

발간등록번호

11-1543000-002130-01

# 밀폐형 생산시스템을 이용한 고품질 호접란 분화 급속생산기술 개발 최종보고서

Development of Rapid Production Technology of Good Quality  
*Phalaenopsis* Potted Plants Using Closed Growing System

---

2018. 1. 31.

주관연구기관 / 영남대학교

협동연구기관 / 서울대학교

지엠지코리아(주)

국립원예특작과학원

농림축산식품부

# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “밀폐형 생산시스템을 이용한 고품질 호접란 분화 급속생산기술 개발”  
(개발기간 : 2014. 12. 19 ~ 2017. 12. 18)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2018. 3. 16.

주관연구기관명 : 영남대학교 산학협력단(원예생명과학과)  
주관연구책임자 : 오 욱

협동연구기관명 : 서울대학교 산학협력단(원예생명공학과)  
협동연구책임자 : 김 기 선

지엠지코리아주식회사  
협동연구책임자 : 서 문 진

국립원예특작과학원 화훼과  
협동연구책임자 : 안 혜 련

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의  
합니다.

## 보고서 요약서

과제고유번호	1141483	해 당 단 계 연 구 기 간	2014.12.19 ~2017.12.18	단 계 구 분	1/1
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	첨단생산기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세부 과제명	밀폐형 생산시스템을 이용한 고품질 호접란 분화 급속생산기술 개발			
연구책임자	오 욱	해당단계 참 여 연구원 수	총: 61명 내부: 14명 외부: 47명	해당단계 연구개발비	정부: 750,000천원 민간: 250,000천원 계: 1,000,000천원
		총 연구기간 참 여 연구원 수	총: 61명 내부: 14명 외부: 47명	총 연구개발비	정부: 750,000천원 민간: 250,000천원 계: 1,000,000천원
연구기관명 및 소속부서명	영남대학교 산학협력단(원예생명과학과)			참여기업명 : 지엠지코리아(주)	
협 동 연 구	연구기관명: 서울대학교 지엠지코리아(주) 국립원예특작과학원			연구책임자: 김기선 서문진 안혜련	
요약				보고서 면수: 167	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 호접란 유묘 무배지 재배에 적합한 관수 및 근권부 환경조절방식 연구</li> <li>• 호접란 유묘의 저면관수에 적합한 배지 선발 및 저면관수방식, 관수주기 구명</li> <li>• 호접란 유묘 생산을 위한 지하부 환경관리기술 개발</li> <li>• 호접란 생장에 적합한 광질 구명</li> <li>• 호접란 유묘 생육 촉진을 위한 적정 광도, 일장, 일적산광량, 상대습도, 이산화탄소 농도 구명</li> <li>• 난방비 절감을 위한 온도 조절기술 개발</li> <li>• 호접란 분화 재배용 밀폐형 식물생산 시스템의 관수시스템 개발</li> <li>• 분화용 호접란 고품질 중간묘 급속생산을 위한 밀폐형 식물생산 시스템 완성, 운영 매뉴얼 작성 및 경제성 분석</li> <li>• 미니 분화 생산을 위한 다경성 및 다화성 소형품종 선발</li> <li>• 미니 호접란 조기출하를 위한 적정 생육단계 구명</li> <li>• 미니 호접란의 분화품질 고급화를 위한 분지발생 조절 기술개발</li> <li>• 미니 호접란 상품화를 위한 포장상자 개발</li> <li>• LED 생산시스템을 이용한 농가실증 및 소비자 반응 조사</li> </ul>					

# 국문 요약문

	코드번호	D-01
연구의 목적 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연구의 목적                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 밀폐형 식물생산 시스템을 이용한 호접란 고품질 분화 급속생산 기술 개발                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 밀폐형 식물생산시스템 하에서 호접란 지하부의 최적 생육환경조절 기술 개발</li> <li>- 밀폐형 식물생산시스템 하에서 호접란 지상부의 최적 생육환경조절 기술 개발</li> <li>- 호접란 고품질 분화 급속생산을 위한 밀폐형 식물생산시스템 활용기술 개발</li> <li>- 생산비 절감형 미니 호접란 상품화 기술 개발</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>○ 연구 내용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 호접란 생장 촉진 및 품질 향상을 위한 지상부 최적 환경 구멍 및 환경조절 기술 개발</li> <li>• 호접란 화아분화 촉진 및 품질 향상을 위한 최적 환경 구멍 및 환경조절 기술 개발</li> <li>• 호접란 생육 촉진 및 품질 향상을 위한 최적 근권환경 구멍 및 환경조절 기술 개발</li> <li>• 호접란 고품질 급속 생산을 위한 밀폐형 식물생산시스템 개발</li> <li>• 생산비 절감 및 조기 출하용 미니 호접란 선발 및 고품질 생산기술 개발</li> <li>• 저비용 및 소비자 보급형 미니 호접란 상품화 및 포장기술 개발</li> <li>• 밀폐형 LED 생산시스템을 이용한 농가실증 실험</li> </ul> </li> </ul>	
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 호접란 밀폐형 식물생산시스템 적용을 위한 지하부 환경조절기술 개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 호접란 유묘 무배지 재배에 적합한 관수 및 근권부 환경조절방식 연구</li> <li>• 호접란 유묘의 저면관수에 적합한 분화용 배지 선발</li> <li>• 호접란 유묘 생육 촉진을 위한 저면관수방식 및 관수주기 구멍</li> <li>• 호접란 유묘 생산을 위한 지하부 환경관리기술 개발</li> </ul> </li> <li>○ 호접란 밀폐형 식물생산시스템 적용을 위한 지상부 환경조절기술 개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 호접란 생장에 적합한 광질 구멍</li> <li>• 호접란 유묘 생육 촉진을 위한 광도, 일장, 일적산광량 환경 조사</li> <li>• 호접란 유묘 생육 촉진을 위한 적정 습도 환경 및 이산화탄소 농도 조사</li> <li>• 난방비 절감을 위한 온도 조절기술 개발</li> </ul> </li> <li>○ 호접란 고품질 급속 생산을 위한 밀폐형 식물생산시스템 개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 호접란 분화 재배용 밀폐형 식물생산 시스템의 관수시스템 개발</li> <li>• 분화용 호접란 고품질 중간묘 급속생산을 위한 밀폐형 식물생산시스템 완성</li> <li>• 운영 매뉴얼 작성 및 경제성 분석</li> </ul> </li> <li>○ 밀폐형 식물생산 생산 중간묘를 이용한 상품 생산 기술 개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 미니 분화 생산을 위한 다경성 및 다화성 소형품종 선발</li> <li>• 미니 호접란 조기출하를 위한 적정생육단계 구멍</li> <li>• 미니 호접란의 분화품질 고급화를 위한 분지발생 조절 기술개발</li> <li>• 미니 호접란 상품화를 위한 포장상자 개발</li> </ul> </li> </ul>	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 밀폐형 LED 생산시스템을 이용한 농가실증 및 소비자 반응 조사</li> </ul>				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연구개발에 따른 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 밀폐형 식물생산시스템에서 최적 지하부 및 지상부 환경조건 부여로 유년기 단축 및 고품질의 중묘 대량생산 기술개발</li> <li>• 호접란 유년기 생장에 필요한 최적의 환경조건 및 밀폐형 생산시스템 구축</li> <li>• 조직배양묘를 밀폐형 식물생산시스템에 연계 재배하여 순화의 문제점 해결</li> <li>• 저비용 생산의 미니 호접란 상품화기술 개발로 꽃 소비문화 확대</li> </ul> </li> </ul>				
중심어 (5개 이내)	호접란	밀폐형 식물생산시스템	발광다이오드 (엘이디)	양액재배	에너지 절감

