

인공광을 이용한 접목묘 활착촉진 시스템의 시작품 설계  
- 활착촉진 시스템 내의 기온과 상대습도 분포에 미치는  
기류속도의 효과 -

Design of a Prototype System for Graft-Taking Enhancement  
of Grafted Seedlings Using Artificial Lighting

- Effect of air current speed on the distribution of air temperature  
and relative humidity in a graft-taking enhancement system -

김 용 현

정회원

Y. H. Kim

**SUMMARY**

Grafting of fruit-bearing vegetables has been widely used to increase the resistance to soil-borne diseases, to increase the tolerance to low temperature or to soil salinity, to increase the plant vigor, and to extend the duration of economic harvest time. After grafting, it is important to control the environment around grafted seedlings for the robust joining of a scion and rootstock. Usually the shading materials and plastic films are used to keep the high relative humidity and low light intensity in greenhouse or tunnel. It is quite difficult to optimally control the environment for healing and acclimation of grafted seedlings under natural light. So the farmers or growers rely on their experience for the production of grafted seedlings with high quality. If artificial light is used as a lighting source for graft-taking of grafted seedlings, the light intensity and photoperiod can be easily controlled.

The purpose of this study was to develop a prototype system for the graft-taking enhancement of grafted seedlings using artificial lighting and to investigate the effect of air current speed on the distribution of air temperature and relative humidity in a graft-taking enhancement system. A prototype graft-taking system was consisted by polyurethane panels, air-conditioning unit, system controller and lighting unit. Three band fluorescent lamps (FL20SEX-D/18, Kumho Electric, Inc.) were used as a lighting source. Anemometer (Climomaster 6521, KANOMAX), T-type thermocouples and humidity sensors (CHS-UPS, TDK) were used to measure the air current speed, air temperature and relative humidity in a graft-taking system.

---

This study was conducted by the research fund supported by MAF-SGRP (Ministry of Agriculture & Forestry-Special Grants Research Program) in Korea and article was submitted for publication in March 2000; reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in June 2000.

The corresponding author is Y. H. Kim, Associate Professor, Division of Bioresource Systems Engineering, Chonbuk National University (Institute of Agricultural Science and Technology), Chonju, 561-756, Korea.

e-mail : yhkim@moak.chonbuk.ac.kr

In this system, air flow acted as a driving force for the diffusion of heat and water vapor. Air current speed, air temperature and relative humidity controlled by a programmable logic controller (UP750, Yokogawa Electric Co.) and an inverter (MOSCON-G3, SAMSUNG) had an even distribution. Distribution of air temperature and relative humidity in a graft-taking enhancement system was fairly affected by air current speed. Air current speed higher than 0.1m/s was required to obtain the even distribution of environmental factors in this system. At low air current speed of 0.1m/s, the evapotranspiration rate of grafted seedlings would be suppressed and thus graft-taking would be enhanced. This system could be used to investigate the effects of air temperature, relative humidity, air current speed and light intensity on the evapotranspiration rate of grafted seedlings.

**주요용어(Key Words) :** 활착촉진 시스템(Graft-taking enhancement system), 인공광(Artificial lighting), 기류(Air flow), 접목묘(Grafted seedlings), 환경제어(Environment control)

## 1. 서 론

과채류 재배에서 접목은 연작장해를 방지하고, 耐病性 또는 耐暑性을 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, 활접, 편접 등 여러 가지 접목방법이 사용되고 있다(渡部와 板木, 1990; Oda, 1995).

수박, 토마토 등에 적용되는 편접 또는 삼접의 경우 접수의 끝 부분이 절단된 상태에서 접목이 이루어지므로 활착 초기 단계에서 상대습도를 높게 유지한 후 점차 상대습도를 낮추어야 활착율이 증대될 것이다 그런데 현재 접목묘를 생산하는 농가 또는 육묘공장에서는 정확한 습도 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 제어가 불가능하다. 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. 더구나 인공광을 이용하면 광강도, 광주기, 광질 등의 조절이 용이하다. 접목묘의 활착이 진행됨에 따라 활착 환경이 다르게 요구되므로, 접목묘의 활착율을 증대시키려면 광, 기온, 상대습도 및 기류속도 등의 제어가 가능한 활착촉진 시스템(이하 "활착시스템"이라 칭함)을 이용하는 것이 바람직하나, 이에 대한 연구는 전무한 실정이다.

