부터 상대습도를 낮춘 처리에 비해서 증발산속도가 낮게 나타났으나, 접목 후 경과된 일수에 따라 지속적으로 증가하였다. 한편 광합성유효광량속이  $75\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

일 때의 증발산 특성은  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  에 비해서 다소 높게 나타났으나, 전체적인 경향은 유사하였다.

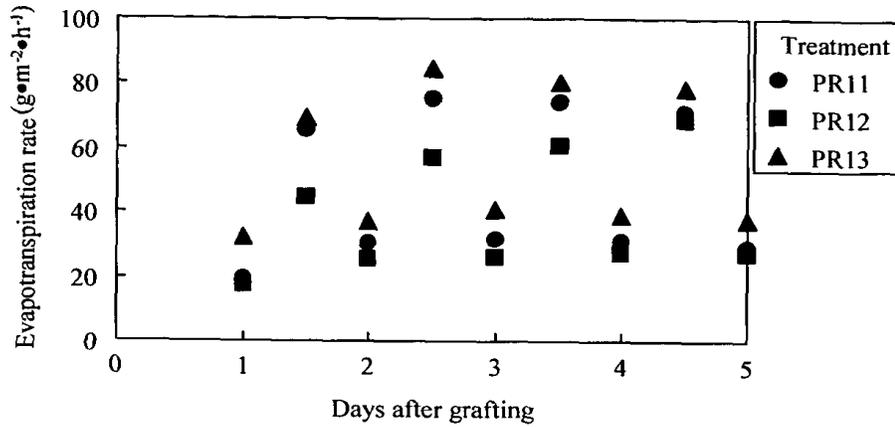


그림 66. 상대습도의 계단식 감소에 따른 접목묘의 증발산 속도 (기온  $27^{\circ}\text{C}$ , 광합성유효광량자속  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 기류속도  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

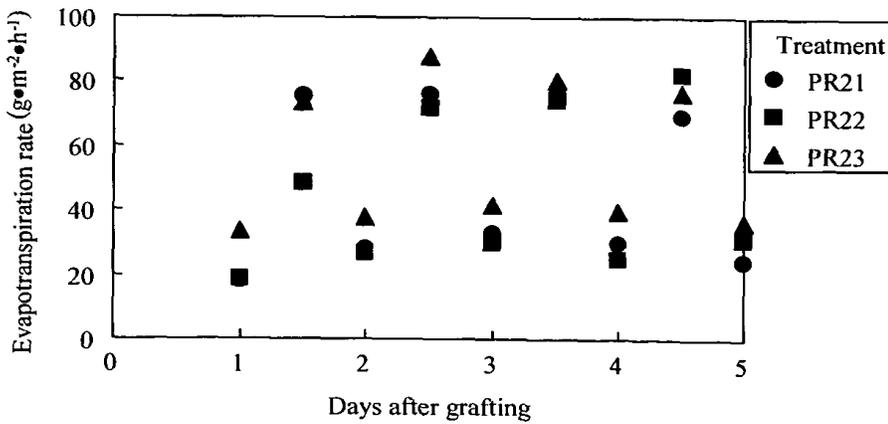


그림 67. 상대습도의 계단식 감소에 따른 접목묘의 증발산 속도 (기온  $27^{\circ}\text{C}$ , 광합성유효광량자속  $75\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 기류속도  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

그림 68은 상대습도의 계단식 감소 처리에 따른 접목묘의 활착율을 나타낸 것이다. 접목 후 2일째 또는 3일째에 상대습도를 95%→85%로 감소시켰을 때 PR12 처리를 제외하면 광강도에 상관없이 활착율은 96% 이상으로 매우 높게 나타났다. 한편 접목 후 2일째에 상대습도를 90%→85%로 감소시켰을 때  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $75\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 광합성유효광량자속에서의 활착율은 각각 88%, 72%로서 활착율이 저하되는 바, 접목 후 2일째에 상대습도를 감소시키는 조건은 피하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

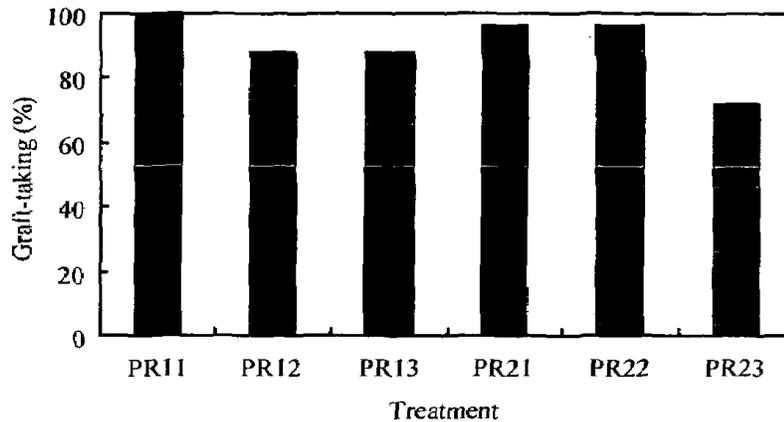


그림 68. 상대습도의 계단식 감소에 따른 접목묘의 활착율 (기온 27°C, 광주기 12d·h<sup>-1</sup>, 기류속도 0.1m·s<sup>-1</sup>)

상기 결과에서 알 수 있듯이 접목묘의 초기 활착 조건, 즉 기온 27°C, 습도 90%, 광합성유효광량자속  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 광주기 12h·d<sup>-1</sup>, 기류속도  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 활착을 실시한 후 접목 3일째부터 상대습도를 계단식으로 감소시키고 광량을 계단식으로 증가하도록 활착 환경을 제어하면 건묘 생산에 효과적일 것으로 판단된다.

접목 후 최초 24시간의 암조건을 포함한 3일 동안 상대습도를 95%로 유지하고, 나머지 2일간은 85%로 낮추어 제어하고, 광합성유효광량자속을 4수준( $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $75\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $125\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )으로 조절한 처리에서 상대습도

의 계단식 감소에 따른 접목묘의 활착율이 그림 69에 실려 있다. 이 경우 활착촉진장치 내의 기온, 기류속도 및 광주기는 각각  $27^{\circ}\text{C}$ ,  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $12\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 유지되었다. 광합성유효광량자속이 각각  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $75\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이고, 상대습도가 95%로서 높게 유지되는 동안에 접목묘의 활착율은 각각 98%, 92%로서 높게 나타났다. 한편, 광합성유효광량자속이 각각  $100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $125\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 인 경우의 활착율은 각각 76%, 66%로서 상대습도가 높게 유지될지라도 활착율이 낮게 나타났다. 접목 후 4일째부터 상대습도를 85%로 낮추자 모든 처리에서 활착율은 60~70%로서 급격하게 감소하였다. 이것은 상대습도의 급격한 감소에 따라 접목묘가 상당한 스트레스를 받은 결과로 해석된다. 실제로 상대습도를 낮게 제어한 후 접목묘의 접수에서 위조 현상이 많이 발생하였으며, 상당수의 접목묘가 고사되었다. 그러므로 현재까지의 연구 결과를 고려할 때 5일간의 활착 기간에 상대습도의 급격한 감소는 피하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

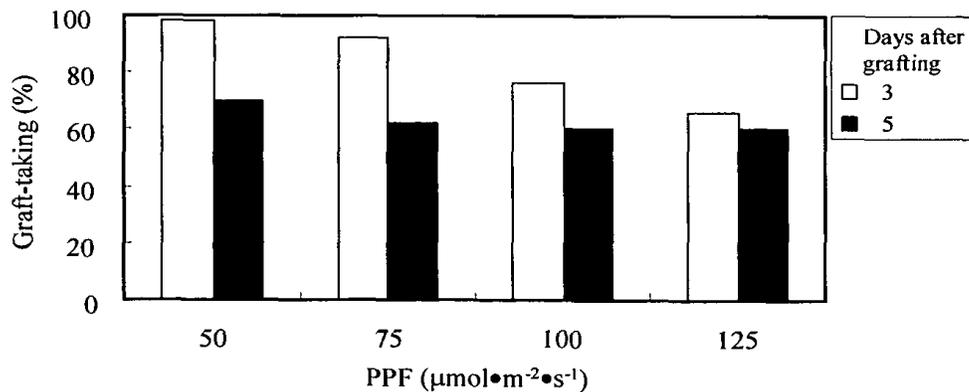
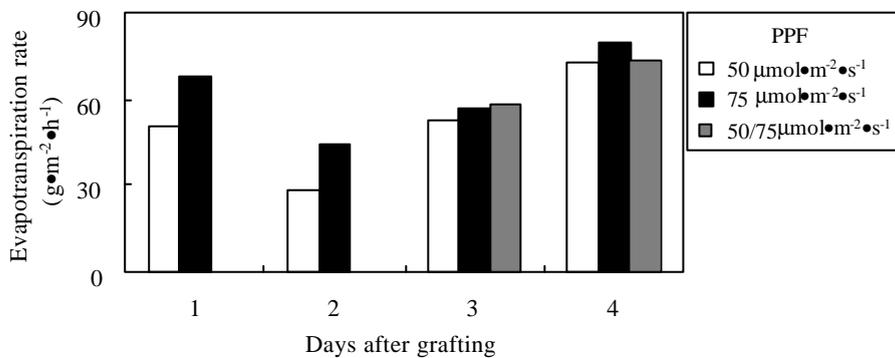


그림 69. 광합성유효광량자속과 접목 후 경과된 일수에 따른 접목묘의 활착율

다. 광강도의 계단식 증가가 접목묘의 증발산속도 및 활착율에 미치는 영향

그림 70은 광강도의 계단식 증가( $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \rightarrow 75\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )가 접목묘의 증발산속도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 이 실험에서 활착 단계의 기온, 상대습도, 기류속도 및 광주기는 각각  $27^\circ\text{C}$ , 90%,  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $12\text{h} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 유지되었으며, 접목묘는 24시간의 암조건을 거친 후 2일간  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 광합성유효광량자속으로부터  $75\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 증가된 조건에서 나머지 2일간 활착되었다. 광합성유효광량자속이 증가된 조건에서의 증발산속도는 각각  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $75\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 광량을 일정하게 유지한 경우와 유사하게 나타나, 광량의 계단식 증가가 접목묘의 증발산속도에 미치는 영향이 크지 않음을 알 수 있다. 한편, 광합성유효광량자속이 일정할 때  $75\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서의 증발산속도는  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 경우에 비해서 평균 약 10% 정도 높게 나타났다. 상기의 조건에서 접목묘의 활착율은 모두 100%로 나타나, 광량의 계단식 증가에 따른 활착율의 차이는 발견할 수 없었다.



70.

가

마. 광강도의 계단식 증가가 접목묘의 증발산속도 및 활착율에 미치는 영향

그림 70은 광강도의 계단식 증가( $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \rightarrow 75\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )가 접목묘의 증발산속도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 이 실험에서 활착 단계의 기온, 상대습도, 기류속도 및 광주기는 각각  $27^{\circ}\text{C}$ , 90%,  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $12\text{h} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 유지되었으며, 접목묘는 24시간의 암조건을 거친 후 2일간  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 광합성유효광량자속으로부터  $75\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 증가된 조건에서 나머지 2일간 활착되었다. 광합성유효광량자속이 증가된 조건에서의 증발산속도는 각각  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $75\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 광량을 일정하게 유지한 경우와 유사하게 나타나, 광량의 계단식 증가가 접목묘의 증발산속도에 미치는 영향이 크지 않음을 알 수 있다. 한편, 광합성유효광량자속이 일정할 때  $75\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서의 증발산속도는  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 경우에 비해서 평균 약 10% 정도 높게 나타났다. 상기의 조건에서 접목묘의 활착율은 모두 100%로 나타나, 광량의 계단식 증가에 따른 활착율의 차이는 발견할 수 없었다.



그림 70. 광합성유효광량자속의 계단식 증가에 따른 접목묘의 증발산속도

#### 바. 접목묘의 적정 활착 조건

기온, 광강도 및 기류속도는 동일하고 상대습도를 다르게 제어한 상기의 결과로부터 접목 후 초기 2~3일 동안에는 증발산속도를 억제하면서 접수와 대목의 통도조직이 원활하게 결합될 수 있는 조건을 형성해주고, 통도조직이 결합이 진행중이거나 완료된 경우에는 증발산이 활발하게 이루어질 수 있도록 환경 조건을 제어하는 것이 활착에 유리할 것이다.

편엽삽접된 수박 접목묘의 증발산과 활착 특성에 대한 이제까지의 연구 결과를 종합해보면 접목묘의 활착율을 증대시키기 위해서는 접목 후 증발산속도를 억제하는 것이 효과적인 것으로 나타났다. 따라서 인공광하의 활착 환경으로 접목 후 초기에는 접목묘로부터의 증발산이 억제되도록 상대습도를 90% 이상으로 조절하고, 후기에는 순화에 대비해서 상대습도를 서서히 낮추면서 광강도를 증대시키는 것이 바람직할 것이다. 본 연구에서 검토된 환경요소, 즉 4수준(23℃, 25℃, 27℃, 29℃)의 기온, 3수준(85%, 90%, 95%)의 상대습도, 2수준( $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )의 광합성유효광량자속, 3수준(24h, 18h, 12h)의 광주기, 2수준( $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $0.2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )의 기류속도 가운데 접목묘의 증발산속도에 커다란 영향을 미치는 환경요소는 상대습도 > 기류속도 > 기온 > 광 등의 순서로 나타났다. 구체적으로 접목묘의 증발산속도를 억제하기 위한 활착 조건은 상, 이와 같은 조건에서 접목묘의 활착율은 모두 90% 이상으로 높게 나타났다. 한편 접목묘의 증발산속도와 활착율에 미치는 광합성유효광량자속의 영향은 그다지 높지 않게 나타났다.

그러나 인공광하에서 활착된 접목묘가 온실 내에서 경화 과정을 거치는 동안 받게 되는 광합성유효광량자속은 기후 조건에 따라 변화하나, 청명한 날의 광합성유효광량자속은 대략 수백  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에 이른다. 또한 온실 내의 상대습도는 주야간에 따라 크게 변화한다. 그러므로 경화 단계에서 접목묘가 자연광 조건에 쉽게 적응하면서 생존율을 높이려면 활착 후기에 광합성유효광량자속을 단계적으로 증가시키고, 상대습도는 단계적으로 감소시켜야 한다. 이 경우 접목묘가 스트레스를 받지 않도록 광량

또는 상대습도의 급격한 변화는 피하여야 한다.

현재까지의 연구 결과를 종합하면 상대습도를 90%로 제어할 때 광합성유효광량자 속은 접목 초기의  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 접목 후기에 광량을  $75 \sim 100\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 까지 증가시켜도 접목묘의 활착에 무리가 없으며, 순화 단계에서도 생존율이 높게 지속되는 것으로 나타났다. 물론 상기의 결과는 활착 단계의 기류속도를  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  이하로 유지한 경우에 해당한다. 기류속도를 증가시키면 접목묘 주위의  $\text{CO}_2$  확산을 촉진하여 접목묘의 광합성능력이 증가되는 긍정적인 결과가 얻어지나, 기류속도가  $0.2 \sim 0.3\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 에 이르면 접목 초기에 접목묘로부터의 증발산이 과도하게 이루어지면서 활착율이 저하될 수 있다. 본 연구에서 접목묘의 활착에 미치는 영향을 검토하고자 기류속도를  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 와  $0.25\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 2수준으로 처리하였다. 접목묘의 활착율을 90% 이상으로 유지하면서, 접목묘 주위의  $\text{CO}_2$  확산을 촉진시킬 수 있는 적정 기류처리는 양질의 접목묘 생산에 크게 기여할 것인 바, 이에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 제3절 접목묘의 순화 특성

#### 1. 서 언

인공광하에서 활착된 접목묘의 경화를 목적으로 자연광 조건에서 접목묘의 순화(acclimation)를 실시하였다. 접목묘의 순화는 전북대학교 실험농장에 위치한 유리온실에서 실시하였다. 순화 기간 동안 접목묘의 생육 특성을 분석하고자 순화후 0, 5, 10 일째에 접수의 배축장, 배축 직경, 엽수, 엽면적, 엽장, 엽폭, 지상부 생체중과 건물중, 지하부 생체중과 건물중, 엽록소함량 등을 측정하였다. 또한 대목의 배축장, 배축 직경을 측정하였다.

#### 2. 접목묘의 활착 후 성장 및 순화 특성

##### 가. 접목묘의 활착 후 성장 특성

활착촉진장치 내의 기온과 기류속도를 각각  $23^{\circ}\text{C}$ ,  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 제어한 조건에서 5일 동안 활착기간을 거친 접목묘의 접수부 성장 특성을 검토하였다. 그림 71은 활착 조건, 즉 상대습도와 광강도에 따른 접수부의 배축길기와 배축직경을 비교하여 나타낸 것이다. 활착율과 다르게 접수부의 배축길기에 미치는 상대습도의 영향은 크지 않으나, 광강도의 영향은 높게 나타났다. 즉 약광( $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )하에서 활착된 접수의 배축길이는 약 18mm이나, 강광( $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 조건에서 활착된 경우 배축길이가 13~15mm로서 작게 나타났다. 상기 결과로부터 기온과 기류속도가 각각  $23^{\circ}\text{C}$ ,  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 제어된 활착 조건에서 3수준(85%, 90%, 95%)의 상대습도가 활착율에 미치는 영향은 비교적 크며, 상대습도가 90%를 유지할 때 가장 높게 나타남을 알 수 있다. 한편, 2수준( $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )의 광강도가 활착율에 미치는 영향은 비교적 작게 나타났으나, 접수부의 배축길기에 미치는 강광도의 영향은 높게 나타났다.

그림 72는 활착촉진장치 내의 기온과 기류속도가 각각  $29^{\circ}\text{C}$ ,  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 제어된 조건에서 상대습도와 강광도가 5일 동안 활착 기간을 거친 접목묘의 접수부 성장 특성에 미치는 영향을 나타낸 것이다.

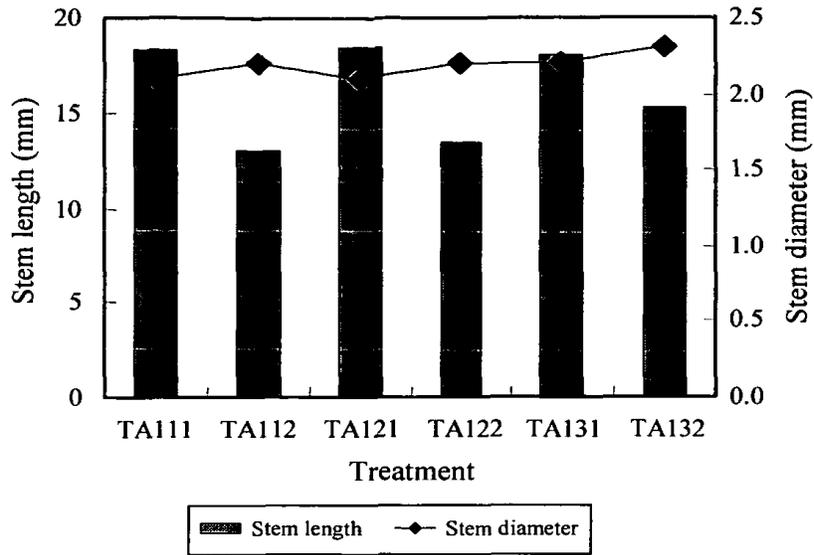


그림 71. 상대습도와 광합성유효광량자속 처리에 따른 접목묘의 성장 특성 (기온 23°C, 기류속도 0.1m·s<sup>-1</sup>)

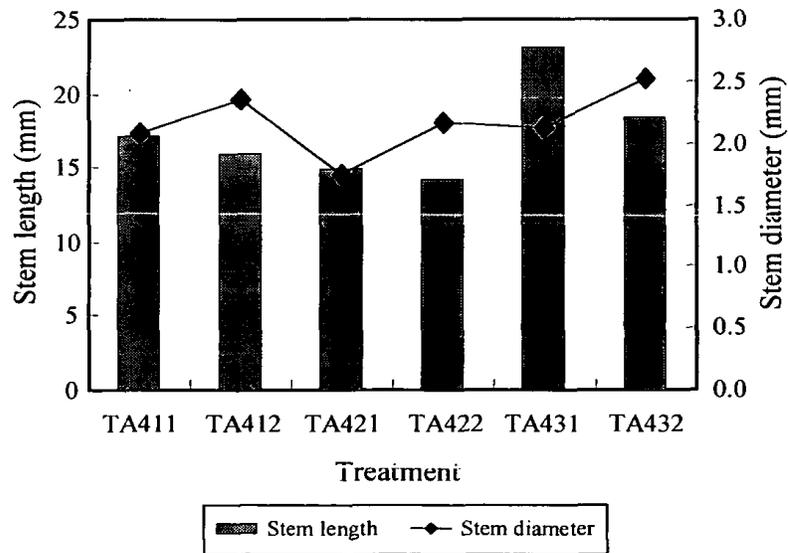


그림 72. 상대습도와 광합성유효광량자속 처리에 따른 접목묘의 성장 특성 (기온 29°C, 기류속도 0.1m·s<sup>-1</sup>)

기온이 29℃로 유지될 때 활착 조건에 따른 접수부의 배축길기와 배축직경을 비교하여 나타낸 것이다. 23℃의 경우와 마찬가지로 접수부의 배축길기에 미치는 상대습도의 영향은 크지 않으나, 광강도의 영향은 높게 나타났다. 약광( $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 조건에 비해서 강광( $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 조건에서 활착되었을 때 접수의 배축길기가 감소하고, 배축직경은 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 접목묘의 활착율과 접수부의 생장 특성을 고려할 때 기온과 기류속도가 각각 29℃,  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 제어된 활착 조건에서 상대습도와 광강도의 적정 조건은 각각 90~95%,  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 판단된다. 이러한 결과는 활착실의 기온과 기류속도가 각각 23℃,  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 제어된 경우와 동일한 것이다.

그림 73은 기온과 기류속도가 각각 25℃,  $0.25\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 유지될 때 접수부의 배축길기와 배축직경에 미치는 상대습도와 광강도의 영향을 나타낸 것이다. 기류속도가  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 인 경우와 마찬가지로 접수부의 배축길기에 미치는 상대습도의 영향은 크지 않으나, 광강도의 영향은 높게 나타났다. 한편 배축직경에 미치는 상대습도와 광강도

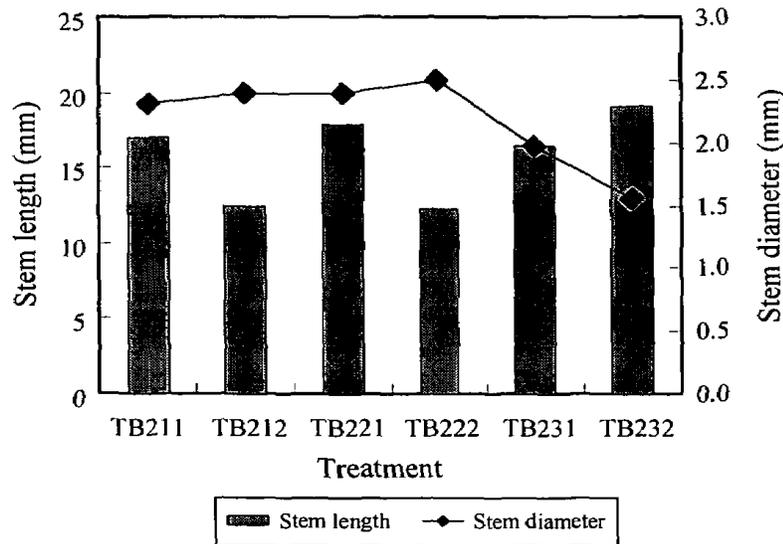


그림 73. 상대습도와 광합성유효광량자속 처리에 따른 접목묘의 생장 특성 (기온 25℃, 기류속도  $0.25\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 단, 상대습도가 95%로 높게 유지될 때 강광 조건에서 배축길이가 신장되고, 강광과 약광 조건에서 모두 배축직경이 감소하는 결과가 나타났다.

그림 74는 기온, 상대습도 및 기류속도가  $23^{\circ}\text{C}$ , 90%,  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  로 설정된 활착실에서 약광( $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )과 강광( $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 조건에서 5일 동안 활착된 접목묘를 나타낸 것이다. 접목묘의 활착이 정상적으로 이루어졌으며, 광합성유효광량자속에 따른 활착 상태의 차이는 나타나지 않았다.



(a)  $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$



(b)  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

74.  
(  $23^{\circ}\text{C}$ , 90%,  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  )

그림 75는 기온, 상대습도 및 기류속도가  $23^{\circ}\text{C}$ , 95%,  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  로 설정된 활착실에서 약광( $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )과 강광( $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 조건에서 활착된 접목묘를 나타낸 것이다. 상대습도가 90%로 제어된 조건에서 활착된 접목묘와 비교할 때 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 단, 상대습도가 95%로 높게 유지될 때 강광 조건에서 배축길이가 신장되고, 강광과 약광 조건에서 모두 배축직경이 감소하는 결과가 나타났다.

그림 74는 기온, 상대습도 및 기류속도가 23℃, 90%, 0.1m·s<sup>-1</sup> 로 설정된 활착실에서 약광(30μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)과 강광(50μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>) 조건에서 5일 동안 활착된 접목묘를 나타낸 것이다. 접목묘의 활착이 정상적으로 이루어졌으며, 광합성유효광량자속에 따른 활착 상태의 차이는 나타나지 않았다.

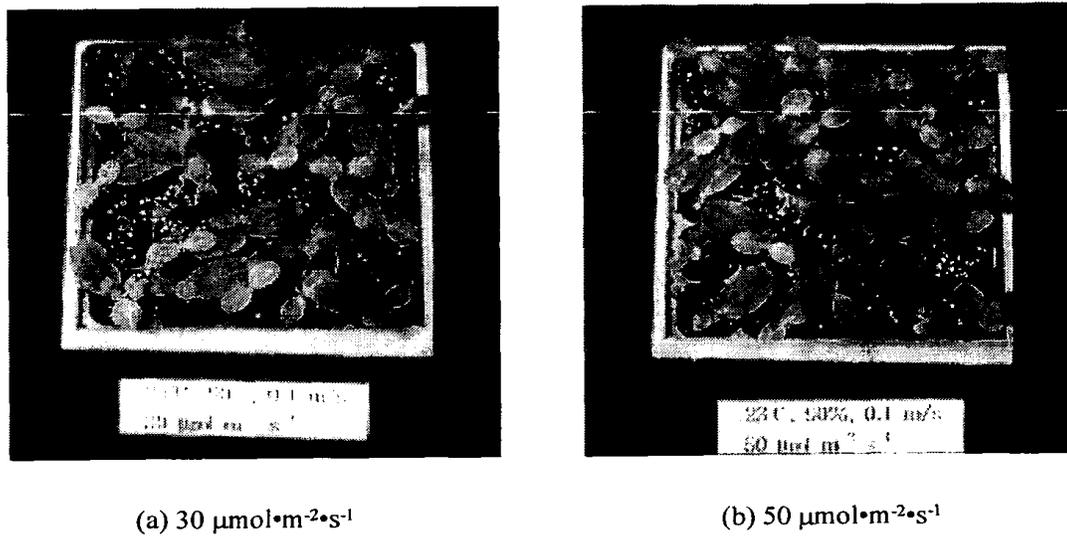
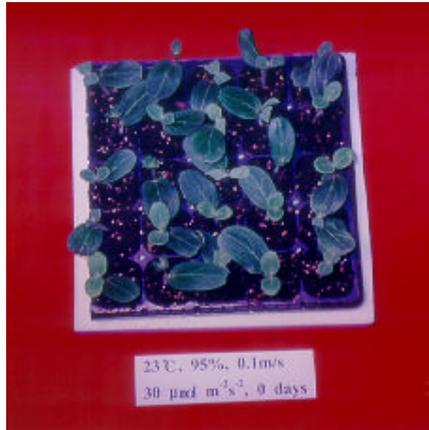


그림 74. 광합성유효광량자속에 따른 접목묘의 활착 상태  
(기온 23℃, 상대습도 90%, 기류속도 0.1m·s<sup>-1</sup>)

그림 75는 기온, 상대습도 및 기류속도가 23℃, 95%, 0.1m·s<sup>-1</sup> 로 설정된 활착실에서 약광(30μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)과 강광(50μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>) 조건에서 활착된 접목묘를 나타낸 것이다. 상대습도가 90%로 제어된 조건에서 활착된 접목묘와 비교할 때 큰 차이가 없음을 알 수 있다.



(a)  $30 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$



(b)  $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

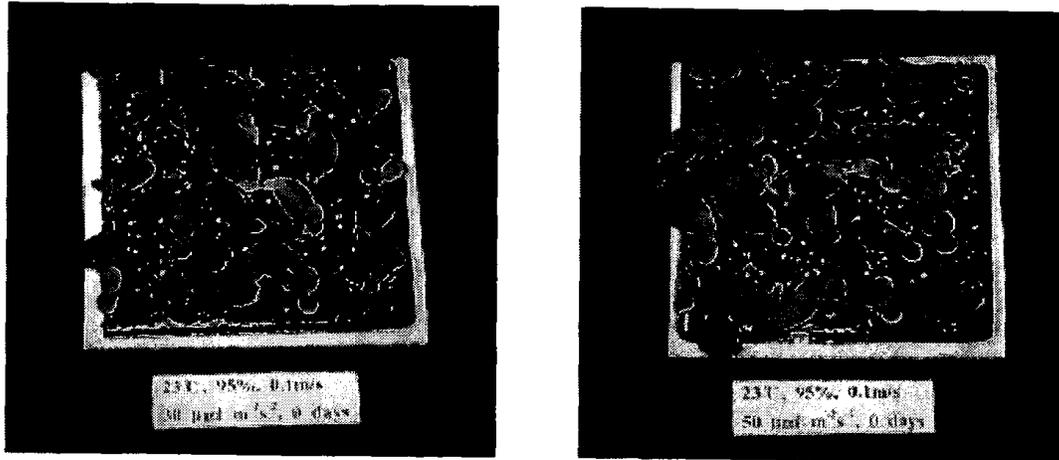
( 75,  
23°C, 95%, 0.1m·s<sup>-1</sup>)

#### 나. 접목묘의 순화 특성

본 연구에서 활착된 접목묘는  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  이하의 광합성유효광량자속밀도에서 활착된 것이다. 그런데 맑은 날 자연광하에서의 광합성유효광량자속밀도가 최소 수백  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  에 도달하므로 인공광하에서 활착된 접목묘가 강광의 자연광하에서 제대로 적응하고 정상적인 생육을 이루려면 순화 또는 경화 단계를 거쳐야 한다.

인공광하에서 활착된 접목묘의 경화를 목적으로 유리온실 내에서 접목묘의 순화 (acclimatization)를 실시하였다. 순화 기간 동안 접목묘의 생육 특성을 분석하고자 순화 후 0, 5, 10일째에 접수의 배축장, 배축 직경, 엽수, 엽면적, 엽장, 엽폭, 지상부 생체중 과 건물중, 지하부 생체중과 건물중, 엽록소함량 등을 측정하였다. 또한 대목의 배축 장, 배축 직경을 측정하였다. 이 가운데 기온과 기류속도가 각각  $23^\circ\text{C}$ ,  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 제어된 조건에서 활착된 접목묘를 중심으로 순화 특성에 대해서 살펴보고자 한다.

그림 76은 활착실의 기온과 기류속도가 각각  $23^\circ\text{C}$ ,  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 제어되고 상대습도



(a)  $30 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

(b)  $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

그림 75. 광합성유효광량자속에 따른 접목묘의 활착 상태  
(기온 23°C, 상대습도95%, 기류속도  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

#### 나. 접목묘의 순화 특성

본 연구에서 활착된 접목묘는  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  이하의 광합성유효광량자속밀도에서 활착된 것이다. 그런데 맑은 날 자연광하에서의 광합성유효광량자속밀도가 최소 수백  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  에 도달하므로 인공광하에서 활착된 접목묘가 강광의 자연광하에서 제대로 적응하고 정상적인 생육을 이루려면 순화 또는 경화 단계를 거쳐야 한다.

인공광하에서 활착된 접목묘의 경화를 목적으로 유리온실 내에서 접목묘의 순화 (acclimatization)를 실시하였다. 순화 기간 동안 접목묘의 생육 특성을 분석하고자 순화 후 0, 5, 10일째에 접수의 배축장, 배축 직경, 엽수, 엽면적, 엽장, 엽폭, 지상부 생체중과 건물중, 지하부 생체중과 건물중, 엽록소함량 등을 측정하였다. 또한 대목의 배축장, 배축 직경을 측정하였다. 이 가운데 기온과 기류속도가 각각  $23^\circ\text{C}$ ,  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 제어된 조건에서 활착된 접목묘를 중심으로 순화 특성에 대해서 살펴보고자 한다.

그림 76은 활착실의 기온과 기류속도가 각각  $23^\circ\text{C}$ ,  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 제어되고 상대습도

와 강광도 수준에 따라 활착된 접목묘에 대한 자연광 조건에서 순화가 이루어질 때 접수의 배축장 변화를 나타낸 것이다. 강광( $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 조건에서 활착된 접수부의 배축은 상대습도 변화에 상관없이 신장이 작게 이루어졌다. 그러나 약광( $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )하에서 활착된 접목묘의 경우 순화 과정에서 접수부의 배축 신장이 두드러지게 나타났다. 특히 95%의 높은 상대습도에서 활착된 접목묘의 경우 배축이 약 2배 정도로 신장되었다. 과도한 배축 신장은 접목묘의 묘소질을 저하시키는 요인에 해당되므로 순화 단계에서 배축 신장이 적절하게 이루어질 수 있는 환경 조건의 설정이 필요한 것으로 판단된다.

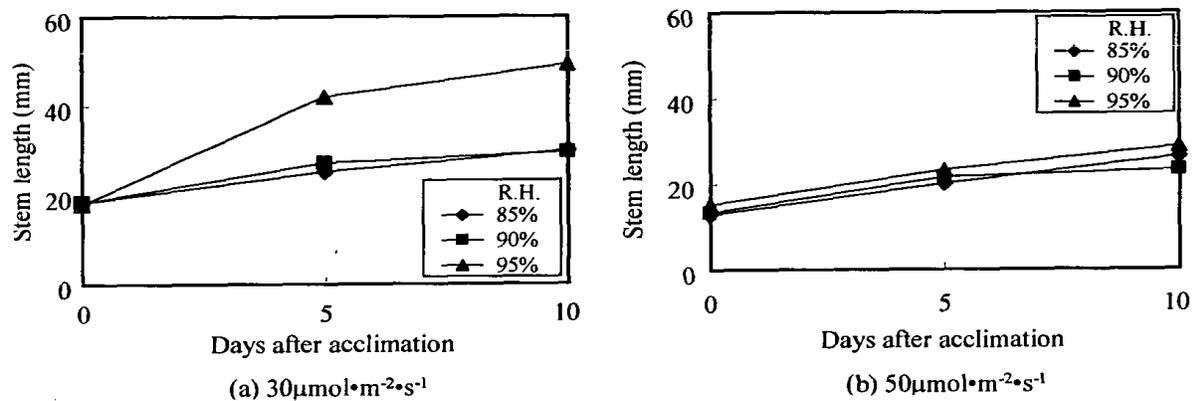


그림 76. 상이한 상대습도 조건에서 활착된 접목묘의 순화 단계에서 배축장과 배축직경의 변화 (활착 조건; 기온  $23^{\circ}\text{C}$ , 기류속도  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

인공광하에서 활착된 접목묘에 대한 자연광 조건에서의 순화 과정 중 접목묘의 지상부 건물중 변화가 그림 77에 실려 있다. 활착 기간의 광강도에 무관하게 순화 기간에 지상부 건물중은 계속 증가하는 것으로 나타났다. 한편, 건물중 변화에 미치는 상대습도의 영향은 미약한 것으로 나타났다.

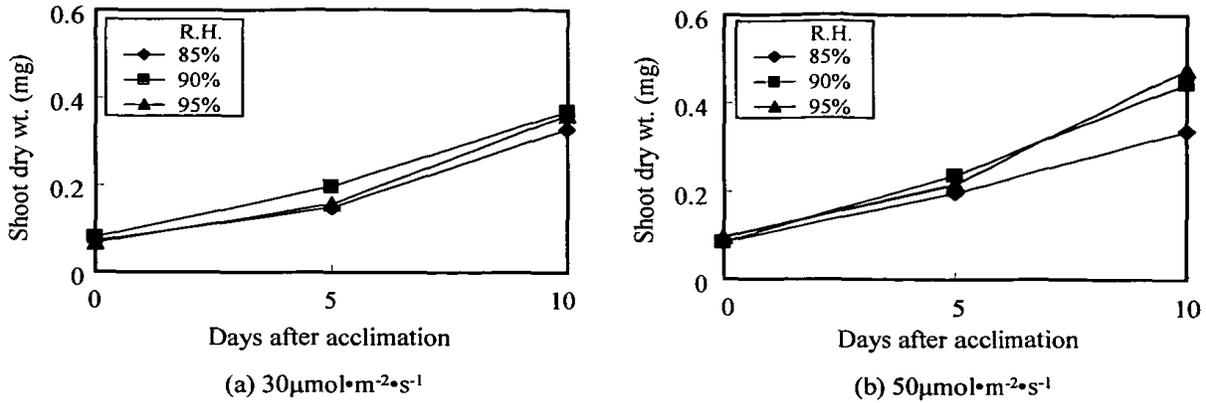
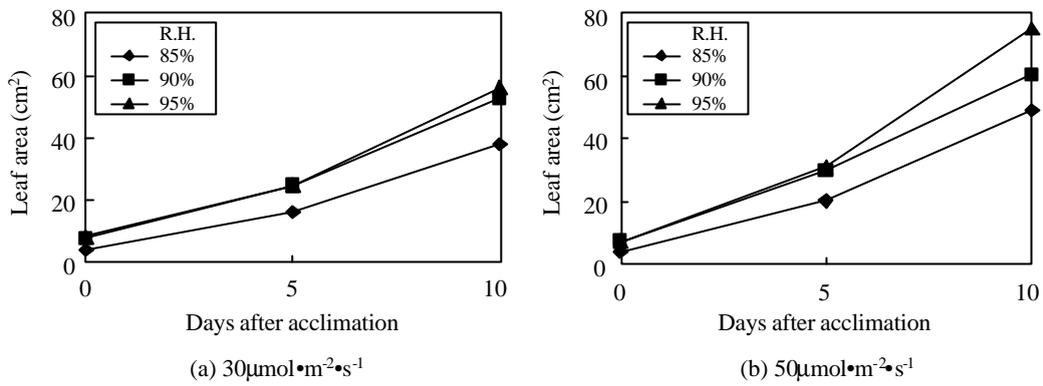


그림 77. 상이한 상대습도 조건에서 활착된 접목묘의 순화 단계에서 지상부 건물중의 변화 (활착 조건; 기온 23°C, 기류속도 0.1m·s<sup>-1</sup>)

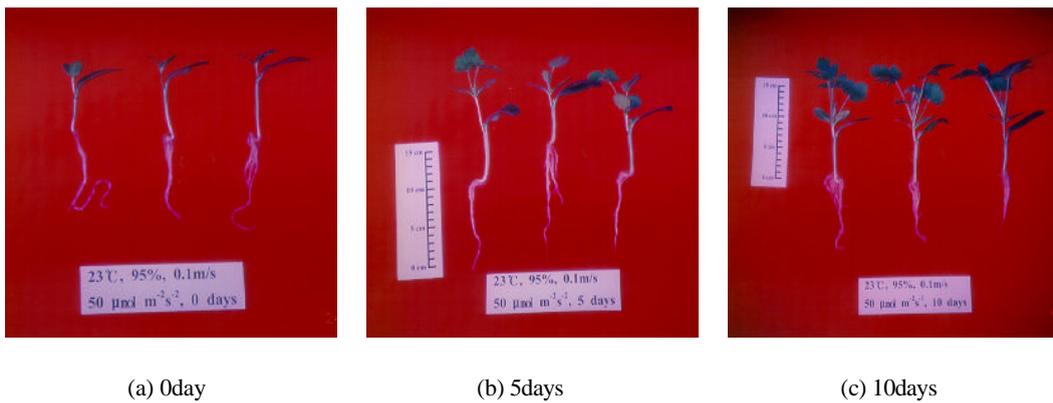
그림 78은 인공광하에서 활착된 접목묘의 순화 단계에서 접수의 엽면적 변화를 나타낸 것이다. 순화 기간에 따라 접수부 엽면적의 증가 형태는 강광과 약광 조건에서 유사하게 나타나, 활착 조건의 광강도에 따른 엽면적의 차이는 거의 없는 것으로 판단된다. 한편, 광강도에 상관없이 모두 상대습도가 높은 조건에서 엽면적이 높게 나타났다. 활착 단계에서 상대습도가 90~95%를 유지하면 접목묘가 커다란 스트레스를 받지 않고 정상적인 활착이 이루어져 순화 단계에서도 자연광 조건에 잘 적응하는 것으로 판단된다. 이밖에 접수의 배축 직경, 엽수, 엽장, 엽폭, 지상부 생체중, 지하부 생체중과 건물중, 대목의 배축장, 배축 직경 등도 순화 단계에서 증가하였다. 그러나, 순화 단계에서 접목묘의 생존율은 감소하는 것으로 나타났다.

그림 79는 기온, 상대습도, 광강도 및 기류속도가 각각 23°C, 95%, 50 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 0.1m·s<sup>-1</sup>로 제어된 조건에서 활착된 접목묘의 순화 후 0, 5, 10일째의 모습을 나타낸 것이다.



78.

( ;  $23^{\circ}\text{C}$ ,  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )



79.

그림 80은 활착실의 기온과 기류속도가 각각  $23^{\circ}\text{C}$ ,  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 제어되고 상대습도와 강광도 수준에 따라 활착된 접목묘의 순화 단계에서 생존율 변화를 나타낸 것이다. 강광( $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )과 약광( $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 조건에서 활착된 접목묘는 10일간의 순화 기간 동안 생존율이 각각 2~12%, 10~12% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

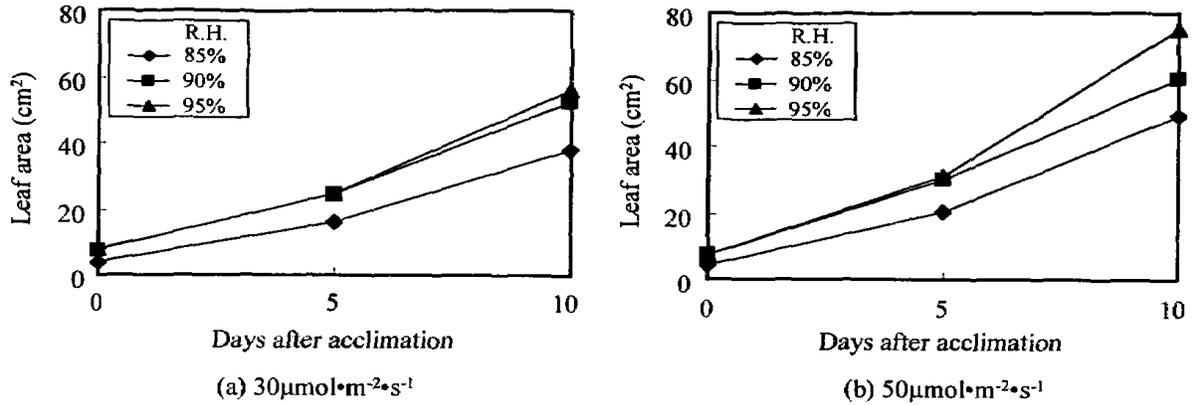


그림 78. 상이한 상대습도 조건에서 활착된 점목묘의 순화 단계에서 엽면적의 변화 (활착 조건; 기온 23°C, 기류속도 0.1m·s<sup>-1</sup>)

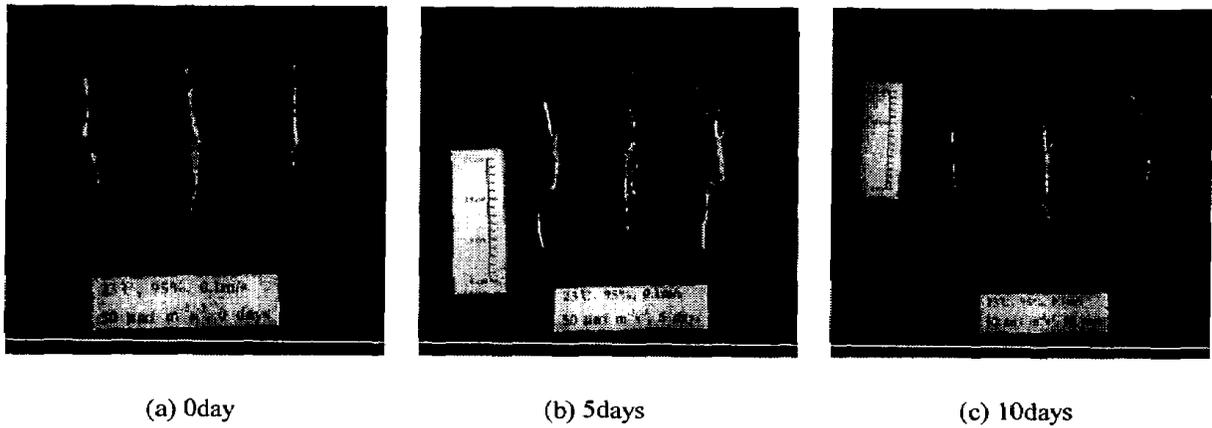
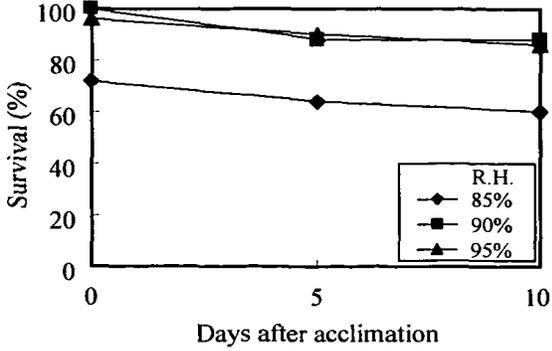
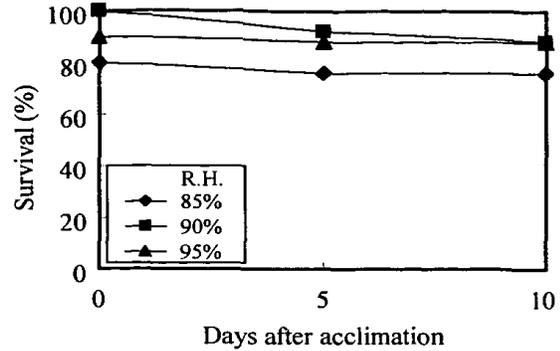


그림 79. 순화 단계에서 점목묘의 상태

그림 80은 활착실의 기온과 기류속도가 각각 23°C, 0.1m·s<sup>-1</sup>로 제어되고 상대습도와 강광도 수준에 따라 활착된 점목묘의 순화 단계에서 생존율 변화를 나타낸 것이다. 강광(50μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)과 약광(30μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>) 조건에서 활착된 점목묘는 10일간의 순화 기간 동안 생존율이 각각 2~12%, 10~12% 정도 감소하는 것으로 나타났다.