## < SUMMARY >

		코드번호	D-02
Purpose & Contents	<p>○ <b>Research purposes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Development of rapid production technology of good quality <i>Phalaenopsis</i> potted plants using closed growing system               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Development of under-ground environment control technology for growing <i>Phalaenopsis</i> plants in a closed plant production system</li> <li>- Development of above-ground environment control technology for growing <i>Phalaenopsis</i> plants in a closed plant production system</li> <li>- Development of applied technology of closed growing system for rapid production of good quality <i>Phalaenopsis</i> potted plants</li> <li>- Development of technology for commercialization of miniature potted plant with cost saving</li> </ul> </li> </ul> <p>○ <b>Research contents</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determination of the optimum above-ground environment and development of environment control technology for promoting the growth and improving plant quality in <i>Phalaenopsis</i></li> <li>• Determination of the optimum environment and development of environment control technology for promoting the flowering induction and improving plant quality in <i>Phalaenopsis</i></li> <li>• Determination of the optimum under-ground environment and development of environment control technology for promoting the growth and improving plant quality in <i>Phalaenopsis</i>.</li> <li>• Development of closed growing system for rapid production of good quality <i>Phalaenopsis</i> potted plants</li> <li>• Selection of variety and development of technology for producing miniature potted plant with high quality</li> <li>• Farming demonstration using LED production system and technology of packaging of <i>Phalaenopsis</i></li> </ul>		
Results	<p>○ Development of under-ground environment control technology for an application of a closed plant production system in <i>Phalaenopsis</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determination of adequate methods of irrigation and rhizospheric environment control for young <i>Phalaenopsis</i> plant production without media</li> <li>• Determination of adequate potting media for subirrigation of young <i>Phalaenopsis</i> plants</li> <li>• Investigation of subirrigation method and frequency for promoting the growth of young <i>Phalaenopsis</i> plants</li> <li>• Development of the technology for underground environment control in young <i>Phalaenopsis</i> plant production</li> </ul>		

	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Development of above-ground environment control technology for an application of a closed plant production system in <i>Phalaenopsis</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determination of adequate light quality for the growth of <i>Phalaenopsis</i> plants</li> <li>• Investigation of light intensity, photoperiod, and daily light integral conditions for promoting the growth of young <i>Phalaenopsis</i> plants</li> <li>• Investigation of adequate humidity conditions and CO<sub>2</sub> concentration for promoting the growth of young <i>Phalaenopsis</i> plants</li> <li>• Development of a temperature control technology for reducing heating costs</li> </ul> </li> <li>○ Development of closed-type growing system for rapid production of good quality <i>Phalaenopsis</i> potted plants <ul style="list-style-type: none"> <li>• Development of irrigation systems for potted <i>Phalaenopsis</i> in a closed-type plant production system</li> <li>• Development of a closed-type growing system for rapid production of young <i>Phalaenopsis</i> potted plants with good quality</li> <li>• Making an operation manual and economic analysis of the closed-type <i>Phalaenopsis</i> production system</li> </ul> </li> <li>○ Development of technology to produce high quality miniature <i>Phalaenopsis</i> in a closed plant production system <ul style="list-style-type: none"> <li>• Selection of miniature <i>Phalaenopsis</i> with more flowers and branches in small pots</li> <li>• Determination of optimal growth stage for flowering of miniature <i>Phalaenopsis</i></li> <li>• Investigation of BA concentration and application time to enhance flower quality of miniature <i>Phalaenopsis</i></li> <li>• Development of packaging box for commercialization of miniature <i>Phalaenopsis</i></li> <li>• Farming demonstration using a closed-type LED production system and survey for consumer response of miniature <i>Phalaenopsis</i></li> </ul> </li> </ul>				
Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Expected contributions <ul style="list-style-type: none"> <li>• Development of technologies for shortening of production period and improving plant quality by providing the optimum under- and above-ground environment conditions in a closed-type plant production system</li> <li>• Establishment of closed-type plant production system with optimum environment conditions for juvenile <i>Phalaenopsis</i> plants</li> <li>• Solution of problems occurring in acclimatization process of micropropagules through a closed-type <i>Phalaenopsis</i> production system</li> <li>• Expansion of flower consumption by commercializing low cost and high quality miniature <i>Phalaenopsis</i></li> </ul> </li> </ul>				
Keywords	<i>Phalaenopsis</i>	closed plant production system	light emitting diodes (LEDs)	hydroponics	energy saving

# CONTENTS

Chapter 1. Outline of the R&D Project

Chapter 2. Current Status of Domestic and Foreign Technologies

Chapter 3. Research Contents and Results

Chapter 4. Achievement of the Goals and Contribution to Related Fields

Chapter 5. Plans for Utilization of the Results

Chapter 6. Scientific and Technical Information Obtained from Abroad during the  
Research

Chapter 7. Security Level of the R&D Results of the Project

Chapter 8. Performance Results of Safety Action in the Laboratories during the  
Project

Chapter 9. Representative Results of this Project

Chapter 10. References

<Annex> Self-Evaluation Report



## 〈 목 차 〉

제1장 연구개발과제의개요 .....	9
제2장 국내외 기술개발 현황 .....	15
제3장 연구수행 내용 및 결과 .....	17
제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 .....	153
제5장 연구결과의 활용계획 등 .....	155
제6장 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보 .....	157
제7장 연구개발성과의 보안등급 .....	159
제8장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적 .....	160
제9장 연구개발과제의 대표적 연구실적 .....	161
제10장 참고문헌 .....	162

### 〈별첨〉

1. 연구개발 보고서 초록
2. 자체평가 의견서
3. 연구결과 활용계획서

# 제1장 연구개발과제의 개요

코드번호

D-03

## 제1절 연구개발 목적

- 밀폐형 식물생산 시스템을 이용한 호접란 고품질 분화 급속생산 기술 개발
  - 밀폐형 식물생산시스템 하에서 호접란 지하부의 최적 생육환경조절 기술 개발
  - 밀폐형 식물생산시스템 하에서 호접란 지상부의 최적 생육환경조절 기술 개발
  - 호접란 고품질 분화 급속생산을 위한 밀폐형 식물생산시스템 활용기술 개발
  - 생산비 절감형 미니 호접란 상품화 기술 개발

## 제2절 연구개발의 필요성

### 1. 국내 호접란 산업 현황 분석

- 2012년 기준으로 난은 국내 분화 재배면적의 20.0%, 농가판매금액의 약 30.3%를 차지하였으며, 그중 호접란(팔레놉시스, *Phalaenopsis*)은 난류 재배면적의 23.4%, 판매금액의 약 30.5%를 차지하는 주요 품목임[2012년 화훼재배현황(농림축산식품부), 2013]. 2012년 호접란 생산면적은 47.2ha, 판매액은 약 244억원으로 심비디움(양란)의 약 208억원을 앞질렀음(Table 1-1).
- 최근 10년간 생산 추이를 보면(Table 1-1), 2006년 이후 호접란 생산은 농가수, 재배면적, 판매량(화분수), 판매액 등에서 감소추세에 있으나, 전체 분화류나 난류에 비해서는 감소폭이 적었으며, 특히 심비디움의 감소폭보다 매우 적었음.
- 호접란의 국내 가격(양재동공판장 경락가격)은 최근 10년간 해마다 변동 양상이 조금씩 달랐으나 개략적으로 상반기가 낮고 하반기가 높은 경향을 보였음.
- 농가경영비의 상당부분이 난방비로 지출되고 있어 에너지 절감기술 연구가 요구됨.
  - 유가 폭등으로 난방비 부담이 가중되고 있으므로 온실의 보온성 향상, 대체 에너지 이용, 에너지 이용효율 향상 등 에너지 절감기술의 종합 패키지화로 난 생산의 효율성 향상 필요
- 호접란은 분화 형태로 판매하기까지 1년 6개월 이상 장시간의 재배기간이 소요되는 반면, 판매기간이 한정되어 농가의 판매수입기간이 연중 고정될 뿐만 아니라 집중 홍수 출하로 가격 하락이 빈번하게 발생함.
- 최근 일조 부족, 이상 고온 및 저온 등 기후변화로 인한 재배환경 변화로 주요 화훼류에 성장 저하로 인한 수량 및 품질 하락, 생리장해 등의 피해가 발생하고 있음.

- 호접란은 연중 분화 생산 및 판매를 위해서는 고비용의 냉방장치를 사용한 저온처리가 필요함.

Table 1-1. Orchids production status in Korea.

