

최 종
연구보고서

에너지 절감형 고품질 분화 생산 시스템 개발
Development of Potted Plant Production System for
High Quality and Energy Saving

서울대학교
원예연구소

농림부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “에너지 절감형 고품질 분화 생산 시스템 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2006년 7월 14일

주관연구기관명 : 서울대학교

총괄연구책임자 : 김 기 선

세부연구책임자 : 손 정 익

선 임 연 구 원 : 오 옥

연 구 원 : 천 인 혜

연 구 원 : 박 지 흠

연 구 원 : 이 용 하

연 구 원 : 김 현 기

연 구 원 : 강 경 주

선 임 연 구 원 : 조 영 열

연 구 원 : 노 은 희

연 구 원 : 김 성 규

연 구 원 : 오 성 봉

연 구 원 : 뉴 엔 타이

협동연구기관명 : 원예연구소

협동연구책임자 : 김 태 영

참 여 기 업 : 가 화 텍

참여 기업 대표 : 이 성 재

연 구 원 : 류 주 현

연 구 원 : 권 송

요 약 문

I. 제 목

에너지 절감형 고품질 분화 생산 시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 우리나라 분화재배 생산은 시설 내에서 가능한 한 안정적인 주년생산을 도모하여 농가소득을 증대하기 위한 여러 가지 기술을 개발·도입 중에 있다. 고품질 상품의 안정적인 대량 생산을 위해서는 작물생육에 적절한 환경을 균일하게 유지하여야 하며, 이를 위해서는 작물과 재배조건에 맞는 적합한 생산시스템을 사용하여야 한다. 최근에는 양액재배가 일반화되어 있고, 양액재배시 관비에 알맞은 여러 시스템이 개발되어 보급되고 있다. 하지만, 아직까지도 많은 생산농가에서는 관수 시스템 및 조건에 따라 시설 내 불균일한 환경 조건 또는 다습한 환경 조건으로 인하여 불균일한 생육과 병해가 문제가 되고 있다. 또한 나날이 국제 유가가 상승하는 가운데, 소형 분화류 벤치 재배시 시설 내 전부를 가온하거나 냉방하기 때문에 과도한 에너지가 소요되고 있다. 따라서 생산비에서 냉난방비가 차지하는 비중 또한 증가하여 생산성 및 품질 향상을 위한 기술과 더불어 효과적인 에너지 절감형 시스템 개발이 필요한 실정이다. 에너지 절감을 위한 여러 가지 자재, 시스템 등이 개발되고 있는 가운데, 아직도 이와 더불어 적합한 환경 조절 기술이 미흡하고, 시스템의 부분적 문제로 인하여 실제 농가에 보급 및 활용에 어려움을 겪고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 첫째, 근권 냉·난방 및 난방 온도를 낮출 수 있는 광 조절 기술의 개발로 냉난방비를 절감하고, 둘째, 최근 배지 내 수분조절에 유리한 심지재배방식을 도입하여, 양액재배에 적합하고 다습한 환경조건을 개선할 수 있는 관수 시스템의 개발 및 효율적인 관수 방법을 개발하고, 냉난방 시 에너지 소비를 줄일 수 있는 시스템을 개발하며, 셋째, 냉·난방 공간을 획기적으로 축소하는 다단벤치 재배 시스템을 개발하고자 실시하였다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 제1세부과제

- 가. 일장과 광도에 대한 생육 및 개화 반응 구명
- 나. 저온 관리 하에서 장일 처리에 의해 개화 지연 완화 효과 구명
- 다. 근권 냉·난방에 의한 생육 촉진 효과 구명
- 라. 주년 생산 체계 확립

2. 제2세부과제

- 가. 에너지 절감형 다단 재배 시스템 개발
 - 에너지 절감을 위한 공간 절약형 다단식 베드 설계
 - 환경 특성을 고려한 다단 베드 결정
- 나. 에너지 절감형 분화생산 난방체계 개발
 - 2개의 온풍기를 이용한 국부 구분 난방 시스템 구성
 - 난방 성능 평가
- 다. 시스템 수분 관리 기술 개발
 - 베드의 경사도
 - 화분 크기와 심지 크기에 따른 배지 함수율 변화 비교
 - 적정 배지 수분 관리를 위한 관수 방법 결정
 - 적정 배지 수분 함수율을 위한 관수 횟수 결정을 위한 실증 실험
- 라. 양액재배시스템 및 분화배지 내의 환경 및 생육 분석
 - 양액 농도에 따른 분화배지 내 부위별 염류집적도 분석
 - 배지 내 함수율에 따른 산소확산계수 변화 분석

3. 협동과제

- 가. 냉·난방비 절감을 위한 다단벤치 시스템 개발 및 단수별 효율 비교
- 나. 다단벤치 시스템에 의한 작물 생육 및 에너지 절감 효과 비교

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 제1세부과제: 에너지 절감형 시스템을 위한 생육 조절 기술 개발

- 가. 일장이 길수록, 광도가 높을수록 생육과 개화가 향상되었음
- 나. 저온기 난방 온도를 4℃ 정도 낮추어도 장일 처리(명기 연장 또는 광중단)에 의해 개화 지연을 완화할 수 있었음
- 다. 저온기(12℃) 근권 난방(20℃)과 고온기(32℃) 근권 냉방(16~20℃)으로 분화류의 생육을 촉진할 수 있었음
- 라. 위의 방법들을 적시에 적용하면 시클라멘 재배에 있어서 큰 문제인 겨울철 난방비 부담과 여름철 환경 악화를 막을 수 있어 고품질 분화를 주년 생산할 수 있음

2. 제2세부과제: 다단계 심지 이용형 흘림식 분화 양액 재배 시스템 개발

- 가. 에너지 절감형 다단 재배 시스템 개발
 - 베드 위쪽에 아치형 비닐 터널을 만들고, 2단 및 3단 베드 시스템을 구성하여 야간에 난방체적을 줄일 수 있도록 설계하였다. 하단 베드는 수평레일 위를 움직

일 수 있어 주간에는 수광을 밖으로 빼내고, 야간에는 수납된 후 자동 개폐가 가능한 터널에 의하여 덮이도록 구성했다. 터널 내부 난방 시 베드의 수직적인 위치에 따라 온도 구배 및 상대습도의 차이, 결로 현상 등을 검토한 결과, 난방비 절감을 위한 터널을 이용한 공간 절약형 다단식 베드 시스템으로서 2단의 심지 이용형 흘림식 양액재배 시스템(NFW, nutrient-flow wick culture system)을 개발하였다.

나. 에너지 절감형 분화 생산 난방 체계 개발

서로 다른 용량의 독립된 2대의 온풍기를 사용하여 터널 내부 중심의 국부난방과 외부 최저온도 유지를 위한 난방에 각각 이용하였다. 저용량의 소형 온풍기만으로도 원하는 작물생육 온도를 유지시킬 수가 있으며, 잔여열은 온실 내부 온도를 높여 기온이 영하로 떨어지지 않기 때문에 양액이 얼어 양액파이프의 동파 등을 방지할 수가 있다. 외기온이 영하 10°C 이하로 떨어지는 경우에는 백업 시스템 개념의 터널 외부 난방을 실시할 수가 있으며, 이러한 경우에도 최저 온도를 0°C 또는 5°C로 맞추어 난방 비용을 절감할 수 있다. 모델에 의한 시스템 운용을 예측한 결과, 벤치 난방이 진행되는 동안 벤치 내부에서 온실 내부로 열이동이 발생하였고, 온실의 내부기온이 최저 4-5°C 이상 유지되어 동파의 위험성이 없기 때문에 별도로 온실 내부 공간 전체를 난방할 필요가 없는 것으로 나타났다. 온실 내부의 온도가 각종 농자재의 동파가 일어나지 않는 최저의 온도를 유지시키면서, 화훼작물이 생육하고 있는 벤치 내부의 공간을 집중적으로 난방할 수 있다면 에너지 절감에 기여할 수 있다.

다. 시스템 수분 관리 기술 개발

심지 이용형 흘림식 저면관수(NFW) 시스템 이용 시 적정 베드 경사도는 3%를 유지하는 것이 1%나 5% 보다 시스템 내의 균일한 배지 내 수분관리에 알맞은 것으로 판단되었다. 수분 흡수 속도와 최대 함수율을 고려한 결과 소형분화 생산에 사용되는 6cm 및 10cm의 화분의 경우 1.5cm 폭의 심지가 알맞았다.

초기 함수율에 따른 수분 흡수량과 관수 시스템과 관수 시기 및 시간, 그리고 배지 조성에 따른 배지의 수분 흡수량 변화를 구하였다. 이를 통해 각 조건별 적정 관수 시간을 결정할 수가 있도록 하였다. 식물체가 있는 경우에는 식물체의 증산으로 인한 수분 손실을 고려한 관수가 필요하다. 식물체의 생육이 진전되고 엽면적이 넓어짐에 따라 증산량도 증가하여 관수 횟수도 늘어나게 되었다.

라. 양액 재배 시스템 및 분화 배지 내의 환경 및 생육 분석

담액식 관수 시스템에서 염류집적도도 높았고, NFW 시스템에서는 낮았다. 상토의 두께 1cm의 표층부는 전체 배지 체적의 1/8에 해당하지만, 염의 집적은 전체의 50~60%에 달하였다. 배지의 함수량에 따라 산소확산계수 증가하다가 함수율 50% 이후에 하락하는 경향을 보였다.

마. 실증 실험 및 생육 비교

개발된 난방 및 관수 시스템에서 아이비, 임파첸스, 칼랑코에 1000개체씩을 재배한 결과 작물에 따라 NFW 시스템에서 약간 좋은 생육을 보였지만 대부분 유사하

였다. 아이비의 측지 발달과 칼랑코에의 초기 건물중이 NFW 시스템에서 좋았다.

3. 협동과제: 냉난방비 절감을 위한 다단 벤치 시스템 개발

- 가. 분화류 재배 시 에너지 절감용 다단벤치 시스템을 개발하여 분화 재배 시스템에 적용하여 시설의 에너지 절감과 작물생육을 분석함
- 나. 분화류 이중벤치에 난방용 상부 덕트를 처리한 시설이 관행 벤치 무덕트에 비하여 10a당 연료소모량이 50.3%가 절감되었음
- 다. 시설 내 난방 방법에 따른 벤치 내 온도는 상부 덕트를 이용하여 난방한 것이 시설 내 온도가 균일하였음

4. 활용방안

- 바로 현장에 적용할 수 있는 기술들은 연구책임자 또는 농업기술센터 조직을 통해 분화 재배 농가에 대한 기술 교육을 하거나 책자를 통해 보급
- 특허 출원 기술들은 참여 기업체와 협의하여 현장에 적용할 수 있는 기술로 보완
- 학술적으로 의미있는 연구 결과들은 국내외 학회에 발표하고 학술지에도 게재하고 있는 중
- 실증 실험이나 추가 실험이 필요한 부분은 계속 연구하거나 다른 연구과제로 발전시킴

SUMMARY

(영문 요약문)

Development of Potted Plant Production System for High Quality and Energy Saving

I. Controlling the growth and flowering of potted plants for energy saving production system

1. Growth and flowering responses to daylength and light intensity

This study was carried out to examine the effect of photosynthetic photon flux (PPF) and daylength on growth and flowering in *Cyclamen persicum*. 'Metis Scarlet Red' cyclamen seedlings with six fully unfolded leaves were exposed to short day (SD, 8 h) or long day (LD, 16 h) condition combined with five different PPF levels (50, 100, 150, 200, and 300 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) in a growth chamber maintained at 24/14°C (day/night). Most growth characteristics including plant height, leaf and flower number, leaf area, tuber size, fresh and dry weight of above-ground tissues, roots, and tuber were found to be promoted under LD treatment, when evaluated at 16 weeks after the treatment. Higher numbers of leaves and flowers were produced under LD than under SD condition. LD advanced flowering by 4 to 42 days depending on PPF. High PPF (300 and 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) also promoted most growth characteristics including leaf and flower number, leaf area, tuber size, fresh and dry weight of above-ground tissues, roots, and tuber at 16 weeks after the treatment. As PPF decreased, the plant became taller, but its growth stopped at the lowest PPF. High PPF advanced flowering by 16 to 46 days depending on daylength. In conclusion, LD and high PPF treatment are required to promote growth and flower initiation and development of cyclamen, which is assumed to be quantitative LD plant in this experiment.

2. Promotion of flowering by longday treatment under low temperature regime

First experiment was conducted to determine the flowering response to temperature and photoperiod according to growth stage [Stage I: flower bud initiation, 5-unfolded leaves ~ 2 mm visible bud (VB)], Stage II: flower bud development (during 9 weeks after VB) in cyclamen. 'Metis Purple' cyclamen seedlings in Stage I and II were grown under growth

chambers maintained at 8, 12, 16, and 20°C in combination with long-days (LD, 16h) or short-days (SD, 8h). In Stage I, VB initiation was hastened by 8 to 13 days in plants grown at 16 and 20°C compared to those grown at 12°C. VB was not observed under either LD or SD at 8°C, and SD at 12°C. During Stage II, high temperature and LD hastened flowering. There was no difference in flowering between SD at 20°C and LD at 16°C, and also between SD at 16°C and LD at 12°C. Day-extension by fluorescent lamps (FL) with high photosynthetic photon flux (PPF) prevented delay of flowering in cyclamen by low temperature. Second experiment was conducted to examine the effects of night interruption (NI) by incandescent lamps (IL) with low PPF on flowering of 'Metis Purple Frame' cyclamen. Cyclamen seedlings with 5-6 unfolded leaves were grown in growth chambers maintained at 16 or 20°C in combination with four photoperiod treatments: 8, 12, 16 h by FL, and 8 h by FL with a 4-h NI by IL during the dark period. NI hastened flower initiation and development compared with 8 h photoperiod at both temperatures. There was little difference between NI and 12 h under each temperature. There was no difference in flowering (days to VB and flowering) between 8 h at 20°C and 8 h with NI at 16°C, indicating that NI could substitute for expensive heating cost.

3. Promotion of growth under low and high temperature using root zone heating and cooling

This study was carried out to examine the effects of root-zone heating and root-zone cooling under the high and low air temperature, respectively, on the growth and development, and physiological responses of *Cyclamen persicum*. Firstly, to investigate the effect of root-zone heating under low temperature, 'Metis Scarlet Red' cyclamen plants with 6-7 unfolded leaves were exposed to root-zone temperature (RZT) 12, 16, 20 or 24°C in a constant temperature room of 12°C equipped with floating hydroponic (FH) and nutrient-stagnant wick culture (NSW) system. Root-zone heating promoted plant growth showing the maximum dry weight at the 20°C. The number of leaves and visible buds (VB) at harvest increased from 12°C to 20°C but decreased from 20°C to 24°C. Root-zone heating increased photosynthesis and accelerated leaf unfolding and VB emergence compared with control, 12°C. Leaf canopy volume, petiole length, leaf length, T/R ratio or total water content sharply decreased at 12°C. RZT 20°C increased root activity compared with 12°C. However, leaf width and root length showed no difference between RZTs in this study. The most favorable RZT for growth and development in cyclamen under low air temperature was 20°C. These results indicate that root-zone heating under low air temperature increases root activity, promotes photosynthesis, and

then results in vigorous growth in cyclamen. Secondly, to investigate the effect of root-zone cooling under high temperature, 'Metis Scarlet Red' cyclamen was grown in NSW system maintained at five RZTs, 16, 20, 24, 28 or 32°C, under air temperature 32°C. Dry weight, leaf number, petiole length, leaf width, leaf length, net photosynthetic rate increased as RZT was reduced from 32 to 16°C. But there was no difference in the root length and tuber dry weight. The 16°C treatment had the best growth and development among RZTs. The result indicates that the healthy roots by favorable RZT increased the net photosynthetic rate and might overcome the heat stress due to high air temperature. Therefore, root-zone cooling effectively improved the growth and development of cyclamen exposed to high air temperature. In conclusion, it was confirmed that manipulation of root-zone temperature is effective in improving growth and development of cyclamen exposed to sub- or supra-optimal air temperature and in saving the expense of temperature control for heating or cooling.

II. Development of a multi-layered nutrient-flow wick culture system

1. Development of a multi-layered nutrient-flow wick culture (NFW) system

1.1. Design of energy-saving multi-layered cultivation systems

As heating cost is a major portion of the expenses in greenhouse cultivation in winter, various approaches for energy-saving have been tried. Multi-layered cultivation systems with arch-type roof were developed to minimize the inside volume for energy-saving. The growing bed in the lower layer was exposed to the sun during the day and stored inside at night. The system appeared more effective due to their intensiveness of heating with the minimized cover area during the heating.

1.2. Evaluation of multi-layered nutrient-flow wick culture (NFW) systems

Single- and multi-layered cultivation systems were evaluated in terms of the distribution of temperature and relative humidity (RH) with/without plants. Temperatures were higher in NSW systems than those in NFW systems by 1.5~2°C, regardless of the presence of plants. Temperatures varied within 1~2°C in the multi-layered NFW systems and varied more by 5°C in the triple-layered system. Differences in RH were 5~10% in double-layered systems and approximately 30% in triple-layered systems. Therefore, double- or single-layered NFW system is more recommendable considering the well distribution of temperature and RH between the layers and the no condensation on the surface of the film.

2. Development of energy-saving heating system for potted plant production

2.1. Design of tunnel-type local-heating system

Tunnel-type local heating system with duct was designed on the purpose of energy saving. Two independent heaters are operated to heat the inside of the greenhouse and tunnel, respectively. Out-tunnel heater maintains the in-greenhouse temperature preventing the reservoirs from freezing. In-tunnel heater is operated to maintain the desirable temperature for the crop inside the growing bench.

2.2. Performance of tunnel-type local-heating system

Desired temperature for potted plants could be maintained within ± 2.5 °C by using a tunnel-type local heating system. Sole operation of the heater for in-tunnel heating could maintain temperature over the set point, especially, when outside temperature was over -10 °C. Out-tunnel heater should be operated just for back-up to save energy.

2.3. Prediction of the performance and operation of the system using a model

The change of temperature and operation of two heaters was predicted using a modeling method. During the heating by the local heater, movement of heat occurred and this maintained the temperature of the greenhouse over $4 \sim 5$ °C, which prevents freezing damages. When the lowest temperature is set to $4 \sim 5$ °C, the operation of the central heater is not necessary but auxiliary.

3. Development of water management techniques

3.1. Slope rate

Uniformity in water absorption of medium was the greatest in 3 % slope. When greater than 3 % slope, difference in water absorption rate between the two side positions. Algae occurred in 1 % slope. Therefore an adequate slope of culture bed in the NFW system could be 3%

3.2. Comparison of water contents of media affected by the size of pot and wick

As the volume of pot was greater, the water content of medium increased faster with a wider wick. However, water absorption rate was too high in small pot with wide wick. Desirable widths of wick were 1 and 1.5 cm in 6- and 7-cm pots, respectively. The 1.5 cm wick was allowed for both sizes of pots.

3.3. Irrigation method for proper water management

Water absorption rate of medium was measured in the conditions of different initial water content of medium, irrigation methods and time, and the contents of medium. Irrigation time can be determined by using this results.

3.4. Irrigation frequency for proper medium water content

Irrigation time and frequency were increased with increase of plant growth. As the plant grew, the leaf area became greater with increase of transpiration. Irrigation strategy was required based on water loss by transpiration of plants.

4. Environmental analysis of root media in the production system and growth of potted plants

4.1. Salt build-up in the medium affected by irrigation methods and concentration of nutrition solution

EC change of medium was traced in different irrigation methods at EC 1.6 dS/m and the EC of medium was the highest in the NSW systems and the lowest in the NFW system. Under ECs of 0.1, 0.8, 1.6, 2.4, and 3.2 dS/m, the 40 ~ 50 % of salt build-up was occurred at a depth of 1 cm from the top soil in the subirrigation system .

4.2. Analysis of oxygen diffusion rate of medium

The ODR values measured in non-soil media(peatmoss and perlite) were very unusual. These values appear to keep increasing up to 50 % water content. ODR in soil has a tendency of decrease as water content increases. However, in growing media of peat moss and perlite, ODR was increased as water content increased. In this case, it was thought that water film surrounding Pt electrode was not formed thoroughly at the low water content. Water content of growing medium below 60% will be adequate to plants insensitive to high moisture.

5. Evaluation of the system with growth of potted plants through the on-site experiment

Ivy, impatiens, and kalanchoe were cultured in the developed energy-saving systems with NFW or NSW irrigation system. Number of plants were 1,000 for each plant. The growth of ivy was not significantly different in shoot length, fresh and dry weights, however, number of lateral shoots were higher in the NFW. The growth of impatiens showed almost non-significant in all systems. Flower bud differentiation occurred 3-week earlier in the lower beds than in the other upper beds. During the period before short-day treatment, the lower beds were regularly stored inside from 18:00 to 09:00

without light, while the upper beds were still exposed to the sun by sunset. It was likely to have caused the similar condition to short-day treatment.

III. Development of pot flower poly bench system for heating and cooling cost saving

This study was conducted to develop the poly bench system which can minimize the heating and cooling space in greenhouse and subsequently reduce the heating and cooling cost in pot plant production. The system was developed to control the heating space surrounding the double bench with the tunnel. The influence of a double bench heating system on microclimate was evaluated in greenhouse with pot plant, kalanchoe. Light transmittance of double bench system and traditional bench was 30%, whereas that of the lower bench of double bench system was 52.6%. There was no difference in growth characteristics of kalanchoe between types of bench. Installation of the heating duct system above the double bench inside the tunnel decreased heating energy by 50 % in protected culture of kalanchoe compared with traditional system. Amount of heating oil consumed from March 3 to April 20, 2005 was 10,840 L/10a in the double bench system as compared to that of conventional bench system. Cooling temperature of evaporative cooling system below 5~6°C to radiator system.

CONTENTS

I. Controlling the growth and flowering of potted plants for energy saving production system	14
(Ki Sun Kim, Seoul National University)	
Sub-contents	21
II. Development of a multi-layered nutrient-flow wick culture system	84
(Jung Eek Son, Seoul National University)	
Sub-contents	95
III. Development of pot flower poly bench system for heating and cooling cost saving	143
(Tae Young Kim, National Horticulture Research Institute)	
Sub-contents	147

목 차

I. 제1세부과제 (서울대 김기선)

에너지 절감형 시스템을 위한 생육 조절 기술 개발 14

제1세부과제 목차 22

II 제2세부과제 (서울대 손정익)

다단계 심지 이용형 흘림식 분화 양액 재배 시스템 개발 84

제2세부과제 목차 97

III. 협동연구과제(원예연구소 김태영)

냉난방비 절감을 위한 다단 벤치 시스템 개발 143

협동연구과제 목차 148

제1세부과제

에너지 절감형 시스템을 위한
생육 조절 기술 개발

Controlling the Growth and Flowering of Potted
Plants for Energy Saving Production System

서울대학교 식물생산과학부

김 기 선

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “에너지 절감형 고품질 분화 생산 시스템 개발” 과제의 제1세부
과제 “”최종보고서로 제출합니다.

2006년 7월 14일

주관연구기관명 : 서울대학교

총괄연구책임자 : 김 기 선

세부연구책임자 : 김 기 선

선 임 연 구 원 : 오 욱

연 구 원 : 천 인 혜

연 구 원 : 박 지 흠

연 구 원 : 이 용 하

연 구 원 : 김 현 기

연 구 원 : 강 경 주

요 약 문

I. 제 목

제1세부과제: 에너지 절감형 시스템을 위한 생육 조절 기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 우리나라 분화재배 생산은 시설 내에서 가능한 한 안정적인 주년생산을 도모하여 농가소득을 증대하기 위한 여러 가지 기술을 개발·도입 중에 있다. 고품질 상품의 안정적인 대량 생산을 위해서는 작물생육에 적절한 환경을 균일하게 유지하여야 하며, 이를 위해서는 작물과 재배조건에 맞는 적합한 생산시스템을 사용하여야 한다. 최근에는 양액재배가 일반화되어 있고, 양액재배시 관비에 알맞은 여러 시스템이 개발되어 보급되고 있다. 하지만, 아직까지도 많은 생산농가에서는 관수 시스템 및 조건에 따라 시설 내 불균일한 환경 조건 또는 다습한 환경 조건으로 인하여 불균일한 생육과 병해가 문제가 되고 있다. 또한 나날이 국제 유가가 상승하는 가운데, 소형 분화류 벤치 재배시 시설 내 전부를 가온하거나 냉방하기 때문에 과도한 에너지가 소요되고 있다. 따라서 생산비에서 냉난방비가 차지하는 비중 또한 증가하여 생산성 및 품질 향상을 위한 기술과 더불어 효과적인 에너지 절감형 시스템 개발이 필요한 실정이다. 에너지 절감을 위한 여러 가지 자재, 시스템 등이 개발되고 있는 가운데, 아직도 이와 더불어 적합한 환경 조절 기술이 미흡하고, 시스템의 부분적 문제로 인하여 실제 농가에 보급 및 활용에 어려움을 겪고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 고온기 및 저온기에 근권 냉·난방을 통한 생육 촉진과 난방 온도를 낮출 수 있는 광 조절 기술의 개발로 냉난방비를 절감 시스템을 개발하고자 실시하였다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 일장과 광도에 대한 생육 및 개화 반응 구명
2. 저온 관리 하에서 장일 처리에 의해 개화 지연 완화 효과 구명
3. 저온 관리 하에서 근권 난방에 의한 생육 촉진 효과 구명
4. 고온기 근권 냉방에 의한 생육 촉진 효과 구명
5. 효율적인 냉난방 기술을 이용한 주년 생산 체계 확립

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구 개발 결과

- 가. 다양한 일장과 광도에서 시클라멘의 성장과 개화를 비교한 결과, 일장이 길수록, 광도가 높을수록 광합성이 증가하고 생육과 개화가 향상되었다.
- 나. 몇가지 온도와 일장에 대한 시클라멘의 개화 반응을 관찰한 결과, 16℃ 장일처리나 광중단이 20℃ 단일 조건과 개화소요일수나 꽃수에서 차이가 없었다. 따라서 저온기 난방 온도를 4℃ 정도 낮추어도 장일 처리(명기 연장 또는 광중단)에 의해 개화 지연을 완화할 수 있었다.
- 다. 저온 조건(12℃)에서 근권 온도를 12, 16, 20, 24℃로 처리한 결과 20℃에서 뿌리 활력과 광합성이 증가하고 생육도 향상되었다. 따라서 저온기 근권 난방으로 분화류의 생육을 촉진할 수 있을 것이다.
- 라. 고온 조건(32℃)에서 근권 온도를 16, 20, 24, 28, 32℃로 처리한 결과 16, 20℃에서 뿌리 활력과 광합성이 증가하고 생육도 향상되었다. 따라서 여름철 고온기 근권 냉방으로 분화류의 생육을 촉진할 수 있을 것이다.
- 마. 위의 방법들을 적시에 적용하면 시클라멘 재배에 있어서 큰 문제인 겨울철 난방비 부담과 여름철 환경 악화를 막을 수 있어 고품질 분화를 주년 생산할 수 있음

2. 활용방안

- 바로 현장에 적용할 수 있는 기술들은 연구책임자 또는 농업기술센터 조직을 통해 분화 재배 농가에 대한 기술 교육을 하거나 책자를 통해 보급
- 학술적으로 의미있는 연구 결과들은 국내외 학회에 발표하고 학술지에도 게재하고 있는 중
- 실증 실험이나 추가 실험이 필요한 부분은 계속 연구하거나 다른 연구과제로 발전시킴

SUMMARY

(영문 요약문)

Controlling the growth and flowering of potted plants for energy saving production system

1. Growth and flowering responses to daylength and light intensity

This study was carried out to examine the effect of photosynthetic photon flux (PPF) and daylength on growth and flowering in *Cyclamen persicum*. 'Metis Scarlet Red' cyclamen seedlings with six fully unfolded leaves were exposed to short day (SD, 8 h) or long day (LD, 16 h) condition combined with five different PPF levels (50, 100, 150, 200, and 300 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) in a growth chamber maintained at 24/14°C (day/night). Most growth characteristics including plant height, leaf and flower number, leaf area, tuber size, fresh and dry weight of above-ground tissues, roots, and tuber were found to be promoted under LD treatment, when evaluated at 16 weeks after the treatment. Higher numbers of leaves and flowers were produced under LD than under SD condition. LD advanced flowering by 4 to 42 days depending on PPF. High PPF (300 and 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) also promoted most growth characteristics including leaf and flower number, leaf area, tuber size, fresh and dry weight of above-ground tissues, roots, and tuber at 16 weeks after the treatment. As PPF decreased, the plant became taller, but its growth stopped at the lowest PPF. High PPF advanced flowering by 16 to 46 days depending on daylength. In conclusion, LD and high PPF treatment are required to promote growth and flower initiation and development of cyclamen, which is assumed to be quantitative LD plant in this experiment.

2. Promotion of flowering by longday treatment under low temperature regime

First experiment was conducted to determine the flowering response to temperature and photoperiod according to growth stage [Stage I: flower bud initiation, 5-unfolded leaves ~ 2 mm visible bud (VB)], Stage II: flower bud development (during 9 weeks after VB) in cyclamen. 'Metis Purple' cyclamen seedlings in Stage I and II were grown under growth chambers maintained at 8, 12, 16, and 20°C in combination with long-days (LD, 16h) or short-days (SD, 8h). In Stage I, VB initiation was hastened by 8 to 13 days in plants grown at 16 and 20°C compared to those grown at 12°C. VB was not observed under either LD or SD at 8°C, and SD at 12°C. During Stage II, high temperature and LD

hastened flowering. There was no difference in flowering between SD at 20°C and LD at 16°C, and also between SD at 16°C and LD at 12°C. Day-extension by fluorescent lamps (FL) with high photosynthetic photon flux (PPF) prevented delay of flowering in cyclamen by low temperature. Second experiment was conducted to examine the effects of night interruption (NI) by incandescent lamps (IL) with low PPF on flowering of 'Metis Purple Frame' cyclamen. Cyclamen seedlings with 5-6 unfolded leaves were grown in growth chambers maintained at 16 or 20°C in combination with four photoperiod treatments: 8, 12, 16 h by FL, and 8 h by FL with a 4-h NI by IL during the dark period. NI hastened flower initiation and development compared with 8 h photoperiod at both temperatures. There was little difference between NI and 12 h under each temperature. There was no difference in flowering (days to VB and flowering) between 8 h at 20°C and 8 h with NI at 16°C, indicating that NI could substitute for expensive heating cost.

3. Promotion of growth under low and high temperature using root zone heating and cooling

This study was carried out to examine the effects of root-zone heating and root-zone cooling under the high and low air temperature, respectively, on the growth and development, and physiological responses of *Cyclamen persicum*. Firstly, to investigate the effect of root-zone heating under low temperature, 'Metis Scarlet Red' cyclamen plants with 6-7 unfolded leaves were exposed to root-zone temperature (RZT) 12, 16, 20 or 24°C in a constant temperature room of 12°C equipped with floating hydroponic (FH) and nutrient-stagnant wick culture (NSW) system. Root-zone heating promoted plant growth showing the maximum dry weight at the 20°C. The number of leaves and visible buds (VB) at harvest increased from 12°C to 20°C but decreased from 20°C to 24°C. Root-zone heating increased photosynthesis and accelerated leaf unfolding and VB emergence compared with control, 12°C. Leaf canopy volume, petiole length, leaf length, T/R ratio or total water content sharply decreased at 12°C. RZT 20°C increased root activity compared with 12°C. However, leaf width and root length showed no difference between RZTs in this study. The most favorable RZT for growth and development in cyclamen under low air temperature was 20°C. These results indicate that root-zone heating under low air temperature increases root activity, promotes photosynthesis, and then results in vigorous growth in cyclamen. Secondly, to investigate the effect of root-zone cooling under high temperature, 'Metis Scarlet Red' cyclamen was grown in NSW system maintained at five RZTs, 16, 20, 24, 28 or 32°C, under air temperature 32°C. Dry weight, leaf number, petiole length, leaf width, leaf length, net photosynthetic

rate increased as RZT was reduced from 32 to 16°C. But there was no difference in the root length and tuber dry weight. The 16°C treatment had the best growth and development among RZTs. The result indicates that the healthy roots by favorable RZT increased the net photosynthetic rate and might overcome the heat stress due to high air temperature. Therefore, root-zone cooling effectively improved the growth and development of cyclamen exposed to high air temperature. In conclusion, it was confirmed that manipulation of root-zone temperature is effective in improving growth and development of cyclamen exposed to sub- or supra-optimal air temperature and in saving the expense of temperature control for heating or cooling.

4. Year-round production using newly-developed heating and cooling system and longday treatment

There are many problems in traditional production system of cyclamen including high temperature in summer and high cost for heating in winter. These problems could be overcome by root-zone cooling and heating, long-day treatment, and so on.

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	23
Chapter 2 Current Development of Related Technology	24
1. Domestic technologies	24
2. Technologies of developed countries	25
Chapter 3 Research Data: Approaches, Results and Discussion	26
1. Growth and flowering responses to daylength and light intensity	26
2. Promotion of flowering by longday treatment under low temperature regime ..	42
3. Promotion of growth under low temperature using root zone heating	54
4. Promotion of growth under high temperature using root zone cooling	63
5. Year-round production using newly-developed heating and cooling system and longday treatment	69
Chapter 4 Achievement Evaluation	73
Chapter 5 Practical Application of the Results	74
Chapter 6 Scientific Information Collected through the Project	74
Chapter 7 Reference	75

목 차

제1장 연구 개발 과제의 개요	23
제2장 국내외 기술 개발 현황	24
제 1 절 국외 현황	24
제 2 절 국내 현황	25
제3장 연구 개발 수행 내용 및 결과	26
제 1 절 광도 및 일장 조절에 의한 분화의 생육 및 개화 조절	26
제 2 절 장일 처리를 통한 시클라멘의 개화 촉진 기술 개발	42
제 3 절 저온에서 근권 난방을 통한 시클라멘의 생육 촉진	54
제 4 절 고온 스트레스 하에서 근권 난방을 이용한 생육 촉진	63
제 5 절 효율적인 냉난방 기술을 이용한 주년 생산 체계 확립	69
제4장 목표 달성도 및 관련 분야에의 기여도	73
제5장 연구 개발 결과의 활용	74
제6장 연구 개발 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	74
제7장 참고 문헌	75

제 1 장 연구개발과제의 개요

우리나라 분화 재배는 최근 들어 수요가 증가하면서 양적, 질적으로 많은 발전을 이루어 왔다. 2005년 화훼 총생산액 1조 105억원 중 분화 및 초화류는 4,355억원을 차지하고 있어 절화류의 4,517억원에 육박하는 수준이다. 아직 난류와 관엽식물의 비중이 크기는 하지만 소형 분화류의 증가세는 뚜렷한 경향을 보이고 있다. 이와 같은 현상은 아파트 위주의 주거 환경에 웰빙 바람을 타고 수요가 늘어난 것으로 생각된다. 이와 같은 양적 성장이 질적 발전을 이끌고 있기도 하다.

과거 토양과 유기물을 이용한 배지와 인력에 의한 두상관수, 고품비료 시비에 의한 재배에서 무토양 배지, 양액 저면관수 등 재배 환경이 개선되고 작업의 자동화를 도입하여 노력을 줄이고 있다. 이에 따른 다양한 농자재와 재배 기술도 개발되고 있다.

그러나 계속되는 국제유가의 상승은 겨울철 온실재배가 큰 비중을 차지하는 우리나라에는 치명적이다. 분화류의 시장 가격이 정체되어 있는 상황에서 국제유가의 상승으로 인한 난방비 부담 증가는 온전히 농가가 떠안아야 할 문제가 되어버렸다.

그러나 이를 해결하기 위한 연구는 미흡한 실정이다. 현재까지 대체연료의 개발, 국부 난방 기술, 열 효율 증대 등의 기술이 개발되고 있지만, 이는 채소류 위주의 연구이며, 분화류 생산에 바로 적용하기엔 다소 무리가 있다.

본 연구에서는 소형 분화류 생산에 있어서 겨울철 난방을 위한 경유 소비량을 줄이기 위해 다양한 접근을 통해 몇 가지 해결 방안들을 제시하고자 한다.

제2장 국내외 기술개발 현황

제1절 국외 현황

1. 분화 재배 기술

화란, 덴마크, 일본, 미국 등 분화 선진국에서는 분화 전용 배지의 개발이 이루어지고 있고, 관수 시스템, 양액재배용 전용 양액 등 전용자재들이 개발되어 실용화되고 있는 실정이다. 특히 화란에서는 분화전용 양액인 Sonneveld액이 실용화되어 있고, 과채류, 엽채류 및 절화 작물별 전용양액을 개발하여 실용화하고 있다. 일본에서도 아이찌현 원예연구소에서 개발한 전용 양액을 농가에서 이용하고 있다.

재배 시스템의 경우, ebb & flow, 매트 및 심지 재배가 상용화되고 있고, 아프리카 마이올렛을 중심으로 식물 공장 시스템이 이루어졌으며, 작물별로 지역 특성에 적합한 다양한 설비들이 개발되고 있다.

고품질 묘 생산에 있어서는 각 작물별로 조직배양, 삼목, 실생묘의 대량 급속 증식 기술이 개발되고 있으며, 재배와 육묘업체가 분리되어 효율적인 생산이 이루어지며 기술 축적을 꾀하고 있다. 또한 사전 주문 생산 방식이 일반화되어 값비싼 시설의 이용 효율을 높이고 있다.

병충해 방제에서도 다양한 기술들이 개발되었는데, 병충해 예찰 시스템이 실용화되었고, *Pythium*, *Phytophthora* 등의 진단용 kit가 개발되었으며, 사전 검역에 의해 수출 시간을 최소화하고 있다.

분화류의 고품질 생산을 위한 연구도 활발한데, DIF나 PGR을 이용하여 초장을 조절하고 아담한 크기의 분화를 재배하고 있고, 광질, 온도, 일장 등을 조절하여 원하는 시기에 개화를 시킨다.

2. 시설 내 냉·난방 기술

분화류 선진국에서는 소형 분화류에 대한 부분 난방 기술과 작물체의 초장에 따라 난방 배관을 변화시킬 수 있는 시스템을 도입하여 작물의 생육을 최적화하고 있다. 또 온실 전체를 난방하는 대신 화분 속 배지만 냉난방하는 근권 냉난방 기술도 개발되었다. 이때 사용되는 배관 자재도 열전도율을 높여 에너지 효율을 크게 증가시켰고, 배관의 모양도 열 전달에 맞도록 고안하고 있다. 겨울철 난방뿐만 아니라 여름철 냉방 기술도 다양하게 개발되어 있어 분화류의 생육을 최적화하고 있다.

제2절 국내 현황

1. 분화 생산 기술

국내의 분화 재배는 주로 토경 재배 및 지상 관수에 의해 이루어지고 왔으며, 외국에서 도입된 ebb & flow 시스템도 우리나라 실정에 맞지 않아 일부 변형이 필요한 실정이다. 최근에 많이 보급되고 있는 매트 및 심지 재배도 자재 등이 열악하고 시스템에 맞는 재배기술이 부족하여 우리나라 실정에 맞는 시스템의 개발이 시급하다. 물론 최근 자재 및 기술의 발전은 주목할 만하다.

양액재배는 주로 채소와 절화 작물을 중심으로 행해지고 있는데, 원예연구소, 서울대, 서울시립대, 경상대, 전남대 등을 중심으로 양액개발이 진행 중이며, 배지 및 전용양액 개발에 많은 비중을 두고 있다. 분화의 양액재배는 국내 일부 대학에서 실험적 연구가 진행 중이지만, 분화의 양액재배 시스템 연구는 극히 초기 단계이다. 원예연구소와 서울시립대에서 연구가 수행중이며 포인세티아, 칼랑코에, 고무나무, 아잘레아 등이 중점적으로 연구되고 있지만, 아직 실용화하기에는 미흡하다. 본 연구팀이 1999년부터 2003년까지 수행한 연구가 체계적인 분화류 연구의 시작이 아닐까 판단된다.

국내의 병해충 예찰 시스템은 아직 개발 및 실용화가 미흡한 실정이며, 주로 채소 작물에서 집중적으로 연구되고 있다. 고품질 규격품 분화생산의 경우 PGR을 이용한 초장조절 기술이 개발 중에 있는 반면, 분화 생산 후 순화 및 포장, 수송을 위한 연구는 최근에야 시작되었다. 또한 균일한 품질의 상품생산기술이 절대적으로 부족하다.

2. 분화류 생산에 있어서 냉난방 기술

분화류 생산에 있어서 냉난방기술은 기존의 절화류나 채소류에서 이용하던 방법을 거의 그대로 이용하고 있는 실정이다. 다만 벤치 재배가 대부분이기 때문에 베드 위에 그 장치를 옮겨 놓았을 뿐이다. 이러한 방법들은 난방 효율을 고려하기보다는 작물의 생육 적온에 맞게 기온이나 근권부 온도를 맞추는 정도이다. 따라서 대부분의 온도 조절은 경험적으로 이뤄지고 있다.

작물의 초장에 관계없이 시설 전체를 공간 난방하기 때문에 과도한 난방비 소요되고 있다. 또한 시설 내 온풍 난방으로 시설의 전·후면 및 고저에 따른 온도 편차가 크며, 시설 내 전 공간을 냉·난방하고 있어서 냉·난방 효율이 떨어진다.

국제 유가의 상승으로 인해 난방 효율을 높이기 위한, 또는 난방 공간을 줄이기 위한 연구들도 진행되고 있으나 연구하기 편한 엽채류 위주라 화훼류에 바로 적용하기에는 문제가 있다.

제3장 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절 광도 및 일장 조절에 의한 분화의 생육 및 개화 조절

1. 요약

일장과 광도, 즉 광합성 유효 광량자속(PPF)이 시클라멘(*Cyclamen persicum* cv. *Metis Scarlet Red*)의 생육과 개화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 본 연구를 수행하였다. 이를 위하여 완전히 전개된 6 장의 잎을 가진 시클라멘을 이용하여, 주야간 온도가 24/14℃로 유지되는 생장상에서 5가지 다른 PPF 수준(50, 100, 150, 200, 300 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)에 대하여 각각 단일 또는 장일 조건에 노출시켰다. 처리 후 16주에 생육 조사를 실시한 결과, 초장, 엽수, 화수, 엽면적, 괴경 크기, 지상부와 뿌리의 생체중과 건물중, 괴경을 포함하는 대부분의 형태적 특성들은 장일 처리에서 향상되었다. PPF가 감소함에 따라 도장을 했지만 오히려 가장 낮은 PPF에서는 생육이 저하되어 자라지 않았다. 꽃잎의 길이는 300 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 길어지는 경향을 보였다. 높은 PPF에서 자란 식물은 낮은 PPF에서 자란 식물과 비교하여, 장일에서는 16일, 단일에서는 46일까지 개화 소요 일수가 단축되었다. 총생체중과 건물중, 잎의 광합성 속도는 일적산광량(daily light integral, DLI)에 비례하는 경향을 보였다. 엽록소 함량은 중간 수준의 DLI에서 최대치를 나타내었다. 낮은 DLI에서 자란 식물보다 높은 DLI에서 자란 식물들이 58일 먼저 개화하였다. 그러나 화색은 처리 사이에 유의차가 나타나지 않았다. 같은 DLI이지만, 일장이 다른 처리를 비교한 결과 장일에서 자란 식물의 개화 소요 일수가 단축되고 개화수도 많은 것을 관찰할 수 있었다. 그러므로 시클라멘 'Metis Scarlet Red'는 본 실험의 결과, 양적 단일 식물이라고 판단되었다.

2. 서론

Cyclamen (*Cyclamen persicum*)은 앵초과에 속한 식물로써 20종을 포함하는 식물의 속이다. 야생에서 주로 지중해에 분포하고 있으며 유럽, 서아시아 그리고 북아프리카가 원산이다. 원예용 시클라멘은 다양한 색을 지닌 겨울과 봄에 개화하는 식물이다. 시클라멘은 분화와 절화로써 인기 있는 식물이다. 이미 일본에서는 가장 많이 생산되는 분화류 중의 하나이며, 국내에서도 수요가 점점 늘고 있다.

시클라멘 재배에 있어서 가장 큰 문제점 중의 하나는 고품질 분화를 생산하기까지 재배 기간이 길다는 것이다. 몇몇 연구자들은 생육 기간을 줄이기 위하여 적절한 생육 환경과 재배 기술을 연구하였다(Jansen, 1960; Krause, 1967; Kristoffersen and Bergerud, 1972; Widmer, 1972; Widmer et al., 1974).

호광성 식물인 시클라멘은 빛이 부족하면 긴 엽병과 부드러운 질감의 큰 잎, 그리고 개화의 지연의 결과를 가져오게 된다. 식물체가 너무 커지고 저항성을 잃게 되면 유지가 어렵다. 광량의 증가는 식물체를 조밀하게 하는 경향이 있다. 하지만 특히나 여름철에 과도한 빛은 온실 온도를 상승시키고 잎에 손상을 준다. 따라서 여름동안 좋은 식물체 생산을 위하여 차광은 필수적이다(Morel, 1994).

시클라멘의 개화는 생식생장이 너무 강하지 않을 때 촉진된다. 6매 잎의 엽아에서 초기단계에 하나의 꽃이 시작되고 그 이후에 각각의 엽아에서 개화가 시작된다(Stephens and Widmer, 1976; Sundberg, 1981). Morel은(1994) 시클라멘의 화아 형성은 일장 변화에 영향을 받지 않는다고 하였다. 하지만 전반적인 광량(낮의 길이와 광도)의 증가는 화병의 신장과 화아 발달을 촉진시킨다는 보고들도 있다.

시클라멘에서 엽진개와 화아 유도에 대한 온도의 영향은 많은 부분 연구되어 왔다(Karlsson and Werner, 2001a, 2001b). 하지만 시클라멘의 형태 형성과 개화에 대한 빛의 영향에 대한 연구는 적다. 본 연구에서는 시클라멘의 식물체 생육과 잎의 형태, 그리고 개화에 미치는 광도와 일장의 영향을 구명하였다.

3. 재료 및 방법

가. 환경 조건과 식물 재료의 준비

이 실험은 2003년9월부터 2004년 8월까지 서울대학교 농업생명과학대학에서 온도가 유지되는 모듈에서 실행하였다(Fig. 1A). 이 모듈(80×60×40cm 서울대학교 채소학 실험실의 인공 광원을 사용한 다목적 육묘 생산용 모듈)은 플라스틱 상자로 만들었는데, 형광등(FL20EX-D, Wooree Lighting Co., Ltd., Seoul, Korea)을 장착하여 수행하였다. 총 형광등 수는 한 상자에 10개(5개씩 짝을 이룸)를 사용하였다. 이 상자의 기온은 낮과 밤동안 $24\pm 2/16\pm 2^{\circ}\text{C}$ 을 유지하였다.