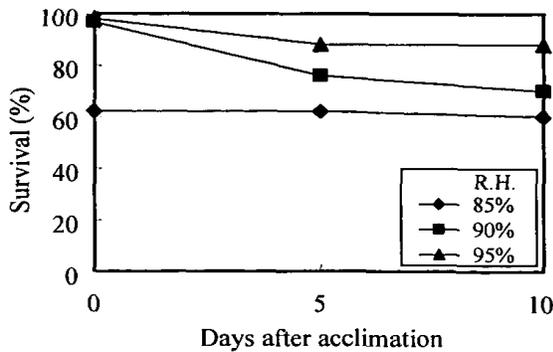
(a)  $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$



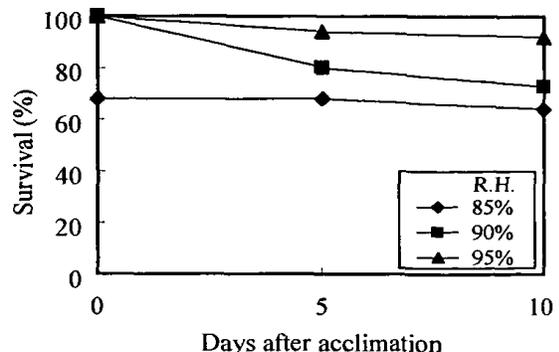
(b)  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

그림 80. 상이한 상대습도 조건에서 활착된 점목묘의 순환 단계에서 생존율의 변화 (활착 조건; 기온  $23^{\circ}\text{C}$ , 기류속도  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

그림 81과 그림 82는 활착실의 기온과 기류속도가 각각  $29^{\circ}\text{C}$ ,  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $0.25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 를 유지하는 조건에서 활착된 점목묘의 순화 단계에서 생존율 변화를 나타낸 것이다. 기류속도는 동일하나 활착실의 기온이 다를 경우 순화 단계에서 점목묘의 생존율은 유사하게 나타났다. 그러나, 기류속도가  $0.25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 를 유지한 조건에서 활착

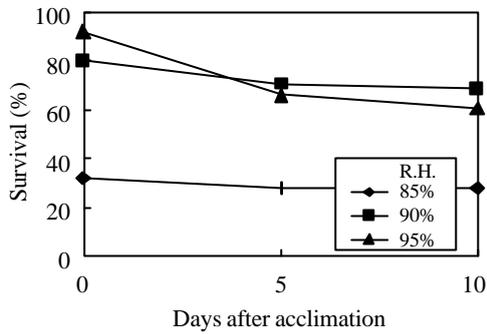


(a)  $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

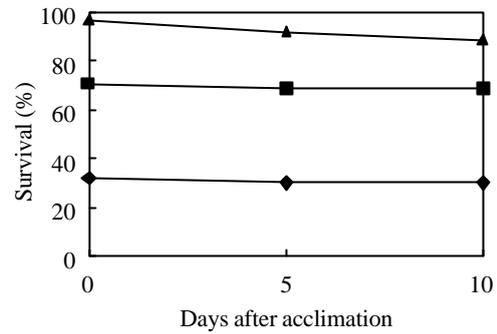


(b)  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

그림 81. 상이한 상대습도 조건에서 활착된 점목묘의 순화단계에서 생존율의 변화 (활착 조건; 기온  $29^{\circ}\text{C}$ , 기류속도  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )



(a)  $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

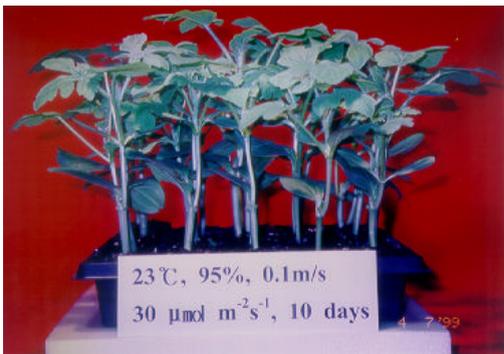


(b)  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

82.

( ;  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $0.25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

된 접목묘는 기류속도가  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 를 유지한 조건에 비해서 고사율이 다소 높게 나타났다. 그림 83과 그림 84는 상대습도와 기류속도가 각각 95%,  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 설정되고 2수준( $23^{\circ}\text{C}$ ,  $29^{\circ}\text{C}$ )의 기온과 2수준( $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 광강도에서 활착된 접목묘의 순화 후 10일째 모습을 나타낸 것이다.



(a)  $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$



(b)  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

83.

10 ( ;  $23^{\circ}\text{C}$ , 95%,  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

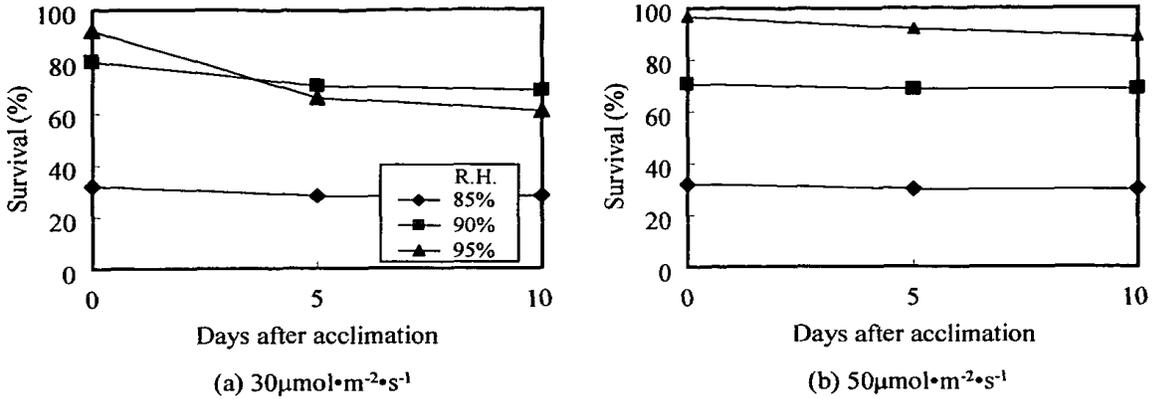
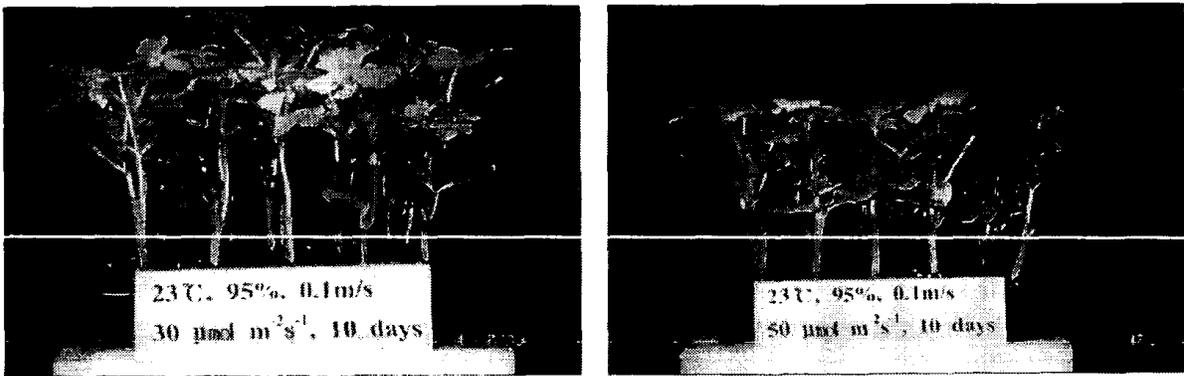


그림 82. 상이한 상대습도 조건에서 활착된 접목묘의 순화 단계에서 생존율의 변화 (활착 조건; 기온 25°C, 기류속도 0.25m·s<sup>-1</sup>)

된 접목묘는 기류속도가 0.1m·s<sup>-1</sup>를 유지한 조건에 비해서 고사율이 다소 높게 나타났다. 그림 83과 그림 84는 상대습도와 기류속도가 각각 95%, 0.1m·s<sup>-1</sup>로 설정되고 2수준(23°C, 29°C)의 기온과 2수준(30μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 50μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>) 광강도에서 활착된 접목묘의 순화 후 10일 째 모습을 나타낸 것이다.



(a) 30 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>

(b) 50 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>

그림 83. 상이한 광합성유효광량자속 조건에서 활착된 접목묘의 순화 후 10일째 모습 (활착 조건; 기온 23°C, 상대습도 95%, 기류속도 0.1m·s<sup>-1</sup>)



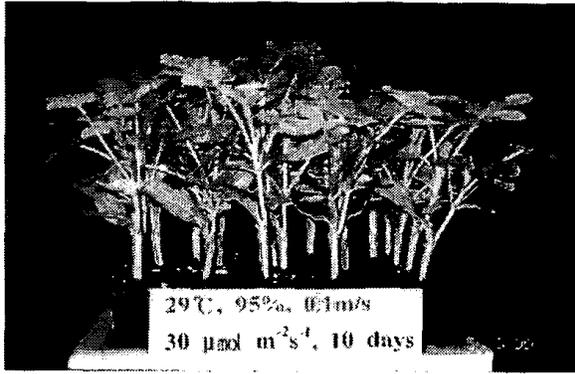
(a)  $30 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$



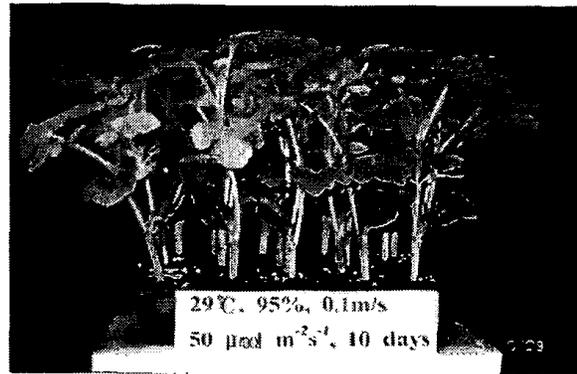
(b)  $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$

84.  
10 ( ; 29C, 95%, 0.1m·s<sup>-1</sup>)

본 연구에서 활착된 접목묘는  $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  이하의 낮은 광강도에서 활착된 것이다. 그런데 맑은 날 자연광 하에서 광합성유효광량자속은 최소 수백  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 에 도달하므로 인공광 하에서 활착된 접목묘를 곧 바로 자연광 조건에 놓아두면 위조가 이루어지거나, 심하면 고사하기 쉽다. 그러므로 강광의 자연광 하에서 제대로 적응하고 정상적인 생육을 이루려면 접목묘의 순화 또는 경화 단계가 요구된다. 따라서 접목묘의 순화 단계에서 생존율을 높이려면 인공광하의 활착 단계 마무리 시기에 광강도를 증대시키거나, 자연광 조건에서 차광을 실시한 후 광강도를 점차 증대시켜 순화가 제대로 이루어지도록 광조건을 설정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 또한 활착 단계에서 접목묘가 스트레스를 받지 않고 정상적인 활착이 이루어지도록 기류속도를 낮추는 것이 바람직할 것이다.



(a)  $30 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$



(b)  $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

그림 84. 상이한 광합성유효광량자속 조건에서 활착된 접목묘의 순화 후 10일째 모습 (활착 조건; 기온 29C, 상대습도 95%, 기류속도  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

본 연구에서 활착된 접목묘는  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  이하의 낮은 광강도에서 활착된 것이다. 그런데 맑은 날 자연광 하에서 광합성유효광량자속은 최소 수백  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에 도달하므로 인공광 하에서 활착된 접목묘를 곧 바로 자연광 조건에 놓아두면 위조가 이루어지거나, 심하면 고사하기 쉽다. 그러므로 강광의 자연광 하에서 제대로 적응하고 정상적인 생육을 이루려면 접목묘의 순화 또는 경화 단계가 요구된다. 따라서 접목묘의 순화 단계에서 생존율을 높이려면 인공광하의 활착 단계 마무리 시기에 광강도를 증대시키거나, 자연광 조건에서 차광을 실시한 후 광강도를 점차 증대시켜 순화가 제대로 이루어지도록 광조건을 설정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 또한 활착 단계에서 접목묘가 스트레스를 받지 않고 정상적인 활착이 이루어지도록 기류속도를 낮추는 것이 바람직할 것이다.

## 제4절 접목묘의 광합성 특성 및 대량 활착

### 1. 접목묘의 광합성속도 측정

#### 가. 접목묘의 광합성속도 측정 시스템 구성

이제까지 접목묘의 활착에 대한 연구는 시도된 바 있으나, 접목묘의 활착 단계에서 광합성 특성에 관한 연구는 전무한 실정이다. 이것은 활착 단계에서 접목묘의 광합성속도가 크지 않을 것으로 예상되기 때문인 점도 있으나, 보다 큰 이유는 접목묘 개체군의 광합성속도를 측정할 방법이 제시되지 않았기 때문인 것으로 해석된다. 그러므로 본 연구에서는 인공광을 이용한 활착 단계에서 접목묘의 광합성속도를 정량적으로 해석하고자 순광합성속도 측정 시스템을 구성하였다. 일반적으로 식물 개체군의 광합성속도를 측정할 때 동화상법, 공기역학법, 적산법, 열평형법 등이 사용된다. 이에 본 연구에서 접목묘의 증발산 특성을 구명하고자 풍동이 사용된 바 접목묘의 순광합성속도 측정을 위해서 공기역학법과 적산법의 특성을 응용한 광합성속도 측정 시스템을 그림 85와 같이 구성하였다.

광합성속도 측정 시스템의 개요를 설명하면 다음과 같다. 김과 古在(1996a)가 개발한 풍동 내에 접목묘 트레이를 2매 위치시킨 후 접목묘 개체군 내부와 외부를 흘러가

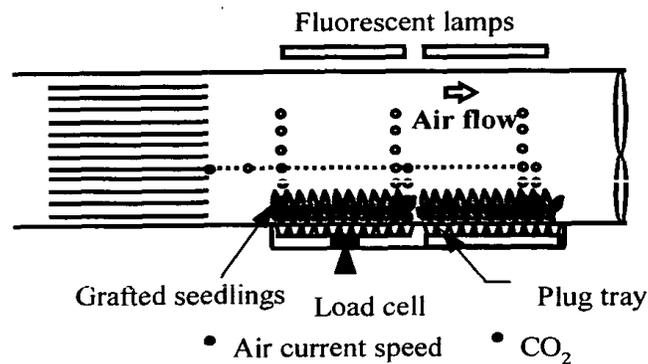


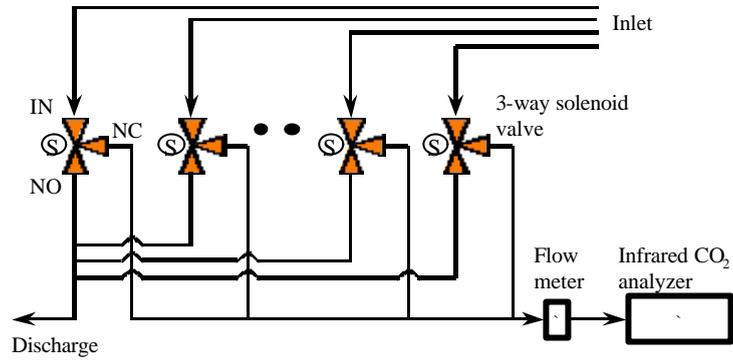
그림 85. 풍동을 이용한 접목묘의 순광합성속도 측정 시스템

는 기류속도와 기류에 포함된 CO<sub>2</sub> 농도를 측정하여 각각의 개체군 높이에서 광합성 속도를 결정한 후 적산하면 전체 광합성속도가 산출된다. 광합성속도를 계산할 때 사용된 가정은 다음과 같다. 즉 풍동 내에서 배지표면 위의 일정 높이를 흐르는 기류는 인접한 상층 또는 하층의 기류와 혼합되지 않는다. 또한 기류의 진행방향을 따라 CO<sub>2</sub> 농도가 감소되므로 감소된 CO<sub>2</sub> 농도는 모두 접목묘 개체군에 의해서 흡수된다. 이러한 가정하에서 광합성속도 결정에 사용된 식은 다음과 같다.

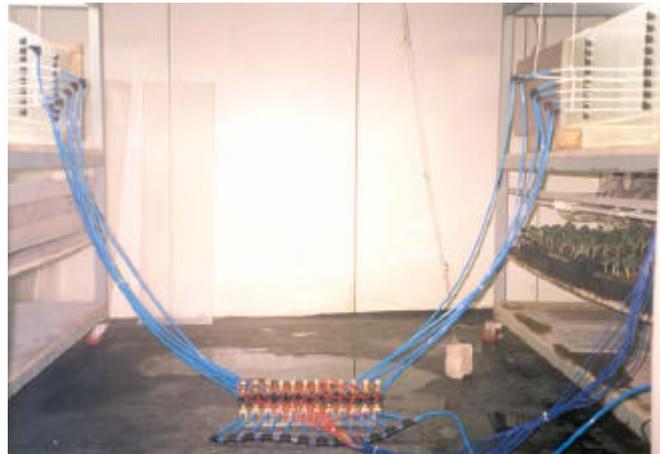
$$P_n = k_1 \sum_{i=1}^n \frac{(C_{in}-C_{out})_i}{A} V_i \frac{273.15}{273.15+t} \frac{P}{1013} \quad (15)$$

여기서, P<sub>n</sub>: 순광합성속도(mgCO<sub>2</sub> · dm<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup>), k<sub>1</sub> : 단위환산계수, C<sub>in</sub>: 입구측의 CO<sub>2</sub> 농도(μmol · mol<sup>-1</sup>), C<sub>out</sub>: 출구측의 CO<sub>2</sub> 농도(μmol · mol<sup>-1</sup>), V: 풍량(cm<sup>3</sup> · s<sup>-1</sup>), A: 트레이 면적(cm<sup>2</sup>), t: 기온(°C), P: 기압(mb)이다. 식(1)에서 단위환산계수 k<sub>1</sub>은 0°C, 1기압에서 0.0446의 값을 갖는다. i는 배지표면으로부터 시작되는 기류속도 및 CO<sub>2</sub> 농도 측정지점에 해당된다.

그림 86은 접목묘 개체군 내외에서의 CO<sub>2</sub> 농도 측정을 나타내는 개략도이다. 출구측의 CO<sub>2</sub> 농도 측정 지점은 정류장치의 출구로부터 각각 0.8m 떨어진 지점으로서 배지 표면 위 3cm 부터 12cm 까지 3cm 간격의 높이에 해당된다. 또한 정류장치의 출구로부터 0.3m 떨어진 지점의 배지 표면 위 15cm 높이에서 생육실의 입구측 CO<sub>2</sub> 농도를 측정하였다. CO<sub>2</sub> 농도 측정 높이에 설치된 직경 3mm의 PVC 파이프와 고압튜브에 의해서 sampling된 공기는 3방향 전자밸브(그림 87)를 통하여 CO<sub>2</sub> 적외선 분석기(GH-250E, Sensonix)로 들어가 CO<sub>2</sub> 농도가 측정된다. 이 때 3방향 전자밸브의 순차적인 개폐는 datalogger(23X, Campbell Scientific Inc.)에 부착된 16채널의 컨트롤 모듈(SDM-CD16AC, Campbell Scientific Inc.)를 이용하였으며, 명기 개시 후 3시간 간격으로 sampling된 공기의 CO<sub>2</sub> 농도를 측정하였다(그림 88).



86. CO<sub>2</sub>



87. CO<sub>2</sub> 3

나. 접목묘의 광합성속도

상기의 측정 시스템을 이용하여 접목 직후 접목묘 개체군 내외에서의 CO<sub>2</sub> 농도를 측정한 결과 CO<sub>2</sub> 농도차는 거의 없는 것으로 나타났다. 이것은 접목 초기에 접목묘의 광합성 능력이 매우 낮음을 의미하는 것이다. 한편 접목묘 개체군 내외에서의 CO<sub>2</sub> 농

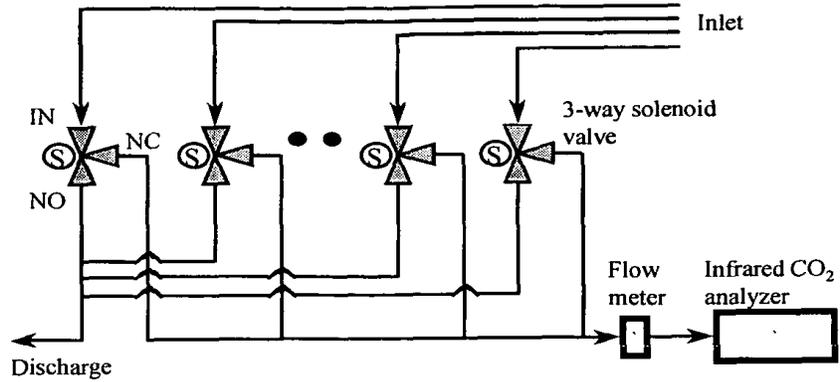


그림 86. 접목묘 개체군의 CO<sub>2</sub> 농도 측정 시스템의 구성

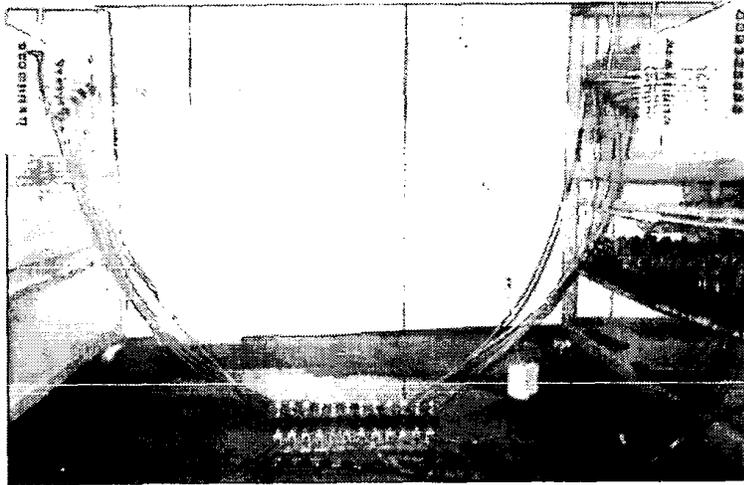


그림 87. 접목묘의 CO<sub>2</sub> 농도 측정 시스템에서 3방향 솔레노이드 밸브를 이용한 공기 샘플링

#### 나. 접목묘의 광합성속도

상기의 측정 시스템을 이용하여 접목 직후 접목묘 개체군 내외에서의 CO<sub>2</sub> 농도를 측정한 결과 CO<sub>2</sub> 농도차는 거의 없는 것으로 나타났다. 이것은 접목 초기에 접목묘의 광합성 능력이 매우 낮음을 의미하는 것이다. 한편 접목묘 개체군 내외에서의 CO<sub>2</sub> 농



## 88. CO<sub>2</sub>

도를 측정할 때 개체군의 수직방향으로 CO<sub>2</sub> 농도가 불균일하게 측정되는 사례가 발생하였다. 이러한 결과는 CO<sub>2</sub> 농도 측정 방법에 기인하기 보다는 활착실 내의 상대습도가 95%로서 매우 높게 유지되었기 때문인 것으로 판단된다. 수분은 CO<sub>2</sub>를 흡수하는 성질을 갖고 있다. 본 연구에서와 같이 CO<sub>2</sub> 농도 측정에 사용되는 공기의 상대습도가 높을 경우 적절하게 제습을 실시한 후 건공기가 적외선 분석기로 유입되어야 하는데, 워낙 상대습도가 높기 때문에 제습이 충분하게 이루어지지 않은 것으로 판단된다. 그러므로 본 연구에서는 상대습도가 높은 공기의 제습을 위해서 비분산적외선 (Non-dispersive infrared) 방식의 CO<sub>2</sub> 센서(GH-250E, Sensoric)로 유입되는 sampling air가 실리카겔이 들어있는 제습병을 통과한 후 CO<sub>2</sub> 센서의 입구로 들어가도록 하였다.

활착촉진장치 내의 기온, 상대습도 및 기류속도가 각각 27℃, 90%, 0.1m·s<sup>-1</sup>로 제어되면서 광합성유효광량자속이 50μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 75μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>를 유지하는 조건에

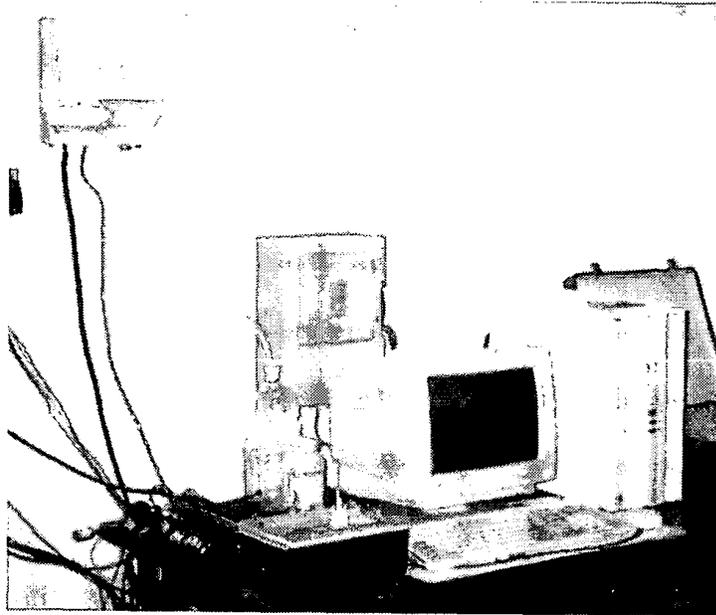


그림 88. CO<sub>2</sub> 센서와 데이터로거를 이용한 접목묘의 CO<sub>2</sub> 농도 측정 시스템

도를 측정할 때 개체군의 수직방향으로 CO<sub>2</sub> 농도가 불균일하게 측정되는 사례가 발생하였다. 이러한 결과는 CO<sub>2</sub> 농도 측정 방법에 기인하기 보다는 활착실 내의 상대습도가 95%로서 매우 높게 유지되었기 때문인 것으로 판단된다. 수분은 CO<sub>2</sub>를 흡수하는 성질을 갖고 있다. 본 연구에서와 같이 CO<sub>2</sub> 농도 측정에 사용되는 공기의 상대습도가 높을 경우 적절하게 제습을 실시한 후 건공기가 적외선 분석기로 유입되어야 하는데, 워낙 상대습도가 높기 때문에 제습이 충분하게 이루어지지 않은 것으로 판단된다. 그러므로 본 연구에서는 상대습도가 높은 공기의 제습을 위해서 비분산적외선 (Non-dispersive infrared) 방식의 CO<sub>2</sub> 센서(GH-250E, Sensonic)로 유입되는 sampling air가 실리카겔이 들어있는 제습병을 통과한 후 CO<sub>2</sub> 센서의 입구로 들어가도록 하였다.

활착촉진장치 내의 기온, 상대습도 및 기류속도가 각각 27°C, 90%, 0.1m · s<sup>-1</sup>로 제어되면서 광합성유효광량속이 50μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, 75μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>를 유지하는 조건에

서 활착된 접목묘 개체군의 순광합성속도가 그림 89에 실려 있다. 여기에서 순광합성 속도는 접목 후 최초 24시간의 암조건이 경과된 시점의 명기 개시 후 3시간 간격으로 측정된 CO<sub>2</sub> 농도를 기준으로 식(15)에 의해서 계산된 평균값이다.

접목 후 명기의 개시와 더불어 접목묘가 광합성을 이루나, 이 때의 순광합성속도는 42~64mgCO<sub>2</sub> · dm<sup>-2</sup> · h<sup>-1</sup> 로서 매우 작게 나타났다. 그 후 접목묘의 순광합성속도는 활착이 진행되면서 증가하는 것으로 나타났다. 단, 접목 후 4일째의 순광합성속도가 50μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, 75μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>의 광량에서 모두 감소하였는데, 이와 같은 결과는 순광합성속도가 증가하는 경향을 고려할 때 CO<sub>2</sub> 센서의 일시적 오동작에 따른 측정오차로 판단된다. 한편 상대적인 강광에 해당하는 75μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>의 광량에서 순광합성속도는 50μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>의 경우에 비해서 평균 26% 높게 나타났다. 이러한 결과는 접목묘의 활착 단계에서도 접목묘의 광합성능력이 광량에 의해서 지배됨을 의미하는 것으로서, 접목 초기에 접목묘로부터의 과도한 증발산을 피할 수 있는 범위 내에서 가능한 광량을 증가시키는 것이 바람직함을 암시하는 것이다. 접목묘의 활착 과정에서 광량을 증가시키면 활착 촉진은 물론 경화 단계에서 강광 조건에 쉽게 적응하여 접목묘의 생존율을 높일 것으로 기대된다.

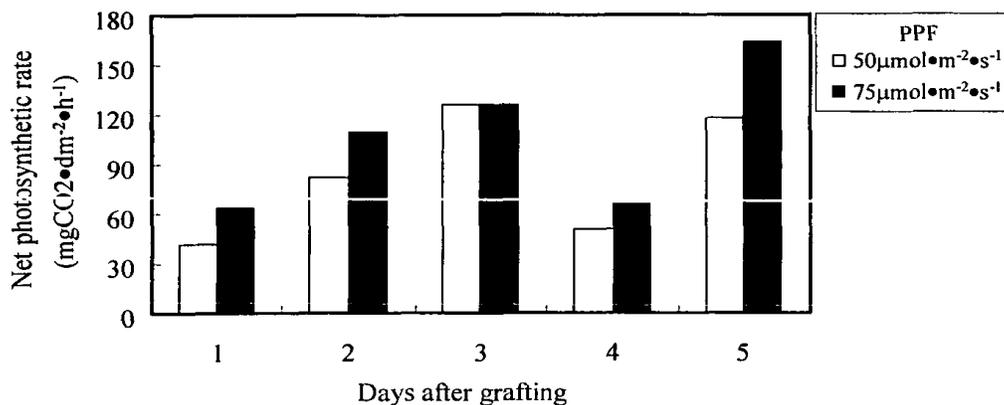


그림 89. 광합성유효광량자속과 접목 후 경과 일수에 따른 접목묘의 순광합성속도

## 2. 접목묘의 대량 활착 실험

이제까지 구명된 인공광하에서 접목묘의 적정 활착조건은 상대습도 90% 이상, 기류 속도  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 기온  $25 \sim 27^\circ\text{C}$ , 광합성유효광량자속  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 광주기  $12\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 이다. 그러므로 II형 활착촉진장치 내의 기온, 상대습도, 광합성유효광량자속, 기류속도, 광주기를 각각  $27^\circ\text{C}$ , 90%,  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $12\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 설정하고 활착실 내의 선반에 2,400주(50공 플러그트레이 48개에 해당)의 접목묘를 올려 놓고 활착 실험을 수행한 결과 표 24와 같이 나타났다.

표 24. 접목묘의 대량 활착 실험 결과

구 분	정상적으로 활착된 묘	위조가 일부 나타난 묘	고사된 묘	계
주수	2,189	112	99	2,400
비율 (%)	91.2	4.7	4.1	100.0

실험 결과 접목한 2,400주 가운데 정상적으로 활착된 묘는 2,189주(91.2%), 활착 단계에서 접수가 일부 시들었으나 회복된 묘 112주(4.7%), 고사한 묘 99주(4.1%)로 나타났다. 활착 단계에서 접수가 일부 시들었으나 회복된 묘는 스트레스로 인하여 묘소질이 다소 저하되었을 것으로 생각되나, 이를 포함할 경우 활착율은 95.9%로서 이전 실험 결과와 유사하게 나타나 대량 활착 실험에서도 인공광을 이용한 활착촉진장치가 매우 유효함을 확인할 수 있었다. 한편 활착 단계에서 접수가 일부 시들었거나 묘가 고사한 원인으로 활착촉진장치 내의 환경이 적정 수준으로 제어되지 않았거나, 접목자의 접목 미숙 등을 제시할 수 있다. 활착촉진장치 내에서 활착 후 성묘로 된 접목묘가 그림 90에 실려 있다.



90.



그림 90. 인공광을 이용한 활착촉진장치 내에서 성묘로 완성된 접목묘

## 제5절 결 론

인공광하에서 접목묘의 적정 활착 조건을 구명하고자 접목묘의 증발산속도 측정 시스템을 구성하고, 접목묘의 증발산과 활착 특성에 미치는 환경 요소의 영향을 정량적으로 살펴보았다. 본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 접목묘의 증발산속도에 미치는 물리적 환경요소의 영향을 정량적으로 분석하고자 기류속도의 조절이 가능한 풍동을 제작하고, 증발산속도 측정 시스템을 구성하였다.
2. 접목묘의 증발산속도와 활착율에 미치는 광주기, 기온, 상대습도, 기류속도, 광합성 유효광량자속의 영향을 분석하였다. 증발산속도와 활착율을 고려할 때 적정 활착 조건은 기온  $25\sim 27^{\circ}\text{C}$ , 상대습도 90%, 기류속도  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 광합성유효광량자속  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 광주기  $12\text{h}\cdot\text{d}^{-1}$ 로 나타났다. 상기 조건에서 접목묘의 활착율은 90~100%로서 높게 나타나, 활착이 원활하게 이루어짐을 알 수 있다.
3. 인공광하에서 5일간 활착된 접목묘의 자연광 조건에서의 순화를 고려하여 접목 초기의 활착 조건, 즉 기온  $27^{\circ}\text{C}$ , 습도 90%, 광합성유효광량자속  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 광주기  $12\text{h}\cdot\text{d}^{-1}$ , 기류속도  $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 활착을 실시한 후 접목 후 3일째부터 상대습도의 계단식 감소( $95\%\rightarrow 85\%$ )와 광량의 계단식 증가( $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\rightarrow 50\sim 75\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )가 건전한 접목묘 생산에 효과적인 것으로 나타났다.
4. 접목묘의 순광합성속도가 접목 초기에는  $42\sim 64\text{mgCO}_2\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 로서 매우 작으나, 활착이 진행되면서 순광합성속도가 증가하였다.  $75\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광합성유효광량자속에서 순광합성속도는  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 경우에 비해서 평균 26% 높게 나타났다. 이러한 결과는 접목묘의 활착 단계에서도 접목묘의 광합성능력이 광량에 의해서 지배됨을 의미하는 것으로서, 접목 초기에 접목묘로부터의 과도한 증발산을 피할 수 있는 범위 내에서 광량의 증가가 바람직한 것으로 판단된다.

5. 접목묘의 적정 활착 조건에 해당하는 기온 27℃, 습도 90%, 광합성유효광량자속 50  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 광주기 12h · d<sup>-1</sup>, 기류속도 0.1m · s<sup>-1</sup>에서 대량 활착 실험을 수행한 결과 접목한 2,400주 가운데 정상적으로 활착된 묘는 2,189주(91.2%), 활착 단계에서 접수가 일부 시들었으나 회복된 묘 112주(4.7%), 고사한 묘 99주(4.1%)로 나타났다. 활착 단계에서 접수가 일부 시들었으나 회복된 묘는 스트레스로 인하여 묘소질이 다소 저하되었을 것으로 생각되나, 이를 포함할 경우 활착율은 95.9%로서 이전 실험 결과와 유사하게 나타나 대량 활착 실험에서도 인공광을 이용한 활착촉진장치가 매우 유효함을 확인하였다.

## 제 4 장 접목묘의 생체정보 계측

### 제1절 서 언

접목묘를 생산하는 농가 또는 육묘공장에서는 과채류의 종류 또는 재배농가의 접목 기술 수준에 따라 호접, 삼접, 할접, 핀접 등의 다양한 접목 방법을 사용하고 있다(渡部와 板木, 1990). 그런데 접목 방법에 따라 접목 또는 활착 관리에 소요되는 노력과 자동화 가능성, 활착 단계에서의 물리적 환경, 활착 성공률, 활착에 소요되는 일수 등이 다르게 나타난다.

접목묘의 생산은 육묘, 접목 조작 및 활착 순화의 3단계를 거치게 된다. 육묘 단계에서는 접목에 최적의 묘를 준비하고, 접목조작 단계에서는 효율적인 결합과 묘에 스트레스가 주어지지 않도록 단시간 내에 처리하여야 한다. 또한 성묘로의 마무리를 위한 활착 순화 단계에서는 접목묘의 접수와 대목이 결합부를 형성하고, 통도조직이 결합되려면 상호의 캘루스(callus) 증식 및 분화되기 위한 생리 반응이 필요하다(Oda, 1995). 그러므로 접목묘의 생산 효율을 향상시키거나 식물의 생리 활성을 유지하려면 활착 과정에서 최적환경을 탐색한 후 조성하는 것이 바람직하다. 접목묘의 활착을 촉진시키기 위한 최적환경 조건을 확립하려면 접목 후 묘의 상태에 대한 생체정보를 수집하고, 생체정보에 기초하여 환경제어를 실시하는 것이 유효할 것으로 판단된다.

본 연구는 접목묘의 생체정보로서 대목과 접수의 결합부위에 대한 3차원 가시화, 열화상 정보, 물리적 특성을 분석하고자 시도되었다.

### 제2절 접목묘 통도조직의 3차원 가시화

#### 1. 서 론

3차원 가시화는 2차원 영상을 입체적으로 표현할 수 있는 기술로서, 컴퓨터 그래픽

스 분야를 중심으로 가시화를 위한 다양한 기법(Senger, 1999)들이 개발되고 있다. 최근에는 자기공명영상(Magnetic resonance image) 또는 컴퓨터 단층촬영(Computer tomography)에 의해서 획득된 인체 특정 부위의 2차원 영상 자료를 이용하여 3차원 가시화를 이룰 뿐만 아니라 종합적인 생체정보를 추출하기 위한 시도가 의학 분야에 적용되고 있다(Traina et al., 1997).

한편 원예분야에서 3차원 가시화를 시도한 사례는 보고되지 않는 가운데 현미경 또는 CCD camera를 이용하여 2차원 영상 정보를 획득하거나 영상 정보를 해석하는 수준에 머물러 있다. 그런데 2차원 영상 정보만으로서 원예 작물의 생육 반응을 가시적으로 이해하는 데는 한계가 있다. 본 연구에서 관심을 갖는 접목묘 통도조직의 결합 과정에 대한 가시적 이해 또는 생리적 해석을 시도하려면, 접수와 대목의 결합 부위에 대한 3차원 가시화가 요구된다. 이 경우 통도조직 단면에 대한 2차원 영상이 획득되어야 한다. 통도조직에 대한 2차원 영상 정보는 접목묘의 생체정보를 추출할 때 유용한 자료로서 활용되며, 3차원 가시화를 위한 기본적인 자료가 될 것이다.

접목 방법 또는 접목묘의 활착 환경에 따른 접수와 대목의 결합 과정을 해석하고자 시도된 본 연구의 구체적인 목적은 결합 단면의 2차원 영상정보를 이용하여 접목묘 통도조직의 3차원 가시화를 이루는 데 있다. 즉, 접목묘 통도조직 내부구조의 3차원 영상을 實時間으로 분석하고자, CCD camera를 통하여 입력된으로부터 기준면, 줄기 및 통도조직의 윤곽정보를 추출하고 입력화상을 계층적으로 배치한 후, 통도조직 및 줄기의 외형을 연결하여 3차원 표면구조를 구축하는 데 있다. 또한 접목 방법에 따른 통도조직의 결합 상태를 살펴보고자 한다.

## 2. 공시 접목묘의 준비

본 실험에 사용된 접목묘는 수박(감로, 홍농종묘)과 박(FR King, 홍농종묘)을 편엽삽접한 것으로서, 접목 후 인공광을 이용한 접목묘 활착촉진장치 내에서 기온, 상대습도, 광합성유효광량자속 및 기류속도가 각각 27℃, 95%,  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 제어되는 가운데 활착되었다. 접목 후 초기 24시간은 암조건을 유지하였으며, 24시간

이 경과한 이후부터 명기와 암기를 각각 12시간씩으로 조절하였다. 통도조직의 3차원 가시화를 위해서 접목 후 15일이 경과한 접목묘를 공시묘로서 사용하였다.

한편 접목 방법에 따른 접수와 대목의 결합 과정을 살펴보고자 수박 접목에 널리 적용되는 호접, 합접, 편엽삽접에 의해서 접목된 접목묘를 대상으로 접목후 소요된 활착 일수에 따른 접목묘 도관의 3차원 가시화를 시도하였다. 호접에 사용된 접수와 대목은 각각 수박(삼복꿀, 흥농종묘)과 박(FR Top)으로서, 김제시에 위치한 일흥농장에서 접목이 이루어진 것이다. 합접에 사용된 접수와 대목은 각각 수박(삼복꿀, 흥농종묘)과 박(FR Ummason)으로서, 익산원예농업협동조합 육묘사업소에서 접목된 것이다. 편엽삽접된 접목묘는 본 연구진에 의해서 생산된 것이다.

### 3. 가시화를 위한 영상처리 시스템의 구성

접목묘의 생산은 육묘, 접목 조작 및 활착 순화의 3단계를 거치게 된다. 육묘 단계에서는 접목에 최적인 묘를 준비하고, 접목조작 단계에서는 효율적인 결합과 묘에 stress가 주어지지 않도록 단시간내에 처리하여야 한다. 또한 성묘로의 마무리를 위한 활착 순화 단계에서는 접목묘의 접수와 대목이 접합부를 형성하고, 일체화되기 위해서 상호의 callus 증식 및 분화되기 위한 생리 반응을 필요로 한다. 그러므로 접목묘 생산 효율의 향상 또는 식물의 생리 활성을 유지하기 위해서 최적환경을 확립하는 것이 중요하다. 접목묘의 활착촉진을 위한 최적환경조건을 확립하려면 접목후 묘의 상태에 대한 생체정보를 수집하고, 생체정보에 기초하여 환경제어를 실시하는 것이 유효할 것으로 판단된다.

접목묘의 접합부에 대한 영상을 획득할 때 조명에 의한 색상의 왜곡을 최소화하고자 CCD camera 좌우에 3과장 형광등을 1개씩 설치하였다. 시료대는 조명램프로부터 수직방향으로 60cm 아래에 위치시켰으며, 주변으로부터의 빛을 차단한 상태에서 입력 영상을 얻었다. 영상의 입력을 위한 센서로서 해상도가 768(수평)x493(수직) 화소인 RGB CCD camera(XC-711, Sony)와 Zoom lens를 사용하였다.

그림 1과 같이 CCD camera의 RGB 칼라영상 출력은 주 컴퓨터 내에 장착된 영상처

리장치로 입력되어 영상처리를 위하여 프레임버퍼(frame buffer)에 저장된다. 주컴퓨터로서 IBM AT486 DX2를 이용하였으며, 영상처리장치로는 RGB 값으로부터 HSI 값으로의 실시간 변환이 가능한 칼러 영상처리장치(DT2781)를 이용하였다. 프레임버퍼에 저장된 영상은 모니터에 실시간으로 재현되는 데, 이를 위하여 칼러모니터(KX-14CP1 Trinitron, Sony)를 사용하였다. 영상입력 및 영상처리를 위한 프로그램은 C 언어를 사용하여 개발하였다.

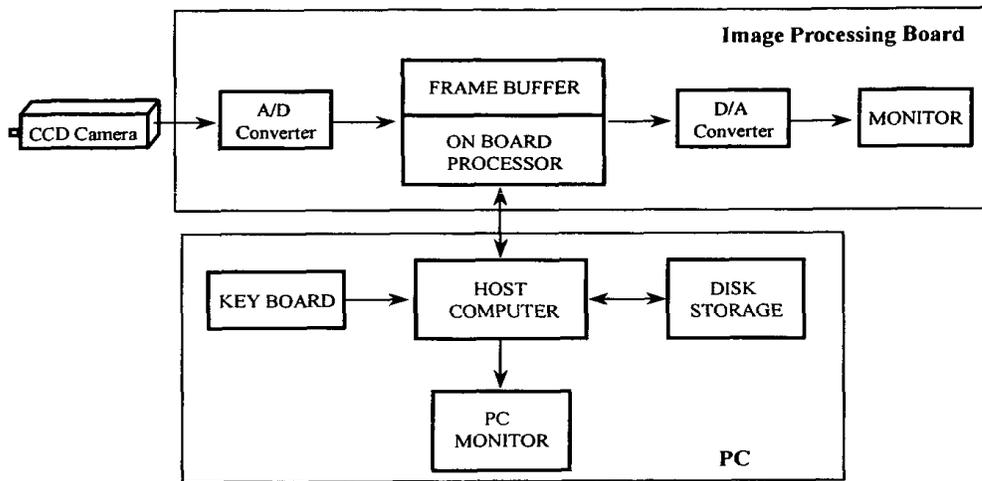
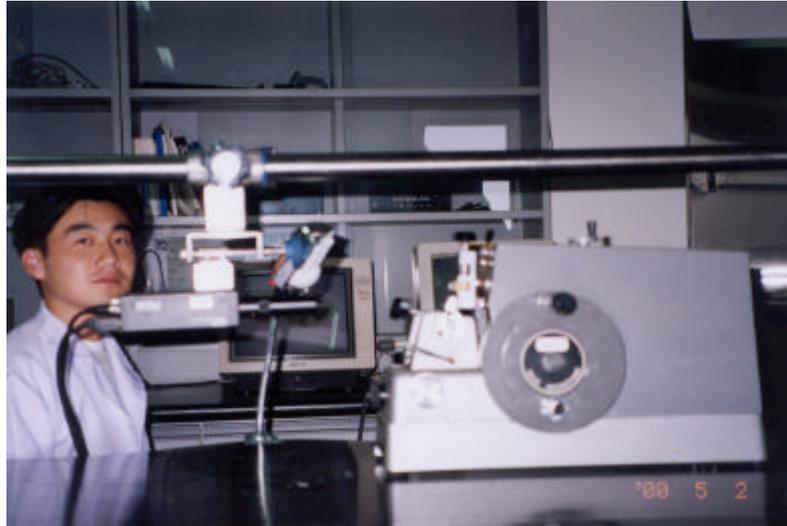


그림 91. 동도조직의 2차원 영상을 획득하기 위한 영상처리 시스템의 구성

#### 4. 접목묘 통도조직의 결합 단면에 대한 영상 입력

접목묘의 접합부에서 통도조직의 결합 상태를 구명하기 위해서 다음과 같은 방법을 적용하였다. 우선 접합부의 내부구조, 즉 도관의 형성상태를 명확하게 관찰하기 위해서 접목묘의 근부를 깨끗하게 세척한 후 농도 1%의 Eosin 용액에 5분간 담가두어 접목묘의 도관을 염색하였다. 다음으로 파라핀을 사용하여 접합부의 일정 범위를 고정 한 후 microtome 을 이용하되 배측의 종단면과 횡단면에서 각각 0.5~1.0mm 간격으로 절단하여 시편을 제작하였다. 그 후 Zoom lens가 부착된 CCD camera와 영상처리

시스템을 사용하여 제작된 시편으로부터 접합부 단면의 2차원 화상을 입력하였다(그림 92).