식물 주위의 기류속도가 증가하면 엽면에 형성

되는 경계층 두께가 감소하면서 대기의 확산저항이 감소된다. 이로 인하여 대기중의 CO<sub>2</sub> 확산이 용이하게 이루어지면서 식물의 광합성속도 또는 증산속도가 증가한다(矢吹, 1985). Yabuki and Miyagawa(1970)은 기류속도와 광합성속도의 관계가 식물의 재배조건 또는 상대습도에 따라 다르게 나타나며, 상대습도가 높게 유지될수록 오이의 광합성속도를 최대로 하는 적정 기류속도가 증가함을 보고하였다. 즉 상대습도가 65%일 때 오이의 광합성속도를 최대로 하는 기류속도는 0.5~0.8m/s, 상대습도가 80%일 때 광합성속도를 최대로 하는 기류속도는 1.0~1.5m/s로 제시하였다. 한편 인공광하에서 가지 플러그묘의 최대 순광합성속도는 0.7~0.9m/s로 나타났다(Kim, 1998; Kim and Song, 1999). 그런데 접목묘의 경우 접목 초기에 기류속도를 증가시키면 증발산속도가 증가하여 접수와 대목의 결합이 제대로 이루어지지 않는다. 그러므로 접목 초기에 접목묘의 활착을 촉진시키려면 증발산을 억제하기 위해서 기류속도를 낮추고, 상대습도를 90% 이상으로 높게 유지하여야 한다(Kim, 2000).

기존의 식물 성장상(growth chamber)은 기온 또는 상대습도가 특정 범위에서 어느 정도 정확성을 유지하나, 습도가 높게 유지되어야 하는 조건에서는 정확한 제어가 이루어지지 않고 있다. 또한 성장상 내의 수평 또는 수직방향으로 기온, 상대습도 등의 편차가 높게 나타나는 데, 이러한 문제점은 대형 성장장에서 심각하게 나타나고 있다. 이러한 이유로써 온도와 습도 등의 환경 제어를 실시할 때 이들의 분포에 커다란 영향을 미치는 기류 처리의 미흡, 제어 시스템의 성능 부족, 정확성이 우수한 센서의 미확보 등이 제기될 수 있다. 특히 습도센서의 경우 90% 이하의 상대습도 범위

에서는 비교적 정확성을 유지하나, 90% 이상의 고습도 환경하에서는 정확성이 급격하게 저하되거나 재현성이 저하되는 문제점이 나타나기 쉽다.

생장상 또는 활착촉진 시스템 내에서 기온과 상대습도가 균일하게 분포하려면 열과 수증기의 확산이 제대로 이루어져야 한다. 기류는 열과 수증기를 확산시키는 데 있어서 유효한 수단으로 이용된다. 접목묘의 활착 촉진과 증발산속도에 미치는 기온, 상대습도, 기류속도, 광 등과 같은 환경요소의 영향을 구명하고자 시도된 본 연구의 구체적인 목적은 인공광을 이용한 접목묘 활착시스템의 시작품 설계 가운데 프로그래머블 컨트롤러와 인버터를 이용하여 활착시스템 내의 기류속도를 제어하고, 또한 기류속도의 제어가 활착시스템 내의 기온 및 상대습도 분포에 미치는 영향을 구명하는데 있다.

계 대상으로 공기조화부, 제어부, 광원부 및 접목묘의 입고 능력 등을 들 수 있다. 표 1은 접목묘 활착시스템의 기본 설계조건을 나타낸 것이다. 활착시스템의 내부 크기는 3.3m(W) × 2.8m(D) × 2.8m(H)이다. 시스템 내부에 다단 선반이 설치되어 있으므로 사용된 플러그트레이의 개수와 구멍수에 따라 차이가 있으나, 활착시스템 내에 동시에 입고 가능한 접목묘는 최대 25,000본 정도이다. 본 연구에서 설계 및 제작된 대형 활착시스템의 공기조화부로서 용량이 각각 3kw, 5kw인 가열기와 공기압축기를 사용하였고, 가습기로서는 2ℓ/hr의 최대 가습능력을 지닌 초음파가습기를 설치하였다. 한편 활착시스템에서의 광량과 광질은 사용하고자 하는 임의의 광원에 대한 광합성유효광량 자속밀도와 광질 분석에 대한 결과(Kim and Lee, 1998)를 고려하여 선택하도록 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 인공광형 접목묘 활착시스템의 설계 및 제작