한미플러그로부터 전개엽 5매를 가진 파종 후 12주된 ‘Metis Scarlet Red’ 시클라멘의 플러그 묘를 받았다(Fig. 1C). 유묘는 파종 16주후에 피트모스와 펄라이트(70:30, v/v)의 혼합 배지를 채운 플라스틱 화분(직경 7 cm)에 정식되었다. 각 처리 당 24개체를 사용하여 완전임의배치법으로 배치하였다(Fig. 1B).

이 식물은 매일 15분 동안 자동 저면 관수 시스템을 사용하여 Sonneveld액을 시비하였다. 양액의 pH는 5.0~6.0으로, EC는 화아분화 전에는 1.2, 화아분화부터 개화까지는 1.6, 개화 후에는 $1.4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 을 각각 유지하였다.

나. 광도 및 일장 처리

식물체들은 모듈 내에서 16주간 다른 광 조건에 노출되었다. 일장은 단일(SD, 10:00-18:00)과 장일(LD, 06:00-22:00)로 나누었고, 광도(PPF)는 광원(형광등)의 수를 달리하여 5가지 수준[50 (LL), 100, 150, 200, 300(HL) $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]으로 조사하였다. 식물체는 7가지의 일적산광량[daily light integral, DLI ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) = daylength \times PPF] 수준에 노출되었다: 1.44 (LDLI), 2.88, 4.32, 5.76, 8.64 (MDLI), 11.52, 17.28(HDLI) $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. 위치별 광환경의 차이를 없애기 위해 식물체는 실험 기간 동안 매주 임의적으로 위치를 바꿔 주었다.

다. 생육과 개화의 측정 및 통계 분석

엽병장은 배지의 표면으로부터 최상위엽까지의 길이로 측정하였다. 전개엽(엽장 ≥ 1 cm)의 수는 격주 간격으로 측정했고, 화아는 2mm 이상인 것만 세었다. 개화된 꽃은 실험 종료 시 측정했다. 엽면적은 엽면적계(LI-3100, Li-Cor, Inc., Lincoln, NE, USA)를 사용하여 전개엽들만 측정하였다. 피경의 지름과 높이는 디지털 캘리퍼스를 사용하여 측정하였다. 엽병, 잎, 피경, 그리고 뿌리의 건물중은 3일 동안 $70 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 건조한 후에 측정했다. 잎의 해부학적 특징은 광학현미경을 사용하여 광도별로 관찰하였다.

광합성은 최근에 전개된 잎에서 휴대용 photosynthesis system(Li-6400, Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA)을 이용하여 측정하였다. 측정하는 동안 잎의 온도는 20°C , 상대습도는 40%로 유지되었다. 정확한 측정을 위해 한번 측정할 때 30분을 유지하였다. 내부광원을 이용하여 $0 \sim 1,000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 까지 조사되었고, CO_2 농도는 $360 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 를 유지하였다.

잎의 엽록소와 카로티노이드 함량은 UV-spectrophotometer(UV-2401S, Shimadzu Co., Japan)를 이용하여 661.6, 644.8, 470 nm에서 흡광도(A)를 측정했다. 각 색소의 함량은 다음과 같이 계산했다.



Fig. 1. Module and plant materials. A: Multipurpose transplant production module using artificial lighting where cyclamen plants were grown. Modules were place in a temperature controlled room. B: *Cyclamen persicum* 'Metis Scarlet Red' plug seedling (16 weeks old) prior to being used in the experiment. C: Cyclamen plants were grown in modules from transplanting to the termination of the experiment for 16 weeks.

$$\begin{aligned} \text{Chlorophyll a (Chl.a) (mg L}^{-1}\text{)} &= 11.24 \times A_{661.6} - 2.04 \times A_{644.8} \\ \text{Chlorophyll b (Chl.b) (mg L}^{-1}\text{)} &= 20.13 \times A_{661.6} - 4.19 \times A_{644.8} \\ \text{Total chlorophyll (Total Chl.) (mg L}^{-1}\text{)} &= 7.05 \times A_{661.6} - 18.09 \times A_{644.8} \\ \text{Carotenoid (mg L}^{-1}\text{)} &= (1000 \times A_{470} - 1.9 \times \text{Chl.a} - 63.14 \times \text{Chl.b})/214 \end{aligned}$$

화색은 색차계(CR-200, Minolta, Japan)를 이용하여 시클라멘의 꽃잎이 완전히 뒤집어졌을 측정하여 L, a, b값으로 나타내었다. 측정값의 통계 분석은 SAS 시스템(Version 8.02, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)에 의해 수행되었다.

4. 결과 및 고찰

가. 일장과 PPF에 대한 생육 및 개화 반응

전반적으로 시클라멘 잎의 생장은 16시간 하에서 활발했다. 엽병장, 엽수, 그리고 엽면적의 값은 8시간보다 16시간 하에서 더 컸다(Table 1). 단일 처리에서 엽병이 짧고 잎이 촘촘한 생육을 보인 반면 장일에서는 엽병이 길어지고 서로 많이 벌어진 형태의 생육을 보였다. 로제트형 식물이거나 절간장이 신장하는 식물 모두 줄기 신장률은 세포분열의 증가와 줄기 정단부 아래 부분의 분열면의 변화에 의해 좌우된다는 것이 Sachs(1956)에 의해 보고되었다. *Vaccinium darrowi*와 *V. corymbosum*의 줄기 신장률은 일장을 처리 기간동안 장일성 품종에서 가장 컸는데, 처리가 끝나고 난 후에는 이전의 일장 처리에 관계없이 모두 같은 신장률을 보였다(Spann, 2003). 대부분의 식물들은 장일조건 하에서 활성 GA의 생합성 증가와 더불어 줄기 신장이 증가한다. 장일 조건하에서 시클라멘의 엽병장의 신장은 GA 함량의 증가에 따른 결과일 것이다.

장일에서 엽면적 향상에 높은 유의차를 보였고, 이것은 PPF가 50에서부터 300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 까지 증가함에 따라 더 크게 영향을 미친다(Table 1). 스테비아의 엽면적은 단일에 비해 장일에서 상대적으로 증가시키는 것으로 보였다(Metivier and Viana, 1979). 엽수는 단일 하에서보다 장일 하에서 더 빨리 증가되었다(Fig. 1). 시클라멘은 첫 번째 화아가 유도될 때까지 영양 생장을 유지하며, 보통 5~6번째, 때때로 7~8번째 잎의 화아가 맺히기 때문에 시클라멘 잎의 생장은 화아 분화에 매우 중요하다(Widmer and Lyon, 1985).

개화는 단일과 장일 모두에서 일어나며 꽃의 수와 엽병의 길이는 일장에 의해 영향을 받는다(Table 2, Fig. 3). 하지만 화색은 일장 간에 영향이 없었다(data not shown). 시클라멘의 생육 단계는 식물 크기의 증가 단계와 이후의 개화 단계로 나눌 수 있다. 구근 베고니아는 엽액에서 꽃이 형성되기 때문에 개화는 잎의 발육에 의존한다(Heide and Runger, 1985). 베고니아 개화의 시작은 단일과 장일에서 모두 일어났다(Heide and Runger, 1985; Kaczperski et al., 1989).

Table 1. Petiole length, number of leaves, and leaf area per plant in *Cyclamen persicum* 'Metis Scarlet Red' grown under different daylengths and PPF levels for 16 weeks.

Daylength (h)	PPF ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Petiole length (cm)	No. of leaves	Leaf area (cm^2)
8	50	6.33 e ^z	8.67 e	136.67 d
	100	5.67 f	11.00 de	188.00 d
	150	8.33 de	19.00 bc	331.67 c
	200	11.67 ab	15.33 cd	403.33 bc
	300	10.33 bcd	15.67 cd	433.67 bc
16	50	11.00 abc	13.33 cde	322.00 c
	100	11.67 ab	17.67 bc	343.67 c
	150	12.33 ab	22.00 b	492.00 b
	200	12.67 a	28.00 a	764.33 a
	300	9.00 cd	29.00 a	718.33 a
Significance ^y				
Daylength		***	***	***
PPF		***	***	***
Daylength × PPF		***	*	*

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

^y*,*** Significant at $P=0.05$ and 0.001 , respectively.

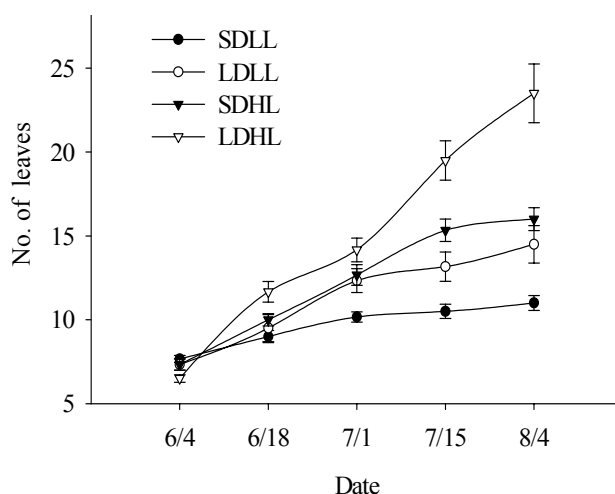


Fig. 2. Changes in the number of leaves per plant in *Cyclamen persicum* 'Metis Scarlet Red' grown under different daylengths and PPF levels for 10 weeks. SDLL, short day and $50 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ LDLL, long day and $50 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ SDHL, short day and $300 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ LDHL, long day and $300 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

시클라멘은 보통 잎 아래에 괴경을 가진다. 봄에 개화하는 많은 구근식물들처럼 시클라멘은 휴면 기간을 위하여 양분을 저장한다. 괴경은 휴면기 동안 스스로 버티기 위해 전분과 탄수화물을 저장한다. 자생지에서 이것은 건기를 거치고 정원에서 내한성을 가지고 어떻게 성공적으로 성장하는지에 관련된 주된 실마리이다. 이 괴경 크기와 생체중과 건물중은 단일 하에서보다 장일에서 더 무거웠다(Tables 3, 4, Figs. 4, 5, 6, 7). 감자의 괴경은 일장에 의해 강하게 영향을 받는데 단일은 괴경 형성을 향상시킨다. 하지만 다른 종들에 있어서 일장에 대한 괴경 형성이나 비대에 대한 반응의 강도는 다르다(Ewing, 1995).

장일처리는 시클라멘의 개화를 촉진하였다. 장일조건 하에서 식물 생육은 단일조건보다 광도에 따라 4~42일까지 빨랐다(Table 5). 낮은 PPF($50 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)는 장일조건에서 화아 형성을 지연시켰고, 단일 조건에서는 화아를 퇴화되었다(data not shown). Piringer와 Cathey (1960), 그리고 Adams et al.(1999)에 의하면 개화 소요 일수는 장일에 의해 짧아진다고 하였다. 페튜니아에서 일장이 14시간보다 길 때 개화소요일수는 짧아졌고, 그 효과는 ‘Garden Party White’ 품종에서 더 잘 나타나 약 40일까지 감소했다. 단일 하에서 개화가 지연되거나 개화하지 않는 주된 이유는 화아의 퇴화였다. 모든 식물에서 화아는 생겨났지만 단일 하에서 발달이 억제되었다(Shimai, 2001).

몇몇 식물은 일장에 절대적(질적)으로 반응하는데, 이것은 특정 일장에 노출되어야만 식물체가 개화하는 것을 뜻한다. 대부분의 종은 일장에 상대적(양적)으로 반응하며 식물체는 특정 일장에 노출된다면 더 빨리 개화할 것이다. 예를 들어 양적 장일식물(팬지 등)은 장일 하에서 더 빠르게 개화하고 단일 하에서는 개화가 지연된다(Runkle, 2001).

루피너스는 양적(상대적) 장일 식물로서 장일 조건(16시간)이 8, 12시간보다 더 빨리 개화시켰다(Cavins and Dole, 2001). 본 실험에서 시클라멘은 8시간보다 16시간 일장 하에서 더 빨리 개화하였는데(Table 5), 이는 시클라멘은 양적 장일 식물일 수 있다는 가능성을 보여 준다.

시클라멘 생육과 개화는 PPF에 의해 큰 영향을 받았다. 200과 $300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 높은 PPF에서는 다른 낮은 PPF보다 더 좋은 성장을 보였다. 엽병은 $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 도장을 했다. 화관 길이는 $300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 하에서 가장 길었다(Table 2). PPF가 증가함에 따라 ‘Bright Golden Anne’ 국화(Karlsson et al., 1989)와 ‘Grape cooler’ 빈카(Pietsch et al., 1995)의 꽃 크기는 증가되었다. 엽수와 엽면적은 200과 $300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 더 높게 측정되었지만 PPF 간에 다른 유의차는 없었다(Table 1, Fig. 2).

Table 2. Peduncle length, petal length and tuber height in *Cyclamen persicum* ‘Metis Scarlet Red’ grown under different daylengths and PPF levels for 16 weeks.

Daylength (h)	PPF ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Peduncle length (cm)	Petal length (cm)	Tuber height (mm)
8	50	0.00 g ^z	0.00 d	9.73 e
	100	9.33 f	3.20 c	10.43 e
	150	11.33 e	3.38 bc	11.32 de
	200	14.33 cd	3.30 bc	17.64 ab
	300	14.00 d	3.56 ab	14.12 c
16	50	0.00 g	0.00 d	12.47 cd
	100	16.67 a	3.49 abc	13.06 c
	150	16.00 ab	3.52 ab	17.42 b
	200	15.33 bc	3.27 bc	17.64 ab
	300	15.00 bcd	3.74 a	19.08 a
Significance ^y				
Daylength		***	*	***
PPF		***	***	***
Daylength \times PPF		***	**	*

^zMean separation within columns by Duncan’s multiple range test at $P=0.05$.

^y*,**,*** Significant at $P=0.05$, 0.01, and 0.001, respectively.

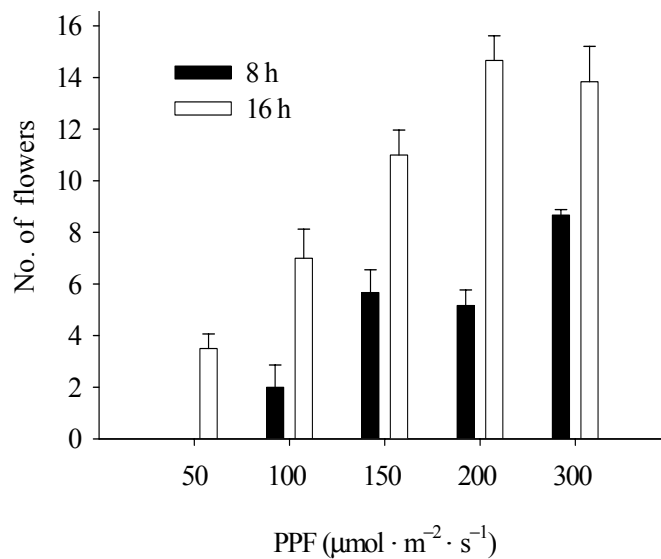


Fig. 3. Number of flowers per plant in *Cyclamen persicum* ‘Metis Scarlet Red’ grown under different daylengths and PPF levels for 16 weeks.

Table 3. Fresh weight of each organ in *Cyclamen persicum* ‘Metis Scarlet Red’ grown under different daylengths and PPF levels for 16 weeks.

Daylength (h)	PPF ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Fresh weight (g/plant)					
		Leaf	Petiole	Flower	Peduncle	Tuber	Root
8	50	5.74 g ^z	2.36 f	0.00 e	0.00 g	1.20 d	0.18 e
	100	8.38 fg	2.82 f	0.24 e	0.46 g	1.52 cd	0.30 e
	150	15.44 de	7.45 de	1.47 d	4.33 f	2.16 cd	1.87 de
	200	17.88 cd	11.24 cd	1.94 d	6.45 ef	3.67 bcd	1.65 de
	300	20.88 bc	9.73 cde	1.97 d	6.32 ef	4.37 bc	1.46 de
16	50	11.67 ef	6.92 e	0.21 e	0.94 g	2.26 cd	0.77 de
	100	13.45 de	6.80 e	2.56 cd	7.72 de	4.01 bcd	1.34 de
	150	21.32 bc	11.48 cd	3.67 bc	10.07 cd	10.24 a	5.97 b
	200	33.17 a	24.23 a	3.61 bc	13.02 b	12.32 a	8.17 a
	300	33.03 a	18.13 b	7.44 a	18.73 a	11.38 a	8.02 a
Significance ^y							
Daylength		***	***	***	***	***	***
PPF		***	***	***	***	***	***
Daylength \times PPF		*	*	***	***	**	***

^zMean separation within columns by Duncan’s multiple range test at $P=0.05$.

^y*,**,*** Significant at $P=0.05$, 0.01, and 0.001, respectively.

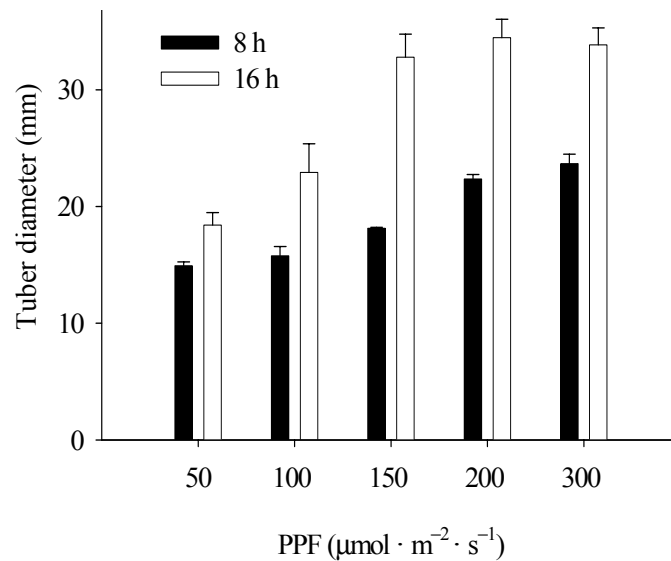


Fig. 4. Tuber diameter in *Cyclamen persicum* ‘Metis Scarlet Red’ grown under different daylengths and PPF levels for 16 weeks.

Table 4. Dry weight of each organ in *Cyclamen persicum* 'Metis Scarlet Red' grown under different daylengths and PPF levels for 16 weeks.

Daylength (h)	PPF ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Dry weight (g/plant)					
		Leaf	Petiole	Flower	Peduncle	Tuber	Root
8	50	0.42 h ^z	0.15 f	0.00 e	0.00 f	0.11 c	0.18 ef
	100	0.62 gh	0.19 ef	0.03 e	0.03 f	0.11 c	0.27 cde
	150	1.26 ef	0.48 de	0.19 d	0.29 e	0.22 c	0.31 cde
	200	1.58 de	0.69 cd	0.24 d	0.38 e	0.49 bc	0.29 cde
	300	1.94 cd	0.68 cd	0.26 d	0.42 de	0.47 bc	0.32 cd
16	50	0.89 fg	0.42 def	0.03 e	0.05 f	0.26 bc	0.18 ef
	100	1.11 ef	0.44 def	0.28 cd	0.46 de	0.41 bc	0.27 cde
	150	2.22 bc	0.97 c	0.49 b	0.88 c	1.84 a	0.58 b
	200	3.66 a	1.98 a	0.50 b	1.09 b	2.19 a	0.84 a
	300	3.49 a	1.46 b	0.96 a	1.61 a	1.77 a	0.84 a
Significance ^y							
Daylength		***	***	***	***	***	***
PPF		***	***	***	***	***	***
Daylength \times PPF		**	**	***	***	**	***

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

^y**,*** Significant at $P=0.01$ and 0.001 , respectively.

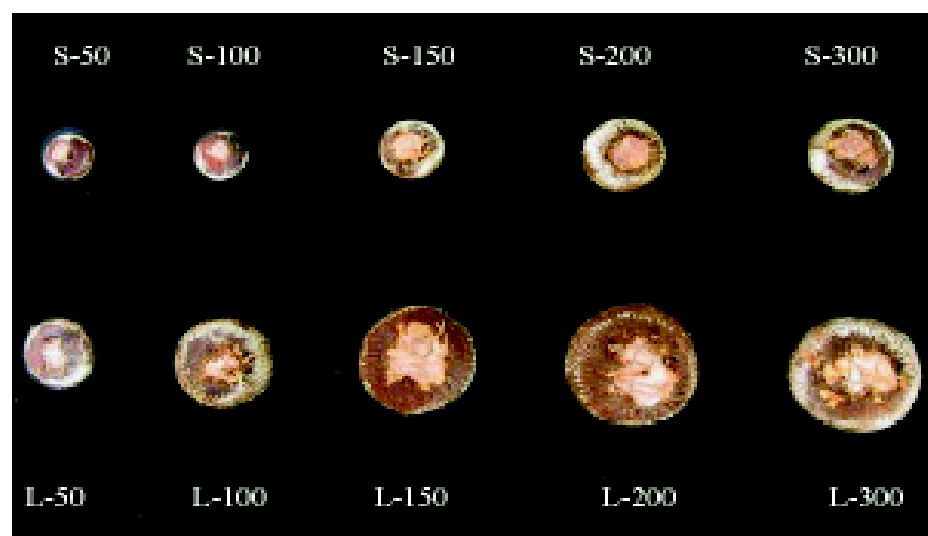


Fig. 5. Tuber size in *Cyclamen persicum* 'Metis Scarlet Red' grown under different daylengths and PPF levels for 16 weeks. S, SD; L, LD; 50, 100, 150, 200, and 300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

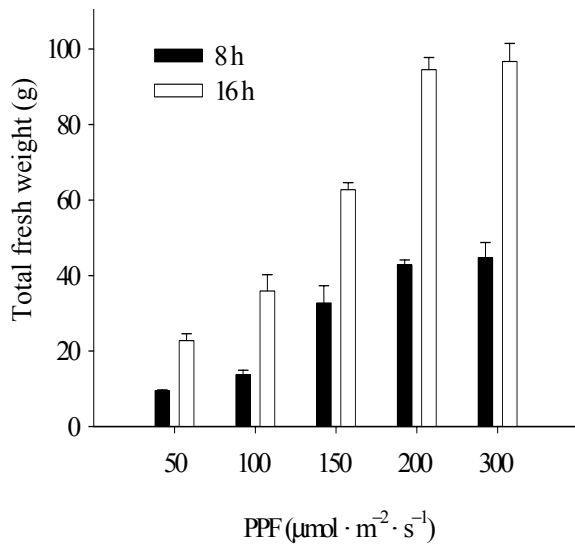


Fig. 6. Total fresh weight per plant in *Cyclamen persicum* 'Metis Scarlet Red' grown under different daylengths and PPF levels for 16 weeks.

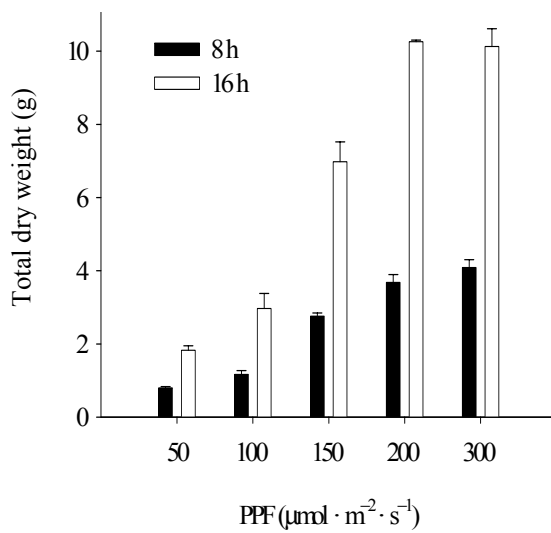


Fig. 7. Total dry weight per plant in *Cyclamen persicum* 'Metis Scarlet Red' grown under different daylengths and PPF levels for 16 weeks.

Table 5. Days to flower (from transplanting to flowering) in *Cyclamen persicum* 'Metis Scarlet Red' grown under different daylengths and PPF levels for the whole period.

Daylength (h)	PPF ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Days to flower
8	50	133.33 d ^z
	100	114.67 c
	150	86.00 ab
	200	84.67 ab
	300	87.00 b
16	50	91.00 b
	100	82.00 ab
	150	82.67 ab
	200	80.00 ab
	300	75.33 a
Significance ^y		
Daylength		***
PPF		***
Daylength × PPF		***

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

^y***Significant at $P=0.001$.

높은 PPF 하에서 꽃수는 증가했고 개화 소요 일수는 감소했다. 단일 조건 하에서, $300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 는 $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 보다 46일 개화를 앞당겼다. *Antirrhinum majus*에서도 광도의 증가에 따라 개화 소요 일수가 감소했다(Muhammad et al., 2004). Kaczperski et al.(1991)는 낮은 광도 하에서의 개화 소요 일수가 증가했다는 것을 발견했다. 또한 Cremer et al.(1998)는 광도가 증가함에 따라 개화 전 발달하는 엽수가 감소한다는 결과를 보고했다. 광도(PPF)와 화색 사이에 유의차는 없었다(data not shown).

괴경의 생체중과 건물중은 낮은 PPF(LL)보다 높은 PPF(HL)하에서 더 증가하였다 (Tables 3, 4, Figs. 4, 5). 따라서 총건물중은 LL에서보다 HL 하에서 더 컸다(Figs. 6, 7). 이것은 *Zantedeschia*의 괴경 크기가 낮은 광도 하에서 심하게 작았다는 결과(Warrington, 1988)와 유사하다.

금어초에 있어서, 높은 광도는 초기 단계부터 광합성 속도를 높게 유지시키고, 가지와 잎을 많이 발달시키며, 결국 개화를 앞당겼다. 반면 낮은 광도는 개화를 약 30일정도 지연시켰다. 대부분의 화훼 생산자들은 최단 시간에 품질 좋고 개화된 화훼류를 생산하고 싶어 한다. 이 경우, 최선의 방법은 차광을 하지 않는 것이며 95일 내에 화아는 가장 많이 가지고 있으며 가장 컴팩트한 식물을 생산할 수 있었다. Cremer et al.(1998)는 두 개의 *Antirrhinum* 품종에서 유사한 결과를 관찰했다. 광도를

높이는 것은 생육에 필요한 탄수화물을 생산하는 광합성을 증가시켰다(Kinet et al., 1985). 보광은 개화 소요 일수를 감소시켰고 이는 제라늄(Armitage and Tsujita, 1979; Armitage and Wetzstein, 1984; Carpenter and Rodriguez, 1971; Quatchak et al., 1986)과 장미(Tsujita, 1987)에서 얻은 결과와 유사하다.

강광($300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 하에서 자란 잎들은 약광($200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)보다 엷색이 더 짙고 무늬가 더 뚜렷하여 관상 가치가 높았다(Fig. 8). *Zantedeschia* 화포의 색은 높은 광도에서 더 짙었다(Warrington and Stanley, 1988). 또한 강광에서는 표피 조직과 책상 조직이 발달하면서 잎이 더 두꺼워졌다(Fig. 9). 잎은 높은 광도에 노출되었을 때 책상 조직의 세포층 수가 증가하여 유조직을 두껍게 하였다(Kubínová, 1991). 따라서 광도가 증가하면서 잎이 두꺼지는 현상은 잎의 구조적인 변화와 관련이 있고 이것은 광합성률을 변화시켰다(Strauss-Debenedetti and Berlyn, 1994).

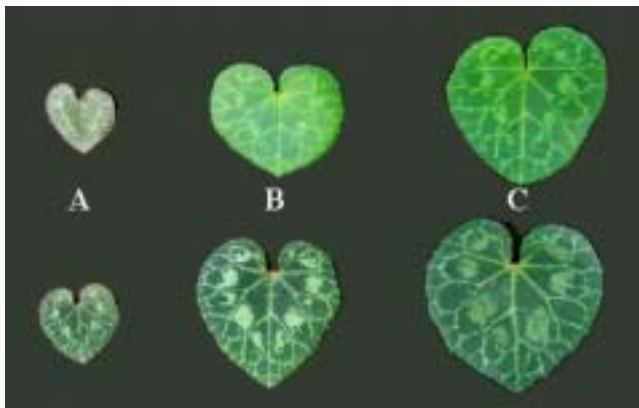


Fig. 8. Comparison between leaves in *Cyclamen persicum* 'Metis Scarlet Red' grown under LL ($50 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) (Upper) and HL ($300 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) (Lower). A, young leaves; B, medium leaves; C, old leaves.

나. DLI에 대한 생육과 개화 반응

시클라멘의 개화와 생육은 일장, PPF, 그리고 DLI의 영향을 크게 받았다. 특히 엷병장과 화병장, 꽃수와 개화 소요 일수는 DLI와 높은 상호 관계를 보여주었다(Tables 2, 5, Figs 3, 11). 하지만 화색에 있어서는 DLI가 영향을 주지 않았다(data not shown). Niu et al.(2001)은 *Campanula carpatocain*에서 DLI가 높아질수록 측아의 발달이 좋아진다는 것을 보여 주었다. 미니장미에서도 꽃과 화아의 수는 DLI가 증가하면서 늘어났다(Mortensen and Moe, 1995).

게다가 꽃과 화경, 뿌리의 건물중과 생체중은 DLI의 영향을 크게 받았다(Tables 3, 4). DLI가 4.2부터 $10.8 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 까지 증가함에 따라 *Campanula carpatocain*의 첫번째 꽃이 개화했을 때 건물중과 꽃수는 증가했다(Niu et al., 2001).

DLI 수준이 1.44부터 $17.28 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 까지 증가함에 따라 꽃수는 간단한 회귀식 [$y = 0.65 + 0.94x$ ($R^2 = 0.85$)]에 따라 증가했다(Fig. 12A). 그리고 개화소요일수는

133일에서 75일로 감소했다. 개화시간은 ‘Snow Cloud’ 페튜니아에서 6.5부터 13 mol · m⁻² · d⁻¹까지 DLI가 증가함에 따라 3주 이상 개화가 빨라졌다(Kaczperski et al., 1991). *Pelargonium* × *domesticum* ‘Duchess’에서 4가지 DLI 중 3가지(5, 15, 20 mol · m⁻² · d⁻¹)에서 200~250mol·m⁻²의 광이 누적되었을 때 영양 생장 단계에서 생식 생장 단계로 전환되는 것을 관찰했다.

화아 유도 소요 일수는 DLI가 증가함에 따라 감소했는데, 식물체가 화아 분화하기까지 20 mol · m⁻² · d⁻¹에서 12.5일, 5 mol·m⁻²·d⁻¹에서 40일이 필요했다. 이것은 Loehrlein 과 Craig (2004)의 보고에서도 알 수 있었다. 팬지에 있어서 꽃의 발달 속도나 크기가 DLI의 증가(4.1~10.6 mol·m⁻²·d⁻¹)에 따라 증가하는 것을 볼 수 있었다(Niu et al., 2000).

순광합성률은 3가지 DLI단계인 1.44 (LDLI), 8.64 (MDLI), and 17.28 mmol · m⁻² · d⁻¹(HDLI) 하에서 완전히 전개된 잎에서 측정되었다. 순광합성률은 HDLI 하에서 생장한 잎에서 가장 높게 나타났으며, 모든 DLI 수준에서 약 300 mmol · m⁻² · s⁻¹의 광도가 광합성을 가장 높게 하였다(Fig. 13). 보통 식물의 건물중은 광도가 높아짐에 따라 증가한다. 하지만 식물체가 이용할 수 있는 최대 광도는 존재한다. 더욱이 이러한 최대광도 이상으로 광도가 증가하게 되면 광합성과 식물의 건물 축적도 증가하지 않게 된다(Erwin, 2003).

엽록소의 최대 함량은 MDLI 하에서 관찰되었다(Table 6). 엽록소 a, b 및 총 엽록소 함량은 DLI가 높아질수록 약간 증가하는 경향을 보였다. 엽록소 a/b비와 카로티노이드 함량은 높은 HDLI에서 더 높았다(Table 6). 왜성 버뮤다잔디의 지상부 엽록소 함량은 무차광구(41.6 μmol · m⁻² · s⁻¹)에서 32.9 mmol · m⁻² · s⁻¹ 이하의 차광구보다 더 높았다(Bunnell, 2004). 그러나 내음성 식물들은 차광 조건에서 호광성 식물들보다 엽록소 함량이 증가하였고, 저광도에 적응하기 위해 엽록체를 재배열하였다(Boardman, 1977; Coallard et al., 1977). 왁스베고니아의 엽록소 함량도 DLI가 증가하면서 감소하였다(Nemali and van Iersel, 2004).

괴경의 직경, 총 생체중 및 건물중은 DLI에 정비례하였다(Figs. 12B, C, D). 이것은 셀비아, 맨드라미, 매리골드, 그리고 임파첸스의 건물중이 DLI가 증가함에 따라서 증가했다는 Pramuk와 Runkle(2003)의 결과와 유사하였다. 왁스베고니아에서도 총건물중과 엽면적이 DLI의 증가에 따라 증가되었다(Nemali and van Iersel, 2004).

결론적으로 일장, 광도(PPF), 그리고 일적산광량(DLI)은 *Cyclamen persicum* ‘Metis Scarlet Red’의 생육 속도, 건물중, 화수, 개화소요일수를 조절하는 데 효과적이었다(Fig. 14). 본 실험에서 시클라멘은 8시간보다 16시간 일장에서 더 빨리 개화했다(Table 3). 또한 같은 DLI에서 더 긴 일장일 때 개화가 빨랐고 꽃의 수도 증가했다. 따라서, ‘Metis Scarlet Red’ 시클라멘은 양적 장일 식물의 가능성이 높다는 결론을 내릴 수 있다.

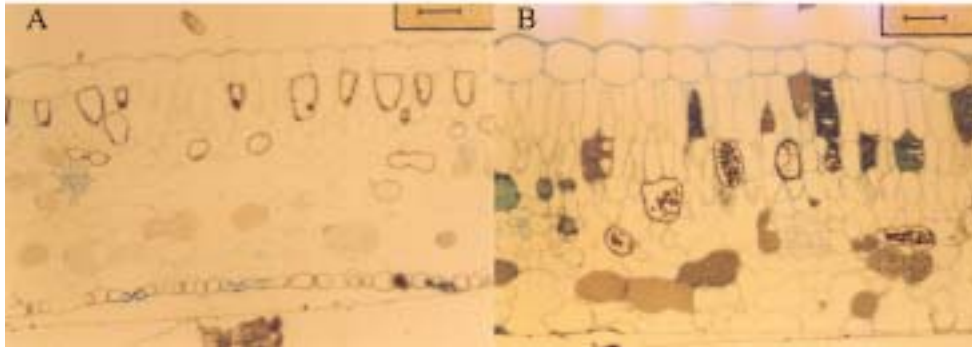


Fig. 9. Anatomical section of leaves in *Cyclamen persicum* 'Metis Scarlet Red' grown under (A) 50 and (B) 300 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Scale bars represent 50 μm .

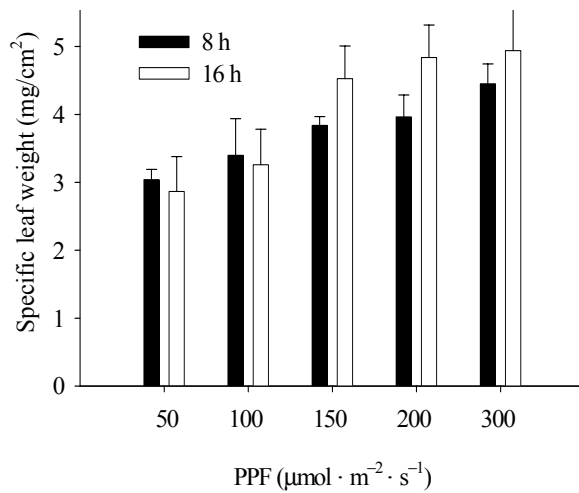


Fig. 10. Specific leaf weight in *Cyclamen persicum* 'Metis Scarlet Red' grown under different daylengths and PPF levels for 16 weeks.

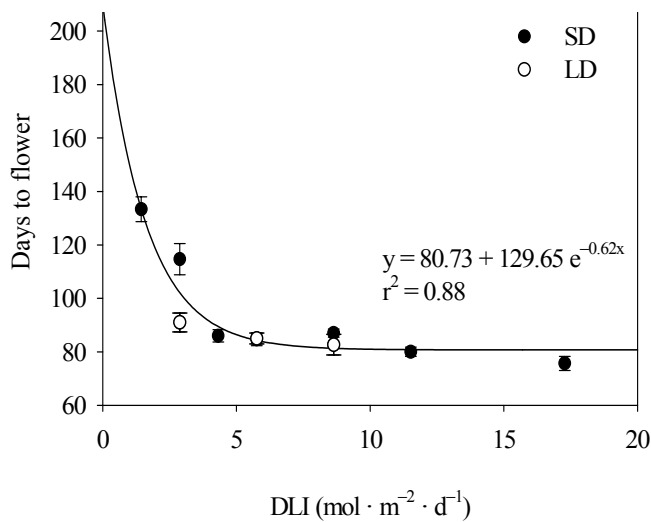


Fig. 11. Relationship between the number of flowers and DLI levels in *Cyclamen persicum* at 16 weeks after treatments. The mean DLI levels were 1.44 (LDLI), 2.88 (two ways), 4.32, 5.76 (two ways), 8.64 (two ways, MDLI), 11.52, and 17.28 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ (HDLI), respectively.

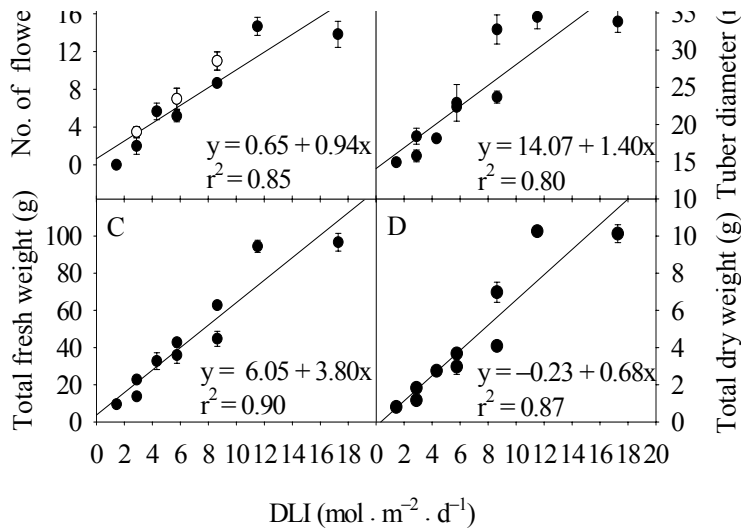


Fig. 12. Relationship between characteristics of plant and DLI levels in *Cyclamen persicum* ‘Metis Scarlet Red’ at 16 weeks after treatments. The mean DLI levels were 1.44 (LDLI), 2.88 (two daylengths), 4.32, 5.76 (two daylengths), 8.64 (two daylengths, MDLI), 11.52, and 17.28 mol · m⁻² · d⁻¹ (HDLI), respectively.

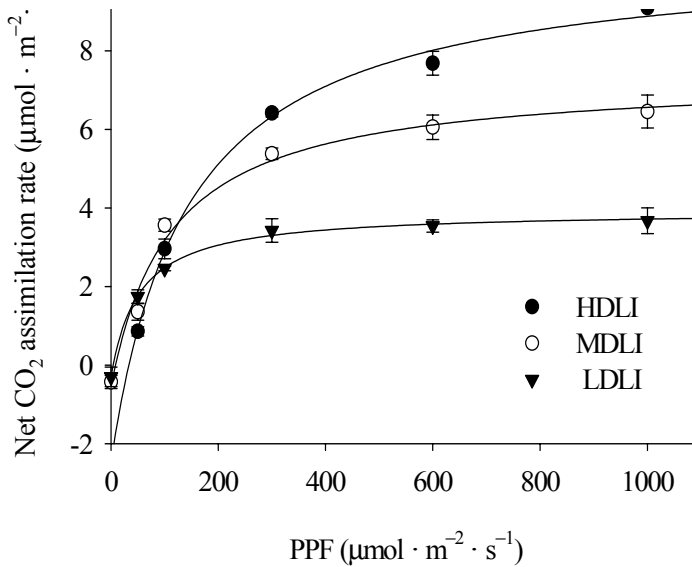


Fig. 13. Net CO₂ assimilation on rate in response to three DLI levels in the leaves of *Cyclamen persicum* ‘Metis Scarlet Red’ (HDLI: LD and 300 µmol · m⁻² · s⁻¹, MDLI: SD and 300 µmol · m⁻² · s⁻¹, LDLI: SD and 50 µmol · m⁻² · s⁻¹).

Table 6. Chlorophyll contents in *Cyclamen persicum* ‘Metis Scarlet Red’ grown under the three DLI levels for 16 weeks.

DLI ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	Contents ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ fresh weight Contents)				Chl.a/b ratio
	Carotenoid ^z	Chl. a	Chl. b	Total Chl.	
LDLI (1.44)	1.02 b ^y	4.35 b	1.85 b	6.20 b	2.35 b
MDLI (8.64)	1.14 b	5.86 a	2.20 a	8.06 a	2.65 ab
HDLI (17.28)	1.63 a	3.71 b	1.28 c	4.99 b	2.92 a

^zMeasured with the third of fourth fully expanded leaf from the apex.

^yMean separation within columns by Duncan’s multiple range test at $P=0.05$.



Fig. 14. *Cyclamen persicum* ‘Metis Scarlet Red’ grown under different daylengths and PPF levels for 16 weeks. S, SD; L, LD; 50, 100, 150, 200, 300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

제2절 장일 처리를 통한 시클라멘의 개화 촉진 기술 개발

1. 요약

생육단계[Stage I: 화아 개시(5-6매 ~ 2 mm의 화아(VB) Stage II: 화아 발달(화아가 보이고 난 후 첫 개화까지)]에 대한 온도와 일장에 대한 시클라멘(*Cyclamen persicum* cv. *Metis Purple*)의 개화 반응을 알아보고자 첫 번째 실험을 수행하였다. 이를 위해 Stage I과 II에 해당하는 시클라멘을 향온 8, 12, 16, 20°C로 유지되는 생장상에서 각각 단일(8 h) 또는 장일(16 h) 조건에 노출시켰다. Stage I에서 화아 개시 소요일수가 12°C에 비해 16, 20°C에서 각각 8, 13일 앞당겨졌다. 12°C의 단일과 8°C의 장, 단일에서는 화아가 개시되지 않았다. Stage II에서 장일과 온도가 높을수록 개화가 촉진됐다. 개화소요일수는 20°C의 단일과 16°C의 장일간, 그리고 16°C의 단일과 12°C의 장일 간에 차이가 없었다. 높은 광합성 유효 광량자속(PPF)의 형광등으로 일장을 늘렸을 때 저온에서도 개화를 앞당길 수 있었지만 비용이 많이 든다. 두 번째 실험은 낮은 PPF의 백열등을 사용한 야파(NI) 처리가 'Metis Purple Frame' 시클라멘의 개화에 미치는 영향을 알고자 수행하였다. 5-6매의 잎이 전개된 시클라멘을 향온 16, 20°C로 유지되는 생장상에서 8, 12, 16 h(형광등), 8 h(형광등) + 4 h(백열등, 암기중간)의 네 가지 일장처리에 노출시켰다. 야파 처리는 16, 20°C에서 모두 8 h보다 화아 개시와 발달이 촉진시켰고 그 효과는 12 h와 비슷했다. 20°C의 8 h와 16°C의 야파 처리에서 화아 개시와 발달이 비슷했으며, 이는 야파 처리가 난방을 대체할 수 있다는 가능성을 보여주는 것이었다.

2. 생육단계에 따른 명기 연장의 개화 촉진 효과

가. 서론

시클라멘 생육 전반에 걸친 적정 온도는 20°C 전후이다(Gerritsen, 1998; Karlsson, 1997; Widmer, 1992). 이보다 낮은 온도에서 재배할 때에는 꽃의 출하시기가 늦어진다. 그렇기 때문에 우리나라 농가에서는 겨울철 시클라멘을 재배할 때에 야온을 18-20°C로 비교적 높게 유지하고 있다. 겨울철에 생육적정 온도를 맞추기 위해선 농가에서는 난방비의 부담이 클 수밖에 없으며 고유가가 계속되는 국제 추세를 보더라도 난방비를 적게 들이면서 꽃의 출하시기를 앞당기는 기술 개발이 필요하다.

시클라멘은 일장에 관계없이 개화하는 중성식물로 알려져 있다(Thomas와 Vince-Prue, 1997; Post, 1949). 즉 어느 정도 잎이 분화되면 여섯 번째 엽액에서 꽃눈이 분화되며, 이때 분화 속도나 꽃수는 온도에 크게 영향을 받는다(Widmer and Lyons, 1985). 그러나 이전 연구를 살펴볼 때 광도, 광질, 일장 등 광환경이 시클라멘의 영양 및 생식 생장에 영향을 미친다는 보고들이 있다(Neuray, 1973; Widmer와 Lyons, 1985; Heo 등, 2003). 그리고 시클라멘이 양적 장일 식물의 특성을 어느 정도 가지고 있다는 최근 보고도 있다(Cheon, 2005).

본 연구에서는 F1 미니시클라멘에 있어서 생육단계에 따른 장일처리(명기 연장)가 생육 및 개화에 미치는 영향을 알아보기 위해 수행하였다.

나. 재료 및 방법

과종 후 16주째 전개엽이 5-6매로 균일한 F1 'Metis Purple'을 한미프리그로부터 받아 사용했다. 17주째에 7 cm 지름의 플라스틱 화분에 정식했으며, 이때 배지 조성은 피트모스 대 펄라이트 비율을 7:3으로 했다. 관수 방법은 저면관수법이며 양액은 Technigro' 20-9-20 Plus와 Technigro' 15-0-15 Plus(Sun-Gro Horticulture, Bellevue, WA)를 격일로 번갈아 가며 관수했다. EC는 1.0 dS/m로 유지했다.

일장의 처리 시기는 생육 단계에 따라 나누었다. Stage I은 화아분화기로 5-6매의 잎이 전개될 때부터 첫째 화아가 보일 때까지이며, Stage II는 화아발달기로 화아가 보인 후 9주까지이다. Stage I과 II에 해당하는 시클라멘을 8, 12, 16, 20°C(항온)으로 유지되는 생육상에 장일(16시간) 및 단일(8시간) 처리했다. 일장 처리에서 광원은 형광등(F36BX/865, General Electric Co., Ltd., Seoul, Korea)을 사용했으며 광도는 식물체 잎 높이에서 $170 \pm 20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 유지했다. 처리가 끝나게 되면 모든 식물체를 주야간 $22 \pm 2/16 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지되는 생육상으로 옮겼으며 첫 개화할 때까지 유지하였다. 이때의 광도는 $190 \pm 10 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (FL20EX-D, Wooree Lighting Co., Ltd., Seoul, Korea)로 유지했다.

첫 화아가 육안으로 보이는 시기와 첫 개화 시기를 측정했으며 첫 개화 시의 엽수와 건물중(80°C에서 3일 건조)을 측정했다. 처리 후 13주가 지나도 화아가 보이지 않는 개체는 꽃이 피지 않는 것으로 간주해 폐기했다.



Fig. 1. The growth chamber used in this experiment.