92.

2

CCD

##### 5. 접목묘 통도조직의 3차원 시각화 단계

접목묘의 3차원 시각화 작업은 크게 영상입력, 영상처리, 시각화 등 크게 3단계로 구분된다. 영상입력 단계는 접목묘를 slicing하여 각 단면의 영상을 얻는 과정이다.

영상 처리과정은 배경으로부터 대상 물체를 분할하고, 대상물체 내부에서 도관부분의 contrast를 enhancing하는 과정으로서 영상을 3번째 단계의 시각화 과정에 제공하게 된다. 본 연구를 위해서 영상처리과정은 Matlab 5.0을 이용하여 구현하였는데, 이 과정을 설명하면 다음과 같다. 첫째, 배경으로부터 대상물체를 분할하기 위하여 입력영상을 RGB(Red, Green, Blue) format 에서 HSV(Hue, Saturation, Value) format으로 변환하여 saturation 값에 따라 문턱값을 처리하였다. 이 때 사용된 문턱값은  $38 < S$  이다. 둘째, 도관부분의 contrast를 강조하기 위해서 Hue 영상 또는 Green영상을 근거로 하여 문턱값 처리를 하였으며, 문턱값은 각각의 영상에 따라 다르게 설정하였다. 여기에서

시스템을 사용하여 제작된 시편으로부터 접합부 단면의 2차원 화상을 입력하였다(그림 92).

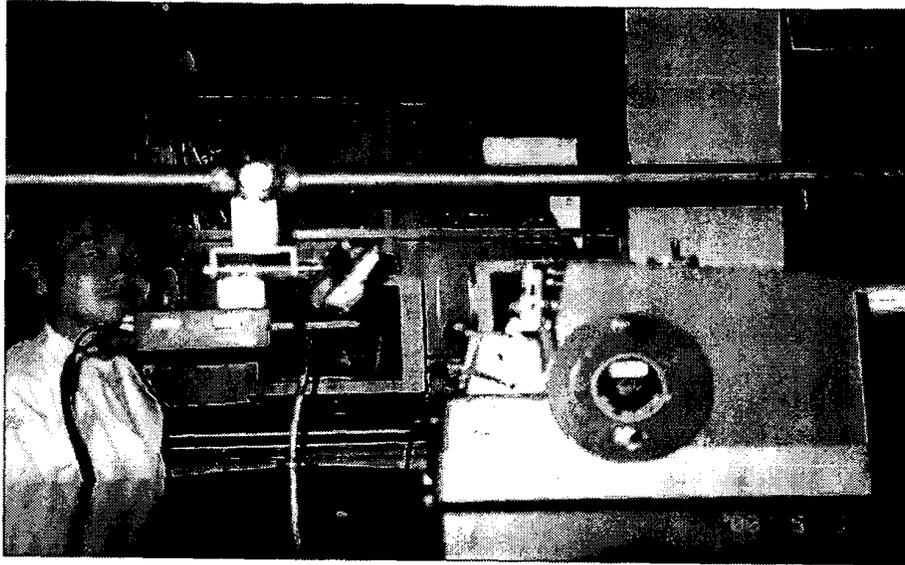


그림 92. 접목묘 통도조직의 2차원 영상 획득에 사용된 마이크로톰과 CCD 카메라

##### 5. 접목묘 통도조직의 3차원 시각화 단계

접목묘의 3차원 시각화 작업은 크게 영상입력, 영상처리, 시각화 등 크게 3단계로 구분된다. 영상입력 단계는 접목묘를 slicing하여 각 단면의 영상을 얻는 과정이다.

영상 처리과정은 배경으로부터 대상 물체를 분할하고, 대상물체 내부에서 도관부분의 contrast를 enhancing하는 과정으로서 영상을 3번째 단계의 시각화 과정에 제공하게 된다. 본 연구를 위해서 영상처리과정은 Matlab 5.0을 이용하여 구현하였는데, 이 과정을 설명하면 다음과 같다. 첫째, 배경으로부터 대상물체를 분할하기 위하여 입력영상을 RGB(Red, Green, Blue) format 에서 HSV(Hue, Saturation, Value) format으로 변환하여 saturation 값에 따라 문턱값을 처리하였다. 이 때 사용된 문턱값은  $38 < S$  이다. 둘째, 도관부분의 contrast를 강조하기 위해서 Hue 영상 또는 Green영상을 근거로 하여 문턱값 처리를 하였으며, 문턱값은 각각의 영상에 따라 다르게 설정하였다. 여기에서

문턱값이 각각 다를 수 밖에 없는 것은 입력영상의 색상정보가 균일하게 나타나 있지 않았기에, 하나의 값으로 설정할 경우 좋은 결과를 얻을 수가 없었기 때문이다. 따라서 각각의 영상을 별도로 처리한 후 결과를 비교하면서, Trial-Error Base로 문턱값을 결정하였다. 셋째, 최종의 시각화 과정은 각 slice별로 gray level 영상만을 받아들이므로 둘째 단계의 contrast가 강조된 영상 중에서 적색 성분을 추출하여 3차원 시각화에 활용하게 된다. 세 번째의 시각화 과정에서 vtk2.0(Visualization toolkit 2.0, Kitware, Inc.)을 활용하였다.

Visualization toolkit 2.0을 사용하여 접목부위의 2차원 입력 영상에 대한 3차원 시각화 과정의 작업 내용을 개략적으로 설명하면 다음과 같다.

#### 1) Read the Segmented Volume Data

대목과 접수 결합 부위에 대한 25 slices 개의 2차원 영상, 즉 256X256 pgm 파일을 읽어드린 후 segmented volume의 중심 좌표를 (0, 0)으로 설정한다. 다음으로 2차원 영상 입력에 사용된 횡단면의 직경과 길이의 실제 크기를 고려하되, 3차원 시각화 단계에서 결합부위에 대한 실물 느낌을 갖도록 voxel 즉 volume element의 크기를 0.2x0.2x5.0로서 가정하였다.

#### 2) Remove Islands

서로 떨어져 있는 작은 voxel 그룹들을 제거하기 위한 과정으로서, 4개 미만의 voxel 그룹을 제거하였다.

#### 3) Select a Tissue

줄기 부분과 도관 부분을 나누어 처리하고자 gray level 값의 범위에 따라 분리하여 선택하였다. 줄기 부분의 gray level은 1에서 254까지 설정하였다. 한편, 2단계 영상처리 과정의 contrast를 강조하고자 도관 부분의 gray level을 255로 설정하였다.

#### 4) Resample and smooth the Volume Data

추후에 생성될 triangles의 수를 줄이고자 volume data를 resampling하여 분해능을 낮추었다. 다음으로 계단 형상으로 되어 있는 거친 volume data의 형상을 Gaussian

kernel을 이용하여 smoothing한다. 이 때 Gaussian kernel의 표준편차는 X, Y, Z 방향 모두 (1.5, 1.5, 1.5)로 설정하였다.

#### 5) Generate Triangles

Marching cubes algorithm을 이용하여 Volume의 surface를 형성하는 작은 삼각형들을 생성하였다. Marching cubes algorithm은 아래와 같이 특허권이 있는 algorithm이다. THIS CLASS IS PATENTED UNDER UNITED STATES PATENT NUMBER 4,710,876. "System and Method for the Display of Surface Structures Contained Within The Interior Region of a Solid body".

#### 6) Reduce the Number of Triangles

윗 단계에서 생성된 삼각형 중에서 rendering에 불필요한 것들을 찾아서 제거하는 과정이다.

#### 7) Smooth the Triangle Vertices

서로 이웃하고 있는 삼각형들의 꼭지점들의 위치를 약간씩 이동시킴으로써 꼭지점 부근이 부드럽게 형성되도록 Laplacian mesh smoothing을 수행하는 과정이다.

#### 8) Generate Normals

Rendering과정에서 smooth shading을 얻을 수 있도록 각 꼭지점에 속해 있는 삼각형의 normal을 계산한다.

#### 9) Generate Triangle Strips

많은 수의 삼각형을 각각 취급하는 것보다 strip형태로 표현하는 것이 메모리와 계산 과정의 절감 측면에서 훨씬 경제적이다. 그러므로 이 과정에서 삼각형을 strip 형태로 변환하였다.

#### 10) Volume Data Mapping

Volume data의 3차원 좌표를 카메라의 위치 등을 고려하여 view plane의 2차원 좌표계로 변환하는 과정이다.

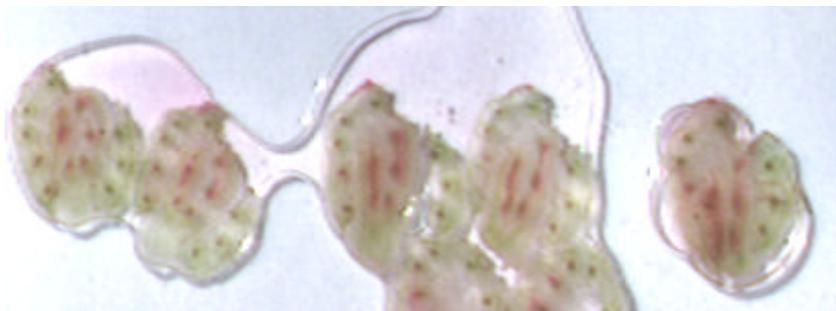
#### 11) Volume Rendering

조직의 색상, 조명의 특성, 조직의 투명도 등을 고려하여 시각화하는 과정이다. 도관의 색상은 pink로서 opacity는 1로 설정하였으며, 줄기부분의 색상은 lime green이며 opacity는 0.2로 설정하였다. 이 과정에서 opacity 1은 불투명, 0는 완전한 투명 상태를 의미한다.

## 6. 접목묘 통도조직의 3차원 가시화

### 가. 접목묘 통도조직의 2차원 영상 특성

그림 93은 접목묘 통도조직의 2차원 영상을 획득하는 데 사용된 접목묘 결합부를 세워놓고 횡방향으로 절단한 시편을 나타낸 것이다. 그림에서 중앙과 둘레 부분에 염색된 부분이 대목과 접수의 통도조직에 해당되는 데, 입력화상으로부터 대목 배측의 좌측에 위치한 통도조직과 경사지게 위치한 접수의 중앙에 있는 통도조직이 서로 연결됨을 알 수 있다. 이것으로부터 접수가 대목의 배측에 대해서 약 45°의 각도를 이루며 삽입되므로 삽입된 접수의 끝 부분에서부터 대목과 접수의 결합이 이루어짐을 알 수 있다.



93.

그림 94는 접목묘의 결합 부위를 종방향으로 절단한 시편에 해당한다. 그림의 중앙에 염색된 부분이 접수의 통도조직을 나타내는 데, 좌측에서 우측으로 이동할수록 접수의 통도조직이 길고 뚜렷하게 존재함을 알 수 있다. 대목(참박)의 경우 배측의 중앙 부분은 동공 상태를 이루므로 통도조직이 배측의 가장자리에 위치하나, 접수(수

조직의 색상, 조명의 특성, 조직의 투명도 등을 고려하여 시각화하는 과정이다. 도판의 색상은 pink로서 opacity는 1로 설정하였으며, 줄기부분의 색상은 lime green이며 opacity는 0.2로 설정하였다. 이 과정에서 opacity 1은 불투명, 0는 완전한 투명 상태를 의미한다.

## 6. 접목묘 통도조직의 3차원 가시화

### 가. 접목묘 통도조직의 2차원 영상 특성

그림 93은 접목묘 통도조직의 2차원 영상을 획득하는 데 사용된 접목묘 결합부를 세워놓고 횡방향으로 절단한 시편을 나타낸 것이다. 그림에서 중앙과 둘레 부분에 염색된 부분이 대목과 접수의 통도조직에 해당되는 데, 입력화상으로부터 대목 배측의 좌측에 위치한 통도조직과 경사지게 위치한 접수의 중앙에 있는 통도조직이 서로 연결됨을 알 수 있다. 이것으로부터 접수가 대목의 배측에 대해서 약 45°의 각도를 이루며 삽입되므로 삽입된 접수의 끝 부분에서부터 대목과 접수의 결합이 이루어짐을 알 수 있다.

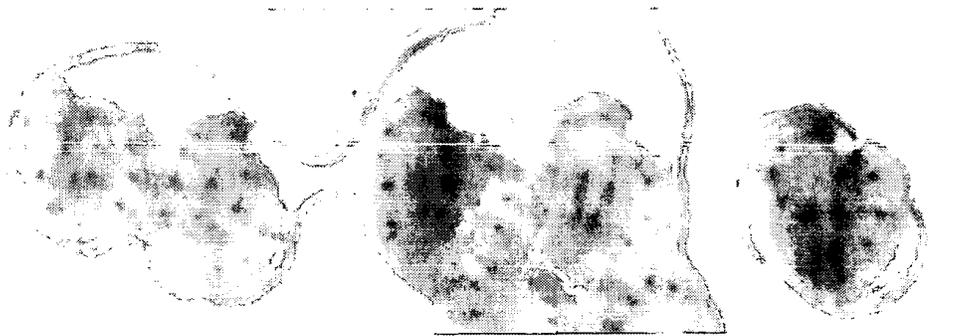
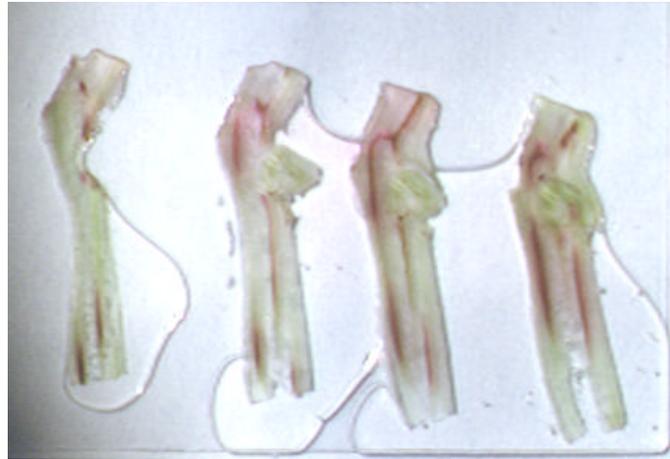


그림 93. 횡방향으로 절단한 접목묘 시편

그림 94는 접목묘의 결합 부위를 종방향으로 절단한 시편에 해당한다. 그림의 중앙에 염색된 부분이 접수의 통도조직을 나타내는 데, 좌측에서 우측으로 이동할수록 접수의 통도조직이 길고 뚜렷하게 존재함을 알 수 있다. 대목(참박)의 경우 배측의 중앙 부분은 동공 상태를 이루므로 통도조직이 배측의 가장자리에 위치하나, 접수(수

박)에서는 통도조직이 중앙에 위치함을 시편으로부터 이해할 수 있다.



94.

그림 95는 편엽삽접 후 10일 경과된 수박 접목묘의 접합부위를 횡방향으로 0.5mm 씩 절단한 시편에 대한 2차원 입력 영상을 나타낸 것이다.



95.

2

박)에서는 통도조직이 중앙에 위치함을 시편으로부터 이해할 수 있다.



그림 94. 종방향으로 절단한 접목묘 시편

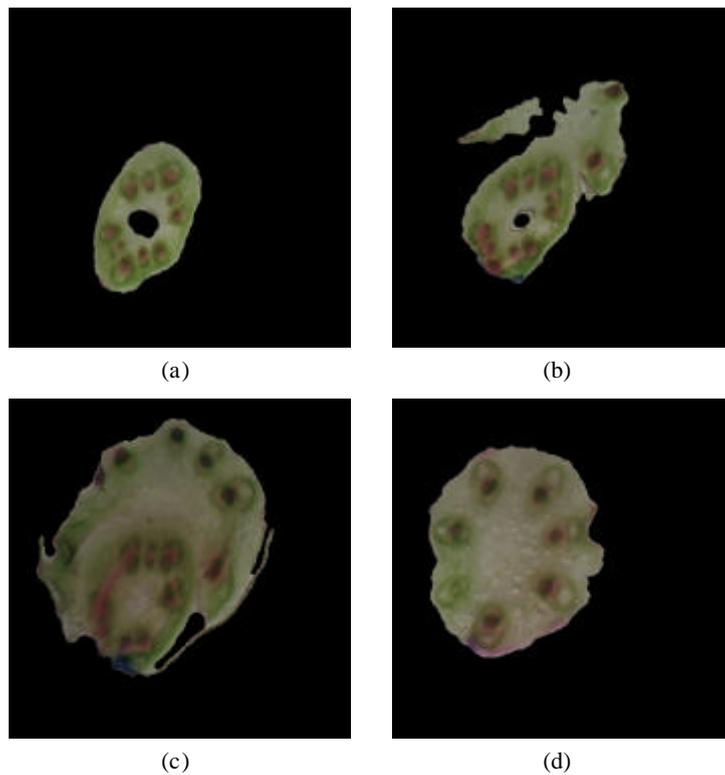
그림 95는 편엽삽접 후 10일 경과된 수박 접목묘의 접합부위를 횡방향으로 0.5mm 씩 절단한 시편에 대한 2차원 입력 영상을 나타낸 것이다.



그림 95. 통도조직 단면의 2차원 영상

염색이 이루어진 대목과 접수의 결합 부위를 파라핀으로 고정한 후 microtome을 이용하여 1mm 간격으로 slicing한 25개의 file들을 대상으로 위치를 바로잡고 첫째 단계의 처리를 거친 영상이 그림 96에 실려 있다. 다음으로 영상처리의 2단계, 즉 그림 3과 같이 contrast를 강조한 파일을 다시 Channel별로 분할하면, R, G, B 영상이 나오는데, 그중 R 영상을 3단계 시각화 과정의 입력영상으로 사용하였다.

그림 97(a)는 대목의 2차원 영상으로서 중앙부에 동공(洞空)이 있으며 동공 주위로 8개의 도관이 형성되어 있음을 나타내준다. 본 연구에서 접목방법으로 대목에 구멍을 내고 나서 접수의 배축을 비스듬하게 절단한 후 접수를 대목에 삽입한 편엽삽접을 시



96. 가  
2

염색이 이루어진 대목과 접수의 결합 부위를 파라핀으로 고정한 후 microtome을 이용하여 1mm 간격으로 slicing한 25개의 file들을 대상으로 위치를 바로잡고 첫째 단계의 처리를 거친 영상이 그림 96에 실려 있다. 다음으로 영상처리의 2단계, 즉 그림 3과 같이 contrast를 강조한 파일을 다시 Channel별로 분할하면, R, G, B 영상이 나오는데, 그중 R 영상을 3단계 시각화 과정의 입력영상으로 사용하였다.

그림 97(a)는 대목의 2차원 영상으로서 중앙부에 동공(洞空)이 있으며 동공 주위로 8개의 도관이 형성되어 있음을 나타내준다. 본 연구에서 접목방법으로 대목에 구멍을 내고 나서 접수의 배축을 비스듬하게 절단한 후 접수를 대목에 삽입한 편엽삽접을 시

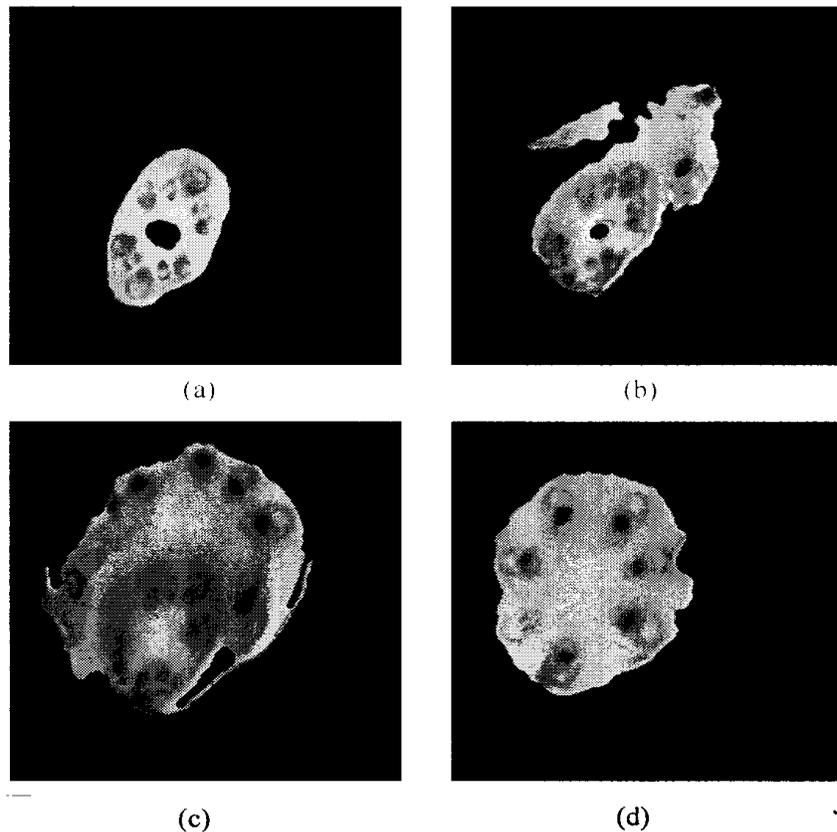
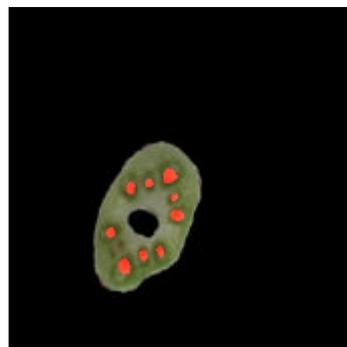


그림 96. 가시화 초기 단계에 사용된 통도조직 단면의 2차원 영상

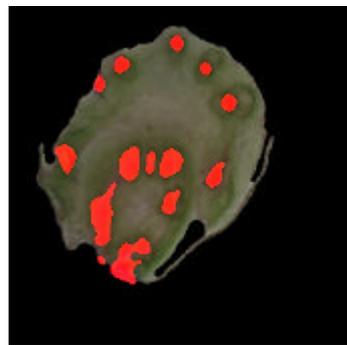
도한 바 대목과 접수의 통도조직이 배축 둘레의 한 부분에서부터 결합됨을 그림 3(b)에서 확인할 수 있다. 그림 3(c)는 배축 둘레의 한 부분에서부터 결합되기 시작한 통도조직의 결합 범위가 점차 주변으로 이동함을 나타낸 것이며, 그림 3(d)는 접수의 도관을 나타낸 것으로서 통도조직이 완전하게 결합되어 접수가 갖는 6개의 도관을 통하여 염색이 접수에 도달하였음을 나타내고 있다.



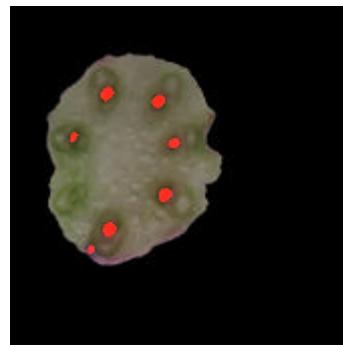
(a)



(b)



(c)



(d)

97.

R

도한 바 대목과 접수의 통도조직이 배측 둘레의 한 부분에서부터 결합됨을 그림 3(b)에서 확인할 수 있다. 그림 3(c)는 배측 둘레의 한 부분에서부터 결합되기 시작한 통도조직의 결합 범위가 점차 주변으로 이동함을 나타낸 것이며, 그림 3(d)는 접수의 도관을 나타낸 것으로서 통도조직이 완전하게 결합되어 접수가 갖는 6개의 도관을 통하여 염색이 접수에 도달하였음을 나타내고 있다.

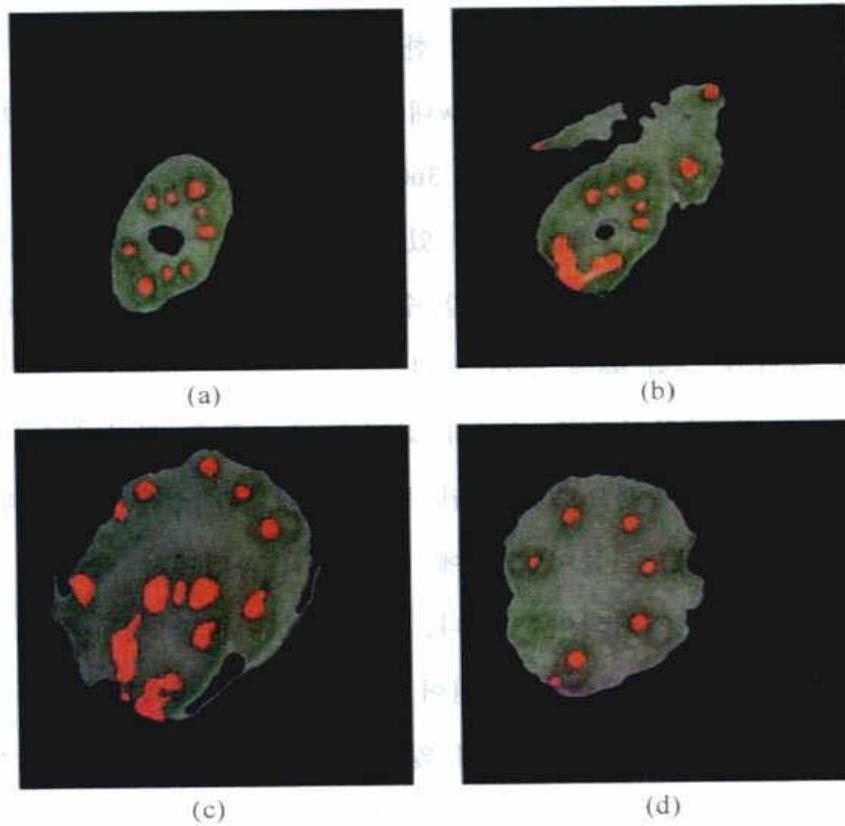


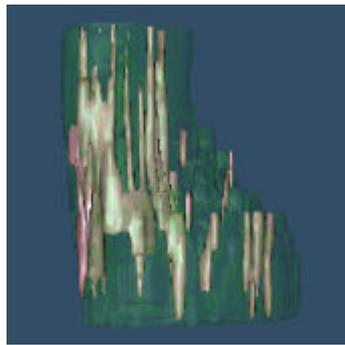
그림 97. 접목묘 통도조직 단면의 R 영상

#### 나. 통도조직의 3차원 가시화 특성

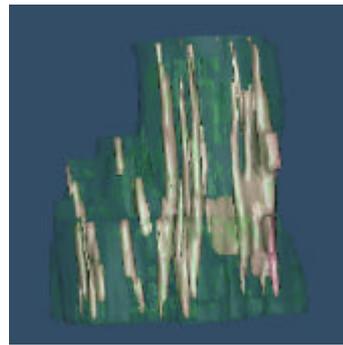
3단계 시각화과정에는 1번 부터 25번 까지의 영상이 stack처럼 쌓여서 3차원 volume data를 구성하게 된다. 3차원 데이터는 매우 많은 메모리를 차지하게 때문에 각각의 영상을 256x256 평면해상도로 줄여서 입력하였다. Visualization toolkit 2.0을 활용하여 접목묘 통도조직의 3차원 가시화를 시도한 바, 가시화 결과를 나타내는 window 화면에서 마우스를 이용하면 Zooming과 Rotation을 손쉽게 제어할 수 있다. 즉 window 화면의 하반부를 마우스의 오른쪽 버튼으로 click하면 Zoom out이 되며, 반대로 Zoom in을 하려면 화면의 상반부를 click하면 된다. 한편, 가시화 결과를 회전을 시키고자 할 때 마우스의 왼쪽 버튼을 이용하여 window내부의 어느 곳이든 클릭하고 있으면 그 방향으로 회전이 이루어진다. 이렇게 하면 360° 어느 방향이든지 자유롭게 회전시켜가면서 통도조직의 결합 상태를 확인할 수 있으며, 적당한 화면이 나타났을 때 화면 capture 프로그램을 이용하여 image를 생성할 수 있다. 256x256x25 size의 3차원 데이터를 이용한 가시화 결과가 그림 98에 실려 있다.

그림 98(a)는 통도조직 결합상태의 가시화 화면을 오른쪽을 회전시켜가면서 획득한 하나의 화면이다. 화면에서 녹색으로 표시된 부분이 대목과 접수가 결합된 배측이고, 수직으로 배열된 굵거나 가는 관들이 도관에 해당된다. 화면에서 좌측에 놓인 대목과 접수의 도관 2~3개가 서로 결합되어 있으나, 중앙부에 위치한 대목과 접수의 도관들은 서로 1개씩 거의 직선을 이루며 결합되어 있는 것으로 나타났다. 우측에 위치한 대목의 도관들은 접수의 도관들과 연결되지 않았는데, 이것은 대목에 남아있는 하나의 자엽을 도관의 염색 단계에서 제거하였기 때문이다. 이로 말미암아 편엽삼접의 경우 접목 초기에 대목의 자엽이 위치한 반대쪽의 도관으로부터 결합이 이루어지며, 시간이 경과할수록 나머지 도관들이 결합하는 것으로 확인되었다. 그림 98(b)는 가시화 화면을 왼쪽으로 회전시켜가면서 획득한 것으로서, 그림 98(a)를 반대쪽에서 바라본 결과에 해당한다. 그림 98(c)는 그림 98(a)를 윗쪽으로 회전시켰을 때 나타난 화면의 일부로서, 대목의 7~8개 도관이 분명히 나타나 있다. 그림 98(d)는 그림 98(a)를 아랫

쪽으로 회전시켜가면서 획득한 화면으로서, 접수의 도관이 배측 들레에 분명히 위치하고 있음을 보여주고 있다.



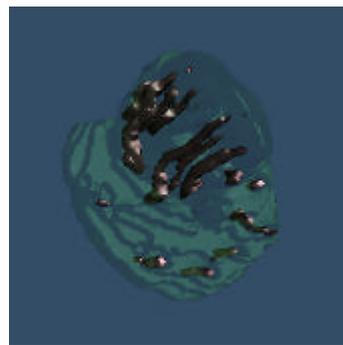
(a)



(b)



(c)



(d)

98.

3 가

다. 접목 방법에 따른 통도조직의 3차원 가시화

호접, 합접, 편엽삽접에 따른 접수와 대목의 결합 과정을 살펴보고자 접목묘 결합부위에 대한 3차원 가시화를 시도하였다. 그림 99는 편엽삽접된 접목묘의 결합 부위에 대한 2차원 영상을 나타낸 것으로서, 그림 99(a)는 대목의 단면 영상에 해당한다. 그림 99(b)~99(e)는 대목과 접수의 결합 부위에 해당하는 영상이며, 그림 99(f)로부터 접수

쪽으로 회전시켜가면서 획득한 화면으로서, 접수의 도관이 배측 둘레에 분명히 위치하고 있음을 보여주고 있다.

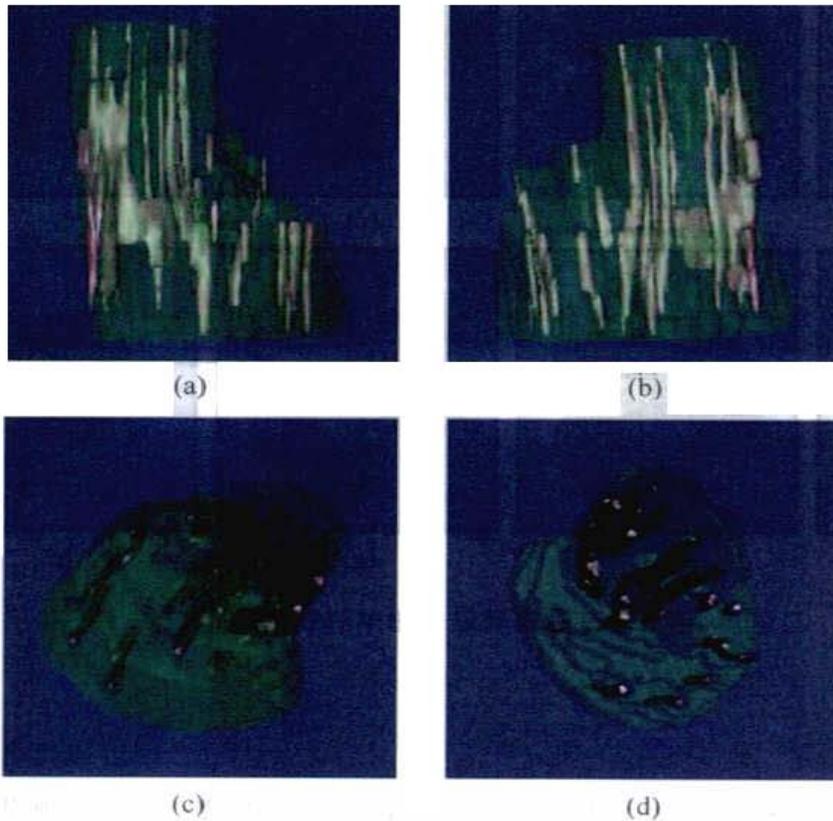
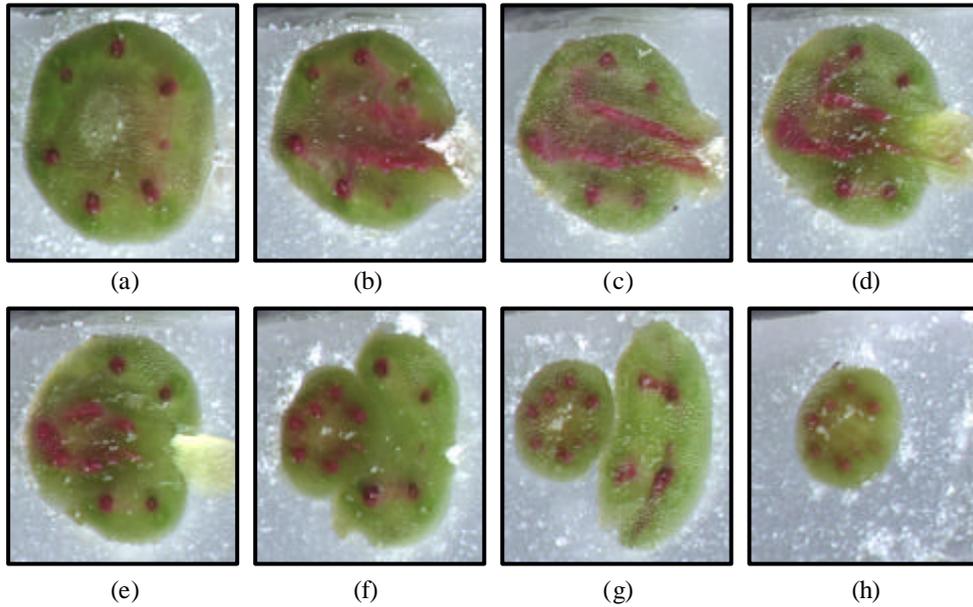


그림 98. 여러 각도에서 본 접목묘 결합부위의 3차원 가시화

#### 접목 방법에 따른 통도조직의 3차원 가시화

호접, 합접, 편엽삼접에 따른 접수와 대목의 결합 과정을 살펴보고자 접목묘 결합부에 대한 3차원 가시화를 시도하였다. 그림 99는 편엽삼접된 접목묘의 결합 부위에 대한 2차원 영상을 나타낸 것으로서, 그림 99(a)는 대목의 단면 영상에 해당한다. 그림 99(b)~99(e)는 대목과 접수의 결합 부위에 해당하는 영상이며, 그림 99(f)로부터 접수

에 해당하는 영상이 분명하게 나타나 있다.



99.

2

그림 99에서 대목과 접수의 통도조직에 해당하는 2차원 단면 영상이 배경 또는 줄기와 명확하게 구분되지 않았다. 그러므로 단면 영상을 gray level로 처리하였는 바(그림 100), 통도조직과 줄기가 명확하게 구분되었다. 접목 방법과 접목 후 경과 일수에 따라 gray level로 처리된 단면 영상을 계층적으로 배열하여 3차원 가시화를 시도한 결과가 그림 101에 제시되어 있다. 그림에서 밝게 처리된 부분이 대목과 접수의 통도 조직에 해당한다. 접목 후 10일째에 접목 방법에 상관없이 대목과 접수의 결합이 이루어졌으며, 삽접과 호접의 경우 편엽삽접에 비해서 통도조직의 결합이 광범위하게 이루어지는 것으로 나타났다.

에 해당하는 영상이 분명하게 나타나 있다.

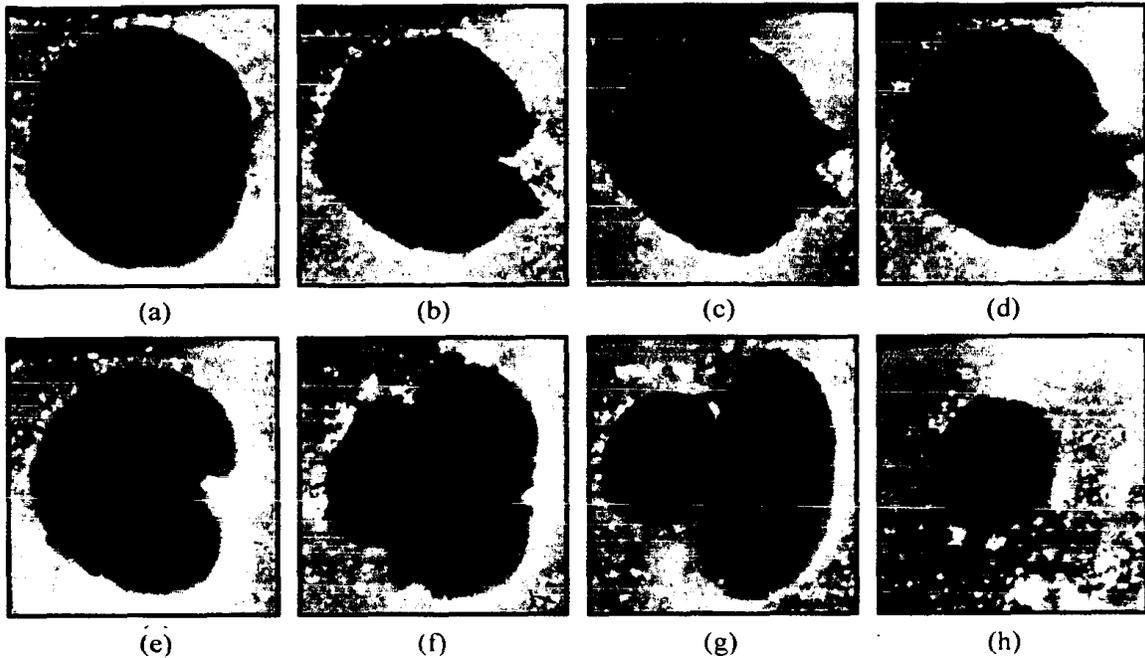
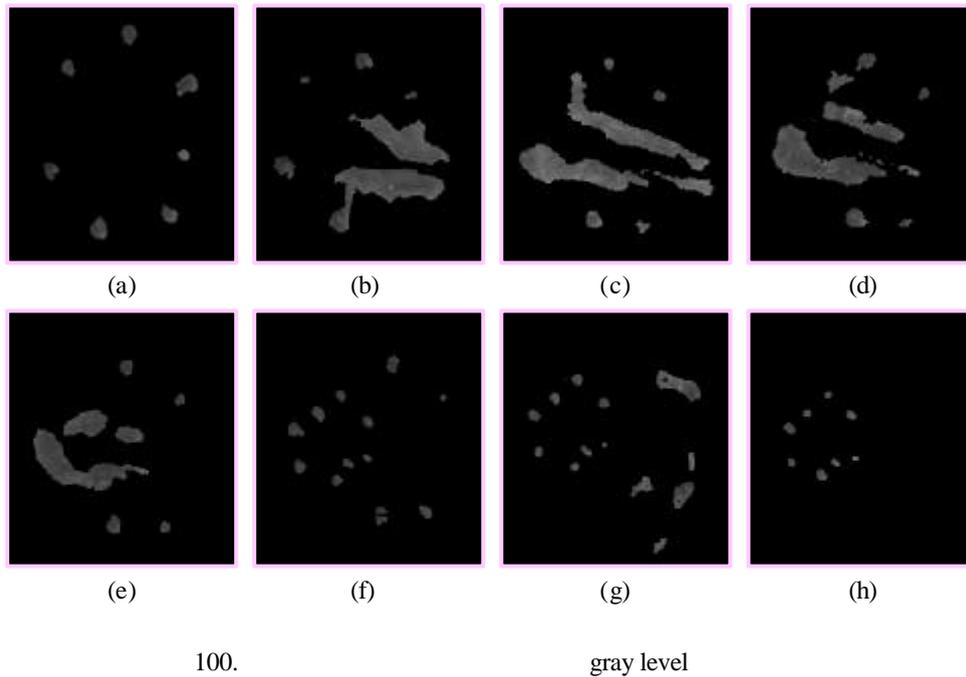


그림 99. 편엽삼점된 접목묘 결합부위의 2차원 영상

그림 99에서 대목과 접수의 통도조직에 해당하는 2차원 단면 영상이 배경 또는 줄기와 명확하게 구분되지 않았다. 그러므로 단면 영상을 gray level로 처리하였는 바(그림 100), 통도조직과 줄기가 명확하게 구분되었다. 접목 방법과 접목 후 경과 일수에 따라 gray level로 처리된 단면 영상을 계층적으로 배열하여 3차원 가시화를 시도한 결과가 그림 101에 제시되어 있다. 그림에서 밝게 처리된 부분이 대목과 접수의 통도조직에 해당한다. 접목 후 10일째에 접목 방법에 상관없이 대목과 접수의 결합이 이루어졌으며, 삼점과 호점의 경우 편엽삼점에 비해서 통도조직의 결합이 광범위하게 이루어지는 것으로 나타났다.



접목묘 통도조직의 3차원 가시화를 시도한 이유는 대목과 접수의 결합 과정에 대한 가시적 이해를 도모하면서, 접목 후 경과된 일수에 따른 접목방법별 통도조직의 결합 상태를 비교하는 데 있었다. 그런데 접목 후 5일 이내의 접목묘에 대한 결합 부위의 2차원 영상을 얻을 때 대목과 접수가 완전하게 결합되지 않아 *microtome*을 이용하여 단면을 절단하는 과정에서 절단 부위의 일부가 훼손되어 본래의 영상을 획득하기가 쉽지 않았다. 이로 인하여 2차원 단면 영상을 3차원으로 구성하는 데 어려움을 겪었으며, 접목 후 활착 초기 단계에서의 3차원 가시화가 불가능해졌다. 향후 통도조직 결합 상태의 가시적 이해 또는 접목 과정에 대한 생체정보 추출을 위해서 3차원 가시화를 시도할 때 왜곡되지 않은 2차원 단면 영상의 획득이 중요할 것으로 판단된다.

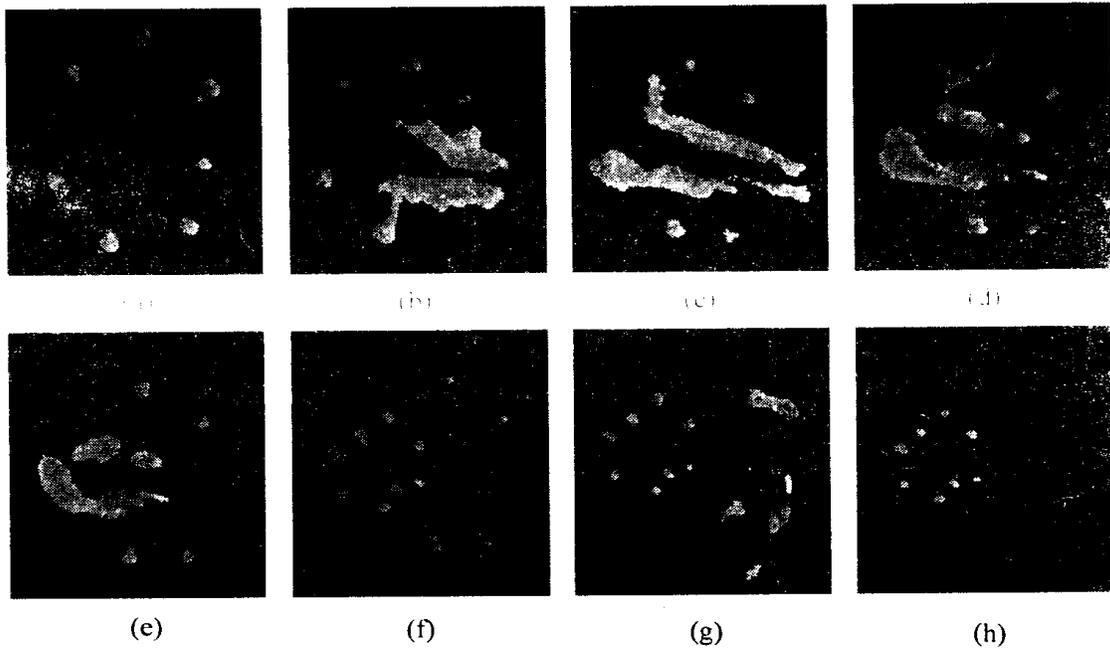


그림 100. 편엽삽점된 접목묘 결합부위를 gray level로 처리한 영상

접목묘 통도조직의 3차원 가시화를 시도한 이유는 대목과 접수의 결합 과정에 대한 가시적 이해를 도모하면서, 접목 후 경과된 일수에 따른 접목방법별 통도조직의 결합 상태를 비교하는 데 있었다. 그런데 접목 후 5일 이내의 접목묘에 대한 결합 부위의 2차원 영상을 얻을 때 대목과 접수가 완전하게 결합되지 않아 microtome을 이용하여 단면을 절단하는 과정에서 절단 부위의 일부가 훼손되어 본래의 영상을 획득하기가 쉽지 않았다. 이로 인하여 2차원 단면 영상을 3차원으로 구성하는 데 어려움을 겪었으며, 접목 후 활착 초기 단계에서의 3차원 가시화가 불가능해졌다. 향후 통도조직 결합 상태의 가시적 이해 또는 접목 과정에 대한 생체정보 추출을 위해서 3차원 가시화를 시도할 때 왜곡되지 않은 2차원 단면 영상의 획득이 중요할 것으로 판단된다.