#### (1) 접목묘의 활착시스템

인공광을 이용한 접목묘 활착시스템의 주요 설

#### (2) 프로그래머블 컨트롤러와 인버터를 이용한 활착시스템 내의 기류속도, 기온 및 상대습도 제어

기존의 생장상에서는 실내의 기류속도 제어가 불가능할 뿐만 아니라 상하층간의 기온 및 상대습도 분포가 불균일하게 나타나는 단점을 지니고 있다. 그러므로 본 연구에서는 대형 활착시스템 내

Table 1 Specifications of graft-taking enhancement room for grafted seedlings

Item	Specifications
Power	3 phase, 220V
Size	In ; 3300(W) × 2800(D) × 2800(H) Out ; 3500(W) × 3000(D) × 3000(H)
Panel	Polyurethane 100mm thick
Heater	3 kw
Compressor	5 kw
Humidifier	Ultrasonic type, 2 ℓ /hr
Light source	Fluorescent 18W(FL20SEX-D/18, Kumho Electric, Inc.)
Fan	Diameter ; 300 mm Air flow rate ; 20 m <sup>3</sup> /min × 2 unit
Inverter	MOSCON-G3(SAMSUNG) Input ; AC 3PH 200~230V/60Hz Output ; AC 3PH 0~230V 2.1kVA 5.4A
Controller	UP750(Yokogawa Electric Co.)

의 기온, 상대습도, 기류속도, 팽주기의 제어는 물론 기온, 상대습도 분포의 균일성을 확보하고자 touch screen 방식의 프로그래머블 컨트롤러 (UP750, Yokogawa Electric Co.)와 가변전압 가변주파수(variable voltage variable frequency, VVVF) 방식의 인버터(MOSCON-G3, SAMSUNG)를 사용하였다. 프로그래머블 컨트롤러에서 기온과 상대습도는 비례미적분 방식으로 제어되며, 이 경우 최적의 비례미적분 상수는 오토튜닝(auto tuning)에 의해서 자동으로 결정된다.

나. 측정 항목 및 방법

(1) 기류속도

활착시스템 내부의 기류속도를 일정한 크기로 유지하고자 인버터를 사용하여 송풍기의 회전속도를 제어하였다. 송풍기의 회전속도를 제어하는 데 요구되는 4~20mA의 전류는 인버터에 연결된 프로그래머블 컨트롤러의 프로그램 설정 화면을 통하여 입력된다. 즉 입력전류의 최저치인 4mA로부터 입력전류의 최대치인 20mA까지 1mA 씩 증가시켜 가면서 송풍기의 회전속도를 제어하는 가운데 활착시스템 내의 좌우 벽면으로부터 0.4m 떨어진 지점 및 중앙의 3개 부위와 각 부위의 수직방향으로 3점(활착시스템 바닥으로부터 각각 0.4m, 1.1m, 1.8m에 해당되는 높이), 즉 전부 9개 지점에서 기류속도를 측정하였다. 기류속도를 측정할 때 저속 정밀 측정용 풍속계(Climomaster 6521, KANOMAX)를 사용하였다.

(2) 기온 및 상대습도 제어

일반적으로 활착시스템 내부에서 나타나는 기온 또는 상대습도의 측정 위치에 따른 편차는 기류속도의 크기에 따라 다르게 나타날 수 있다. 본 연구에서는 기류속도 제어 방법에 기초하여 기류속도의 크기가 활착시스템 내부의 기온 및 상대습도 분포에 미치는 영향을 살펴보았다.

활착시스템 내에서 기온의 측정 높이는 기류속도의 측정 높이(활착시스템의 바닥으로부터 각각 0.4m, 1.1m, 1.8m에 해당되는 높이)와 동일하나, 기온측정용 센서는 활착시스템 내의 4벽면 근처 및 중앙의 5개 부위에 설치하였다. 그러므로 기온측정용 센서는 전부 15개 지점에 설치되었다. 기온측정용 센서로서 직경 0.3mm의 T-type 열전대를 사용하였으며, hybrid recorder를 사용하여 1시간

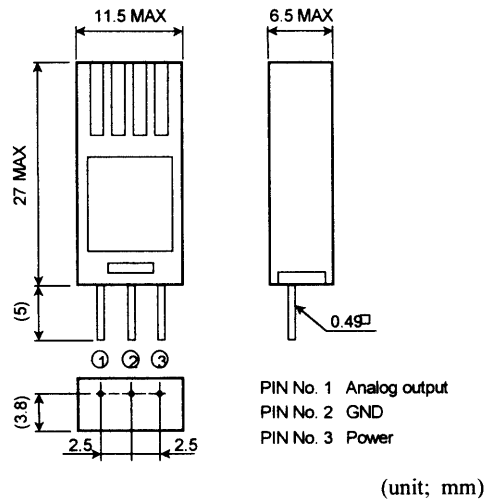


Fig. 1 Schematic diagram of humidity sensor used in this experiment.