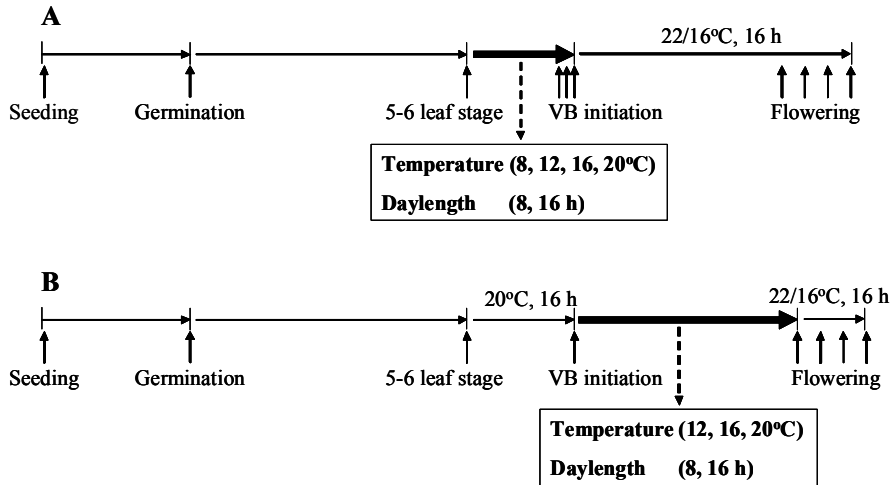


Fig. 2. Temperature and photoperiod applied during growth stage I (A) and stage II (B).

다. 결과 및 고찰

Stage I에서는 온도가 높을수록, 그리고 장일 조건에서 화아 분화가 촉진됐다(Fig. 1). 같은 일장 조건 내에서는 온도가 높을수록 화아 개시 소요 일수(days to visible bud)가 줄어들었다. 장일 처리가 단일에 비해 20°C에서는 8일 앞당기고 16°C에서는 6일 정도 앞당겼다. 20°C, 단일과 16°C, 장일을 비교해 보았을 때, 16°C 장일이 4일 정도 더 빨리 화아가 보인 것으로 보아 장일 처리가 4°C의 가온을 대체 할 수 있는 가능성을 얻었다. 12°C의 장일과 16°C의 단일에서 화아 개시 소요 일수에서 통계적인 유의차가 없었다.

12°C의 단일과 8°C의 장일 및 단일 조건에서는 모두 화아가 개시되지 않았는데 (Fig. 2), 이는 시클라멘이 15°C 단일 조건에서 화아가 퇴화하였다는 보고와 일치한다 (Widmer 등, 1974). 처리 3주후의 영양생장은 동일한 온도일 경우 장일 처리에서 더 좋았으며, 20°C 단일과 16°C 장일을 비교했을 때에는 큰 차이가 없었다(Fig. 3).

Stage II에서도 Stage I과 비슷한 경향을 보였다. 장일 처리는 단일 처리에 비해 20°C에서는 6일, 16°C에서는 7일 정도 개화시기를 앞당겼다(Fig. 4). 16°C 장일처리가 20°C 단일처리에 비해 5일 정도 개화가 빨랐다. 그리고 16°C의 단일과 12°C의 장일에서도 개화시기에는 통계적 유의차가 없었다. 정식 100일 후의 개화율을 살펴보면, 16°C 장일에서 86%가 개화했을 때 20°C 단일조건에서는 29%밖에 개화하지 않았다 (Fig. 5). 이러한 결과들은 생육적온보다 낮은 16°C를 유지하면서 장일처리를 했을 때 개화기를 오히려 앞당기는 효과가 있으며 비교적 싼 전기비로 비싼 난방 비용을 대체하는 가능성을 제시한다고 할 수 있다.

정식 90일 후 엽전개율은 온도와 일장에 따라 많은 차이를 보였다(Fig. 5). 첫 개화

시 엽수와 화아수에 있어서 온도 및 일장 처리의 효과가 크게 나타나지 않았다(Table 1). 이는 조사시기를 각 개체별 최초 개화일을 기준으로 했으며, 단일 저온 처리구의 개체들의 개화가 지연되면서 상대적으로 더 오랜 기간 동안 생육상에 있었기 때문으로 생각된다.

본 연구에서는 저온 단일기에 인공광원을 이용해 명기를 연장하는 것이 저온 관리 하면서도 개화의 지연을 막고 및 품질을 유지할 수 있다는 가능성을 제시하였다. 그러나 형광등을 사용한 명기 연장 시 고광도가 필요하기 때문에 설치, 유지 면에서 농가의 접근성이 떨어지는 단점이 있다. 그리고 명기연장의 개화 촉진은 고광도의 빛을 장일 처리가 상대적으로 많이 조사 받았기 때문에 순수한 일장효과라고 보기 어렵다. 따라서 설치 및 유지비가 싼 다른 광원을 이용한 장일 처리와 조명 시간을 줄일 수 있는 광중단에 대한 연구가 필요하다.

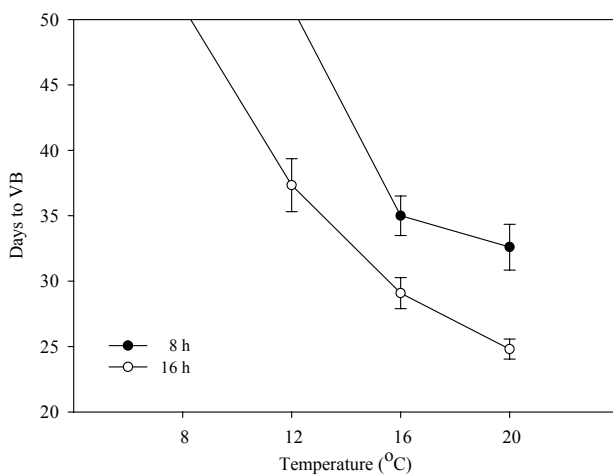


Fig. 1. Days to visible bud in *Cyclamen persicum* 'Metis Purple' grown under different temperatures and daylengths. Treatments began after transplanting and continued for plants reached flower initiation. Thereafter, each plant was grown at 22/16°C.



Fig. 2. *Cyclamen persicum* 'Metis Purple' grown under 8 h (A) and 16 h (B) at 12°C at 7 weeks after treatment. Treatments began after transplanting and continued for plants reached flower initiation. Thereafter, each plant was grown at 22/16°C.

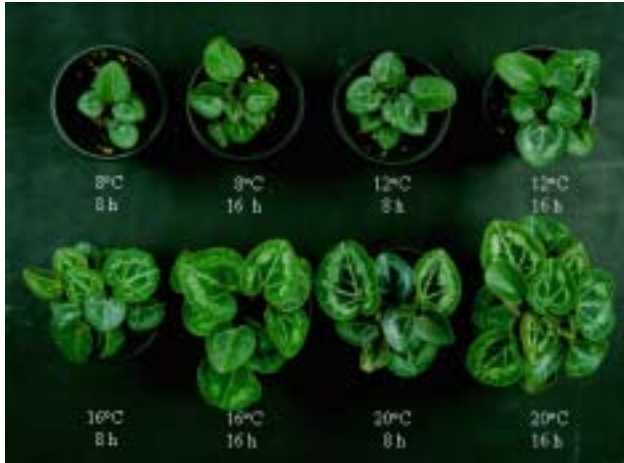


Fig. 3. *Cyclamen persicum* 'Metis Purple' grown under different temperatures and daylengths at 3 weeks after treatment. Treatments began after transplanting and continued for plants reached flower initiation. Thereafter, each plant was grown at 22/16°C.

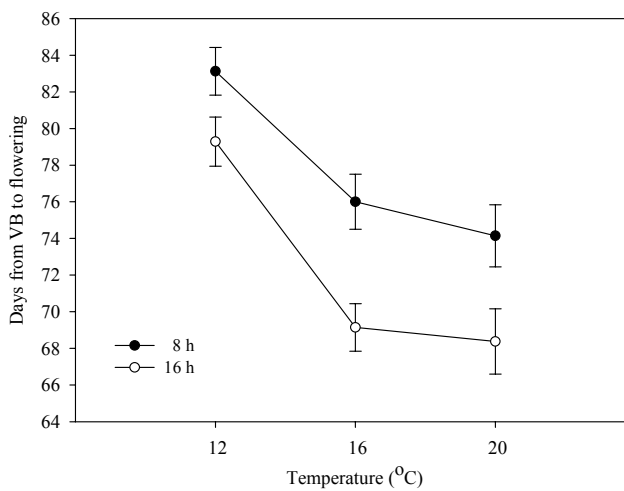


Fig. 4. Days from visible bud to flowering in *Cyclamen persicum* 'Metis Purple' grown under different temperatures and daylengths. Treatments began after plants reached flower initiation (4 weeks after transplanting) and continued for 9 weeks. After that, plants were grown at 22/16°C after 9 weeks.

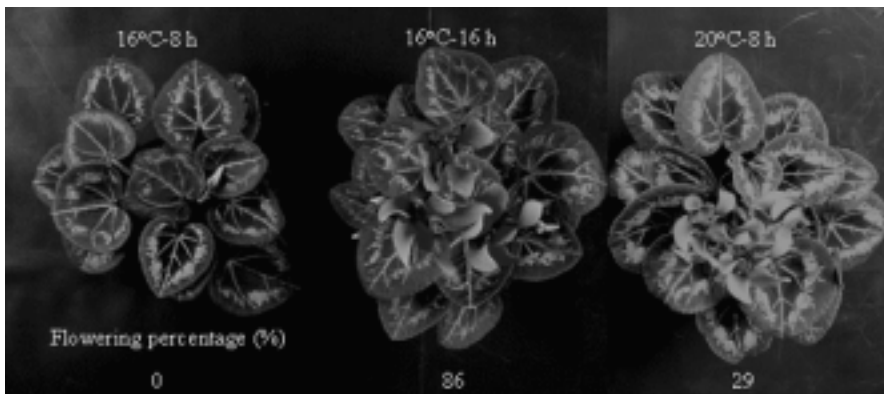


Fig. 5. *Cyclamen persicum* 'Metis Purple' grown under different temperatures and daylengths at 10 weeks after treatment. Treatments began after plants reached flower initiation and continued for 9 weeks. After that, all plants were grown at 22/16°C after 9 weeks.

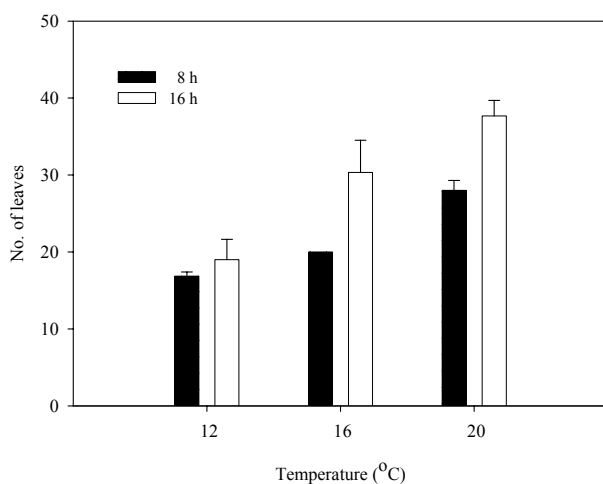


Fig. 6. Changes in the number of leaves per plant in *Cyclamen persicum* 'Metis Purple' grown under different temperatures and daylengths at 9 weeks after treatment. Treatments began after plants reached flower initiation (4 weeks after transplanting) and continued for 9 weeks.

Table 1. Number of leaves and visible buds per plant in *Cyclamen persicum* 'Metis Purple' grown under different temperatures and daylengths at the first open flower. Treatments began after plants reached flower initiation and continued for 9 weeks. After that, all plants were grown at 22/16°C after 9 weeks.

Temperature(°C)	Photoperiod (h)	No. of leaves	No. of flower buds
12	8	39.3 ab ^z	13.3 b
	16	28.6 b	17.0 b
16	8	29.0 b	14.7 b
	16	41.0 ab	19.3 b
20	8	39.0 ab	23.0 b
	16	47.3 a	40.7 a
Significance ^y			
Temperature		NS	**
Daylength		NS	NS
Temperature × Daylength		NS	*

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

^yNS, **Nonsignificant or significant at $P = 0.05$ or 0.01 , respectively.

2. 광중단 처리를 통한 개화 촉진 효과

가. 서론

시클라멘(*Cyclamen persicum*) 실생의 생육 및 개화 촉진은 위한 적온은 각각 18~20℃와 16-17℃로 알려져 왔다(Dole and Wilkins, 1999; Gerritsen, 1998; Karlsson, 1997; Widmer, 1992). 반면, Karlsson과 Werner (2001a, 2001b)는 엽전개와 개화가 20℃에서 가장 촉진되었다고 보고하였다. 우리나라의 시클라멘 재배농가에서도 작기를 단축하기 위해 겨울철 야온을 20℃ 정도로 유지하면서 개화를 촉진하고 있다. 그러나 최근 유가 상승으로 인해 난방을 위한 연료비의 부담이 가중되고 있는 실정이다. 따라서 개화나 품질에 영향을 주지 않으면서 에너지를 절감할 수 있는 재배 기술의 개발이 시급하다.

많은 문헌에서 시클라멘은 중성식물(day neutral plant)로 알려져 있다. 그래서 일장 조절을 통해 생장과 개화 양상을 변화시키기 위한 시도도 거의 없었다. Post(1949)와 Thomas와 Vince-Prue(1997)는 *C. persicum*을 중성식물로 분류하였다. 그러나 몇몇 연구자들은 일장, 광질, 광도 등 광환경이 시클라멘의 생육과 개화를 변화시킬 수 있다고 제안하였으며(Neuray, 1973; Widmer과 Lyons, 1985; Heo 등, 2003), 본 연구팀에서는 시클라멘이 양적 장일식물(quantitative long day plant)의 특징을 가지고 있다고 판단하였다(Cheon, 2005). *C. persicum*은 긴 세월동안 교배가 이루어져 왔기 때문에 빛에 대한 반응이 변화하였을 가능성도 높다(Widmer과 Lyons, 1985).

형광등을 통한 명기 연장(day extension)이 저온 하에서 시클라멘의 개화와 생육을 촉진하는 효과를 보였다. 하지만 설치, 유지비용이 높은 형광등은 실제 농가에 적용하기에 접근성이 떨어진다는 문제가 있기 때문에 개화를 촉진하기 위한 또 다른 종류의 장일 처리가 필요하다. 단일 조건에서 광중단(night interruption)은 장일식물의 개화를 촉진하고 단일식물의 개화는 억제한다. 일반적으로 광중단은 같은 광도와 시간의 명기연장보다 장일식물의 개화를 더 빠르게 할 수 있다(Thomas and Vince-Prue, 1997). 광중단은 보통 22:00~02:00까지 4시간 정도 처리하는 게 좋고(Mastalerz, 1977) 팬지(*Viola × wittrockiana*) 등 장일성 화단식물의 개화 촉진에 충분하다(2003).

시클라멘이 일장에 따라 개화가 달라지지 않는 중성 식물이라는 기존의 연구 때문에 야파처리를 통한 시클라멘의 개화 촉진 연구가 없었던 것으로 보인다. Cheon(2005)과 실험가의 결과를 통해 시클라멘이 양적 장일 식물이라는 가능성을 얻게 됐고 이를 검증하고 또한 경제성을 평가하고자 본 실험을 수행하였다.

본 연구는 저온 관리 조건에서 광중단 처리가 'Metis Purple Frame' 시클라멘의 개화에 미치는 영향을 구명하고, 난방 대체 방법으로 광중단을 평가하기 위해 실시되었다.

나. 재료 및 방법

파종 후 16주째 전개엽이 5-6매로 균일한 F1 'Metis Purple Frame' 시클라멘 묘를 (주)한미

프러그로부터 받아 사용했다. 파종 17주 후 7cm 지름의 플라스틱 화분에 정식했으며 이때 배지 조성과 정식 후 양액 관리는 실험 가와 동일하게 하였다.

정식 후 시클라멘을 16 및 20°C(항온)로 유지되는 생육상에 두고, 다양한 일장 처리를 하였다. 형광등(F36BX/865, General Electric Co., Ltd., Seoul, Korea)으로 8, 12, 16시간의 명기를 만들었으며, 명기 8시간에 백열등으로 암기 중간에 4시간 조사하는 광중단 처리를 추가하였다. 광도는 식물체 잎 높이에서 $170 \pm 20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 조절하였다. 광중단 처리에 사용된 백열등은 암기 중간에 식물체 잎 높이에서 $3 \sim 5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 유지했다.

실험 진행 중 개체 및 처리별 첫 화아 출현 시기 및 첫 개화 시기를 기록했으며, 처리 20주 후 엽수, 초장, 화아 및 꽃수, 건물중(80°C에서 3일 건조) 등을 측정했다. 육안으로 식별 가능한 화아(visible bud, VB)는 길이 2 mm의 이상을, 개화는 꽃잎이 뒤로 완전히 젖혀진 것을 기준으로 삼았으며, 초장은 배지에서 최고 높이의 잎까지 측정하였다. 자료 분석은 SAS(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)의 ANOVA 분석법과 일반 선형 모형(GLM) 방법을 이용하였으며 회귀분석은 Sigma Plot (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 실시하였다.

다. 결과 및 고찰

온도와 일장은 5~6매엽기부터 VB 출현기까지 발육 속도에 통계적으로 의미있는 영향을 주었다(Fig. 1). 온도 처리에 있어서, 20°C는 16°C에 비해 VB 출현을 일장에 따라 5.5~19.2일까지 앞당겼다. VB의 출현은 일장이 길어지면서 빨라졌다. 8시간 일장 처리와 비교했을 때, 광중단은 20°C에서 21일, 16°C에서 14일까지 화아 분화를 앞당겼다. 광중단의 화아 분화 촉진 효과는 12시간 일장처리와는 유사하였지만 16시간보다는 적었다.

온도와 일장은 개화를 촉진하는 데 있어서도 큰 효과가 있었다(Fig. 2). 개화소요일수는 일장이 길어지면서 감소하였는데, 20°C의 개화 촉진 효과는 화아 분화에서 보다 상대적으로 적었다. 광중단은 8시간 일장과 비교하여 개화 소요 일수를 16°C와 20°C에서 각각 22.2일, 28.6일씩 줄였다. 16°C에서 광중단과 12시간 일장 간에는 유의차가 거의 없었다. 20°C에서는 광중단이 16시간 일장만큼 개화를 촉진하였다. 이러한 결과들은 광중단을 포함한 장일처리가 시클라멘의 화아 분화 및 발달을 촉진하며, 'Metis Purple Frame' 시클라멘이 양적 단일식물일 수도 있다는 것을 의미한다.

본 연구에서 관찰한 일장에 대한 개화 반응은 시클라멘이 중성식물이라는 기존의 광주기 분류(Post, 1949 Thomas와 Vince-Prue, 1997)와 어긋난다. Post(1949)의 보고 이후 시클라멘의 재배 품종들은 교배에 의해 엄청나게 다른 유전적 변이를 갖게 되었을 지도 모르며, 빛에 대한 반응도 변화했을 수 있다(Widmer와 Lyons, 1985). 광중단은 12시간 일장과 유사한 개화 촉진 효과를 보였으나 16시간보다는 그 효과가 적었다. 팬지와 같은 양적 장일 식물에서는 9시간 일장에 백열등에 의한 4시간 광중단 처리는 16시간 일장과 같은 개화 촉진 효과를 보였다(Adams 등, 1997; Runkle과 Heins, 2003). 낮은 PPF($1 \sim 3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)의 백열등에 의한 광중단이 높은 광도의

형광등에 의한 명기 연장과 개화 촉진에 있어서는 유사한 효과를 보인 것이다.

본 연구에서는 개화에 대한 온도와 일장의 조합 처리 효과가 의미있게 나타났다. 온도를 4℃ 올리는 것과 일장을 4시간 늘이는 것이 개화 촉진에 있어서 유사한 효과를 보인 것이다(Fig. 1, 2). 더욱이, 20℃-8시간 일장 처리와 16℃-광중단 처리 간에는 VB 및 개화 소요일수에 유의차가 없었다. 이러한 결과는 광중단이나 명기 연장이 난방을 대체할 수 있다는 가능성을 제시한다.

온도에 관계없이 일장이 증가하면서 개화한 개체의 비율은 증가하였다(Fig. 3). 특히 광중단과 12시간 일장 간에는 차이가 없었다. 개화율과 개화 소요 일수에 있어서 16℃-광중단과 20℃-8시간 일장 간에는 통계적인 차이가 없었는데 이것은 광중단이 난방을 대체할 수 있음을 의미한다.

일장이 8시간에서 16시간으로 증가하면서 VB의 수는 증가하였다(Table 1). 고온(20℃)과 형광등에 의한 장일 처리는 식물체의 건물중을 증가시켰다. 이것은 'Metis Purple Frame' 시클라멘에 있어서 형광등에 의한 명기 연장이 장일 효과에 의해 독립적으로 개화를 촉진시킬 수도 있지만 광합성 증가에 의해 개화를 앞당길 수도 있음을 의미한다. 그러나 건물중과 초폭에 미치는 광중단과 8시간 일장의 영향을 통계적으로 같았다. 따라서 광중단은 광합성 촉진에 의해서가 아니라 일장에 의해 개화를 촉진하였음을 알 수 있다.

초장(leaf height)은 온도보다는 일장의 영향을 받았다(Table 1). 일장이 8시간에서 16시간까지 길어지면서 엽병장은 증가하였다. 그러나 광중단과 8시간 일장 간에는 유의차가 없었다. 유사한 결과들이 여러 화단 및 분화 식물에서 관찰되었다. 샤프스타 데이시 (*Leucanthemum × superbum*)에 있어서 연속적인 장일 처리가 광중단보다 식물체의 초장을 길게 하였다(Runkle et al., 1998). Verberkt(2003)에 의하면, 20시간까지 일장을 증가시켰을 경우(4시간 암기) 시클라멘, 칼랑코에, 거베라 등 분화류의 엽병장이 증가하여 품질이 감소하였다. 장일 조건은 많은 식물에서 지베렐린(gibberellin, GA)의 생합성을 촉진하여 절간과 엽병의 신장을 유도한다(Garcia-Martinez and Gil, 2002). 'Metis Purple Frame' cyclamen에 있어서 광중단은 장일의 개화 촉진 효과는 보이면서도 단일처리처럼 엽병장은 신장시키지는 않기 때문에 분화 생산에 적합하다. 다만, 광중단은 명기 연장에 비해 엽수가 적어 최종 화수나 식물체 크기가 작을 가능성이 있다.

본 연구 결과, 시클라멘 동계 재배에 있어서 광중단을 이용한 저온 관리가 난방비를 아낄 수 있다는 결론을 얻었다. 그리고 절감효과를 구체적으로 알아보기 위해 16℃-광중단과 20℃-8시간 일장 간의 비용을 비교하였다. 겨울철 12주동안 매일 4시간 백열등 전조를 기준으로 비용을 계산하였다. 식물체 앞에서 2 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 광도를 유지하려면 400m²당 39개의 백열등이 필요하다. 전기료를 42원/kWh으로 계산하면 전기료는 55,037원이 소요된다. 반면 12주동안 4℃를 낮추었을 경우 400m²당 6,800L의 경유가 절감되므로 농업용 면세유(475 원/L)를 기준으로 한다면 1,292만원의 난방비를 줄일 수 있다. 결국 광중단은 난방을 효과적으로 대체할 수 있다.

일반적으로 광중단은 동일 시간 및 광도의 명기 연장(명기의 종료에 이어서 계속 보광)보다 장일식물의 개화 촉진 효과가 크다(Thomas and Vince-Prue, 1997). 이 연구는 'Metis Purple Frame' 시클라멘이 양적 장일식물의 기본적인 특성을 가지고 있으며, 광중단이 겨울철 개화 지연 없이 난방비를 절약할 수 있는 현명한 선택일 수 있다는 것을 보여준다. 광중단은 에너지 절감을 위한 저온 관리 하에서 고품질 시클라멘을 생산하는데 효과적인 방법일 수 있다. 그러나 이 방법을 실용화하기 위해서는 광중단 시 잎과 화아의 분화를 촉진하기 위한 추가적인 기술이 필요하며, 온실에서 실증 실험도 거쳐야 할 것이다.

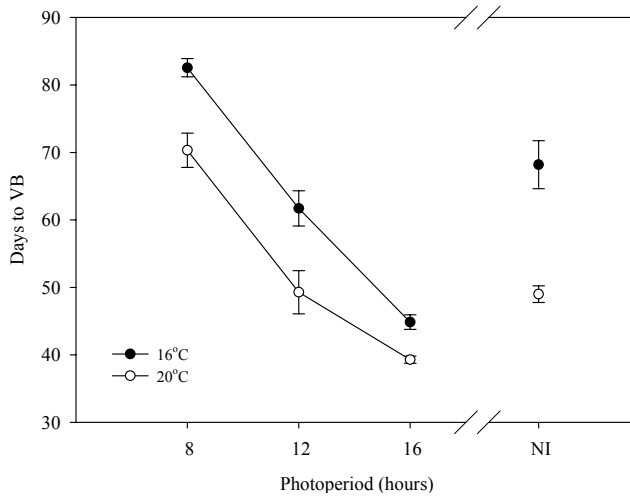


Fig. 7. Days to visible bud in *Cyclamen persicum* 'Metis Purple Frame' grown under different temperatures and daylengths.

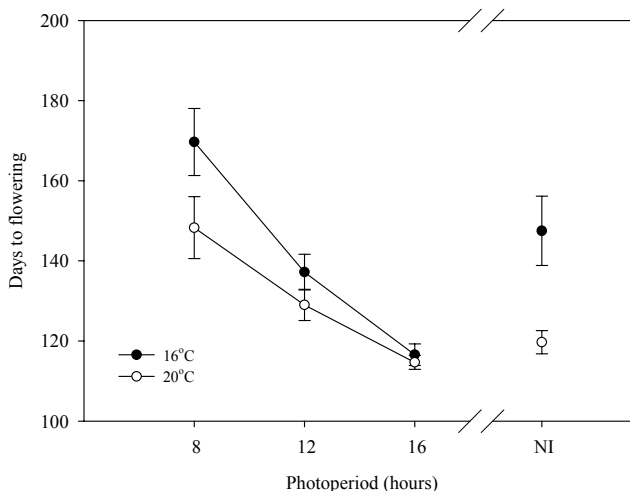


Fig. 8. Days to flowering in *Cyclamen persicum* 'Metis Purple Frame' grown under different temperatures and daylengths.

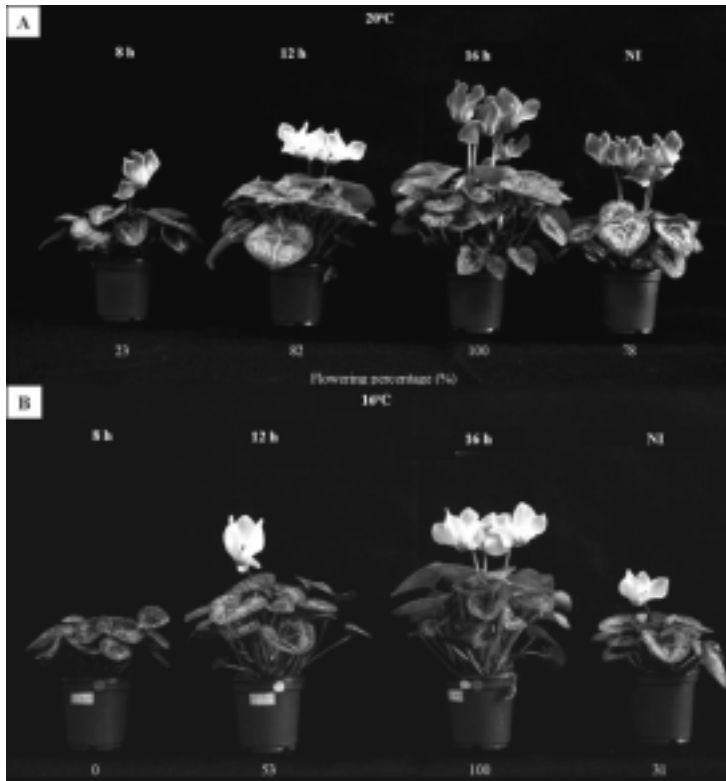


Fig. 9. *Cyclamen persicum* 'Metis Purple Frame' grown under different temperatures and daylengths for 19 weeks at 20°C (A) and 16°C (B).



Fig. 10. *Cyclamen persicum* 'Metis Purple Frame' grown under different temperatures and daylengths at 12 weeks after treatment.

Table 2. Leaf number, visible bud number, leaf height and dry weight of *Cyclamen persicum* 'Metis Purple Frame' grown under different temperatures and daylengths for 20 weeks.

Temperature(°C)	Photoperiod (h)	No.of leaves	No. of flower bud	Leaf height (cm)	Dry weight (g)		
					above	corn	root
16	8	40.6 bc ^z	9.4 e	7.3d	1.87 f	0.17 cd	0.40 c
	12	44.5ab	17.3 cd	8.5 c	2.41 de	0.23 cd	0.38 c
	16	51.3 a	33.1 a	10.6 a	3.57 b	0.41 ab	0.57 b
	NI	30.1 c	13.5 de	5.6 e	1.42 g	0.16 cd	0.24 d
20	8	40.7 bc	11.8 e	5.7 e	2.00 ef	0.14 d	0.29 cd
	12	39.6 bc	26.0 b	8.5 c	3.05c	0.30 bc	0.69 b
	16	40.7 bc	33.4 a	9.8ab	4.11 a	0.46 a	0.84 a
	NI	34.4 bc	18.8 c	7.2 d	2.57 d	0.18 cd	0.34 cd
Significance ^y							
Temperature		NS	**	NS	***	NS	***
Daylength		NS	***	***	***	***	***
Temperature X Daylength		**	*	***	**	NS	***

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

^yNS, *, **, *** Nonsignificant or significant at $P = 0.05, 0.01, \text{ and } 0.001$, respectively.

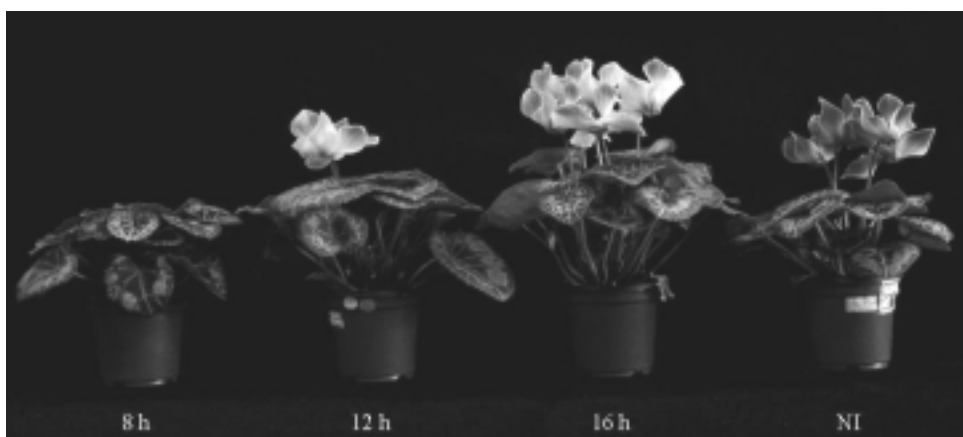


Fig. 11. *Cyclamen persicum* 'Metis Purple Frame' grown under different temperatures and daylengths at 20 weeks after treatment.

제3절 저온에서 근권 난방을 통한 시클라멘의 생육 촉진

1. 적요

본 연구는 낮은 근권 온도가 기온에서 시클라멘의 생육에 미치는 영향을 구명하여 겨울 온실 재배시 에너지 절감을 위한 최소 난방 관리의 가능성을 조사하기 위해 실시하였다. 전개엽이 6~7매인 'Metis Scarlet Red' 시클라멘을 12℃로 유지되는 향온실에 두고 12, 16, 20, 24로 근권 온도를 설정하였다. 양액은 담액 수경 및 담액 심지 방식으로 공급하였다. 근권 난방은 시클라멘의 생육을 촉진하였는데, 20℃에서 가장 무거운 건물중을 얻었다. 수확시 잎과 화아의 수는 근권 온도가 12℃에서 20℃까지 증가하면서 늘어났으나 24℃에서는 감소하는 경향을 보였다. 근권 온도의 상승은 광합성을 증가시켜 잎의 전개와 화아의 출현을 촉진하였다. 근권 온도 20℃는 대조구에 비해 뿌리 활력을 증가시켰다. 그러나 엽폭과 근장에 있어서는 유의차가 없었다. 결론적으로 낮은 기온에서 시클라멘의 생육을 향상시킬 수 있는 최적의 근권 온도는 20℃였다. 따라서, 본 연구의 결과는 저온 관리 하에서 근권 난방은 'Metis Scarlet Red' 시클라멘의 생장과 발육을 촉진시켜 에너지 절감 효과를 얻을 수 있다는 가능성을 제시였다.

2. 서론

시클라멘은 최근 수년간 국내에서 생산량이 증가하고 있는 소형 분화 식물이다. 주로 봄과 겨울에 출하되며 화색과 크기가 다양하여 인기가 높아지고 있으며, 일본에서는 가장 생산량이 많은 분화류 중 하나이다. 시클라멘의 생육 적온은 20℃(Ball, 1991; Karlsson, 1997; Karlsson and Werner, 2001a, 2001b; Widmer, 1992)이기 때문에 겨울철 온실 재배 시 적정 생육 속도를 유지하기 위해서는 많은 난방비가 소요된다.

에너지를 절약하는 방법 중 가장 쉬운 것은 온실 내 온도를 낮추는 것이지만, 이것은 생육과 품질의 저하를 초래한다. 이러한 불리한 점을 극복하기 위하여 기온과는 독립적으로 근권의 온도를 높이면 뿌리의 활력과 지상부의 생육이 좋아진다(Kim et al., 2001). 근권 난방은 지상부 난방과 비교하여 적은 공간을 난방하지만 품질과 생육의 손실이 없어 에너지를 효율적으로 절감할 수 있다(Sandwell, 1997).

식물에 있어서 뿌리는 지상부보다 저온에 대한 적응력이 약하기 때문에 근권 난방의 효과는 크다(Paulsen, 1994). 근권 난방은 양수분 흡수와 같은 뿌리의 생리적인 과정에 영향을 주어 결과적으로 식물체 전체의 생육과 발달에 변화를 가져온다(Cooper, 1973; Dodd et al., 2000; Tindall et al., 1990). 근권 온도가 최저온도에서 최적온도로 상승함에 뿌리의 생육은 거의 직선적으로 증가한다(Cooper, 1973).

지금까지 시클라멘의 기온에 대한 연구는 많이 있었지만(Karlsson and Werner, 2001a,b), 저온 관리 하에서 근권 온도가 시클라멘의 생육과 발달에 미치는 영향에

관한 연구는 미흡한 실정이다. 본 실험에서는 시클라멘 동계 온실 재배 시 에너지 절감을 위해 저온관리를 할 경우 근권 난방이 시클라멘의 생육과 발달에 미치는 효과들을 알아보았다.

3. 재료 및 방법

과종 후 9주째 전개엽이 4매인 F1 'Metis Scarlet Red' 시클라멘 실생을 (주)한미프러그로부터 구입하여 피트모스와 펄라이트가 7:3로 혼합된 배지가 채워진 직경 7cm 플라스틱 화분에 식재하였다. 4주간 온실에서 활착시킨 후 12°C 항온실(410×245×190cm)로 옮겼다. 항온실에 온도 조절이 가능한 플라스틱 상자 8개를 두고 각각 4개씩 담액 수경(floating hydroponic, FH) 및 담액 심지(nutrient stagnant wick, NSW) 방식의 관수 시스템을 설치하였다(Fig. 1A, B).

FH 시스템에서는 수중 히터(PHILLGREEN, PH-60 [60w])로 직접 플라스틱 상자 안의 양액을 가열하여 뿌리의 온도를 높였고, NSW 시스템에서는 플라스틱 상자 안을 지나가는 XL 파이프를 온수를 순환시켜 공기의 덥히고 이 더운 공기가 화분의 온도를 상승시키는 방법으로 근권 난방을 했다. 각 시스템별로 근권 온도를 각각 12, 16, 20, 24°C로 설정하고 안정화시킨 후 실험을 실시하였다(Fig. 1C, 1D). 근권 온도는 배지 표면으로부터 5 cm 아래에서 thermocouple로 측정하여 데이터 로거(CR10X, Campbell Scientific, Inc., North Logan, Utah, USA)로 기록하였다.

식물체의 생육을 원활하게 하기 위해 형광등(FL40SSEX-D/36, GE, Bucheon, Korea)을 사용하여 광합성 유효 광량자속(photosynthetic photon flux, PPF)은 $240 \pm 20 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 빛을 12시간 일장으로 조사하였다. 생육상 내에 기온은 $12 \pm 0.6^\circ\text{C}$, 상대습도는 $89 \pm 2\%$ 로 유지되었다.

두 시스템 모두 수경 재배용 비료인 Technigro' 20-9-20 Plus를 물에 녹여 EC 1.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 와 pH 5~6를 유지하는 양액을 만들어 시비하였다. FH 시스템에서는 15 L의 플라스틱 상자(온도 조절 용기)에 양액을 채워 잘 씻어낸 식물체의 뿌리를 직접 담았고, NSW 시스템에서는 화분에서 늘어뜨린 심지를 동일한 양액에 담가 관수하였다. FH 시스템에는 뿌리가 썩는 것을 막기 위해 기포 발생기를 설치하였고, DO meter(TOA DO-14P)를 이용하여 용존 산소를 $7.5 \pm 1 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 유지시켰다.

형태적인 특성(엽수, 초장, 식물체 부피, 화아수(2 mm 이상)과 건물중(80°C 에서 3일간 건조 후 측정)은 FH와 NSW 시스템에서 처리 후 6주째와 15주째에 각각 조사하였다. 엽폭과 엽장은 가장 긴 값을 취하였다. 뿌리에서 배지를 씻어낸 후 각 부위별로 분리하여 생체중을 측정하였다. 각 부위별 건물중은 $80 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 3일동안 건조시킨 후 측정하였다. 식물체의 부피는 초장과 초폭을 각각 높이와 지름으로 하는 원통형으로 가정하고 계산하였다.

뿌리활력을 비교하기 위해 처리 6주후 처리별(RZT 12, 20°C)로 균일하고 싱싱한 뿌리 3개씩을 채취하여 2cm 크기로 잘랐다. 이 시료를 시험관에 넣고 1% 2, 3, 5-triphenyltetrazolium chloride (TTC) solution, 0.1 M sodium phosphate buffer solution

(pH 7.0), 그리고 증류수를 1:4:5로 혼합한 용액 10 mL을 첨가하였다. 이 시험관을 30°C 암조건에서 2시간 동안 배양하고 2 N H₂SO₄ 3mL을 첨가하여 반응을 종료시켰다. 뿌리 시료에서 물을 제거한 후 막자사발에 넣고 7~10 mL의 ethyl acetate와 sea sand를 첨가하면서 유봉을 이용하여 마쇄하였고, 형성된 formazan을 추출하였다. 이 시료를 4,000 rpm에 13분간 원심분리하여 상등액을 취하였고, UV-spectrophotometer (UV-2401S, Shimadzu Co., Japan)를 이용하여 470 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준 곡선은 TTC 용액과 ethyl acetate의 반응에 의해 만들어졌으며, 그 계산 방정식은 다음과 같다.

$$\text{Root activity} = \text{produced formazan (mg)} / \text{root fresh weight (g)} \times \text{reaction time (h)}$$

광합성은 최근에 완전히 전개된 잎에서 측정하였다. 순광합성률은 infrared gas analyzer를 이용한 휴대용광합성측정기(LI-6400, Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA)로 측정하였다. 광합성측정기의 chamber에 물린 엽면적은 2cm²이다. 처리 기간동안 leaf chamber의 온도는 32°C, 상대 습도는 35%로 유지되었다. 순광합성은 PPF를 몇 단계로 변화시키면서 측정하였는데, 각 단계별로 30분간 유지하였다. 광도(PPF)는 광합성측정기 내부의 광원을 이용하여 0~1,000 μmol·m⁻²·s⁻¹, CO₂ 농도는 360 μmol·mol⁻¹로 유지하였다.

자료의 통계분석은 SAS system (Version 8.02, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하였다. 평균값과 표준오차를 이용한 분산분석(P<0.05)을 통해 통계적인 유의성을 검정하였다.

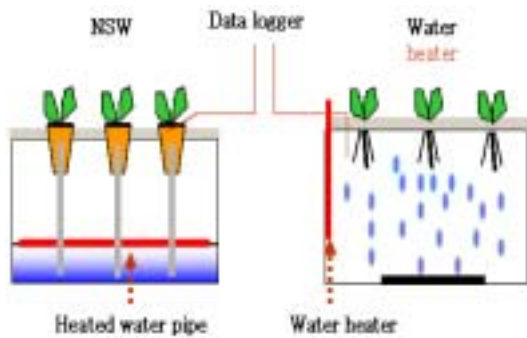


Fig. 1A. Schematic diagram of nutrient stagnant wick culture (left) and floating hydroponic (right) system.



Fig. 1B. Nutrient-stagnant wick culture (left) and floating hydroponic (right) system.

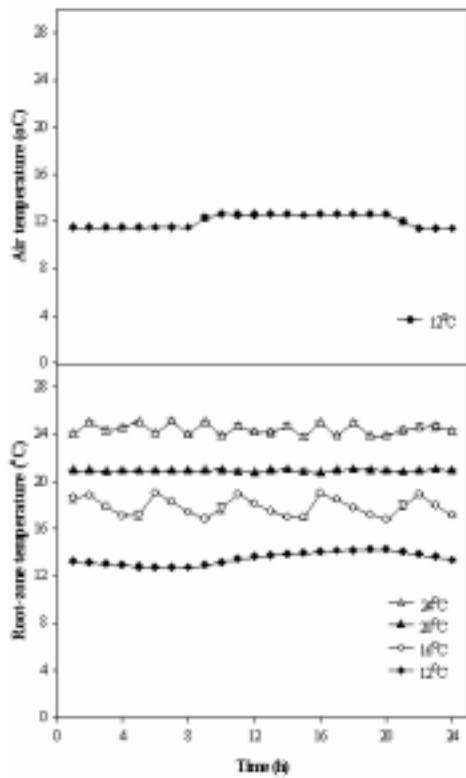


Fig. 1C. Diurnal changes of air temperature at top of plant canopy and root-zone temperature at 5 cm below the water surface in floating hydroponic system.

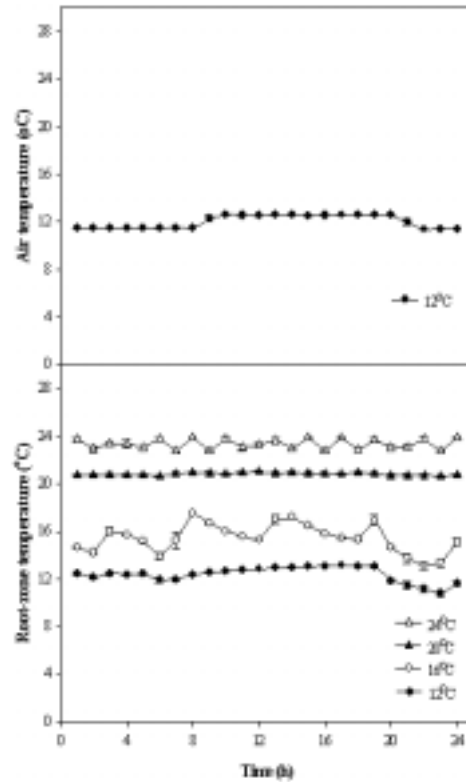


Fig. 1D. Diurnal changes in air temperature at top of plant canopy and root-zone temperature at 5 cm below the medium surface in nutrient-stagnant wick culture system.

4. 결과 및 고찰

시클라멘의 생육과 개화에 대해 근권 난방을 한 3가지 온도처리구(16, 20, 24°C)와 가온하지 않은 대조구(12°C)를 비교하였다. 피경을 제외한 모든 부위에서 근권 난방 온도가 증가할수록 건물중이 증가하였다(Fig. 2, 3). 근권 난방 온도 간에는 통계적인 차이가 없었다. 식물체 총건물중은 20°C에서는 0.94g이었고 대조구에서는 0.64g이었다. 이러한 결과는 근권 온도가 올라갈수록 'Dolores' 및 'Tineke' 장미의 절화 생산량이 각각 42%, 19% 증가한 것과 유사하다(Chung et al., 1997). 우리나라의 겨울철 혹한기에 근권 난방은 절화 장미 생산에 있어서 수량과 품질을 향상시키는 이상적인 방법으로 생각된다. 'Gabiella' 장미에 있어서도 근권 온도를 13°C에서 23°C로 올리는 것이 생육과 생산량을 증가시켰다(Tsujita et al., 1983).

반대로 피경의 건물중은 대조구에서 가장 높았다(Fig. 2). Karlson과 Werner

(2001b)는 기온 8~12℃에서 16~24℃에 비해 괴경의 건물중이 증가하는 것을 휴면을 대비한 광합성 산물의 분배일 것이라고 하였다. 국화에 있어서도 기온이 30℃에서 10℃로 감소하면서 뿌리로의 분배는 증가하였다(Karlsson and Heins, 1992). 본 연구에서 나타난 근권 저온구의 괴경 건물중 증가는 휴면을 준비하기 위해서 광합성 산물을 괴경에 축적한 결과라고 생각된다.

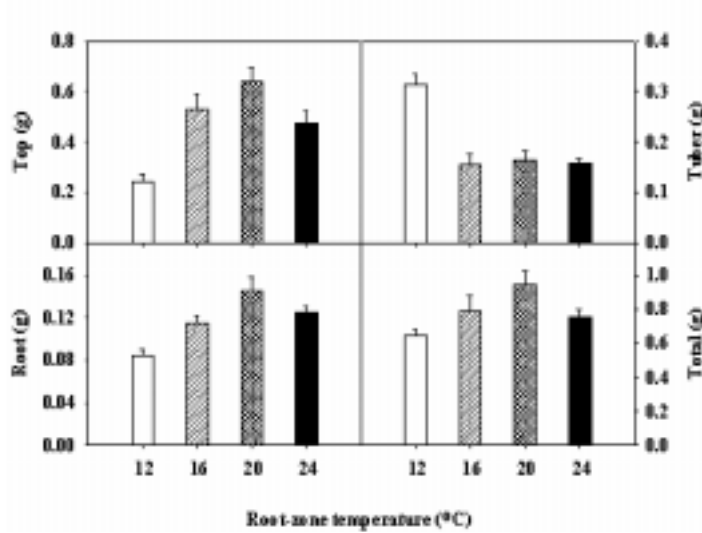


Fig. 2. Effect of root-zone temperature under low air temperature on dry weight of 'Metis Scarlet Red' cyclamen grown in FH system at 6 weeks after treatment.