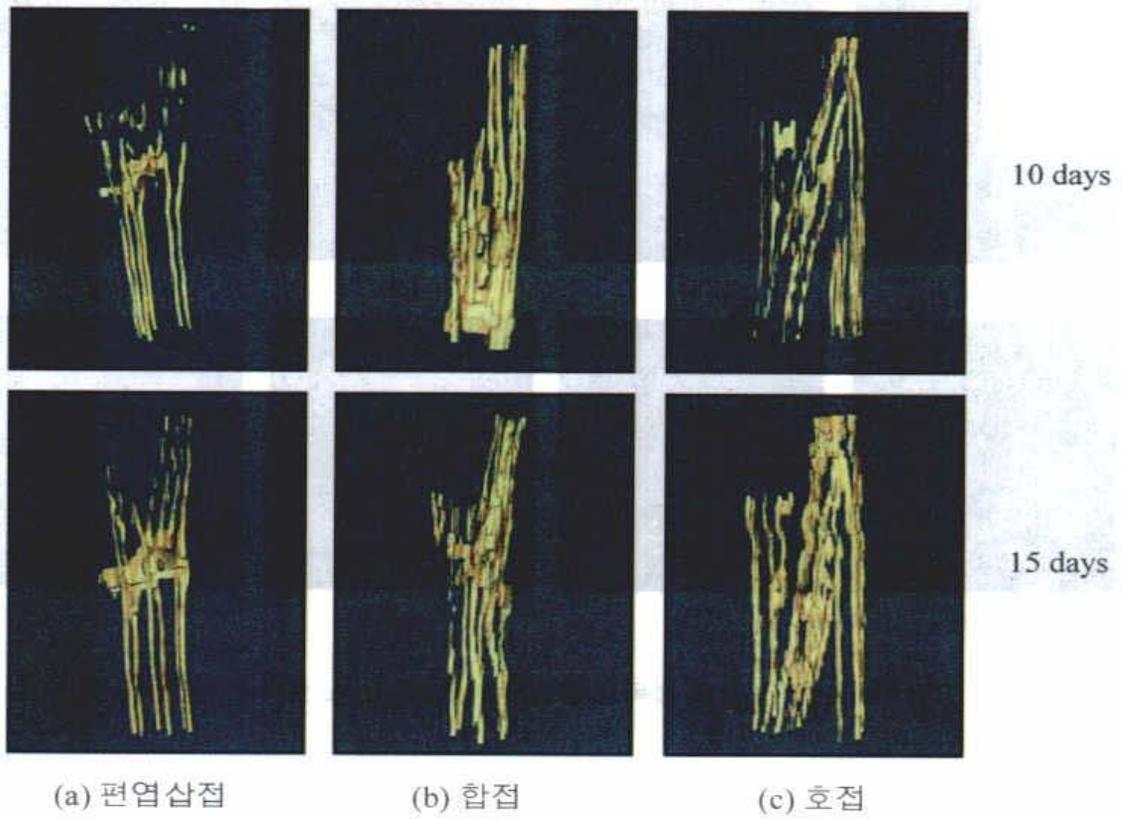


그림 101. 접목방법에 따른 결합부위의 3차원 가시화

### 제3절 접목묘 결합 부위의 열화상 정보 해석

#### 1. 서 언

접목묘의 활착에 미치는 환경요소의 효과를 분석하고, 적정 활착 조건을 구명하려면 활착에 방해가 되지 않는 방법으로 대목과 접수의 결합 상태를 측정할 수 있어야 한다. 이제까지 대목과 접수의 결합과 같이 작물의 상태를 판정하는 데 사용되는 방법들은 작물에 손상을 줄 뿐 만 아니라 측정에 많은 시간과 노력이 투입된다.

원격 측정의 한 방법인 열화상과 디지털 영상 분석을 이용하면 대상 작물에 직접적으로 접촉하지 않고도 작물의 연속적인 생체 정보를 비파괴적으로 측정할 수 있다. 원격 측정에 의해서 얻어진 정보가 컴퓨터에 입력되어 처리되면 작물의 상태를 판정할 때 개입될 수 있는 주관적 오차를 줄일 수 있다. 이제까지 열화상 정보를 이용하여 각종 스트레스에 대한 작물의 반응을 구명한 결과가 보고되었으나(Ceccardi, 1995; Inoue, 1986; Hashimoto et al., 1984), 활착 단계에 있는 접목묘의 결합 부위에 관한 보고가 이루어지지 않고 있다. 그러므로 본 연구는 광질이 다른 환경하에서 활착된 접목묘를 대상으로 열화상과 디지털 영상처리 장치를 사용하여 접목묘 결합 부위의 온도 변화를 측정하고, 결합 상태를 비파괴적으로 해석하고자 시도되었다.

#### 2. 열화상 정보의 측정

##### 가. 공시재료

열화상 정보의 측정에 사용된 수박 접목묘는 편엽삽접된 것으로서, 대목과 접수에 각각 FR-홍련(홍농종묘)와 감로(홍농종묘)를 사용하였다. 접목 후 활착은 인공광형 활착촉진장치 내에서 이루어졌으며, 활착 환경은 기온 27 °C, 상대습도 90%, 광합성유효 광량자속은  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 유지하였다.

##### 나. 열화상 측정 장치

접목묘 결합 부위의 온도 변화를 측정 및 분석하고자 열영상 처리 장치를 사용하였다. 본 실험에서 사용된 열영상 처리 장치는 서울대학교 농업생명과학대학 부속 농업

과학공동기기센터(NICEM)에서 보유하고 있는 것으로서, 열화상 촬영기, 영상 처리기, 모니터 등으로 구성된다.

열화상 촬영기는 대상물에서 방사되는 적외선 복사를 측정하는 장치로서 가시광선에 대해서는 민감하지 않다. 어느 물체의 복사는 물체 표면 온도에 의해서 결정되므로 복사를 알면 물체의 온도를 계산할 수 있다. 물체로부터의 복사는 적외선 감지 센서의 저항을 변화시킨다. 한편 적외선 감지 센서의 저항 변화는 입사되는 적외선 복사의 세기에 비례하는 전압의 변화를 가져온다. 그러므로 여러 개의 적외선 감지 센서로 이루어진 센서 배열에서의 전압 변화를 디지털화하여 물체의 열화상이 이루어진다. 열화상 처리 장치의 사양이 표 25에 실려 있다.

표 25. 열화상 처리 장치의 사양

Item	Specifications
Model	IQ 812 (FLIR, USA)
Measurement range	-20 to 500 °C
Resolution	0.06 °C at 30°C
Spectral range	8 to 12 μm
Detector material	Hg, Cd, Te (Mercury Cadmium Telluride)
Frame time	0.8 seconds
Emmissivity setting	-10 to 1.0 in 0.01 increments

영상 처리 장치는 열화상 촬영기에 의해서 촬영된 데이터를 컬러모니터에서 볼 수 있도록 영상신호로 변환하거나 사용자가 컴퓨터를 사용하여 분석 할 수 있도록 영상 파일로 변환시킨다. 또한 영상 처리기는 열화상 촬영기를 제어하고, 전원을 공급하는 역할을 한다. 영상 처리기에 대한 주요 사양이 표 26에 제시되어 있다. 변환된 영상 파일은 가로 348화소, 세로 240줄로 이루어지며 온도에 따라 256 가지의 각기 다른

색으로 표현된다.

표 26. 영상처리기의 특성

Characteristic	Specifications
Standard video outputs	RS-170, RGBS, Y/S, NTSC, PAL
Display levels	256 discrete levels
Display Resoution Standard (NTSC) PAL	480 lines × 640 pixels 580 lines × 512 pixels
Image update rate standard (NTSC) PAL	30 frames per second 25 frames per second

#### 다. 인공광원

광질이 다른 환경하에서 활착된 접목묘의 결합 부위에 대한 열화상 정보를 얻고자 인공광원으로 청색광(FL-40B, 별표), 적색광(FL-40R, 금동), 백색광(FL-40D, 신광전기) 형광등을 사용하였다(그림 26, 그림 27). 상기의 형광등을 인공광원으로 사용한 가운데 4처리 (백색광, 청색광, 적색광, 청색광+적색광)의 광질로 구분하였다. 각각의 처리에서 광합성유효광량자속은 플러그트레이 표면을 기준으로  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 을 유지하도록 하였다. 청색광과 적색광을 혼합한 혼합광의 경우 광합성유효광량자속을 기준으로 청색광과 적색광을 1:2의 비율로 조성하였다.

#### 라. 측정 방법

서로 다른 광질 처리에서 활착되는 접목묘의 접목 후 경과한 일수에 따라 결합 부위의 식물체 온도가 변화하는 특성을 측정할 때 외부 영향을 줄이기 위하여 온도, 습도, 풍량 조절이 가능한 인공광형 활착촉진장치 내에서 열화상을 획득하였다. 이 때 열화상 촬영기는 접목묘로부터 약 50cm 떨어진 곳에 위치하였다. 열화상 정보를 정확

하게 획득하려면 주위 물체로부터의 복사에 의한 효과를 최소화하는 것이 바람직하다. 이를 위하여 본 연구에서는 접목묘 주위의 온도를 균일하게 하고자 스티로폼을 접목묘의 배경으로 사용하였다. 실험 중 활착촉진장치 내의 기온과 상대습도는 각각 26~28℃, 90%로 유지하였다. 결합 부위에 대한 열화상 정보는 접목 후 2일째부터 열화상 장치를 이용하여 12시간 단위로 획득하였다. 그림 102는 본 실험에 사용된 열화상 측정 장치의 구성도를 나타낸 것이다.

접목 후 시간이 경과함에 따른 결합 부위의 온도 변화는 열화상 장치와 함께 제공된 열화상 처리 프로그램(AnalyzIR+)을 사용하여 분석하였다. 획득된 열화상은 가로 640 화소, 세로 480 화소로 이루어져 있으며, 온도에 따라 각기 다른 256색으로 표현된다. 그러므로 각각의 열화상에서 대목과 접수의 결합 부분과 결합 부위 이외의 줄기 부분에 대한 온도는 가로 10 화소와 세로 15 화소에 해당하는 면적을 기준으로 온도를 산출하였다. 특히 줄기 부분에 대한 온도의 기준점을 설정하고자 플러그트레이 표면으로부터 50 화소 떨어진 지점의 온도를 측정하였다. 측정된 면적( $W_{10} \times H_{15} = 150 \text{ pixels}$ )에 대한 온도는 평균온도(Mean T), 최소온도(Min T), 최대온도(Max T)로 구분하여 표시하였다. 열화상 처리 프로그램의 온도와 배경의 복사율은 각각 13~33℃, 0.64~0.65로 설정하였다.

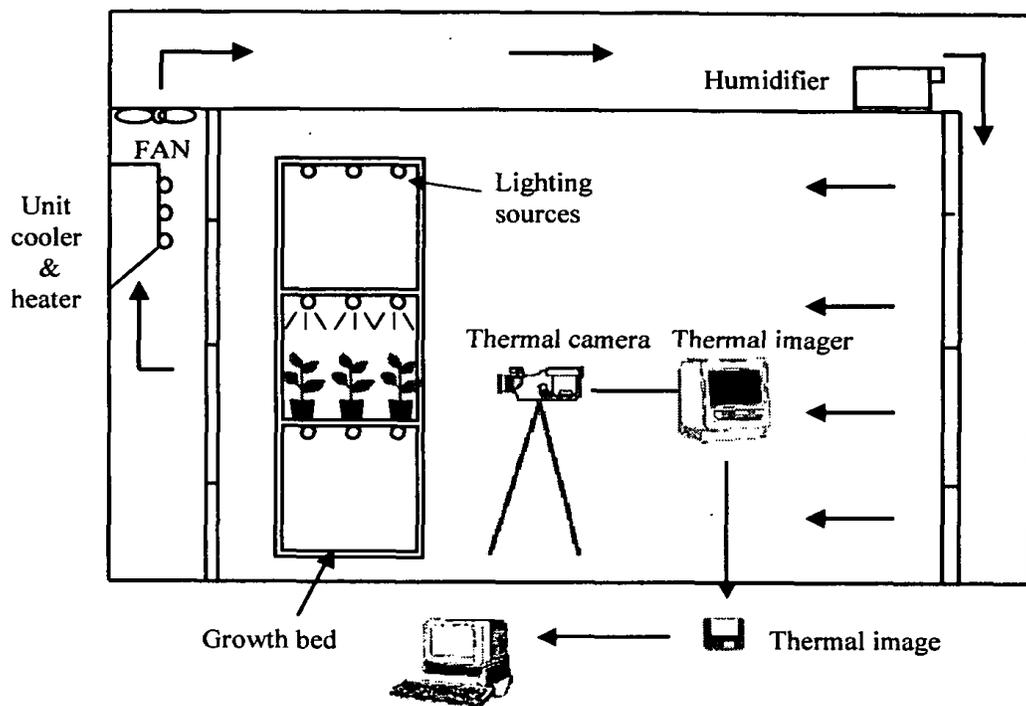
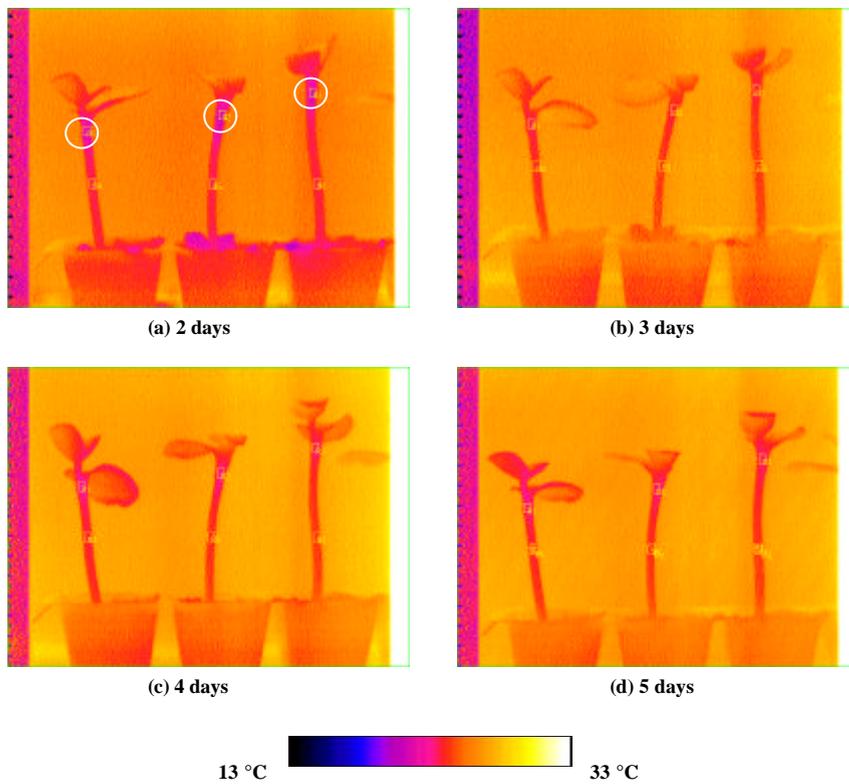


그림 102. 점목묘 활착촉진장치 내에서 열화상 측정 시스템의 구성

### 3. 접목묘 결합 부위의 열화상 정보

그림 103(a)~103(d)는 본 실험에서 촬영한 접목묘의 열화상 중 일부로서, 백색 형광 등(FL-40D)하에서 촬영되고 있는 접목묘에 대하여 측정된 열화상을 나타낸 것이다. 열화상의 온도 범위를 13~33℃로 설정하였는 바, 백색에 근접할수록 33℃에 이르며, 흑색에 근접할수록 13℃에 가깝게 된다. 접목 후 2일째에 해당하는 그림 103(a)에서 접수와 대목의 결합부위, 즉 백색 원으로 표시한 부위가 청색을 나타내 다른 부위에 비해서 온도가 낮음을 알 수 있다.



103.

### 3. 접목묘 결합 부위의 열화상 정보

그림 103(a)~103(d)는 본 실험에서 촬영한 접목묘의 열화상 중 일부로서, 백색 형광등(FL-40D)하에서 활착되고 있는 접목묘에 대하여 측정된 열화상을 나타낸 것이다. 열화상의 온도 범위를 13~33℃로 설정하였는 바, 백색에 근접할수록 33℃에 이르며, 흑색에 근접할수록 13℃에 가깝게 된다. 접목 후 2일째에 해당하는 그림 103(a)에서 접수와 대목의 결합부위, 즉 백색 원으로 표시한 부위가 청색을 나타내 다른 부위에 비해서 온도가 낮음을 알 수 있다.

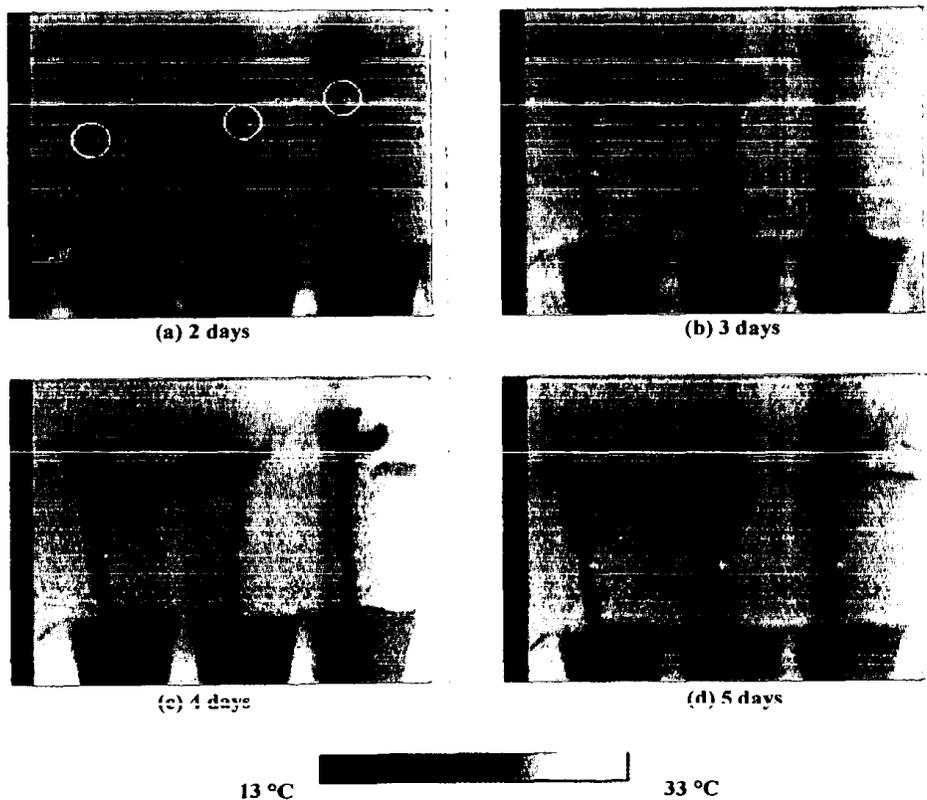


그림 103. 접목 후 경과된 일수에 따른 접목묘의 열화상

가. 백색광하에서 활착된 접목묘의 온도 변화

그림 104~그림 106은 백색광 형광등(FL-40D)하에서 활착된 접목묘의 접목 후 2일에서 5일까지 접목부분의 식물체 온도, 줄기부분의 식물체 온도, 접목부분과 줄기부분의 식물체 온도차를 평균값, 최대값, 최소값으로 구분하여 나타낸 것이다. 그림 104에서 Mean T는 그림 3에서 볼 수 있는 바와 같이 3주의 접목묘 열화상에 대한 접목부위와 줄기부위에 대한 평균온도에 해당한다. 한편 Min T와 Max T는 3주의 접목묘 열화상에 대한 접목부위와 줄기부위에 대한 각각의 최소온도와 최대온도의 평균값에 해당한다.

그림 104에서 접목부분의 평균 온도가 접목 후 2일째의 경우 약 24℃로 나타났으며, 접목 후 5일이 경과하였을 때에는 약 26℃로서 2℃ 정도 상승하는 것으로 나타났다. 한편 줄기부분의 평균 온도가 명기에는 약 26℃, 암기에는 약 27℃를 유지하고 있다. 그러므로 활착이 이루어지는 동안 접목묘 결합 부위의 온도가 줄기 부분에 비해서 약 2~3℃ 낮게 유지되는 것으로 나타났다. 한편 활착기간 동안 인공광원의 광주기를  $12\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 조절한 바, 접목부분과 줄기부분의 온도가 명기에는 다소 내려갔다가 암기로 접어들면서 상승하는 현상이 반복적으로 나타났다.

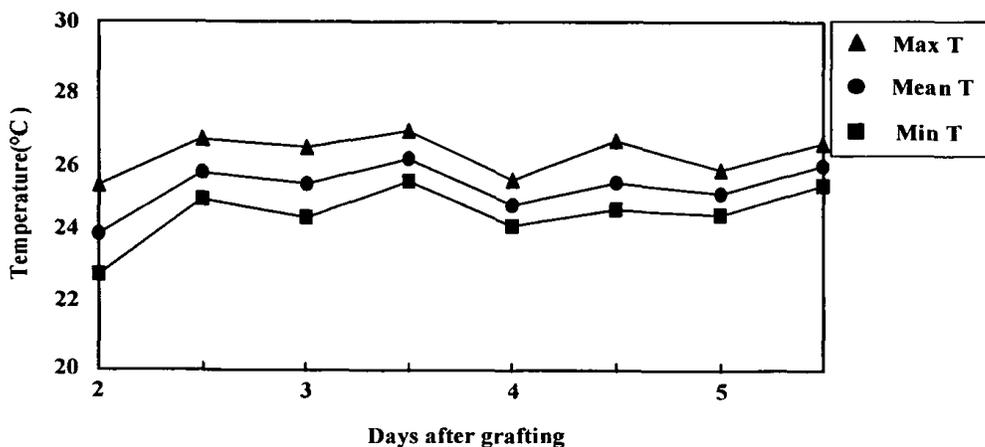


그림 104. 백색광하에서 활착된 접목묘 접목부분의 온도 변화

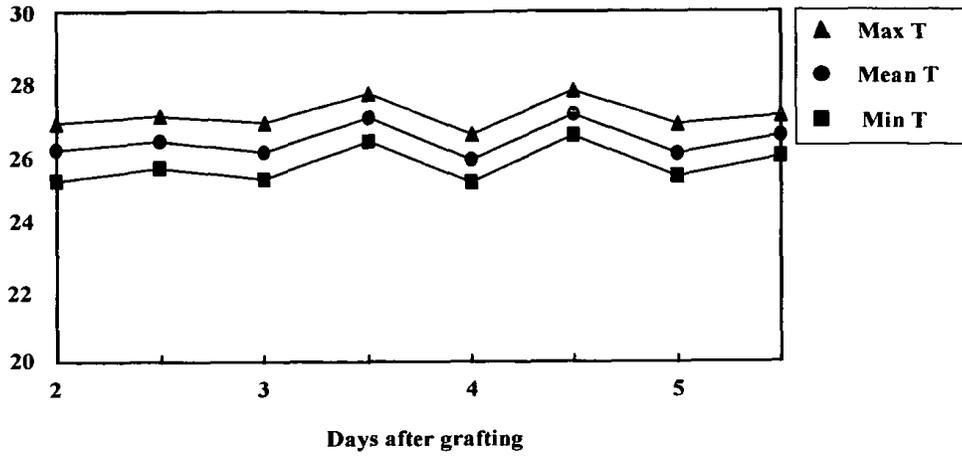


그림 105. 백색광하에서 활착된 접목묘 줄기부분의 온도 변화

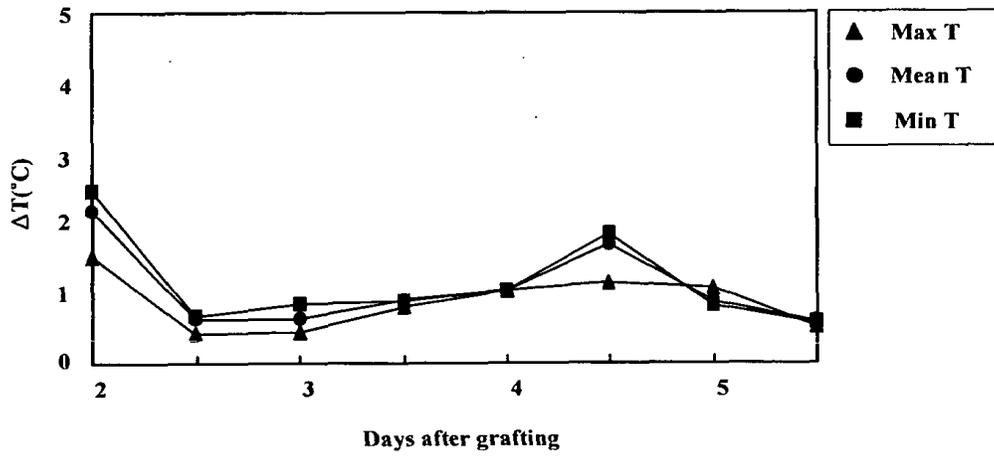


그림 106. 백색광하에서 활착된 접목묘의 줄기부분과 접목부분의 온도차 변화

접목 후 2일에서 5일까지 백색광하에서 활착된 접목묘의 접목부분과 줄기부분에 대한 온도차가 그림 107에 실려 있다. 그림에서  $\Delta T1$ ,  $\Delta T2$ ,  $\Delta T3$  및  $\Delta T4$ 는 각각 다음과 같이 정의된다.

$$\Delta T1 = \text{접목부분의 Max T} - \text{Min T}$$

$$\Delta T2 = \text{줄기부분의 Mean T} - \text{접목부분의 Min T}$$

$$\Delta T3 = \text{줄기부분의 Mean T} - \text{접목부분의 Max T}$$

$$\Delta T4 = \text{줄기부분의 Mean T} - \text{접목부분의 Mean T}$$

접목 후 2일째에  $\Delta T1$ ,  $\Delta T2$ ,  $\Delta T3$  및  $\Delta T4$ 는  $0.8 \sim 2.6^{\circ}\text{C}$ 이고, 접목 후 5일째에  $\Delta T1$ ,  $\Delta T2$ ,  $\Delta T3$  및  $\Delta T4$ 는  $0.2 \sim 1.5^{\circ}\text{C}$ 로서 접목 후 일수가 경과함에 따라 온도차가 점차 감소하였다. 접목 후 2일째에  $\Delta T1$ 은  $2.6^{\circ}\text{C}$ 로서 접목부분, 즉 대목과 접수의 결합 부위 내에서도 온도차가 비교적 크게 존재하였으며, 5일째에는  $1.3^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다. 그림 3에서 확인할 수 있듯이 대목과 접수의 결합 부위에 해당하는 식물체 온도가 대목 또는 접수의 줄기 온도보다 낮기 때문에 상기의 결과가 나타난 것으로 판단된다. 한편 활착기간 암기에 비해서 명기의 온도차가 다소 높게 나타났다. 줄기 부분과 접목 부분의 평균 온도차  $\Delta T4$ 는 접목 후 2일째에  $2.2^{\circ}\text{C}$ 였으나, 접목 후 5일째의 명기에는  $0.9^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다.

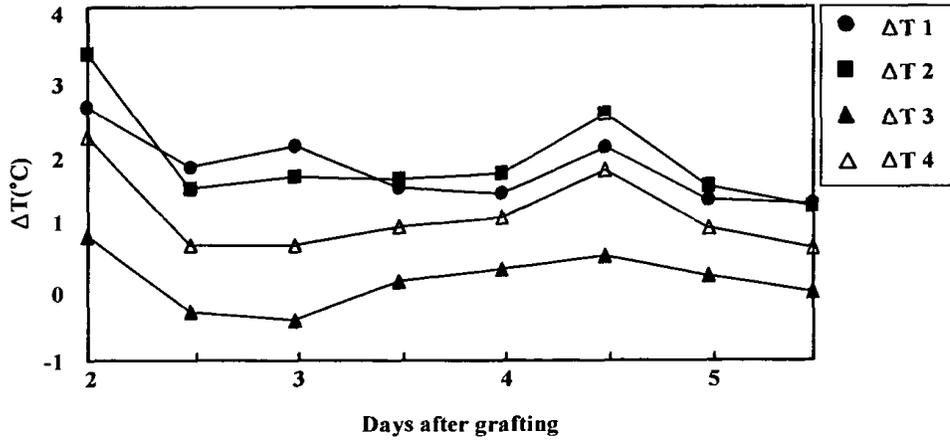


그림 107. 백색광하에서 활착된 접목묘의 온도차 변화

나. 청색광하에서 활착된 접목묘의 온도 변화

그림 108~그림 110은 청색광(FL-40B) 형광등하에서 활착된 접목묘의 접목 후 2일에서 5일까지 접목부분의 식물체 온도, 줄기부분의 식물체 온도, 접목부분과 줄기부분의 식물체 온도차를 평균값, 최대값, 최소값으로 구분하여 나타낸 것이다. 접목부분의 평균 온도가 접목 후 2일째의 경우 약 25°C이나, 접목 후 5일째에서는 약 26°C로서 활착이 이루어지면서 식물체온이 1°C 증가하였다. 백색광에서와 마찬가지로 접목부분과 줄기부분의 온도가 명기에는 다소 내려갔다가 암기로 접어들면서 상승하는 현상이 반복적으로 나타났다.

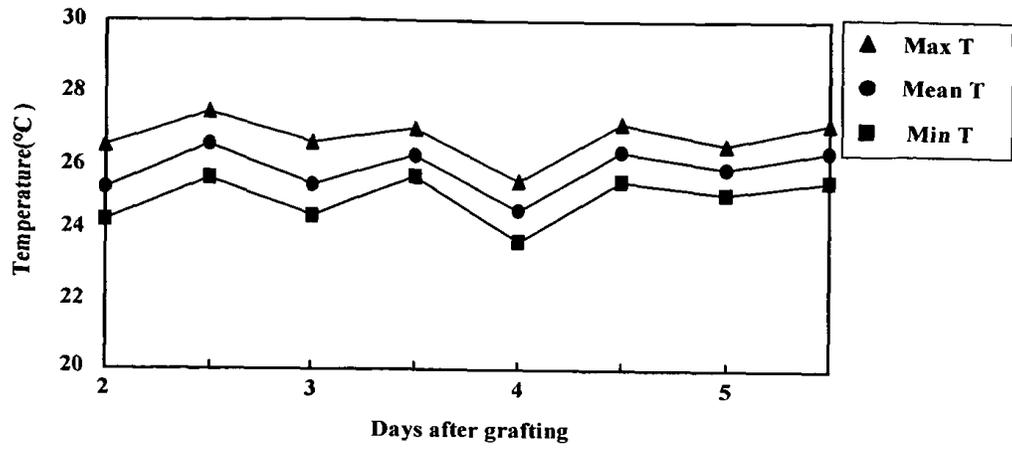


그림 108. 청색광하에서 활착된 접목묘 접목부분의 온도 변화

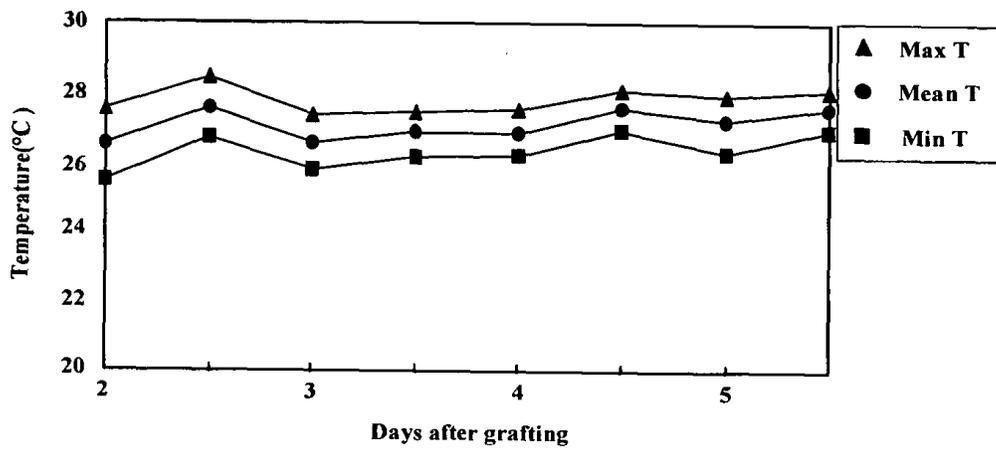


그림 109. 청색광하에서 활착된 접목묘 줄기부분의 온도 변화

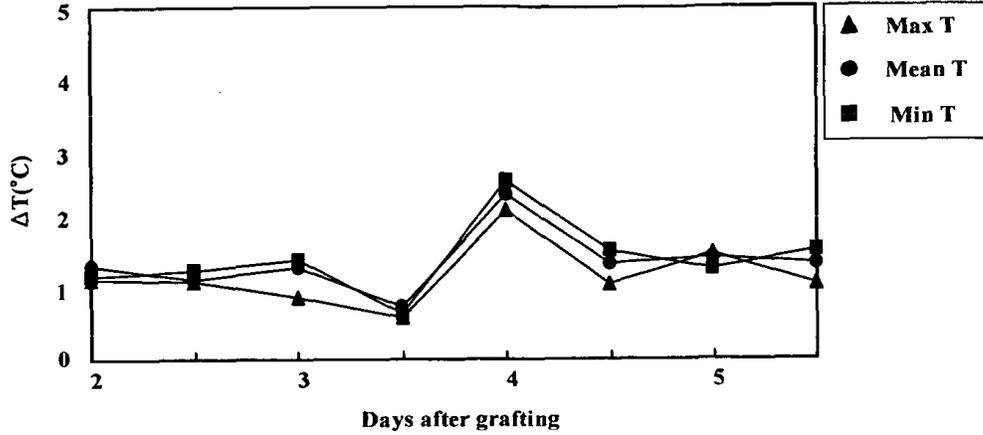


그림 110. 청색광하에서 활착된 접목묘의 줄기부분과 접목부분의 온도차 변화

접목 후 2일에서 5일까지 청색광하에서 활착된 접목묘의 접목부분과 줄기부분에 대한 온도차가 그림 111에 실려 있다. 접목 후 2일째에  $\Delta T_1$ ,  $\Delta T_2$ ,  $\Delta T_3$  및  $\Delta T_4$ 는 0.1~2.3°C이고, 접목 후 5일째에  $\Delta T_1$ ,  $\Delta T_2$ ,  $\Delta T_3$  및  $\Delta T_4$ 는 0.5~2.1°C로서 백색광과 다르게 접목 후 경과한 일수에 따라 온도차가 감소하는 경향이 두드러지게 나타나지 않았다. 또한 명기와 암기에 따른 식물체온의 차이가 비슷하게 나타났다. 한편 접목 후 4일째의 명기에 온도차가 명기 전후의 온도차에 비해서 높게 나타났는데, 이러한 결과가 광질에 따른 것인지 또는 실험 오차에 기인한 것인지를 여부는 추후 검토가 필요할 것으로 판단된다.

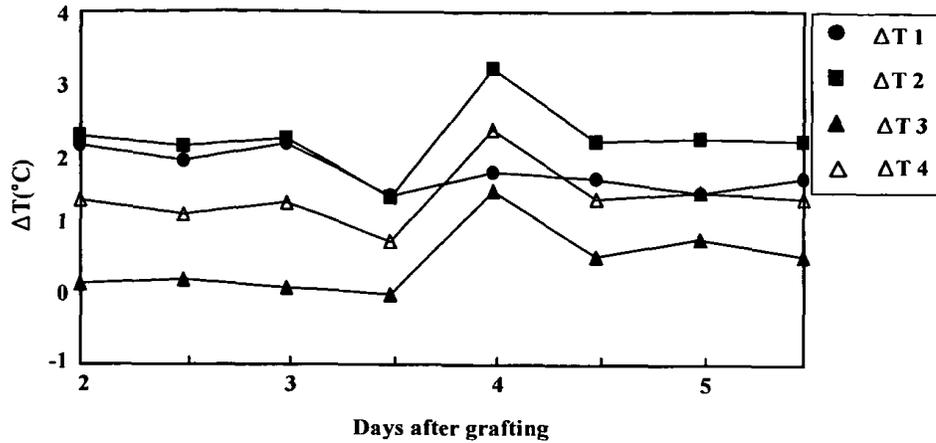


그림 . 청색광하에서 활착된 접목묘의 온도차 변화

다. 적색광하에서 활착된 접목묘의 온도 변화

그림 112~그림 114는 적색광(FL-40R) 형광등하에서 활착된 접목묘의 접목 후 2일에서 5일까지 접목부분의 식물체 온도, 줄기부분의 식물체 온도, 접목부분과 줄기부분의 식물체 온도차를 평균값, 최대값, 최소값으로 구분하여 나타낸 것이다. 접목부분의 평균 온도가 접목 후 2일째의 경우 약 25°C이나, 접목 후 5일째에서는 약 25.6°C로서 활착 기간 동안 큰 차이가 없었다. 백색광과 청색광에서와 마찬가지로 식물체 온도가 명기에는 다소 내려갔다가 암기로 접어들면서 상승하는 현상이 반복적으로 이루어졌는데, 이러한 결과는 접목부분에서 분명하게 나타났다.

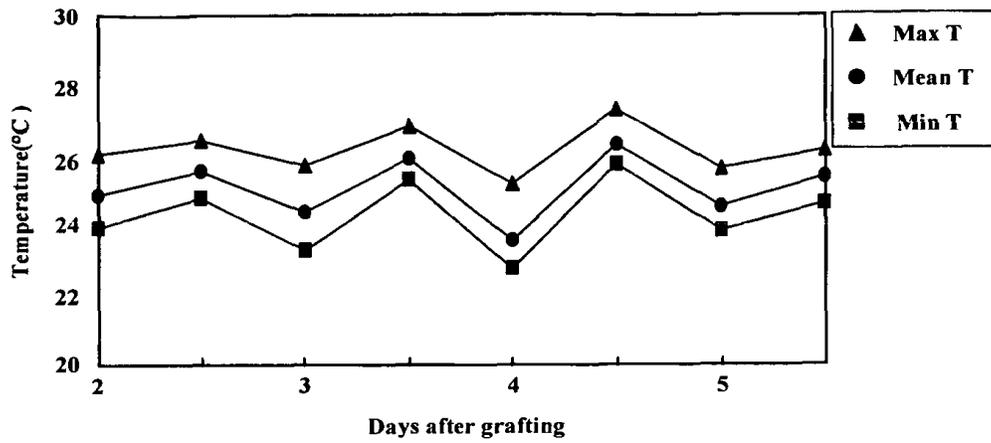


그림 112. 적색광하에서 활착된 접목묘 접목부분의 온도 변화

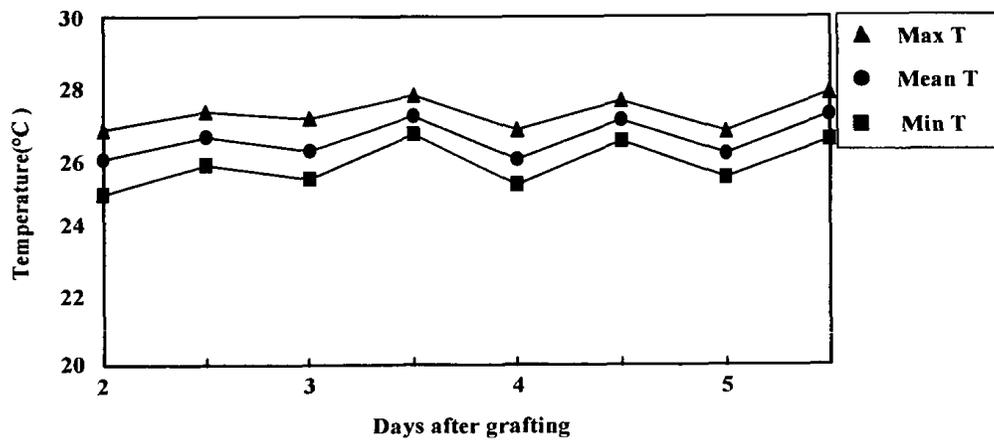


그림 113. 적색광하에서 활착된 접목묘 줄기부분의 온도 변화

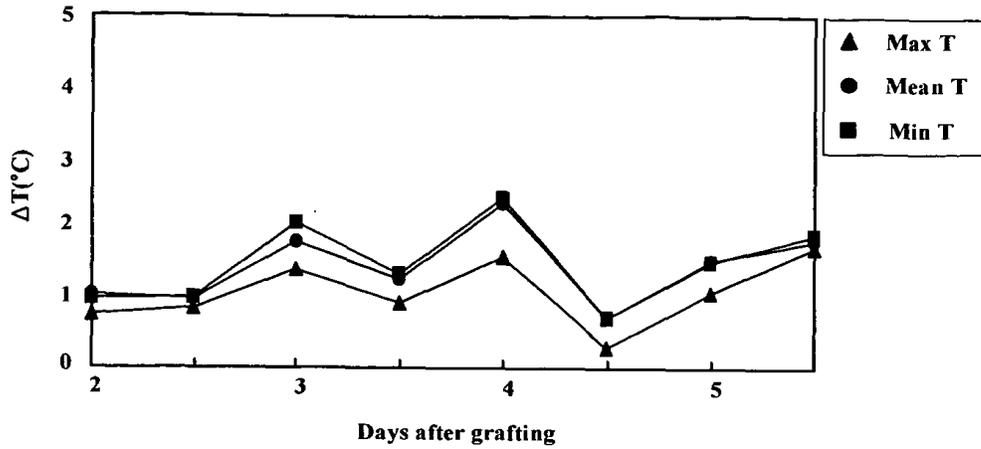


그림 114. 적색광하에서 활착된 접목묘 줄기부분과 접목부분의 온도차 변화

접목 후 2일에서 5일까지 적색광하에서 활착된 접목묘의 접목부분과 줄기부분에 대한 온도차가 그림 115에 실려 있다. 접목 후 2일째에  $\Delta T_1$ ,  $\Delta T_2$ ,  $\Delta T_3$  및  $\Delta T_4$ 는  $-0.1 \sim 2.2^\circ\text{C}$ 이나, 접목 후 5일째에  $\Delta T_1$ ,  $\Delta T_2$ ,  $\Delta T_3$  및  $\Delta T_4$ 는  $1.0 \sim 2.7^\circ\text{C}$ 로서 접목 후 경과한 일수에 따라 온도차가 감소하였던 백색광과 청색광과 다르게 접목 후 경과한 일수에 따라 다소 증가하였으며, 이와 같은 증가 경향은 명기에서 분명하게 나타났다. 한편 청색광에서와 유사하게 접목 후 4일째의 명기에 해당하는 온도차가 명기 전후의 온도차에 비해서 높게 나타났다.

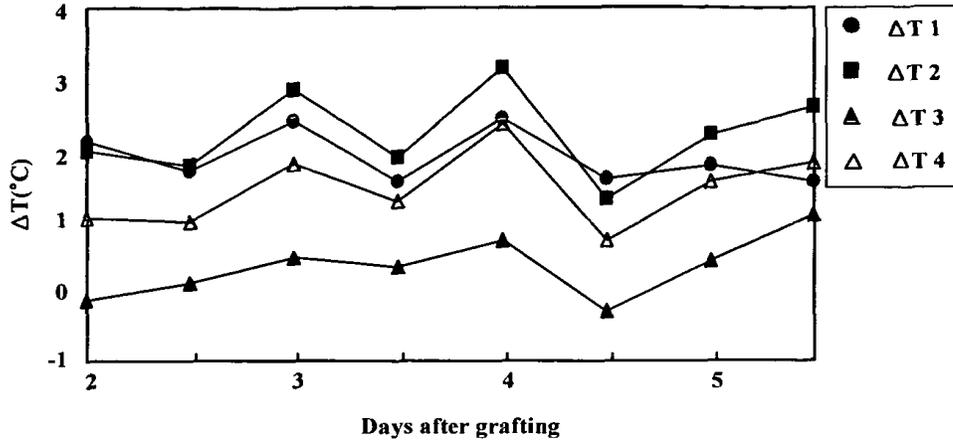


그림 115. 적색광하에서 활착된 접목묘의 온도차 변화

라. 청색광과 적색광의 혼합광하에서 활착된 접목묘의 온도 변화

그림 116~그림 118은 청색광(FL-40B)과 적색광(FL-40R)을 1:2의 비율로 혼합하여 조성한 혼합광 형광등하에서 활착된 접목묘의 접목 후 2일에서 5일까지 접목부분의 식물체 온도, 줄기부분의 식물체 온도, 접목부분과 줄기부분의 식물체 온도차를 평균값, 최대값, 최소값으로 구분하여 나타낸 것이다. 접목부분의 평균 온도가 접목 후 2일째의 경우 약 22°C로서 다른 광질 처리에 비해서 낮게 나타났으며, 접목 후 5일째에서는 약 26°C로서 활착 기간 동안 약 4°C 상승하는 것으로 나타났다. 줄기부분의 평균온도는 명기의 경우 약 26°C, 암기에는 약 27°C를 유지하였다. 다른 광질 처리에서와 마찬가지로 식물체 온도가 명기에는 다소 내려갔다가 암기로 접어들면서 상승하는 반복 현상이 분명하게 나타났으나, 접목 후 일수가 경과함에 따라 암기와 명기의 온도차가 점차 감소하였다.