간격으로 측정하였다. 활착시스템 내의 상대습도는 그림 1과 같은 외형으로 90% 이상의 고습도 환경하에서도 정확성과 재현성을 높게 유지하면서 직선성이 매우 우수한 유기고분자 박막 임피던스 변화 검출 방식의 습도센서(CHS-UPS, TDK)를 사용하여 측정하였다.

한편, 습도센서의 교정을 위해서 포화염 용액법을 적용하였다. 즉 기지의 상대습도와 습도센서로부터의 출력과의 회귀식을 결정하기 위해서 MgCl<sub>2</sub>, NaCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 증류수에 포화 상태로 용해시켜 각각 33%, 75%, 95%의 상대습도 환경을 조성하였다. 교정이 완료된 습도센서 4개를 활착시스템 내에 설치하여 활착시스템 내의 상대습도 분포 및 기류속도가 상대습도 분포에 미치는 영향을 검토하였다. 습도센서는 활착시스템 중앙의 바닥면으로부터 각각 0.4m, 1.1m, 1.8m 떨어진 지점에 1개씩 설치하였다. 센서로부터의 출력은 퍼스널컴퓨터에 장착된 A/D 변환기를 거쳐 플로피디스크에 저장하였다. 그림 2는 활착시스템 내의 기류속도, 기온 및 상대습도의 측정 위치를 나타낸 것이다. 기류속도의 제어에 따른 기온과 상대습도는 기류속도 변화 후 30분이 경과된 시점, 즉 기온과 상대습도의 설정치에 도달한 시점에서 측정하였다.

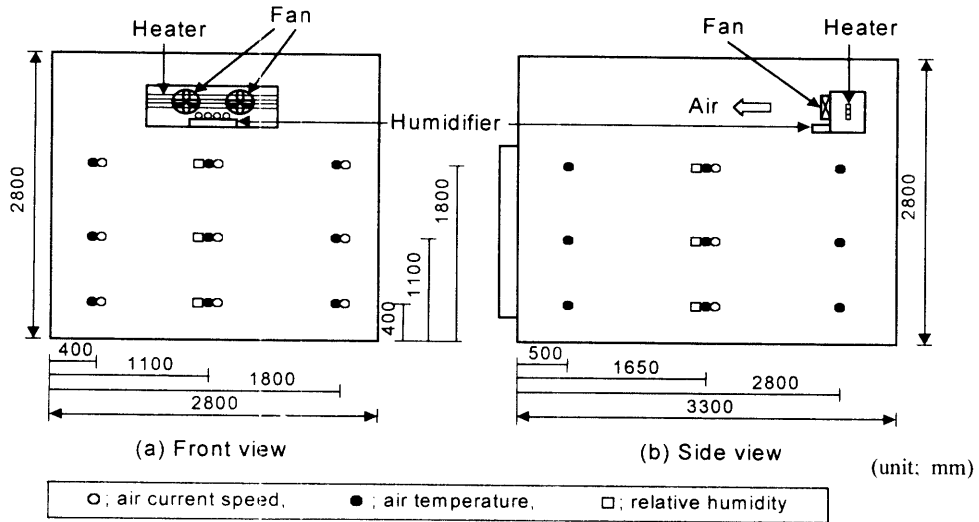


Fig. 2 Measuring points for air current speed, air temperature and relative humidity in a graft-taking enhancement system.

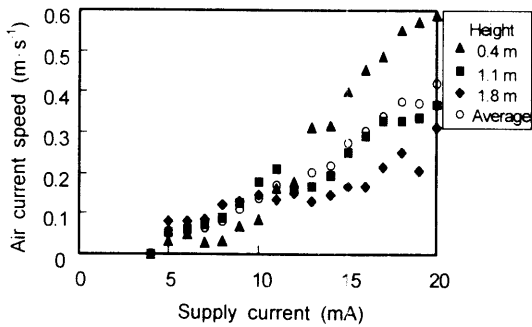


Fig. 3 Relationship between current supplied to inverter and air current speed.