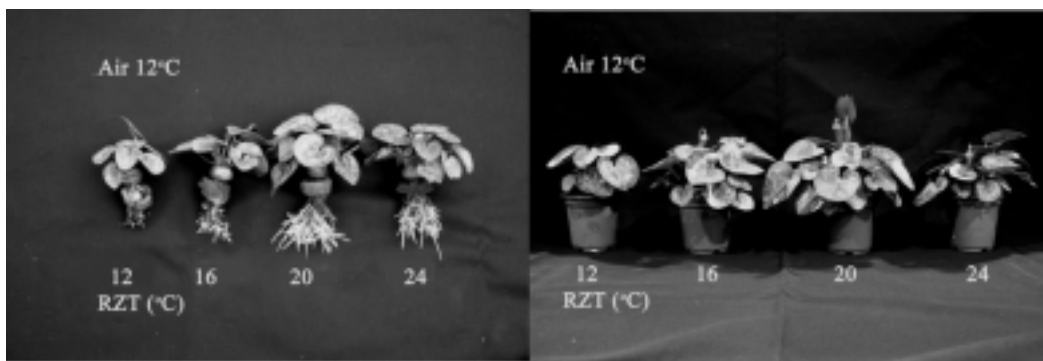


Fig. 3. 'Metis Scarlet Red' cyclamen grown under different root-zone temperatures under low air temperature using floating hydroponic system at 6 weeks after treatment (left) and nutrient stagnant wick system at 15 weeks after treatment (right).

난방온도가 12℃부터 20℃까지 범위에서 온도가 높아질수록, 수확기의 엽수와 화아수는 증가하였고, 24℃에서는 감소하는 경향을 보였다(Fig. 4, 5). 실측치를 통해 얻은 회귀식을 통해 가장 많은 엽수와 화아수를 갖는 근권 온도를 계산할 수 있었다.

$$\text{엽수} = -33.8375 + 5.253x + 0.1367x^2, R^2 = 0.99$$

$$\text{화아수} = -27.9833 + 3.9875x + 0.0990x^2, R^2 = 0.99$$

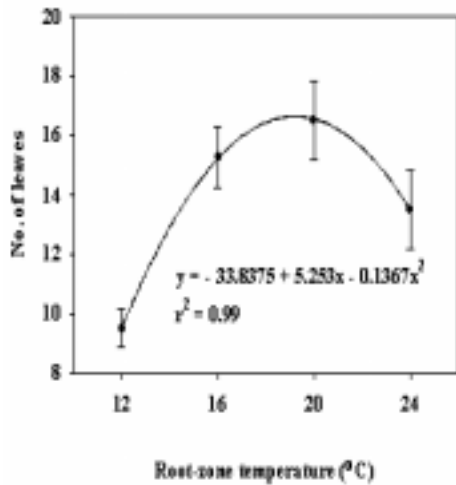


Fig. 4. Correlation of root-zone temperature under low air temperature with number of leaves of 'Metis Scarlet Red' cyclamen grown in FH system at 6 weeks after treatment.

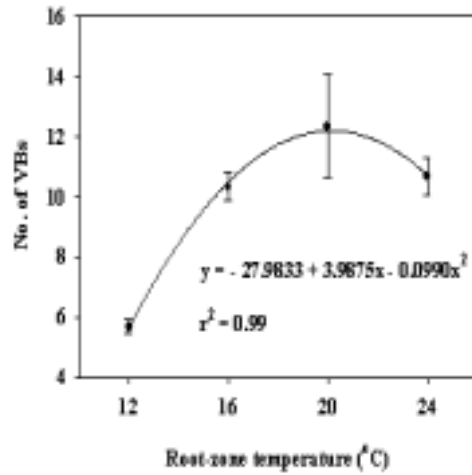


Fig. 5. Correlation of root-zone temperature under low air temperature with number of visible buds of 'Metis Scarlet Red' cyclamen grown in NSW system at 15 weeks after treatment.

위의 회귀식에 의해 예측된 잎 발달의 최적 근권 온도는 19.2°C였다. 이것은 최대 엽전개 속도를 19.1°C에서 0.329개/일로 예측한 Karlsson과 Werner(2001a)의 보고와 유사하며, 이것을 측정할 시기는 개화 시기의 엽수를 결정하는 데 중요한 시클라멘의 초기 발달 단계였다. 위 회귀식에 의하면 화아 분화의 최적 근권 온도는 20.1°C였다. Karlsson과 Werner의 또다른 보고(2001b)에 의하면 화아수는 기온 20°C에서 가장 많았다. 시클라멘에서는 기온 20°C를 넘는 경우 화아의 퇴화가 일어나(Karlsson, 1997), 꽃수가 줄어들고 식물체가 품질이나 수명이 감소한다. 대조구에 비해서 근권 난방구가 있고 화아의 출현 속도도 더 빨랐다(Fig. 6). 시클라멘은 5~8번째 엽액에 화아를 하나씩 분화시키기 때문에 잎의 발육은 매우 중요하다(Widmer and Lyon, 1985).

근권 난방은 잎을 크고 길게 만들고 엽수를 많게 하여 식물체의 전체 부피를 증가하였다(Table 1, Fig. 5). 엽병장과 초장(지체부에서 가장 위에 있는 잎 끝까지의 길이)은 12°C에서 가장 짧았는데, 대조구를 제외한 식물체의 엽병장은 약 5.5cm였다. 엽장은 12°C에서 가장 짧았으나, 엽폭과 뿌리의 길이는 처리간의 차이가 없었다.

T/R비는 통해 4가지 근권 온도는 근권 온도에 의해서 뿌리의 생육보다는 지상부 생육에 더 많은 영향을 주는 것을 알 수 있었다(Fig. 7). 근권 온도 12°C에서는 뿌리에 대한 지상부의 건물중의 비율이 60% 밖에 되지 않았으나, 20°C에서는 2배 가량이 높았다. 이것은 시클라멘이 근권이 저온일 때 지상부 생육보다는 지하부 생육을 더 선호하는 것을 보여준다. 이 결과는 이전의 연구 결과와 일치하였다 (Bugbee and White, 1984).

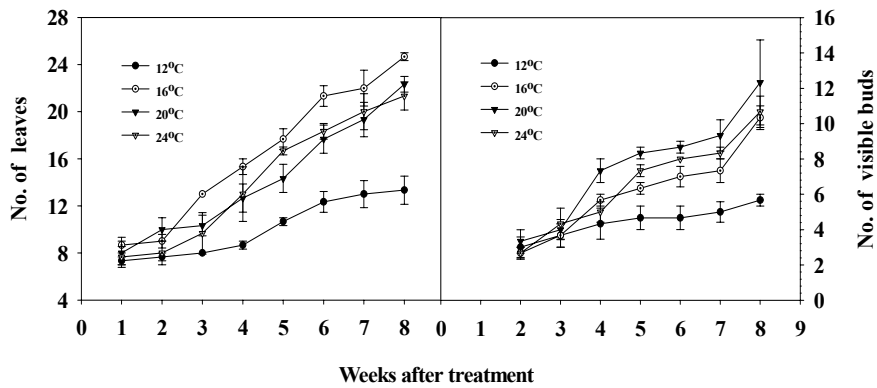


Fig. 6. Changes in number of leaves and visible buds of 'Metis Scarlet Red' cyclamen grown in NSW system as influenced by root-zone temperatures.

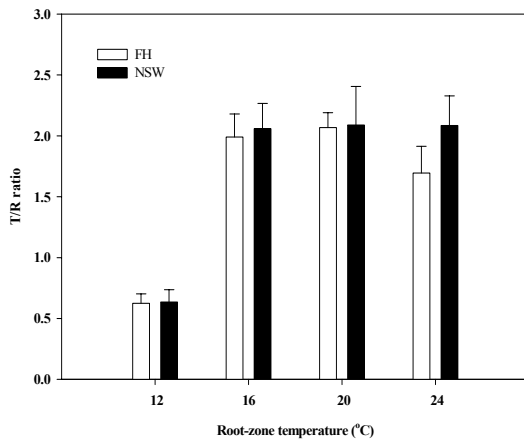


Fig. 7. T/R ratio influenced by different root-zone temperatures in 'Metis Scarlet Red' cyclamen grown in floating hydroponic (FH) and nutrient stagnant wick (NSW) system. Top and root dry weight was measured at 6 and 15 weeks after treatment in FH and NSW system, respectively.

근권 난방이 또한 뿌리의 활력을 증가시켰다(Fig. 8). 근권 온도 20°C에서 재배된 시클라멘이 12°C에서 재배된 것보다 약 50% 더 높은 뿌리의 활력을 보였다. 이 결과는 적정 근권 온도가 절화 장미의 뿌리 활력을 향상시켰으며 이것은 shoot로의 물과 양분의 수송과 깊은 연관을 갖는다고 한 Kim 등(2001)의 보고와 일치하였다. 적정 근권 온도는 토마토의 양분 흡수 또한 향상시켰다(Tindall et al., 1990). 근권 난방은 뿌리를 제외한 지상부 및 괴경, 그리고 식물체 총 수분함량을 증가시켰다(Table 2). 이 결과는 근권 온도 20°C가 12°C에 비해 오이 잎의 수분 함량을 증가시켰다는 Moon(2001)의 관찰과 유사하였다.

순광합성율은 완전히 전개된 잎에서 측정하였다. 순광합성율은 12°C보다 16, 20, 24°C에서 더 높았다(Fig. 9). 오이에 있어서도 근권 온도 20°C가 15°C에 비해 광합성을 증가시켰다(Moon, 2001). 이것은 근권의 저온 조건이 잎의 ABA 함량이 증가하여

잎의 기공전도도, 증산 속도, 그리고 내부 CO₂ 농도의 감소로 인하여 결국 순 광합성율의 감소를 가져온 것으로 생각된다. 이러한 결과들은 종합해 보면, 적정 근권 온도는 뿌리의 활력을 증진시키고 물과 양분의 흡수를 촉진하며, 광합성 또한 증가시켜 식물체의 생장을 향상시킨다고 할 수 있다.

결론적으로, 낮은 기온 하에서 16~20℃ 근권 난방을 통해서 시클라멘 'Metis Scarlet Red' 생육을 촉진할 수 있었다. 가져왔으나, 앞으로의 연구를 통해서 온실에서 실제 적용 했을 때 가치를 평가하는 것과 기온 난방과 근권 난방의 경제 분석이 필요할 것이다.

Table 1. Plant volume, petiole length, leaf width, leaf length, root length at harvest in 'Metis Scarlet Red' cyclamen grown in NSW system. Root-zone temperature treatments were initiated 13 weeks from seeding and maintained for 15 weeks.

Temperature (°C)	Plant volume ^z (cm ³)	Petiole length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf length (cm)	Root length (cm)
12	1407.9 b ^y	3.7 b	4.1a	4.0 b	7.3 a
16	3535.4 a	5.8 a	4.6 a	5.0 a	11.5 a
20	3532.4 a	6.0 a	4.7 a	4.8 a	11.9 a
24	3481.7 a	5.3 a	4.5 a	4.6 ab	12.1 a

^zPlant volume was calculated assuming a cylinder-shaped canopy with leaf height and width as the diameter.

^yMean separation within columns by Fisher's projected LSD ($P \leq 0.05$).

Table 2. Effect of root-zone temperature under low air temperature on top, tuber, root, and total water content of 'Metis Scarlet Red' cyclamen using FH (at 6 weeks after treatment) and NSW (at 15 weeks after treatment) system.

Temperature (°C)	Water content (%)			
	Top	Tuber	Root	Total
	FH			
12	88.23 b ^z	81.05 b	88.03 b	85.47 b
16	90.80 a	89.65 a	89.14 ab	90.40 a
20	90.73 a	89.31 a	89.54 a	90.35 a
24	90.63 a	88.84 a	89.80 a	90.15 a
	NSW			
12	90.07 a	76.41 b	95.01 a	85.19 b
16	91.15 a	83.84 a	92.97 b	90.14 a
20	90.49 a	85.16 a	92.86 b	89.69 a
24	90.19 a	84.45 a	92.82 b	89.38 a

^zMean separation within columns of FH and NSW systems by Fisher's projected LSD ($P \leq 0.05$)

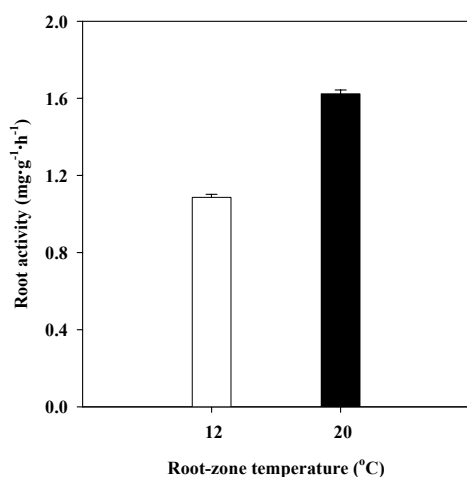


Fig. 8. Root activity of 19 week-old cyclamen grown in FH system as influenced by different root-zone temperature for 6 weeks under low air temperature at 12°C.

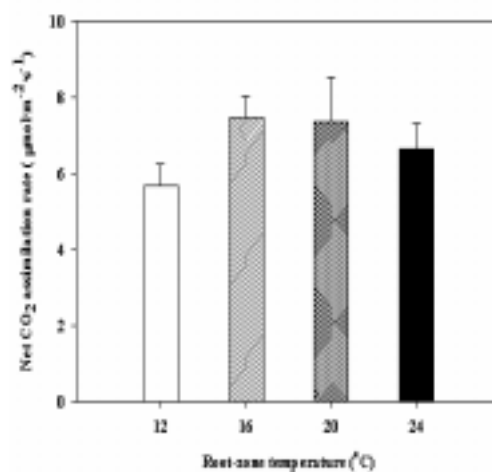


Fig. 9. Net CO₂ assimilation rate of 19 week-old cyclamen grown in floating hydroponic system as influenced by different root-zone temperature for 6 weeks under low air temperature at 12°C.

제4절 고온 스트레스 하에서 근권 냉방을 이용한 생육 촉진

1. 적 요

본 연구는 호냉성 작물인 시클라멘의 여름 재배 시 고온 스트레스 하에서 근권 냉방을 통한 생육 촉진의 가능성을 조사하기 위해 실시되었다. 'Metis Scarlet Red' 시클라멘을 32°C의 생육상에 배치하고 근권 온도를 16, 20, 24, 28, 32°C로 유지하면서 양액을 담액 심지 방식으로 공급하였다. 근권 온도가 32°C로부터 16°C까지 낮아질수록 건물중과 엽수, 엽병, 엽폭, 엽장 등 대부분의 생육 특성들이 좋아졌다. 그러나 근장과 괴경의 건물중은 유의차가 없었다. 순광합성률은 근권 온도가 감소할수록 증가하였다. 고온 스트레스 하에서 생육과 광합성에 가장 좋은 근권 온도는 16°C였다. 이러한 결과는 근권 냉방이 뿌리 활력에 영향을 주어 양수분 흡수나 생장촉진물질의 합성을 증가시켜 광합성을 촉진하는 것으로 생각된다. 따라서 여름철 고온기에 시클라멘의 생육을 효과적으로 향상시키기 위해서는 온실의 온도를 낮추는 것보다 근권 온도를 낮추는 것이 비용을 절감하여 경제적으로도 효율적인 것으로 보인다.

2. 서언

분화 식물인 시클라멘은 저온성 식물이다. 발아에서 화아분화까지 시클라멘 생산을 위한 적정 온도는 20°C이다(Ball, 1991; Karlsson, 1997; Widmer, 1992). 한국에서 시클라멘을 주년 생산할 경우 겪게 되는 주요 문제 중 하나는 여름 동안 온실 내의 온도를 낮추는 것이다.

식물에게 스트레스를 주는 높은 기온은 틸라코이드막과 광합성 기능에 주로 영향을 준다(Salisbury and Ross, 1992). 대부분의 효소들 또한 온도의 영향을 받는데, 특히 Rubisco와 광합성 산물의 대사와 관련된 다른 효소들에 대한 고온의 영향은 광합성과 생육에 직접적인 영향을 준다(Berry and Rasion, 1981). Karlsson과 Werner (2001a, 2001b)는 온도를 시클라멘의 생장과 발육 속도를 결정하는 주요 환경 요인으로 보았다.

부적절한 토양 온도는 지상부 및 지하부의 생육(Ramcham et al., 1991; Ruter and Ingram, 1990, 1992; Xu and Huang, 2000a, 2000b, 2001a, 2001b)과 양분 흡수(Klock et al., 1997; Huang and Xu, 2000)에 있어서 기온보다 더 해로운 영향을 준다. 뿌리의 호흡율을 증가시키는 높은 근권 온도는 탄수화물 결핍과 뿌리 괴사를 야기할 수도 있다(Carrow, 1996).

Creeping bentgrass에 있어서 기온을 35°C로 유지하면서 근권 온도를 35°C에서 20°C로 낮추면 광합성과 총 비구조탄수화물(nonstructural carbohydrate)의 함량, 지하부 및 지상부의 생육을 증가시켰다. 이로 인해 지상부와 지하부 모두를 생육 적온인 20°C로 유지하는 것과 동일한 수준의 잔디의 질을 유지시켰다. 또한 근권 냉방은 밀(Kuroyanagi and Paulsen, 1988)과 호랑가시나무(Ruter and Ingram, 1992)의 광합성과

생육을 증진시켰다.

시클라멘의 생육과 발달에 있어서 기온의 영향은 폭넓게 연구되어 왔다(Karlsson and Werner, 2001a, 2001b). 그러나 고온에 민감한 시클라멘에 있어서 고온 스트레스 극복을 위한 근권 온도의 영향에 대한 연구는 거의 없었다. 본 연구는 시클라멘 분화 생산에 있어서 고온기 근권 온도가 생육과 발달에 미치는 영향을 구명하기 위해 실시되었다.

3. 재료 및 방법

본 실험은 9월에서 11월까지 서울대학교 공동기기실에 위치한 생육상(180 x 90 x 190 cm, Dasol Scientific Co., Ltd., Suwon, Korea)의 항온 수조 내에서 이루어졌다. 식물체의 생육을 원활하게 하기 위해 형광등(FL40SSEX-D/36, GE, Bucheon, Korea)을 사용하여 광합성 유효 광량자속(photosynthetic photon flux, PPF)은 $175 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (s.d. ± 20)의 빛을 12시간 일장으로 조사하였다. 생육상 내에 기온은 $32\pm 0.1^\circ\text{C}$, 상대 습도는 $34\pm 1\%$ 로 유지되었다.

생육상 내부의 항온 수조(41 x 24.5 x 19 cm)는 수중 전열기와 플라스틱 파이프를 통한 냉수 순환에 의해 16, 20, 24, 28, 32°C (s.d. ± 1)로 유지되었다. 근권 온도는 배지 표면으로부터 5 cm 아래에서 thermocouple로 측정하여 데이터 로거(CR10X, Campbell Scientific, Inc., North Logan, Utah, USA)로 기록하였다.

과종 후 8주된 'Metis Scarlet Red' 시클라멘 플러그묘를 (주)한미프러그로부터 공급받아 피트모스와 펄라이트 혼합배지(70:30, v/v)를 채운 플라스틱 화분($\Phi 7$ cm)에 이식하였다. 온실에서 2주간 활착시킨 후 각 처리당 8개체씩 항온 수조 내의 유리병에 개체 별로 담았다. 이 유리병에는 20N-3.96P-16.6K의 양액 재배용 비료 Technigro 20-9-20 Plus(Sun-Gro Horticulture, Bellevue, WA, USA)가 $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ N의 농도로 녹아 있는 양액이 들어있으며, 화분에서 늘어뜨린 심지를 담가 담액 심지 방식으로 관수하였다. 양액의 EC와 pH는 처리 기간 동안 각각 $1.0 \text{ d}\cdot\text{Sm}^{-1}$ 와 5.0~6.0로 유지하였다.

엽수(엽장 $\geq 1\text{cm}$), 엽폭, 엽장, 엽병장, 건물중 등 시클라멘의 형태 및 생육 특성은 처리 8주후 개체별로 측정하였다. 엽폭과 엽장은 가장 긴 지점을 측정하였고 각 부위별 건물중은 $80\pm 2^\circ\text{C}$ 에서 3일동안 건조시킨 후 측정하였다. 생존율은 다음의 방정식에 따라 계산하였다.

$$\text{생존률 (\%)} = (\text{생존 개체수}/\text{처리 직전 개체수}) \times 100$$

광합성은 최근에 완전히 전개된 잎에서 측정하였다. 순광합성률은 infrared gas analyzer를 이용한 휴대용광합성측정기(LI-6400, Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA)로 측정하였다. 광합성측정기의 chamber에 물린 엽면적은 2cm^2 이다. 처리 기간동안 leaf chamber의 온도는 32°C , 상대 습도는 35%로 유지되었다. 순광합성은 PPF를 몇 단계로 변화시키면서 측정하였는데, 각 단계별로 30분간 유지하였다. 광도(PPF)는 광합성 측정기 내부의 광원을 이용하여 $0\sim 1,000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, CO_2 농도는 $360 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 로 유지하였다.

자료의 통계분석은 SAS system (Version 8.02, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하였다. 평균값과 표준오차를 이용한 분산분석($P < 0.05$)을 통해 통계적인 유의성을 검정하였다.

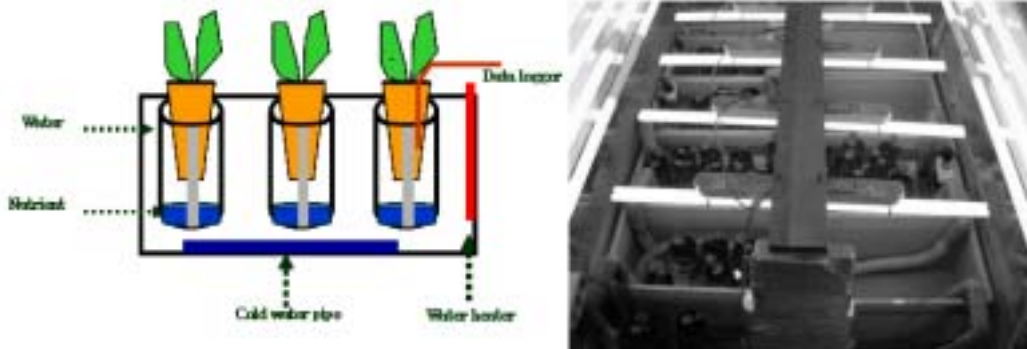


Fig. 1. Schematic diagram of root-zone temperature control system (left) and root-zone temperature control system (right).

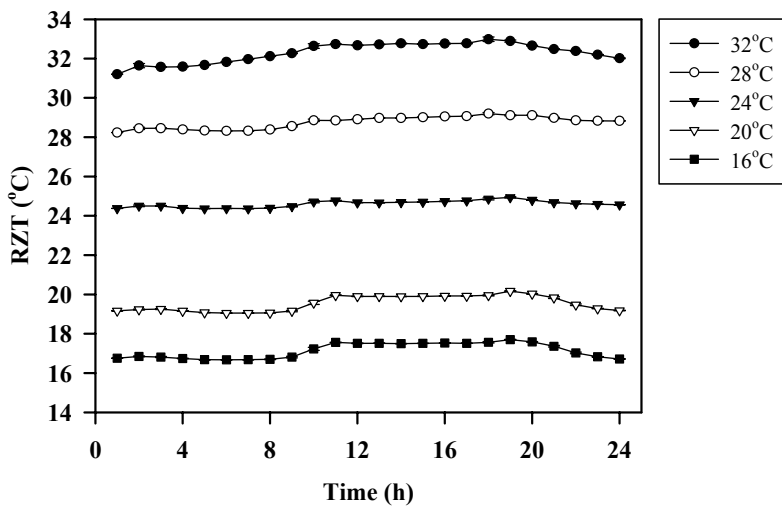


Fig. 2. Diurnal changes in root-zone temperatures measured at 5 cm below the medium surface.

4. 결과 및 고찰

근권 냉방은 32°C의 높은 기온에서 'Metis Scarlet Red' 시클라멘의 생존율을 증가시켰다. 생존율은 근권 온도 32, 28, 24, 20, 16°C에서 각각 0, 50, 87, 100, 100 %를 보였다(Fig. 3). 고온에 의한 피해는 뿌리 기능의 파괴로 먼저 나타나는 경우가 많기 때문에 근권을 적정 온도로 유지한다면 고온에 의한 생육 억제 정도도 더 많이 감소될 수 있다(Kuroyanagi and Paulsen, 1988; Chaisompongpan et al., 1989; Sasaki and Itagi, 1989).

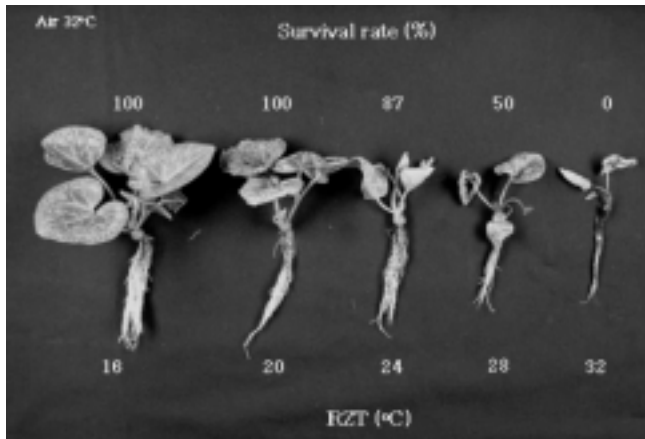


Fig. 3. Effects of root-zone temperature under air temperature of 32°C on survival rate of 'Metis Scarlet Red' cyclamen at 8 weeks after treatments.

근권 온도는 시클라멘의 생육과 발달에 중요한 영향을 준다. 근권 온도 16°C는 지상부와 지하부, 그리고 전체 건물중에서 가장 많이 증가시켰다. 그러나 과경의 건물중은 처리 간에 유의차가 없다(Fig. 4). 전체 건물중은 근권온도 20, 24, 28°C에서 16°C에 비해 각각 55, 156, 182% 증가하였다. 몇몇 과채류에 대한 이전 연구들에서도 고온하의 근권 냉방이 생장과 수량을 증가시켰고(Sasaki and Itagi, 1989; Udagawa et al., 1990), 온실 냉방을 위한 에너지 소비도 줄였다(Matsuoka et al., 1992). Lee와 Takakura (1995)는 높은 기온에서 실시된 시금치 수경 재배 연구에서 다른 처리들보다 22°C 근권 냉방이 가장 좋은 수확량을 얻었다. 상추에서 최대 건물량은 24/24°C (air/root) 처리에서 얻었지만 최종 건물 생산량에 있어서는 31/24°C와 통계적인 유의차가 없었다(He and Lee, 1998).

고온하에서 근권 냉방은 잎의 분화와 전개를 촉진시켰다. 엽수는 근권 온도 24°C와 28°C에 비하여 16°C에서 4~6배 증가하였다(Fig. 5). Karlsson과 Werner (2001a)는 온도가 엽전개율에 영향을 주며 최대 엽전개율은 19.1°C에서 0.329 leaves/day였다고 보고하였다. 기온을 32°C로 설정한 본 연구에서 최대 엽수는 근권 온도 16°C에서 얻어졌다.

잎의 생장은 근권 냉방에 의해 증가되었다(Table 1). 엽병은 근권 온도 28°C에 비하여 16°C와 20°C에서 각각 90%와 43% 증가하였다. 엽폭과 엽장은 28°C와 비교하여 16°C에서 각각 1.9와 2.0 cm 길어졌다. 그러므로 낮은 근권 온도에서 자란 식물체는 초장과 초폭이 더 길었다(Fig. 3, 7).

근권 온도는 양수분 흡수와 시토키닌 합성과 같은 뿌리의 생리적 활성화에 영향을 줌으로써 식물 생육을 조절할 수 있다. 여러 연구에서 고온 하 근권 온도 강하로 양분 흡수 능력이 증가된 것을 볼 수 있다(Yeager et al., 1991; Hood and Mills, 1994; Klock et al., 1997; He and Lee, 1998; Huang and Xu, 2000). 뿌리 수분 흡수 능력 또한 고온하 낮은 근권 온도에서 더 높았다(Graves et al., 1991). Creeping bentgrass에서 35°C에서 20°C로 근권 온도가 감소할 때 뿌리에서의 시토키닌 합성뿐만 아니라 지하부에서 지상부로 시토키닌 공급도 증가되었다(Xu and Huang, 2001).

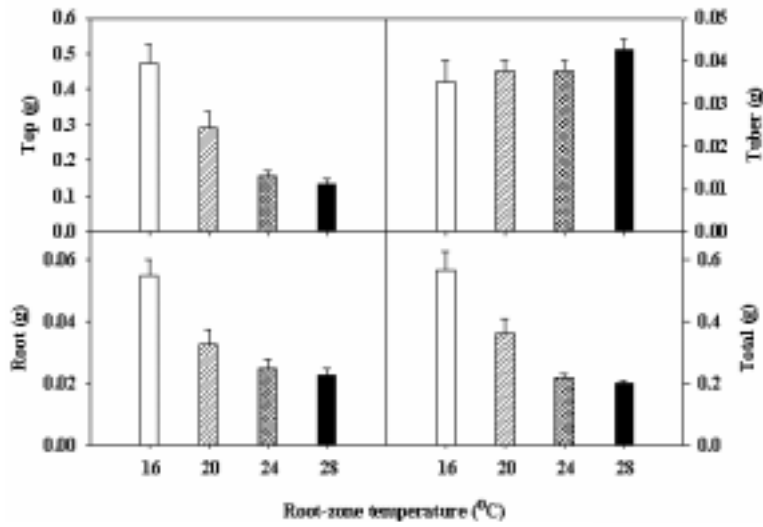


Fig. 4. Top, tuber, root, and total dry weights of 'Metis Scarlet Red' cyclamen as influenced by root-zone temperature under 32°C air temperature at 8 weeks after treatment.

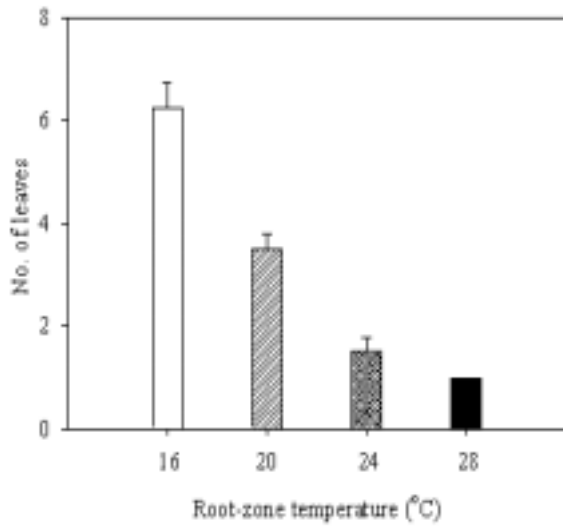


Fig. 5. Number of leaves in 'Metis Scarlet Red' cyclamen as influenced by root-zone temperature under 32°C air temperature at 8 weeks after treatment.

순광합성률은 근권 온도 16°C에서 가장 높았고, 최대 광합성률은 근권 온도 수준에 관계없이 약 300 mol·m⁻²·s⁻¹ PPF에서 보였다(Fig. 6). 300 mol·m⁻²·s⁻¹ PPF에서 순광합성률은 근권 온도 28, 20, 16°C에서 각각 3.38, 5.08, 6.14 mol·m⁻²·s⁻¹로 증가되었다.

광합성은 식물 생육에 중요한 환경 요인들 중 하나이며, 식물 세포에서 열에 민감한 기능들 중 하나이다(Berry and Björkman, 1980). 고온에 녹색식물의 노출은 초기 광합성 과정에 피해를 준다(Al-Khatib and Paulsen, 1989). 그러나 근권 냉방은 고온에서 광합성을 증가시킨다(He and Lee, 2001). 높은 근권 온도에서 자란 시클라멘과 비교하여 근권 온도 16과 20°C에서 자란 것이 더 높은 광합성을 보였는데, 이것은 부

적절한 기온에서 근권 온도의 저하는 Rubisco의 활력과 함량을 증가시켰음을 의미한다(He and Lee, 2001).

결론적으로 본 연구로 시클라멘의 생육과 발달은 기온이 높은 기간 동안 근권 온도의 감소로 향상될 수 있는 가능성을 제시하였다. 그리고 근권 난방시설이 갖추어진 재배 시스템을 활용하는 경우라면 추가 비용 없이 이용할 수도 있다. 그러나 온실에서의 실증 실험을 통해 효과와 실용성을 평가해야 할 것이다.

Table 1. Effects of root-zone temperature under 32°C air temperature on leaf morphological characteristics at 8 weeks after treatment in ‘Metis Scarlet Red’ cyclamen.

RZT (°C)	Petiole length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf length (cm)
16	8.0 a ^z	5.5 a	5.4 a
20	6.0 b	4.5 b	4.0 b
24	5.3 bc	4.1 bc	3.5 b
28	4.2 c	3.6 c	3.4 b

^z Mean separation within columns by Fisher’s projected LSD ($P \leq 0.05$).

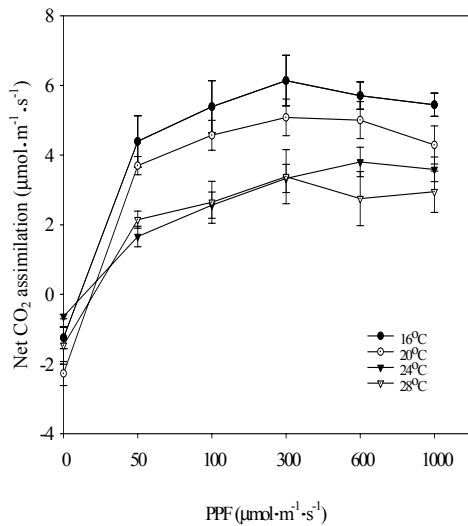


Fig. 6. Net CO₂ assimilation rates under incident PPF in response to different root-zone temperatures under 32°C air temperature in ‘Metis Scarlet Red’ cyclamen at 8 weeks after treatment.

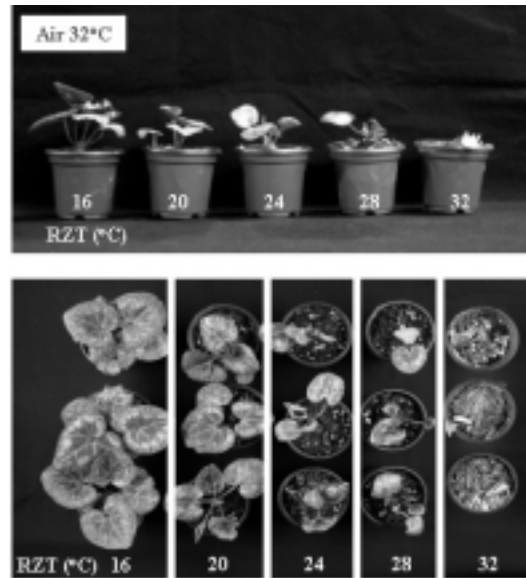


Fig. 7. Growth of ‘Metis Scarlet Red’ cyclamen grown under different root-zone temperatures under 32°C air temperature condition at 8 weeks after treatment.

제5절 시클라멘의 주년 생산 체계 확립

1. 서론

시클라멘은 주로 가을~봄에 걸쳐 실내를 장식하는 분화류이다. 화색이 다양하고 개화기간도 길며 잎도 관상가치가 있기 때문에 특히 겨울철 실내를 화려하게 장식하기에 알맞다. 이웃 나라 일본에서는 이미 난류를 제외한 분화류 중에서는 생산액이 제일 많다. 국내에서도 인기가 높아지고 있으며, 2005년 기준으로 63농가에서 12.5 ha의 면적에서 2,211,000분을 생산하여 48억 7,450만원(농가 판매액 기준)의 소득을 올렸다. 이 생산액은 난류와 관엽식물을 제외한 분화류 중 국화 다음이며, 시클라멘 뒤를 산호수, 임파첸스, 포인세티아, 칼랑코에 등이 40억원대의 생산액을 올리고 있다.

그러나 시클라멘은 재배 과정과 유통 과정에 몇 가지 문제점이 있어 생산이 기대에 못 미치고 있다. 첫째가 육묘 기간이 길고 이식 노력이 많이 든다. 시클라멘은 피경을 가지고 있지만 번식은 주로 종자를 이용하고 있다. 발아소요일수가 긴 것은 아니지만 발아하면서 피경을 형성하기 때문에 초기 생육은 매우 느리다. 파종 후 이식하기 좋은 3~4매엽 단계까지 2~3개월 걸리며, 출하시 화분 크기에 따라 정식 전에 1~3회 가식을 하고, 다시 화분에 정식할 때까지도 수개월 걸린다.

두 번째, 환경 변화에 민감하다. 시클라멘은 연간 강수량이 적고 온도의 연교차가 크지 않은 지중해 연안이 원산지이다. 생육 적온은 약 20℃ 전후로 생육기간 내내 15~20℃ 전후로 유지해 주는 게 최고 품질의 분화를 생산하는 방법이다. 그러나 국내 기후 조건 상 온실에서 이것은 거의 불가능한 일이다. 겨울철에는 난방으로 온도를 올릴 수는 있지만 국제유가의 상승으로 난방비 부담은 계속 증가하고 있다. 여름철에는 그 온도 범위를 맞추기는 더욱 어렵다. 여름철 고온 조건에서는 식물체가 무성해져 품질이 저하되고, 병 발생이 증가하는데, 어설픈 차광이나 생장억제제의 처리는 이러한 품질을 오히려 더 저하시킨다.

세 번째, 이미 형성된 시클라멘의 도매 가격과 소매 가격은 생산자와 소비자를 모두 올리고 있다. 생산자는 너무 싼 가격에 출하해야 하고, 소비자는 농가 판매 단가의 2~3배의 돈을 주고 사고 있다. 또, 고품질 분화가 가격에서 대접을 못받기 때문에 농가는 기술 개발 및 도입에 소극적이 되고, 소비자는 꽃값이 비싸다는 불만을 가지고 있다.

본 연구에서는 첫 번째와 두 번째 문제에 대해 대안을 제시하고자 한다.

2. 기존의 작형의 문제점

가. 육묘

기존의 작형을 보면, 대부분 농가에서 시클라멘 종자를 종묘상에서 구입하여 직접 육묘하고 이것을 이용하여 분화로 키워 출하한다. 시클라멘은 암발아종자이며, 보통 20℃, 상대습도 85~95%에서 가장 높은 발아율을 보인다. 그리고 발아 후 본엽이 3~4매가 되기까지 광도, 수분, 양분 등을 잘 관리해야만 좋은 묘가 될 수 있다. 따라서 온도와 습도가 별도의 발아실과 환경조절이 잘 되는 육묘실을 갖춰야만 고품질 묘를 생산할 수 있다. 그러나 현재의 자가 육묘 체계에서는 좋은 품질의 분화를 기대하기는 쉽지 않다.

우리나라에도 최근 (주)한미플러그 등 전문 육묘회사나 영농 법인에서 전문적으로 육묘를 시작하고 있다. 다만 아쉬운 것은 계절에 따라 또는 시기에 따라 품질의 차이가 있다는 것이다. 계속되는 노하우의 축적과 기술 및 시설 보완으로 이를 극복해야 할 것이다.

나. 온도 관리

아래 표에서 보듯이 우리나라 평년지 재배 작형에서 시클라멘은 정식 후 개화 단계에서는 여름을 거치지 않는다. 만약 이 생육 단계에 여름의 장마와 고온, 강광, 장일, 다습 조건을 거친다면 우선 생존을 걱정해야 하고, 살아난다 하더라도 품질에는 치명적인 손상이 생긴다.

시클라멘의 생육 적온은 15~20℃이고 25℃를 넘으면 생육에 이상이 올 수 있다. 고온 조건은 잎을 무성하게 하고, 다습 조건은 병 발생을 증가시킨다. 장마철의 약광 조건이나 온도를 낮추기 위한 차광은 장일 조건과 결합하여 엽병을 웃자라게 한다.

그 대안으로 나온 것이 고랭지 재배이다. 환기만 잘 된다면 여름철 기온을 시클라멘의 생육 가능 범위 내에 둘 수 있기 때문에 매력적인 방법이다. 다만 작기가 긴 시클라멘의 경우, 육묘기가 되든 개화기가 되든 저온기를 거쳐야 하기 때문에 난방비 문제가 발생한다.

이를 보완하기 위해 개발된 방법이 고랭지 연계 재배이다. 즉 6~9월의 고온기를 서늘한 고랭지로 이동하는 재배 방식으로 여름철 고온을 극복하기에 좋은 방법 중 하나이다. 그러나 문제는 이동 및 양쪽 온실 유지에 비용이 많이 든다는 것이다.

결국 현재의 작형은 고품질 시클라멘을 생산하기에는 크든 작든 문제점을 갖고 있다. 따라서 이를 해결하기 위한 기술 개발이 필요하다. 결국 환경 조절 기술과 생육 조절 기술이 그것이다.

표 1. 시클라멘의 작형(원예연구소, 고령지농업연구소)

구분	개화기	월별												재배적지	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
고정종	12~2월				△		△		●						
F1 및 미니종	10~11월		●		△		△			▲				□□□□	
	12~1월	□□		●		△				▲				□□	
	1~3월		□□□		●		△				▲				
	8~9월		●		△		↗		▲			□□□			
	10월			●		△		△		▲		↘		□□	
●: 파종, ○: 가식, △: 화분 가식, ▲: 화분 정식, □: 개화 및 출하 ↗: 고랭지 이동, ↘: 평산지 이동															

3. 작형의 보완

가. 육묘의 전업화

가능하면 육묘는 전문 업체에게 맡기고 농가에서는 고품질 생산에 집중해야 한다. 그러기 위해서는 좋은 품종을 선정하여 고품질 묘를 생산할 수 있는 튼실한 기업체나 영농 법인이 많아져야 하고, 이들이 품종 선정이나 재배 관리에 대한 컨설팅까지 책임져야 할 것이다. 그러면 농가는 별도의 발아실이나 육묘시설 없이 단순화된 작업 단계만을 수행하기 때문에 좀더 전문적인 기술과 시설 및 장비를 갖게 될 것이다.

나. 겨울철 저온기 난방비 절감 방안

본 연구에서 개발한 3가지 방식을 도입할 수 있을 것이다.

우선, 2단 벤치를 이용한 국부 난방법이다. 이에 대해서는 제2세부과제 및 협동과제에서 자세히 다룰 것이다.

두 번째로, 근권 난방을 하는 것이다. 현재 시클라멘 재배를 위해 겨울철 야온을 18~20℃로 유지하고 있는데 이를 4~5℃ 정도 낮추고 대신 근권 온도를 높이면 생육 및 품질의 저하 없이 재배할 수 있다.

세 번째로, 광중단을 이용하는 것이다. 주야간 온실 내 온도를 4~5℃ 낮추더라도 22:00~02:00까지 백열등으로 전조하게 되면 개화 억제나 품질의 저하 없이 시클라멘을 재배할 수 있다. 다만 이 방법은 장일성 식물에만 적용할 수 있다는

한계가 있다.

다. 여름철 고온 극복 방안

우선 가장 손쉬운 방법은 차광이다. 그러나 차광만으로는 고온 문제를 해결할 수 없다. 환풍기에 의한 강제 환기와 기화열을 이용한 냉방도 도입할 수 있다. 즉 현재 온실 재배에서 사용하고 있는 냉방 방법들 중 경제적으로 이용할 수 있는 것들을 같이 활용하는 것이다.

여기에 한 가지 추가할 수 있는 것이 본 연구에서 그 효과를 구명한 근권 냉방이다. 겨울철 근권 난방을 위해 설치한 배관을 이용하여 시원한 지하수를 흘려 근권을 20℃ 정도로 낮출 수만 있다면 품질을 획기적으로 높일 수 있다. 그리고 차광을 시클라멘의 최적 광도(300 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)에 맞춰 차광률을 조절할 수 있는 장치의 고안 및 설치도 좋은 방법이 될 것이다.

4. 결론

작물 생육을 최적화하기 위해서는 환경 조절과 이를 위한 기계 및 장치의 시설과 재배 기술 등이 갖춰져야 한다. 특히 고품질 분화 생산을 위해서는 좀더 정밀한 재배 관리가 필요하다. 본 연구에선 겨울철 저온기 난방비를 절감하는 기술을 주제로 다양한 접근 방법을 시도하였다. 다만 벤치에 의한 국부 난방, 근권 난방과 이를 활용한 근권 냉방, 저온 관리 하에서 광중단 등이 그것이다. 본 연구에서는 완전히 실용적인 방법을 개발했다고는 할 수 없지만 실용화 가능성이 아주 높은 기술들을 개발했다고 자체 평가하고 있다. 이 방법들을 이용한다면 겨울철 난방비를 좀더 절감할 수 있으며, 여름철 냉방에도 활용할 수 있을 것이다. 그렇게 되면 고품질 분화류 생산이 가능해지고 다른 분화류에도 적용할 수 있을 것이라 생각된다.