구분	품목	2004년	2006년	2008년	2010년	2012년
농가수 (호)	분화류	3,616	3,599	3,450	3,353	2,929
	난류	1,095	975	860	724	611
	호접란	257	206	179	165	146
	심비디움	275	227	199	179	149
면적 (ha)	분화류	1,260.6	1,263.0	1,282.5	1,249.5	1,005.8
	난류	361.7	310.0	267.8	227.2	201.6
	호접란	69.8	67.2	48.1	46.2	47.2
	심비디움	130.5	125.5	115.5	94.2	84.3
판매량 (천분)	분화류	251,577	379,221	292,880	243,378	207,478
	난류	92,366	106,912	56,526	34,367	27,866
	호접란	13,742	12,276	10,313	9,181	8,259
	심비디움	56,258	11,045	9,469	6,686	3,569
판매액 (백만원)	분화류	314,104	327,010	332,307	294,164	264,845
	난류	115,710	111,672	103,177	85,153	80,194
	호접란	27,121	31,343	28,147	25,174	24,423
	심비디움	40,635	38,512	31,465	27,137	20,771

- 난 산업 규모와 전업화를 위한 생력화 및 자동화 생산 시스템 개발 필요함.
- 호접란은 고가라는 인식이 커 주로 행사용, 선물용으로 활용되므로 호접란의 대중화를 위해 캐주얼 플라워로서의 소형 호접란 분화 개발이 필요함. 이를 통해 호접란 산업의 발전을 꾀할 수 있음.
- 난류 수출액은 2012년 1,122만불로 백합, 장미에 이어 화훼류 중 3위를 차지하였으며, 수입액은 1,964만불(전체 화훼수입액의 41%)로 단일 품목만으로는 적자임.
- 서양란 수출액은 131만불, 수입액은 89만불로 전체 난류 무역액에 비해서는 매우 적은 비중임.
- 국내 호접란 시장규모는 수백억원대에 이르나 최근 국내 재배농가가 늘고 생산 규모가 증가하여 도매가격이 하락하면서 분화 수요가 급증하고 있는 미국, 일본, 유럽 등으로의 수출이 필요함.
- 호접란의 주요 수출대상국은 미국이며 배양병묘 또는 중간묘를 수출하고 있으나, 수출에 관련된 기존의 방법은 체계화되어 있지 않아 수출국 현지 도착 후 환경적응성이

떨어져 경쟁국에 비해 품질이 떨어짐.

- 호접란 배양병, 중간묘(유묘) 상태로 배지를 털어서 수출 중임.
  - 배지를 제거하는 도중 뿌리가 상처를 받아 스트레스를 받음
- 배양병에 있는 유묘를 한천배지를 제거하고 수출을 시도하고 있으나 아직 기술이 확립되지 않음.
  - 저비용 노동력 절감을 위한 저면관수, 환경관리 등 기초생력기술 개발 필요
- 기후변화에 따른 이상기후에 의한 피해를 예방하기 위한 효과적인 환경제어기술 개발이 요구됨.

## 2. 국외 호접란 산업현황 분석

- 호접란의 세계 시장규모 북미 50억불, 일본 3억불, 유럽 4억불 등 총 60억불(7조원) 정도 지난 10년간 연평균 100% 정도의 신장을 보임.
- 대만, 태국은 호접란 배양병묘, 중간묘, 성묘를 미국에 많이 수출하고 있으며 품질이 우수함.
  - 대만의 경우 미국과 현지검역 협약 체결 후 배지를 털지 않고 수출함으로써 수출 물량이 급격히 증가하고 최상의 묘 상태로 유지하여 수출함.
- 네덜란드, 덴마크 등 유럽국가에서도 호접란 분화재배 기술을 발전시키고 있음.

## 3. 호접란의 특성과 밀폐형 식물생산시스템 적용 가능성

### 가. 호접란의 특성

- 열대 원산으로 비교적 고온에서 잘 자람(성장 가능 온도: 18~35℃, 최적: 20℃ 항온보다 주/야 25/15℃가 더 좋음).
- 착생식물로 수태나 바크 등의 배지에 식재하며, 주로 분화 및 절화로 이용됨.
- 반음지성 식물로 비교적 저광 조건에서도 잘 생육함.
- 비교적 높은 공중습도에서 잘 자람.
- CAM식물로 밤에 기공을 열어 CO<sub>2</sub>를 흡수하기 때문에 (야간 적정 CO<sub>2</sub> 농도: 600~800ppm) 12시간 정도의 암기는 유지해 주어야 함.
- 냉방장치를 활용한 저온처리로 개화를 유도함.
- 개화기간이 2~3개월로 길어 소비자에게 인기가 있음.

#### 나. 밀폐형 식물생산시스템 적용 가능성

- 광요구도가 낮으므로 다양한 인공광원 적용 및 밀식재배가 가능함.
- 화경(spike) 신장 전까지는 초장이 낮으므로 다단식 재배가 가능함.
- 착생식물의 특성 상 배지(수태)재배나 무배지 재배 모두 가능함.
- 생장, 화아분화 등에 약간의 온도변화가 필요한데 밀폐형 식물생산시스템 공조기술로 제어가 가능함.
- 적정 습도와 CO<sub>2</sub> 농도도 밀폐형 식물생산시스템으로 제어가 용이한 수준임.
- 기후변화(광량 감소, 고온, 저온, 폭설 등)로 인한 생산성 저하를 극복하는 것이 가능함.

#### 4. 연구개발의 필요성

- 호접란은 조직배양묘를 이용하므로 기외로 이식시 환경이 급변하여 스트레스가 심하므로 활착에 장기간이 소요되고 순화에 많은 노력이 필요함.
- 국내외로 호접란의 온실 재배 시 지상부 및 지하부 환경에 관한 연구는 되어 있으나 최근 급격한 기후변화에 따른 온도의 급변, 광량부족에 따른 피해가 나타나 외부환경의 영향이 없는 밀폐형 식물생산시스템에 대한 연구가 필요함.
- 내수용 소형 호접란 분화, 수출용 중간묘의 생산비 절감이 매우 중요한 시기이므로 밀폐형 식물생산시스템을 이용한 무배지 재배 기술에 대한 연구개발이 필요함.
- 중국, 동남아 등 주변국의 경쟁력 강화로 국내 호접란 농가의 어려움이 가중되고 있어 이를 타개하기 위한 새로운 재배기술 개발이 필요함.
- 밀폐형 식물생산시스템은 키가 작고, 광요구도가 적은 호접란에 매우 적합한 시스템이며, 작기가 길어 연중 온도, 광, 습도 등의 변화 폭이 큰 우리나라의 기후 특성상 적용 가능성이 높으므로 이에 대한 연구개발이 필요함.
- IT 기술을 접목한 밀폐형 식물생산시스템은 다단재배로 재배 소요면적을 최소화하고 식물체당 생산비를 줄이고, 노동력 투입을 줄임과 동시에 최적의 환경조건을 유지하여 고품질 호접란 중간묘를 저가로 생산하여 FTA 대응 기술로 확립할 필요가 있음.