력전류의 증가에 따라 활착시스템 내의 기류속도가 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 인버터에 의한 송풍기의 회전속도 제어에 의해서 활착시스템 내의 기류속도가 균일하게 유지될 수 있음을 의미하는 것이다. 높이에 따른 기류속도를 살펴보면 입력전류가 10mA 이하에서는 기류속도의 차이가 거의 없었으나, 10mA 이상에서는 활착시스템의 바닥면을 향할수록 기류속도가 높게 나타났다. 또한, 1.1m에서의 기류속도는 높이별 기류속도의 평균치와 거의 유사하게 나타났다. 이밖에 0.1m/s 정도의 낮은 기류속도를 나타내는 데 필요한 입력전류는 8~9mA로 나타났다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 활착시스템 내의 기류속도

그림 3은 인버터의 입력 전류 변화와 활착시스템내의 기류속도와와의 관계를 나타낸 것이다. 기류속도는 활착시스템의 바닥으로부터 각각 0.4m, 1.1m, 1.8m 떨어진 지점에서 측정된 것으로서, 1개 지점에서의 기류속도는 30초 동안 측정된 값의 평균치에 해당한다. 그림 3에서 인버터에 공급된 입

#### 나. 활착시스템 내의 기온 및 상대습도 제어 특성

##### (1) 기온 제어

그림 4는 활착시스템 내의 상대습도를 65%로 유지시킨 가운데 인버터의 입력전류를 4mA, 8mA, 12mA, 16mA 및 20mA로 설정한 조건에서 측정된 활착시스템 내의 기온 분포를 나타낸 것이다. 상기의 입력전류에 따른 활착시스템 내의 평균 기류속도는 각각 0m/s, 0.08m/s, 0.16m/s, 0.30m/s 및 0.42m/s에 해당한다. 그림 4에 표시된 기온은 활착시스템의 바닥면으로부터 0.4m, 1.1m, 1.8m 떨어진 높이의 서로 다른 위치에서 측정된 5개 지점에

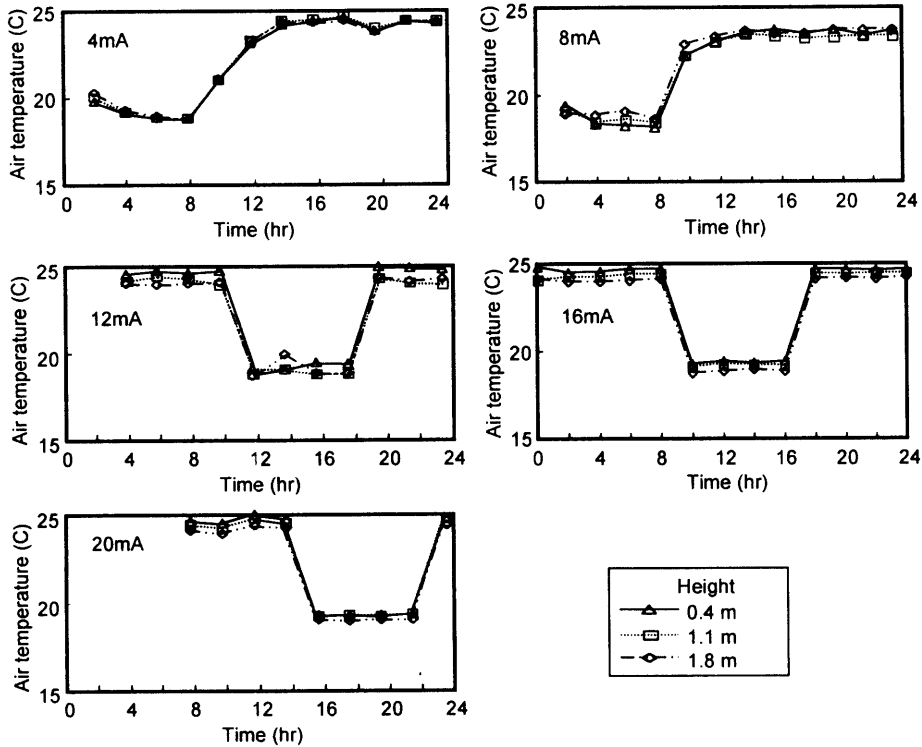


Fig. 4 Variation of air temperature at different current supplied to inverter.