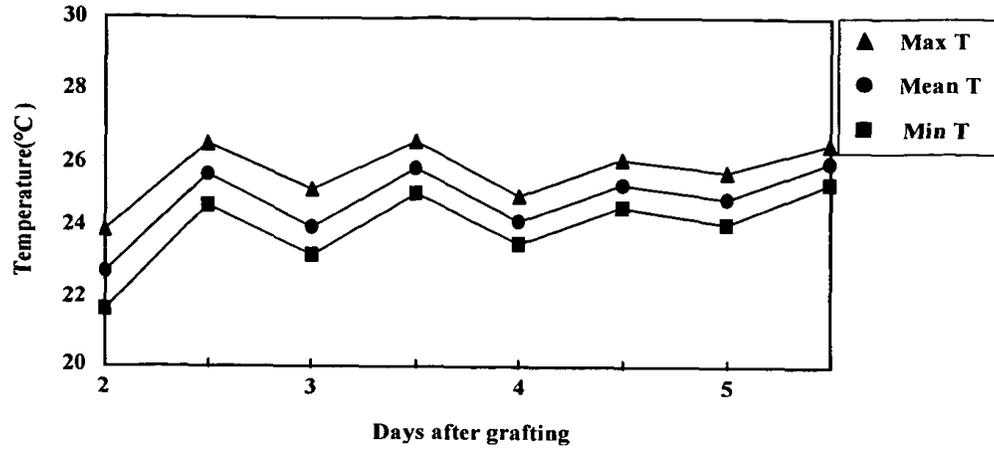


그림 116. 청색광과 적색광을 혼합한 혼합광하에서 활착된 접목묘 접목부분의 온도차 변화

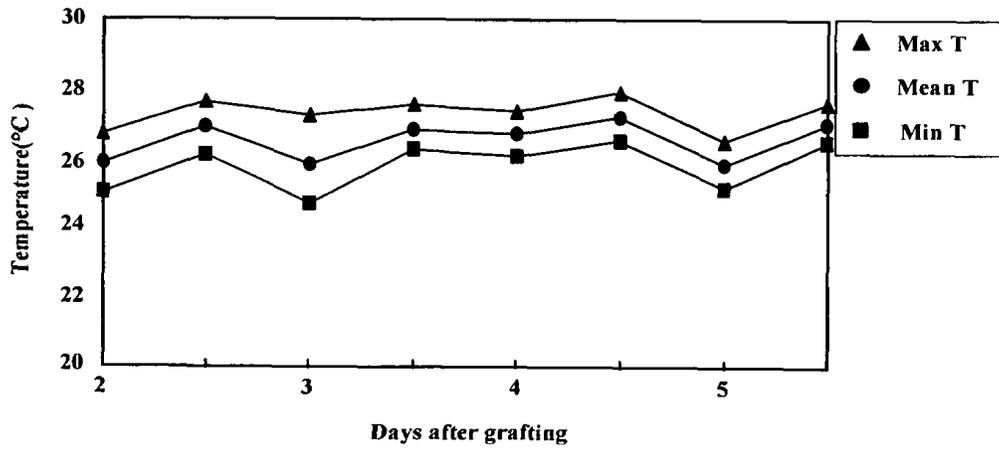


그림 117. 청색광과 적색광을 혼합한 혼합광하에서 활착된 접목묘 줄기부분의 온도차 변화

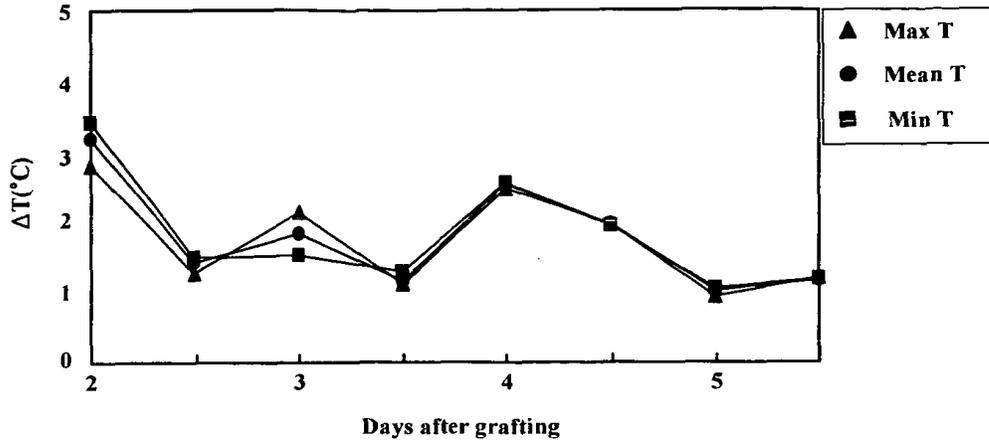


그림 118. 청색광과 적색광을 혼합한 혼합광하에서 활착된 접목묘 줄기부분과 접목부분의 온도차 변화

접목 후 2일에서 5일까지 청색광과 적색광을 혼합한 혼합광하에서 활착된 접목묘의 접목부분과 줄기부분에 대한 온도차가 그림 119에 실려 있다. 접목 후 2일째에  $\Delta T_1$ ,  $\Delta T_2$ ,  $\Delta T_3$  및  $\Delta T_4$ 는 2.0~4.2°C이나, 접목 후 5일째에  $\Delta T_1$ ,  $\Delta T_2$ ,  $\Delta T_3$  및  $\Delta T_4$ 는 0.5~1.7°C로서 접목 후 일수가 경과함에 따라 온도차가 감소하였었다. 온도차의 감소가 접목 후 2일째의 암기에서 분명하게 나타났으며, 그 후에는 서서히 감소하였다.  $\Delta T_1$ 을 제외하면 다른 광질 처리와 마찬가지로 접목 후 4일째의 명기에 해당하는 온도차가 명기 전후의 온도차에 비해서 높게 나타났다.

광질에 따라 차이가 있으나 접목 초기에 대목과 접수의 결합부위에 해당하는 식물체 온도가 줄기부분의 온도에 비해서 0.1~4.2°C정도 낮게 나타났으며, 활착이 진행되면서 결합부위와 줄기부분의 온도차가 감소하였다. 접목묘의 활착 단계에서 접수와 대목이 결합부를 형성하면서 통도조직이 결합되려면 상호의 캘루스(callus) 증식 및 분화되기 위한 생리 반응이 필요하다(Oda, 1995). 그런데 캘루스의 증식 및 분화와 같은 생리 반응 속도가 결합부위의 온도에 의해서 결정될 것으로 예상된다. 그러므로 접목 후 대목과 접수를 정상적으로 결합시키려면 결합 부위의 식물체온도가 일정 수준 이

하로 내려가지 않도록 활착이 이루어지는 공간의 기온을 관리할 필요가 있다.

접목묘의 식물체 온도는 백색광, 청색광, 적색광 및 혼합광의 모든 처리에서 광질과 무관하게 명기에 내려가고 암기에 올라가는 현상이 반복적으로 나타났다. 일반적으로 광합성이 이루어지는 명기에 엽온과 같은 식물체 온도가 높게 나타나는 것과 비교할 때 상기의 결과는 정반대에 해당하는 바 이 부분에 대한 상세한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 또한 접목 후 4일째의 명기에서 접목부분과 줄기부분의 온도차가 청색광, 청색광과 적색광을 혼합한 혼합광 처리에서 높게 나타났는데, 이러한 결과가 광질에 의한 것인지 또는 실험 오차에 기인한 것인지를 여부는 추후 검토가 필요할 것으로 판단된다.

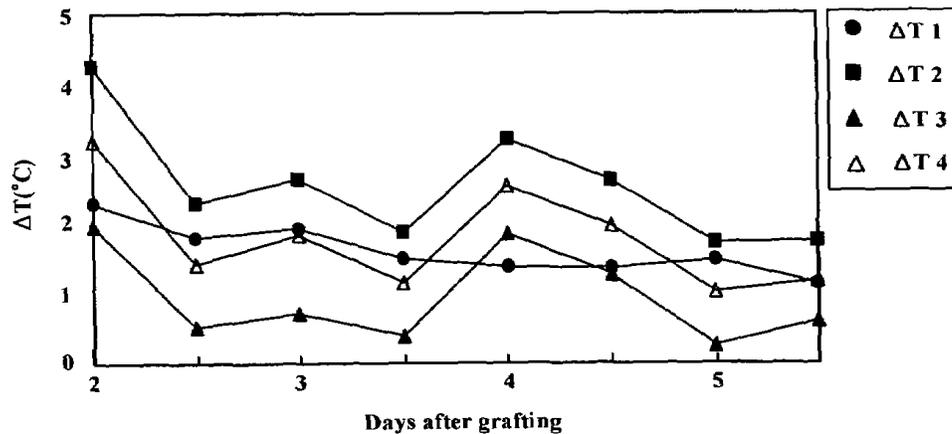


그림 119. 청색광과 적색광을 혼합한 혼합광하에서 활착된 접목묘의 온도차 변화

## 제4절 접목묘 결합 부위의 기계적 특성

### 1. 서 언

접목묘를 생산하는 육묘장 또는 농가에서는 과채류의 종류 또는 재배농가의 접목 기술 수준에 따라 호접, 삽접, 합접, 편접 등 여러 가지 접목 방법을 사용하고 있다. 그런데 접목 방법에 따라 접목 또는 활착 관리에 소요되는 노력과 자동화 가능성, 활착 단계에서의 물리적 환경, 활착율, 활착에 소요되는 일수 등이 다르게 나타난다.

활착과 경화 과정을 거치며 성묘로 완성된 접목묘는 수작업 또는 기계적 작업에 의해서 정식이 이루어지나, 이 과정에서 접목묘가 기계적 충격을 받게 된다. 또한 접목이 제대로 이루어지지 않거나, 활착 단계에서 적정 환경 조건으로 관리되지 않을 때 대목과 접수의 결합이 충실하게 이루어지지 않으므로 정식 후 생육 단계에서 강풍과 같은 급격한 환경 조건의 변화로 인하여 대목과 접수의 결합 부위가 손상을 입거나 절단될 수 있다. 접목묘 결합 부위의 기계적 특성에 관한 보고가 전무한 실정인 바, 본 연구는 접목 방법에 따른 수박 접목묘의 인장, 압축 및 전단 강도 등의 기계적 특성을 구명하고자 시도되었다.

### 2. 접목묘 배축의 기계적 특성 분석

#### 가. 접수와 대목의 결합 부위에 대한 인장, 압축 및 전단 강도의 측정

접목묘에서 접수와 대목의 결합 부위에 대한 기계적 특성을 분석하고자 접목 방법에 따라 접목묘의 배축에 대한 인장, 압축 및 전단 강도 등을 측정하였다. 본 연구에서는 접목 방법에 따른 접목묘의 결합 부위에 대한 기계적 특성을 비교하고자 편엽삽접(slant-cut & insertion), 호접(inarching) 및 합접(siani-cui)에 의해서 접목된 접목묘를 공시 재료로 사용하였다. 이 가운데 편엽삽접된 접목묘는 본 연구진에 의해서 생산된 접목묘이며, 호접 또는 합접에 의한 접목묘는 육묘장과 주위 농가로부터 입수하였다. 접목묘의 물성 측정에 사용된 공시재료의 특성이 표 27에 실려 있다.

표 27. 공시재료의 품종, 배축직경 및 합수율

Grafting method	Varieties	Stem diameter (mm)		Moisture content (%wb)
		Long axis	Short axis	
Slant-cut & insertion Inarching	Scion: watermelon(cv.감로) Rootstock: bottle gourd(cv.FR King)	4.4	3.7	93.8
	Scion: watermelon(cv.명산꿀) Rootstock: bottle gourd(cv.FR gold stopper)	7.2	2.4	93.6
Slant-cut	Scion: watermelon(cv.명물) Rootstock: bottle gourd(cv.FR combination)	5.3	3.1	93.1

접목묘의 인장, 압축 및 전단 강도의 측정을 위해서 종합물성측정장치 (COMPAC-100, SUN Scientific Co., Ltd.)를 사용하였다. 각각의 물성을 측정하기 위한 어댑터(adapter)로서 인장강도에는 인장강도 측정용 약세서리, 압축강도에는 직경 20mm의 평판형 원판이 부착된 원통, 전단강도에는 칼날이 부착된 절단용 어댑터를 사용하였다.

물성을 측정할 때 하중 재하속도는  $10\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 로 고정하였다. 모든 물성은 3반복씩 측정하였으며, 그림 120은 접목 후 5일이 경과한 편엽삼접묘에 대한 전형적인 인장력-변화 곡선을 나타낸 것이다.

#### 나. 접목묘의 인장, 압축 및 전단 강도 분석

접목 방법에 따라 접목후 5일간의 활착 기간을 거친 접목묘의 인장강도가 그림 121에 실려 있다. 편엽삼접, 호접 및 삼접에서의 인장강도는 각각 434.3kPa, 345.6kPa, 129.9kPa로서 접목에 사용된 접수와 대목의 품종 차이가 있기는 하나, 편엽삼접에 의해서 접목된 경우의 인장강도가 호접 또는 삼접에 비해서 각각 1.3배, 3.3배 크게 나타났다.

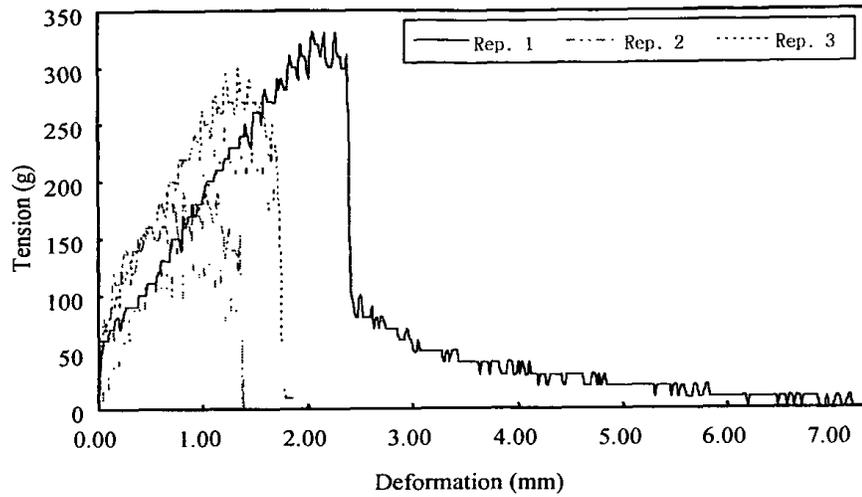


그림 120. 접목 후 5일 경과된 접목묘의 결합부위에 대한 인장력-변형 곡선

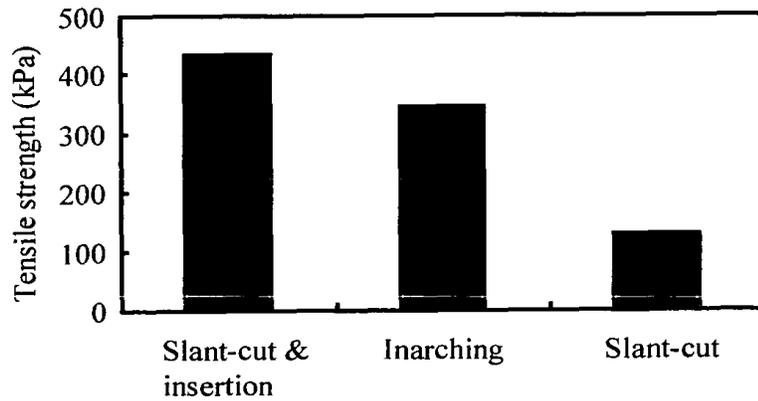


그림 121. 접목 후 5일이 경과된 접목묘 결합 부위의 인장강도 비교

그림 122는 접목후 경과한 일수에 따라 편엽삼접된 접목묘의 인장강도 변화를 나타낸 것이다. 본 실험에서는 접목후 1~5일이 경과한 접목묘를 시료로 사용하였는데, 접목후 1~2일이 경과한 접목묘의 경우 접수가 대목으로부터 분리되어 인장강도를 측정할 수 없었다. 이것은 접수와 대목의 결합 부위에서 유합조직(callus)이 충분하게 발

달하지 않아 결합이 제대로 이루어지지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 한편 접목후 3일이 경과한 접목묘의 인장강도는 218.1kPa로 나타나, 접수와 대목의 결합이 이 시기에 서서히 진행되고 있음을 알 수 있다. 다음으로 접목후 4일과 5일째에서의 인장강도는 각각 267.1kPa, 434.3kPa로서 인장강도가 급격하게 증가함을 알 수 있다. 접목묘에 대한 인장강도의 증가는 접수와 대목의 결합이 단단하게 이루어지면서 접수와 대목의 도관이 상호 결합되어 도관을 통한 양분과 수분의 이동이 원활하게 이루어질 수 있음을 의미하는 것이다. 그러므로 이 시기부터는 접목 초기에 접목묘로부터의 증발산을 억제하고 접수와 대목의 원활한 결합을 위해서 상대습도를 높이고, 광량을 낮게 유지한 초기의 양호한 활착 환경을 탈피하고 상대습도를 낮추고, 광량을 증가시켜도 접목묘가 시들지 않고 환경 변화에 잘 적응하면서 높은 생존율을 나타내는 바 접목묘의 경화 또는 건묘 생산을 위해서 보다 적극적으로 환경 관리가 요구된다.

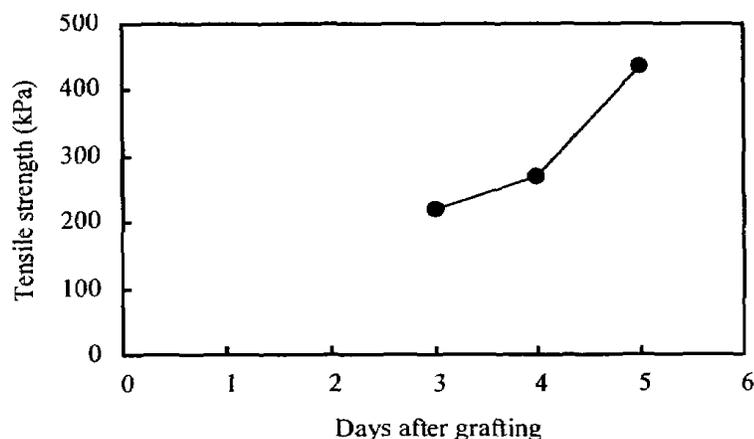


그림 122. 접목 후 경과된 일수에 따른 접목묘 결합 부위의 인장강도 변화

접목 방법에 따라 접목후 5일간의 활착 기간을 거친 접목묘의 압축강도가 그림 123에 실려 있다. 접목묘의 압축강도는 인장강도와 다르게 호접> 삼접> 편엽삼접의 순서로서 각각 214.5kPa, 211.8kPa, 130.2kPa로 나타났다. 편엽삼접에 의해서 접목된 접목묘

의 압축강도는 호접과 삼접에 의한 접목묘의 압축강도에 60% 수준에 해당하였다. 그림 124는 접목후 3~5일째에 해당하는 편엽삼접된 접목묘의 압축강도 변화를 나타낸 것이다. 접목후 3, 4, 5일째의 압축강도는 각각 125.3kPa, 132.5kPa, 130.2kPa로서 접목 후 경과된 일수에 따른 압축강도의 차이가 크지 않음을 알 수 있다.

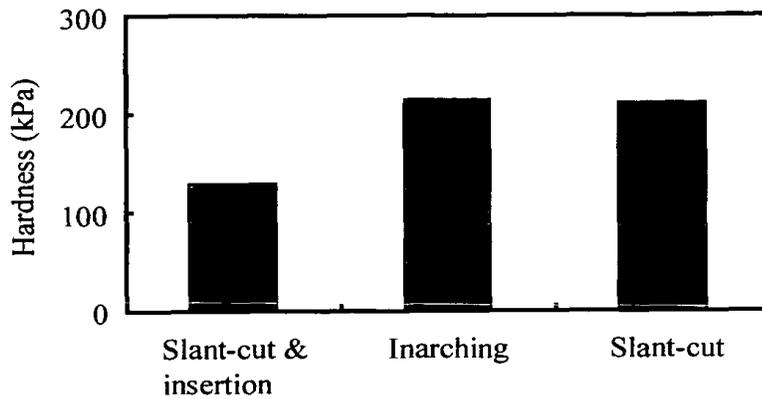


그림 123. 접목 후 5일이 경과된 접목묘 결합 부위의 압축강도 비교

접목 방법에 따라 접목후 5일간의 활착 기간을 거친 접목묘의 전단강도가 그림 125에 실려 있다. 접목묘의 전단강도는 인장강도와 마찬가지로 편엽삼접 > 호접 > 삼접의 순서로서 각각 683.6kPa, 447.3kPa, 439.5kPa로 나타났다. 편엽삼접에 의해서 접목된 접목묘의 전단강도는 호접과 삼접에 의한 접목묘의 경우에 비해서 각각 1.5배, 1.6배 높게 나타나, 접목묘의 인장강도와 전단강도 사이에 일정한 관계가 있을 것으로 판단된다. 상기의 결과를 고려할 때 접목묘의 인장강도와 전단강도가 본 연구에서 적용된 편엽삼접의 경우에서 가장 높게 나타나, 건묘 생산에 편엽삼접의 적용이 유리할 것으로 판단된다.

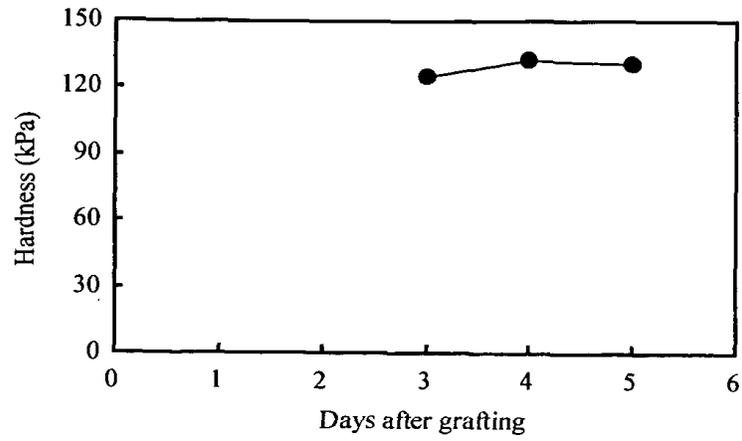


그림 124. 접목 후 경과된 일수에 따른 접목묘 결합 부위의 압축강도 변화

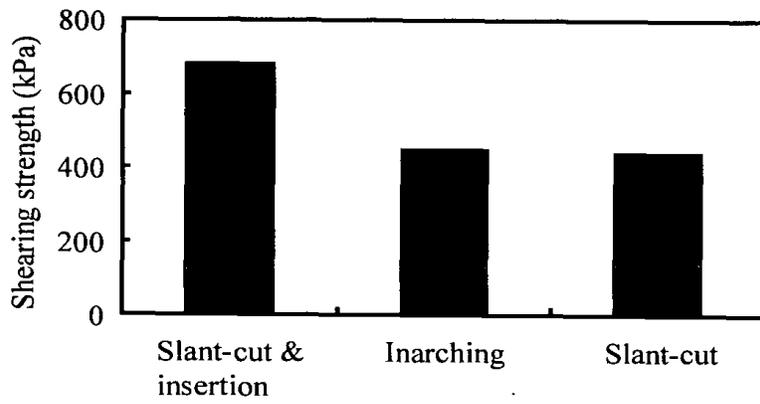


그림 125. 접목 후 5일이 경과된 접목묘 결합 부위의 전단강도 비교

## 제5절 결 론

접목묘의 활착을 촉진하면서 최적환경 조건을 확립하려면 접목 후 묘의 상태에 대한 생체정보를 수집하고, 생체정보에 기초하여 환경제어를 실시하는 것이 유효하다. 그러므로 접목묘의 생체정보로서 대목과 접수의 결합부위에 대한 3차원 가시화, 열화상 정보, 기계적 특성을 얻었으며 이들의 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 컴퓨터 영상처리 시스템으로 대목과 접수의 결합 부위에 대한 2차원 영상을 획득한 후 통도조직에 대한 3차원 가시화를 시도하였다. 3차원 가시화로 말미암아 임의의 각도에서 결합 과정에 대한 가시적 이해가 가능하였으며, 접목 후 경과된 일수와 접목 방법(편엽삼접, 합접, 호접)에 따른 통도조직의 결합 상태를 확인하였다.
2. 서로 다른 환경하에서 활착된 접목묘의 결합 부위에 대한 온도 변화와 결합 상태를 비파괴적으로 해석하고자 열화상과 디지털 영상처리 장치를 사용하였다. 접목 초기에 대목과 접수의 결합부위에 해당하는 식물체 온도가 줄기부분의 온도에 비해서 0.1~4.2℃정도 낮게 나타났으며, 활착이 진행되면서 결합부위와 줄기부분의 온도차가 감소하였다.
3. 접목 방법에 따른 수박 접목묘의 인장, 압축 및 전단 강도 등의 기계적 특성을 분석하였다. 접목후 5일간 활착된 접목묘의 인장강도는 편엽삼접, 호접 및 삼접에서 각각 434.3kPa, 345.6kPa, 129.9kPa로서 편엽삼접의 경우 호접 또는 삼접에 비해서 각각 1.3배, 3.3배 크게 나타났다. 압축강도는 호접> 삼접> 편엽삼접의 순서로서 각각 214.5kPa, 211.8kPa, 130.2kPa로 나타났다. 전단강도는 편엽삼접> 호접> 삼접의 순서로서 각각 683.6kPa, 447.3kPa, 439.5kPa로 나타났다. 상기의 결과를 고려할 때 본 연구에서 적용된 편엽삼접 접목묘의 인장강도와 전단강도가 가장 높게 나타나, 건묘 생산에 편엽삼접의 적용이 유리할 것으로 판단된다.

## 제 5 장    접목묘의 광형태형성 특성

### 제1절 서 언

광환경은 식물의 생체중, 건물중, 초장, 엽면적 등과 같은 양적인 성장 증가와 화아 형성, 발근, shoot 형성, 잎의 전개 등과 같은 형태형성에 커다란 영향을 미친다. 이제 까지 식물재배의 광환경과 관련하여 광합성과 물질 생산에 대한 연구는 많이 이루어져 왔으나, 광형태형성 또는 식물의 성장 반응에 대한 연구는 상대적으로 미흡한 실정이다.

광질(light quality)은 식물의 성장과 형태형성 반응에 커다란 영향을 미친다(Hart, 1988; Fujiwara and Kozai, 1995). 식물의 성장은 광합성 작용에 의한 결과로서, 광합성에 미치는 광질의 영향에 관해서는 많은 연구가 시도되었으나, 접목묘의 증발산속도 또는 활착에 미치는 광질의 영향에 관한 연구는 전무한 실정이다. 자연광에는 다양한 광질이 포함되어 있으나, 식물의 성장 또는 형태형성 반응을 촉진할 수 있는 특정한 파장의 광을 선택하여 조사하기가 쉽지 않다. 그러므로 광질 조절에 의해서 식물의 광형태형성 반응을 촉진하려면 특정한 파장 영역의 선택적인 조사가 가능한 인공광을 사용하는 것이 효과적이다.

형광등, 고압나트륨등, 메탈할라이드등과 같은 기존의 인공광원에는 각기 다양한 파장 영역이 포함되어 있으므로 식물의 광합성을 촉진시키거나 광형태형성에 유효한 특정 파장의 선택적인 조사(照射)가 불가능하다. 식물의 성장 제어에 적합한 파장 영역을 갖는 인공광원이 개발되면 식물의 광합성과 광형태형성 제어가 가능하므로 인공광을 이용한 식물공장의 실용화에 크게 기여할 것이다. 특히 효율이 높은 인공광원의 개발 또는 조명 시스템의 개선은 식물묘의 성장을 촉진시키거나 묘의 형태, 엽색, 식물체 성분 등을 포함한 품질 향상에 크게 기여할 것이다. 예를 들면 절화류의 상품 가치를 높이려면 초장을 길게 할 필요가 있다. 반대로 분화류의 경우 초장이 짧으면서 풍성하게 보일 경우 상품 가치가 높게 인정된다. 한편 이식용 묘는 초장이 짧으면

서 적절한 두께의 줄기를 갖도록 육묘되는 것이 바람직하다.

발광다이오드(light-emitting diode, LED)는 소형의 단색광원으로서 높은 신뢰성과 응답성을 지니고 있고, 입력 전류의 조절에 의해서 광량 제어가 용이하며, 현열 발생량과 장파복사의 방출량이 작기 때문에 식물묘의 성장 및 형태형성 제어용 광원으로서 주목을 받고 있다.

이제까지 단색광 LED가 식물묘의 성장 또는 형태형성에 미치는 효과가 보고되었으나, LED의 광합성유효광량자속(photosynthetic photon flux density, PPF), 조도(illuminance) 및 복사조도(irradiance) 분포와 같은 광강도에 대한 구체적인 자료는 제시되지 않고 있다. LED의 분광 특성과 광강도는 인공광원으로 LED를 이용한 식물묘 생산 시스템의 조명 설계에 유용한 자료로 활용될 수 있다.

접목묘의 활착에 미치는 광질 효과를 구명하고자 시도된 본 연구의 목적은 LED를 인공광원으로 사용하되 청색광, 녹색광, 적색광 및 원적색광의 설 다른 광질이 접목묘의 증발산 특성과 활착에 미치는 영향을 구명하고, 단색광을 적절하게 혼합한 혼합광의 LED하에서 활착된 접목묘의 증발산속도와 활착 특성을 구명하는 데 있다.

## 제2절 발광다이오드의 분광 특성과 광강도

### 1. 발광다이오드

최근 들어 LED를 이용한 식물의 성장 및 광형태형성 제어에 대한 관심이 증대되고 있다. LED는 갈륨, 알루미늄, 비소, 인 등의 III-V족 원소 및 아연, 카드뮴, 셀렌, 텔루르 등의 II-VI족 원소의 화합물 반도체를 주요 재료로 사용한 발광소자이다. LED는 화합물 반도체 중에서 V족 또는 VI족 원소를 포함하여 상대적으로 전자가 많은 n형 반도체 결정과 II족 또는 III족 원소를 포함하여 전자가 상대적으로 적은 p형 반도체 결정을 기판 결정 위에 여러 층으로 배열한 구조로 되어 있다. 그림 126과 같이 LED의 p-n 접합부에 전압을 걸어주면 n형 결정에 들어있는 전자와 p형 결정에 들어있는

정공(正孔)이 p-n 접합부에서 재결합되는 데, 이 과정에서 효율이 높은 전기에너지가 광에너지로 변환되어 발광이 이루어진다. p-n 접합부에서 변환된 광에너지의 일부가 발광되고, 나머지 에너지는 반도체 결정 내부를 통과하거나 반사되면서 감소하고 마지막에는 결정의 발열로서 소모된다. 이로 인하여 램프에서 발열되고 식물에서 이용 가능한 광은 결정 내에서 에너지로 변환된 광량자의 30~40% 정도로 알려져 있다.

이러한 LED는 높은 신뢰성과 응답성을 지니고 있으며 점등에 소비되는 전력소모가 매우 작기 때문에 정보 표시판, 광고탑, 계시판 또는 가전제품의 지시계 등에 광범위하게 이용된다. 또한 LED는 수명이 길고, 펄스 구동이 용이하며, 현열 발생량과 장파복사의 방출량이 작기 때문에 식물생산의 인공광원으로 적합한 성질을 지니고 있다. 더구나 LED는 배열 방법에 따라 점광원, 선광원 또는 면광원으로서 이용이 가능하고, 소형으로서 단색광원의 특성을 지니고 있으므로 식물의 광형태형성 제어용 인공광원으로 사용될 바 있다.

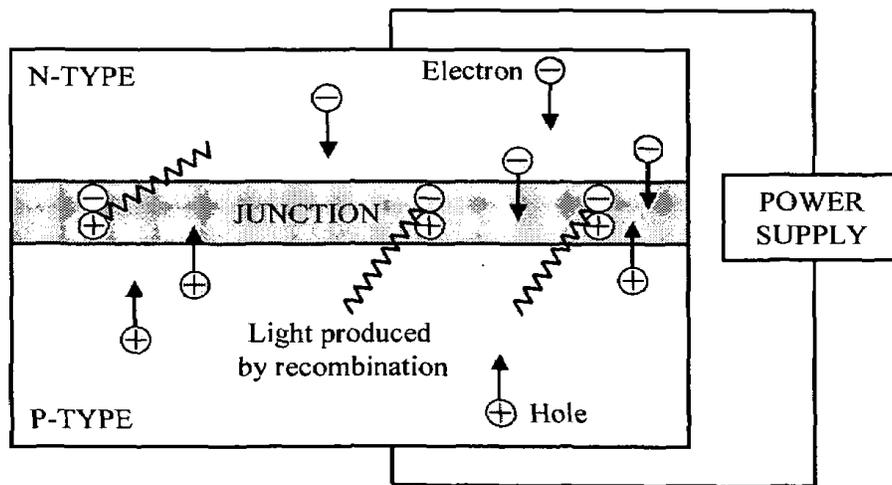


그림 126. 발광다이오드의 발광 원리

## 2. 단색광 LED 모듈의 설계 및 특성

### 가. LED의 전기적 및 광학적 특성

표 28은 실험에 사용된 청색광 LED(NSPB633S, NICHIA CHEMICAL), 녹색광 LED(NSPG633S, NICHIA CHEMICAL), 적색광 LED(KET583R-B, KODENSHI KOREA) 및 원적색광 LED(BCH-36, Showa Denko Co.)의 전기적 및 광학적 특성을 나타낸 것이다. LED를 점등할 때 허용 가능한 직류 전류의 최대치는 청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED에서 각각 30mA, 30mA, 25mA, 20mA로 제시되었다. 직류 전류가 20mA인 조건에서 청색, 녹색 및 적색광 LED의 표준 직류전압은 각각 3.6V, 3.5V, 1.8V로서, 청색 및 녹색광 LED에 공급되는 전압이 적색광 LED의 경우에 비해서 약 2배 높음을 알 수 있다. 동일한 직류 전류 조건에서 청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED의 주파장은 각각 470nm, 530nm, 660nm, 730이며, 표준 광도는 녹색광 LED의 경우 1.30cd로서, 청색과 적색광 LED에 비해서 각각 2.5배, 1.6배 높게 나타났다.

표 28. 청색, 적색 및 적색광 LED의 전기적 및 광학적 특성

LED	DC forward current (mA)	DC forward voltage (V)		Power dissipation (mW)	Luminous intensity (cd)		Peak wavelength (nm)
		Typ.	Max.		Min.	Typ.	
Blue	30	3.6	4.0	120	0.44	0.52	470
Green	30	3.5	4.0	120	1.10	1.30	530
Red	25	1.8	2.2	55	0.30	0.80	660
Far-red	20	1.7	2.1	1.1		-	730

청색, 녹색 및 적색광 LED는 식물성장 제어용 광원으로서 뿐만 아니라 정보 표시용 또는 광고용으로 널리 사용되고 있다. 한편 원적색광 LED는 식물의 광형태형성 제어와 같은 특수 목적 이외에는 거의 사용되지 않으므로, 원적색광 LED의 대량 생

산이 이루어지지 않고 있다. 그림 127은 본 실험에 사용된 LED의 주요 크기를 나타낸 것이다.

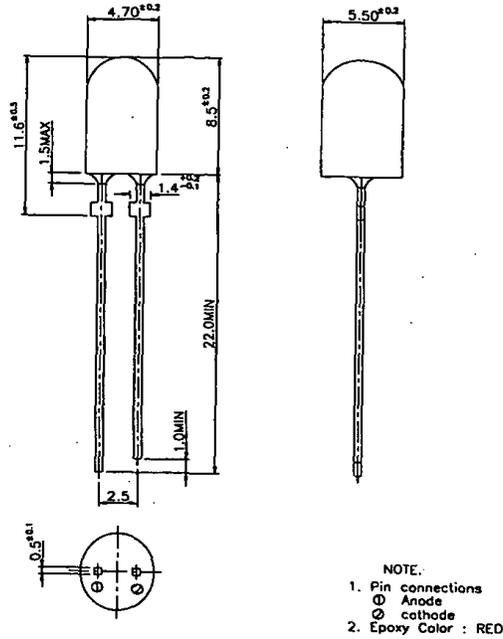


그림 127. 실험에 사용된 발광다이오드의 형상과 치수

#### 나. LED 모듈의 구성

본 연구에서 식물의 성장 및 광형태형성 제어를 위해서 제작된 LED 모듈(modules)은 발광부로서 LED와 기판을 포함한 LED 어레이(array), LED 어레이에서 발광되는 단색광의 선택과 광강도를 조절할 수 있는 전원과 전류 제어부, LED에서 발열된 열을 외부로 방출시키기 위한 송풍기, LED 어레이를 지지하는 프레임 등으로 구성된다. 그림 128은 LED 모듈과 전류 제어부의 개략도를 나타낸 것이다. LED 어레이의 기판은 크기가  $300\text{mm} \times 300\text{mm}$ 로서, 기판에 직경  $5\text{mm}$ 의 LED를  $16\text{줄} \times 48\text{개/줄} = 768\text{개}$  배열하였다. 청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED는 기판에서 1줄씩 탈착이 가능하도록 제작되었다.

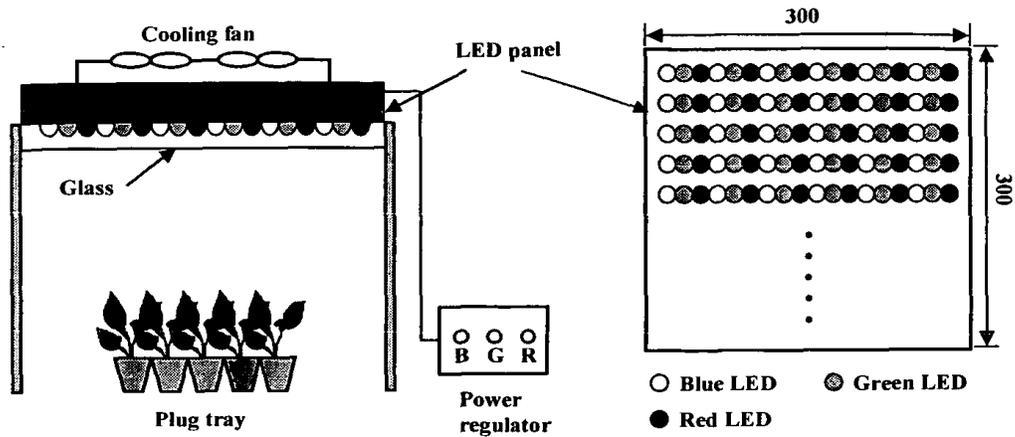


그림 128. LED 모듈과 전류제어부의 개략도

#### 다. LED 모듈의 전류 제어부 제작

전원부에는 청색, 녹색 및 적색광 LED를 선택적으로 점등할 수 있는 스위치를 설치하였다. 한편 LED로부터 발광되는 광강도는 스위치의 볼륨 조절에 의해서 이루어진다. 표 28에 제시된 바와 같이 LED의 점등에 허용 가능한 직류 전류의 최대치를 공급하면 최고의 광강도를 얻을 수 있으나, LED의 성능은 쉽게 저하된다. 그러므로 본 연구에서는 개개의 LED로 흘러가는 직류 전류가 10mA를 초과하지 않도록 점등 회로와 전류 제어부를 구성하였다(그림 129).

#### 라. 단색광 LED 모듈의 분광 특성 및 광강도 분석

##### 1) LED의 분광 특성 및 광강도 측정

LED의 분광 특성을 측정하고자 300~1,100nm의 파장 범위에서 분광 분석이 가능한 분광복사계(LI-COR, LI-1800)를 사용하였다. 이 때 광원으로부터 분광복사계의 센서부까지의 거리는 30cm로 고정하였다.

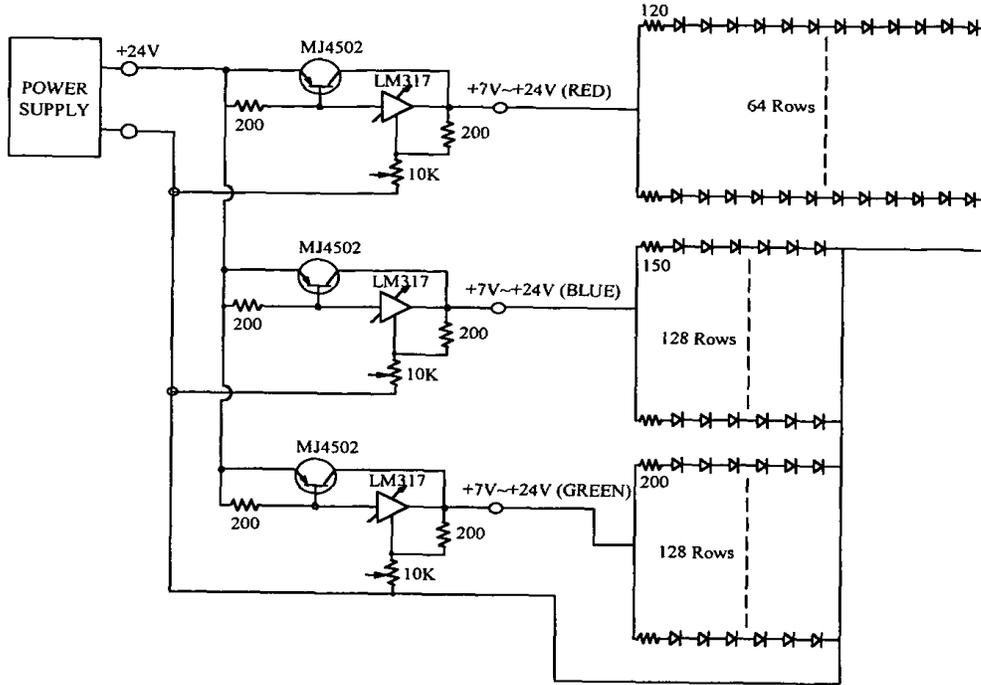


그림 129. LED의 점등 회로

LED의 광강도로서 PPF, 조도 및 복사조도를 측정하였으며, 이를 위하여 광량자센서(LI-COR, LI-190SA), 조도센서(LI-COR, LI-210SA), 일사센서(LI-COR, LI-200SA)를 사용하였다. 광강도는 암조건 상태에서 LED의 기판으로부터 수직 방향으로 9, 12, 18, 24, 30cm 떨어진 지점에서 측정되었다. 광강도는 스위치의 볼륨을 최대로 설정한 상태, 즉 개개의 LED를 흘러가는 직류 전류가 10mA인 조건에서 측정하였다.

한편 LED의 점등 회로에 공급되는 전류가 LED의 광강도에 미치는 효과를 분석하고자 청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED를 점등할 때 이들 회로를 흐르는 전류와 단색광의 광강도를 측정하였다. 즉 청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED로부터 50cm 떨어진 지점에서의 PPF가 각각 최대치, 최대치의 1/2, 0을 나타낼 때의 전류를 디지털 멀티미터(HUNG CHANG, HC-3500T)를 사용하여 측정하였다.

## 2) LED의 분광 특성

그림 130은 PPF에 기초한 청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED의 분광 특성에 대한 상대값, 즉 각각의 단색광 LED에서 PPF의 최대값에 대한 파장별 PPF 비를 나타낸 것이다. 분광 특성에서 LED에서 발광된 광은 각각 462nm, 522nm, 673nm, 728nm의 파장 영역에서 PPF의 최대치가 존재하는 단색광으로 나타났다. 표 28에서 제시된 단색광 LED의 주파장은 각각 470nm, 530nm, 660nm, 730nm로서 PPF의 최대치가 측정된 파장 사이에 약간의 차이가 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 표 28에서 제시된 LED의 주파장에 해당되는 직류 전류와 본 실험에서 공급된 직류 전류의 차이에 기인하는 것으로 판단된다. 즉, 표 28에서 제시된 LED의 주파장은 직류 전류가 20mA일 때에 해당되는 것이며, 본 실험에서는 LED의 급격한 성능 저하를 방지하고자 개개의 LED를 흐르는 직류 전류가 10mA를 초과하지 않도록 점등회로를 구성한 상태에서 LED의 분광 특성을 측정하였다. LED를 흘려가는 직류 전류가 변화하면 광강도 뿐만 아니라 광강도의 최대치가 나타나는 주파장이 다르게 나타난다.

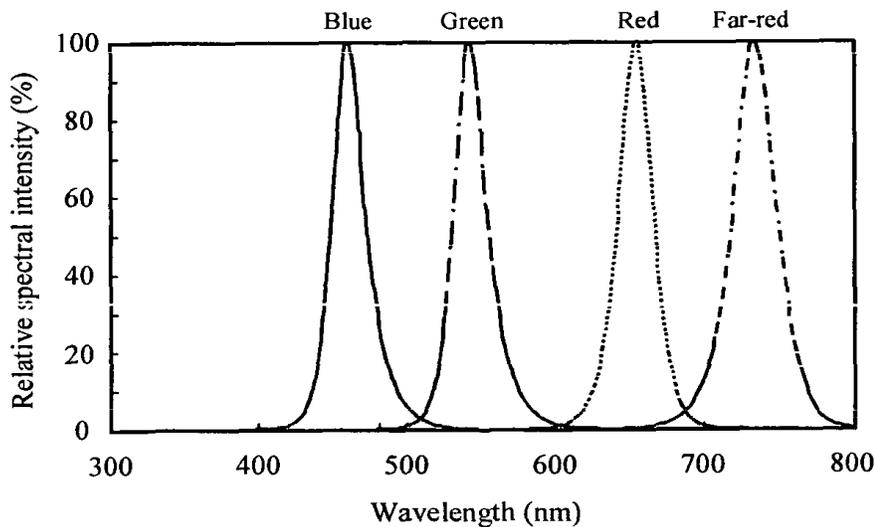


그림 130. 청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED의 분광 특성

단색광 LED의 반치폭(half width)은 최대 PPF의 50%에 해당되는 광강도를 나타내는 파장의 상한과 하한의 차이로 정의된다. 본 연구에 사용된 청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED의 반치폭은 각각 74nm, 41nm, 26nm, 14nm로 나타났다.

### 3) LED의 광강도

청색, 녹색 및 적색광 LED의 광강도로서 PPF, 조도, 복사조도를 분석하였다.

#### 가) PPF

그림 131은 LED panel로부터의 수직거리에 따른 청색, 녹색 및 적색광 LED의 PPF 변화를 나타낸 것이다. 단색광 LED의 경우 광원으로부터 9cm 떨어진 지점에서의 PPF는 적색, 녹색, 청색광 LED의 순서로 높게 나타났다. 이들의 PPF는 각각  $235\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $109\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $75\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로서 적색광 LED의 PPF가 녹색광과 청색광에 비해서 2.2배, 3.8배 높게 나타났다. 표 1에서 제시된 광도는 녹색광 LED에서 가장 높게 나타났으나, PPF는 적색광 LED에서 높게 나타났다. 왜냐하면 광도는 광원의 밝기를 의미하고, 단위에너지당 광량자수는 파장이 길수록 증가하기 때문이다.

광원으로부터의 수직거리가 증가함에 따라 PPF가 점차 감소하였는 데, 이러한 결과는 적색광 LED에서 분명하게 나타났다. 30cm 떨어진 지점에서 적색, 녹색 및 청색광 LED의 PPF는 각각  $171\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $73\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $44\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 나타났다.

이제까지 인공광을 이용하여 플러그묘를 육묘한 보고가 많지 않으나, 수행된 실험에서 PPF는  $270 \sim 300\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  정도로 보고되었다. 최근에 김과 이(1998)는 식물묘공장의 근접조명용 인공광원으로서 여러 종류의 형광등에 대한 분광 특성과 광강도를 분석한 바 있다. 단색광원인 적색광 LED로부터 얻을 수 있는 PPF는 플러그묘 육묘에 필요한 광강도 수준에 도달함을 알 수 있다. 이러한 결과는 적색광 LED가 근접조명용 인공광원으로 사용될 수 있음을 의미하는 것이다. 한편, 인공광하에서 접목묘의 활착 촉진 단계에서 요구되는 PPF가  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  정도임을 감안하면, 적색광, 녹색광 및 청색광 LED는 접목묘의 활착용 광원으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

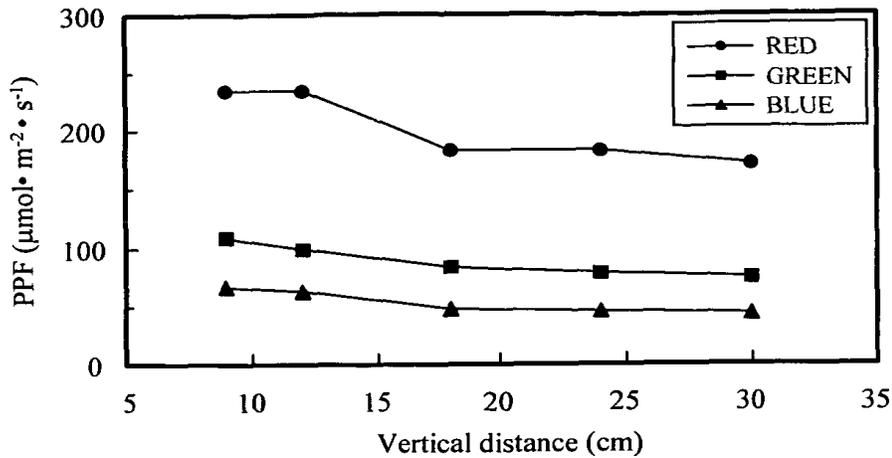


그림 131. LED 모듈로부터의 수직거리에 따른 광합성유효 광량자속의 변화

#### 나) 조도

그림 132는 청색, 녹색 및 적색광 LED로부터의 수직거리에 따른 조도 변화를 나타낸 것이다. 전체적으로 녹색광 LED의 조도가 가장 높으며, 적색과 청색광 LED의 조도는 녹색광의 경우에 비해서 약 1/10 정도로 매우 낮게 나타났다. 이것은 녹색광의 파장 영역이 500~570nm이고, 비시감도가 555nm에서 최고치를 나타내므로 녹색광이 많이 들어있으면 조도는 당연히 높게 된다.