### 제3절 연구개발 범위

#### 1. 호접란 밀폐형 식물생산시스템 개발을 위한 지하부 최적환경 구명 및 환경조절 기술 개발

##### 가. 지하부 최적환경 구명

- (1) 무배지 재배 시 적정 관수방식 구명
- (2) 무배지 재배 시 근권환경 조절방식 구명
- (3) 무배지 재배와 배지 재배 비교
- (4) 생육 촉진 및 품질 향상을 위한 최적 배지 및 양액 공급주기 조사
- (5) 배지재배에 적합한 양액공급방식 구명

##### 나. 지하부 환경조절기술 개발

#### 2. 호접란 밀폐형 식물생산시스템 개발을 위한 지상부 최적환경 구명 및 환경조절 기술 개발

##### 가. 적정 광 환경 구명

- (1) 테스트베드 제작 및 적정 광 조사 방식 조사
- (2) 생육 촉진 및 품질 향상을 위한 최적 광질, 광도, 일장 조사
- (3) 최적 광 환경 조합 확립

##### 나. 적정 습도 환경 구명

##### 다. 적정 이산화탄소 시비 농도 구명

##### 라. 난방비 절감을 위한 온도조절기술 개발

#### 3. 호접란 고품질 급속 생산을 위한 밀폐형 식물생산시스템 개발

##### 가. 적정 양액재배시스템 연구개발(제1세부과제와 협력)

##### 나. 고품질 호접란 급속 증식을 위한 중요 생산용 밀폐형 식물생산시스템 개발

##### 다. 호접란 재배용 밀폐형 식물생산시스템의 운영 매뉴얼 작성

##### 라. 시스템의 경제성 분석

#### 4. 밀폐형 식물생산시스템 생산 중간묘의 고품질 상품화 기술 개발 및 현장 실증연구

##### 가. 호접란 생산비 절감형 미니 분화 생산 기술개발

- (1) 호접란 미니분화 생산에 적합한 소형 다화성 품종 선발
- (2) 밀폐형 식물생산시스템 생산 묘 순화에 필요한 조건구명
- (3) 미니 분화생산 및 조기 출하에 적합한 생육단계 구명
- (4) 미니분화 품질 고급화를 위한 분지 수 조절 기술개발

##### 나. 미니 분화 상품화 생산 기술 개발 및 현장실증 연구

- (1) 생산비 절감형 미니분화 상품 모델 개발
- (2) 출하를 위한 포장 디자인 및 박스 모형개발
- (3) 농가 생산 실증 및 시장반응 조사

## 제2장 국내외 기술개발 현황

코드번호

D-04

### 제1절 국내 연구현황

- 호접란은 연중 개화 유도가 가능함.
- 호접란의 분화 생산을 위한 차광, 배양액 농도, 관수 방법, 성장조절제 처리에 의한 환경유도 기술 등이 일부 기초 생리연구 수준에서 개발되었음.
- 관비재배 시 표준농도(EC 1.5mS/cm)에서 생육과 개화특성이 양호함.
- 연동형 비닐하우스는 부직포, 트로피칼, 다겹보온자재 등을 수평커튼 형태로 설치하여 보온성을 향상시키는 방식이 일반적임.
- 연동형 비닐하우스의 공간가변식 보온커튼 개폐장치 연구, 보온성 향상을 위한 단열형 2중 구조 비닐하우스 모델 개발, 예인 및 권취 작동방식을 적용한 다겹보온커튼 개폐장치 개발, 시설재배 에너지절감 신기술 농가현장 실증 연구, 분무경에서 팔레놉시스 생산에 적합한 배양액 분무간격, NO<sub>3</sub>와 NH<sub>4</sub>의 비율, 적정 배지 및 수분함량에 관한 연구, 근권 온도 및 차광수준이 팔레놉시스의 화경발생에 미치는 영향, 팔레놉시스 절화생산을 위한 재배방식 및 2차화경 유도방법 구명 등의 연구가 진행된 바 있음.

Table 2-1. Domestic research institutes and research status.

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
국립원예특작과학원	관비재배 시 표준농도(EC 1.5mS/cm)에서 생육과 개화특성이 양호	활용
	단동형 시설은 무가온 재배로서 이중이나 삼중으로 피복하여 보온하거나 섬피를 이용한 터널보온 등이 일반적임	활용
	팔레놉시스 절화재배에 적합한 분무경 생산시스템 개발 및 2차 화경유도를 위한 변온처리 방법 구명	활용
충북농업기술원	팔레놉시스 BA, GA 처리에 의한 2차 화경유도 억제재배 연구	활용 시도
충남농업기술원	팔레놉시스 광조사 시간이 길수록 개화가 촉진	활용 시도
경남농업기술원	팔레놉시스 재배 시 Ebb & Flow 관수시스템 적용, 적정 배지 및 양액농도 구명	활용 시도
경상대학교	팔레놉시스 양액조성, 관수 방식, 배지 연구	활용 시도
	팔레놉시스 CO <sub>2</sub> 농도 및 공급시간 연구	활용 시도



## 제2절 국외 연구현황

- 1952년 Rotor가 카틀레야에서 광 반응에 대한 연구를 시작한 이후 광과 온도에 의한 화아분화 조건에 대한 연구가 시작한 이래 심비디움, 텐드로비움, 팔레놉시스 외에 다양한 열대난에 대한 일장연구가 진행되었음.
- 대만, 일본, 미국 등에서는 난의 생리 재배에 관한 연구는 많이 진척되어 있으며 최근에는 DNA 수준으로 연구 중임.
- 뉴질랜드는 심비디움 절화품종을 이용해, 일본, 우리나라에 수출함.
- 팔레놉시스 분화생산에 필요한 적정광도, 배양액 농도, 배지종류, 온실 내 온도관리 등의 기술이 개발되어 있을 뿐, 연중절화생산을 위한 시스템과 저비용의 저온처리 방법에 대한 기술은 아직 개발되어 있지 않음.
- 관수빈도, 관수량, 수태의 밀도에 따라 관수, 시비 효과 등이 다름.
- 유럽은 목재칩(wood chip)을 연료로 하는 10MW급 발전 시설이 완성 단계이며, 영국에서는 계분연료로 60MW급 발전설비 실용화로 난방비용을 절감하고 있음.
- 태양열 하우스를 개발하여 보급 단계에 있으며, 출열 기술에 대한 연구개발이 진행 중임. 또한 자연에너지 및 대체에너지를 이용한 각종 장치 및 시스템을 개발 중임.
- 에너지 절감형 고효율 온실 개발, 출분을 이용한 바이오 가스 에너지원 생산 및 이용 기술, 대체에너지 개발과 이용기술, 컨텐싱 연소 난방시스템 상용화 등을 연구개발 중에 있음.

Table 2-2. Research status of foreign countries.

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
뉴 질 랜 드	1-MCP 효과 구명	절화생리 연구
대 만	팔레놉시스 선박수송 기간구명 등	선박수송에 활용
미국, 일본 농립수산성	버블을 이용한 단열형 보온구조의 온실 모델 개발 및 태양광 집열형 수막 이중피복 구조의 시설 연구	버블 온실 모델 개발 및 단열 보온기술 확립
프랑스 INRA	프랑스 등 유럽에서는 연질 피복자재를 이용하여 이중 단열층을 형성하고 외부공기를 주기적 주입 장치 연구	내외부 온도차를 최소화하여 온도 및 습도환경 등을 조절할 수 있는 온실 관리모델 상용화

# 제3장 연구수행 내용 및 결과

코드번호

D-05

## 제1절 연구개발의 최종목표 및 주요 내용

### 1. 연구개발의 최종 목표

- 밀폐형 식물생산시스템을 이용한 호접란 고품질 분화 급속생산 기술 개발
- 밀폐형 식물생산시스템 하에서 호접란 지상부의 최적 생육환경조절 기술 개발
- 밀폐형 식물생산시스템 하에서 호접란 근권부의 최적 생육환경조절 기술 개발
- 호접란 고품질 분화 급속생산을 위한 밀폐형 식물생산시스템 활용기술 개발
- 생산비 절감형 미니 호접란 상품화 기술 개발

### 2. 주요 연구 내용

#### 가. 제1세부

- 무배지 재배 시 적정 관수방식 구명
  - 무배지 재배 시 근권환경 조절방식 구명
  - 무배지 재배와 배지 재배 비교
  - 생육 촉진 및 품질 향상을 위한 최적 배지 및 양액 공급주기 조사
  - 배지재배에 적합한 양액공급방식 구명
  - 지하부 환경조절기술 개발

#### 나. 제1협동

- 인공 광원을 활용한 호접란 광 환경 조절을 위한 테스트 베드 제작
- 호접란 영양생장 촉진을 위한 최적 광질 환경 구명
- 호접란 영양생장 촉진 및 개화유도를 위한 최적 광도, 일장, 일적산광량 환경 구명
- 호접란 밀폐형 시스템 적용 시 적정 습도 환경 조사
- 호접란 밀폐형 시스템 적용 시 적정 이산화탄소 시비 농도 조사
- 난방비 절감형 온도조절기술 개발
- 호접란 밀폐형 식물생산시스템 적용을 위한 지상부 환경조절기술 체계 확립