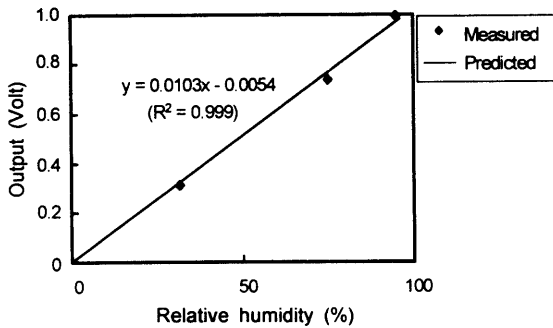


Fig. 5 Regressional relationship between the output from humidity sensor and relative humidity.

서의 기온 평균치에 해당된다. 인공광원의 광주기는 24시간으로서 명기와 암기는 각각 16시간, 8시간이었다. 기온의 설정치는 명기와 암기에서 각각 25°C, 20°C이다. 그럼으로부터 활착시스템 내의 기온 분포가 인버터로 공급되는 입력전류의 세기,

즉 기류속도에 따라 다르게 나타남을 알 수 있다. 입력전류가 4mA, 즉 송풍기가 구동되지 않는 조건에서는 활착시스템 내에서 기류의 이동이 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. 그런데 입력전류가 8mA일 때, 즉 활착시스템 내의 기류속도가 0.08m/s를 나타내는 조건에서 기온의 측정치는 설정치에 근사하게 나타났으며, 입력전류가 증가할수록 높이에 따른 기온의 편차는 더욱 감소하는 것으로 나타났다. 즉 활착시스템 내의 기류속도를 조절한 경우 조절하지 않은 경우에 비하여 균일한 기온 분포가 얻어짐을 알 수 있다. 한편, 암기의 측정치는 입력전류의 크기에 따른 영향을 명기에 비해서 적게 받는 가운데 거의 균일하게 나타났다.

(2) 상대습도 제어

그림 5는 상대습도 계측에 사용된 센서를 대상으로 센서로부터의 출력과 실제 상대습도와와의 회

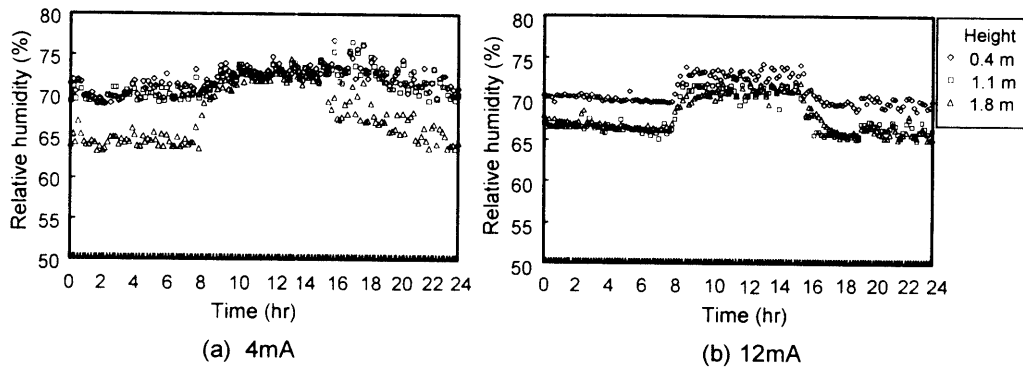


Fig. 6 Variation of relative humidity at different current supplied to inverter.

귀관계를 나타낸 것이다. 그림으로부터 센서의 출력과 상대습도 사이에 직선성이 매우 높음을 알 수 있다.

그림 6은 활착시스템 내의 기온과 상대습도의 설정치가 각각 28℃, 65%이고, 명기와 암기가 각각 16시간, 8시간이며 inverter의 입력전류가 4mA와 12mA 일 때 측정 높이에 따른 상대습도 분포를 나타낸 것이다. 기온 분포에서와 마찬가지로 인버터로 공급되는 입력전류의 크기, 즉 기류속도에 따라 상대습도의 분포가 다르게 나타났다.

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 활착시스템 내의 평균 기류속도가 0.16m/s일 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.