더구나 표 28에서 녹색광 LED의 광도가 청색과 적색광 LED의 경우에 비해서 각각 3.1배, 2.2배 높게 나타났기 때문에 녹색광 LED의 조도가 월등히 높게 나타난 것으로 판단된다. LED 광원으로부터 9cm 떨어진 지점에서의 조도는 녹색광의 경우 약 13,000lx 로서, 적색광 또는 청색광의 1,300-1,500lx 에 비해서 약 9-10배 높게 나타났다.

#### 다) 복사조도

그림 133은 LED panel로부터의 수직거리에 따른 복사조도를 나타낸 것이다. 적색광 LED의 복사조도는 녹색 또는 청색광의 경우에 비해서 각각 2.4배, 5.8배 높게 나타나 적색광 LED에서 상대적으로 많은 발열이 이루어짐을 알 수 있다. 광원으로부터 9cm

떨어진 지점에서 적색, 녹색 및 청색광 LED의 복사조도는 각각  $46\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ,  $19\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ,  $8\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 로 나타났다. 보통 형광등의 복사조도가  $40 \sim 50\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 임을 고려할 때 적색광 LED의 복사조도는 형광등과 비슷한 수준임을 알 수 있다.

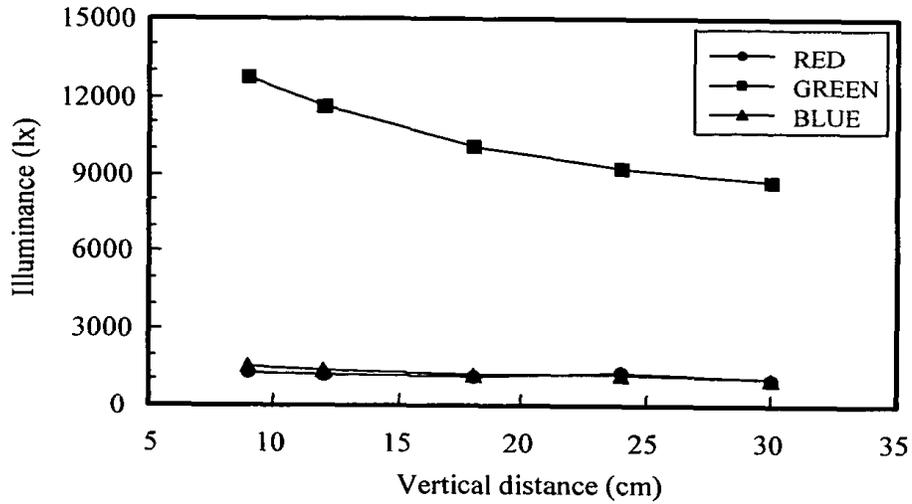


그림 132. LED 모듈로부터의 수직거리에 따른 조도 변화

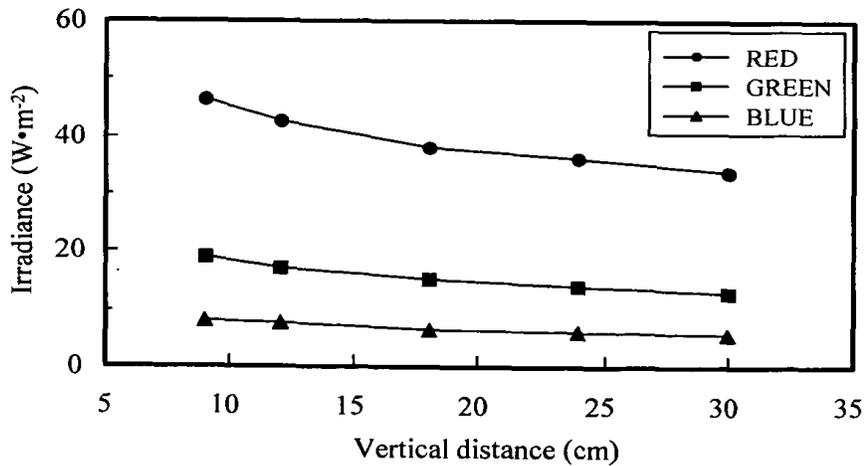


그림 133. LED 모듈로부터의 수직거리에 따른 복사조도 변화

#### 4) LED의 전류와 광강도 제어

그림 134는 단색광 LED를 점등할 때 청색, 녹색 및 적색광의 광강도와 이들 회로를 흐르는 전류의 관계를 나타낸 것이다. 그림 134로부터 전류가 증가함에 따라 단색광의 광강도가 직선을 이루며 증가함을 알 수 있다. 이러한 결과는 공급되는 전류의 크기를 조절할 수 있도록 점등 회로를 구성하면 전류의 크기에 따라 단색광 LED의 광강도가 변화될 수 있음을 의미하는 것이다. 실제로 본 연구에서는 점등 회로에 공급되는 전류를 가변시키면서 단색광 LED의 광강도를 조절하였다.

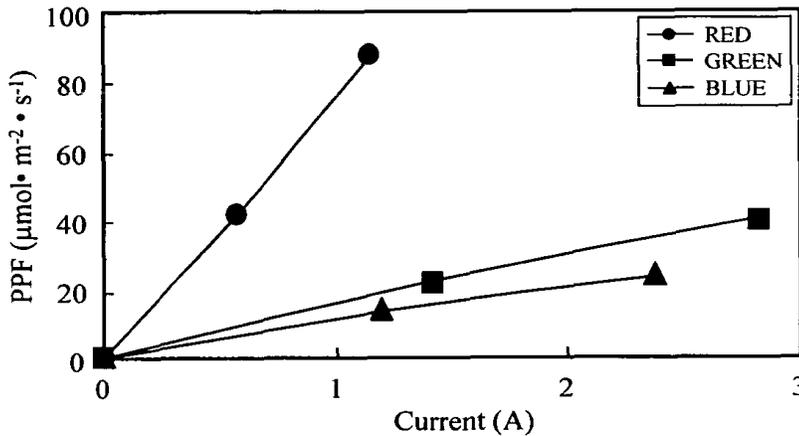


그림 134. LED의 점등회로에 공급되는 전류와 광강도의 관계

### 3.. 조합광 LED 모듈의 분광 특성 및 광강도 분석

#### 가. 조합광 LED 모듈의 분광 특성

단색광 LED 모듈의 분광 특성 및 광강도의 분석에 이어서 접목묘의 생장 또는 형태형성에 미치는 LED 조서 효과를 높이고자 조합광 LED 모듈을 제작하였다. 즉 기존의 LED 프레임에 청색, 적색 또는 원적색광 LED 스틱(stick)의 조합이 가능하도록 LED 모듈을 제작하였다.

그림 135는 청색(B)+적색(R), 청색(B)+원적색(FR), 적색(R)+원적색(FR)을 조합한 조

합광 LED 모듈의 분광 특성을 나타낸 것이다. 그림 135로부터 적색광 또는 원적색광의 부가 여부에 따라 조합광 LED 모듈의 분광 특성과 광강도가 결정됨을 알 수 있다. 즉 조합광 LED 모듈에서 분광 광합성유효광량자속의 최대치가 나타나는 영역은 각각 적색광 또는 원적색광의 단색광 LED 모듈의 분광 특성이 최대를 갖는 파장 영역과 동일하게 나타났다.

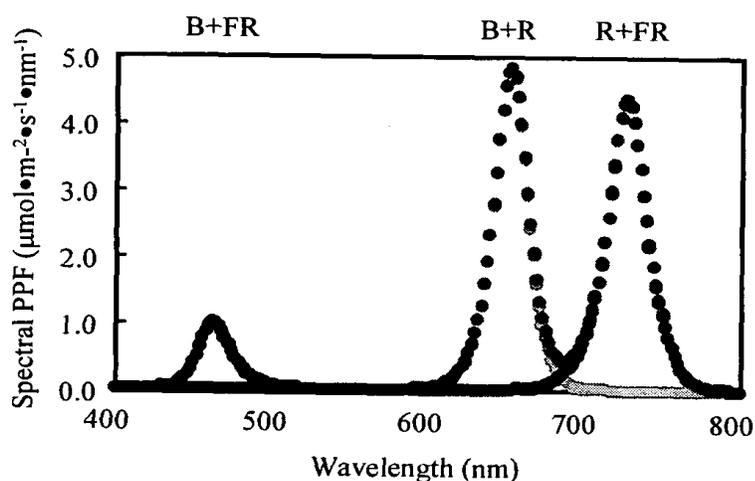


그림 135. 청색(B)+적색(R), 청색(B)+원적색(FR) 및 적색(R)+원적색(FR)광 LED의 분광 특성

#### 나. 조합광 LED 모듈의 광합성유효광량자속, 조도 및 복사조도 분석

청색(B)+적색(R), 청색(B)+원적색(FR)을 조합한 조합광 LED 모듈의 PPF, 조도 및 복사조도 특성이 각각 그림 136, 137, 138에 실려 있다. PPF, 조도 및 복사조도는 조합광 LED 모듈로부터 수직방향으로 30cm 떨어진 9개 지점에서 측정하여 평균값을 구하였다. 이들 조합광 LED 모듈의 광강도를 측정할 때 단색광 LED 스틱을 각각 20개씩 조합하였다. 점등회로에 공급되는 전류가 1.5A 이하일 때 청색+적색(B+R), 청색+원적색(B+FR)을 조합한 조합광 LED 모듈의 PPF는 거의 동일하게 나타났다. 그러나 2A 이상의 전류가 공급되면 청색+적색(B+R)을 조합한 LED의 PPF가 급격하게 증가하면서

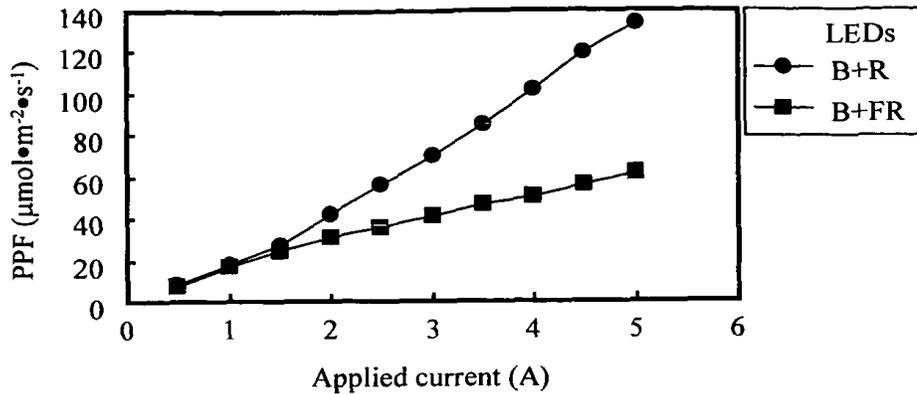


그림 136. 공급전류에 따른 청색+적색(B+R), 청색+원적색(B+FR)광 LED의 광합성유효광량자속 변화

청색+원적색(B+FR)을 조합한 조합광 LED의 PPf의 약 2배에 이르는 것으로 나타났다. 결국 청색광에 적색광 또는 원적색광을 조합한 조합광 LED에서 PPf의 증가에 적색광이 크게 기여함을 알 수 있다. 그림 137에서 볼 수 있는 바와 같이 조합광 LED 모듈의 조도 특성에 미치는 적색광의 효과는 PPf의 경우와 유사하게 나타났다. 한편 복사조도는 청색광에 원적색광을 조합한 LED에서 높게 나타났는데, 적색광 LED에 비해서 원적색광 LED에서 복사에너지가 많이 방출되었기 때문인 것으로 판단된다.

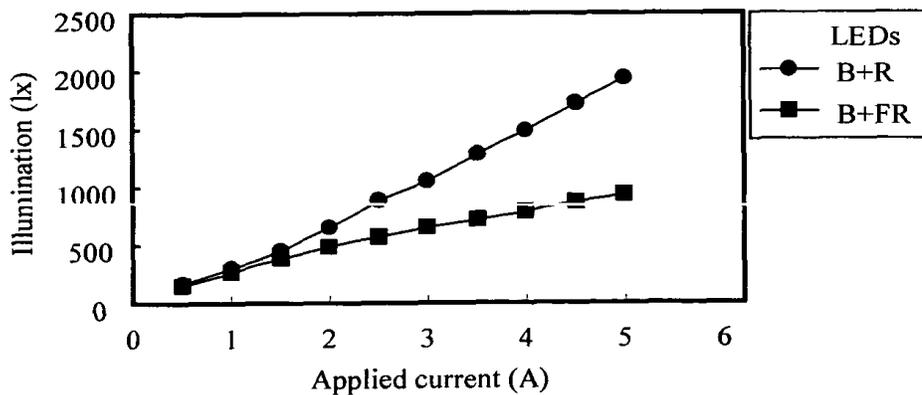


그림 137. 공급전류에 따른 청색+적색(B+R), 청색+원적색(B+FR)광 LED의 조도 변화

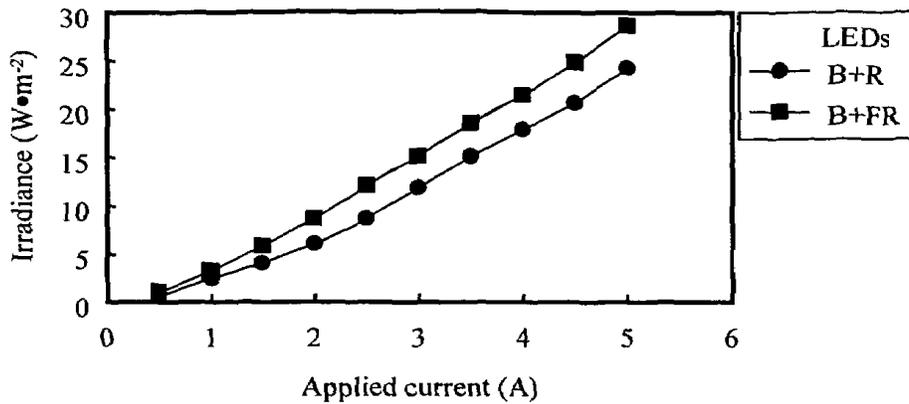


그림 138. 공급전류에 따른 청색+적색(B+R), 청색+원적색(B+FR)광 LED의 복사조도 변화

다음으로 적색+원적색(R+FR)을 조합한 조합광 LED 모듈이 광형태형성 반응에 미치는 효과를 살펴보고자 적색광:원적색광 LED 스틱을 각각 30개:10개, 20개:20개, 10개:30개의 비율로 다르게 조합하였다. 그림 139로부터 적색광의 비율이 증가할수록 PPF가 크게 증가함을 알 수 있다. 이 같은 결과는 그림 136의 결과에서도 유사하게 나타난 바 있다.

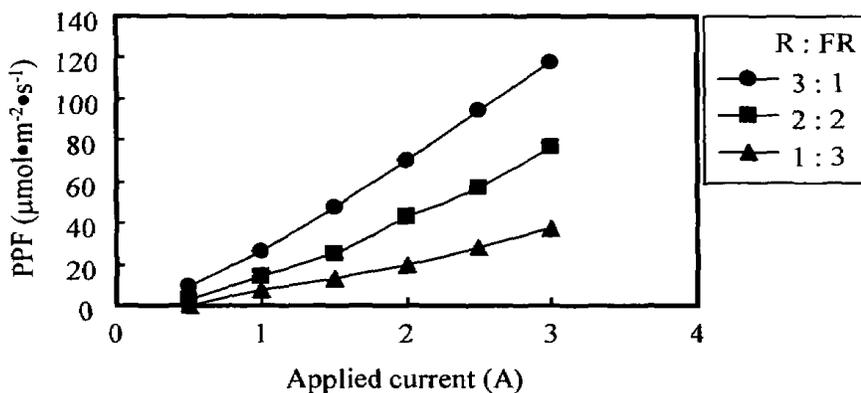


그림 139. 공급전류에 따른 적색(R)과 원적색(FR) 조합광 LED의 광합성유효광량자속 변화

적색과 원적색을 조합한 조합광 LED의 조도 특성은 PPF 에서와 마찬가지로 적색광의 비율이 높을수록 조도가 높게 나타났다. 이것은 적색광의 비시감도가 원적색광의 비시감도에 비해서 높기 때문이다(그림 140). 이밖에 적색광과 원적색광의 조합 정도가 조합광 LED의 복사조도에 미치는 특성은 거의 없는 것으로 나타났다(그림 141).

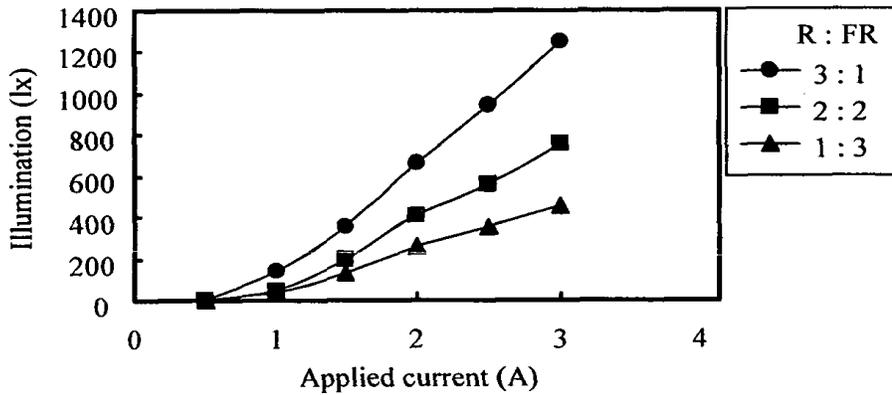


그림 140. 공급전류에 따른 적색(R)과 원적색(FR)광 LED의 조도 변화

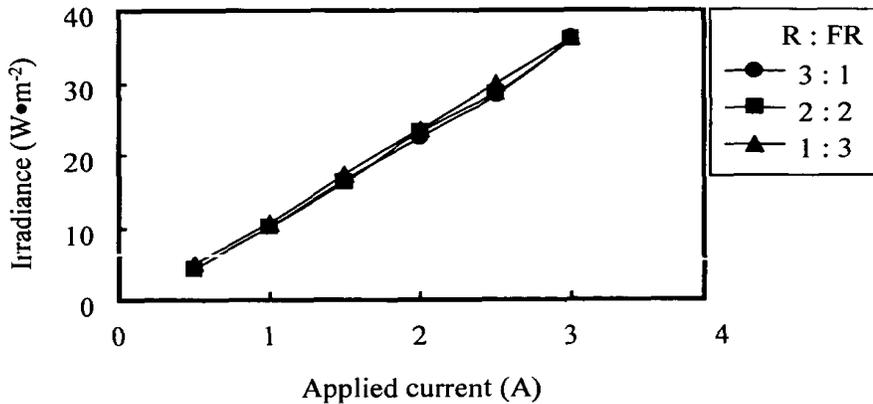


그림 141. 공급전류에 따른 적색(R)과 원적색(FR)광 LED의 복사조도 변화

### 제3절 LED하에서 활착된 접목묘의 증발산과 활착 특성

#### 1. 서 언

식물 생장을 위한 인공광원으로서 사용되고 있는 형광등, 고압 sodium lamp, metal halide lamp는 본래 식물 생장을 목적으로 한 것이 아니라 조명용으로 개발되었다. 그러므로 상기 광원에 대한 스펙트럼을 분석해보면 식물의 광합성 능력을 촉진시키는 파장이 일부 포함되어 있기는 하나, 대부분의 파장이 비시감도를 높이거나 연색성을 개선하기 위한 것임을 알 수 있다. 더구나 이러한 광원에서는 많은 발열이 이루어져 식물 생장 시스템 내의 냉방부하가 커지는 단점이 나타나고 있다.

LED는 소형의 단색광원으로서 높은 신뢰성과 응답성을 지니고 있고, 입력 전류의 조절에 의해서 광량 제어가 용이하며, 현열 발생량과 장파복사의 방출량이 작기 때문에 식물묘의 생장 및 형태형성 제어용 광원으로서 주목을 받고 있다. 접목묘의 활착에 미치는 광질 효과를 구명하고자 시도된 본 연구의 목적은 LED를 인공광원으로 사용하되 단색광 또는 조합광의 조사가 접목묘의 증발산속도와 활착 특성에 미치는 광질의 효과를 구명하는 데 있다.

#### 2. 단색광 LED하에서 활착된 접목묘의 증발산 및 활착 특성

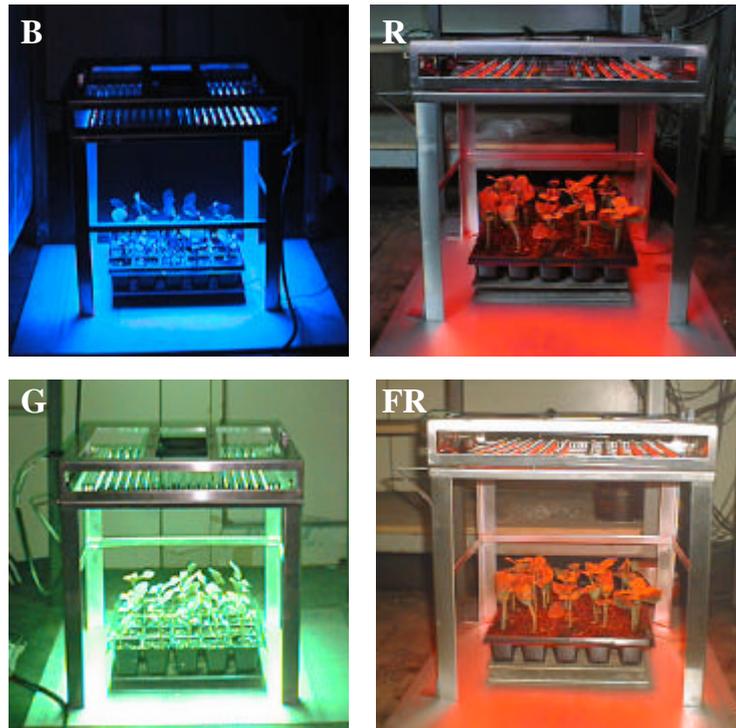
##### 가. 공시묘의 접목, 활착 및 경과

본 실험에 사용된 접목 방법은 편엽삼접으로서, 접수와 대목으로 수박(감로, 홍농종묘)과 박(FR King, 홍농종묘)을 사용하였다. 접목묘의 활착은 인공광형 활착촉진장치 내에서 이루어졌다. 접목 후 초기 24시간은 암조건을 유지하였으며, 24시간이 경과한 이후부터 명기와 암기를 각각 12시간씩으로 조절하였다. 청색, 녹색, 적색 및 원적색 광 LED하에서 5일간 활착된 접목묘는 온실 내로 옮겨져 10일간 경과되었다.

##### 나. 증발산속도의 계측

광질이 다른 조건에서 활착된 접목묘의 증발산속도 계측은 활착촉진장치 내에서 이루어졌으며, 실험 기간 동안 활착촉진장치 내의 기온과 상대습도는 각각 27℃, 90%로

조절되었다. 한편 청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED로부터 조사된 PPF는 플러그트레이의 배지 표면을 기준으로 모두  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 설정되었다(그림142).



142. , , LED (B), (G), (R), (FR)

#### 다. 활착율 및 성장 특성 측정

실험 개시 후 5일째에 접목묘의 활착율과 접수의 성장 특성을 조사하였다. 또한 10일의 경화 기간에 5일 간격으로 접목묘의 경화 특성을 조사하였다. 조사 항목은 접묘의 생존율, 접수의 배축직경과 배축길이, 엽면적, 엽록소 함량 등이다. 엽록소 함량은 chlorophyll meter (SPAD-502, MINOLTA Co)를 사용하여 측정하였다.

조절되었다. 한편 청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED로부터 조사된 PPF는 플러그트레이의 배지 표면을 기준으로 모두  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 설정되었다(그림142).

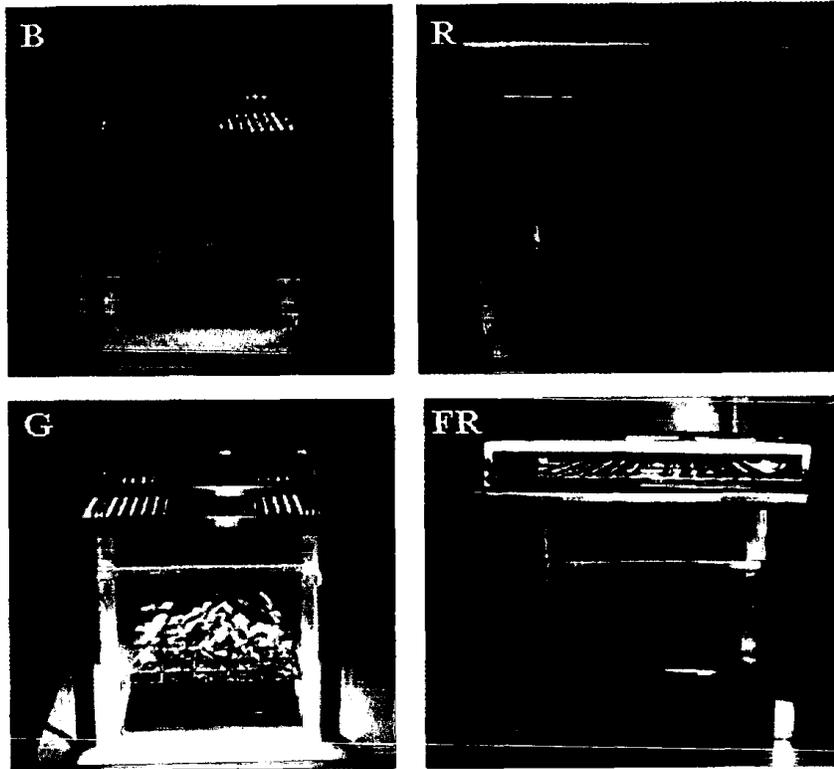


그림 142. 청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED하에서 활착된 접목묘  
청색광(B), 녹색광(G), 적색광(R), 원적색광(FR)

#### 다. 활착율 및 성장 특성 측정

실험 개시 후 5일째에 접목묘의 활착율과 접수의 성장 특성을 조사하였다. 또한 10일의 경화 기간에 5일 간격으로 접목묘의 경화 특성을 조사하였다. 조사 항목은 접묘의 생존율, 접수의 배축직경과 배축길이, 엽면적, 엽록소 함량 등이다. 엽록소 함량은 chlorophyll meter (SPAD-502, MINOLTA Co.)를 사용하여 측정하였다.

라. 접목묘의 증발산속도

청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED와 백색 형광등하에서 활착된 접목묘의 증발산속도가 그림 143에 실려 있다. 활착 기간동안 명기에서의 증발산속도는 청색광 LED와 원적색광 LED에서 높게 나타났으나, 녹색광 LED과 적색광 LED에서는 낮게 나타났다. 전체적으로 백색 형광등하에서 활착된 접목묘의 증발산속도와 비교할 때 단색광 LED하에서 활착된 접목묘의 증발산속도가 낮게 나타났는 데, 이러한 현상은 접목 후 경과한 일수의 증가에 따라 더욱 분명하게 타났다. 접목 후 1일째의 명기에서 광질에 따른 증발산속도는 청색광 LED > 원적색광 LED > 녹색광 LED > 적색광 LED의 순서로써 각각  $50.5\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $40.7\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $37.6\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $32.15\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 로서 차이가 크게 나타났으나, 시간이 경과할수록 증발산속도에 미치는 광질 처리의 효과가 감소하였다.

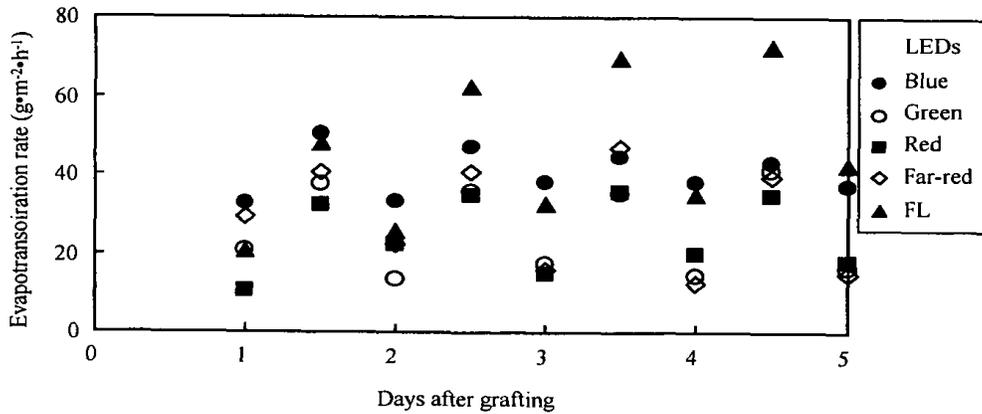
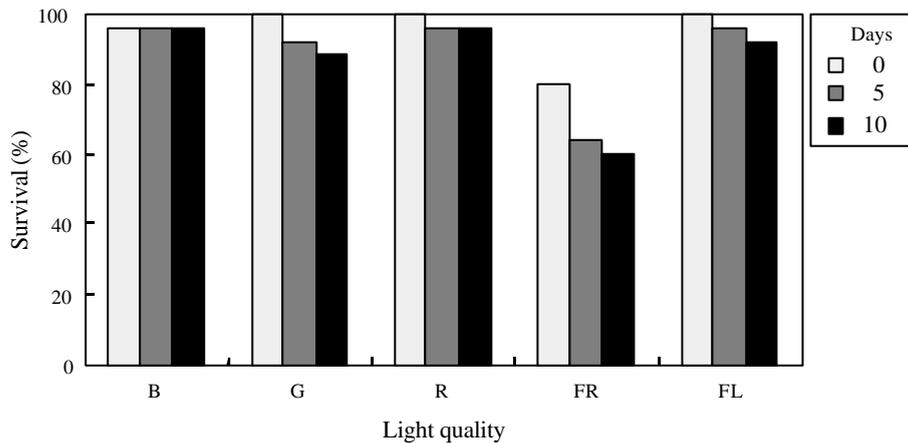


그림 143. 청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED하에서 활착된 접목묘의 증발산속도 (활착 조건; 기온 27°C, 상대습도 90%, 광합성유효광량자속  $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )

마. 접목묘의 활착 특성

청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED에서 활착된 접목묘의 활착율 및 순화 단계에서의 생존율 변화가 그림 144에 실려 있다. 적색광과 녹색광에서 활착된 접목묘의 활착율은 모두 100%이었고, 온실내의 경화 단계에서 생존율은 각각 96%, 88%로서 적색광 처리에서 생존율이 높게 나타났다. 청색광에서 활착된 접목묘의 활착율과 경화 과정에서의 생존율을 각각 96%, 96%로서 적색광의 경우와 거의 유사하게 나타났다. 형광등하에서의 활착율이 90~95%임을 고려할 때 청색과 적색광에서의 활착율은 형광등하에서 활착된 경우와 거의 동일한 수준으로 평가된다. 한편 원적색광에서 활착된 경우 접수의 위조 현상이 두드러지게 나타나며 외관상 묘소질이 저하되는 가운데 활착율은 80%로서 낮게 나타났다. 더구나 원적색광에서 활착된 접목묘는 경화 과정에서 상당수가 고사하여 생존율은 60%로 저하되었다. 원적색광에서 활착된 접목묘의 활착율과 생존율이 청색 또는 적색광의 경우에 비해서 매우 낮게 나타난 바, 이러한 결과가 광질에 기인한 것으로 판단된다. 향후 광질 차이가 접목묘의 활착과 경화에 미치는 효과와 더불어 접목묘 묘소질의 지속성 여부에 대한 상세한 검토가 요청된다.



144. (B), (G), (R), (FR) LED

마. 접목묘의 활착 특성

청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED에서 활착된 접목묘의 활착율 및 순화 단계에서의 생존율 변화가 그림 144에 실려 있다. 적색광과 녹색광에서 활착된 접목묘의 활착율은 모두 100%이었고, 온실내의 경화 단계에서 생존율은 각각 96%, 88%로서 적색광 처리에서 생존율이 높게 나타났다. 청색광에서 활착된 접목묘의 활착율과 경화 과정에서의 생존율을 각각 96%, 96%로서 적색광의 경우와 거의 유사하게 나타났다. 형광등하에서의 활착율이 90~95%임을 고려할 때 청색과 적색광에서의 활착율은 형광등하에서 활착된 경우와 거의 동일한 수준으로 평가된다. 한편 원적색광에서 활착된 경우 접수의 위조 현상이 두드러지게 나타나며 외관상 묘소질이 저하되는 가운데 활착율은 80%로서 낮게 나타났다. 더구나 원적색광에서 활착된 접목묘는 경화 과정에서 상당수가 고사하여 생존율은 60%로 저하되었다. 원적색광에서 활착된 접목묘의 활착율과 생존율이 청색 또는 적색광의 경우에 비해서 매우 낮게 나타난 바, 이러한 결과가 광질에 기인한 것으로 판단된다. 향후 광질 차이가 접목묘의 활착과 경화에 미치는 효과와 더불어 접목묘 묘소질의 지속성 여부에 대한 상세한 검토가 요청된다.

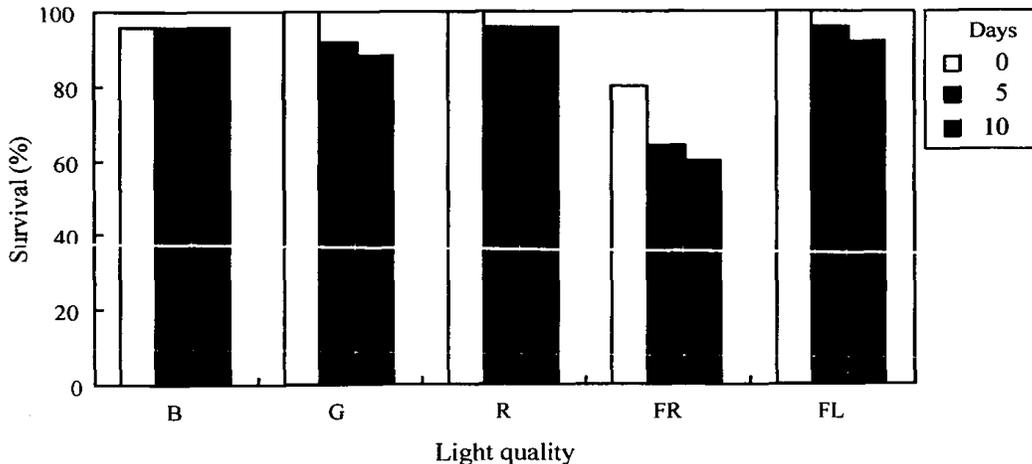
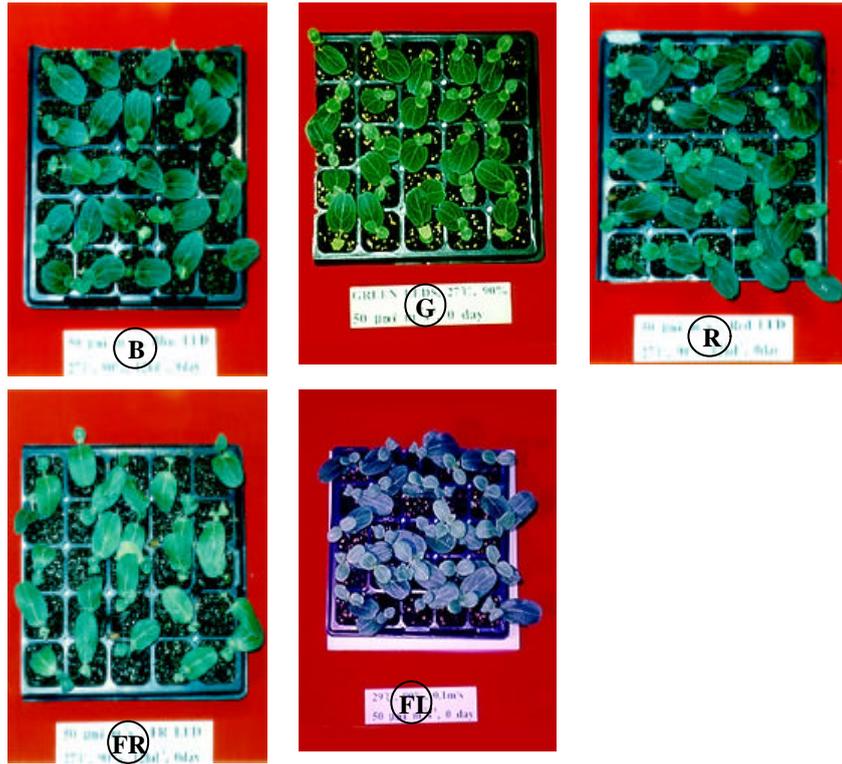


그림 144. 청색(B), 녹색(G), 적색(R), 원적색(FR)광 LED 및 형광등하에서 활착된 접목묘의 활착 특성

그림 145는 청색, 녹색, 적색, 원적색광 LED 및 백색 형광등하에서 5일 동안 활착된 접목묘를 나타낸 것으로서, 원적색광을 제외한 나머지 광질 처리에서 접목묘의 활착이 양호하게 이루어졌다.



145. (B), (G), (R), (FR) (FL)  
5

바. 단색광 LED하에서 활착된 접목묘의 생장과 광형태형성 효과

청색, 녹색, 적색 및 원적색광에서 활착된 후 경화 과정을 거친 접목묘의 생장과 형태형성 특성이 그림 146에 실려 있다. LED하에서 5일간 활착, 즉 경화 0일째에 해당하는 접목묘 접수의 배축직경은 원적색광>적색광>청색광>녹색광의 순서로 나타났

그림 145는 청색, 녹색, 적색, 원적색광 LED 및 백색 형광등하에서 5일 동안 활착된 접목묘를 나타낸 것으로서, 원적색광을 제외한 나머지 광질 처리에서 접목묘의 활착이 양호하게 이루어졌다.

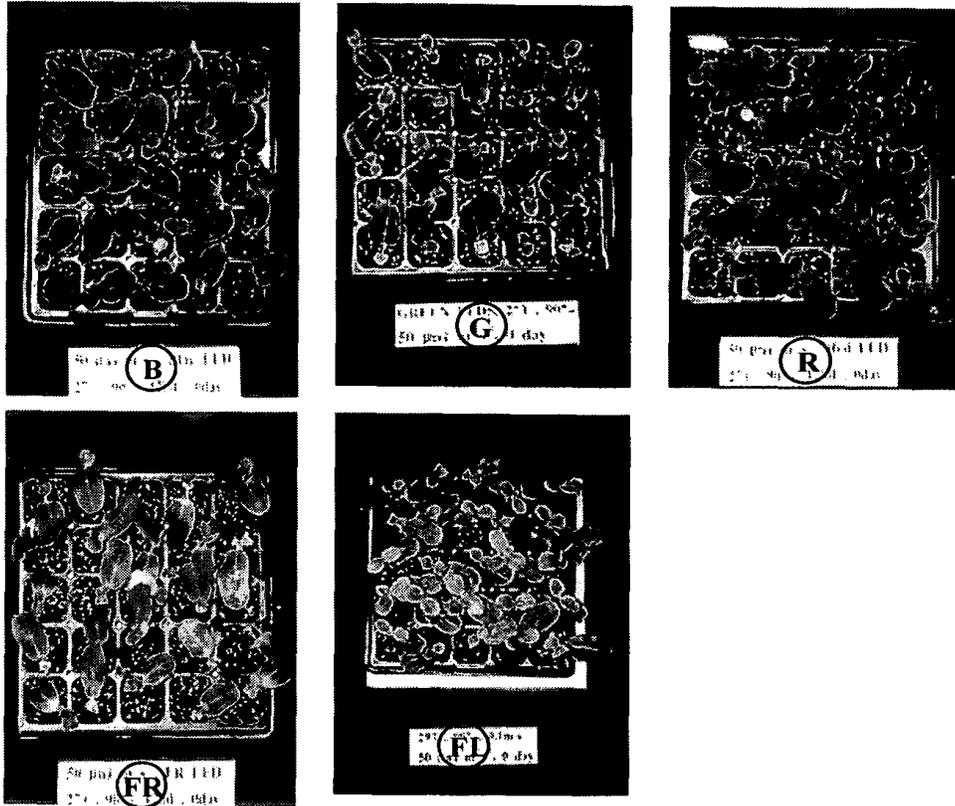


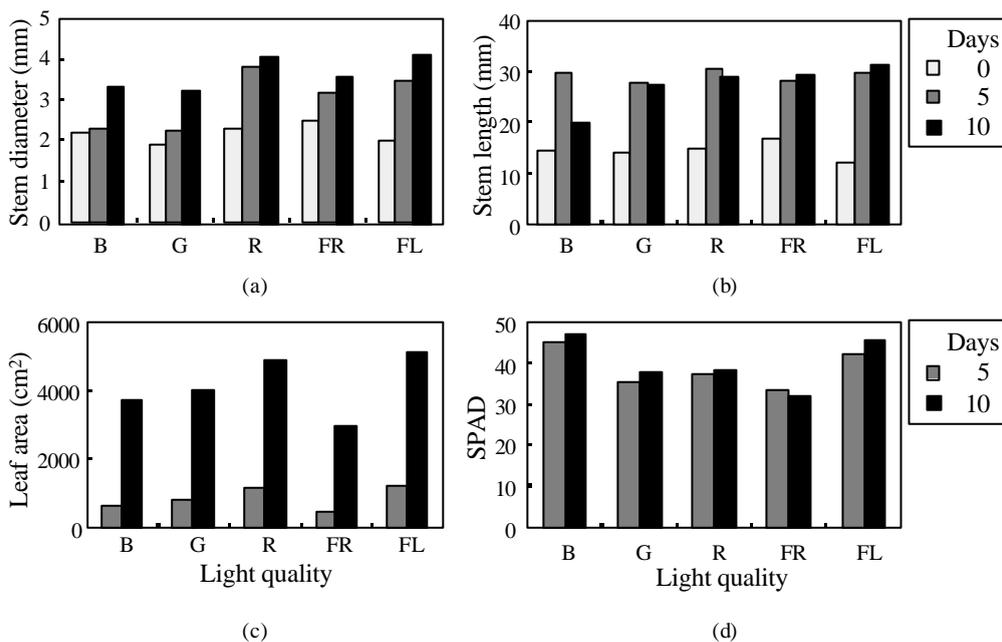
그림 145. 청색(B), 녹색(G), 적색(R), 원적색(FR) 및 백색 형광등(FL)하에서 5일간 활착된 접목묘

#### 바. 단색광 LED하에서 활착된 접목묘의 성장과 광형태형성 효과

청색, 녹색, 적색 및 원적색광에서 활착된 후 경화 과정을 거친 접목묘의 성장과 형태형성 특성이 그림 146에 실려 있다. LED하에서 5일간 활착, 즉 경화 0일째에 해당하는 접목묘 접수의 배축직경은 원적색광 > 적색광 > 청색광 > 녹색광의 순서로 나타났

으나, 차이가 크지 않았다. 배축길이는 원적색광에서 가장 크게 나타났으며, 청색, 녹색 및 적색광에서는 비슷하게 나타났다. 접목묘가 경화되면서 적색광에서 활착된 접수의 배축 신장은 적색광에서 두드러지게 이루어졌고, 청색광에서는 배축의 신장 효과가 작게 나타났다(그림 146a) 경화 과정에서 접수의 배축길이에 미치는 청색, 녹색, 적색 및 원적색광의 영향은 그다지 높지 않게 나타났다.

경화가 이루어지면서 접수의 엽면적에 미치는 광질의 효과가 적색광에서 크게 나타난 가운데, 엽면적은 적색광>녹색광>청색광>원적색광의 순서로서 경화 과정 동안 이러한 결과가 지속되었다(그림 146b) 접수의 엽록소함량은 청색광>적색광>녹색광>원적색광의 순서로서 광질 처리에 따른 효과가 분명하게 나타났으며, 엽면적에서와 마찬가지로 경화 과정에서 상기 순서가 지속되었다(그림 146c)



146. (B), (G), (R), (FR) LED (FL)

으나, 차이가 크지 않았다. 배측길이는 원적색광에서 가장 크게 나타났으며, 청색, 녹색 및 적색광에서는 비슷하게 나타났다. 접목묘가 경화되면서 적색광에서 활착된 접수의 배측 신장은 적색광에서 두드러지게 이루어졌고, 청색광에서는 배측의 신장 효과가 작게 나타났다.(그림 146a) 경화 과정에서 접수의 배측길이에 미치는 청색, 녹색, 적색 및 원적색광의 영향은 그다지 높지 않게 나타났다.