## 다. 제2협동

- 적정 양액재배시스템 연구개발
- 고품질 호접란 급속 증식을 위한 중묘 생산용 밀폐형 식물생산시스템 개발
- 호접란 재배용 밀폐형 식물생산시스템의 운영 매뉴얼 작성
- 시스템의 경제성 분석

## 라. 제3협동

- 호접란 미니분화 생산에 적합한 소형 다화성 품종 선발
- 밀폐형 식물생산시스템 생산 묘 순화에 필요한 조건구명
- 미니 분화생산 및 조기 출하에 적합한 생육단계 구명
- 미니분화 품질 고급화를 위한 분지 수 조절 기술개발
- 생산비 절감형 미니분화 상품 모델 개발
- 출하를 위한 포장 디자인 및 박스 모형개발
- 농가 생산 실증 및 시장반응 조사

## 3. 연구개발의 추진전략·방법 및 추진체계

### 가. 추진전략 및 방법

- 기술정보 수집
  - 재배생산 기술이 우수하고 재배경험이 풍부한 농민으로부터 기술 정보 수집
  - 농가 유형별 광관리 현황분석을 통한 효과적인 관리 방법 구명
  - 지속적인 문헌 및 특허 분석을 통한 최신 정보 수집
  - 산학연의 전문가의 자문을 통한 정보 수집
  - 유통, 무역 실무자 및 전문가를 통한 시장 상황 정보 수집
- 전문가 확보 및 다른 기관과의 협조 방안
  - 국내 전문가
    - AT Center, 경기화훼농협, 대동농협, 예뻐꽃방 등 호접란 유통업체와 협조
    - 빈철구(경남농업기술원), 황승재 교수(경상대), 최원춘 연구사(충남농업기술원), 김시동 연구사(충북농업기술원) 등 연구자 자문
    - 강산난원, 윤이난원 등 호접란 생산 전문업체

- 국외 전문가
    - Erik Runkle(Michigan State University), Alex Chang (대만국립대) 등
  - 조직배양묘 공급처 : 호접란 전문생산 업체 상미원으로부터 연구에 필요한 조직배양묘 공급 및 최종 상품 농가현장 실증 시험 수행
  - 기관
    - 경북테크노파크의 밀폐형식물생산시스템 생태계 조성사업의 네트워크 활용
    - 국립원예특작과학원 채소과 및 시설원예시험장, 국립농업과학원 농공부 등 밀폐형 식물생산시스템 전문연구기관과의 교류
  - 영남대 LED-IT융합산업화연구센터의 광학기자재 활용
- 연구개발 방법론(목표 달성과 문제점 해결)
- 농가에 적용 가능한 밀폐형 식물생산시스템 및 재배 매뉴얼 개발
  - CAM 식물에 적합한 환경제어 시스템 개발
  - 밀식 다단재배가 가능한 품종 선발 및 재배방식 개발로 초기투자 회수방안 마련

## 나. 추진체계

### (1) 연차별 추진체계

#### ○ 1차년도

- 영남대(제1세부)와 서울대(제1협동)가 참여하여 밀폐형 식물생산시스템을 위한 지하부 및 지상부 최적 환경조건을 구명함.
- 지엠지코리아(제3협동)은 그동안의 연구개발 결과들을 토대로 호접란 생산용 테스트 베드 제작 후 호접란 재배에 맞게 수정함..

#### ○ 2차년도

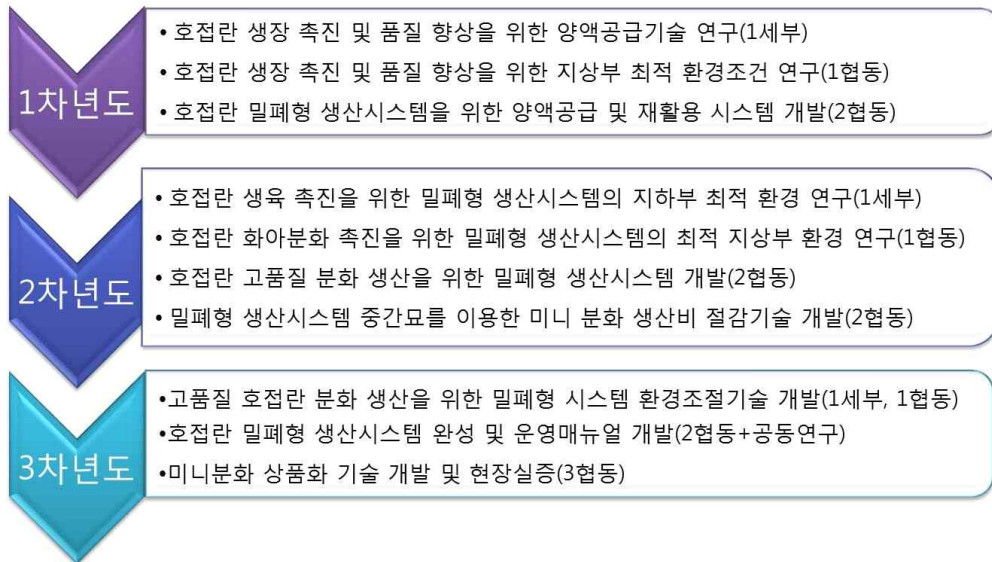
- 영남대와 서울대에서의 1년차 연구결과를 참여기업의 밀폐형 식물생산시스템에 적용하여 시스템을 개선함.
- 영남대와 서울대에서는 지상부 및 지하부 환경조건에 대한 연구를 계속하면서 시스템을 모니터링하며 시스템의 환경제어를 점검함.
- 원예원(제2협동)에서는 밀폐형 식물생산시스템에서 생산된 중간묘를 활용하여 고품질 분화생산을 위한 요소기술을 개발함.

#### ○ 3차년도

- 영남대와 서울대에서는 참여기업의 시스템 보완에 참여하면서 추가 품종에 대한 최적환경 구명 연구를 함.
- 지엠지코리아에서는 시스템을 활용하여 중간묘를 생산하고 원예원에서 지정한 농가에 공급함.

- 원예원에서는 현장실증연구를 위한 농가와 더불어 고품질 분화의 저비용 생산을 위한 기술을 개발함.
- 지엠지코리아는 영남대 및 서울대와 호접란 중간묘 생산을 위한 매뉴얼을 작성함.

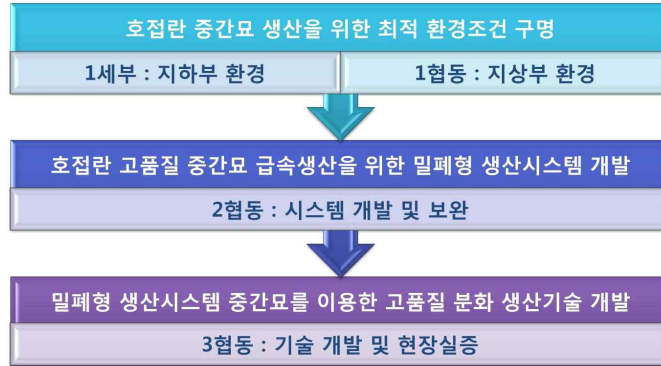
## 연차별 추진체계



### (2) 연구개발 체계

- 호접란 중간묘 생산을 위한 밀폐형 식물생산시스템의 구성 요소별 최적 환경조건 구명
  - 제1세부: 양액농도, 급액빈도, 급액량, 급액(급수)방법, 용기(화분) 형태, 지지방법, 배지 유무, 재식밀도
  - 제1협동: 광(광도, 일장, 광질/광원), 온도, 습도, 이산화탄소 농도 등
- 호접란 고품질 중간묘 대량급속생산을 위한 밀폐형 식물생산시스템 개발
  - 제3협동: 정보 수집을 통한 시스템 고안 → 제1세부 및 제1협동 기관의 결과를 적용하여 시스템 개선 → 재배를 통한 사용자 친화형 시스템 완성 → 사용자를 위한 시스템 매뉴얼 제작
- 밀폐형 식물생산시스템 생산 중간묘를 이용한 고품질 분화생산기술 개발
  - 제2협동: 중간묘의 온실 이식 후 활착 및 개화주 생산 기술 개발