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 목표 달성도

구분	세부연구목표	달성 내용	목표 달성도
1	저온 관리시 장일처리에 의한 개화지연 완화 기술 개발	개화에 있어서 장일처리(광중단)가 난방 온도를 4℃ 낮추는 효과를 보임	달성
2	저온 관리시 근권 난방에 의한 생육 촉진 기술 개발	겨울철 근권난방에 의해 저온 관리가 가능함	달성
3	고온기 근권 냉방에 의한 생육 촉진 기술 개발	여름철 근권 냉방에 의해 고온에 의한 생육 저하를 막을 수 있음	달성

2. 관련 분야 기여도

구분	연구 결과	관련 분야	기여도
1	저온 관리시 장일처리에 의한 개화지연 완화 기술 개발	분화 생산 농가 재배시스템 업체	난방비 절감
2	저온 관리시 근권 난방에 의한 생육 촉진 기술 개발	분화 생산 농가 재배시스템 업체	난방비 절감
3	고온기 근권 냉방에 의한 생육 촉진 기술 개발	분화 생산 농가 재배시스템 업체	여름철 고온 극복으로 단경기 생산 가능

제5장 연구개발결과의 활용계획

- 바로 현장에 적용할 수 있는 기술들은 연구책임자 또는 농업기술센터 조직을 통해 분화 재배 농가에 대한 기술 교육을 하거나 책자를 통해 보급
- 특히 출원 기술들은 참여 기업체와 협의하여 현장에 적용할 수 있는 기술로 보완
- 학술적으로 의미있는 연구 결과들은 국내외 학회에 발표하고 학술지에도 게재하고 있는 중(학회 발표 5건, 학술지 게재 확정 1건, 심사 중 3건)
- 실증 실험이나 추가 실험이 필요한 부분은 계속 실험을 수행하고 있음
- 특히 저온 관리하에서 광중단으로 장일식물의 개화 지연을 완화하는 연구를 후속 과제로 진행하고 있음

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제7장 참고문헌

- Adams, S.R., S. Pearson, P. Hadley, and W.M. Patefield. 1999. The effects of temperature and light integral on the phase of photoperiod sensitivity in *Petunia × hybrida*. *Ann. Bot.* 83:263-269.
- Adams, S.R., S. Pearson, and P. Hadley. 1997. The effects of temperature, photoperiod and light integral on the time to flowering of pansy cv. Universal Violet (*Viola × wittrockiana* Gams.). *Ann. Bot.* 80:107-112.
- Al-Khatib, K and G.M. Paulsen. 1989. Enhancement of thermal injury to photosynthesis in wheat plants and thylakoids by high light intensity. *Plant Physiol.* 90:1041-1048.
- Anjou, K. 1986. *Cyklamen*. Tradgard 296. Swedish Univ. Agr. Sci. Res. Inform. Ctr, Alnarp.
- Armitage, A.M. 1991. Shade effects yield and stem length of field-grown cut-flower species. *HortScience* 26:1174-1176.
- Armitage, A.M. and H.Y. Wetzstein. 1984. Influence of light intensity on flower initiation and differentiation in hybrid geranium. *HortScience* 19:114-116.
- Armitage, A.M. and M.J. Tsujita. 1979. The effect of supplemental light source, illumination and quantum flux density on the flowering of seed propagated geranium. *J. Hort. Sci.* 54:195-198.
- Armitage, A.M., N.G. Seager, I.J. Warrington, and D.H. Greer. 1990. Response of *Oxypetalum caeruleum* to irradiance, temperature and photoperiod. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:910-914.
- Asma, H.S. 1973. Development of F-1 hybrids in cyclamen. *Acta Hort.* 31:145-147.
- Awano, I. 1994. Sunflowers, pp. 605-609. In: Soc. Cult. Agr. Vill. (ed.). Nogyou Gizyutsu Taikai. Ornamental Plants. 8. Soc. Cult. Agr. Vill. Tokyo, Japan.
- Ball, G.V. 1991. *Cyclamen (Cyclamen persicum)*, p. 475-481. In: G.V. Ball (ed.). *Ball RedBook*, 15th ed. Geo J. Ball Publishing, West Chicago.
- Ballare, C.L. 1999. Keeping up with the neighbours: Phytochrome sensing and other signaling mechanisms. *Trends in Plant Sci.* 4:97-102.
- Bernier, G., A. Havelange, C. Houssa, A. Petitjean, and P. Lejeune. 1993. Physiological signals that induce flowering. *Plant Cell* 5:1147-1155.
- Berry, J. and O. Björkman. 1980. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31:491-543.
- Berry, J.A. and J.K. Raison. 1981. Responses of macrophytes to temperature, p. 227-338. In: O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond, and H. Zeigler (eds.). *Encyclopedia of Plant Physiology*. Vol. 12A. Springer-Verlag, Heidelberg.

- Boardman, N.K. 1977. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 28:355-377.
- Bugbee, B. and J.W. White. 1984. Tomato growth as affected by root-zone temperature and the addition of gibberellic acid and kinetin to nutrient solutions. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109:121-125.
- Bunnell, B.T. and B. McCarty. 2004. Sunlight requirements for ultradwarf bermudagrass greens. *Golf Course Management* pp. 92-96.
- Carpenter, W.J. 1976. Photosynthetic supplementary lighting of spray pompon, *Chrysanthemum morifolium* Ramat. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101:155-158.
- Carpenter, W.J. and R.C. Rodriguez. 1971. Earlier flowering of geranium cv. Carefree Scarlet by high intensity of supplemental light treatment. *HortScience* 5:183-184.
- Carrow, R.N. 1996. Summer decline of bentgrass greens. *Golf Course Mgt.* 64:51-56.
- Cathey, H.M. 1969. Guidelines for the germination of annual pot plant and ornamental herb seeds. *Florist's Rev.* 144: 26-29.
- Cavins, T.J. and J.M. Dole. 2001. Photoperiod, juvenility, and high intensity lighting affect flowering and cut stem qualities of *Campanula* and *Lupinus*. *HortScience* 36:1192-1196.
- Chaisompongpan, N., P.H. Li, D.W. Davis, and A.H. Markhart. 1989. Root cooling protects plants from heat injury. *Plant Physiol.* 89 (Suppl.):32.
- Cheon, I.H. 2005. High photosynthetic photon flux and long day treatment promote growth and flowering of *Cyclamen persicum*. MS Diss., Seoul Natl. Univ., Seoul.
- Chung, S.K., W.H. Kim, M.H. Park, and Y.J. Park. 1997. Effects of winter root-zone warming on the productivity and quality of cut rose (*Rosa hybrida* L.) in rockwool culture. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 38:766-770.
- Collard, R.E., I.N. Joiner, C.A. Conover, and D.B. Meconnell. 1977. Influence of shade and fertilizer on light compensation point of *Ficus benjamina* L. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102:447-449.
- Cooper, A.J. 1973. Root temperature and plant growth - A review. Commonwealth Agr. Bureaux, Slough, U.K.
- Cremer, F., A. Havelange, H. Saedler, and P. Huijser. 1998. Environmental control of flowering time in *Antirrhinum majus*. *Physiol. Plant.* 104:345-350.
- Dodd, I.C., J. He, C.G.N. Turnbull, S.K. Lee, and C. Critchley. 2000. The influence of supra-optimal root-zone temperatures on growth and stomatal conductance in *Capsicum annum* L. *J. Expt. Bot.* 51:239-248.
- Dole, J.M. and H.F. Wilkins. 1999. *Floriculture: Principles and practices*. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
- Dostal, R. 1949. On photoperiodism and correlations in *Bryophyllum crenatum*. *Roazpravy*

- II, Tr Ceske Akad 59:1-34.
- Erwin, J., N. Mattson, and R. Warner. 2003. Fundamentals of flowering in plants: Supplemental lighting and earliness of flowering. Minnesota Commercial Flower Growers Bull. (August) pp. 5-8.
- Evans, G.C. 1972. The quantitative analysis of growth. Blackwell, London.
- Ewing, E.E. 1995. The role of hormones in potato (*Solanum tuberosum* L.) tuberization, pp. 698-724. In: P.J. Davies (ed.). Plant hormones: Physiology, biochemistry, and molecular biology. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands.
- Faust, J.E. and R.D. Heins. 1993. Modeling leaf development of the African violet (*Saintpaulia ionantha* Wedl.). J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118:747-751.
- Fitter, A.H. and Hay, R.K.M. 1987. Environmental physiology of plants. 2nd ed. Academic Press, London.
- Flint, H.L. 1960. Relative effects of light duration and intensity on growth and flowering of winter snapdragon (*Antirrhinum majus* L.). Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 75:769-773.
- Friend, D.J.C. 1968. Photoperiodic responses of *Brassica campestris* L. cv. Ceres. Physiol. Plant. 21:990-1002.
- Garcia-Martinez, J.L. and J. Gil. 2002. Light regulation of gibberellin biosynthesis and node of action. J. Plant Growth Regul. 20:354-368.
- Garner, W.W. and H.A. Allard. 1920. Effect of the relative length of day and night and other factors of the environment on growth and reproduction in plants. J. Agr. Res. 18:553-606.
- Gerritsen, H.A. 1998. Cyclamen, p.439-443. In: G.V. Ball (ed.). The ball redbook, 16th ed. Ball Publishing, Batavia, Illinois.
- Graves, W.R., R.J. Joly, and M.N. Dana. 1991. Water use and growth of honey locust and tree-of-heaven at high root-zone temperature. HortScience 26:1309-1312.
- Hagemann, W., 1959. Vergleichende, morphologische, anatomische und entwicklungsge schichtliche studien an *Cyclamen persicum* Mill, sowie einigen weiteren Cyclamen-Arten, Bot. Studien. 9:1-88.
- Hayashi, K. 1986. Sunflowers. P. 98. In: S. Abe, M. Okada, K. Konishi, and H. Higuchi (eds.). The encyclopedia of floriculture. Asakurasyoten. Tokyo.
- Hayata, Y. and Y. Imazumi. 2000. Effect of photoperiod on flower bud development of ornamental sunflowers (*Helianthus annuus* L.). J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 69:708-710.
- He, J. and S.K. Lee. 1998. Growth and photosynthetic characteristics of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under fluctuating hot ambient temperature with the manipulation of cool root-zone temperature. J. Plant Physiol. 152:387-391.
- He, J. and S.K. Lee. 2001. Relationship among photosynthesis, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase (Rubisco) and water relations of the subtropical vegetable Chinese

- broccoli grown in the tropics by manipulation of root-zone temperature. *Environ. Expt. Bot.* 46:119-128.
- Hedly, C.L. 1974. Response to light intensity and daylength of two contrasting flower varieties of *Antirrhinum majus* L. *J. Hort. Sci.* 49:105-112.
- Heide, O.M. 2004. Dual induction rather than intermediate daylength response of flowering in *Echinacea purpurea*. *Physiol. Plant.* 120:298-302.
- Heide, O.M. and W. Runger. 1985. Begonia, p. 4-23. In: A.H. Halevy (ed.). *Handbook of flowering*, Vol. 2. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Henard, G. and G. Neuray. 1965. L'influence de la lumiere sur la croissance du cyclamen, *Bull. Inst. Agric. St. Rech. Gembloux*, T33, No. 2.
- Heo, J.W., C.W. Lee, H.N. Murthy, and K.Y. Paek. 2003. Influence of light quality and photoperiod on flowering of *Cyclamen persicum* Mill. 'Dixie White'. *Plant Growth Regul.* 40:7-10.
- Higuchi, S. 1993. Photoperiodism. p.24. In: Soc. Cult. Agr. Vill. (ed). *Nogyou Gizyusu Taikei. Ornamental Plants. 1. Soc. Cult. Agr. Vill. Tokyo.*
- Hilding, A. 1999. Sa odlar du cyclamen. *VIOLA Tradgardsvarlden* 7:5.
- Hood, T.M. and H.A. Mills. 1994. Root-zone temperature affects nutrient uptake and growth of snapdragon. *J. Plant Nutr.* 17:279-291.
- Huang, B. and Q. Xu. 2000. Root growth and nutrient element status of creeping bentgrass cultivars differing in heat tolerance as influenced by supraoptimal shoot and root temperatures. *J. Plant Nutr.* 23:979-990.
- Jansen, H. 1960. The application of gibberellin to Cyclamen. *Gartenwelt* 60:230-232.
- Kaczperski, M.P., W.H. Carlson, and M.G. Karlsson. 1991. Growth and development of *Petunia × hybrida* as a function of temperature and irradiance. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:232-237.
- Kaczperski, M.P., W.H. Carlson, J. Biernbaum, R. Heins, and L. Ewart. 1989. Producing tuberous begonias from seed. *Ext. Bull. E-2136*, Michigan State Univ., East Lansing, MI, USA.
- Kanellos, E.A.G. and S. Pearson. 2000. Environmental regulation of flowering and growth of *Cosmos astrosanguineus* (Hook.) Voss. *Scientia Hort.* 83:265-274.
- Karlsson, M.G. 1997. Cyclamen, p. 59-63. In: M.L. Gaston, S.A. Carver, C.A. Irwin, and R.A. Larson (eds.). *Tips on growing specialty potted crops*. Ohio Florists' Assn., Columbus, Ohio.
- Karlsson, M.G. 2002. Flower formation in *Primula vulgaris* is affected by temperature, photoperiod and daily light integral. *Scientia Hort.* 95:99-110.
- Karlsson, M.G. and J.W. Werner. 2001a. Temperature affects leaf unfolding rate and flowering of cyclamen. *HortScience* 36:292-294.

- Karlsson, M.G. and J.W. Werner. 2001b. Temperature after flower initiation affects morphology and flowering of cyclamen. *Sci. Hort.* 91:357-363.
- Karlsson, M.G. and J.W. Werner. 2002. Flowering of *Primula malacoides* in response to photoperiod and temperature. *Scientia Hort.* 95:351-356.
- Karlsson, M.G. and R.D. Heins. 1992. Chrysanthemum dry matter partitioning patterns along irradiance and temperature gradients. *Can. J. Plant. Sci.* 72:307-316.
- Karlsson, M.G., R.D. Heins, J.E. Erwin, R.D. Berhage, W.H. Carlson, and J.A. Biernbaum. 1989a. Irradiance and temperature effects on time of development and flower size in chrysanthemum. *Sci. Hort.* 39:257-267.
- Karlsson, M.G., R.D. Heins, J.E. Erwin, R.D. Berhage, W.H. Carlson, and J.A. Biernbaum. 1989b. Temperature and photosynthetic photon flux influence chrysanthemum shoot development and flower initiation under short-day conditions. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114:158-163.
- Kim, W.S., J.S. Lee, and K.Y. Huh. 2001. Root growth and physiological activity of cut rose (*Rosa hybrida* L.) according to root-zone temperature. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 42:732-736.
- Kinet, J., R. M. Sachs, and G. Bernier. 1985. Control by light, p. 64-88. In: *The physiology of flowering*. Vol. 3. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Klock, K.A., H.G. Taber, and W.R. Graves. 1997. Root respiration and phosphorus nutrition of tomato plant grown at 32°C root-zone temperature. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122:175-178.
- Krause, W. 1967. The seven-month cyclamen. *The Grower*. Jan. 21, 1967.
- Kristoffersen, T. and P. Bergerud. 1972. Flowering of cyclamen in controlled environment. *Proc. Int. Hort. Congr.* 1:49-50.
- Kubínová, L. 1991. Stomata and mesophyll characteristics of barley leaf as affected by light: Stereological analysis. *J. Exp. Bot.* 42:995-1001.
- Kuroyanagi, T. and G.M. Paulsen. 1988. Mediation of high-temperature injury by roots and shoots during reproductive growth of wheat. *Plant Cell Environ.* 11:517-523.
- Lee, Y.D. and T. Takakura. 1995. Root cooling for spinach in deep hydroponic culture under high air temperature conditions. *Acta Hort.* 399:121-126.
- Loehrlein, M.M. and R. Craig. 2004. The effect of daily light integral on floral initiation of *Pelargonium × domesticum* L.H. Bailey. *HortScience* 39:529-532.
- Mastalerz, J.W. 1977. *The greenhouse environment*. Wiley, New York.
- Matsuoka, T., H. Suhardiyanto, and A.S. Yuwono. 1992. Energy and thermal aspects of intermittent circulation of the cooled nutrient solution for NFT cultivation in summer. *Bull. Res. Inst. System Hort. Fac. Kochi Univ.* 9:65-71.
- McCain, D.C., J. Croxdale, and J.L. Markley. 1988. Water is allocated differently to

- chloroplasts in sun and shade leaves. *Plant Physiol.* 86:16-18.
- Ministry of Agriculture and Forestry. 2004. '04 The present condition for growing of Flower and ornamental plants.
- Moon, J.H. 2001. Physiological responses of cucumber to root-zone temperature. PhD Diss., Seoul National Univ., Seoul.
- Morel, P. 1994. Maitrise des temperatures estivales sous serre: Plaidoyer pour le brouillard. P.H.M. revue Horticole, no347, Mars, p. 27-33.
- Mortensen, L.M. and R. Moe. 1995. Effects of temperature, carbon dioxide concentration, daylength, and photon flux density on growth, morphogenesis, and flowering of miniature roses. *Acta Hort.* 378:63-70.
- Muhammad, M., J. Muhammad, B. Jalal-ud-din, and K.K. Rehman. 2004. Impact of light intensity on flowering time and plant quality of *Antirrhinum majus* L. cv. Chimes White. *J. Zhejiang Univ. Sci.* 5:400-405.
- Nakayama, M. 1980. Vegetative propagation of cyclamen by notching of tuber II. Effects of scooping site and notching size on the regeneration of cyclamen tuber. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 49:228-234.
- Napier, D.R. and G. Jacobs. 1989. Growth regulators and shading reduce flowering of *Leucospermum* cv. Red sunset. *HortScience* 24:966-968.
- Nemali, K.S. and M.W. van Iersel. 2004. Acclimation of wax begonia to light intensity: Changes in photosynthesis, respiration, and chlorophyll concentration. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 129:745-751.
- Neuray, G.K. 1973. Bud formation in *Cyclamen persicum*. *Acta Hort.* 31:77-79.
- Niizu, Y. 1967. Flower bud differentiation in cyclamen. *Agr. Hort.* 42:1269-1270.
- Niu, G., R.D. Heins, A. Cameron, and W. Carlson. 2000. Day and night temperatures, daily light integral, and CO₂ enrichment affect growth and flower development of pansy (*Vilosa × wittrockiana*). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125:436-441.
- Niu, G., R.D. Heins, A. Cameron, and W. Carlson. 2001a. Day and night temperatures, daily light integral, and CO₂ enrichment affect growth and flower development of *Campanula carpatica* 'Blue Clips'. *Sci. Hort.* 87:93-105.
- Niu, G., R.D. Heins, A. Cameron, and W. Carlson. 2001b. Temperature and daily light integral influence plant quality and flower development of *Campanula carpatica* 'Blue Clips', 'Deep Blue Clips', and *Campanula* 'Birch Hybrid'. *HortScience* 36:664-668.
- Okada, M. 1982. Kusabana. p.81 *Soc. Cult. Agr. Vill. Tokyo.*
- Paulsen, G.M. 1994. High temperature responses of crop plants, p. 365-389. In: K.J. Boot, J.M. Bennett, T.R. Sinclair, and G.M. Paulsen (eds.). *Physiology and determination of crop yield.* Amer. Soc. Agron., Madison, Wis.
- Pietsch, G.M., W.H. Carlson, R.D. Heins, and J.E. Faust. 1995. The effect of day and

- night temperatures and irradiance on development of *Catharanthus roseus* (L.) 'Grape Cooler'. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120:877-881.
- Piringer, A.A. and H.M. Cathey. 1960. Effect of photoperiod, kind of supplemental light, and temperature on the growth and flowering of petunia plants. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 76:649-660.
- Post, K. 1949. Florist crop production and marketing. Orange Judd., New York. p. 430-436.
- Quatchak, D.J., J.W. White, and E. J. Holcomb. 1986. Temperature, supplemental lighting, and chlormequat chloride effects on flowering of geranium seedlings. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111:376-379.
- Ramcharan, C., D.L. Ingram, T.A. Nell, and J.E. Barrett. 1991. Fluctuations in leaf carbon assimilation as affected by root-zone temperature and growth environment. HortScience 26:1200-1202.
- Runkle, E.S. and R.D. Heins. 2003. Photocontrol of flowering and extension growth in the long-day plant pansy. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 128:479-485.
- Runkle, E.S., R.D. Heins, A.C. Cameron, and W.H. Carlson. 1998. Flowering of *Leucanthemum* × *superbum* 'Snowcap' in response to photoperiod and cold treatment. HortScience 33:1003-1006.
- Runkle, E.S., R.D. Heins, A.C. Cameron, and W.H. Carlson. 2001. Photocontrol of flowering and stem extension of the intermediate-day plant *Echinacea purpurea*. Physiol. Plant. 112:443-441.
- Ruter, J.M and D.L. Ingram. 1990. ¹⁴Carbon-labeled photosynthate partitioning in *Ilex crenata* 'Rotundifolia' at supraoptimal root-zone temperature. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115:1008-1013.
- Ruter, J.M and D.L. Ingram. 1992. High root-zone temperature influences Rubisco activity and pigment accumulation in leaves of 'Rotundifolia'holly. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117:154-157.
- Sachs, R.M. 1956. Floral initiation in *Cestrum nocturnum*. I. A long short day plant. Plant Physiol. 31:185-192.
- Salisbury, F.B and C.W. Ross. 1992. Plant physiology. Wadsworth, Belmont, CA.
- Sandwell, I. 1977. Warm rooted tomatoes crop satisfactorily at 5 deg. C night. Grower 88: 605.
- Sasaki, K. and T. Itagi. 1989. Effect of root cooling treatment of nutrient solution on growth and yield of tomato, cucumber and melon. Environ. Control Biol. 27:89-95.
- Serek, M. 1991. Effects of pre-harvest supplementary irradiance on decorative value and ethylene evolution of *Campanula carpatica* 'Karl Foerster' flowers. Sci. Hort. 48:341-347.

- Shimai, H. 2001. Flowering response of petunia plants to photoperiod and irradiance. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 70:691-696.
- Spann, T.M., J.G. Williamson, and R.L. Darnell. 2003. Photoperiodic effects on vegetative and reproductive growth of *Vaccinium darrowi* and *V. corybosum* interspecific hybrids. *HortScience* 38:192-195.
- Stephens, L.C. and R.E. Widmer. 1976. Soil temperature effects on cyclamen flowering. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101:107-111.
- Strauss-Debenedetti, S. and G. P. Berlyn. 1994. Leaf anatomical responses to light in life tropical Moraceae of different successional status. *Amer. J. Bot.* 81:1582-1591.
- Sumimoto, A. and K. Kosugi. 1963. Studies of cyclamen. I. On the germination of seed. *Tech. Bull. Fac. Agr. Kagawa Univ.* 14:137-140.
- Sundberg, M.D. 1981a. Apical events prior to floral evocation in *Cyclamen persicum* 'F-1 Rosemunde' (Primulaceae). *Bot. Gaz.* 142:27-35.
- Sundberg, M.D. 1981b. The development of leaves and axillary flowers along the primary shoot axis of *Cyclamen persicum* 'F-1 Rosemunde'. *Bot. Gaz.* 142:214-221.
- Thomas, B. and D. Vince-Prue. 1997. *Photoperiodism in plants*, 2nd ed. Academic Press, London, UK.
- Tindall, J.A., H.A. Mills, and D.E. Radcliffe. 1990. The effect of root-zone temperature on nutrient uptake of tomato. *J. Plant Nutr.* 13:979-956.
- Tsujita, M.J. 1987. High intensity supplementary radiation of roses, p. 171-186. In: R.W. Langhans (ed.). *Roses*. Roses Inc., Haslett, Mich.
- Tsujita, M.J. and R.G. Dutton. 1983. Root zone temperature effects on greenhouse roses in relation to supplementary lighting at reduced air temperature. *HortScience* 18:874-876.
- Udagawa, Y., H. Aoki, and T. Ito. 1990. Effect of root temperature on growth and yield of strawberry plant. *Bull. Chiba Agric. Exp. Stn.* 31:27-37.
- Verberkt, H. and D.L.V. Facet. 2003. Supplemental lighting on potted plants. *Canadian Greenhouse Conference*, 8 Oct. 2003.
- Volk, T. and B. Bugbee. 1991. Modeling light and temperature effects on leaf emergence in wheat and barley. *Crop Sci.* 31:1218-1224.
- Warrington, I.J. and C.J. Stanley. 1988. Effect of temperature and light intensity on *Zantedeschia* flower quality. *HortResearch Experiment*. No. 392.
- Wellensiek S.J. 1949. Bloei-beïnvloeding bij *Campanula medium*. *Vakblad Bloeisterij* 4:235.
- White, J.W. and I.J. Warrington. 1988. Temperature and light integral effects on growth and flowering of hybrid geraniums. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113:354-359.
- Widmer, R.E. 1992. Cyclamen, p. 385-407. In: R.A. Larson (ed.). *Introduction to*

- floriculture, 2nd ed. Academic Press, New York.
- Widmer, R.E. and R.E. Lyons. 1985. *Cyclamen persicum*, p. 382-390. In: A.H. Halevy (ed.). Handbook of flowering II. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Widmer, R.E., 1972. The growth of *Cyclamen persicum* in peat and pear modified media with several fertilizer regimes. Acta Hort. 26:103-111.
- Widmer, R.E., L.C. Stephens, and M.V. Angell. 1974. Gibberellin accelerates flowering of *Cyclamen persicum* Mill. HortScience 9:476-477.
- Xu, Q. and B. Huang. 2000a. Growth and physiological responses of creeping bentgrass to changes in air and soil temperatures. Crop Sci. 40:1363-1368.
- Xu, Q. and B. Huang. 2000b. Effects of differential air and soil temperature on carbohydrate metabolism in creeping bentgrass. Crop Sci. 40:1368-1374.
- Xu, Q. and B. Huang. 2001a. Morphological and physiological characteristics associated with heat stress in creeping bentgrass. Crop Sci. 41:127-133.
- Xu, Q. and B. Huang. 2001b. Lowering soil temperature improves creeping bentgrass growth under heat stress. Crop Sci. 41:1878-1883.
- Yeager, T.H., R.H. Harrison, and D.L. Ingram. 1991. 'Rotundifolia' holly growth and nitrogen accumulation as influenced by supraoptimal root-zone temperatures. HortScience 26:1387-1388.

제2세부과제

다단계 심지 이용형 흘림식 분화
양액재배 시스템 개발

서울대학교 식물생산과학부

손 정 익

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “에너지 절감형 고품질 분화 생산 시스템 개발” 과제(제2세부과제 “다단계 심지 이용형 흘림식 분화 양액재배 시스템 개발”)의 최종보고서로 제출합니다.

2006년 7월 14 일

주관연구기관명 : 서울대학교

세부연구책임자 : 손 정 익

연 구 원 : 오 성 봉

연 구 원 : 김 성 규

연 구 원 : 노 은 희

연 구 원 : 뉴 엔 타이

연 구 원 : 조 영 렬

요 약 문

I. 제 목

에너지 절감형 고품질 분화 생산 시스템 개발
(다단계 심지 이용형 흘림식 분화 양액재배 시스템 개발)

II. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 우리나라 분화재배 생산은 시설 내에서 가능한 한 안정적인 주년생산을 도모하여 농가소득을 증대하기 위한 여러 가지 기술을 개발·도입 중에 있다. 고품질 상품의 안정적인 대량 생산을 위해서는 작물생육에 적절한 환경을 균일하게 유지하여야 하며, 이를 위해서는 작물과 재배조건에 맞는 적합한 생산시스템을 사용하여야 한다. 최근에는 양액재배가 일반화되어 있고, 양액재배시 관비에 알맞은 여러 시스템이 개발되어 보급되고 있다. 하지만, 아직까지도 많은 생산농가에서는 관수 시스템 및 조건에 따라 시설 내 불균일한 환경 조건 또는 다습한 환경 조건으로 인하여 불균일한 생육과 병해가 문제가 되고 있다. 또한 나날이 국제 유가가 상승하는 가운데, 생산비에서 냉난방비가 차지하는 비중 또한 증가하여 생산성 및 품질 향상을 위한 기술과 더불어 효과적인 에너지 절감형 시스템 개발이 필요한 실정이다. 에너지 절감을 위한 여러 가지 자재, 시스템 등이 개발되고 있는 가운데, 아직도 이와 더불어 적합한 환경 조절 기술이 미흡하고, 시스템의 부분적 문제로 인하여 실제 농가에 보급 및 활용에 어려움을 겪고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 최근 배지 내 수분조절에 유리한 심지재배방식을 도입하여, 양액재배에 적합하고 다습한 환경조건을 개선할 수 있는 관수 시스템의 개발 및 효율적인 관수 방법을 개발하고, 냉난방 시 에너지 소비를 줄일 수 있는 시스템을 개발하고자 하였다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 에너지 절감형 다단 재배 시스템 개발

- 에너지 절감을 위한 공간 절약형 다단식 베드 설계
- 환경 특성을 고려한 다단 베드 결정

2. 에너지 절감형 분화생산 난방체계 개발

- 2개의 온풍기를 이용한 국부 구분 난방 시스템 구성
- 난방 성능 평가

3. 시스템 수분 관리 기술 개발

- 베드의 경사도
- 화분 크기와 심지 크기에 따른 배지 함수율 변화 비교
- 적정 배지 수분 관리를 위한 관수 방법 결정
- 적정 배지 수분 함수율을 위한 관수 횟수 결정을 위한 실증 실험

4. 양액재배시스템 및 분화배지 내의 환경 및 생육 분석

- 양액 농도에 따른 분화배지 내 부위별 염류집적도 분석
- 배지 내 함수율에 따른 산소확산계수 변화 분석

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

제 1 절 에너지 절감형 다단 재배 시스템 개발

1. 에너지 절감을 위한 공간 절약형 다단식 베드 설계

베드 위쪽에 아치형 구조를 설치하여 터널형 구조를 만들었으며, 2단 및 3단 베드 시스템을 구성하여 야간에 난방체적을 줄일 수 있도록 설계하였다. 하단 베드는 수평레일 위를 움직이도록 되어 있어, 주간에는 전개한 상태에서 수광을 용이하게 하고, 야간에는 수납된 후 자동 개폐가 가능한 터널에 의하여 덮이도록 구성하였다.

2. 환경 특성을 고려한 다단 베드 결정

터널 내부 난방시 수직적인 위치를 갖는 베드들 사이의 온도 및 상대습도 환경이 차이가 날 수 있으므로 이를 고려한 다단 베드를 평가하였다. 또한, 터널형 난방시 내부 결로현상이 문제점으로 지적이 되는 바, 이를 개선하여 적용할 수 있는 관수 시스템을 선정하였다.

담액식 관수 시스템의 경우 심한 결로 현상이 생겼지만, 심지 이용형 흘림식 양액재배 시스템(NFW, Nutrient-Flow Wick culture system)의 경우에는 결로 방지 효과가 뛰어났다.

다단 베드 중, 3단 베드는 상단과 하단의 온도차이가 5°C 가량 차이가 났으며, 상대습도의 경우 하단이 사단에 비하여 30%까지도 차이가 났다. 따라서 난방비 절감을 위한 터널을 이용한 공간 절약형 다단식 베드 시스템으로서 2단의 NFW 시스템을 개발하였다.

제 2 절 에너지 절감형 분화생산 난방체계 개발

1. 복수온풍기를 이용한 국부 구분 난방 시스템 구성

서로 다른 용량의 독립된 2대의 온풍기를 사용하여 터널 내부 중심의 국부난방과 외부 최저온도 유지를 위한 난방에 각각 이용하였다. 대형 온풍기는 온실 전체를 가온하도록 송풍 덕트를 설치하였다. 소형 온풍기는 터널 내부를 중점적으로 가온하도록 송풍 덕트를 설치하였으며, 협소한 공간에 순간적으로 많은 열량이 공급되는 것을 완화하기 위하여 터널 밖 덕트의 표면에 다수의 지름 4cm의 구멍을 뚫어 송풍량을 조절하였다.

2. 난방 성능 평가

저용량의 소형 온풍기만으로도 원하는 작물생육 온도를 유지시킬 수가 있으며, 잔여열은 온실 내부 온도를 높여 기온이 영하로 떨어지지 않기 때문에 양액이 얼어 양액파이프의 동파 등을 방지할 수가 있다. 외기온이 영하 10°C 이하로 떨어지는 경우에는 백업 시스템 개념의 터널 외부 난방을 실시할 수가 있으며, 이러한 경우에도 최저 온도를 0°C 또는 5°C로 맞추어 난방 비용을 절감할 수 있다.

3. 모델에 의한 시스템 운용 예측

벤취 난방이 진행되는 동안 벤취 내부에서 온실 내부로 열이동이 발생하였고, 온실의 내부기온이 최저 4-5°C 이상 유지되어 동파의 위험성이 없기 때문에 별도로 온실 내부 공간 전체를 난방할 필요가 없는 것으로 나타났다.

온실 내부의 온도가 각종 농작물의 동파가 일어나지 않는 최저의 온도를 유지시키면서, 화훼작물이 생육하고 있는 벤취 내부의 공간을 집중적으로 난방할 수 있다면 에너지 절감에 기여할 수 있다.

제 3 절 시스템 수분 관리 기술 개발

1. 베드의 경사도

베드 전반적인 균일한 수분흡수 양상을 보이는 처리구는 3%와 5% 처리구였으며 3% 처리구가 좀 더 좋은 결과를 보였다. 1% 처리구에서 수분 공급은 아주 완만한 관수 흐름을 보였으며, 베드 상단의 일부분의 물고임으로 인하여 베드 표면에 녹조류가 발생하였다. 심지이용형 흘림식 저면관수(NFW) 시스템 이용시, 적정 베드 경사도는 3%를 유지하는 것이 시스템 내의 균일한 배지 내 수분관리에 알맞을 것으로 판단된다.

2. 화분 크기와 심지 크기에 따른 배지 함수율 변화 비교

대체적으로, 화분 내 상토 용적이 증가할수록 심지 크기는 큰 것이 빠른 수분 흡수를 보이며, 용적함수량에 도달하기에 유리한 것으로 나타났다. 하지만 심기를 통한 수분 흡수가 너무 빠르거나, 이를 통해 도달하는 최대 함수율이 지나치게 높게 되는 현상을 경계해야 한다. 소형분화 생산에 사용되는 6cm 및 10cm의 포트의 경우, 이들 모두에 유효하게 사용할 수 있는 것은 1.5cm 폭의 심지이었다.

3. 적정 배지 수분 관리를 위한 관수 방법 결정

초기 수분함률에 따른 수분 흡수량과 관수 시스템과 관수 시기 및 시간, 그리고 배지 구성에 따른 배지의 수분흡수량 변화를 구하였다. 이를 통해 각 조건 별 적정 관수 시간을 결정할 수가 있도록 하였다.

4. 적정 배지 수분 함수율을 위한 관수 횟수 결정

식물체가 있는 경우에는 식물체의 증산으로 인한 수분 손실을 고려한 관수가 필요하다. 식물체의 생육이 진전되고 엽면적이 넓어짐에 따라 관수 횟수도 늘어나게 되었다. 이는 식물체의 증산이 증가하기 때문이다.

제 4 절 양액재배 시스템 및 분화배지 내의 환경 및 생육 분석

1. 저면관수방법과 양액농도에 따른 분화배지 내 부위별 염류 집적도 분석

다양한 저면관수 시스템과 관수 회수에 따른 배지내 염류집적도를 알아보기 위하여 EC 1.6 dS/m의 양액을 공급하면서 배지의 EC를 추적하였다. 관수방법에 따라서는, 지속적으로 배지로의 양액 흡수와 증발이 일어나는 담액식 관수 시스템에서 염류집적도도 높았고, NFW 시스템에서는 낮았다. 양액의 농도를 각각 EC 0.1, 0.8, 1.6, 2.4, 3.2 dS/m로 하여 저면관수 시스템 하에서 분화를 재배할 경우, 상토의 두께 1cm의 표층부는 전체 배지 체적의 8분의 1에 해당하지만, 염의 집적은 전체의 50~60%에 달하는 것으로 나타났다.

2. 배지 내 함수율에 따른 산소확산계수 변화 분석

일반 토양에서의 함수량에 따른 산소확산계수와는 달리, 원예용 상토의 경우에는 배지의 함수량에 따라 증가하다가 함수율 50% 이후에 하락하는 경향을 보였다. 피트모스 등은 미세공극이 매우 잘 발달하였기 때문에 많은 양의 수분이 공급되더라도 모세관이 아닌, 미세공극에서 이를 수용하게 된다. 따라서 많은 양의 수분을 흡수한 후에도 통기를 위한 공간을 확보하고 있으며, 흡수한 수분은 뿌리표면에 수막을 형성하여 산소가 뿌리로 흡수되도록 도울 수도 있다. 원예 상토의 경우, 산소확산계수가 다시 줄어드는 함수율 60% 이하로만 배지 함수율을 유지한다면, 과습 조건에 민감하지 않은 작물의 경우에는 무난한 수분관리가 가능할 것이다.

3. 실증 실험 및 생육 비교

개발된 난방시스템과 관수시스템에서 아이비, 임파첸스, 칼랑코에 1000개체씩을 재배하였다. 아이비의 생육은 생체중과 줄기 길이에서는 시스템 간 차이가 나타나지 않았지만, 측지의 발달이 NFW를 이용한 시스템에서 더 많았던 것으로 나타났다. 임파첸스는 전체적으로 모든 시스템에서 생육차이가 나지 않았다. 칼랑코에는 삼목 6주 후의 건물중이 지상부와 지하부 모두 다른 것들보다 더 높았으나, 이후 상품 출하시기의 생육은 거의 차이가 없었다.

칼랑코에의 화아분화는 2단 베드 시스템에서, 관수방식에 상관없이 하단베드의 것들이 다른 경우보다 3주 정도 빨리 일어났다. 이는 단일처리 이전부터, 시스템 특성상 야간 난방을 위하여 18시부터 다음날 9시까지 터널을 닫게 되는데, 이 때 하단의 수광량은 급격히 떨어지고, 상단부는 지속적인 수광을 하기 때문에 예상하지 못한 단일 처리 효과가 나타난 것으로 생각된다.

SUMMARY

Section 1. Development of a multi-layered nutrient-flow wick Culture (NFW) system

1. Design of energy-saving multi-layered cultivation systems

As heating cost is a major portion of the expenses in greenhouse cultivation in winter, various approaches for energy-saving have been tried. Multi-layered cultivation systems with arch-type roof were developed to minimize the inside volume for energy-saving. The growing bed in the lower layer was exposed to the sun during the day and stored inside at night. The system appeared more effective due to their intensiveness of heating with the minimized cover area during the heating.

2. Evaluation of multi-layered nutrient-flow wick culture (NFW) systems

Single- and multi-layered cultivation systems were evaluated in terms of the distribution of temperature and relative humidity (RH) with/without plants. Temperatures were higher in NSW systems than those in NFW systems by 1.5~2°C, regardless of the presence of plants. Temperatures varied within 1~2°C in the multi-layered NFW systems and varied more by 5°C in the triple-layered system. Differences in RH were 5~10% in double-layered systems and approximately 30% in triple-layered systems. Therefore, double- or single-layered NFW system is more recommendable considering the well distribution of temperature and RH between the layers and the no condensation on the surface of the film.

Section 2. Development of energy-saving heating system for potted plant production

1. Design of tunnel-type local-heating system

Tunnel-type local heating system with duct was designed on the purpose of energy saving. Two independent heaters are operated to heat the inside of the greenhouse and tunnel, respectively. Out-tunnel heater maintains the in-greenhouse temperature preventing the reservoirs from freezing. In-tunnel heater is operated to maintain the desirable temperature for the crop inside the

growing bench.

2. Performance of tunnel-type local-heating system

Desired temperature for potted plants could be maintained within ± 2.5 °C by using a tunnel-type local heating system. Sole operation of the heater for in-tunnel heating could maintain temperature over the set point, especially, when outside temperature was over -10 °C. Out-tunnel heater should be operated just for back-up to save energy.

3. Prediction of the performance and operation of the system using a model

The change of temperature and operation of two heaters was predicted using a modeling method. During the heating by the local heater, movement of heat occurred and this maintained the temperature of the greenhouse over $4 \sim 5$ °C, which prevents freezing damages. When the lowest temperature is set to $4 \sim 5$ °C, the operation of the central heater is not necessary but auxiliary.

Section 3. Development of water management techniques

1. Slope rate

Uniformity in water absorption of medium was the greatest in 3 % slope. When greater than 3 % slope, difference in water absorption rate between the two side positions. Algae occurred in 1 % slope. Therefore an adequate slope of culture bed in the NFW system could be 3%

2. Comparison of water contents of media affected by the size of pot and wick

As the volume of pot was greater, the water content of medium increased faster with a wider wick. However, water absorption rate was too high in small pot with wide wick. Desirable widths of wick were 1 and 1.5 cm in 6- and 7-cm pots, respectively. The 1.5 cm wick was allowed for both sizes of pots.

3. Irrigation method for proper water management

Water absorption rate of medium was measured in the conditions of different initial water content of medium, irrigation methods and time, and the contents of medium. Irrigation time can be determined by using this results.

4. Irrigation frequency for proper medium water content

Irrigation time and frequency were increased with increase of plant growth. As the plant grew, the leaf area became greater with increase of transpiration. Irrigation strategy was required based on water loss by transpiration of plants.

Section 4. Environmental analysis of root media in the production system and growth of potted plants

1. Salt build-up in the medium affected by irrigation methods and concentration of nutrition solution

EC change of medium was traced in different irrigation methods at EC 1.6 dS.m and the EC of medium was the highest in the NSW systems and the lowest in the NFW system. Under ECs of 0.1, 0.8, 1.6, 2.4, and 3.2 dS/m, the 40 ~ 50 % of salt build-up was occurred at a depth of 1 cm from the top soil in the subirrigation system .

2. Analysis of oxygen diffusion rate of medium

The ODR values measured in non-soil media(peatmoss and perlite) were very unusual. These values appear to keep increasing up to 50 % water content. ODR in soil has a tendency of decrease as water content increases. However, in growing media of peat moss and perlite, ODR was increased as water content increased. In this case, it was thought that water film surrounding Pt electrode was not formed thoroughly at the low water content. Water content of growing medium below 60% will be adequate to plants unsensitive to high moisture.

3. Evaluation of the system with growth of potted plants through the on-site experiment

Ivy, impatiens, and kalanchoe were cultured in the developed energy-saving systems with NFW or NSW irrigation system. Number of plants were 1,000 for each plant. The growth of ivy was not significantly different in shoot length, fresh and dry weights, however, number of lateral shoots were higher in the NFW. The growth of impatiens showed almost non-significant in all systems. Flower bud differentiation occurred 3-week earlier in the lower beds than in the other upper beds. During the period before short-day treatment, the lower beds were regularly stored inside from 18:00 to 09:00 without light, whileh the upper beds were still exposed to the sun by sunset. It was likely to have caused the similar condition to short-day treatment.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	100
Chapter 2. The situation of technology development of domestic and overseas	101
Chapter 3. Methods and results of research development	102
Section 1. Development of a multi-layered nutrient-flow wick Culture (NFW) system.....	102
1. Design of energy-saving multi-layered cultivation systems.....	102
2. Evaluation of multi-layered nutrient-flow wick culture (NFW) system	103
Section 2. Development of energy-saving heating system for potted production	111
1. Design of tunnel-type local-heating system.....	111
2. Performance of tunnel-type local-heating system.....	112
3. Prediction of the performance and operation of the system using a model.....	115
Section 3. Development of water management techniques.....	118
1. Slope rate.....	118
2. Comparison of water contents of media affected by the size of pot. and wick.....	120
4. Irrigation method for proper water management.....	122
5. Irrigation frequency for proper medium water content.....	124
Section 4. Environmental analysis of root media in the production system and growth of potted production.....	126
1. Salt build-up in the medium affected by irrigation methods and concentration of nutrition solution.....	126

2. Analysis of oxygen diffusion rate of medium.....	128
3. Evaluation of the system with growth of potted plants through the on-site experiment.....	129
Chapter 4. Attainment and contribution degree of research development objects.....	141
Chapter 5. Application plans of research development results.....	142
Chapter 6. Overseas' scientific technology information collected during research development.....	142
Chapter 7. References.....	143

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요.....	100
제 2 장	국내외 기술개발 현황.....	101
제 3 장	연구개발 수행 내용 및 결과.....	102
제 1 절	에너지 절감형 다단 재배 시스템 개발.....	102
1.	에너지 절감을 위한 공간 절약형 다단식 베드 설계.....	102
2.	환경 특성을 고려한 다단 베드 결정.....	103
제 2 절	에너지 절감형 난방체계 개발.....	111
1.	복수 온풍기를 이용한 국부 구분 난방 시스템 구성.....	111
2.	난방 성능 평가.....	112
3.	모델을 이용한 시스템 성능 및 운용 예측.....	115
제 3 절	시스템 수분 관리 기술 개발.....	118
1.	베드의 경사도.....	118
2.	화분 크기와 심지 크기에 따른 배지 함수율 변화 비교.....	120
3.	적정 배지 수분 관리를 위한 관수 방법 결정.....	122
4.	적정 배지 수분 함수율을 위한 관수 횟수 결정.....	124
제 4 절	양액재배 시스템 및 분화배지 내의 환경 및 생육 분석.....	126
1.	저면관수 방법과 양액 농도에 따른 분화배지 내 부위별 염류집적도분석.....	126
2.	배지 내 함수율에 따른 산소확산계수 변화 분석.....	128
3.	실증 실험 및 생육 비교.....	129
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도.....	141
제 5 장	연구개발 결과의 활용계획.....	142
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술 정보.....	142
제 7 장	참고문헌.....	143

제 1 장 연구개발과제의 개요

현재 우리나라 분화재배 생산은 시설 내에서 가능한 한 안정적인 주년생산을 도모하여 농가소득을 증대하기 위한 여러 가지 기술을 개발·도입 중에 있다. 고품질 상품의 안정적인 대량 생산을 위해서는 작물생육에 적절한 환경을 균일하게 유지하여야 하며, 이를 위해서는 작물과 재배조건에 맞는 적합한 생산시스템을 사용하여야 한다. 최근에는 양액재배가 일반화되어 있고, 양액재배시 관비에 알맞은 여러 시스템이 개발되어 보급되고 있다. 하지만, 아직까지도 많은 생산농가에서는 관수 시스템 및 조건에 따라 시설 내 불균일한 환경 조건 또는 다습한 환경 조건으로 인하여 불균일한 생육과 병해가 문제가 되고 있다.

현재의 시설원예에서 난방을 위한 에너지원은 대부분 석유에 속하며 일부는 천연가스, 전기, 자연에너지(태양열, 지열, 지하수 등), 공장으로부터의 온배수 등을 이용하기도 한다. 석유파동 때에는 석유 절감을 위한 각종 에너지원이 연구되었고 일부 실용화되었으나, 설비비의 부담 증가와 온실내 환경 악화를 초래하는 문제도 있고, 석유공급 불안이 펼쳐지기 시작한 시기부터 대부분이 다시 석유에 의존하게 되었다. 하지만, 이 또한 나날이 국제 유가가 상승하는 가운데, 생산비에서 냉난방비가 차지하는 비중 또한 증가하고 있다. 2006년 2월 국제금융센터에서 발표한 국제 원유 가격 전망 보고서에 의하면, 주요 원유가격은 2005년도 1월에 비하여 약 1.7배 인상되었으며, 앞으로도 지속적으로 상승할 것으로 전망하고 있다. 이것이 의미하는 바는, 우리나라에서의 분화작물의 주년생산을 위한 냉난방비의 부담이 계속해서 증대될 것이라는 것이다. 따라서, 생산성 및 품질 향상을 위한 기술과 더불어 효과적인 에너지 절감형 시스템 개발이 더욱 절실한 실정이다.

에너지 절감을 위한 여러 가지 자재, 시스템 등이 개발되고 있는 가운데, 아직도 이와 더불어 적합한 환경 조절 기술이 미흡하고, 시스템의 부분적 문제로 인하여 실제 농가에 보급 및 활용에 어려움을 겪고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 최근 배지 내 수분조절에 유리한 심지재배방식을 도입하여, 양액재배에 적합하고 다습한 환경조건을 개선할 수 있는 관수 시스템의 개발 및 효율적인 관수 방법을 개발하고, 냉난방 시 에너지 소비를 줄일 수 있는 시스템을 개발하고자 하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

1. 국외기술 현황

현재 여러 가지 관수 방식이 실용화되어 실제 재배농가에 널리 보급되어 있다. Ebb & flow, mat 및 심지 재배기술이 상용화되어 있는 상태이다. 분화 전용 양액이 실용화되어, 과채류, 엽채류 및 절화 작물별 전용양액을 개발하여 실용화하고 있다. 배지에 공급하는 양수분의 양을 조절하기 위한 전용 수분 센서의 개발이 이루어지고 있으며, 더불어 수분 관리가 용이한 관수시스템에 대한 개발이 꾸준히 이루어지고 있다.