전체적으로 12mA의 입력전류에서 명기 또는 암기에 모두 일정한 상대습도가 나타났다. 그러므로 일정한 상대습도의 유지를 위해서 최소한의 기류속도가 요구됨을 알 수 있다. 한편, 암기에는 높이에 따른 상대습도의 편차가 명기에 비해서 크게 감소하였는데, 이러한 결과는 활착시스템 내의 기류가 존재하는 조건에서 더욱 분명하게 나타났다. Kim(2000)의 연구 결과에 의하면 접목묘의 활착을 촉진하기 위하여 접목 후 초기 1~2일에 접목묘로부터의 증발산 억제에 요구된다. 접목묘의 증발산을 억제하기 위한 수단으로서 기류속도를

작게 하거나 상대습도를 높게 유지하여 포차를 작게 하는 방안 등이 고려될 수 있다. 때문에 접목묘의 활착을 촉진하려면 활착시스템 내의 기류속도는 가능한 작게 하는 것이 바람직하다. 본 연구에서 활착시스템 내의 기온과 상대습도의 균일한 분포를 위한 기류속도의 최저치가 0.1m/s로 제시되었다. 이와 같은 기류속도는 접목 초기에 접목묘로부터의 증발산속도를 작게 하면서 활착을 촉진하는 데 기여할 것으로 판단된다.

#### 4. 요약 및 결론

접목묘의 활착촉진 또는 증발산속도에 미치는 기온, 상대습도, 기류속도, 광 등과 같은 환경요소의 영향을 구명하고자 인공광을 이용한 접목묘 활착시스템의 시각품을 설계 및 제작하였다. 활착시스템 내에서 열과 수증기의 확산에 기류가 유효한바, 기류속도의 제어를 통해서 활착시스템 내의 기온과 상대습도 분포에 미치는 기류속도의 영향을 구명하였다. 본 연구에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 프로그래머블 컨트롤러와 인버터를 이용하여 활착시스템 내의 기류속도를 제어한 바, 효과적인 제어가 가능하였다.
- 2) 기류속도를 제어하면서 기온 및 상대습도 분포에 미치는 기류속도의 영향을 구명하였는데, 기류속도가 증가할수록 기온과 상대습도의 분포가 더욱 균일하게 나타났다.
- 3) 본 연구에서 개발된 활착시스템 내에서 기온과 상대습도의 균일한 분포를 얻을 수 있는 최소한의 기류속도는 0.1m/s 이상인 것으로 나타났다.

4) 본 연구에서 개발된 활착시스템은 기본적으로 인공광하에서 접목묘의 활착을 촉진시키기 위한 장치로 설계되었으나, 활착시스템 내부의 기온, 상대습도, 기류속도, 광 등의 환경제어가 가능하므로 인공광을 이용한 육묘실 또는 발아실로서의 활용이 가능하다.

### 참 고 문 헌

1. Kim, Y. H. 1998. Effects of air current speed on the growth of eggplant plug seedlings in a wind tunnel under artificial lighting. *J. of Biological Production Facilities & Environment Control* 7(1):9-16. (In Korean)
2. Kim, Y. H. 2000. Effects of air temperature, relative humidity and photosynthetic photon flux on the evapotranspiration rate of grafted seedlings under artificial lighting. Abstracts for International Symposium on Transplant Production in Closed System for Solving the Global Issues on Environmental Conservation, Food, Resources and Energy. Feb. 28 - Mar. 3, Chiba University, Japan.
3. Kim, Y. H. and C. H. Lee. 1998. Light intensity and spectral characteristics of fluorescent lamps as artificial light source for close illumination in transplant production factory. *J. of the Korean Society for Agricultural Machinery* 23(6):591-598. (In Korean)
4. Kim, Y. H. and D. B. Song. 1999. Effects of CO<sub>2</sub> concentration and air current speed on the growth and development of plug seedlings under artificial lighting. *J. of Bio-Environment Control* 8(4):275-280. (In Korean)
5. Oda, M. 1995. New grafting methods for fruit-bearing vegetables in Japan. *JARQ* 29:187-194.
6. Yabuki, K. and H. Miyagawa. 1970. Studies on the effect of wind speed and photosynthesis (2) - The relation between wind speed and photosynthesis. *J. of Agricultural Meteorology* 26(3): 137-142. (In Japanese)
7. 渡部一郎, 板木利隆. 1990. 電気利用による野菜の育苗と栽培. 社団法人 農業電化協會, pp. 116-137.
8. 矢吹萬壽. 1985. 植物の動的環境. 朝倉書店, pp. 11-30.