## 연구개발 체계도



### 총괄 밀폐형 생산시스템을 이용한 고품질 호접란 급속생산기술 개발

#### 세부 밀폐형 식물생산시스템을 위한 지하부 최적환경 구명 및 환경조절기술 개발

- 관수(양액공급) 방식, 포트 및 배치, 양액 농도, 양액 공급량 및 빈도, 재식거리
- 생육단계별(순화, 영양생장, 생식생장), 품종별 최적 환경 구명

#### 1협동 밀폐형 식물생산시스템을 위한 지상부 최적환경 구명 및 환경조절기술 개발

- 광환경(광도, 일장, 광원), 온도, 이산화탄소농도, 습도, 풍속
- 생육단계별(순화, 영양생장, 개화유도), 품종별 최적 환경 구명

#### 2협동 고품질 호접란 중묘 급속생산을 위한 밀폐형 생산시스템 개발

- 요소기술 : 양액 공급 및 순환, 식물체 지지 및 포트 배치, 광 공급, 온습도 조절, 이산화탄소 농도
- 시스템 개발 : 고품질 호접란 중간묘 생산을 위한 식물공장 시스템 개발

#### 3협동 밀폐형 생산시스템 재배 호접란 중묘의 고품질 분화 상품화 기술 개발

- 온실 순화환경, 화분 식재방법, 지주, 미니분화 수송 및 상품화
- 농가 생산 실증 및 시장반응 조사

## 제2절 연구결과

### <제1세부과제>

#### 1. 밀폐형 식물공장 시스템을 이용한 호접란 무배지 재배 시 적정 양액 공급 및 근권부 환기 방식 구명

##### 가. 연구목적

호접란(moth orchid)은 난초과에 속하는 열대 원산의 착생식물이며 개화까지 기간이 길어 조직배양 기술을 사용하여 작기를 단축해도 유묘에서 수확까지는 18개월이 소요된다. 영양생장을 위한 생육적온이 28℃ 이상으로 높고, 개화를 유도하기 위해서는 23℃ 이하의 저온을 처리해야 한다. 또한 묘는 대만 등 외국으로부터 수입하는 경우가 많고, 대부분 조직배양묘를 사용하므로 생산비용에서 종묘비가 19%, 자가 노력비가 22%, 광열 및 동력비가 19%를 차지하고 있다.

착생식물인 호접란의 특성상 재배 시 수태(sphagnum moss), 바크(bark) 등의 배지를 주로 사용한다. 보통 조직배양묘의 기외순화 시부터 수태에 식재하여 플러그트레이나 소형 플라스틱 화분에서 재배하며 이후 또 화분 크기를 늘리면서 배지량을 늘려 이식하는 과정들이 있다. 이 식재 과정에 노동력이 많이 들며 전량 수입에 의존하는 수태의 구입비용도 생산비의 큰 비중을 차지한다.

또한 호접란은 착생식물이라 배지 없이 재배할 수 있는 환경이라면 그 특징을 살릴 필요도 있다. 최근 우리나라도 대만처럼 미국과의 협약으로 검역상 배지를 제거하는 과정 없이 수출이 진행될 수 있게 되었지만, 무배지 재배가 가능하다면 물류비를 절감할 수 있다. 그리고 배지 체 호접란 분화를 수출하기 위해서는 미국 농무성(USDA) 검역기준에 맞는 온실과 재배시스템을 구비해야 하므로 이를 위한 시간도 오래 걸린다. 무배지로 재배한다면 유통이나 소비단계에서 다양한 배지에 식재할 수 있는 편리함도 있어서 고려해 볼 만하다. 특히 작기가 짧은 미니 또는 소륜 호접란의 경우 적용 가능성이 높은 것으로 보고 있다.

호접란은 국내 시장에서 타 화훼류에 비해 연간 시세가 일정하다(MAFRA, 2015). 또한 화아분화 전까지는 초장이 낮아 다단재배에 용이하며 음지성 또는 반음지성으로 낮은 광요구도로 인공광원 사용이 가능하고 영양생장 및 개화유도에 필요한 온도를 시설 내에서 제어하기 쉽다. 그러므로 온실재배보다 환경제어가 용이하여 주년생산에 유리하며 공간활용도가 높아 다단재배가 가능한 식물공장이 호접란 재배에 더욱 알맞다고 할 수 있다. 최근에는 기온과 광량의 변화와 같은 기상이변으로 인해 불리한 외부환경과 격리된 환경에서 호접란의 재배가 가능한 다단식 밀폐형 식물공장의 연구가 필요하게 되었다.

따라서 호접란의 생산단가를 줄이고 작기를 단축하기 위해 식물공장 기술을 도입하는 것이 적합하며, 동선의 간소화와 정밀한 환경제어를 통해 호접란 생산단가를 줄이고 작기를 단축할 수 있다. 여기에 무배지 재배 시스템을 도입할 수 있다면 시스템의 효율성을 높일 수 있다. 또한 도시 건물의 지하나 작은 공간에서 식물을 재배하면서 소비자들의 흥미를 유발하려는 노력이 늘고 있는데, 화훼류를 대상으로 하는 밀폐형 식물공장시스템은 좋은 대안이 될 수 있다.

그 동안의 호접란 생산 시 관수, 시비 등 지하부 환경에 관한 연구로는 온실재배 시의 양액조성(Wang, 1996; Hwang and Jeong, 2009)이나 배지(Wang and Gregg, 1994; Kim et al., 2016) 등이 있었지만, 밀폐형 식물공장 내에서 호접란의 지하부 환경관리에 대한 연구는 없었다.

본 연구에서는 본격적인 호접란 식물공장 시스템 개발에 앞서 중간묘 재배에 적합한 지하부 최적 환경을 구명하기 위하여 양액공급 방식과 공급 주기, 그리고 근권부 환경이 생육에 끼치는 영향을 알아보려고 하였다.

## 나. 재료 및 방법

### (1) 실험재료

기외에서 1개월간 순화된 *Phalaenopsis* ‘Blanc Rouge’ (블랑루즈)와 *Doritaenopsis* ‘Mantefon’ (만천홍)의 조직배양묘를 호접란 농장(상미원, 태안, 충남)에서 구입하여 균일한 식물체를 골라 식물재료로 사용하였다. 구입 시 수태에 심겨 있었는데, 실험을 위해 뿌리가 상하지 않도록 조심스럽게 제거하였다. 이후 식물체는 원형 스폰지(직경 6cm, 두께 2cm)로 뿌리를 싸서 고정시킨 후 원형의 구멍이 뚫린 스티로폼 베드(L60xW60xH2cm)에 끼워 식재하였다.

### (2) 밀폐형 식물공장 시스템

본 실험은 2015년 3월부터 2016년 4월까지 영남대학교 생명응용과학대학 농장에 설치된 컨테이너형 식물공장(Fig. 3-1-1)에서 수행되었다. 컨테이너(L8.0×W3.0×H2.8m) 내에 설치된 밀폐형 식물공장 시스템의 내부는 온도  $29\pm 1^\circ\text{C}$ , 상대습도  $70\pm 5\%$ 로 유지되었고, warm-white LED(Fig. 3-1-1)를 광원으로 하여 광도  $150\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  PPF(식물체 앞 높이), 일장 12시간(photoperiod 06:00-18:00, scotoperiod 18:00-06:00)으로 광환경을 조성하였다. 온습도는 에어컨과 히터, 가습기를 이용하여 조절되었고, 지상부와 지하부의 생육환경은 CO<sub>2</sub> recorder(TR-76Ui, Tand D)와 데이터로거(Ahlborn, ALMEMO 2690-8A), psychrometer(Ahlborn, FNAD-46), CO<sub>2</sub> sensor(Ahlborn, FYAD00) 등을 사용해 기록하였다.



CO<sub>2</sub> 농도는 따로 조절하지 않았으며, 400±50ppm 수준으로 유지되었다.

재배단은 3단으로 나누어진 6개의 재배장치로 구성되었으며(Fig. 3-1-1), 각 단은 광도와 광주기, 관수 주기와 시간이 독립적으로 제어되도록 제작하였다. 온도, 습도 및 CO<sub>2</sub> 농도의 상하좌우 구배가 생기지 않도록 각 단에는 컴퓨터용 냉각팬 4대를 설치하였고, 식물공장 바닥에는 소형 팬 2대를 배치하여 24시간 공기를 순환시켰다.