유럽 및 북미의 성공한 작물생산단지에서는 시설 내 환경조절 기술의 발달로 합리적인 경영이 이루어지고 있다. 우리나라에 비해 기후적으로 양호한 지역에서 넓은 토지에 대단위 생산 체계를 갖추고서, 새로운 냉난방 기술을 적극 활용하여 생산비 절감 및 고품질 상품 생산을 도모하고 있다. 소형 분화류에 대한 부분난방기술이 이루어지고 있으며, 작물체의 초장에 따라 난방배관을 하는 등의 방법으로 필요난방부위에 적정의 에너지를 최소한으로 투입하려는 노력이 이루어지고 있다. 경우에 따라서는, 순수 양액재배만을 하면서, 양액의 온도를 제어하여 근권부 온도만을 조절하기도 한다. 또한, 열전도율이 뛰어난 배관재가 개발 및 실용화되어 있다.

2. 국내기술 현황

국내에서는 네덜란드 또는 일본의 분화생산시스템 도입을 위주로 하고 있으나, 최근 자체 시스템을 개발하는데 노력을 경주하고 있다. 분화 양액재배를 위한 다양한 저면관수 시스템이 도입되어 실용화되어 있으며 많은 연구가 진행되고 있다. 하지만, 아직 작물의 종류와 환경에 따른 최적 시스템에 대해서는 논란의 여지가 많으며, 양액의 소비와 작물의 생육, 지상 및 지하부의 수분환경을 고려한 시스템의 개발이 주된 관심사가 되고 있다.

난방 면에서는, 대부분의 시설에서 시널 내부 전공간 난방을 실시하는 형태이기 때문에 과도한 난방비가 소요된다는 지적을 받고 있다. 게다가 시설내 불균일한 온도분포로 인하여 균일한 품질의 작물생산에 어려움을 겪고 있다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 에너지 절감형 다단 재배 시스템 개발

1. 에너지 절감을 위한 공간 절약형 다단식 베드 설계

가. 다단 베드를 이용한 난방 체적 감소

일정 공간에 에너지를 소비하여 온도를 변화시켰을 때, 열 손실은 온도 제어 공간과 외기의 열교환에 의하여 이루어지며, 이는 공간의 표면적과 내·외 기온차에 비례한다는 것에 근거하여, 에너지 절감을 위한 베드는 난방 공간 감소가 필요하다. 재배면적은 일반 재배와 동일한 면적을 지니면서, 난방시 면적을 줄여서 에너지 효율을 높이려 하였고 그러한 측면에서 다단식 재배 시스템을 채택하였다.

나. 터널형 베드의 도입

터널이라는 소형 하우스 개념을 채택하여 각각의 베드에 독립적인 냉난방 공간을 확보하여 난방의 면적을 줄임에 따른 에너지 효율의 증대를 유도하였다. 1단, 2단 베드는 동일한 사이즈의 터널을 사용하였으며 3단 베드의 경우 1단의 높이만큼의 차이를 둔 터널을 사이즈를 채택하여 에너지 효율 비교가 가능하게 만들었다. 터널의 크기는 폭 1.5m, 높이는 2단의 경우 2m, 3단의 경우는 2.4m로 하였다. 각각 2개의 자동권취기를 양쪽 옆면에 설치하여 난방을 하지 않는 시간에는 타이머에 의해 자동으로 비닐의 개폐가 가능하도록 설계하였다. 일반적인 재배시간 동안에는 베드를 펼쳐 동일한 면적에서 재배가 가능하고 난방 시에 각 단의 베드를 한쪽으로 몰

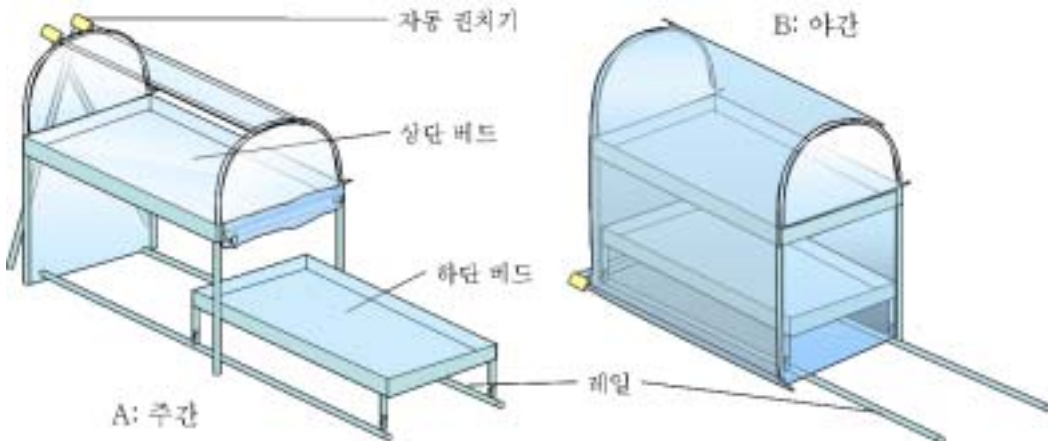


그림 50-1. 터널형 2단 베드 시스템 모식도

아주어 터널을 이용하여 국부적 난방을 함으로 재배면적은 그대로 유지하는 상태에서 에너지 효율의 높일 수 있을 것으로 기대된다.

2. 환경 특성을 고려한 다단 베드 결정

가. 재료 및 방법

다단베드를 이용할 경우 난방체적이 감소하기 때문에 에너지 소비량이 줄어 매우 효율적 난방방법으로 생각되나 수직적 위치에 따른 물리적 환경요인의 차이가 발생할 것을 예상할 수 있다. 본 실험에서 비교한 환경요인은 야간에 식물의 생리에 가장 큰 영향을 끼치는 온도와 습도로 제한하였다. 환경비교 대상 시스템은 심지 담액식(NSW, Nutrient Stagnant Wick culture system) 1단 베드 시스템과 심지이용형 양액 흘림방식(NFW, Nutrient-Flow Wick culture system)을 이용한 1, 2, 3단 베드 시스템이었다. 담액식 시스템에서는 1단 베드 시스템만 비교대상으로 하였다. 그 이유는 터널로 반밀폐된 상태에서 국부난방시 터널 내외 온도차가 커짐에 따라 담액식 시스템에서는 터널내부 결로 현상이 매우 심하여 다단 베드를 적용시킬 경우 그 현상이 더욱 심해질 것이 명약관화하였기 때문이다. 각 시스템은 2기씩 제작되어 2반복으로 총 8기를 온실 내부에 설치하였다. 난방 방법은 온풍난방을 실시하였으며 야온은 각 측정점의 온도를 평균하여 최저온도 18℃를 유지하였다. 온도는 베드 각 단마다 좌우 2점씩 측정하였으며, 습도는 각 베드당 1점에서 측정하였다. 처리는 식물체가 없을 때 가온/무가온, 식물체가 있을 때 가온/무가온, 총 4개 처리를 하였다.

나. 결과 및 고찰

(1) 시스템 내 온도환경

난방을 실시하지 않았을 경우에는, 식물체의 존재 여부에 관계없이 모든 시스템에서 각 단 사이의 온도 차이가 크지 않았다(그림 1-3, 1-4). 난방을 하는 경우에는 시스템 별 위치에 따른 온도차이가 나타났다. 1단 베드의 경우 온풍난방에 의한 가온을 하는 동안 베드 양 끝에서 각각 온도를 측정한 결과 담액식 시스템에서의 온도차가 NFW보다 작게 나타났다(그림 1-2). 이는 담액식 시스템의 경우 베드 상면에 항상 남아있는 물이 전체적으로 열의 고른 확산을 돕는 것으로 이해할 수 있겠다. 이러한 면에서 보면 담액식 시스템이 NFW 시스템보다 고른 온도분포라는 측면에서 안정된 온도 환경을 제공하는 점이 유리하다고 볼 수 있다. 하지만, 난방기간 중 수면으로부터 증발하는 수분의 양이 많고 이것이 터널 표면에서 결로 현상을 일으켜, 결과적으로는 병해발생의 우려가 커지기 때문에 장점보다는 단점이 더 크다고 판단된다. 2단과 3단 베드 시스템에서 난방을 한 처리구의 경우 식물체가 있고 없음의 차이가 그리 크지 않았다. 2단의 경우, 상단과 하단의 각 평균온

도는 수직적 위치상에도 불구하고 상호간에 극히 미미한 차이를 보였고 일견, 매우 균일한 온도분포를 나타내는 것으로 보였다(그림 1-5). 하지만, 좌우 온도편차가 상단의 경우 하단에서보다 더 크게 나타났는데 평균적으로 1~2℃ 정도의 차이가 나는 것으로 나타났다. 이 온도의 차이는 온풍난방에 의한 난방시 풍향에 따른 더운 공기의 위치별 이동경로와 일치하는 결과로서 온풍난방시 덕트 등을 사용하여 온풍을 효율적으로 분배시 해결가능한 문제라 생각된다. 온풍난방 이외의 난방을 하는 경우에도 야간 난방기간 동안 팬을 설치하여 고온 열의 순환을 도모하는 것이 좋을 것으로 사료된다. 3단 베드 시스템의 온도 역시 수직적 평균 온도는 크게 차이나지 않는 경향을 보였고, 좌우편차의 경우 2℃ 정도의 차이를 보여주었다.

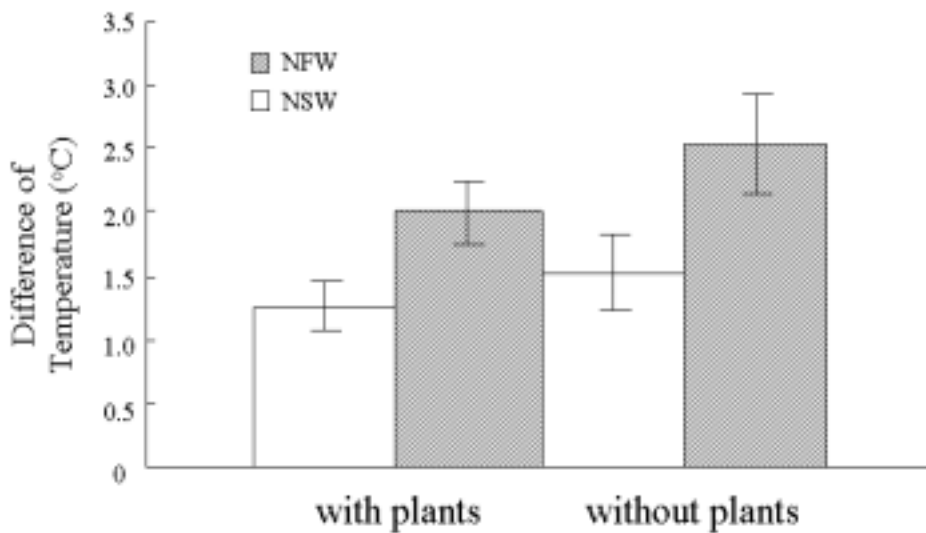


그림 1-51. 가온시 담액식 및 NFW 1단 베드 시스템 내부의 베드 길이방향 최대 온도차

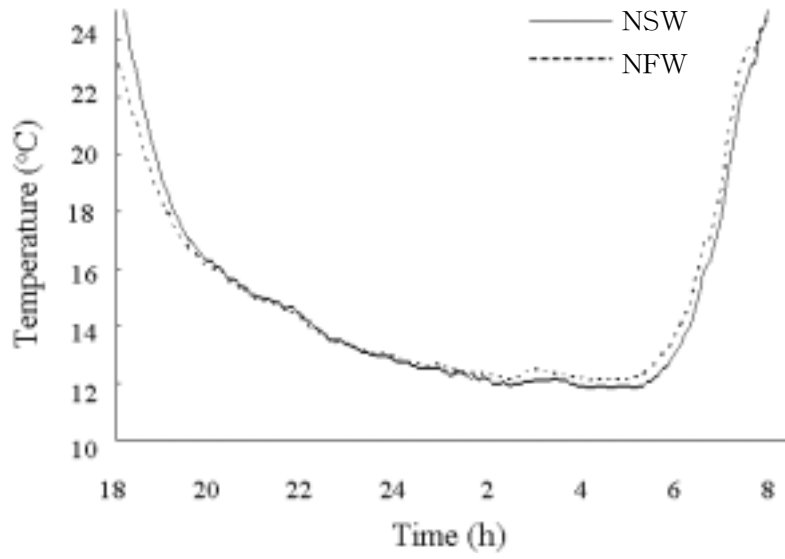


그림 1-52. 무가온 시 2단 NFW 시스템의 온도 변화

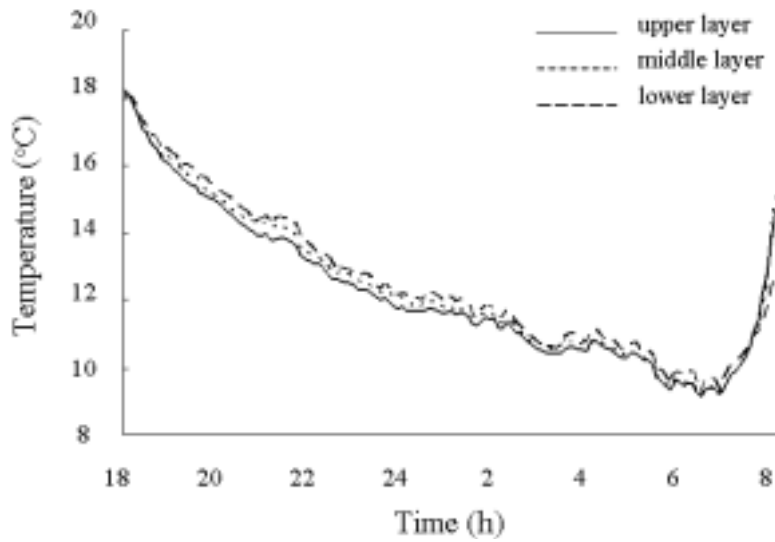


그림 1-53. 무가온 시 3단 NFW 시스템의 온도 변화

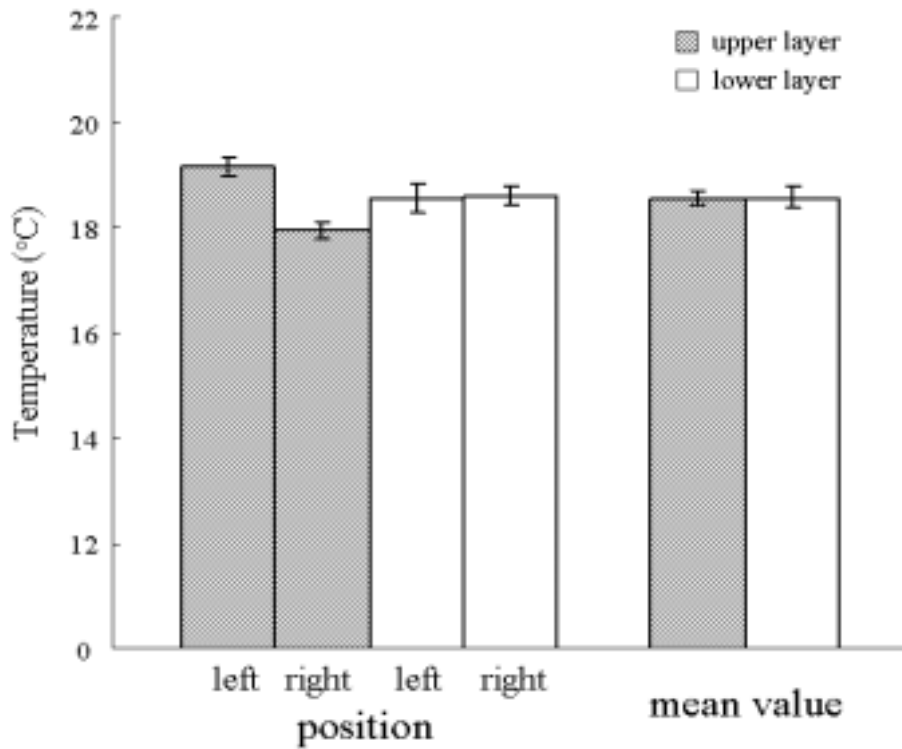


그림 1-54 . 가운데시 2단 베드 시스템에서의 위치별 온도

(2) 시스템 내 습도환경

(가) 1단 담액식 시스템과 NFW 시스템의 상대습도

1단 담액식 시스템과 NFW 시스템 사이의 상대습도는 매우 뚜렷한 차이를 보였다(그림 1-6). 담액식 시스템에서의 상대습도는 80~90%를 보였으며, 매우 다습한 환경조건을 보여주는 것을 알 수가 있었다.

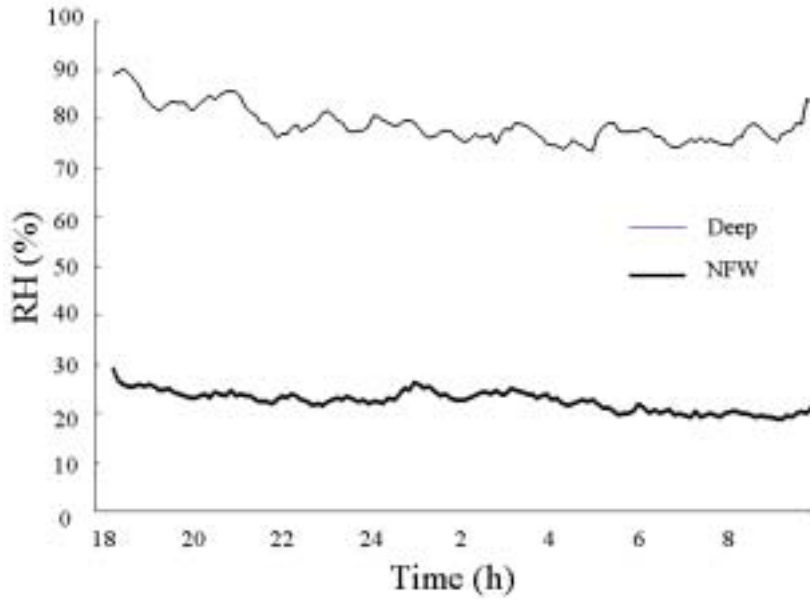


그림 1-55.가온시 담액식 시스템과 NFW 시스템에서의 상대습도

(나) 결로 현상

에너지 절감 차원에서 터널공간을 통한 독립 난방 시 결로 문제가 나타나는 것이 문제점으로 지적되어 왔다. 일반적으로 많이 사용되어지는 담액식 베드 시스템의 경우 항시 베드 내에 수분이 존재함으로 인해 밀폐된 터널 안의 공간에 상대습도 수치를 높게 하여 결로를 쉽게 형성시키며 또한 그로 인한 식물의 생장에 저해를 가져오며 각종 병해에도 직접적인 영향을 미치는 것으로 보이고 있다. 반면 흘림식의 경우 하루 동안 일정 시간에 관수를 제외하고는 베드 내에 잔류하는 수분이 거의 없기 때문에 이러한 영향이 적으며 특히 분화 배지 내의 함수율 또한 높지 않은 적절한 상태를 유지하므로 담액식에 비해 상대적으로 터널 내 상대습도가 많이 떨어지게 되어 결로의 생성이 심하게 나타나지 않는다 (그림 1-55).



그림 1-56. 야간 난방 후 터널 표면의 결로 현상 비교. NSW(상), NFW(하).

(다) 다단 베드 시스템의 상대습도

난방을 하지 않을 경우 다단 시스템에서 식물체 유무에 관계없이 각 단의 온도가 거의 같았던 것과는 달리, 습도는 최하층에 상대습도가 가장 높았다(그림 1-8). 식물체가 없는 경우에는 큰 차이가 나지 않았으나, 난방을 한 처리구에서 2단 베드의 경우 상단과 하단 사이에 5~10% 상대습도차가 남을 관찰하였다. 3단 베드의 경우에는 그 차이가 매우 심하여 최상단과 최하단의 사이에 약 30%가 차이남을 보여주었다. 이는 식물체가 있는 상태에서 증발산에 의한 수증기가 베드 사이에서 그에 해당하는 단의 상대습도를 높이게 되는데, 상단에 비해 하단의 공기흐름이 약하고 체적이 작기 때문에 나타나는 현상으로 보인다.

이상을 고려하였을 때, 현재로서는, 상대적으로 결로 현상이 적고 각 단에서의 환경조건 차이가 적은 2단 NFW 시스템이 터널을 이용한 에너지 절감형 난방 시스템에 적합한 것으로 보인다.

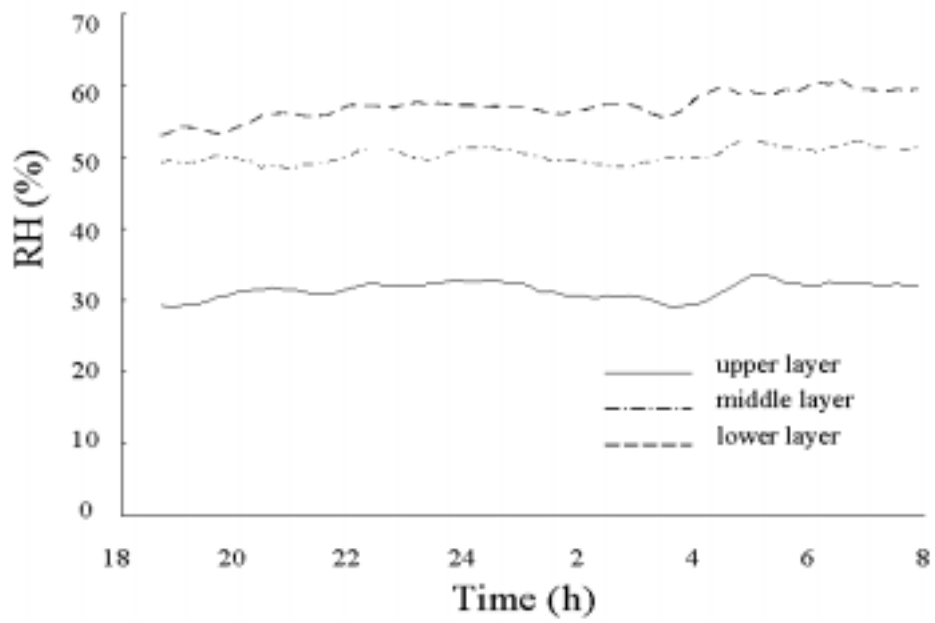
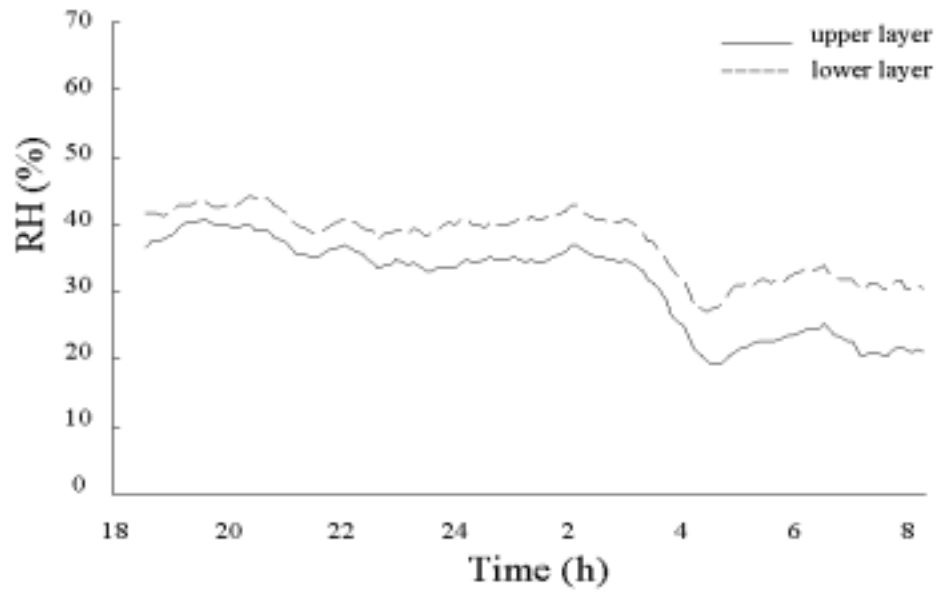


그림 1-57. 2단(상) 및 3단(하) NFW 시스템에서의 각 단의 상대습도

제 2 절 에너지 절감형 난방체계 개발

1. 복수 온풍기를 이용한 국부 구분 난방 시스템 구성

온실의 난방은 대부분 석유 온풍 난방기를 사용하여 온실의 공기 자체를 가열한다. 온수를 사용한 온수배관에 의한 난방도 이루어지고 있지만, 독특한 온도환경을 조성해 주어야 하는 작물에는 이용이 한정된다. 온풍난방은 비교적 설치비가 적고, 시스템 전체의 열효율이 높은 편이기 때문에 공간난방 방법 중 가장 선호되고 있는 방법 중 하나이다.

온실이 대형화되면 전체를 균일한 온도로 관리하는 것이 곤란해진다. 이는 외기온, 풍향, 풍속 등의 온실 외기 환경과 온풍난방기의 풍량, 덕트의 배치 등에 따라서 시설 내 온도 분균일이 발생하기 때문이다. 이를 극복하기 위하여서는 난방기기를 소형, 분할시켜 온도불균일 정도에 따라 각 기기 운전을 제어하는 방법이 유리하다.

본 연구에서는 외부의 난방과 터널 내 국부 난방을 위한 2개의 용량이 다른 온풍기를 독립적으로 운용할 수 있는 에너지 절감형 난방 시스템을 개발하였다. 난방기 1은 작물의 생육에 적합한 온도를 유지하도록 덕트를 통하여 터널 내부만을 국부 난방하도록 설계하였다. 협소한 공간에 순간적으로 많은 열량이 공급되는 것을 완화하기 위하여 터널 밖 덕트의 표면에 다수의 지름 4cm의 구멍을 뚫어 송풍량을 조절할 수가 있다. 온풍기 2는 터널 외부, 즉, 온실 전체를 난방하도록 하며, 양액 탱크, 모터 등이 동결되지 않을 정도의 최저 온도를 유지하도록 설계되었다. 두 기의 난방기는 각기 온도 센서를 지니고서 독립적으로 작동하도록 되어있다.

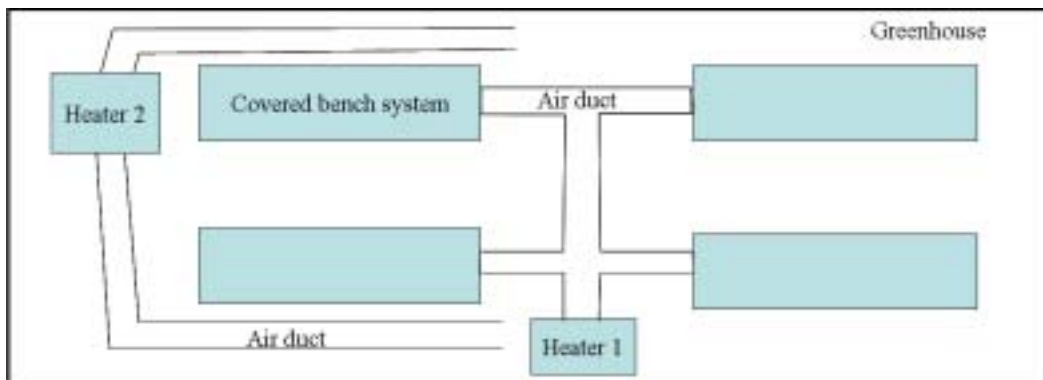


그림 2-1. 2개의 온풍기를 이용한 국부 구분 난방 시스템의 모식도

2. 난방 성능

가. 재료 및 방법

온실 전체를 대형 온풍난방기로 가온하는 방법과 터널을 이용하여 터널 내·외부를 각각 15/10, 15/5℃를 유지하도록 소형 온풍난방기와 대형 온풍난방기를 병행하여 가온하는 방법을 실시하여 각각의 경우 난방기 가동 시간을 계산하였다. 난방기 가동여부는 온풍배출구에 온도센서를 설치하여 온도가 급격히 40-50℃ 상승하는 형태를 측정하여 판단하였다.

나. 결과 및 고찰

온실 전체를 10℃ 이상 유지하기 위하여 대형 온풍기를 운용한 경우, 야외 온도가 약 0~-6℃일 때, 약 22분당 4분 간 작동하였다(그림 2-2).

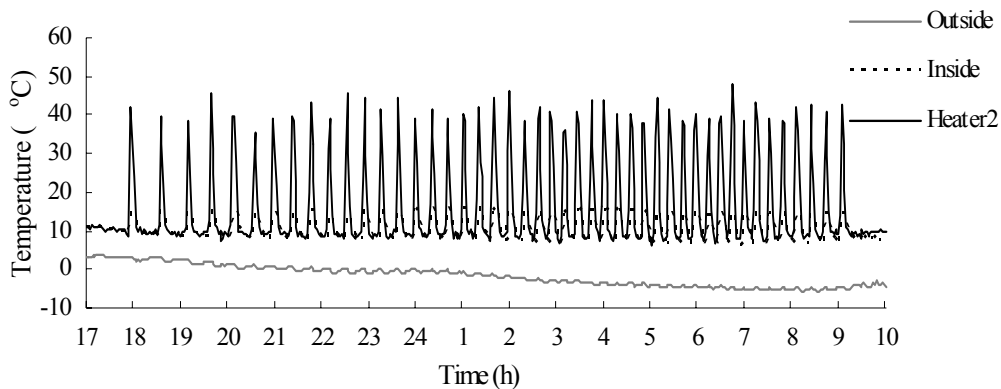


그림 2-2. 설정 온도 10 °C에서의 난방기 2의 작동.

온실 내부에 터널내부를 중심으로 국부난방 할 소형 온풍기와 터널 외부 즉, 온실 전체를 가온하기 위한 대형 온풍기를 따로 운용하여 재배 작물의 생육에 적합한 온도를 유지하도록 하였다. 먼저, 터널 내부 및 외부 온도를 각각 최저 15, 10℃로 설정하였을 때, 두 난방기가 교호적으로 작동하며 온도를 유지하였다(그림 2-3). 내부 가온용 소형 온풍기는 약 20분을 주기로 4분간 작동하였으며, 대형 온풍기는 30분을 주기로 10분간 작동하였다.

외부 가온용 대형 난방기를 최저온도 5℃로 설정한 경우, 야외 온도가 약 0~-7℃일 때, 소형 온풍기가 약 15분 당 5분간 작동한 반면에, 대형 온풍기는 전혀 가동되지 않았다(Fig 4. B). 이는 소형 온풍기에서 연결된 덕트를 통해 직접 온실 내

부에 공급된 더운 공기와 터널내부에서 외부로 유출된 더운 공기가 온실 외부 온도를 5°C 이상 유지시켰기 때문이다.

온실 전체를 가온하는 대형 온풍기가 실내 온도를 10°C 이상 유지시키기 위해 작동한 시간과 소형 온풍기가 터널 내부를 15°C 이상 유지시키기 위해 작동한 시간이 큰 차이가 나지 않으며, 더욱이 실외기온 -10°C 이상의 날씨는 소형온풍기만으로도 하우스 전체가 5°C 이상 유지되어 터널외부에서는 가온을 하지 않아도 무방할 것으로 보인다.

본 난방 시스템에 의해 최저 온도 15°C를 유지시키며 터널 내부의 온도변화를 7일간 살펴보았다. NFW 시스템의 경우 15~20°C를 유지하는 것으로 나타났다(그림 2-4). 상단과 하단에서의 온도차는 크게 나타나지 않았으나, 하단 베드의 온도가 1~2°C 더 높게 유지되는 경향이 있었으며, 최고 20°C를 넘지 않았다. 온도 변화 폭은 하단 베드에서 더 작았는데, 7일간 오후 5시부터 익일 오전 10시까지의 온도만을 가지고 표준편차를 구하였을 때, 상단이 2.2°C, 하단이 1.5°C로 나타났다. 이는 하단이 공간체적과 외부공기와 접하는 열손실 면적이 상단에 비하여 더 작기 때문에 열 손실이 더 작았기 때문으로 생각된다.

이상을 종합하면, 2기의 온풍난방기를 이용한 터널형 국부난방 시스템은 난방비로 인한 생산비 증가를 줄이는데 있어서 매우 효과적인 방법이다. 저용량의 소형 온풍기만으로도 원하는 작물생육 온도를 유지시킬 수가 있으며, 잔여열은 온실 내부 온도를 영상으로 유지시키기 때문에 양액파이프의 동파 등을 방지할 수가 있다. 외기온이 영하 10°C 이하로 떨어지는 경우에는 소형 온풍기를 보조하여 터널 외부 난방을 실시할 수가 있으며, 이러한 경우에도 최저 온도를 0°C 또는 5°C로 맞추어 난방비용을 절감할 수 있다.

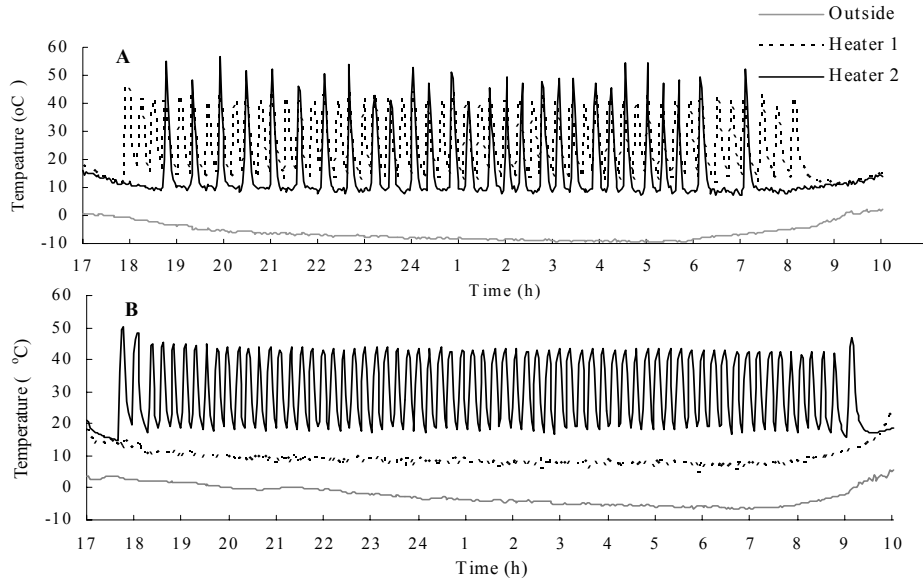


그림 2-3. 2기의 난방기의 작동 시간. 난방기 1과 2는 각각 15/10 (A), 15/5 °C (B)에 작동하도록 설정.

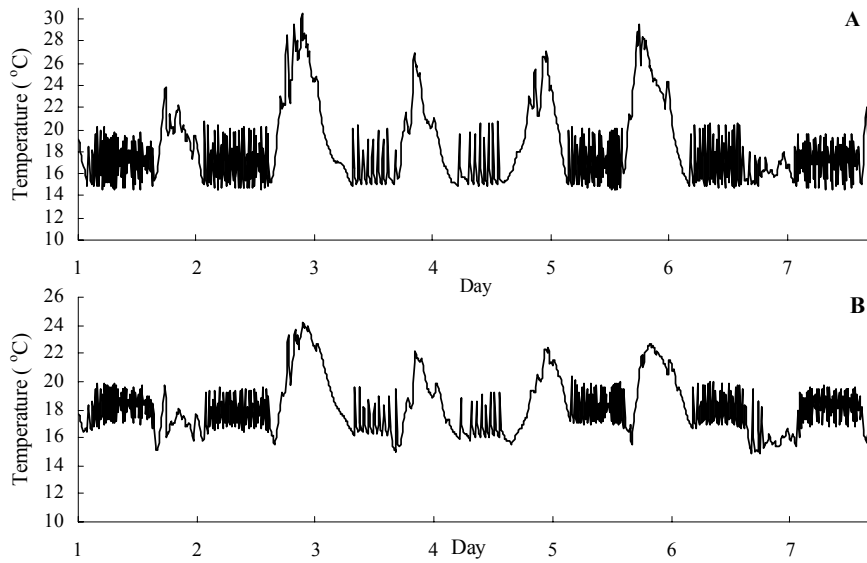


그림 2-4. 설정 온도 15°C에서 2단 NFW 시스템의 7일간의 각 단 온도 변화.

3. 모델을 이용한 시스템 성능 예상

가. 국부난방을 위하여 벤취 내부 온도(T_{b1} , T_{b2}) / 온실 내부 온도(T_g)를 각각 $15^{\circ}\text{C}/3^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였을 경우, 벤취 내부 온도 조절용인 소형 난방기만으로 충분하였다. 벤취 난방이 진행되는 동안 벤취 내부에서 온실 내부로 열이동이 발생하였고, 온실의 내부기온이 최저 $4\text{--}5^{\circ}\text{C}$ 이상 유지되어 동파의 위험성이 없기 때문에 별도로 온실 내부 공간 전체를 난방할 필요가 없는 것으로 나타났다. 또한 대형 난방기의 작동을 정지시켰을 경우도 동일한 경향을 나타냈다(그림 2-5). 그러나 실내 설정온도를 7°C 로 상승할 경우, 소형난방기에 의한 벤취 난방과 함께 실내 난방을 위한 대형난방기가 작동되어 불필요한 연료 손실이 있는 것으로 나타났다 (그림 2-6).

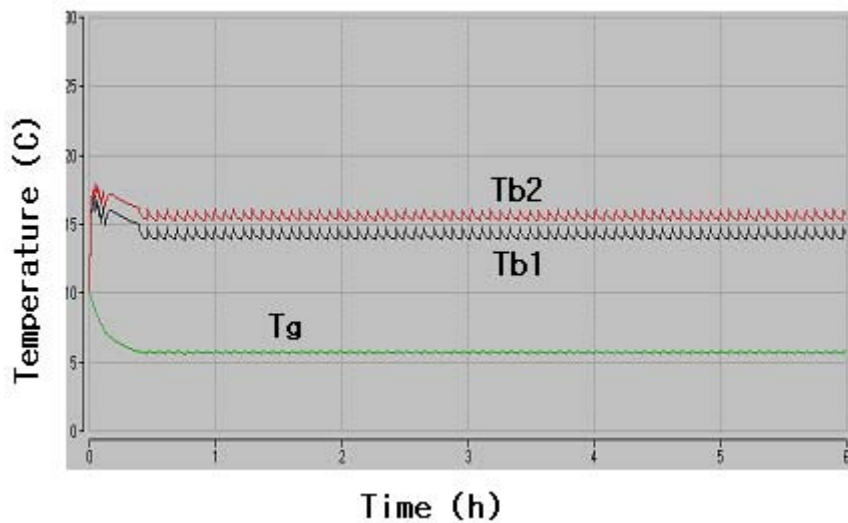


그림 2-5. 벤취 내부 온도(T_{b1} , T_{b2}) / 온실 내부 온도(T_g)를 각각 $15^{\circ}\text{C}/3^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였을 경우의 온도 조절 상황

나. 온실내부의 전체 난방을 위하여 벤취 내부 온도(T_{b1} , T_{b2}) / 온실 내부 온도(T_g)를 각각 $15^{\circ}\text{C}/15^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였을 경우, 온실 내부온도와 벤취내부 온도는 거의 동일한 변화폭을 가지며 설정온도에 수렴하였다(그림 2-7). 소형 난방기를 작동할 경우에는 필요에 따라서 대형 난방기와 소형난방기가 작동한 것으로 나타났고, 전체적으로는 온실 내부 공간용 대형 난방기의 작동에 의존하는 것으로 나타났다 (그림 2-8).

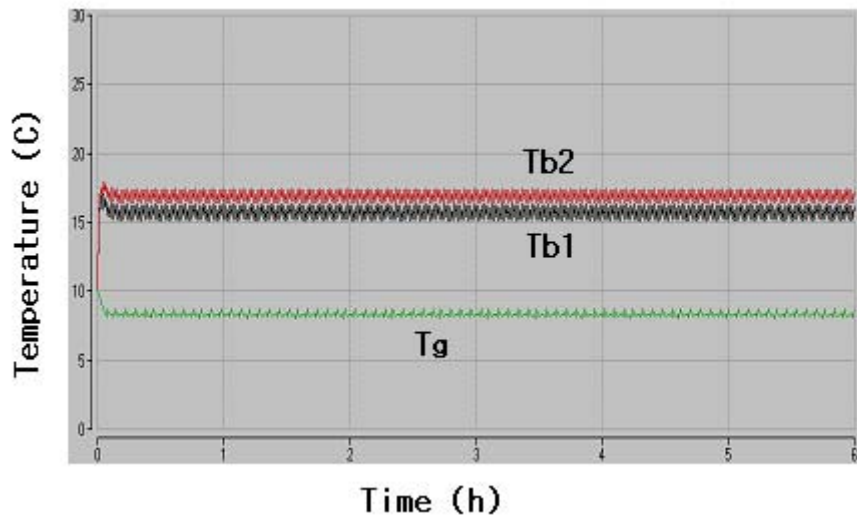


그림 2-6. 벤취 내부 온도(Tb1, Tb2) / 온실 내부 온도(Tg)를 각각 15°C /7°C로 설정하였을 경우의 온도 조절 상황

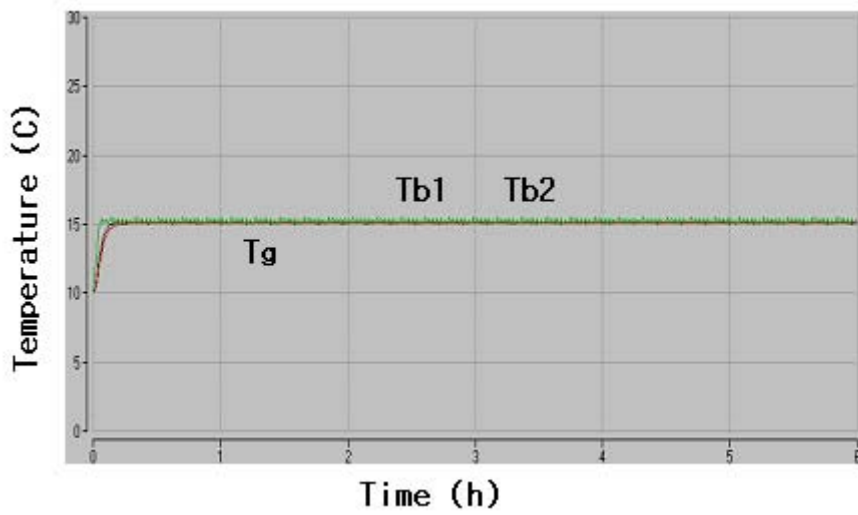


그림 2-7. 벤취 내부 온도(Tb1, Tb2) / 온실 내부 온도(Tg)를 각각 15°C /15°C로 설정하였을 경우의 온도 조절 상황 (소형 난방기 작동 정지 상태)

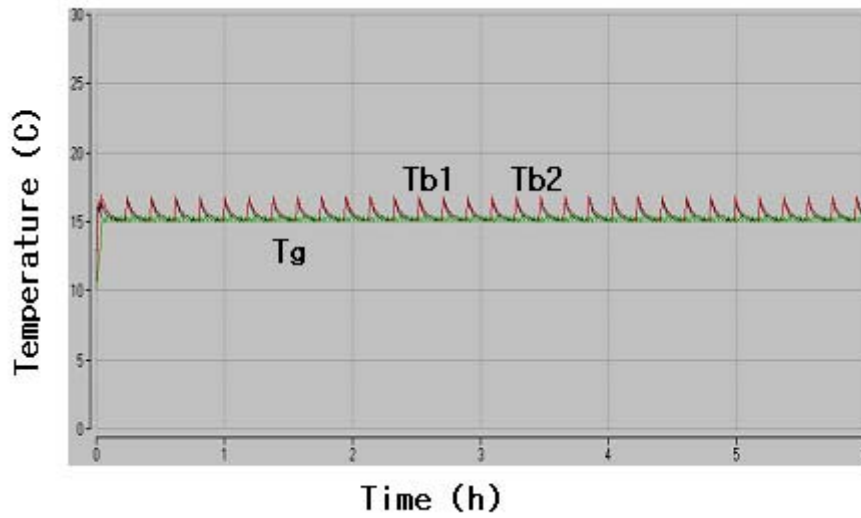


그림 2-8. 벤취 내부 온도(Tb1, Tb2) / 온실 내부 온도(Tg)를 각각 15°C /15°C로 설정하였을 경우의 온도 조절 상황 (소형 난방기 작동 상태)

이러한 결과로부터 온실 내부의 온도가 각종 농자재의 동파가 일어나지 않는 최저의 온도를 유지시키면서, 화훼작물이 생육하고 있는 벤취 내부의 공간을 집중적으로 난방할 수 있다면 에너지 절감에 기여할 것으로 생각된다. 이러한 재배시스템을 포함하는 난방방식은 화훼작물과 같은 적정온도 수준이 높은 작물에 대하여 효율이 높을 것으로 생각된다.

제 3 절 시스템 수분 관리 기술 개발

1. 베드의 경사도

가. 재료 및 방법

본 실험은 소형분화 생산에 사용되는 6cm 포트를 이용하여 최소한의 수분공급을 가했을 때 경사도에 따른 배지 내 수분 흡수 패턴을 분석함으로써 적정 경사도 결정을 도출하기 위함이다. 실험은 4 종류(1, 3, 5, 그리고 7%, 베드 높이/베드 길이)의 경사를 주어 각 베드 위에 하루 3회 15분씩 관수를 수행하였다. 베드 경사도에 따른 베드 위치별 수분흡수 양상을 파악하기 위해 베드를 5등분하여 수분공급이 시작되는 상단부터 배수가 이뤄지는 하단까지를 5구획으로 나누어 각각 A, B, C, D, 그리고 E로 명하고, 각 구획에서의 배지 수분 흡수 경향을 알아보았다.

나. 결과 및 고찰

(1) 경사도에 따른 수분 흡수

베드 하단으로 갈수록 배지 수분 흡수량은 비슷한 양상을 보이나, 경사도가 높아 질수록 베드 상단 부분의 흡수량 차이가 두드러지게 나타났다(그림 3-1). 특히, 7% 처리구는 배지 흡수량이 제일 낮았으며 이는 관수 종료 후 높은 경사도의 빠른 배수로 인한 상단이 하단보다 수분 공급이 어려운 결과를 보여주었다.

베드 전반적인 균일한 수분흡수 양상을 보이는 처리구는 3%와 5% 처리구였으며 3% 처리구가 좀 더 좋은 결과를 보였다. 1% 처리구에서 수분 공급은 아주 완만한 관수 흐름을 보였다.

(2) 녹조류 발생 정도

1% 처리구에서는 베드 일부분의 물고임으로 인하여 베드 표면에 녹조류가 발생하였다. 또한 하단 부분의 잦은 물고임으로 인한 역류 현상으로 배지 내 균일한 수분 관리가 어려웠다. 나머지 경사도 처리구에서는 물고임 현상 없었으며, 관수 종료 후에는 베드 표면이 건조되어 녹조류가 발생하지 않는 것으로 나타났다.

관수 후 배수 정도를 분석한 결과 자연스러운 배수현상을 보이는 처리구는 3% 경사도였다. 7% 처리구에서는 빠른 유속으로 인해 원활한 배수 조건을 갖추기 어려웠다. 또한 1% 처리구에서는 베드 내 물고임으로 인한 이끼 발생으로 회수 탱크 내부에서도 녹조류 발생을 초래하였다.