경화가 이루어지면서 접수의 엽면적에 미치는 광질의 효과가 적색광에서 크게 나타난 가운데, 엽면적은 적색광 > 녹색광 > 청색광 > 원적색광의 순서로서 경화 과정 동안 이러한 결과가 지속되었다.(그림 146c) 접수의 엽록소함량은 청색광 > 적색광 > 녹색광 > 원적색광의 순서로서 광질 처리에 따른 효과가 분명하게 나타났으며, 엽면적에서와 마찬가지로 경화 과정에서 상기 순서가 지속되었다.(그림 146d)

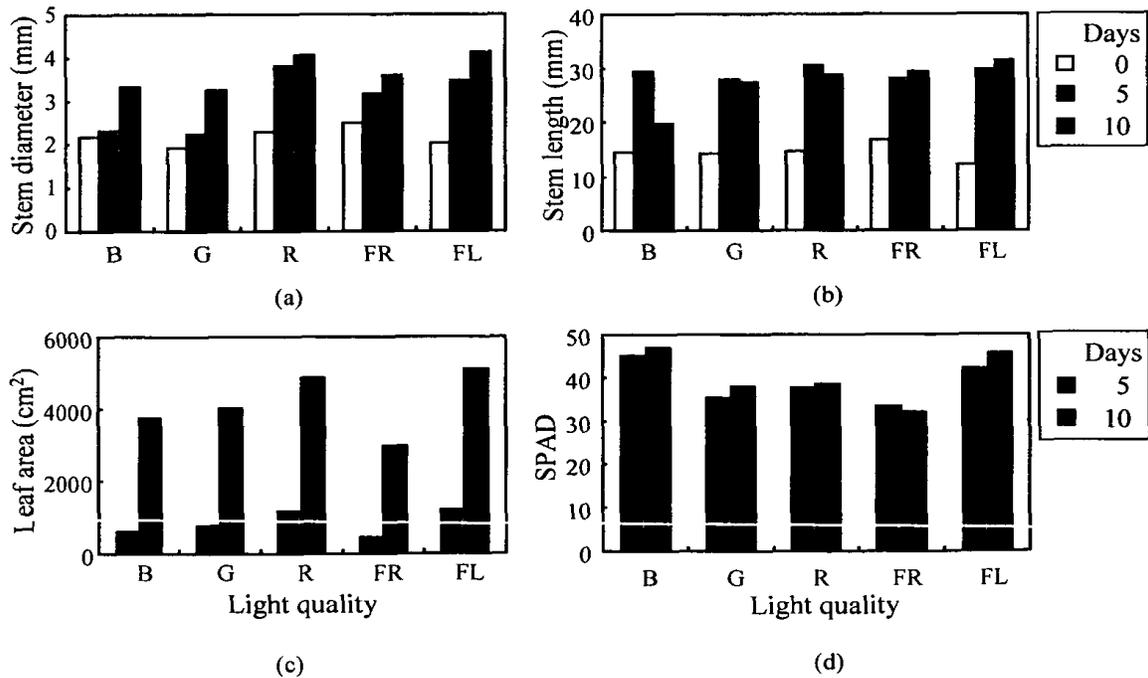


그림 146. 청색(B), 녹색(G), 적색(R), 원적색(FR)광 LED와 형광등(FL)하에서 활착된 접목묘의 성장 특성

그림 147은 청색, 녹색, 적색, 원적색광 LED 및 백색 형광등하에서 5일간 활착된 후 온실내에서 경화된 접목묘를 나타낸 것이다. 단색광 LED하에서 활착된 접목묘를 백색 형광등하에서 활착된 경우와 비교할 때 외관상 묘소질의 차이가 없는 것으로 나타났다.



147. (B), (G), (R), (FR) LED (FL)

### 3. 조합광 LED하에서 활착된 접목묘의 증발산 및 활착 특성

#### 가. 조합광의 구성

플러그트레이 표면에서 측정된 광합성유효광량자속을  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 으로 유지시

그림 147은 청색, 녹색, 적색, 원적색광 LED 및 백색 형광등하에서 5일간 활착된 후 온실내에서 경화된 접목묘를 나타낸 것이다. 단색광 LED하에서 활착된 접목묘를 백색 형광등하에서 활착된 경우와 비교할 때 외관상 묘소질의 차이가 없는 것으로 나타났다.

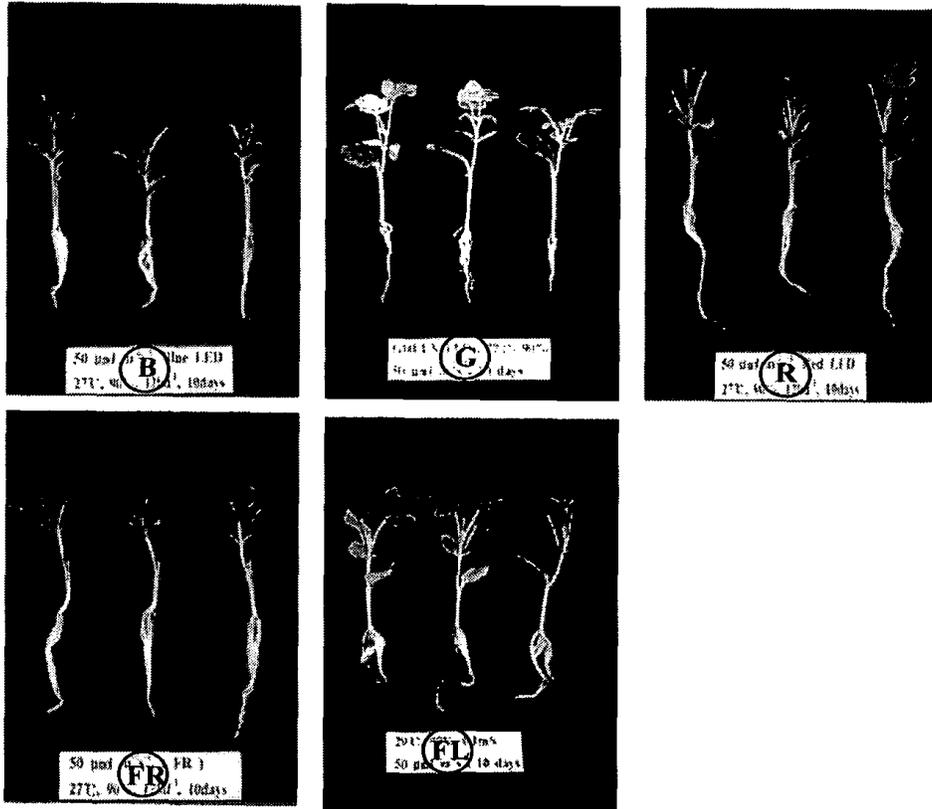


그림 147. 청색(B), 녹색(G), 적색(R), 원적색광(FR) LED 및 백색 형광등(FL) 하에서 활착된 접목묘의 경화된 모습

### 3. 조합광 LED하에서 활착된 접목묘의 증발산 및 활착 특성

#### 가. 조합광의 구성

플러그트레이 표면에서 측정된 광합성유효광량자속을  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 으로 유지시

킨 가운데 접목묘의 증발산속도에 미치는 적색광에 대한 청색광의 부가 효과를 구명하고자 표 29와 같이 LED 광질을 5수준으로 처리하였다. 즉 적색광 단독(R), 적색광과 청색광을 4:1의 비율로 혼합한 조합광(RB41), 적색광과 청색광을 3:2의 비율로 혼합한 조합광(RB32), 적색광과 청색광을 2:3의 비율로 혼합한 조합광(RB23), 청색광 단독(B)하에서 활착된 접목묘의 증발산속도를 검토하였다.

표 29. 조합광 LED의 처리 조건

Treatment	Photosynthetic photon flux	Light sources
R	Red: $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	Red LED
RB41	Red: $40\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Blue: $10\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	Red/Blue LED
RB32	Red: $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Blue: $20\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	Red/Blue LED
RB23	Red: $20\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Blue: $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	Red/Blue LED
B	Blue: $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	Blue LED

#### 나. 접목, 활착 및 경화 특성 분석

접수와 대목으로 각각 수박(Sweetdew, Hungnong Seed Co.)과 박(FR King, Hungnong Seed Co.)을 사용하였다. 접목 후 초기 24시간은 암조건을 유지하였으며, 24시간이 경과한 이후부터 명기와 암기를 각각 12시간씩으로 조절하였다. 접목이 이루어진 접목묘는 활착촉진장치 내에서 5일 동안 Table 1의 조건에서 활착되었다. 이 때 활착촉진장치 내의 기온과 상대습도는 각각 27°C, 90%로 제어하였다. 실험 개시 후 5일째에 접목묘의 활착율을 조사하였다. 또한 10일의 경화 기간에 5일 간격으로 접목묘의 생존율을 조사하였다.

#### 다. 증발산속도

적색광에 적색광에 청색광을 혼합한 조합광이 접목묘의 증발산속도에 미치는 효과가 그림 148에 실려 있다. 접목 후 2일째의 명기에서 광질에 따른 증발산속도는 B> RB32> R> RB41> RB23의 순서로서, 각각  $50.5\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $40.7\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $32.1\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $29.6\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $28.4\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 로서 차이가 나타났으나, 접목 후 4일째의 증발산속도는 B> RB32> R> RB23> RB41의 순서로서, 각각  $43.1\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $41.9\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $34.5\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $32.1\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $28.4\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 로서 활착이 진행되면서 광질 처리에 따른 증발산속도 차이가 감소하였다. 한편 암기에서의 증발산속도는  $9.9 \sim 38.2\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 나타났다.

접목묘의 증발산에는 접수로부터의 증산과 배지로부터의 증발이 포함된다. 증산은 식물체의 생리작용으로서 주위 공기의 기온, 상대습도, 기류속도, 광강도 및 광질 등의 영향을 받는다. 한편, 증발에 영향을 미치는 물리적 환경요소는 기온, 상대습도, 광강도, 기류속도 등이다. 결국 광질을 제외한 물리적 환경 조건을 동일하게 유지하였을 때 나타나는 증발산속도의 차이는 광질에 기인하는 것으로 판단된다.

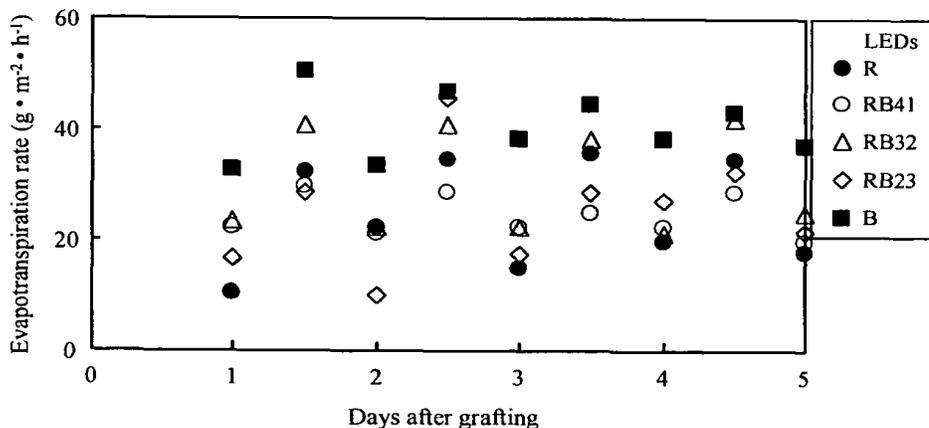
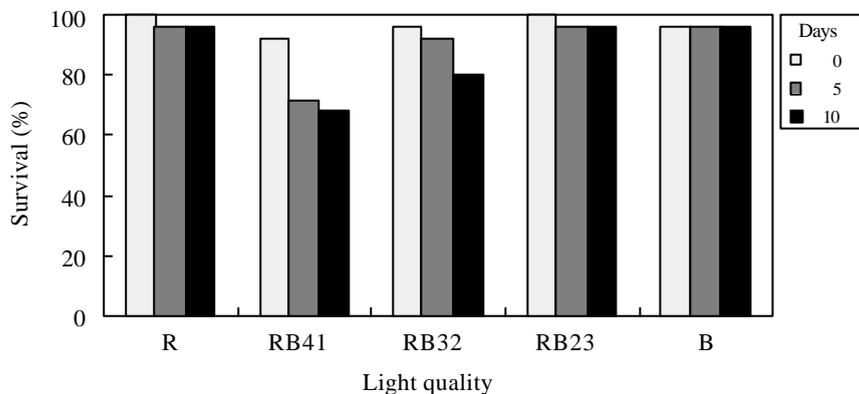


그림 148. 청색(B)과 적색(R)을 조합한 조합광 LED하에서 활착된 접목묘의 증발산속도 (활착 조건; 기온 27°C, 상대습도 90%, 기류속도  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )

라. 접목묘의 활착 특성

적색광에 청색광이 조합된 조건에서 활착된 접목묘의 활착율 및 경화 단계에서의 생존율 변화가 그림 149에 실려 있다. 적색광(R) 단독과 적색광에 청색광을 2:3의 비율로 혼합한 광(RB32)에서 활착율은 100%로 나타났고, 나머지 처리에서의 활착율도 92~96%로 높게 나타나 접목묘의 활착 단계에서 적색, 청색의 단색광뿐만 아니라 적색광에 청색광을 혼합한 처리가 효과적임을 알 수 있다. 한편 경화 단계에서의 생존율은 적색광 단독(R), 청색광 단독(B), 적색광에 청색광을 2:3의 비율로 혼합한 광(RB32)에서 96%로 매우 높게 나타났다. 그런데, 적색광에 청색광이 4:1의 비율로 혼합된 광(RB41) 또는 3:2의 비율로 혼합된 광(RB32)에서의 생존율은 각각 68%, 80%로서 상대적으로 낮게 나타났다. 이러한 결과가 광질에 기인한 것인지의 여부는 현재로서 명확하지 않는 바, 향후 이에 대한 검토가 요청된다.



149. (B) (R) LED

적색광에 청색광이 조합된 조건에서 5일간 활착된 접목묘를 온실 내에서 경화시킨 모습이 그림 150에 실려 있다.

라. 접목묘의 활착 특성

적색광에 청색광이 조합된 조건에서 활착된 접목묘의 활착율 및 경화 단계에서의 생존율을 변화가 그림 149에 실려 있다. 적색광(R) 단독과 적색광에 청색광을 2:3의 비율로 혼합한 광(RB32)에서 활착율은 100%로 나타났고, 나머지 처리에서의 활착율도 92~96%로 높게 나타나 접목묘의 활착 단계에서 적색, 청색의 단색광뿐만 아니라 적색광에 청색광을 혼합한 처리가 효과적임을 알 수 있다. 한편 경화 단계에서의 생존율은 적색광 단독(R), 청색광 단독(B), 적색광에 청색광을 2:3의 비율로 혼합한 광(RB32)에서 96%로 매우 높게 나타났다. 그런데, 적색광에 청색광이 4:1의 비율로 혼합된 광(RB41) 또는 3:2의 비율로 혼합된 광(RB32)에서의 생존율은 각각 68%, 80%로서 상대적으로 낮게 나타났다. 이러한 결과가 광질에 기인한 것인지는 여부는 현재로서 명확하지 않는 바, 향후 이에 대한 검토가 요청된다.

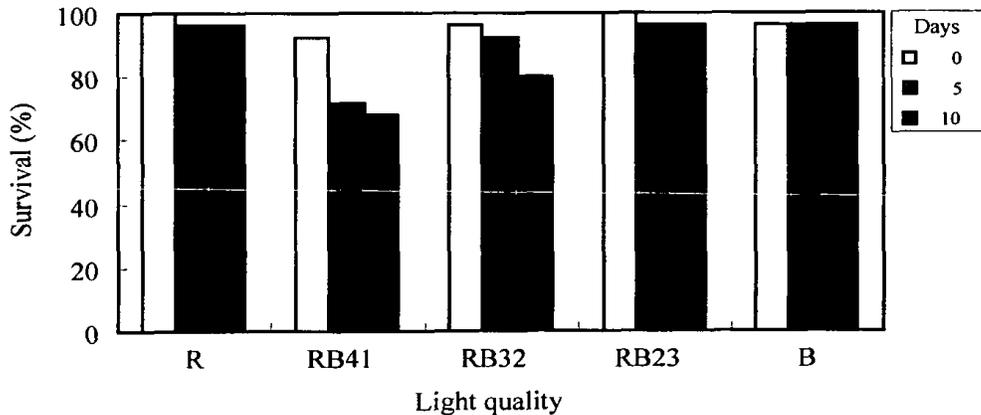


그림 149. 청색(B)과 적색(R)광을 조합한 조합광 LED하에서 활착된 접목묘의 활착과 성장 특성

적색광에 청색광이 조합된 조건에서 5일간 활착된 접목묘를 온실 내에서 경화시킨 모습이 그림 150에 실여 있다.



150. (B) (R) LED

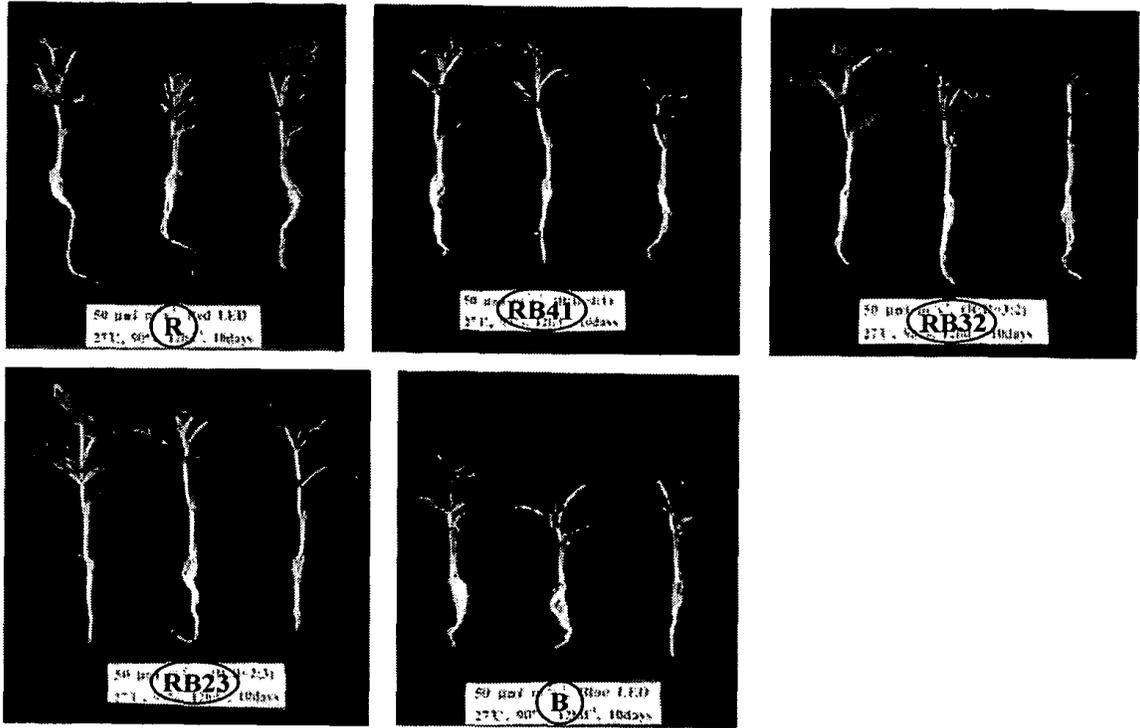


그림 150. 청색(B)과 적색(R)광을 조합한 조합광 LED하에서 활착된 접목묘의 경화된 모습

## 제4절 결 론

접목묘의 활착에 미치는 광질 효과를 구명하고자 LED를 인공광원으로 사용하였다. 단색광과 조합광 LED하에서 활착된 접목묘의 증발산속도와 활착 특성에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 청색, 녹색, 적색 및 원적색의 단색광 LED 모듈과 이들을 조합한 조합광 LED 모듈을 제작한 후 분광 특성과 광강도를 분석하였다.
2. 접목 후 2일째의 명기에서 증발산속도는 청색 LED > 원적색 LED > 녹색 LED > 적색 LED의 순서로서 각각  $50.5\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $40.7\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $37.6\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $32.15\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 로서 차이가 크게 나타났으나, 시간이 경과할수록 증발산속도에 미치는 광질 처리의 효과가 감소하였다.
3. 적색과 녹색광 LED에서 활착된 접목묘의 활착율은 모두 100%이었고, 온실내의 경화 단계에서 생존율은 각각 96%, 88%로서 적색광 LED 처리에서 생존율이 높게 나타났다. 청색광 LED에서 활착된 접목묘의 활착율과 경화 과정에서의 생존율은 각각 96%, 96%로서 적색광의 경우와 거의 유사하게 나타났다. 형광등하에서의 활착율이 90~95%임을 고려할 때 청색과 적색광 LED에서의 활착율은 형광등하에서 활착된 것과 거의 동일한 수준으로 평가된다. 한편 원적색광 LED에서 활착된 경우 접수의 위조 현상이 두드러지게 나타났으며 외관상 묘소질이 저하되는 가운데 활착율은 80%로서 낮게 나타났다.
4. 적색광 LED(R), 적색광과 청색광을 4:1의 비율로 혼합한 조합광 LED(RB41), 적색광과 청색광을 3:2의 비율로 혼합한 조합광 LED(RB32), 적색광과 청색광을 2:3의 비율로 혼합한 조합광 LED(RB23), 청색광 LED(B)하에서 활착된 접목묘의 증발산속도를 비교하였다. 활착율은 R, RB32구에서 100%로 나타났고, 나머지 처리에서의 활

착율은 92~96%로 나타나 접목묘의 활착 단계에서 적색, 청색의 단색광 LED뿐 만 아니라 적색광에 청색광을 혼합한 조합광 LED 처리가 효과적인 것으로 나타났다.

5. 수박 접목묘의 활착과 경화 특성에 미치는 광질의 효과가 존재하였으며, 광질 처리에 LED의 활용 가능성을 확인하였다. 청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED에서 활착된 접목묘의 묘소질이 경화 단계에서도 일부 지속되는 것으로 판단되는 바, 묘소질의 지속성 여부를 검증하기 위한 인공광원으로서 LED를 유효하게 활용할 수 있다.

## 제 6 장 인공광하에서 적정 육묘 조건의 확립

### 제1절 서 언

자연광 조건에서 육묘된 수박은 발아 직후부터 배축이 급격하게 도장되고 자엽의 전개가 늦게 이루어지는 등 묘소질이 인공광하에서 육묘된 것에 비해서 현격하게 저하된다. 이러한 결과는 대목으로 사용된 박의 육묘에서도 마찬가지로 나타날 수 있다. 이와 같이 자연광하에서 육묘된 수박과 박의 도장이 이루어진 것은 근본적으로 자연광 조건의 제어가 불가능하기 때문이다. 더구나 자연 기후의 영향을 받아 자연광 조건에서 광강도가 일정하지 않으며, 고온기에 야간 기온이 24~25℃ 정도로 높게 유지되는 바 묘소질이 저하된다. 따라서 수박과 같은 호광성 작물을 고온기에 자연광 조건에서 육묘할 때 묘의 도장을 억제하기 위한 세심한 관리가 요구됨을 알 수 있다.

접목을 실시할 때 접수와 대목의 적절한 생육은 접목을 용이하게 할 뿐 만 아니라 활착 후 접목묘의 묘소질 지속에도 커다란 영향을 미칠 수 있다. 그러므로 인공광을 이용한 폐쇄된 환경 조건에서 육묘가 바람직하나, 인공광하에서 묘소질이 우수한 수박과 대목용 박의 적정 육묘조건이 확립되어 있지 않다. 본 연구의 목적은 수박과 대목용 박의 육묘에 미치는 기온, 광합성유효광량자속, 명기와 암기의 기온차(DIF) 및 광주기의 영향을 구명하는 데 있다.

### 제2절 대목용 박의 육묘에 미치는 광주기와 광강도의 영향

#### 1. 품사 재료 및 실험 소진

육묘 실험은 기온, 상대습도, 광량, 광주기의 제어가 가능하며, 인공광원으로 55W의 3과장 형광등(DULUXL55W/21-840, OSRAM)을 사용한 대형 growth room에서 이루어졌다. 광합성유효광량자속과 광주기가 대목용 박(FR King, Hungnong Seed Co.)의 초기 생장에 미치는 영향을 구명하고자 광합성유효광량자속을 3수준( $200\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 300

$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $400\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )으로 설정하였다. 광주기, 즉 명기/암기는 3수준 (24/0h, 18/6h, 12/12h)으로 설정하였다. 육묘 단계에서 명기와 암기의 기온은 각각 28°C, 암기 18°C로 조절하였으며, 상대습도는 70%를 유지하였다.

육묘용 양액으로는 육묘 전용의 복합비료(한방 A, B제; 코셀)를 희석하여 조성하였으며, 저면관수식으로 공급하였다. 조성된 양액의 pH와 EC는 각각 6.7, 1.2~1.4  $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 로 나타났다. 대목의 생육 조사 항목은 배축직경과 배축길이, 지상부 생체중과 건물중, 지하부 생체중과 건물중, 엽장과 엽폭, 엽면적, 엽록소 함량, 근활력 등이다. 이와 같은 생육조사는 본엽이 2매 전개된 시점을 기준으로 0, 5일, 10일째에 실시하였다.

## 2. 육묘 단계에서 대목용 박의 생육 특성

대목으로 사용된 박의 10일째 생육 특성이 그림 151에 실려 있다. 배축직경은 18/6h의 광주기에서 가장 높게 나타났으며, 12/12h의 광주기에서 낮게 나타났다. 광합성유

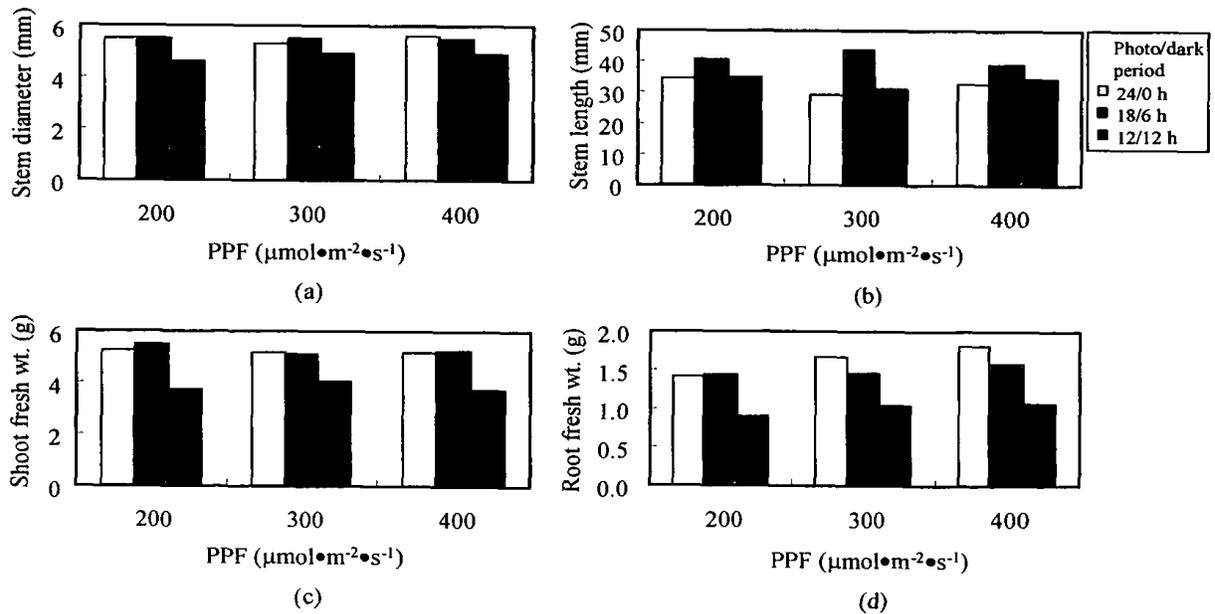


그림 151. 대목용 박의 육묘에 미치는 광합성유효광량자속(PPF)과 광주기의 영향

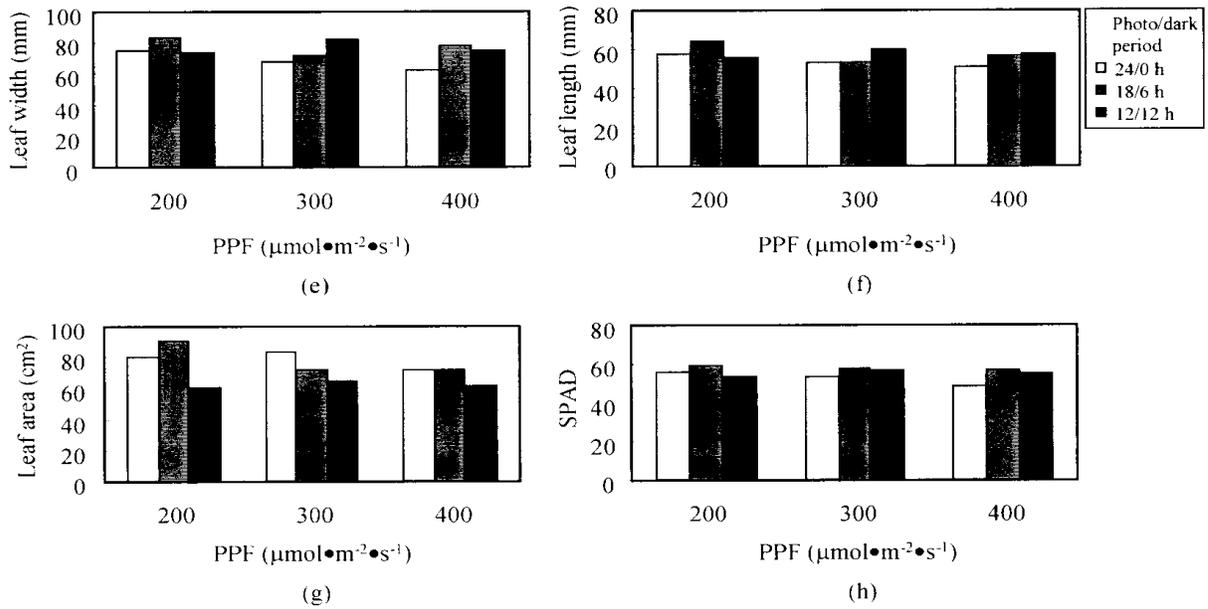


그림 151(계속)

호광량자속에 따른 배축직경의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 배축길이는 18/6h의 광주기에서 가장 높게 나타났으며, 24/0h의 광주기에서 낮게 나타났다. 지상부 생체중은 18/6h와 24/0h의 광주기에서 거의 유사하게 나타났으나, 12/12h의 광주기에서는 매우 낮게 나타났다. 지하부 생체중은 광합성유효광량자속이 클수록 높게 나타났으며, 24/0h의 광주기에서 높게 나타났다.

광량이 높을수록 엽폭은 감소하였으며, 엽폭에 미치는 광주기의 영향은 18/6h의 조건에서 높게 나타났다. 엽장은 엽폭과 마찬가지로 광량과 광주기의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 즉 강광 조건에서 엽장은 감소하였으며, 18/6h의 광주기 조건에서 엽장이 가장 높게 나타났다. 이러한 결과는 광량과 광주기가 대목(박)의 엽 형태에 커다란 영향을 미치는 인자에 해당함을 의미하는 것이다. 엽면적은 광량이 클수록 감소하였으며, 24/0h > 18/6h > 12/12h의 순서로 엽면적이 높게 나타났다. 이러한 결과는 엽장과 엽폭에 미치는 광량의 효과와 일치하는 것이다. 엽록소함량의 비파괴적 측정의 척도로 사용된 SPAD는 강광 조건일수록 감소하였으며, 광주기가 미치는 영향은 18/6h

의 조건에서 가장 높게 나타났다

표 30은 SAS의 Duncan의 다중검정에 의해서 3수준의 광합성유효광량자속과 3수준의 광주기가 박의 육묘 특성에 미치는 효과에 대한 통계분석 결과를 정리한 것이다. 표 30으로부터 박의 육묘에 미치는 광주기의 효과는 근활력을 제외한 모든 항목에서 고도의 유의차가 인정됨을 알 수 있다. 다음으로 엽장과 엽폭을 비롯하여 지하부 생체중과 건물중, 지상부 건물중은 5% 수준에서 광합성유효광량자속의 효과에 대한 유의성이 인정되었다. 한편 광주기와 광합성유효광량자속의 상호작용에 의한 효과는 엽장과 엽폭, 엽면적, 엽록소 함량 등에서 유의성이 인정되었다. 상기의 결과로부터 박의 육묘 특성에 미치는 효과가 광합성유효광량자속에 비해서 광주기에서 높게 나타남

표 30. 대목용 박의 육묘 특성에 대한 Duncan 다중 검정 결과

Class	Stem diameter	Stem length	Shoot		Root	
			Fresh Wt.	Dry wt.	Fresh wt.	Dry wt.
PPF	N.S. <sup>1)</sup>	N.S.	N.S.	* <sup>2)</sup>	*	**
Photoperiod	** <sup>3)</sup>	**	**	**	**	**
PPF x Photo.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	**

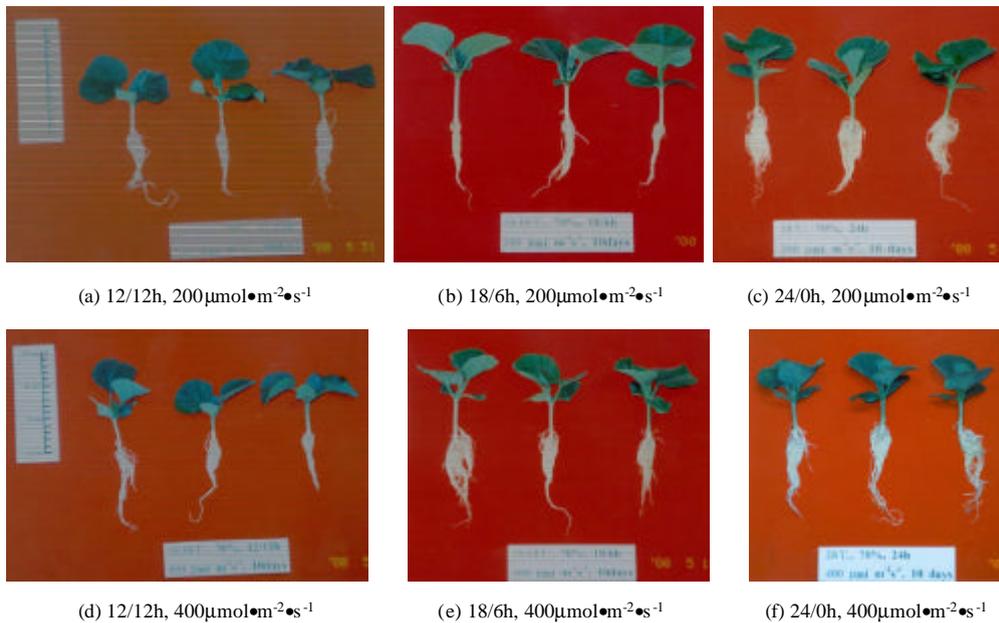
<sup>1)</sup> not significant

<sup>2)</sup> significant at the level of 5%

<sup>3)</sup> significant at the level of 1%

표 30(계속)

Class	Leaf length	Leaf width	Leaf area	SPAD	Root activity
PPF	**	*	N.S.	N.S.	N.S.
Photo.	**	**	**	**	N.S.
PPF x Photo.	**	**	*	**	N.S.



152.

을 알 수 있다. 서로 다른 광주기와 광합성유효광량자속에서 육묘된 대목의 외관(그림 152)으로부터 24/0h의 광주기와 광량이 높은 조건에서 대목의 근괴가 충실하게 형성되어 있음을 알 수 있다.

### 제3절 수박과 박의 육묘에 미치는 기온과 광강도의 영향

#### 1. 공시 재료 및 실험 조건

접목에 필요한 공시 플러그묘로서 수박(감로, 흥농종묘)과 박(FR King, 흥농종묘)을 사용하였다. 수박과 참박의 발아는 기온, 상대습도, 기류속도, 광강도의 조절이 가능한 대형 growth room 내에서 이루어졌다. 인공광하에서 수박과 박의 적정 발아 및 육묘 조건을 살펴보고자 표 31과 같이 명기에 2수준의 기온(25℃, 28℃)과 2수준의 광합성 유효광량자속( $350\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $540\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )을 조합하여 4개의 조건을 설정하였

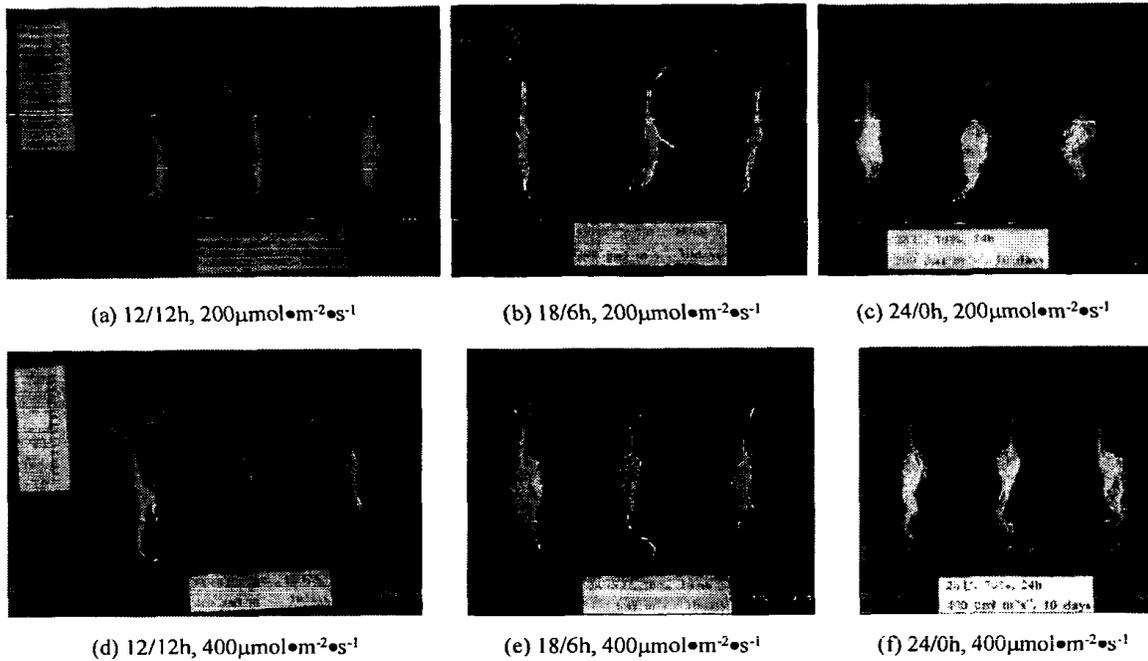


그림 152. 대목용 박의 육묘 특성에 미치는 광주기와 광합성유효광량자속의 영향

을 알 수 있다. 서로 다른 광주기와 광합성유효광량자속에서 육묘된 대목의 외관(그림 152)으로부터 24/0h의 광주기와 광량이 높은 조건에서 대목의 근피가 충실하게 형성되어 있음을 알 수 있다.

### 제3절 수박과 박의 육묘에 미치는 기온과 광강도의 영향

#### 1. 공시 재료 및 실험 조건

접목에 필요한 공시 플러그묘로서 수박(감로, 흥농종묘)과 박(FR King, 흥농종묘)을 사용하였다. 수박와 참박의 발아는 기온, 상대습도, 기류속도, 광강도의 조절이 가능한 대형 growth room 내에서 이루어졌다. 인공광하에서 수박과 박의 적정 발아 및 육묘 조건을 살펴보고자 표 31과 같이 명기에 2수준의 기온(25℃, 28℃)과 2수준의 광합성 유효광량자속( $350\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $540\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )을 조합하여 4개의 조건을 설정하였

다. 명기와 암기에서의 상대습도는  $70\% \pm 3\%$ 로 동일하게 조절하였다. 발아가 이루어진 후 명기와 암기의 기온차는  $10^{\circ}\text{C}$ 로 동일하게 설정하였으며, 명기와 암기는 각각 12시간씩으로 설정하였다. 육묘용 인공광원으로는 이중3파장등을 사용하였으며, 인공광하에서 육묘된 수박과 참박의 생육 특성을 자연광 조건에서 육묘된 경우와 비교 분석하고자 조건 E를 설정하였다. 육묘용 양액으로는 육묘 전용의 복합비료(한방 A, B제; 코셀)를 희석하여 조성하였으며, 저면관수식으로 공급하였다.

표 31. 기온과 광강도에 따른 수박과 박의 육묘 조건

Treatment	Environment conditions	Light sources
A	Air temp.: photoperiod $25^{\circ}\text{C}$ , dark period $15^{\circ}\text{C}$ PPF: $350\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	Fluorescent lamps
B	Air temp.: photoperiod $25^{\circ}\text{C}$ , dark period $15^{\circ}\text{C}$ PPF: $540\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	"
C	Air temp.: photoperiod $28^{\circ}\text{C}$ , dark period $18^{\circ}\text{C}$ PPF: $350\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	"
D	Air temp.: photoperiod $28^{\circ}\text{C}$ , dark period $18^{\circ}\text{C}$ PPF: $540\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	"
E	Air temp.: photoperiod $27 \sim 33^{\circ}\text{C}$ , dark period $24 \sim 26^{\circ}\text{C}$	Natural light

## 2. 수박과 박의 육묘 특성

표 2의 조건에 따라 2매의 자엽이 완전하게 전개되었을 때 측정된 수박과 박의 발아 및 육묘 특성이 표 32와 표 33에 실려 있다. 인공광하에서 명기의 기온이  $28^{\circ}\text{C}$ 일 때 육묘된 수박은  $25^{\circ}\text{C}$ 에서 육묘된 경우에 비해서 배축길이, 초장, 엽면적 등이 다소 크게 나타났으나, 자연광하에서 육묘된 경우에 비해서는 매우 작게 나타났다. 배축직경은  $350\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 PPF에 비해서  $540\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 높은 PPF에서 높게 나타났다. 한편, 박의 발아 및 육묘 특성은 수박의 경우와 유사하게 나타났다. 그러므로 고온기에 인공광하에서 PPF와 기온을 각각  $540\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $28^{\circ}\text{C}$ 로 유지하고 명기

와 암기의 기온차를 10℃로 유지할 경우 수박과 박의 도장을 억제하면서 묘소질이 우수한 육묘가 가능함을 확인하였다.

자연광 조건, 즉 조건 E에서 육묘된 수박은 발아 직후부터 배측이 급격하게 도장되고 자엽의 전개가 늦게 이루어지는 등 묘소질이 인공광하에서 육묘된 것에 비해서 현격하게 저하되었다. 이러한 결과는 박에서도 마찬가지로 나타났다. 이와 같이 자연광하에서 육묘된 수박과 참박의 도장이 이루어진 것은 근본적으로 자연광 조건의 제어가 불가능하기 때문이다. 더구나 자연 기후의 영향을 받기 때문에 주간에 광강도가 일정하지 않으며, 야간에도 기온이 24~25℃ 정도로 높게 나타나 묘소질이 저하된 것으로 판단된다. 결국 수박과 같은 강광성 식물을 고온기에 자연광 조건에서 육묘할 때 묘의 도장을 억제하기 위한 세심한 관리가 요구됨을 알 수 있다.

표 32. 수박의 발아 및 육묘 특성에 대한 Duncan 다중 검정 결과

Treatment	Stem length (mm)	Stem dia. (mm)	Plant height (mm)	Cotyledon length (mm)	Cotyledon width (mm)
A	23.0b <sup>x</sup>	2.27ab	37.2c	29.2a	21.4a
B	23.4b	2.31ab	36.0c	24.8ab	16.4c
C	28.5b	2.13ab	48.2b	28.4a	20.4ab
D	27.4b	2.45a	37.6c	25.0ab	18.2ab
E	81.5a	2.01b	90.3a	22.9b	15.4c

Treatment	Leaf area (mm <sup>2</sup> · plant <sup>-1</sup> )	Fresh weight (g · plant <sup>-1</sup> )	Dried weight (g · plant <sup>-1</sup> )	Days after seeding
A	750.1ab	0.435b	0.039a	13
B	744.7b	0.449ab	0.041a	9
C	793.5ab	0.471a	0.043a	9
D	798.3a	0.453ab	0.043a	9
E	621.0c	0.398c	0.031b	14

표 33. 박의 발아 및 육묘 특성에 대한 Duncan 다중 검정 결과

Treatment	Stem length (mm)	Stem dia. (mm)	Plant height (mm)	Cotyledon length (mm)	Cotyledon width (mm)
A	25.0c	2.78b	44.4d	41.2ab	25.2ab
B	24.0c	3.14b	45.8d	35.4b	20.8b
C	37.2b	4.39a	73.6b	44.6a	27.4a
D	34.9b	3.94a	65.2c	39.4ab	23.6ab
E	77.5a	3.02b	89.4a	38.5ab	21.3b

Treatment	Leaf area (mm <sup>2</sup> · plant <sup>-1</sup> )	Fresh weight (g · plant <sup>-1</sup> )	Dried weight (g · plant <sup>-1</sup> )	Days after seeding
A	2175.6a	1.235c	0.101b	13
B	1814.7b	1.329b	0.106b	9
C	2208.3a	1.271bc	0.102b	9
D	2128.9a	1.427a	0.121a	9
E	2058.7ab	1.289bc	0.103b	14

그러므로 인공광하에서 명기와 암기에서의 기온차를 달리한 DIF제어를 병행하면 묘의 광형태형성 반응을 다양하게 제어하면서 고온기에 보다 튼튼한 묘 생산이 가능할 것으로 판단된다.

#### 제4절 수박과 박의 육묘에 미치는 광강도와 DIF의 영향

##### 1. 공시재료 및 실험 조건

인공광하에서 육묘할 개 대목(박)의 길이가 지나치게 짧게 되면 접목 부위에 위치한 접수로부터 부정근(不定根)이 발생될 수 있다. 그러므로 대목이 일정한 길이를 갖도록 육묘 조건을 설정하는 것이 요구된다. 더구나 인공광하에서 명기와 암기에서의 기온차를 달리한 DIF제어를 실시하여 묘의 광형태형성 반응을 다양하게 제어하면 보다 튼

튼한 묘생산이 가능할 것이다. 표 34는 수박과 박의 육묘 조건을 나타낸 것이다.

육묘용 양액으로는 육묘 전용의 복합비료(한방 A, B제; 코셀)를 희석하여 조성하였으며, 저면관수식으로 공급하였다. 이 때 조성된 양액의 pH와 EC는 각각 6.7, 1.2~1.4 mS · cm<sup>-1</sup>로 나타났다.