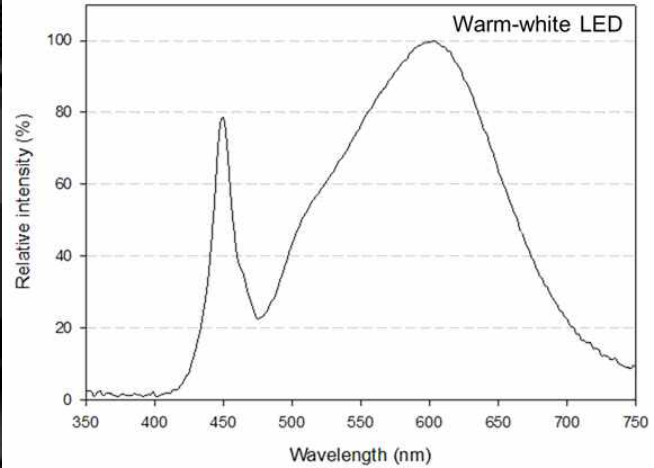


Fig. 3-1-1. The closed plant factory system (left) and light spectrum of warm-white LEDs (right) used in this experiment.

### (3) 관수 및 근권환기 처리

관수방법은 자체 제작한 PVC 재질의 베드(L60xW60xH6cm)를 사용하는 담배수(ebb & flow) 방식(EBB)과 높이가 EEB의 3배인 베드(L60xW60xH18cm)를 사용하는 분무경(aeroponics) 방식(AER) 등 2가지 처리로 실험을 진행하였다. 실험에 사용된 양액은 Ichihashi 양액(Ichihashi, 1997)의 1/2배 희석액으로 pH는 6.0±0.1, EC는 0.8±0.1dS·m<sup>-1</sup>로 유지하였으며, 실험의 균일성을 확보하기 위해 1주일마다 교환해 주었다.

관수시간은 <1차 실험>에서는 명기(photoperiod)의 시작인 06:00에 90초간 1회(P1)와 암기(scotoperiod)의 시작인 18:00에 90초간 1회(S1), 06:00와 18:00에 각각 90초간 총 2회(P1S1) 등 3가지 처리로 하였다. <2차 실험>에서는 <1차 실험>에서 뿌리가 약간 과도하게 성장하는 결과를 감안하여 각 관수시기별로 1차의 2배인 180초씩 관수하였다.

그리고 각 관수방식 및 관수시간 처리의 베드 중 하나는 에어펌프(LP-40A, Gosung, Korea)를 사용하여 강제 공기주입(40L·min<sup>-1</sup>)으로 환기를 실시하였다. 이보다 좀더 잦은 관수와 무환기 상태로 진행된 예비실험에서 뿌리가 썩는 현상(Fig. 3-1-2)이 많이 나타나 본 실험의 관수처리 및 근권 환기를 선택하게 되었다. 환기를 하지 않을 경우 근권부의 온도, CO<sub>2</sub> 농도, 상대습도가 조금씩 상승하는 경향을 보였다.

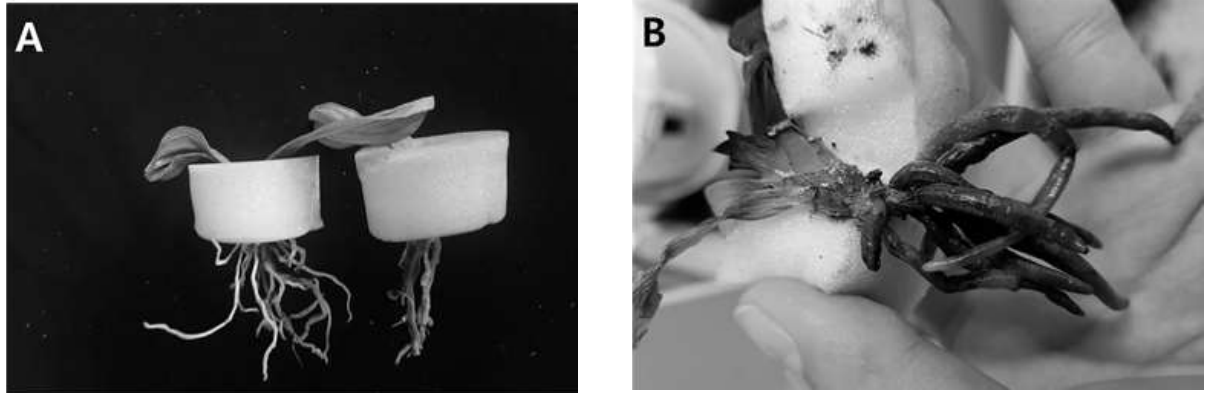


Fig. 3-1-2. Problems occurred during experiments. (A) Withered plants in EBB irrigation and (B) root rot.

따라서 처리구는 1, 2차 실험 공히 관수방법 2가지, 관수시간 3가지, 근권부 환기 여부 2가지의 조합으로 12처리였으며, 처리당 한 개의 베드를 할당하여 베드 하나당 ‘Blanc Roge’ 와 ‘Mantefon’ 각 18주씩 총 36주를 배치하였다.

#### (4) 생육 특성 조사 및 통계분석

처리 16주 후 각 처리구별로 5개체를 무작위로 샘플링하여 최상위 성숙엽(uppermost mature leaf)을 대상으로 엽장과 엽폭을 측정하였고, 엽수, 근수(길이 0.5cm 이상) 및 근장을 조사하였다. 또한 처리구별 생육장애를 입은 식물체수와 고사한 식물체 수를 조사하였다.

관수방법 별 뿌리의 해부학적 차이를 조사하기 위해 뿌리 단면을 주사전자현미경(scanning electron microscopy, SEM)으로 관찰했는데, 시료는 처리구별로 평균적인 두께의 뿌리를 골라 뿌리 끝에서 2cm 이상 떨어진 곳에서 5개씩 1cm를 채취하여 2% glutaraldehyde와 2% formaldehyde 혼합 고정액으로 선고정한 후 0.2M phosphate buffer로 세척, cacodylate buffer로 후고정하였다. 이후 동일 buffer로 세척하고 50%~100% 에탄올로 탈수한 후 isoamyl acetate로 치환, critical point drier(HCP-2, Hitachi, Ltd., Japan)를 사용하여 임계점 건조법으로 시료를 건조했다. 건조된 시료는 ion sputter(E-1030, Hitachi, Ltd.)을 사용하여 코팅하였으며, 그 중 가장 상태가 양호한 시료 3개를 골라 주사전자현미경(FE-SEM, Hitachi, Ltd.)으로 관찰하였다.

수집된 자료의 통계분석에는 SPSS 프로그램(IBM SPSS Statistics 23, IBM, USA)을 사용하였으며, 처리평균 간 유의차는 Duncan's multiple range test( $p < 0.05$ )를 이용하였다.

## 다. 결과 및 고찰

### (1) 1차 실험

#### (가) 관수방식 및 시간의 효과

‘Blanc Rouge’ 는 지상부인 엽수, 엽장, 엽폭에서 EBB 처리구들이 높은 값을 보였고, 지하부인 근수, 근장 역시 EBB 처리구들이 AER 처리구에 비해 높은 값을 보였으며 생리장애와 고사가 발생한 양도 EBB 처리구에서 가장 적었다(Table 3-1-1). ‘Mantefon’ 에서는 엽수에서는 EBB 처리구 전체, 엽장에서는 EBB-P1S1 처리구와 EBB-P1 처리구, 엽폭에서는 EBB-P1과 EBB-S1 처리구가 높은 값을 보였다. 근수에서는 EBB-P1과 EBB-S1, AER-P1, AER-S1 처리구가, 근장에서는 EBB 처리구 전체와 AER-S1에서 높은 값을 보였다(Table 3-1-1). 전반적으로 EBB 처리구에서 지상부와 지하부 모두 더 큰 생장을 보여 ‘Blanc Rouge’ 와 ‘Mantefon’ 모두 관수시간보다는 관수방식에 더 큰 영향을 받은 것으로 나타났다(Fig. 3-1-3).