따라서 심지이용형 흘림식 저면관수(NFW) 시스템 이용시, 적정 베드 경사도는 3%를 유지하는 것이 시스템 내의 균일한 배지 내 수분관리에 알맞을 것으로 판단된다.

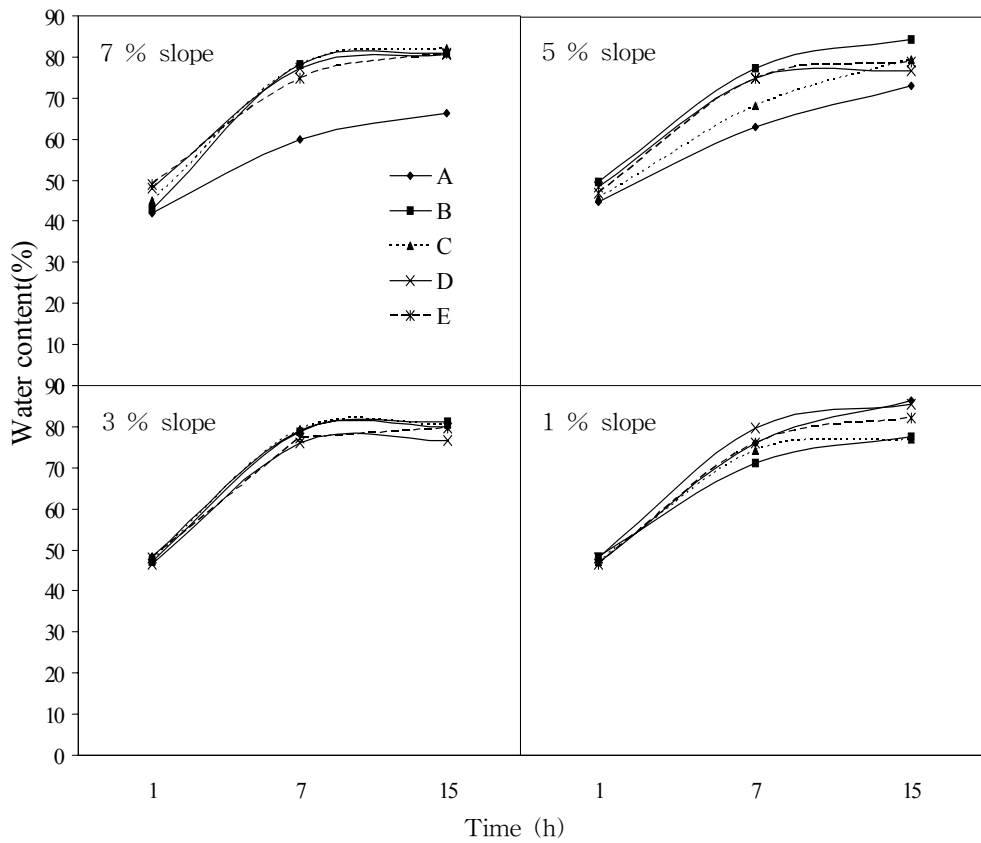


그림 3-1. 베드의 경사도에 따른 위치별 배지수분흡수 양상. (A~E: 관수부~배수부)

2. 화분 크기와 심지 크기에 따른 배지 함수율 변화 비교

가. 재료 및 방법

소형분화 생산에 사용되는 6cm 및 10cm 포트에 피트모스:펠라이트 = 7:3 배지를 이용하여 각 화분 사이즈별로 적정 심지의 크기를 결정하였다. 사용된 심지는 면 성분 함량이 80%, 나머지는 폴리에스테르와 나일론 소재된 부직포를 이용하였다. 심지의 두께는 3mm이며, 실험에 이용된 심지의 폭은 1cm 및 1.5cm를 처리하였다. 초기 배지 함수율은 약 18% 수준이며 심지 길이는 3cm로 설정하였다. 관수 방식은 시간별 흡수 양상을 파악하기 위해 담액형 심지 시스템 방식으로 로드셀(YD-40R, SETech, Korea)을 이용하여 연속적으로 측정하였다.

나. 결과 및 고찰

대체적으로, 화분 내 상토 체적이 증가할수록 심지 크기는 큰 것이 빠른 수분 흡수를 보이며, 체적함수량에 도달하기에 유리한 것으로 나타났다(그림 3-2).

심지 1cm 처리구 : 심지 1cm 처리를 화분들은 각각 6cm에서 42%, 10cm에서 30%의 함수율(v/v)을 보였다. 체적이 큰 10cm 포트에서 1시간 경과시 22%정도로 5% 정도가 상승한 반면, 6cm 포트에서는 35%로 약 17% 정도가 상승하였다. 따라서 1cm 심지 처리에 대한 적정 화분 용적은 6cm 포트가 적정하며 10cm 이상이 될 경우는 절대 함수율 부족을 초래할 가능성이 있다.

심지 1.5cm 처리구 : 심지 1.5cm 처리를 화분들은 각각 6cm에서 53%, 10cm에서 40%의 함수율(v/v)을 보였다. 체적이 큰 10cm 포트에서 1시간 경과시 25%정도로 7% 정도가 상승한 반면, 6cm 포트에서는 40%로 약 22% 정도가 상승하였다. 따라서 1.5cm 심지 처리에 대한 적정 화분 용적은 6cm이상 10cm 경우도 적정하다.

이상의 결과로부터 1cm심지의 경우는 6cm 포트에 함수율 충족조건 및 작업성에 있어서 적합하며, 1.5cm 심지는 함수율 충족조건에 6cm 및 10cm 에 충분하나 포트의 크기 및 심지 삽입 등의 작업적 측면을 고려하면 10cm 포트가 가정 적당하다고 할 수 있다. 통상적으로 작업적 측면에서 심지길이는 2-3cm 설정되는데, 2cm의 경우가 3cm의 경우보다 흡수량이 증가하는 측면이 있다.

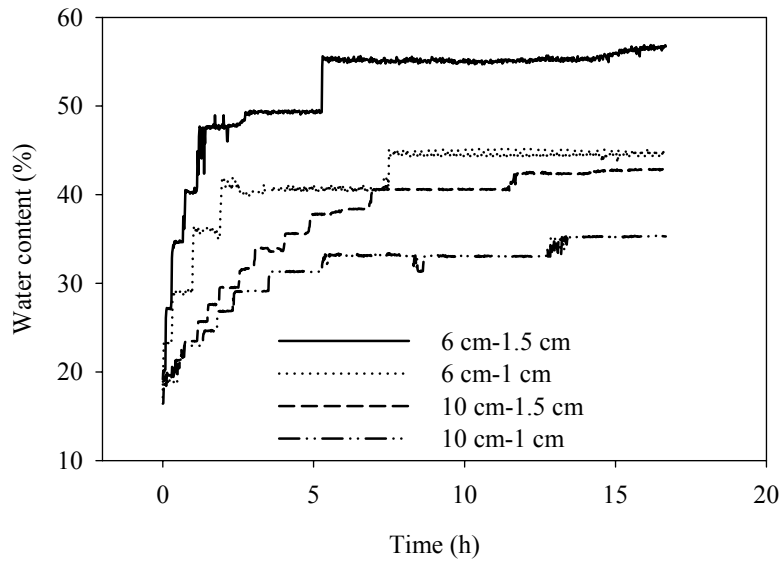


그림 3-2. 화분크기 및 심지크기에 따른 배지 함수율 비교

3. 적정 배지 수분 관리를 위한 관수 방법 결정

가. 초기 용적함수량에 따른 수분흡수량

(1) 재료 및 방법

NFW 시스템에서 배지내부 초기 수분함량에 따라 심지를 통한 배지내부로의 수분 흡수패턴이 어떻게 달라지는지를 알기 위해서 피트모스와 펄라이트를 체적비 7:3으로 혼합한 배지가 담긴 6cm 분에 12X1cm 심지를 삽입하여 시간에 따른 수분흡수량을 전자저울(JEX-200, Chyo Co., Ltd., Japan)을 이용하여 측정하였다. 초기 배지함수량에 따른 처리는 30, 40, 50%이며, 용적함수량은 (1)식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{용적함수량} = (\text{젖은 배지중량} - \text{건조 배지중량}) / \text{배지 용적} \dots\dots\dots (1)$$

(2)결과 및 고찰

초기 배지 수분함량이 제일 낮은 30%에서 가장 빠른 수분흡수율을 보였다(그림 3-3). 각 수분 흡수율은 시간이 지남에 따라 줄어들었는데, 30%에서의 후반부 흡수량상이 40%에서의 초반 양상과 비슷한 것을 보여준다. 또한 각 수분 함량별 수분 흡수량을 계산하여, 현재 배지의 상태를 알고 있다면 적정 관수 시간을 결정할 수가 있도록 하였다. 이를 통해 관수시기와 배지의 수분함량에 따라 심지를 통한 배지내부로의 수분흡수량을 추정하여 관수조절기술의 개발에 도움이 될 것이다.

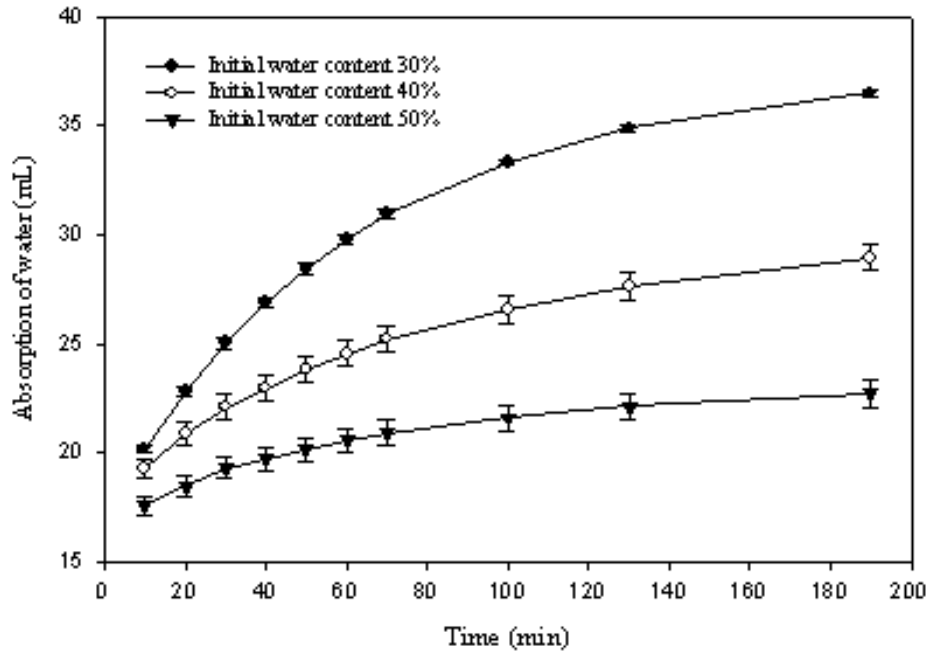


그림 3-3. 초기 수분함량에 따른 수분 흡수량 변화

나. 관수 시스템과 관수 시기 및 시간, 배지 조성에 따른 배지내 수분함량 변화

(1) 재료 및 방법

여러 가지 관수 시스템과 관수시기 및 시간, 그리고 배지 조성에 따른 배지내 수분함량변화를 시간에 따라 측정하였다. 이용된 시스템은 NFW, 담액식(NSW, nutrient-stagnant wick culture), ebb & flow이며 관수시기 및 시간, 배지 조성에 따라 다음과 같이 처리구를 나누었다. 배지조성은 피트모스:펄라이트 용적비이다. 용적함수량은 위와 동일한 방식으로 측정하였다.

- NFW(5), 1:1 - 일일 15분씩 5회(1, 9, 12, 14, 17시) 관수, 1:1
- NFW(5), 7:3 - 일일 15분씩 5회(1, 9, 12, 14, 17시) 관수, 7:3
- NFW(2), 1:1 - 일일 15분씩 2회(9, 14시) 관수, 1:1
- NFW(2), 7:3 - 일일 15분씩 2회(9, 14시) 관수, 7:3
- NSW, 1:1 - 담액식, 1:1
- NSW, 7:3 - 담액식, 7:3
- EBB, 1:1 - 일일 10분씩 1회(9시) 관수, 1:1
- EBB, 7:3 - 일일 10분씩 1회(9시) 관수, 7:3

(2) 결과 및 고찰

NFW 시스템에 의한 5회 관수는 배지조성에 따라 40~50% 함수율을 유지하였고, 3회 관수시에는 30%를 유지하였다(그림 3-4). NSW의 경우는 20~30% 함수율을 유

지하였으나 ebb & flow 시스템의 경우에는 초기 함수율 22%에서 10%로 시간이 갈수록 낮아졌다. 배지조성에 따른 특성으로는 피트모스와 펄라이트의 7:3 혼합 배지가 수분 보유력이 좋은 것으로 나타났다.

식물체가 없는 상태에서 관수방법 및 시기에 따라 원하는 배지내 함수율을 유지하는 것이 가능하였다.

그림 3-4. 여러 가지 저면관수 시스템에 따른 배지내 수분함량 변화

4. 적정 배지 수분 함수율을 위한 관수 횟수 결정

(1) 재료 및 방법

용인시 남사면 소재의 단동 플라스틱 하우스에서 임파첸스, 칼랑코예, 그리고 아이비를 13주간 재배하였다. 관수 시스템은 NFW와 NSW 시스템이 사용되었다. 매주 1회 각 시스템별로 1 개체의 작물을 선정하여 전자저울을 이용, 무게의 변화를 실시간으로 측정하였다.

(2) 결과 및 고찰

재배 초기에는 NFW 시스템의 경우 10분간 하루 4회(9, 11, 13, 15시)의 관수를 실시하여 배지 함수율을 약 50~60%로 유지하였으나, 임파첸스와 아이비의 경우 엽면적이 증가함에 따라 관수시간을 늘려주었다. 정식 후 7주 쯤부터는 15분간 하루 4회 관수를 실시하여 배지 함수율을 50~60%로 유지할 수 있었다(그림 3-5). 식물체가 있는 경우에는 식물체의 증산으로 인한 수분 손실을 고려한 관수가 필요하다.

수분 손실에 관여하는 요인으로써, 열면적, 수증기압포차, 일사광량 등을 고려하여야 할 것이다.

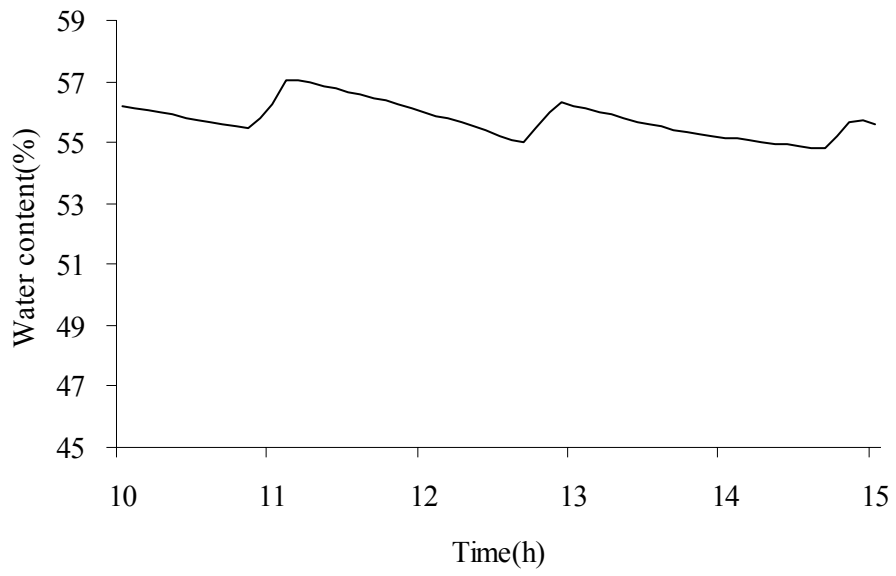


그림 3-5. 정식 후 10주 후의 임파첸스에서의 배지 내 함수량 변화

제 4 절 양액재배시스템 및 분화배지 내 환경 및 생육 분석

1. 저면관수 방법과 양액 농도에 따른 분화배지 내 부위별 염류집적도

가. 재료 및 방법

(1) 양액 농도에 따른 배지 내 염류 집적

양액의 농도를 각각 EC 0.1, 0.8, 1.6, 2.4, 3.2 dS m⁻¹로 하여 칼라코예를 발근 후 11주간 재배하였다. 재배 기간 중 5회에 걸쳐 배지의 염류집적도를 측정하였다. 저면관수 시스템 하에서 분화를 재배할 경우, 배지에서 상부에 집적된 염은 실질적으로 식물체에 피해를 준다고 볼 수가 없다. 이는 지하의 근계가 표토 아래로 뻗어나가기 때문이다. 따라서, 본 실험에서는 배지의 상부 1cm 두께의 표층토와 그 밑의 상토를 따로 구분하여 EC를 측정하였다.

나. 결과 및 고찰

관수방법에 따라서는, 지속적으로 배지로의 양액 흡수와 증발이 일어나는 담액식관수 시스템에서 염류집적도도 높았다(그림 4-1). 같은 NFW 시스템에서는 관수 회수가 적은 경우 배지내 염류집적도가 더 낮았다. NSW의 경우에는 담수를 관수한 이후 더 이상 배지의 EC가 증가하지는 않았지만, 다른 처리구에서는 EC가 낮아지는 현상에 비교해 볼 때, 기존에 집적된 염이 저면관수방법에 의하여서는 희석이 되지 않는 것으로 나타났다.

상토의 두께 1cm의 표층부는 전체 배지 체적의 8분의 1에 해당하지만, 염의 집적은 전체의 50~60%에 달하는 것으로 나타났다(그림 4-1). 작물의 재배 기간 동안 양액의 농도와 관비 주기는 배지의 EC에 영향을 준다. 폐쇄식 또는 순환식 양액 재배에 의한 분화나 절화 재배에서, 배지의 EC는 시비 기준에 매우 중요한 결정 요인이 된다. 이는 배지의 EC가 너무 높을 경우에는 작물에 직접적인 염해를 줄 수가 있기 때문이다. 같은 비료의 농도라도 기온이 높을 때, 두상 관수보다는 저면관수에서 배지내 EC가 높다.

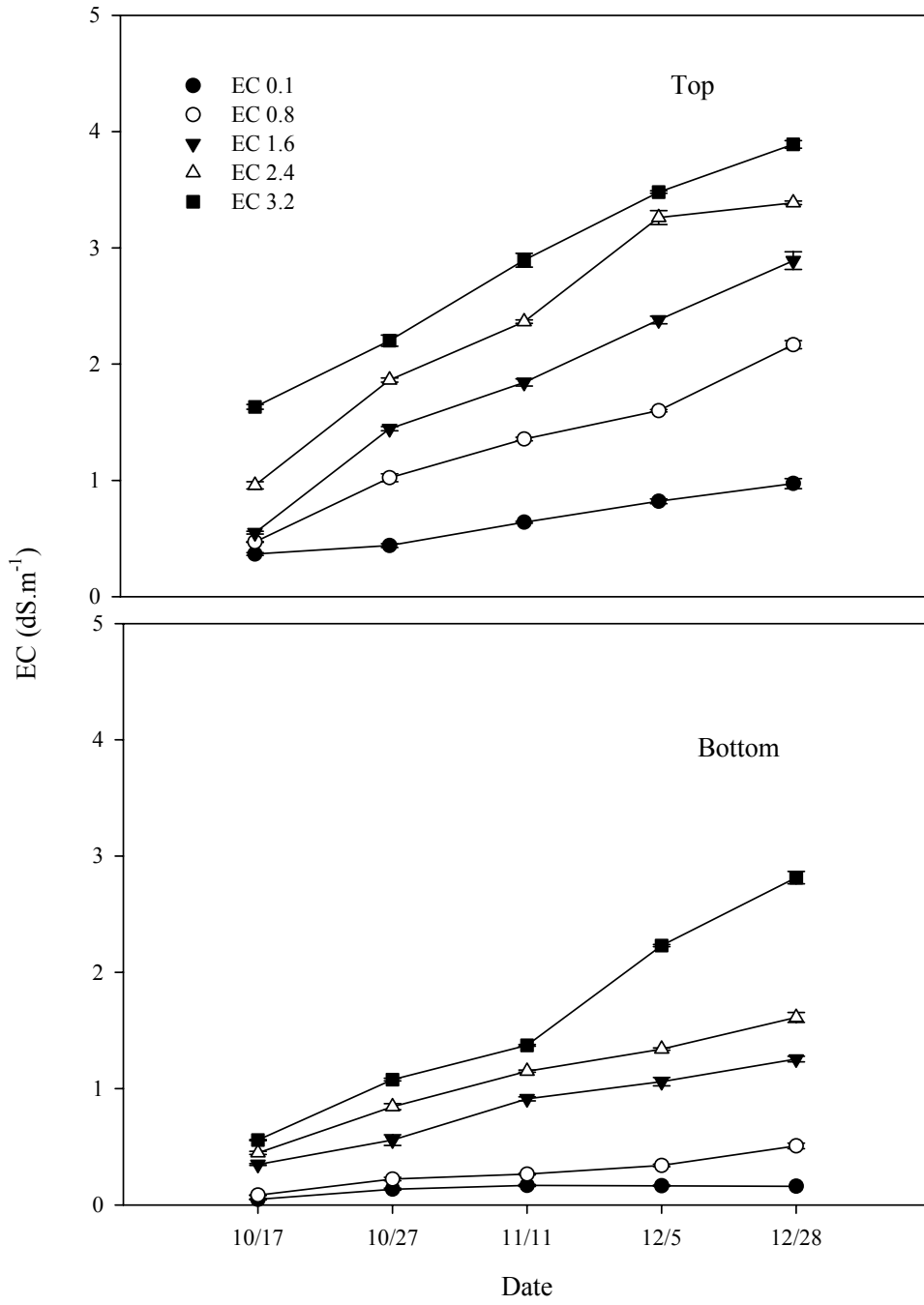


그림 4-1. 양액 농도에 따른 배지내 부위별 염류 집적도 변화

2. 배지 내 함수율에 따른 산소확산계수 변화

가. 재료 및 방법

피트모스와 펠라이트를 7:3으로 혼합하여 250mL의 포트에 동일한 무게만큼 넣고 12-20회 2cm 높이에서 자유낙하 시켜서 실험 배지가 모두 동일한 부피가 되도록 하였다. 이러한 방법으로 실험배지는 같은 밀도를 갖고 균일한 다짐을 받도록 하였다. 함수율 15, 25, 40, 50, 60%에서 각각 5회 반복하여 산소확산계수를 측정하였다.

나. 결과 및 고찰

산소확산계수는 배지의 함수율에 따라 증가하다가 함수율 50% 이후에 하락하는 경향을 보였다(그림4-2). 일반적으로 산소확산계수는 토양내 수분의 증가와 함께 작아지는 경향을 보인다. 이는 통기관의 역할을 하는 모세관이 액체상의 물에 의해 막히기 때문에 통기가 자유롭지 못하고 산소의 유동이 어려워지기 때문이다. 하지만 원예용 상토로 사용하는 피트모스 등은 미세공극이 매우 잘 발달하였기 때문에 많은 양의 수분이 공급되더라도 모세관이 아닌, 미세공극에서 이를 수용하게 된다. 따라서 많은 양의 수분을 흡수한 후에도 통기를 위한 공간을 확보하고 있으며, 흡수한 수분은 뿌리표면에 수막을 형성하여 산소가 뿌리로 흡수되도록 도울 수도 있다고 보여진다. 따라서 일반 원예용으로 광범위하게 사용되는 상토의 경우에는, 일반 토양에서는 혐기 스트레스를 일으킬 수도 있는 함수율을 가지고도 식물체에 큰 해를 끼치지 않는 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 산소확산계수가 다시 줄어드는 함수율 60% 이하로만 배지 함수율을 유지한다면, 과습조건에 민감하지 않은 작물의 경우에는 무난한 수분관리가 가능할 것이다.

그림 4-2. 배지 내 함수율에 따른 산소확산계수

3. 실증 실험 및 생육 비교

가. 재료 및 방법

용인시 남사면 소재의 단동 플라스틱 하우스에서 1단의 NFW와 NSW 시스템과 2단의 NFW와 NSW 시스템을 각각 제작하였다. 난방방식은 모두 동일하게 터널형 국부 난방을 실시하였다. 식물체는 임파첸스, 칼랑코에, 그리고 아이비를 각각 1,000 개체씩, 각 시스템에 250 개체씩 배치하였다. 13주간 재배하였다.

칼랑코에의 화아분화를 위하여 발근 후 3주째부터 터널의 피복재 위에 흑백필름을 설치하여 단일처리를 하였으며, 18시부터 9시까지 단일처리하였다.

칼랑코에는 삼목 후 3, 6, 12주째에, 임파첸스는 정식 후 3, 5, 10주째에, 그리고 아이비는 10주째에 5개체를 각 베드에서 샘플링 하여 생체중, 건물중, 초장, 초폭, 화아 및 꽃 수, 그리고 측지 수를 측정하였다.



그림 4-3. 시스템 내 식물체 배치 및 온풍난방을 위한 덕트



그림 4-4. 2단 벤취 시스템과 하단 베드 이동용 레일



그림 4-5. 2단 벤취 시스템의 전개



그림 4-6. 2단 벤취 시스템의 관수를 위한 상단과 하단부 연결



그림 4-7. 단일처리를 위한 흑백차광필름을 설치한 시스템

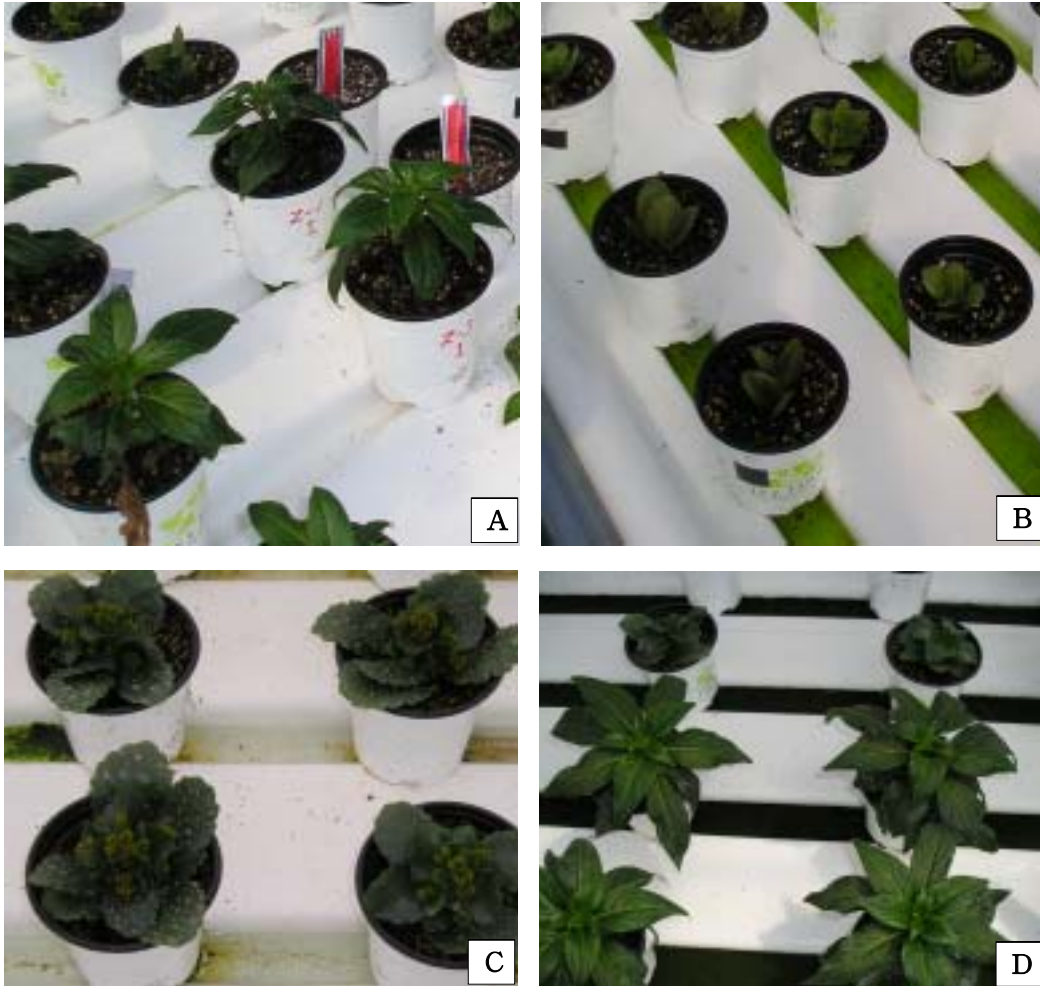


그림 4-8. 베드 상면 수로에 발생한 녹조류의 시스템간 비교. A, C는 1단 및 2단 NFW 시스템, B, D는 각각 1단 및 2단 NSW 시스템이다.

나. 결과 및 고찰

(1) 아이비의 생육은 생체중과 줄기 길이에서는 시스템 간 차이가 나타나지 않았지만, 측지의 발달이 NFW를 이용한 시스템에서 더 많았던 것으로 나타났다. 많은 측지는 상품의 전체 외관을 풍성하게 보이도록 하고, 삼수로 번식할 때 좋은 삼수의 조건이다.

(2) 임파첸스는 전체적으로 모든 시스템에서 생육차이가 나지 않았다. 단, 2단베드의 하단에서 지상부의 생체중 및 건물중이 다른 시스템에서의 것들보다 높았는데, 이는 주간외 광강도가 다른 곳에서보다 더 강했기 때문이다. 터널형 난방 시스템의 경우, 광환경개선에 대한 연구가 더 필요하다. 임파첸스의 경우에는 전체적으로 상품으로서의 품질은 차이가 거의 나지 않았다.

(3) 칼랑코에는 삼목 증식하여 재배하는 작물로서, 삼목직후 발근시기 동안에는 배지함수량 관리를 잘해주어야 발근도 빠르고, 초기 생육이 좋다. NFW 시스템의 경우에, 삼목 6주 후의 건물중이 지상부와 지하부 모두 다른 것들보다 더 높았다. 하지만, 이후 상품 출하시기의 생육은 이러한 초기 생육의 효과가 그다지 영향을 미치지 못한 것으로 보인다.

칼랑코에의 화아분화는 2단 베드 시스템에서, 관수방식에 상관없이 하단베드의 것들이 다른 경우보다 3주 정도 빨리 일어났다(그림 4-9). 이는 단일처리 이전부터, 시스템 특성상 야간 난방을 위하여 18시부터 다음날 9시까지 터널을 닫게 되는데, 이 때 하단의 수광량은 급격히 떨어지고, 상단부는 지속적인 수광을 하기 때문에 예상하지 못한 단일 처리 효과가 나타난 것으로 생각된다. 다단 시스템에서는, 단일 처리 식물을 재배할 경우, 이러한 특성을 고려하여야 할 것이다.

Table 1. Influence of irrigation system on ivy growth at 10 weeks after beginning of the experiment

Irrigation system	Dry weight (g)		Fresh weight (g)		Shoot length (cm)	No.of leaves	No. of lateral shoot
	Shoot	Root	Shoot	Root			
NSW	0.83 ^{b^z}	0.105a	2.13a	0.67b	26.2a	4.3c	17.9c
NFW	1.09 ^{ab}	0.193a	2.43a	1.03a	26.8a	8.2a	24.6a
NFW_UP	1.18 ^{ab}	0.156ab	2.52a	0.68b	30.8a	8.1a	18.9bc
NFW_LOW	1.360a	0.203a	2.24a	0.66b	22.4a	6.5abc	22.6ab
NSW_UP	0.993ab	0.145ab	2.11a	0.68b	28.7a	5.7bc	16.9c
NSW_LOW	0.783ab	0.145ab	2.23a	0.62b	22.4a	7.6ab	19.6bc
Significance	NS	NS	NS	***	NS	**	**

^z means separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.001.

^yNS,*,**,*** means Non significant or significant at P=0.05, 0.01 and 0.001, respectively.

Table 2. Influence of irrigation system on impatiens growth at 3 weeks after transplanting.

Irrigation system	Dry weight (g)		Fresh weight (g)		Height (cm)	Width (cm)
	Shoot	Root	Shoot	Root		
NSW	0.42a ^z	0.09a	5.76a	0.07ab	4.5a	8.1a
NFW	0.38a	0.03a	4.77a	0.06a	4.3a	7.0a
NFW_UP	0.36a	0.02a	4.92a	0.02b	4.1a	6.9a
NFW_LOW	0.37a	0.01a	4.95a	0.03ab	5.2a	7.2a
NSW_UP	0.36a	0.01a	4.44a	0.03ab	5.0a	8.0a
NSW_LOW	0.36a	0.02a	5.94a	0.07ab	4.9a	8.1a
Significance	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^z means separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.001.

^yNS,*,**,*** means Non significant or significant at P=0.05, 0.01 and 0.001, respectively.

Table 3. Influence of irrigation system on impatiens growth at 5 weeks after transplanting.

Irrigation system	Dry weight (g)		Fresh weight (g)		Height (cm)	Width (cm)
	Shoot	Root	Shoot	Root		
NSW	1.28a ^z	0.32a	12.0ab	2.3a	11.8	16.9
NFW	1.14a	0.40a	10.1b	3.6a	12.1	16.8
NFW_UP	1.48a	0.47a	14.3a	4.9a	12.8	17.9
NFW_LOW	1.40a	0.44a	12.9ab	3.9a	13.1	18.1
NSW_UP	1.31a	0.35a	12.7ab	2.1a	13.3	18.3
NSW_LOW	1.57a	0.41a	13.9a	3.6a	14.1	17.9
Significance	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^z means separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.001.

^yNS,*,**,*** means Non significant or significant at P=0.05, 0.01 and 0.001, respectively.

Table 4. Influence of irrigation system on impatiens growth at 10 weeks after transplanting.

Irrigation system	Dry weight (g)		Fresh weight (g)		Height (cm)	Width (cm)	No. of flowers	No. of leaves
	Shoot	Root	Shoot	Root				
NSW	3.83c ^z	0.56ab	53.2cd	16.8a	16.8ab	18.3d	49.0b	100.4a
NFW	3.83c	0.63ab	51.0d	19.0a	15.8b	19.3cd	48.6b	92.6a
NFW_UP	4.33bc	0.51b	61.7bcd	15.3a	16.9ab	19.8bcd	58.5ab	126.8a
NFW_LOW	5.46	0.76	73.7a	19.5a	17.2	22.9	71.2	96.0

OW	ab	ab	b		7ab	ab	ab	a
NSW_U	4.89	0.56	66.6b	18.9a	19.	23.4	52.0	112.
P	bc	ab	c		0a	ab	b	0a
NSW_L	6.52	0.88	85.8a	23.0a	18.	22.2	85.2	126.
OW	a	a			8a	abc	a	6a
Significance	***	NS	***	NS	NS	*	NS	NS

^z means separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.001.

^yNS,*,**,*** means Non significant or significant at P=0.05, 0.01 and 0.001, respectively.

Table 5. Influence of irrigation system on kalanchoe growth at 3 weeks after transplanting.

Irrigation system	Dry weight (g)		Fresh weight (g)		Height (cm)	Width (cm)
	Shoot	Root	Shoot	Root		
NSW	0.42 a ^z	0.09 a	5.76 a	0.07 a	4.5a	8.1a
NFW	0.38 a	0.03 a	4.77 a	0.06 ab	4.3a	7.0a
NFW_UP	0.36 a	0.02 a	4.92 a	0.02 b	4.1a	6.9a
NFW_LO	0.37 a	0.01 a	4.95 a	0.03 ab	5.2a	7.2a
NSW_UP	0.36 a	0.01 a	4.44 a	0.03 ab	5.0a	8.0a
NSW_LO	0.36 a	0.02 a	5.94 a	0.07 ab	4.9a	8.1a
Significance	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^z means separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.001.

^yNS,*,**,*** means Non significant or significant at P=0.05, 0.01 and 0.001, respectively.

Table 6. Influence of irrigation system on kalanchoe growth at 6 weeks after transplanting.

Irrigation system	Dry weight (g)		Fresh weight (g)		Height (cm)	Width (cm)	No. of lateral shoot
	Shoot	Root	Shoot	Root			
NSW	0.66 ^c ^z	0.03 ^b	10.5 ^c	0.40 ^a	5.1 ^b	9.9 ^c	9.3 ^a
NFW	0.82 ^b	0.06 ^a	13.2 ^{ab} ^c	0.44 ^a	6.0 ^a ^b	10.2 ^c	10.0 ^a
NFW_UP	0.86 ^a	0.05 ^a	14.2 ^{ab}	0.44 ^a	6.9 ^a	11.8 ^a	10.3 ^a
NFW_LOW	0.82 ^b	0.05 ^a	14.4 ^{ab}	0.48 ^a	5.2 ^a ^b	10.7 ^a ^{bc}	10.3 ^a
NSW_UP	0.87 ^a	0.03 ^b	15.3 ^a	0.44 ^a	6.4 ^a ^b	11.3 ^a ^b	10.0 ^a
NSW_LOW	0.68 ^c	0.03 ^b	12.1 ^{bc}	0.34 ^a	6.0 ^a ^b	10.9 ^a ^{bc}	9.3 ^a
Significance	** *	** *	*	NS	NS	*	NS

^z means separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.001.

^yNS,*,**,*** means Non significant or significant at P=0.05, 0.01 and 0.001, respectively.

Table 7. Influence of irrigation system on kalanchoe growth at 12 weeks after transplanting.

Irrigation system	Dry weight (g)		Fresh weight (g)		Height (cm)	Width (cm)	No. of lateral shoot	No. of flowers
	Shoot	Root	Shoot	Root				
NSW	1.19 ^{c^Z}	0.06 ^b	27.5 ^b	3.3 ^a	11.4 ^b	12.4 ^{ab}	7.5 ^b	226.0 ^a
NFW	1.50 ^c	0.17 ^{ab}	32.8 ^b	5.6 ^a	11.7 ^b	11.9 ^b	11.0 ^a	279.4 ^a
NFW_UP	2.15 ^b	0.21 ^a	41.1 ^{ab}	6.8 ^a	13.5 ^a	11.8 ^b	7.8 ^{ab}	235.0 ^a
NFW_LOW	1.75 ^{bc}	0.21 ^a	34.3 ^b	6.4 ^a	12.3 ^a	11.5 ^b	9.5 ^{ab}	281.0 ^a
NSW_UP	1.77 ^{bc}	0.08 ^{ab}	37.1 ^{ab}	3.7 ^a	13.4 ^b	12.3 ^b	8.8 ^{ab}	234.8 ^a
NSW_LOW	3.03 ^a	0.12 ^{ab}	51.0 ^a	6.2 ^a	13.6 ^a	14.9 ^a	8.8 ^{ab}	245.0 ^a
Significance	***	NS	NS	NS	***	NS	NS	NS

^Z means separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.001.

^yNS,*,**,*** means Non significant or significant at P=0.05, 0.01 and 0.001, respectively.

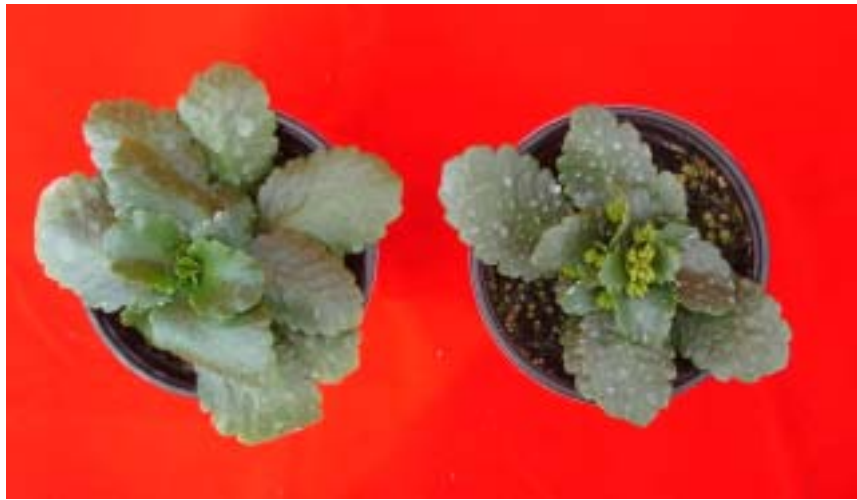


그림 4-9. 삽목 후 7주 째, 2단 NSW 시스템에서 상단과 하단에 각각 위치한 칼랑코에의 화아분화 시기 차이.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구 목표 달성도

번호	세부연구목표 (연구계획서상에 기술된 연구목표)	달성내용	달성도 (%)
1	에너지 절감용 재배시스템 개발	2단 심지 이용형 흘림식 벤치를 개발하였으며, 이에 활용 가능한 난방시스템을 개발하였음	100
2	에너지 절감형 분화생산 난방체계 개발	복수 온풍난방기를 이용한 국부/전체 난방에 대하여 실험과 모델을 통하여 입증하였다.	100
3	시스템 수분관리 기술 개발	베드 경사, 심지특성 등을 고려한 함수율을 분석하였고, 관수 횟수에 따른 함수율을 분석하여 적정 관수 횟수와 시간을 정하였음.	100
4	양액재배 시스템 및 분화배지 내의 환경 및 생육분석	기존의 여러 저면관수 방식과 다단계 심지 이용형 흘림 방식으로 재배를 하면서 시스템 및 배지내 환경을 분석하였다.	100

제 2 절 관련분야에의 기여도

난방 효율을 높인 심지이용형 흘림식 분화 양액재배 시스템과 국부 이원화 난방 방식을 도입한 국부 구분난방 시스템을 실용화 할 수 있다. 이를 통해 농자재 생산 업체에 새로운 수익창출 품목이 될 수 있으며, 농가에서는 고유가 시대에 난방비 절감을 통해 생산비 절감을 도모할 수 있을 것이다. 본 시스템과 관련한 수분관리 기술 개발은 농가 안정적인 고품질 생산에 도움을 줄 수가 있다. 또한 양액재배 시스템에서의 분화배지 내의 환경 분석은 분화재배 연구자들에게 관련 정보를 제공해 줄 수 있을 것이다.

제 5 장 연구결과의 활용계획

본 연구의 결과들은 개발된 양액 재배 시스템의 국내 농자재산업에의 기술 이전을 계획하고 있다. 새로이 설계한 국부 난방 방식은 특히 출원 및 농자재·시설 산업에 기술 이전이 가능할 것으로 보고 있으며, 분화의 저면관수 시스템의 사용기술과 더불어 대농민 교육을 시행할 수 있다. 개발된 기술은 학회, 연구회, 작목별 교육 행사 등을 통해 기술을 보급할 계획이다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 7 장 참고문헌

- 농촌진흥청 원예연구소. 2001. 시설원예 에너지 절감연구: 분화류 벤치재배시 부분난방에 의한 에너지 절감 연구. 원예시험연구보고서 2001:383-393.
- Argo, W. R. and J. A. Biernbaum. 1994. Irrigation requirements, root-medium pH, and nutrient concentrations of easter lilies grown in five peat-based media with and without an evaporation barrier. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119:1151-1156.
- Argo, W. R. and J. A. Biernbaum. 1995. The effect of irrigation method, water soluble fertilization, preplant nutrient charge, and surface evaporation of early vegetative and root growth of poinsettia. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120:163-169.
- Bartzanas, T., M. Tchamitchian and C. Kittas. 2005. Influence of the heating method on greenhouse microclimate and energy consumption. *Biosystems Engineering.* 91(4):487-499.
- Biernbaum, J. A. 1992. Root-zone management of greenhouse container-grown crops to control water and fertilizer use. *HortTechnology* 2:127-132.
- da Silva, A.P. and Kay, B.D., 2004. Linking process capability analysis and least limiting water range for assessing soil physical quality. *Soil Tillage Res.* 79:167 - 174.
- Dolar, S. G. and D. R. Keeney. 1971. A self-watering system for growing plant in potted soils. *Agron. J.* 63:334-336.
- Ewa, A. C. 2004. Effects of traffic on soil aeration, bulk density and growth of spring barley. *Soil and Tillage Res.* 79:153 - 166
- Gliński, J., Stepniewski, W., 1985. Soil aeration and its role for plants, CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- James, E. and M. van Iersel. 2001. Ebb and flow production of petunias and begonias as affected by fertilizers with different phosphorus content. *HortScience* 36:282-285.
- Jeffery, D. R. and R. S. Thomas. 1998. The effect of pot size on growth and transpiration of maize and soybean during water deficit stress. *J. Exp. Bot.* 49:1381-1386.
- Kang, Jong-Goo. S. Yang, B. S Lee, and S. J. Chung. 2003. Effects of changing fertilizer concentrations and fertigation frequencies on growth and fruiting of subirrigated ornamental pepper. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 44:523-529.
- Kim, W. S., J. S. Lee, and K. Y. Huh. 2001. Root growth and physiological activity of cut rose (*Rosa hybrida* L.) according to root-zone temperature. *J.*

- Kor. Soc. Hort. Sci. 42:732-736.
- Kitchener, H. 1996. Pros and cons of ebb and flow. *Grower* 25:26-29.
- Klock-Moore, K. A. and T. K. Broschat. 2001. Effect of four growing substrates on growth of ornamental plants in two irrigation systems. *HortTechnology* 11:456-460.
- Klock-Moore, K. A. and T. K. Broschat. 2001. Irrigation systems and fertilizer affect petunia growth. *HortTechnology* 11:416-418.
- Ku, C. S. M. and D. R. Hershey. 1991. Leachate electrical conductivity and growth of potted poinsettia with leaching fraction of 0 to 0.4. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:802-806.
- McIntyre, D. S. 1966. Characterizing soil aeration with a platinum microelectrode. I. Response in relation to field moisture conditions and electrode diameter. *Aust. J. Soil Res.* 4:95-102
- McIntyre, D. S. 1971. The platinum microelectrode method for soil aeration measurements. *Adv. Agron.* 22:235-283.
- Morvant, J. K., J. M. Dole, and E. Allen. 1997. Irrigation systems alter distribution of roots, soluble salts, nitrogen, and pH in the root medium. *HortTechnology* 7:156-160.
- Park, C. H., J. A. Baik, S. W. Kang, and M. R. Huh. 1999. High quality pot flower production by wick irrigation in C-channel system. *J. Kor. Flower Res. Soc.* 8:37-42.
- Park, H. J. and J. E. Son. 2003. Comparison of physical and chemical properties of growing media based on the European standard method and the self-compaction method. *Acta Hort.* 644, 2004, pp.225-230
- Raines, M. A. 1935. Receptacle for growing plants. US Patent No. 2026322.
- Snow, M. D. and D. T. Tingey. 1985. Evaluation of a system for the imposition of plant water stress. *Plant Physiol.* 77:602-607.
- Son, J.E., M.M. Oh, Y.J. Lu, K.S. Kim, and G.A. Giacomelli. 2006. Nutrient-flow wick culture system for potted plant production: System characteristics and plant growth. *Scientia Hort.* 107(4): 392-398.
- Son, K. C., K. Y. Paek, W. K. Park, and T. J. Kim. 2000. Plant growth and wilting of indoor plants, and water content and rehydration of media irrigated by wick as affected by medium composition. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 41:429-434.
- Toth, J., E. J. Nurthen, and K. Y. Chan. 1988. A simple wick method for watering potted plants which maintains chosen moisture regime. *J. Austral. Exp. Agr.* 28:805-808.