표 34. 인공광하에서 수박과 박의 육묘 조건

Treatment	Environment conditions	Light sources
A	PPF: 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Air temp.: photoperiod 28°C, dark period 18°C Relative humidity: 50%R.H.	Cool white fluorescent lamps
B	PPF: 300 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Air temp.: photoperiod 28°C, dark period 18°C Relative humidity: 50%R.H.	"
C	PPF: 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Air temp.: photoperiod 28°C, dark period 18°C Relative humidity : 50%R.H.	"
D	PPF: 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Air temp.: photoperiod 25°C, dark period 15°C Relative humidity: 50%R.H.	"
E	PPF: 300 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Air temp.: photoperiod 25°C, dark period 15°C Relative humidity: 50%R.H.	"
F	PPF: 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Air temp.: photoperiod 25°C, dark period 15°C Relative humidity: 50%R.H.	"
G	PPF: 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Air temp.: photoperiod 28°C, dark period 23°C Relative humidity: 50%R.H.	"
H	PPF: 300 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Air temp.: photoperiod 28°C, dark period 23°C Relative humidity: 50%R.H.	"
I	PPF: 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Air temp. photoperiod 28°C, dark period 23°C Relative humidity: 50%R.H.	"

## 2. 수박과 박의 육묘 특성

그림 153과 154는 조건 A, B, C 및 조건 G, H, I에서 발아 후 10일째에 측정된 수박과 박의 육묘 특성 가운데 배축길이, 초장, 엽면적 및 SPAD 값을 나타낸 것이다. 그림 153으로부터 PPF가 증가함에 따라 수박묘의 배축길이와 초장은 감소함을 알 수 있다. 한편 DIF가 5°C로 유지될 때 수박묘의 배축길이와 초장은 DIF가 10°C인 경우에 비해서 크게 나타났다. 그러므로 DIF가 커다란 양의 값을 가질수록 플러그묘의 왜화가 분명하게 나타남을 알 수 있다. 이와 같은 결과가 그림 5에 제시한 박의 경우에서도 동일하게 나타났다. 광량이 증가할수록 수박과 박의 엽면적이 감소하는 것으로 나타났다는데, 박의 경우에서 분명하게 나타났다. DIF가 엽면적에 미치는 영향은 그다지 높지 않은 것으로 나타났다. 한편, 광량이 증가함에 따라 수박과 참박의 SPAD 값은

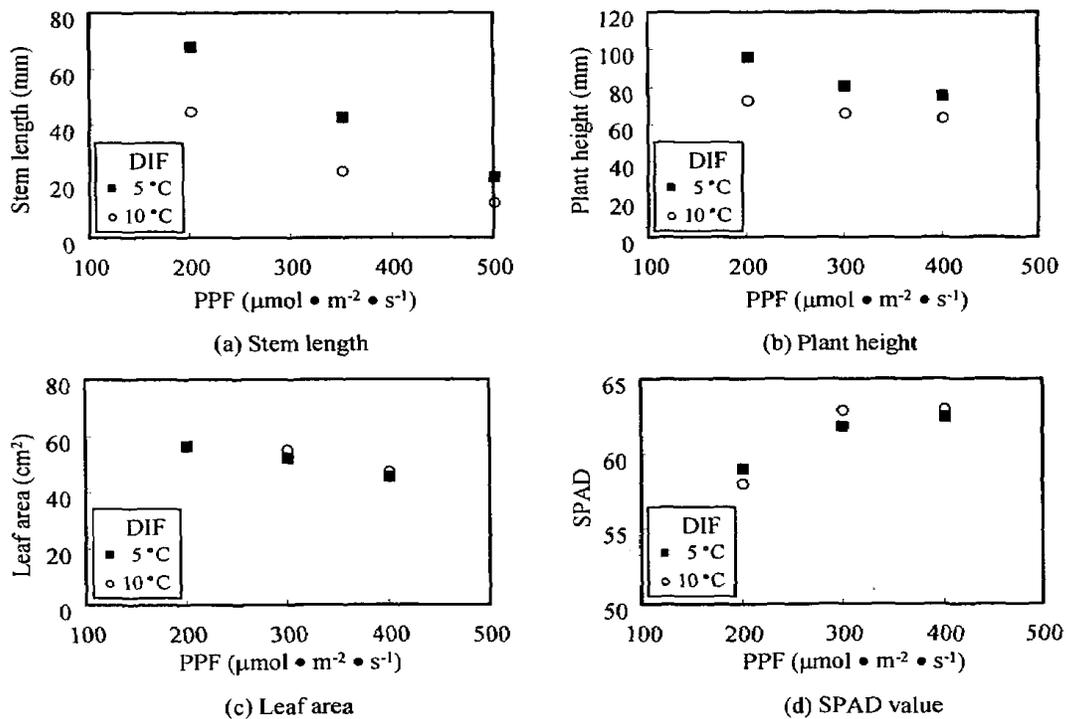


그림 153. 광강도와 DIF에 따른 수박의 육묘 특성

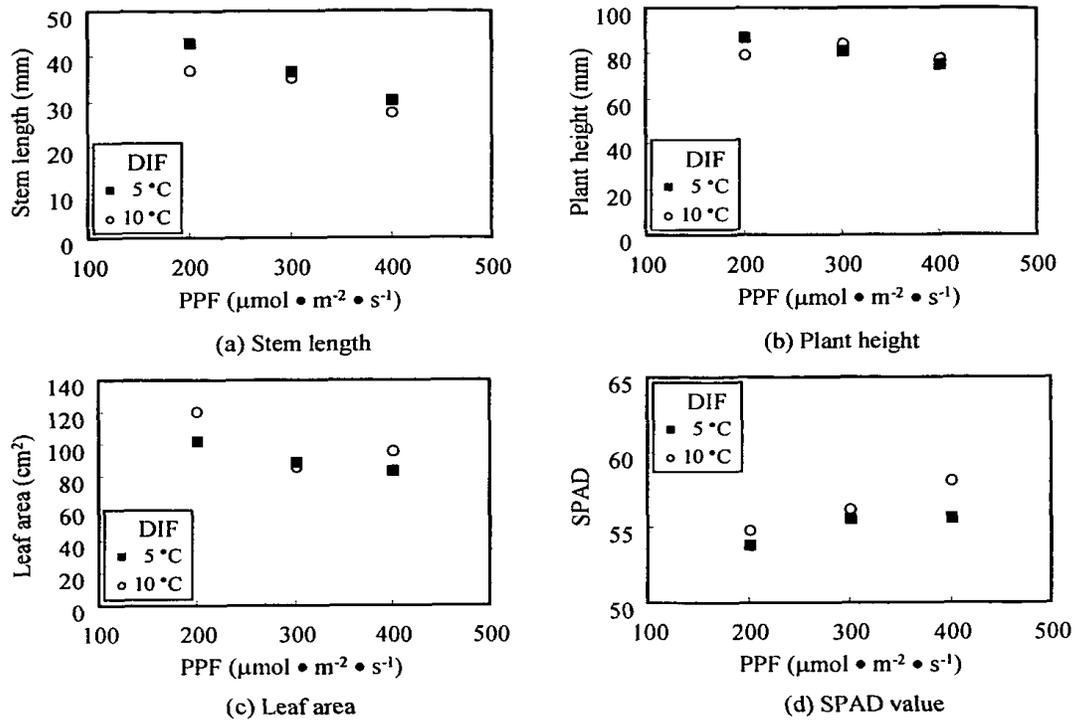


그림 154. 광강도와 DIF에 따른 박의 육묘 특성

증가하였다. 이 가운데 수박묘의 경우 광량이  $400\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에 이르면 엽록소함량이 포화 상태에 이르는 것으로 나타났다. 수박이 박에 비해서 호광성 식물임을 고려할 때 상기 결과에 대한 지속적인 분석이 요구된다. DIF가 SPAD 값에 미치는 영향은 매우 작게 나타났다.

### 3. 인공광하에서 건묘 육묘를 위한 대목의 적정 육묘 조건

상기의 연구 결과를 종합적으로 판단하면 수박과 박의 줄기 신장 제어에 광량과 DIF가 효과적임을 알 수 있다. 본 연구에서 적용된 편엽삼점으로 접목을 실시할 경우 대목의 배축은 4~5cm 정도가 적절한 것으로 판단된다. 그러므로 명기와 암기를 각각 12시간으로 설정하고, 상대습도가 50%를 유지하는 조건에서 적절한 배축길이를 갖는 박의 육묘 조건으로 PPF는  $200\sim 300\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , DIF는  $10^\circ\text{C}$ 가 적당할 것으로 판단된다.

## 제5절 결 론

인공광하에서 묘소질이 우수한 수박과 대목용 박의 적정 육묘조건을 확립하고자 육묘 특성에 미치는 기온, 광합성유효광량자속, 명기와 암기의 기온차(DIF) 및 광주기의 영향을 구명하였다. 이들 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 대목용 박의 육묘 특성에 미치는 광주기의 효과가 광합성유효광량자속에 비해서 높게 나타난 가운데 근활력을 제외한 모든 생장 항목에서 광주기에 따라 고도의 유의차가 인정되었다.
2. 수박과 박의 줄기 신장 제어에 적절한 광량과 DIF의 적용이 효과적인 것으로 나타났다. 본 연구에서 적용된 편엽삽접으로 접목을 실시할 경우 대목의 배측은 4~5cm 정도가 적절하였다. 그러므로 명기와 암기를 각각 12시간으로 설정하고, 상대습도가 50%를 유지하는 조건에서 적절한 배측길이를 갖는 박의 육묘 조건으로 PPF 200~300 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 기온 25~27 $^{\circ}\text{C}$ , DIF 10 $^{\circ}\text{C}$ 가 적당한 것으로 나타났다.

## 제 7 장 접목묘의 정식 후 생육 특성

### 제1절 서 언

본 연구의 최종 목표는 인공광을 이용한 접목묘의 활착촉진장치를 개발하여 묘소질이 우수한 접목묘를 생산하는 데 있다. 아울러 활착 단계에서 광질 처리에 따른 접목묘의 광형태형성 반응을 살펴보고, 광질 처리의 가능성을 탐색하는 데 있다.

제 5장의 광질을 이용한 접목묘의 광형태형성에 관한 연구 결과에서 적색 또는 청색광의 단색광 LED가 접목묘의 활착과 묘소질의 지속성 여부에 유효한 광원으로 제시된 바 있다. 더구나 적색광에 청색광을 보광하면 식물묘의 광합성속도 증가는 물론 광형태형성 반응이 촉진되는 것으로 보고되고 있다.

본 연구에서 접목묘의 활착과 형태형성 반응을 살펴보고자 사용된 형광등과 LED를 인공광원으로 사용하였다. 분광 특성만을 고려한다면 단색광의 특성을 분명하게 갖고 있는 LED가 형광등에 비해서 광질 처리에 효과적이다. 그러나, 현재 국내에서 적색광 LED만이 생산될 뿐 청색, 녹색 및 원적색광 LED의 개발이 이루어지지 않아 수입에 의존하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 적색광의 단색광 형광등에 대한 분광 특성과 광강도를 고려하여 단색광 LED의 대용 가능성을 탐색하고, 접목묘의 활착촉진장치 내의 광원부에 청색과 적색광을 보광할 수 있도록 조명 시스템을 구성하였다. 즉 접목묘의 활착에 주광원으로 사용된 백색 형광등 이외에 청색과 적색 형광등을 설치하여 광질을 개선하였다.

본 연구의 목적은 인공광을 이용한 접목묘 활착촉진장치에서 활착된 접목묘의 정식 후 생육 특성을 살펴보는 데 있다. 또한 청색과 적색 형광등의 보광으로 인하여 개선된 광질 조건하에서 활착된 접목묘의 정식 후 생육 특성을 살펴보는 데 있다.

## 제2절 형광등을 이용한 광원부 개선 및 활착 실험

### 1. 광질 개선용 형광등

활착촉진장치 내 광원부의 광질을 개선하고자 청색 형광등(FL40S-B, 금호전기)과 적색 형광등(FL40S-R, 금호전기)을 다단식 선반의 상부에 4개씩 설치하였다(그림 155). 이 때 플러그트레이 표면에서  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 광합성유효광량자속이 확보되도록 광원과 플러그트레이 사이의 거리를 조절하였다. 그림 155에서 시계 방향으로 배열된 A, B, C, D는 각각 백색광, 적색광, 청색광 및 청색+적색광 처리에 해당한다.

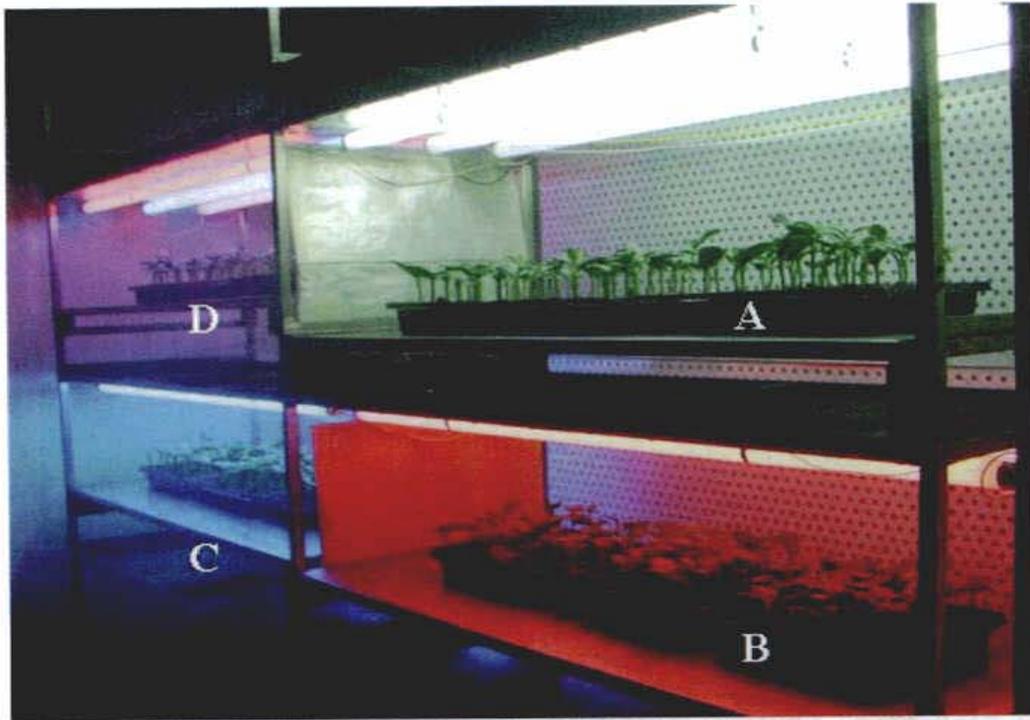
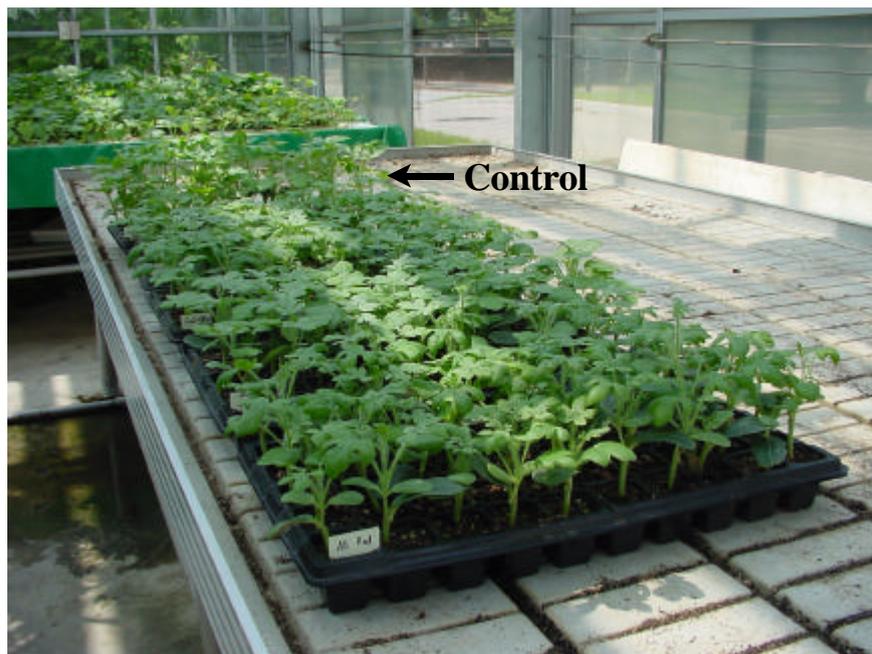


그림 155. 백색, 청색 및 적색 형광등하에서 활착되는 접목묘

### 2. 청색과 적색 형광등하에서 접목묘의 활착 실험

본 실험에 사용된 접목 방법은 편엽삽접으로서, 접수와 대목으로 수박(삼복꿀, 흥농

종묘)과 박(FR 품선, 흥농종묘)을 사용하였다. 접목묘의 활착은 인공광형 활착촉진장치 내에서 이루어졌다. 접목 후 초기 24시간은 암조건을 유지하였으며, 24시간이 경과한 이후부터 명기와 암기를 각각 12시간씩으로 조절하였다. 청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED하에서 5일간 활착된 접목묘는 온실 내로 옮겨져 10일간 경화되었다. 실험기간 동안 활착촉진장치 내의 기온과 상대습도는 각각 27℃, 90%로 조절되었다. 대조구로서 자연광에서 활착된 접목묘를 사용하였다. 그림 156은 광질 처리에 의해서 성묘로 완성된 접목묘를 나타낸다. 자연광에서 활착된 대조구(Control)만이 도장되었을 뿐 청색, 적색, 청색+적색, 백색 형광등하에서 활착된 접목묘의 묘소질은 외관상 모두 균일하게 나타났다.



156. ,

종묘)과 박(FR 흙런, 흥농종묘)을 사용하였다. 접목묘의 활착은 인공광형 활착촉진장치 내에서 이루어졌다. 접목 후 초기 24시간은 암조건을 유지하였으며, 24시간이 경과한 이후부터 명기와 암기를 각각 12시간씩으로 조절하였다. 청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED하에서 5일간 활착된 접목묘는 온실 내로 옮겨져 10일간 경화되었다. 실험기간 동안 활착촉진장치 내의 기온과 상대습도는 각각 27℃, 90%로 조절되었다. 대조구로서 자연광에서 활착된 접목묘를 사용하였다. 그림 156은 광질 처리에 의해서 성묘로 완성된 접목묘를 나타낸다. 자연광에서 활착된 대조구(Control)만이 도장되었을 뿐 청색, 적색, 청색+적색, 백색 형광등하에서 활착된 접목묘의 묘소질은 외관상 모두 균일하게 나타났다.



그림 156. 백색, 청색 및 적색 형광등하에서 성묘로 완성된 접목묘

### 제3절 접목묘의 정식 후 생육 특성

#### 1. 정식 실험과 조사 항목

접목묘의 정식 실험은 전라북도 농업기술원 내의 실험 포장에 위치한 단동 플라스틱 온실 내에서 이루어졌다(그림 157). 정식일은 2001년 8월 6일이며, N-P-K-퇴비를 10a당 20-5.9-12.8-2000kg으로 시비하였다. 정식 후 생육상황에 대한 조사는 8월 20일에 이루어졌으며, 10월 26일의 수확일에 생육과 품질 특성을 조사하였다. 생육과 관련한 주요 조사 항목은 엽장, 엽폭, 엽수, 절간장, 줄기직경, 착과율, 초장, 생체중 등이며 품질 특성 조사 항목은 수량, 당도, 과피 두께, 황대, 공동과 등이다.



157.

### 제3절 접목묘의 정식 후 생육 특성

#### 1. 정식 실험과 조사 항목

접목묘의 정식 실험은 전라북도 농업기술원 내의 실험 포장에 위치한 단동 플라스틱 온실 내에서 이루어졌다(그림 157). 정식일은 2001년 8월 6일이며, N-P-K-퇴비를 10a당 20-5.9-12.8-2000kg으로 시비하였다. 정식 후 생육상황에 대한 조사는 8월 20일에 이루어졌으며, 10월 26일의 수확일에 생육과 품질 특성을 조사하였다. 생육과 관련한 주요 조사 항목은 엽장, 엽폭, 엽수, 절간장, 줄기직경, 착과율, 초장, 생체중 등이며 품질 특성 조사 항목은 수량, 당도, 과피 두께, 황대, 공동과 등이다.



그림 157. 플라스틱 온실 내에서 수박의 정식 실험

## 2. 수박의 생육과 품질 특성

수박의 생육 상황이 표 35에 실려 있다. 엽장은 청색광에서 가장 크게 나타나고, 청색+적색광에서 작게 나타났으나, 처리간의 유의성은 인정되지 않았다. 또한 엽수와 절간장이 청색광에서 가장 크게 나타났으며, 적색광 처리에서 유의성이 인정될 정도로 나타났다. 이밖에, 엽폭과 줄기직경은 처리간의 유의성이 인정되지 않았다. 그러므로 청색광하에서 활착된 접목묘의 초기 생육이 다른 처리에 비해서 양호함을 알 수 있다.

표 35. 수박의 생육 상황

처 리	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (매/주)	절간장 (cm)	줄기직경 (cm)	
					대목	접수
백색광	15.4 <sup>z</sup> ab	13.4 a	44.2 ab	8.5 bc	12.7 a	11.0 a
청색광	17.1 a	14.3 a	50.5 a	10.8 a	13.1 a	10.8 a
적색광	15.1 ab	15.4 a	39.1 b	6.9 c	12.6 a	11.9 a
청+적색광	14.2 b	14.8 a	41.1 ab	9.3 ab	12.7 a	12.1 a
Control	15.3 ab	15.6 a	42.5 ab	8.8 bc	12.6 a	11.7 a

<sup>z</sup>: DMRT 5%

표 36은 수박의 생육 특성을 나타낸 것이다. 착과는 청색과 적색광에서 빨리 이루어졌으며, 백색과 대조구에서 3일 정도 늦게 이루어졌다. 착과율은 적색광에서 가장 높게 나타났으며, 청색광에서 작게 나타났다. 초장은 대조구를 제외한 모든 처리에서 높게 나타나, 인공광하에서 접목묘의 활착이 유리할 것으로 판단된다. 생체중은 적색광에서 가장 크게 나타났으나, 반대로 건물중은 적색광에서 가장 작게 나타나, 적색광하에서 활착된 수박의 수분 함유율이 높은 것으로 판단된다. 청색+적색광에서 건물중이 가장 높게 나타났음을 고려할 때 청색광과 적색광을 조합한 처리에서 광합성이 활발하게 이루어진 것으로 해석된다.

표 36. 수박의 생육 특성

처 리	착과기 (월/일)	착과율 (%)	초장 (cm)		생체중 (g/주)			건물중 (g/주)
			15 <sup>z</sup>	45	엽	근	계	
백색광	9/18	66 a <sup>y</sup>	50.5	500.5 a	751.8	18.2	770 ab	107.3
청색광	9/15	57 a	63.4	489.4 a	877.5	19.5	597 b	97.0
적색광	9/15	67 a	58.2	515.3 a	1031.6	32.4	1064 a	90.9
청+적색광	9/16	61 a	54.6	476.1 a	881.0	29.0	910 ab	115.7
Control	9/18	59 a	52.7	478.3 a	825.7	24.3	850 ab	101.0

<sup>z</sup>: 정식 후 경과 일수

<sup>y</sup>: DMRT 5%

수박의 품질 특성이 표 37에 실려 있다. 과장, 과고, 과중은 모든 처리에서 비슷하게 나타나, 처리간의 유의성이 인정되지 않았다. 전체적으로 과중이 작게 나타났는데, 이같은 결과는 수박 정식과 수확이 각각 8월 6일, 10월 26일에 이루어져 재배기간이 충분하지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 과피 두께는 적색광에서 가장 작고, 청색광에서 높게 나타났다. 적색광, 청색+적색광 처리에서 공동과가 전혀 나타나지 않았다. 또한 황대 발생도 적어, 적색광, 청색+적색광 처리의 상품율이 높게 나타났다. 한편 다른 처리에 비해서 백색광에서 공동과와 황대가 많이 발생하여 기형과율이 높게

표 37. 수박의 품질 특성

처 리	과장 (cm)	과고 (cm)	과중 (kg/개)	과피두께 (mm)	기형과율 (%)		상품율 (%)
					황대	공동과	
백색광	15.7 a <sup>z</sup>	18.8 a	2.2 a	11.9	7.8	11.0	75
청색광	15.5 a	19.2 a	2.6 a	16.2	3.6	3.0	77
적색광	15.3 a	18.1 a	2.3 a	9.5	2.5	-	79
청+적색광	15.9 a	18.9 a	2.5 a	9.8	2.0	-	78
Control	15.3 a	18.2 a	2.3 a	12.0	6.5	10.5	68

<sup>z</sup>: DMRT 5%

나타났으나(그림 158), 유의차가 인정될 정도는 아니었다.

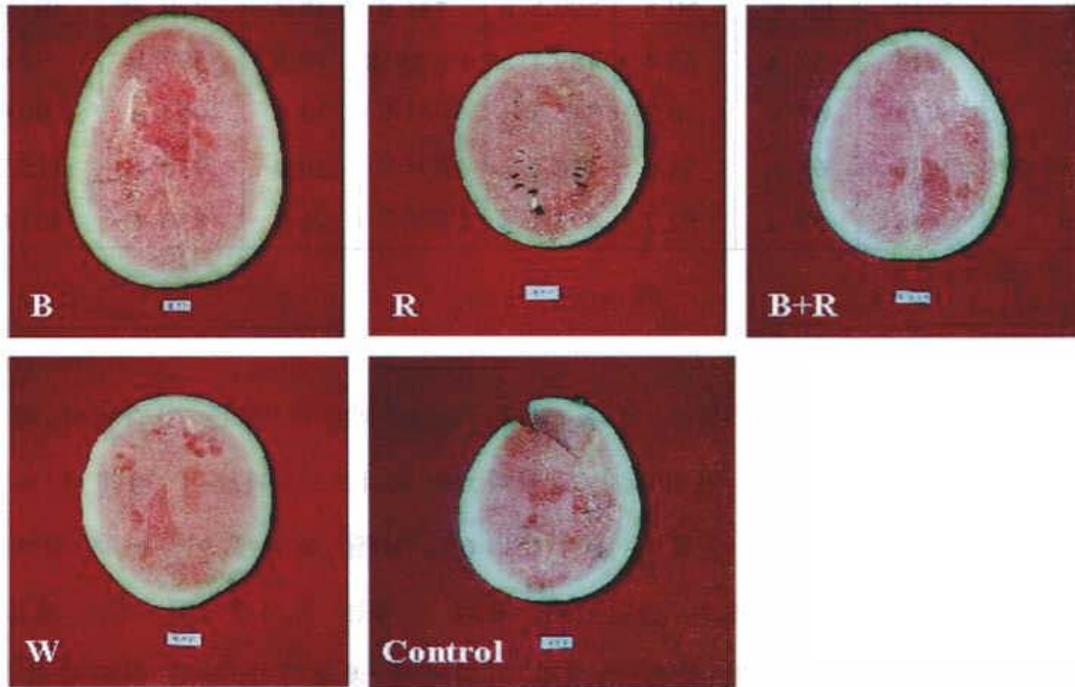


그림 158. 백색, 청색 및 적색 형광등하에서 활착된 수박의 품질 상태  
 청색광(B), 적색광(R), 청색+적색광(B+R), 백색광(W), 자연광(Control)

광질에 따른 수박의 수량 및 당도가 그림 159에 실려 있다. 수량은 청색광에서 1,580kg/10a로서 가장 높게 나타난 가운데 청색광> 청색+적색광 = 적색광> 백색광> 대조구의 순서로서 모든 처리에서의 수량이 대조구에 비해서 높게 나타났다. 당도는 청색광에서 11.8 °Bx로서 가장 높게 나타났으며, 청색+적색구에서도 10.7 °Bx로 대조구에 비해서 높게 나타났다. 한편, 적색광과 백색광에서의 당도는 대조구에 비해서 낮게 나타났다.

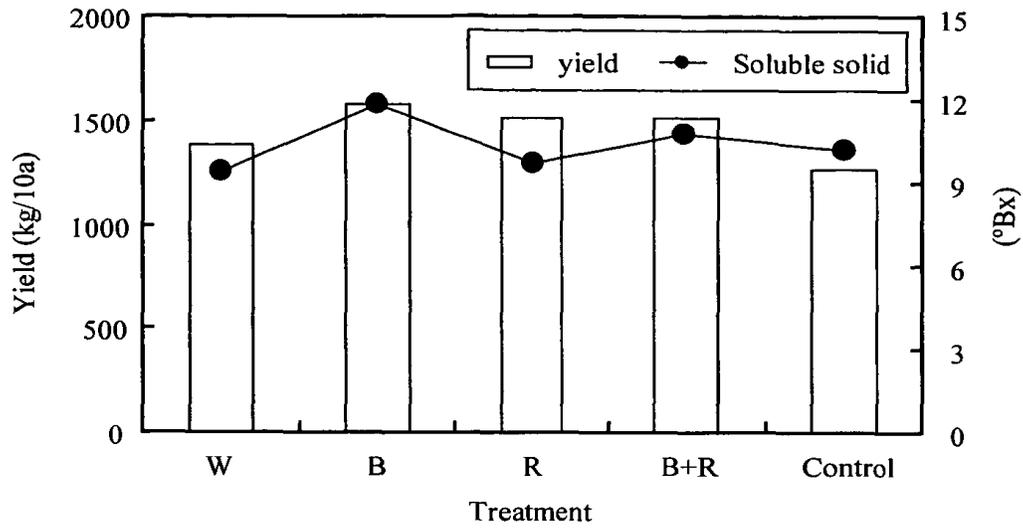


그림 159. 백색, 청색, 적색, 청색+적색광하에서 활착된 수박  
접목묘의 정식 후 수량과 당도

## 제4절 결론

인공광을 이용한 접목묘 활착촉진장치 내에서 묘소질이 우수한 접목묘를 생산하고자 청색과 적색 형광등의 보광으로 인하여 개선된 광질 조건하에서 접목묘를 활착시킨 후 정식 후 생육 특성을 살펴보았다. 이들 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 활착촉진장치 내의 기온, 상대습도, 광합성유효광량자속, 기류속도, 광주기를 각각  $27^{\circ}\text{C}$ , 90%,  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $12\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 조절한 후 청색, 적색, 청색+적색, 백색 형광등하에서 접목묘를 활착시킨 결과 자연광에서 활착된 대조구만이 도장되었을 뿐 청색, 적색, 청색+적색, 백색 형광등하에서 활착된 접목묘의 묘소질은 외관상 모두 균일하게 나타났다.
2. 청색, 적색, 청색+적색, 백색 형광등하에서 활착된 접목묘의 정식 후 생육 특성에서 엽수와 절간장은 청색광에서 유의성이 인정될 정도로 크게 나타났다. 나머지 엽장, 엽폭, 줄기직경, 착과율, 초장 등의 생육 특성과 과장, 과고, 과중의 품질 특성에 대한 광질 처리간의 유의차가 없었다.
3. 적색, 청색+적색 형광등 처리에서 공동과가 전혀 나타나지 않았으며, 황대 발생도 적어, 적색, 청색+적색 형광등 처리의 상품율은 높게 나타났다. 한편 다른 처리에 비해서 백색형광등에서 공동과와 황대가 많이 발생하여 기형과율이 높게 나타났다.
4. 형광등의 광질 처리에 따른 수박의 수량은 청색광에서  $1,580\text{kg}/10\text{a}$ 로서 가장 높게 나타난 가운데 청색광 > 적색+적색광 = 적색광 > 백색광 > 대조구의 순서로서 모든 처리에서의 수량이 대조구에 비해서 높게 나타났다. 당도는 청색광에서  $11.8^{\circ}\text{Bx}$ 로서 가장 높게 나타났으며, 청색+적색구에서도  $10.7^{\circ}\text{Bx}$ 로서 대조구에 비해서 높게 나타났다.

## 제 8 장 종합 결론

접목묘의 수요 증가와 접목 로봇과 같은 자동접목장치의 개발에 따라 대량으로 접목된 접목묘의 안정적인 활착이 요구되고 있다. 즉, 활착 단계에서 접수와 대목의 원활한 결합은 물론 접목묘의 순화를 도모하면서 대량의 접목묘를 안정적으로 생산할 수 있는 방법의 개발이 요구되고 있다. 본 연구는 접목묘의 활착 단계에 요구되는 적정 환경조건을 쉽게 조성하면서 관리 노력을 절감할 수 있도록 인공광을 이용한 접목묘의 활착촉진장치 개발과 묘소질이 우수한 접목묘의 생산을 위해서 광형태형성 반응의 응용 가능성을 탐색하고자 수행되었다. 본 연구의 결과를 “인공광을 이용한 접목묘의 활착촉진장치 개발”과 “광질에 따른 접목묘의 광형태형성 제어 및 생체정보 계측”의 2개의 세부과제별로 구분하여 요약하면 다음과 같다.

### 1. 인공광을 이용한 접목묘의 활착촉진장치 개발

가. 국내 육묘공장의 접목묘 생산 및 활착관리 실태를 조사한 결과 접목이 많이 요구되는 작물과 방법은 수박과 삼접으로 나타났다. 또한 활착 환경의 관리가 대부분 관리자의 경험에 의해서 이루어져 접목묘의 묘소질이 불균일하게 나타났다.

나. 접목묘의 활착을 촉진하고자 폴리우레탄을 단열재로 충전한 강판을 사용하여 내부 크기가 3,300(W) x 2,800(D) x 2,860(H)인 활착촉진장치를 개발하였다. 활착촉진장치 내에 크기가 2,810(W) x 580(D) x 2,050(H)인 4단식 선반을 2조 설치하였는 바, 1회에 6,400~9,000주의 접목묘를 입고할 수 있다.

다. 활착촉진장치 내의 공기 유로에 유공비가 서로 다른 다공철판을 설치하고, PID 제어기와 인버터로서 기류속도, 기온 및 상대습도를 제어한 결과 활착촉진장치

- 내의 기류속도, 기온 및 상대습도 분포가 매우 균일하게 나타났다.
- 라. 접목묘의 활착 촉진에 이용되는 형광등의 분광 특성과 광강도를 분석하였다.
- 마. 초음파식과 전극봉식(증기식) 가습기에서 발생된 가습입자의 평균 입경을 측정  
한 결과 각각  $7.58 \pm 0.14 \mu\text{m}$ ,  $9.01 \pm 0.06 \mu\text{m}$ 로서, 활착촉진장치 내에서 고습도의 균  
일한 분포가 요구되는 점을 고려할 때 가습 방식으로서 평균 입경이 작은 가습  
입자를 발생하는 초음파식이 효과적일 것으로 판단된다.
- 바. 활착촉진장치 내에서 소비된 전력과 전기요금을 분석하였다. 활착촉진장치 내에  
서 소비된 전력의 57%가 가열기에서 이루어져 가장 높게 나타났으며, 컴프레서  
(28%), 조명(11%), 가습기(3%), 송풍기(1%)의 순서로 나타났다. 활착촉진장치에서  
소비된 전력 가운데 공조 시스템, 즉 냉·난방이 차지하는 비중이 전체의 85%로  
서 매우 높게 나타난 바, 활착촉진장치에서 소비전력을 절감하려면 가열기와 컴  
프레서에서 소비되는 전력의 절감 방안이 우선적으로 모색되어야 한다.
- 사. 인공광형 활착촉진장치 내의 기온, 상대습도 및 기류속도를 효과적으로 제어할  
수 있고, 광강도와 광질을 고려하여 인공광원을 선택할 수 있다. 그러므로 본  
연구에서 개발된 활착촉진장치는 인공광을 이용한 육묘실 또는 배양묘의 순화실  
로도 활용할 수 있다.
- 아. 접목묘의 증발산속도에 미치는 물리적 환경요소의 영향을 정량적으로 분석하고  
자 기류속도의 조절이 가능한 풍동을 제작하고, 증발산속도 측정 시스템을 구성  
하였다.
- 자. 접목묘의 증발산속도와 활착율에 미치는 광주기, 기온, 상대습도, 기류속도, 광  
합성유효광량자속의 영향을 분석하였다. 증발산속도와 활착율을 고려할 때 적정  
활착 조건은 기온  $25 \sim 27^\circ\text{C}$ , 상대습도 90%, 기류속도  $0.1 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 광합성유효광량  
자속  $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의, 광주기  $12 \text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 나타났다. 상기 조건에서 접목묘의  
활착율은 90~100%로서 높게 나타나, 활착이 원활하게 이루어짐을 알 수 있다.
- 카. 인공광하에서 5일간 활착된 접목묘의 자연광 조건에서의 순화를 고려하여 접목

초기의 활착 조건, 즉 기온 27℃, 습도 90%, 광합성유효광량자속  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 광 주기  $12\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ , 기류속도  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 활착을 실시한 후 접목 후 3일째부터 상대습도의 계단식 감소(95%→85%)와 광량의 계단식 증가( $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ → $50\sim 75\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )가 건전한 접목묘 생산에 효과적인 것으로 나타났다.

타. 접목묘의 순광합성속도가 접목 초기에는  $42\sim 64\text{mgCO}_2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$  로서 매우 작으나, 활착이 진행되면서 순광합성속도가 증가하였다.  $75\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 광합성유효광량자속에서 순광합성속도는  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 경우에 비해서 평균 26% 높게 나타났다. 이러한 결과는 접목묘의 활착 단계에서도 접목묘의 광합성능력이 광량에 의해서 지배됨을 의미하는 것으로서, 접목 초기에 접목묘로부터의 과도한 증발산을 피할 수 있는 범위 내에서 광량의 증가가 바람직한 것으로 판단된다.

파. 대목용 박의 육묘 특성에 미치는 광주기의 효과가 광합성유효광량자속에 비해서 높게 나타난 가운데 근활력을 제외한 모든 생장 항목에서 광주기에 따라 고도의 유의차가 인정되었다.

하. 수박과 박의 줄기 신장 제어에 적절한 광량과 DIF의 적용이 효과적인 것으로 나타났다. 본 연구에서 적용된 편엽삼점으로 접목을 실시할 경우 대목의 배축은 4~5cm 정도가 적절하였다. 그러므로 명기와 암기를 각각 12시간으로 설정하고, 상대습도가 50%를 유지하는 조건에서 적절한 배축길이를 갖는 대목용 박의 육묘 조건으로 PPF  $200\sim 300\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 기온 25~27℃, DIF 10℃가 적당한 것으로 나타났다.

## 2. 광질에 따른 접목묘의 광형태형성 제어 및 생체정보 계측

가. 청색, 녹색, 적색 및 원적색의 단색광 LED 모듈과 이들을 조합한 조합광 LED 모듈을 제작한 후 분광 특성과 광강도를 분석하였다..

- 나. 접목 후 2일째의 명기에서 증발산속도는 청색 LED > 원적색 LED > 녹색 LED > 적색 LED의 순서로서 각각  $50.5\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $40.7\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $37.6\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $32.15\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 로서 차이가 크게 나타났으나, 시간이 경과할수록 증발산속도에 미치는 광질 처리의 효과가 감소하였다.
- 다. 적색과 녹색광 LED에서 활착된 접목묘의 활착율은 모두 100%이었고, 온실내의 경화 단계에서 생존율은 각각 96%, 88%로서 적색광 LED 처리에서 생존율이 높게 나타났다. 청색광 LED에서 활착된 접목묘의 활착율과 경화 과정에서의 생존율은 각각 96%, 96%로서 적색광 LED의 경우와 거의 유사하게 나타났다. 형광등하에서의 활착율이 90~95%임을 고려할 때 청색과 적색광 LED에서의 활착율은 형광등하에서 활착된 것과 거의 동일한 수준으로 평가된다. 한편 원적색광 LED에서 활착된 경우 접수의 위조 현상이 두드러지게 나타났으며 외관상 묘소질이 저하되는 가운데 활착율은 80%로서 낮게 나타났다.
- 라. 적색광 LED(R), 적색광과 청색광을 4:1의 비율로 혼합한 조합광 LED(RB41), 적색광과 청색광을 3:2의 비율로 혼합한 조합광 LED(RB32), 적색광과 청색광을 2:3의 비율로 혼합한 조합광 LED(RB23), 청색광 LED(B)하에서 활착된 접목묘의 증발산속도를 비교하였다. 활착율은 R, RB32구에서 100%로 나타났고, 나머지 처리에서의 활착율은 92~96%로서 접목묘의 활착 단계에서 적색, 청색의 단색광 LED 뿐 만 아니라 적색광에 청색광을 혼합한 조합광 LED 처리가 효과적인 것으로 나타났다.
- 마. 수박 접목묘의 활착과 경화 특성에 미치는 광질의 효과가 존재하였으며, 광질 처리에 LED의 활용 가능성을 확인하였다. 청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED에서 활착된 접목묘의 묘소질이 경화 단계에서도 일부 지속되는 것으로 판단되는 바, 묘소질의 지속성 여부를 검증하기 위한 인공광원으로서 LED를 유효하게 활용할 수 있다.
- 바. 활착촉진장치 내의 기온, 상대습도, 광합성유효광량자속, 기류속도, 광주기를

각각 27°C, 90%,  $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $0.1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $12\text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 조절한 후 청색, 적색, 청색+적색, 백색 형광등하에서 접목묘를 활착시킨 결과 자연광에서 활착된 대조구만이 도장되었을 뿐 청색, 적색, 청색+적색, 백색 형광등하에서 활착된 접목묘의 묘소질은 외관상 모두 균일하게 나타났다.

사. 청색, 적색, 청색+적색, 백색 형광등하에서 활착된 접목묘의 정식 후 생육 특성에서 엽수와 절간장은 청색광에서 유의성이 인정될 정도로 크게 나타났다. 나머지 엽장, 엽폭, 줄기직경, 착과율, 초장 등의 생육 특성과 과장, 과고, 과중의 품질 특성에 대한 광질 처리간의 유의차가 없었다.

아. 적색, 청색+적색 형광등 처리에서 공동과가 전혀 나타나지 않았으며, 황대 발생도 적어, 적색, 청색+적색 형광등 처리의 상품율은 높게 나타났다. 한편 다른 처리에 비해서 백색형광등에서 공동과와 황대가 많이 발생하여 기형과율이 높게 나타났다.

자. 형광등의 광질 처리에 따른 수박의 수량은 청색광에서 1,580kg/10a로서 가장 높게 나타난 가운데 청색광 > 청색+적색광 = 적색광 > 백색광 > 대조구의 순서로서 모든 처리에서의 수량이 대조구에 비해서 높게 나타났다. 당도는 청색광에서 11.8 °Bx로서 가장 높게 나타났으며, 청색+적색구에서도 10.7 °Bx로서 대조구에 비해서 높게 나타났다.

카. 컴퓨터 영상처리 시스템으로 대목과 접수의 결합 부위에 대한 2차원 영상을 획득한 후 통도조직에 대한 3차원 가시화를 시도하였다. 3차원 가시화로 말미암아 임의의 각도에서 결합 과정에 대한 가시적 이해가 가능하였으며, 접목 후 경과된 일수와 접목 방법(편엽삽접, 합접, 호접)에 따른 통도조직의 결합 상태를 확인하였다.

타. 서로 다른 환경하에서 활착된 접목묘의 결합 부위에 대한 온도 변화와 결합 상태를 비파괴적으로 해석하고자 열화상과 디지털 영상처리 장치를 사용하였다. 접목 초기에 대목과 접수의 결합부위에 해당하는 식물체 온도가 줄기부분의 온

도에 비해서 0.1~4.2℃정도 낮게 나타났으며, 활착이 진행되면서 결합부위와 줄기부분의 온도차가 감소하였다.

파. 접목 방법에 따른 수박 접목묘의 인장, 압축 및 전단 강도 등의 기계적 특성을 분석하였다. 접목후 5일간 활착된 접목묘의 인장강도는 편엽삼접, 호접 및 삼접에서 각각 434.3kPa, 345.6kPa, 129.9kPa로서 편엽삼접의 경우 호접 또는 삼접에 비해서 각각 1.3배, 3.3배 크게 나타났다. 압축강도는 호접> 삼접> 편엽삼접의 순서로서 각각 214.5kPa, 211.8kPa, 130.2kPa로 나타났다. 전단강도는 편엽삼접> 호접> 삼접의 순서로서 각각 683.6kPa, 447.3kPa, 439.5kPa로 나타났다. 상기의 결과를 고려할 때 본 연구에서 적용된 편엽삼접 접목묘의 인장강도와 전단강도가 가장 높게 나타나, 건묘 생산에 편엽삼접의 적용이 유리할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 김광용, 이지원. 2000. 한국의 채소 플러그묘 생산 현황과 과제. 한국시설원예연구회 제13회 세미나 pp.3-26.
2. 김용현, 이종호. 1998. 식물묘공장의 근접조명용 인공광원으로서 형광등의 광강도 및 분광특성. 한국농업기계학회지 23(6):591-598.
3. 김용현, 古在豊樹. 1996a. 인공광하의 공정육묘용 풍동 설계 및 공정묘 개체군상의 공기역학적 특성. 한국농업기계학회지 21(4):429-435.
4. 김용현, 古在豊樹. 1996b. 인공광하에서 공정묘 개체군상의 공기역학적 저항 및 확산계수. 한국생물생산시설환경학회지 5(2):152-159.
5. 김용현, 古在豊樹. 1996c. 기류속도가 인공광하에서 공정육묘 개체군의 미기상에 미치는 영향. 한국생물생산시설환경학회지 5(2):160-166.
6. Brown, C.S., A.C. Schuerger and J.C. Sager. 1995. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120(5):808-813.
7. Ceccardi, T.L., R.L. Heath and I.P. Ting. 1995. Low-temperature exotherm measurement using infrared thermography. Hortscience 30(1):140-142.
8. Inoue, Y. 1986. Remote monitoring of function and state of crop community. Japanese J. of Crop Science 55(2):261-268.
9. Hashimoto, Y., T. Ino, P.J. Kramer, A.W. Naylor and B.R. Strain. 1984. Dynamic analysis of water stress of sunflower leaves by means of a thermal image processing system. Plant Physiology 76:266-269.
10. Fujiwara, K. and T. Kozai. 1995. Physical microenvironment and its effects. In:Aitken-Christie, J., T. Kozai and M.A.L. Smith (eds.) Automation and environmental

control in plant tissue culture. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp.342-350.

11. Hart, J.W. 1988. Light and plant growth. Unwin Hyman Ltd., London, pp.5-9.

12. Kozai, T., C. Kubota, C. Chun, K. Ohyama and F. Afreen. 2000. Necessity and concept of the closed transplant production system. International Symposium on Transplant Production in Closed System for Solving the Global Issues on Environmental Conservation, Food, Resources and Energy. Feb. 28 - Mar. 3, 2000, Chiba University, Japan.

13. Nobuoka, T., M. Oda, and H. Sasaki. 1996. Effects of relative humidity, light intensity and leaf temperature on transpiration of tomato scions. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 64(4):859-865.

14. Nobuoka, T., M. Oda, and H. Sasaki. 1997. Effects of wind and vapor pressure deficit on transpiration of tomato scions. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 66(1):105-112.

15. Oda, M. 1995. New grafting methods for fruit-bearing vegetables in Japan. JARQ 29:187-194.

16. Okamoto, K., T. Yanagi, S. Takita, M. Tanaka, T. Higuchi, Y. Uchida and H. Watanabe. 1996. Development of plant growth apparatus using blue and red LED as artificial light source. Acta Horticulturae 440:111-116.

17. Senger, S. 1999. Visualizing and segmenting large volumetric data sets. IEEE Computer Graphics and Applications 19:32-37.

18. Traina, A.J., A.H.M. Prado and J.M. Bueno. 1997. 3D reconstruction of magnetic resonance imaging using largely spaced slices. 10th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems pp.114-119.

19. Yanagi, T, K. Okamoto and S. Takita. 1996. Effects of blue, red, and blue/red lights of two different PPF levels on growth and morphogenesis of lettuce plants. Acta Horticulturae 440:117-122.

20. 西浦芳史, 穂波信雄. 1997. 接ぎ木苗の順化環境制御に関する基礎的研究 - 高湿度環境下における接ぎ木苗の光合成計測 -. 第2會 計測制御概要.
21. 相賀一郎, 村上克介, 崔海信, 清田 信. 1994. 光に對する植物の生理, 生態反應. SHITA REPORT No. 8:24-34.
22. 渡部一郎, 板木利隆. 1990. 電氣利用による野菜の育苗と栽培. 社團法人 農業電化協會 pp.116-137.
23. 矢吹萬壽. 1985. 植物の動的環境. 朝倉書店, pp.30-35.