협동연구과제

냉난방비 절감을 위한 다단 벤치 시스템 개발
Development of pot flower poly bench system
for heating and cooling cost saving

원예연구소 시설원예시험장

김 태 영

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “에너지 절감형 고품질 분화 생산 시스템 개발” 과제의 **협동 연구 과제 “냉난방비 절감을 위한 다단 벤치 시스템 개발”**의 최종보고서로 제출합니다.

2006년 7월 14일

주관연구기관명 : 서울대학교

총괄연구책임자 : 김 기 선

협동연구기관명 : 원예연구소

협동연구책임자 : 김 태 영

요 약 문

I. 제 목

협동 연구 과제: 냉난방비 절감을 위한 다단 벤치 시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

초장이 작은 소형 분화류 벤치 재배시 시설 내 전부를 가온하거나 냉방하기 때문에 과도한 에너지가 소요되는 문제점이 있다. 이를 개선하고자 공간을 획기적으로 축소하는 다단 벤치 재배 시스템의 개발이 필요함

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 냉·난방비 절감을 위한 다단 벤치 시스템 개발 및 단수별 효율 비교
2. 다단 벤치 시스템에 의한 작물 생육 및 에너지 절감 효과 비교

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 분화류 재배 시 에너지 절감용 다단벤치 시스템을 개발하여 분화 재배 시스템에 적용하여 시설의 에너지 절감과 작물생육을 분석함
2. 분화류 이중벤치에 난방용 상부 덕트를 처리한 시설이 관행 벤치 무덕트에 비하여 10a당 연료소모량이 50.3%가 절감되었음
3. 시설 내 난방 방법에 따른 벤치 내 온도는 상부 덕트를 이용하여 난방한 것이 시설 내 온도가 균일하였음

2. 활용방안

- 바로 현장에 적용할 수 있는 기술들은 연구책임자 또는 농업기술센터 조직을 통해 분화 재배 농가에 대한 기술 교육을 하거나 책자를 통해 보급
- 특허 출원 기술들은 참여 기업체와 협의하여 현장에 적용할 수 있는 기술로 보완
- 학술적으로 의미있는 연구 결과들은 국내외 학회에 발표하고 학술지에도 게재하고 있는 중
- 실증 실험이나 추가 실험이 필요한 부분은 계속 연구하거나 다른 연구과제로 발전시킴

SUMMARY

(영문 요약문)

Development of pot flower poly bench system for heating and cooling cost saving

This study was conducted to develop the poly bench system which can minimize the heating and cooling space in greenhouse and subsequently reduce the heating and cooling cost in pot plant production. The system was developed to control the heating space surrounding the double bench with the tunnel. The influence of a double bench heating system on microclimate was evaluated in greenhouse with pot plant, kalanchoe. Light transmittance of double bench system and traditional bench was 30%, whereas that of the lower bench of double bench system was 52.6%. There was no difference in growth characteristics of kalanchoe between types of bench. Installation of the heating duct system above the double bench inside the tunnel decreased heating energy by 50 % in protected culture of kalanchoe compared with traditional system. Amount of heating oil consumed from March 3 to April 20, 2005 was 10,840 L/10a in the double bench system as compared to that of conventional bench system. Cooling temperature of evaporative cooling system below 5~6°C to radiator system.

목 차

제1장 연구 개발 과제의 개요	151
제2장 국내외 기술 개발 현황	152
제 1 절 국외 현황	152
제 2 절 국내 현황	153
제3장 연구 개발 수행 내용 및 결과	154
제 1 절 적요	154
제 2 절 서론(연구 목적)	155
제 3 절 재료 및 방법	155
제 4 절 결과 및 고찰	158
제4장 목표 달성도 및 관련 분야에의 기여도	167
제5장 연구 개발 결과의 활용	168
제6장 연구 개발 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	168
제7장 참고 문헌	169

제 1 장 연구개발과제의 개요

우리나라 분화 재배는 최근 들어 수요가 증가하면서 양적, 질적으로 많은 발전을 이루어 왔다. 2005년 화훼 총생산액 1조 105억원 중 분화 및 초화류는 4,355억원을 차지하고 있어 절화류의 4,517억원에 육박하는 수준이다. 아직 난류와 관엽식물의 비중이 크기는 하지만 소형 분화류의 증가세는 뚜렷한 경향을 보이고 있다. 이와 같은 현상은 아파트 위주의 주거 환경에 웰빙 바람을 타고 수요가 늘어난 것으로 생각된다. 이와 같은 양적 성장이 질적 발전을 이끌고 있기도 하다.

과거 토양과 유기물을 이용한 배지와 인력에 의한 두상관수, 고품비료 시비에 의한 재배에서 무토양 배지, 양액 저면관수 등 재배 환경이 개선되고 작업의 자동화를 도입하여 노력을 줄이고 있다. 이에 따른 다양한 농자재와 재배 기술도 개발되고 있다.

그러나 계속되는 국제유가의 상승은 겨울철 온실재배가 큰 비중을 차지하는 우리나라에는 치명적이다. 분화류의 시장 가격이 정체되어 있는 상황에서 국제유가의 상승으로 인한 난방비 부담 증가는 온전히 농가가 떠안아야 할 문제가 되어버렸다.

그러나 이를 해결하기 위한 연구는 미흡한 실정이다. 현재까지 대체연료의 개발, 국부 난방 기술, 열 효율 증대 등의 기술이 개발되고 있지만, 이는 채소류 위주의 연구이며, 분화류 생산에 바로 적용하기엔 다소 무리가 있다.

본 연구에서는 소형 분화류 생산에 있어서 겨울철 난방을 위한 경유 소비량을 줄이기 위해 다양한 접근을 통해 몇 가지 해결 방안들을 제시하고자 한다.

제2장 국내외 기술개발 현황

제1절 국외 현황

1. 분화 재배 기술

화란, 덴마크, 일본, 미국 등 분화 선진국에서는 분화 전용 배지의 개발이 이루어지고 있고, 관수 시스템, 양액재배용 전용 양액 등 전용자재들이 개발되어 실용화되고 있는 실정이다. 특히 화란에서는 분화전용 양액인 Sonneveld액이 실용화되어 있고, 과채류, 엽채류 및 절화 작물별 전용양액을 개발하여 실용화하고 있다. 일본에서도 아이찌현 원예연구소에서 개발한 전용 양액을 농가에서 이용하고 있다.

재배 시스템의 경우, ebb & flow, 매트 및 심지 재배가 상용화되고 있고, 아프리카 마이올렛을 중심으로 식물 공장 시스템이 이루어졌으며, 작물별로 지역 특성에 적합한 다양한 설비들이 개발되고 있다.

고품질 묘 생산에 있어서는 각 작물별로 조직배양, 삼목, 실생묘의 대량 급속 증식 기술이 개발되고 있으며, 재배와 육묘업체가 분리되어 효율적인 생산이 이루어지며 기술 축적을 꾀하고 있다. 또한 사전 주문 생산 방식이 일반화되어 값비싼 시설의 이용 효율을 높이고 있다.

병충해 방제에서도 다양한 기술들이 개발되었는데, 병충해 예찰 시스템이 실용화되었고, *Pythium*, *Phytophthora* 등의 진단용 kit가 개발되었으며, 사전 검역에 의해 수출 시간을 최소화하고 있다.

분화류의 고품질 생산을 위한 연구도 활발한데, DIF나 PGR을 이용하여 초장을 조절하고 아담한 크기의 분화를 재배하고 있고, 광질, 온도, 일장 등을 조절하여 원하는 시기에 개화를 시킨다.

2. 시설 내 냉·난방 기술

분화류 선진국에서는 소형 분화류에 대한 부분 난방 기술과 작물체의 초장에 따라 난방 배관을 변화시킬 수 있는 시스템을 도입하여 작물의 생육을 최적화하고 있다. 또 온실 전체를 난방하는 대신 화분 속 배지만 냉난방하는 근권 냉난방 기술도 개발되었다. 이때 사용되는 배관 자재도 열전도율을 높여 에너지 효율을 크게 증가시켰고, 배관의 모양도 열 전달에 맞도록 고안하고 있다. 겨울철 난방뿐만 아니라 여름철 냉방 기술도 다양하게 개발되어 있어 분화류의 생육을 최적화하고 있다.

제2절 국내 현황

1. 분화 생산 기술

국내의 분화 재배는 주로 토경 재배 및 지상 관수에 의해 이루어지고 왔으며, 외국에서 도입된 ebb & flow 시스템도 우리나라 실정에 맞지 않아 일부 변형이 필요한 실정이다. 최근에 많이 보급되고 있는 매트 및 심지 재배도 자재 등이 열악하고 시스템에 맞는 재배기술이 부족하여 우리나라 실정에 맞는 시스템의 개발이 시급하다. 물론 최근 자재 및 기술의 발전은 주목할 만하다.

양액재배는 주로 채소와 절화 작물을 중심으로 행해지고 있는데, 원예연구소, 서울대, 서울시립대, 경상대, 전남대 등을 중심으로 양액개발이 진행 중이며, 배지 및 전용양액 개발에 많은 비중을 두고 있다. 분화의 양액재배는 국내 일부 대학에서 실험적 연구가 진행 중이지만, 분화의 양액재배 시스템 연구는 극히 초기 단계이다. 원예연구소와 서울시립대에서 연구가 수행중이며 포인세티아, 칼랑코에, 고무나무, 아잘레아 등이 중점적으로 연구되고 있지만, 아직 실용화하기에는 미흡하다. 본 연구팀이 1999년부터 2003년까지 수행한 연구가 체계적인 분화류 연구의 시작이 아닐까 판단된다.

국내의 병해충 예찰 시스템은 아직 개발 및 실용화가 미흡한 실정이며, 주로 채소 작물에서 집중적으로 연구되고 있다. 고품질 규격품 분화생산의 경우 PGR을 이용한 초장조절 기술이 개발 중에 있는 반면, 분화 생산 후 순화 및 포장, 수송을 위한 연구는 최근에야 시작되었다. 또한 균일한 품질의 상품생산기술이 절대적으로 부족하다.

2. 분화류 생산에 있어서 냉난방 기술

분화류 생산에 있어서 냉난방기술은 기존의 절화류나 채소류에서 이용하던 방법을 거의 그대로 이용하고 있는 실정이다. 다만 벤치 재배가 대부분이기 때문에 베드 위에 그 장치를 옮겨 놓았을 뿐이다. 이러한 방법들은 난방 효율을 고려하기보다는 작물의 생육 적온에 맞게 기온이나 근권부 온도를 맞추는 정도이다. 따라서 대부분의 온도 조절은 경험적으로 이뤄지고 있다.

작물의 초장에 관계없이 시설 전체를 공간 난방하기 때문에 과도한 난방비 소요되고 있다. 또한 시설 내 온풍 난방으로 시설의 전·후면 및 고저에 따른 온도 편차가 크며, 시설 내 전 공간을 냉·난방하고 있어서 냉·난방 효율이 떨어진다.

국제 유가의 상승으로 인해 난방 효율을 높이기 위한, 또는 난방 공간을 줄이기 위한 연구들도 진행되고 있으나 연구하기 편한 엽채류 위주라 화훼류에 바로 적용하기에는 문제가 있다.

제3장 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절 적 요

1. 냉·난방비 절감용 다단 벤치

난방비를 줄이고 집약적인 관리가 가능한 저면 급수식 수경재배용 2중벤치를 개발하였다. 이 시스템은 주간에는 2중벤치의 내·외부벤치를 일렬로 늘어놓아서 광이용 효율을 높였고, 야간에는 내부벤치를 외부벤치 안으로 밀어 넣어 난방공간을 1/2로 축소할 수 있도록 하였다. 그리고 온도 분포를 균일화하기 위하여 벤치상부에 덕트를 설치하였다. 이러한 2중벤치는 관행벤치에 비하여 난방비가 50.3%가 절감되었고 칼랑코의 생육도 양호하여 2중벤치가 경제성이 있는 것으로 사료되었다.

2. 기화열 이용 냉방 시스템 개발

본 연구에서는 시설 내 터널재배에서 저렴하게 설치할 수 있는 냉방장치를 개발하였는데 이 장치는 가로 60cm, 세로 60cm, 길이 100cm이고 내부에는 두 개의 공간으로 분리되어 있고 하단부는 공기가 통과할 수 있도록 트여 있다. 폭 60cm 공간의 하단부에 물을 공급하는 미스트 노즐을 설치하고, 노즐의 앞쪽에서 송풍팬을 설치하여 기화된 찬바람이 송풍용 덕트를 통하여 균일하게 시설의 터널 내부로 골고루 전달되도록 하였고 냉방시스템의 내부 하단부에는 노즐로부터 분사된 후 증발되지 않은 물을 회수하여 온실 밖에 매설된 탱크로 들어가 펌프에 의해 다시 공급되도록 하였다. 송풍용 덕트는 직경 직경 20cm의 덕트용 주름관을 이용하여 30cm 간격으로 구멍을 뚫어서 터널내로 냉방이 균일하게 발산되도록 하였다. 개발된 냉방시스템을 설치한 시설의 터널내 기온은 무냉방 터널에 비하여 평균 5~6℃ 낮았다. 그리고 관행의 라디에이터를 이용한 냉방처리에 비하여 1~2℃ 낮게 유지되었고 10a당 경제성 분석을 보면 기화열 이용 냉방 시스템이 라디에이터를 이용한 관행냉방에 비하여 198,311원의 소득 증대 효과가 있었다.

3. 농가 실증 연구

2년차에서 개발된 이중벤치 시스템을 농가 현장에서 실증시험을 실시하였다. 벤치종류별 시설 내 온·습도의 차이와 재배작물인 칼랑코에 생육의 벤치종류별 차이는 없었다. 엽록소 함량에 있어서는 1중벤치와 관행벤치에 있어서는 68.0(spand) 였으나 2중벤치에 있어서는 64.0(spand)으로 관행벤치에 비하여 조금 낮은 경향이있는

데, 벤치의 종류에 따른 난방비 연료 소모량을 분석한 결과 2중벤치가 관행벤치에 비하여 50%의 난방비 절감 효과가 있는 것으로 나타났다.

제2절 서론(연구 목표)

시설재배는 일반적으로 노지에서 작물이 생육하기 어려운 동절기나 이른 봄에 재배시기를 앞당겨 농산물의 조기 출하를 목적으로 하는 경우가 대부분이다.

동절기 시설원예는 대부분 난방이 요구되며 시설원예 생산비 중에서 연료비가 차지하는 비중은 30~35%로 시설재배 선진국의 10~15%에 비하여 매우 높아 농산물의 국제 경쟁력이 떨어지고 있는 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 동절기 난방에 소요되는 에너지 비용을 최소화하여 생산비를 낮추어야 하는 반면 여름철에는 시설재배 시 시설의 주년생산을 위하여 고온기인 하절기에도 시설 내에는 작물이 생육하게 되는데 우리나라의 5~8월 하절기에는 태양복사 에너지가 매우 높기 때문에 시설 내기온은 외기온보다 5~6℃ 이상 높고 대부분 작물의 생육 한계 온도인 35℃를 넘는 경우가 흔히 발생하고 있다(김 등, 2001; 남 등, 2003; 우 등, 2000). 이러한 고온 현상으로 고품질 농산물 생산이 어렵고 또한 생산 물량의 급격한 감소 등으로 많은 농가가 여름철에는 휴작을 하게 되어 시설의 주년 활용도가 떨어지고 있다. 현재 국내에서는 시설 내에 온도 상승을 억제하는 수단으로서 자연 또는 강제 환기나 차광 같은 방법이 주로 활용되고 있는데 이러한 방법으로는 고온기에 온도를 하강시키는 데 한계가 있다. 물론 경제성을 고려하지 않는다면 팬 앤 패드 시스템과 같은 증발 냉각 기술 등을 도입할 수는 있으나 재배 작물이나 시설의 투자 수준과 기상 특성 등을 고려할 때 현실적인 측면에서는 많은 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 시설의 난방 및 냉방의 공간 면적을 최소화하기 위한 다단벤치를 개발하여 시설재배에서 설치비가 저렴하면서도 효율성이 높은 다단벤치 시스템을 개발하여 분화류 농가의 벤치재배에 적용하고자 한다. 또한 본 연구에서는 개발한 에너지 절감형 다단벤치 재배 시스템을 이용하여 농가 현장에서 칼랑코에와 같은 소형 분화류를 재배하는데 난방비를 획기적으로 감소시키는 실증 연구를 수행하였다.

제3절 재료 및 방법

1. 냉·난방비 절감용 다단벤치

본 실험은 2003년 7월부터 2004년 7월까지 1년차에서 수행한 여러 가지 다단벤치 시스템 중에서 2년차에서는 활용 가능한 2중벤치 시스템을 만들었다. 개발된 2중벤

치 시스템의 구조는 내·외부 벤치로 주간에는 외부 및 내부벤치를 쪽 펴서 광 이용을 높일 수 있도록 하였고, 야간에는 내부벤치를 외부벤치 안으로 넣어서 난방공간을 1/2로 줄일 수 있는 장치이다. 내외부 벤치의 난방은 덕트를 벤치의 상부에 설치하여 난방 할 수 있도록 하였다. 2중벤치 위에 보온력이 높은 피복재를 사용하여 대형터널을 설치, 난방시 방열을 줄이도록 하였다. 시험방법은 농가보급형 비닐하우스(1-1S형)에 개발된 이중벤치(330m²)와 대조구로 관행의 벤치(330m²)를 설치하여 비교하였으며 두 처리 모두 온풍난방기(8만kcal/h)를 이용하여 가온하였다. 이중벤치는 저면급수식 양액재배를 할 수 있도록 하였다. 내부시설로는 수평커튼을 사용하였고, 비닐하우스의 외부 및 내부피복재의 필름 두께는 각각 0.1mm, 0.05mm의 PE필름을 사용하였다. 이중벤치 위 대형터널은 알숨을 사용하여 보온하였다

시설내 기온은 주야간 각각 최고 30℃, 최저 18℃ 이상으로 관리하였으며 시험작물은 분화작물인 칼랑코에(*Kalanchoe blossfeldiana* Poelln)를 2004년 9월 30일에 벤치위에 정식하였다. 이중벤치 처리구는 칼랑코에 정식 후 야간에는 2중벤치로 하여 난방공간을 최소한 상태에서 벤치위에 대형터널을 이용하여 보온을 하였고, 온풍기를 이용하여 난방을 하였다. 관행은 일중벤치위에 대형터널을 설치하여 터널 내에만 난방하였고, 두 처리 모두 10cm의 플라스틱 화분에 칼랑코에를 정식하였다. 포트 내 관수는 양액재배용 저면급수방법을 이용하여 동일한 양으로 관수하였다. 포트의 배지는 칼랑코에 전용 육묘배지를 이용하였고 정식 후 매달 한번씩 미량요소가 함유된 비료를 동일하게 관비하였다.

2. 기화열 이용 냉방 시스템 개발

본 연구는 '05년에 개발한 온실 냉방시스템으로 농가에서 저렴하게 설치할 수 있는 미스트 노즐과 환기팬을 이용하여 증발 냉각된 공기를 온실 내 다단벤치 시스템의 터널에 균일하게 냉풍을 공급할 수 있는 비용이 저렴한 냉방 시스템이다. 이 장치는 가로·세로 각각 60cm, 100cm이고 내부에는 두 개의 공간으로 분리되어 있으며 하단부는 공기가 통과할 수 있도록 트여 있다. 폭 60cm 공간의 하단부에 물을 공급하는 미스트 노즐을 설치하고, 노즐의 앞쪽에서 송풍 팬을 설치하여 기화된 찬바람이 송풍용 덕트를 통하여 균일하게 시설의 터널 내부로 골고루 전달되어 시설 내 온도를 하강 할 수 있도록 하였는데 직경 20cm의 덕트에 간격 30cm로 구멍직경 3cm로 하여 터널 내 냉풍이 골고루 분산하도록 덕트를 배치하였다. 그리고 미스트 노즐로부터 분사된 후 증발되지 않은 물은 배수로를 통해 온실 밖에 매설된 탱크로 회수하여 펌프에 의해 다시 급수관으로 공급되도록 하였으며 시험온실은 '05년 7월에 1.2m(폭)×6m(길이)×1.0m(높이)로 2중벤치를 설치하고 벤치 위에 터널을 아치형으로 하여 냉방 시스템을 설치하였고, 같은 모양의 2중벤치를 대조구로 조사하였다. 시설 내 미세 환경은 벤치 위으로부터 1.2m 높이에 K-type 열전대를 설치하여 30분 간격으로 온실 내 기온을 측정하였으며, HOBO(Onset사)를 이용하여 터

널의 길이 방향으로 1m 간격으로 설치하여 30분 간격으로 온·습도를 측정하였고 시험은 '05년 7월부터 '06년 7월까지 1년간 수행하였으며, 시험에 사용된 분화는 칼랑코에(*Kalanchoe blossfeldiana* Poelln)를 재배하였다. 시설 내 냉방방법으로 기화열 이용 냉방시스템과 라디에이터를 이용한 냉방시스템 그리고 대조구로 무 냉방의 3처리로 하여 시설 내 냉방효과를 분석하였다. 작물은 3처리 모두 10cm의 플라스틱 화분에 칼랑코에를 정식하여 생육 및 특성을 조사하였다. 분화용 칼랑코에를 정식 후 고온기에는 개발된 냉방시스템을 사용하여 냉방을 실시하였고. 포트내 관수는 양액재배용 저면급수방법을 이용하여 동일한 양으로 관수하였다. 포트의 배지는 칼랑코에 전용 육묘배지를 이용하였고 정식 후 매달 한번씩 미량요소가 함유된 비료를 동일하게 관비하였다.

3. 농가 실증 연구

농가의 사용 여건을 고려하여 2중벤치 시스템의 상부 벤치의 규격은 폭 1.2m, 높이 1.0m 길이 10m로 제작하였고, 그 아래 하부벤치인 1중벤치는 폭 1.0m, 높이 0.6m 길이 10m로 하여 1쌍의 2중벤치 시스템을 제작하였다. 그리고 대조구로서 관행의 벤치는 폭 1.2m 길이 20m로 설치하여 실제 농가에서도 아무 불편함 없이 작물을 재배하도록 구성하였다.

실증연구는 경기도 용인시 남사면 농가(대표 장말관)의 농가보급형 자동화하우스 1-1S형 100평을 50평씩 2동으로 분리하여 개발된 2중벤치 시스템을 투입하고 대조구로 관행의 벤치시스템을 설치하여 키가 작은 분화류인 칼랑코에, 뉴기니아 임파첸스, 그리고 아이비를 재배하여 생육 및 특성을 비교하였다.



이중벤치 시스템

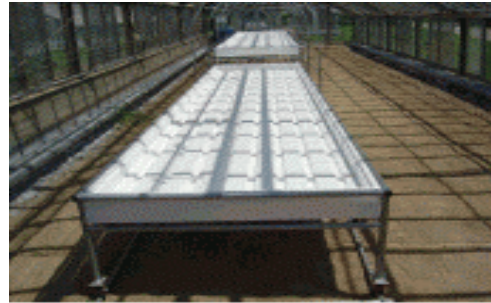
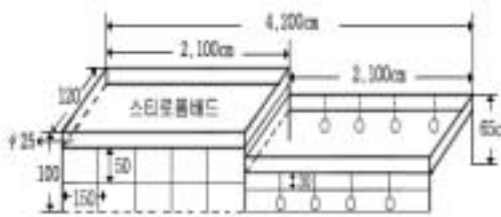
관행벤치 시스템

그림 1. 이중 및 관행벤치시스템

제4절 결과 및 고찰

1. 냉·난방비 절감용 다단벤치

본 시험에 사용한 이중벤치의 개략도는 그림 2와 같다. 이러한 이중벤치는 시설 내 난방공간을 최소로 하여 난방비를 줄이기 위해 개발하였다.



<이중벤치 개략도>

<이중벤치 모형>

그림 2. 이중벤치 개략도 및 모형

이중벤치의 구조는 내부벤치와 외부벤치로 구성되고 외부벤치는 높이 1.0m 길이 21m, 폭 1.2m로 하였으며 내부벤치는 높이 0.65m 폭 1.1m 길이는 21m로 하여 야간에 난방 시 난방면적이 최소화 되도록 내부벤치를 외부벤치 안으로 집어넣어 난방을 함으로써 난방비를 줄이도록 하였다.

그림 2는 이중벤치 위 대형 터널을 설치하고 그 안에 난방을 하기 위한 상부덕트를 설치한 모습이다. 그림 3은 이중벤치 내에서 키가 작은 분화류인 칼랑코예를 재배하며 야간에 내부벤치를 외부벤치 안에 집어넣은 모습이다.

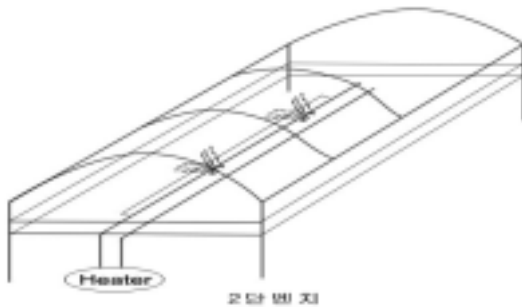


그림 3. 2중벤치의 상부 덕트 설치 모형

그림 4. 2중벤치의 작물재배 전경

그림 5는 시설재배 시 가온시기인 12월에 이중벤치 및 관행벤치 내 온풍 덕트의

종류에 따른 시설 내 전·후면의 온도 분포를 나타낸 것이다. 2중벤치의 상부 덕트 온풍에 있어서는 온풍기로부터 가까운 2m 거리의 시설 내 온도가 24.3℃이고 먼 지점인 9m 거리에 있어서는 23.8℃로 전·후면의 온도 차이가 0.5℃로서 매우 균일하였으나 관행인 일중벤치에 있어서는 전면에만 덕트를 짧게 설치한 후 온풍을 송풍한 처리에 있어서는 온풍기와 가까운 전면이 25.7℃이었고 온풍기로부터 비교적 먼 거리인 9m 떨어진 후면은 22.9℃로 약 3℃의 온도차이가 나서 시설 내 온도분포가 불균일하였다.

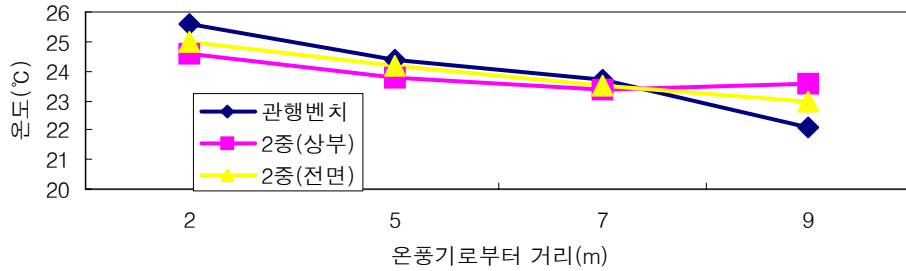


그림 5. 난방방법별 2중벤치 내 온도 분포(조사: 12월 20일)

표 1은 칼랑코에를 정식 40일후인 12월 5일 생육 조사한 것으로 2중벤치에 상부 덕트를 이용하여 난방한 처리에서의 칼랑코에 생체중은 관행벤치와 비슷하였다. 엽면적은 2중벤치 970.1cm²로 관행벤치의 940.2cm²에 비하여 2% 정도 증가하였으나 통계적인 유의차는 없었으며, 이는 2중벤치나 관행벤치 모두 설정온도 이상으로 온도가 관리되어 생육에는 차이가 나지 않는 것으로 생각된다.

표 1. 칼랑코에 생육 (조사 :12월 5일)

처리	초장 (cm)	엽수 (매)	경경 (cm)	근중 (g)	생체중 (g)	엽면적 (cm ²)	건물중 (cm ²)
2중벤치 (상부덕트)	22.1	115.5	10.2	6.3	108.0a	970.1a	7.0
2중벤치 (전면덕트)	21.5	109.2	10.1	6.2	105.9a	950.3a	6.9
관행벤치	21.0	107.1	10.2	6.2	105.1a	941.2a	6.9

※ LSD at 5% level

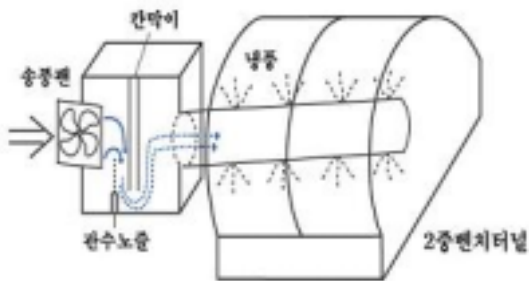
표 2는 칼랑코예를 가온 재배한 '04년 11월 1일부터 '05년 2월 20일까지 연료 소모량을 비교한 것으로 이중벤치에 상부 덕트를 사용한 처리구의 10a당 연료소모량이 10,840ℓ로 관행벤치에 무덕트로 온풍 난방한 처리구의 연료소모량 21,810ℓ에 비하여 50.3%가 절감된 것을 알 수 있다.

표 2. 벤치종류별 연료소모량 조사 (ℓ/10a)

처 리	연료소모량(%)	비 고
2중벤치(상부덕트)	10,840(49.7)	설정온도 : 18℃ 조사 : '04. 11. 1 ~ '05. 2. 20
2중벤치(무덕트)	12,338(56.6)	
관 행(무덕트)	21,810(100)	

2. 기화열 이용 냉방시스템 개발

본 시험에서 사용한 이중벤치 시스템은 앞에서 연구 개발한 시스템을 응용한 것이다. 시설 내 공간을 최소화하고 하절기 고온기에 냉방시 냉방 공간을 최소화하여 냉방 에너지를 절감하는 방법이다. 그림 6은 기화열을 이용한 냉방 시스템의 개략도로 좌측의 관수 노즐의 포그가 작동하면서 전면의 송풍팬이 작동하여 냉풍이 우측 시설의 터널 내로 유입되는 원리이며 우측은 실제 시험 재배에 사용한 시제품이다.



(a) 기화열 이용 냉방 시스템 개략도

(b) 기화열 이용 냉방 시스템 시제품

그림 6. 냉방 시스템 개략도 및 모형도

그림 7은 냉방 처리별 시설내 온도 변화를 조사한 것으로 기화열 이용 냉방 시스템이 관행의 라디에이터를 이용한 냉방 시스템과 비슷한 냉방효과를 나타냈다. 다만, 냉방 처리를 하지 않은 무냉방에 비하여 5~7℃의 온도를 하강할 수 있으므로 냉방

효과가 있었다.

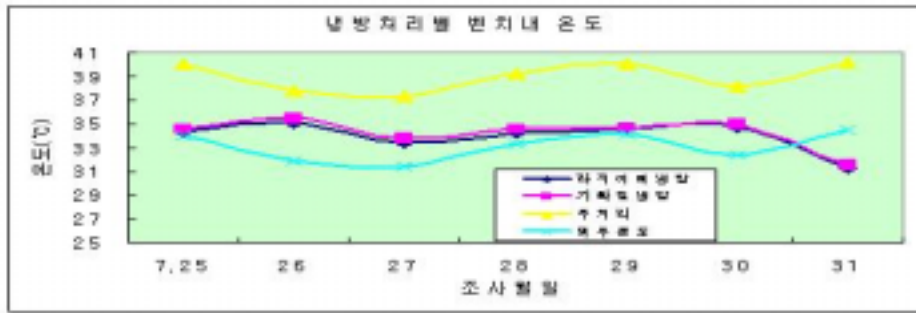


그림 7. 냉방 처리별 벤치 내 온도

표 3은 칼랑코예를 '05년 7월 30일 정식 후 기화열 이용 냉방 시스템으로 15일간 냉방을 하고 정식 후 15일째인 8월3일 생육 조사를 실시하였다. 2중벤치에 송풍 덕트를 이용하여 기화열냉방 처리에서의 칼랑코예 생체중은 라디에이터 방식을 이용한 냉방 벤치 터널 처리와 비슷하였으며 엽면적은 기화열 이용 2중벤치 냉방 시스템이 370.2cm²로 관행벤치의 342.2cm²에 비하여 1% 정도 증가하였다. 통계적인 유의차는 없었으며 하절기 고온에서 환경관리는 지속적으로 관리하여야 하나 계절 특성상 장마와 겹치는 시기에 오랫동안 냉방을 하기는 어려운 상태에서 시험재배를 하여 작물의 생육에는 큰 차이를 보이지 않았다. 다만, 벤치 터널 내 기온을 무냉방에 비하여 5~7℃를 낮출 수 있어 기화열 냉방시스템이 냉방효과가 뛰어난 것으로 확인 되었다.

표 3. 냉방 방법에 따른 칼랑코예의 생육 (조사 : 12월5일)

냉방처리	초장 (cm)	엽수 (매)	경경 (cm)	근중 (g)	생체중 (g)	엽면적 (cm ²)	건물중 (cm ²)
2중벤치 (기화열냉방)	8.1	16.5	8.2	2.3	38.0a	371.1a	2.0
2중벤치 (라디에이터)	8.5	16.2	8.1	2.2	35.9a	353.5a	2.9
관행벤치	8.0	15.1	8.2	2.2	35.1a	342.1a	2.9

※ LSD at 5% Level

기화열 이용 냉방 시스템과 라디에이터 냉각 방법에서 냉각수 순환 여부에 따른 냉방 효과 차이를 알아보기 위해 냉방 시스템 한 쪽은 냉각수를 순환시키고, 다른 한 쪽은 비순환으로 공급하였다. 냉각수(지하수)를 순환시키는 않는 경우 소요되는 물량은 0.41ton/hr으로 순환식에 비해 40배나 많은 물이 소요되었으며, 냉각수 순환

여부에 따른 냉방효과는 차이가 없는 것으로 나타났다. 분무 수온이 포그 냉방 시스템의 냉방 효과에 미치는 영향은 거의 없다는 유 등(2002)의 연구와 같은 결과이다. 냉각수를 순환하여 재사용할 경우 비순환식에 비해 냉각수 온도는 6℃ 정도 높지만 비순환식과 같은 냉방 효과를 보이므로 개발 냉방 시스템에서는 냉각수를 순환하는 방식을 채택하였다.

표 4. 냉각수 순환 여부에 따른 온실 내 냉풍 온도 및 소요 물량

처리		냉각수 수온(℃)	냉풍온도(℃)	냉방소요 물량(ton/h)	비고
냉방처리 (2중벤치)	순환	25.1	28.4	0.01	조사일: '05. 8. 1~8. 3 외기온 : 33℃
	비순환	19.0	27.8	0.41	

개발 냉방 시스템의 냉방 효과를 구명하기 위해 벤치의 터널 내 기온 및 상대습도 변화를 측정하였다. 일반적으로 여름철 온실의 냉방 설정온도는 30~32℃를 넘지 않는 것으로 추천되고 있다(Kittas et al., 2003). 본 실험에서는 냉방 시스템 설정온도를 30℃로 설정하여 가동하였다. 무냉방구에서는 일최고 기온이 40℃를 상회하는 날이 많은데 비해 냉방처리구에서는 온실 내기온이 외기온과 비슷하게 유지되었다. 냉방처리구에서는 냉방 시스템으로부터의 미세 수증기 유입으로 인해 상대습도가 60% 수준으로 관행의 습도에 비하여 약간의 차이를 보였으나 작물 생육에는 적정한 범위로 유지되었으며, 무냉방구에서는 상대습도가 45% 수준으로 외부보다 낮았다. 냉방 가동 기간 중 일중 평균 습도 변화는 그림 8과 같다.

2중벤치내 냉방처리별 상대습도 변화

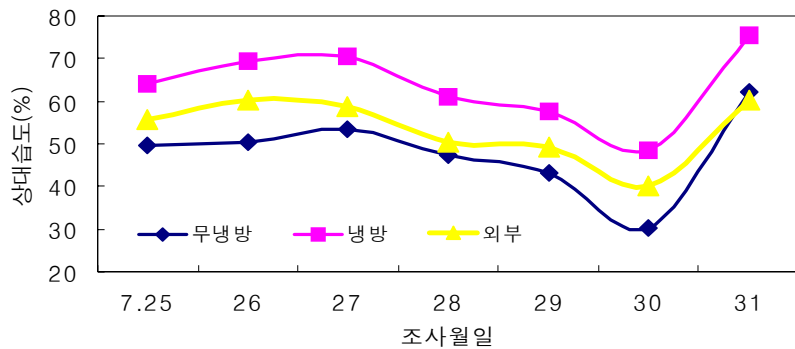


그림 8. 냉방 처리별 습도 변화

표 5는 냉방 처리별 경제성 분석을 한 것으로 기화열 이용 냉방 시스템이 라디에이터를 이용한 관행 냉방에 비하여 10a당 19만원 정도의 경제적인 효과가 있었다.

표 5 기화열 이용 냉방 시스템과 관행 냉방의 경제성 분석 (단위 : 원, 10a)

관행 냉방(A)	기화열 이용 냉방(B)	소득 증대 (A-B)
○ 라디에이터 이용 냉방 시스템 - 감가상각비 $4,865,000\text{원} \div 7\text{년} = 695,000\text{원}$ - 고정 자본 이자 $4,865,000\text{원} \div 2 \times 0.05 = 121,625\text{원}$ - 수리 보수비 $4,865,000\text{원} \times 0.01 = 48,650\text{원}$ ○ 전기료 $0.75\text{kw} \times 10(\text{대}) \times 12\text{hr} \times 30\text{일} \times 36.1(\text{원}) = 97,470\text{원}$	○ 기화열 이용 냉방시스템 - 감가상각비 $3,750,000\text{원} \div 7\text{년} = 535,714\text{원}$ - 고정 자본 이자 $3,750,000\text{원} \div 2 \times 0.05 = 93,750\text{원}$ - 수리 보수비 $3,750,000\text{원} \times 0.01 = 37,500\text{원}$ ○ 전기료 $0.75\text{kw} \times 10(\text{대}) \times 12\text{hr} \times 30\text{일} \times 36.1(\text{원}) = 97,470\text{원}$	198,311 원
합계 : 962,745원	합계 : 764,434원	198,311

3. 농가 실증 연구

벤치 종류별 시설 내 광투과율은 그림 9와 같이 외부에 비하여 2중벤치와 관행벤치는 약 30%의 광이 투과되었고 2중벤치의 하단부인 1중벤치에서는 52.6%의 광이 투과되었다. 이러한 결과는 2중벤치 시스템에서 일출시 1중벤치를 2중벤치의 하단에서 밀어내 일렬로 배치하여 작물을 재배하기 때문에 1중벤치의 상부에서는 보온용 터널이 없으므로 광 투과율이 매우 높게 나타났다.



그림 9. 처리별 시설 내 광환경 조사

벤치 종류별 터널 내 온도 변화는 시설 하우스의 내부나 2중벤치의 차이가 거의 없었다. 이러한 결과는 농가 현장 실증 시험 시기가 난방이 필요하지 않는 4월 이후 이고 또한 조사 시기가 4월 24일로 태양광에 비례하여 변화하므로 벤치 종류에 따른 재배에서는 별 변화가 없다.

또한 이 시기의 습도 변화도 온도와 마찬가지로 난방이 필요하지 않는 시기이므로 외부의 계절적인 건조한 환경에 비례하여 30~35%를 나타내었다.

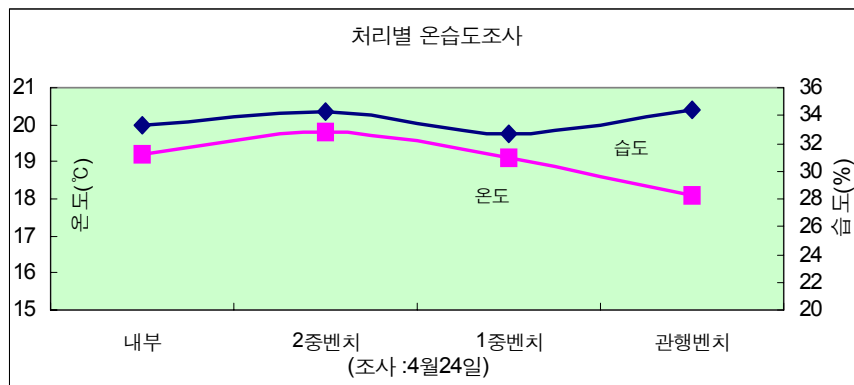


그림 10. 벤치 종류별 시설 내 온·습도 조사

표 6은 벤치 종류별 칼라코에의 생육 및 특성을 조사한 것으로 초장이나 엽수에 있어서는 처리간 차이가 나타나지 않았다. 엽록소 함량에 있어서는 1중벤치와 관행벤치에 있어서 68.0(spud) 전후였으나 2중벤치에 있어서는 64.0(spud)으로 관행벤치에 비하여 조금 낮은 경향이었는데 이러한 경향은 2중벤치 보온용 상부터널 개폐시의 부직포의 그늘 때문에 광 투과율이 떨어져서 칼라코에가 저광도하에서 생육하여 엽록소 함량이 떨어져 연한 녹색으로 생육된 것으로 판단된다.

표 6. 벤치 종류별 칼랑코에 생육 및 특성 조사

처리 \ 구분	초장(cm)	엽수(매)	엽록소함량(spad)
2중 벤치	5.3	15.0	64.0
1중 벤치	4.8	14.2	68.9
관행 벤치	5.4	16.1	68.0

※ 정식: 4월4일 , 조사: 4월 24일

표 7은 시험 2년차의 성적으로 칼랑코에를 가온 재배후 110일간('04년 11월 1일~'05년 2월 20일)동안 연료 소모량을 비교한 것으로 이중벤치에 상부 덕트를 설치한 처리구는 10a당 연료소모량이 10,840L인데 관행벤치에 무덕트로 온풍 난방한 처리구의 연료 소모량은 21,810L로 50.3%가 절감된 것을 알 수 있었으며 농가 실증 연구인 3년차에 있어서는 난방비를 조사하기 어려운 봄철에 수행되었으므로 2년차의 난방비 절감 성적을 활용하였다.

표 7. 벤치종류별 연료소모량 조사

(L/10a)

처 리	연료 소모량(%)	비 고
2중벤치(상부덕트)	10,840(49.7)	설정온도: 18℃ 조사: '04. 11. 1 ~ '05. 2. 20
2중벤치(무덕트)	12,338(56.6)	
관 행(무덕트)	21,810(100)	

표 8은 처리별 경제성을 분석한 것으로 분화류 2중벤치 상부 덕트 송풍 난방에 의한 10a당 소득증대가 관행벤치재배보다 6,564천원 정도 많은 것으로 조사되었다.

표 8. 경제성 분석(부분 예산법)

(10a)

손실 항목	이익 항목
○ 증가된 비용 - 제재료비: 182,287원 - 고용 노력비: 128,571원 계: 310,858원	○ 감소된 비용 -터널 피복재 및 터널 설치비 1/2: 190,000원 -연료비 절감: 6,685,600원(610원/L) 계: 6,875,600원
분화류 2중벤치 상부 덕트 송풍 난방에 의한 소득 증대	6,564,742원

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 목표 달성도

구분	세부 연구 목표	달성 내용	목표 달성도
1	다단 벤치 시스템을 이용한 난방 에너지 절감 기술 개발	소형분화류 재배 농가에 다단벤치시스템을 설치하면 관행벤치에 비하여 난방비를 50% 정도 줄일수 있음	달성

2. 관련 분야 기여도

구분	연구 결과	관련 분야	기여도
협동 과제	○ 다단 벤치 시스템을 이용한 난방비 절감 기술	생산 농가 육묘 업체	냉난방비 절감

제5장 연구개발결과의 활용계획

- 바로 현장에 적용할 수 있는 기술들은 연구책임자 또는 농업기술센터 조직을 통해 분화 재배 농가에 대한 기술 교육을 하거나 책자를 통해 보급
- 특히 출원 기술들은 참여 기업체와 협의하여 현장에 적용할 수 있는 기술로 보완
- 학술적으로 의미있는 연구 결과들은 국내외 학회에 발표하고 학술지에도 게재하고 있는 중
- 실증 실험이나 추가 실험이 필요한 부분은 계속 연구하거나 다른 연구과제로 발전시킴

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

해당사항 없음

제7장 참고문헌

- Arbel, A., O. Yekutieli, and M. Barak. 1999. Performance of a fog system for cooling greenhouses. *J. Agric. Engng Res.* 72:129-136.
- Kim, T.Y. and Y.S. Kwon. 2001. Effect of minimizing the heating space on energy saving hotpepper growth in the plastic greenhouse. *Journal of Bio-Environment control.*10(4):213~218.
- Kim, H. Y. 1997. The study of therm-keeping in P.E house. Report NHRI: 652~662.
- Kim, T.Y. and H. Chun. 1995. The study on the environmental property and the growth response of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) in green house. *Biological production facilities and environment control* 5: 30~33.
- Kim, T.Y. and I. H. Cho. 1997. Effects of airpoly PE house and air-injected double PE house for improvement of heat-keeping in green house. Report NHRI: 771~775.
- Kim, T.Y. and Y. S. Kwon. 1994. Studies of heater position and duct installation for the effective heat management in green house. Report NHRI: 505~509.
- Kittas, C., T. Bartzanas, and A. Jaffrin. 2003. Temperature gradients in a partially shaded large greenhouse equipped with evaporative cooling pads. *Biosystems Engineering* 85:87-94.
- Kwon, Y.S. 1997. The technique of energy saving in protected cultivation. *NJAES*: 37~61.
- Kwon, Y.S. 1995. The development research for pipe-method in heating boiler. Report NHRI: 485~490.
- Lee, J. W. 1997. Effect of root zone warming by hot water in winter season on rhizosphere environment, growth and yield of greenhouse-grown cucumber (*Cucumis sativus* L.) Ph.D. Diss., Kyungpook University, Korea.
- Vogelezang, J. and P. van Weel. 1990. Bench heating systems and their influence on microclimate. *Acta Horticulturae* 245: 243~251.
- Vogelezang, J. and P. van Weel. 1991. Effect of root-zone heating on growth flowering and keeping of Saintpaulia. *Scientia Horticulturae* 34: 101~113.
- Japanese protected horticulture association editing. Protected horticulture handbook. 1998. Horticulture information center: 128~138.
- Japanese protected horticulture association editing. Environment control technology of protected horticulture. 1997. Heating: 56~66.
- 김 등. 2001. 온실냉방시스템의 효율적 이용에 관한 연구. 농림부. p. 274.
- 김문기 외. 2001. 자연환기 온실의 환기 회수에 따른 포그 냉방 시스템의 냉방 효과. 생물환경조절학회지 10(1):10-14.
- 남 등. 2003. 시설원예 이렇게 하면 여름철 고온 극복할 수 있다. 원예연구소. p. 107.
- 우 등. 2000. 시설원예의 고온기 냉방관리 기계기술. 농업기계화연구소. p. 147.

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다