Table 3-1-1. Effect of irrigation method and period on growth and morphological characteristics in *Phalaenopsis* ‘Blanc Rouge’ and *Doritaenopsis* ‘Mantefon’ at 32 weeks after treatment.

Irrigation Treatment <sup>z</sup>		No. of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of roots	Root length (cm)	Disorder occurrence (%)	Death occurrence (%)
Method	Period							
<i>Phalaenopsis</i> ‘Blanc Rouge’								
EBB	P1	4.4ab <sup>z</sup>	11.31b	3.31a	8.8b	35.6a	5.6a	13.9c
	S1	4.8a	11.47ab	3.46a	12.8a	34.5a	11.1ab	2.8a
	P1S1	4.9a	13.10a	3.57a	11.2a	29.9ab	16.7b	8.3b
AER	P1	3.9b	6.43d	2.21c	6.3c	21.5c	41.7d	25.0e
	S1	3.9b	6.43d	2.44c	6.1c	25.4bc	13.9ab	19.4de
	P1S1	3.9b	8.34c	2.88b	6.7c	26.8bc	25.0c	16.7cd
Significance								
Irrigation method (A)		**	***	***	**	***	***	***
Irrigation period (B)		NS	*	*	NS	NS	NS	*
A×B		*	NS	*	*	*	**	*
<i>Doritaenopsis</i> ‘Mantefon’								
EBB	P1	4.3ab	7.52b	4.22a	11.3ab	17.6ab	19.4ab	27.8c
	S1	4.5ab	7.05bc	3.88ab	12.2a	19.1a	16.7a	13.9ab
	P1S1	5.1a	9.65a	3.67bc	8.9bc	17.1ab	19.4ab	13.9ab
AER	P1	3.7b	6.06c	3.32c	9.5abc	14.0b	38.9c	8.3a
	S1	3.9b	6.08c	3.66bc	10.3abc	16.9ab	22.2ab	19.4bc
	P1S1	3.9b	6.47bc	3.54bc	7.6c	13.8b	25.0b	25.0c
Significance								
Irrigation method (A)		***	***	**	**	**	**	*
Irrigation period (B)		NS	*	NS	**	**	*	NS
A×B		*	*	**	*	NS	*	**

<sup>z</sup>EBB: ebb-and-flow irrigation, AER: aeroponic irrigation system.

<sup>y</sup>P1: irrigation for 90 s at the beginning of photoperiod (06:00), S1: irrigation for 90 s at the beginning of scotoperiod (18:00), and PS: P1+S1 (06:00, 18:00).

<sup>x</sup>Mean separation within columns by Duncan’s multiple range test, 5% level.

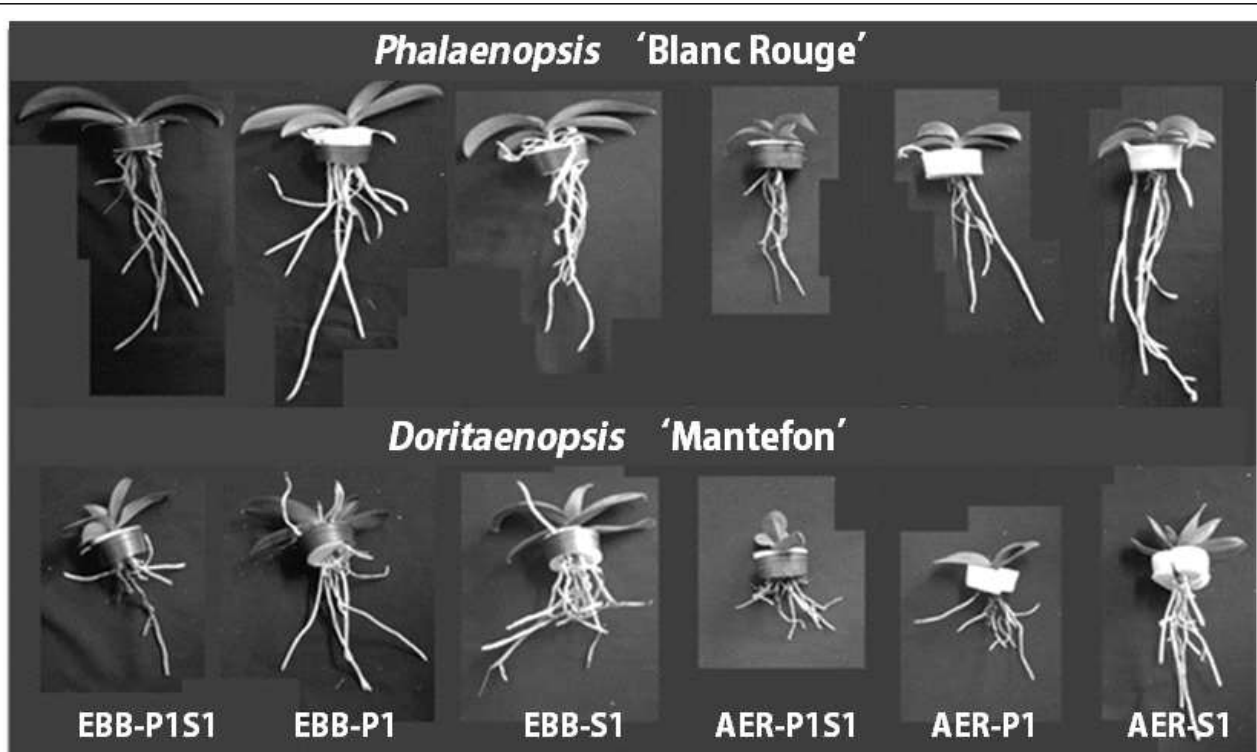


Fig. 3-1-3. Effects of irrigation method and period on growth in *Phalaenopsis* 'Blanc Rouge' and *Doritaenopsis* 'Mantefon'. EBB: ebb-and-flow irrigation, AER: aeroponic irrigation system. P1: irrigation for 90 s at the beginning of photoperiod (06:00), S1: irrigation for 90 s at the beginning of scotoperiod (18:00), and PS: P1+S1 (06:00, 18:00).

#### (나) 근권부 환기에 따른 관수방식간 베드 내 환경 변화 및 중간묘 생육 특성

근권부의 강제환기에 의한 근권부(베드 내) 이산화탄소 농도, 온도, 상대습도 변화는 Fig. 3-1-4와 같다. 공기 강제주입에 의한 환기 전 이산화탄소 농도는 두 관수방식 공히 1,000~1,300ppm 범위였는데, 강제환기에 의해 700ppm 이하로 떨어졌고, 이후 2시간까지 유지되는 것을 관찰할 수 있었다. 베드 내 공기온도는 환기 전 EBB 베드 내가 30℃ 정도인 반면, AER 베드 내는 31℃ 정도였으며, 두 관수방식 모두 환기에 의해 2℃ 정도 감소하였고 이후 조금씩 상승하였다. 상대습도의 경우 환기 전 EEB가 98%, AER이 94%였으며, 환기에 의해 각각 91%와 88%로 낮아졌다가 점차 증가하였다.

공기 주입에 의한 근권부 환기처리에 따른 차이가 EBB보다 AER에서 큰 것은 EBB 베드는 베드 내 부피가 작은 것에 비해 채워지는 양액의 양이 많아 양액 공급 시 자연스럽게 기체 교환이 일어나는 반면, AER는 베드 내 부피는 3배 더 크나 양액 분무에 의한 환기가 거의 일어나지 않아 공기주입에 의한 강제환기 없이는 베드 내에 공기가 정체되어 지하부에 악영향을 준다고 볼 수 있다. 또한 근권부보다 조금 낮은 온도의 양액이 채워졌다 빠지는 EBB의 특성상 상대적으로 작은 부피의 베드에 많은 양의 물이 긴 시간 근권부에 머물기

때문에 온도는 조금 낮고, 습도는 약간 높은 경향을 보였다. 이산화탄소 농도는 베드 부피가 작은 EBB에서 조금 더 높았는데 이것은 더 좁은 공간에 비슷한 부피의 뿌리가 존재하기 때문이라 생각된다.

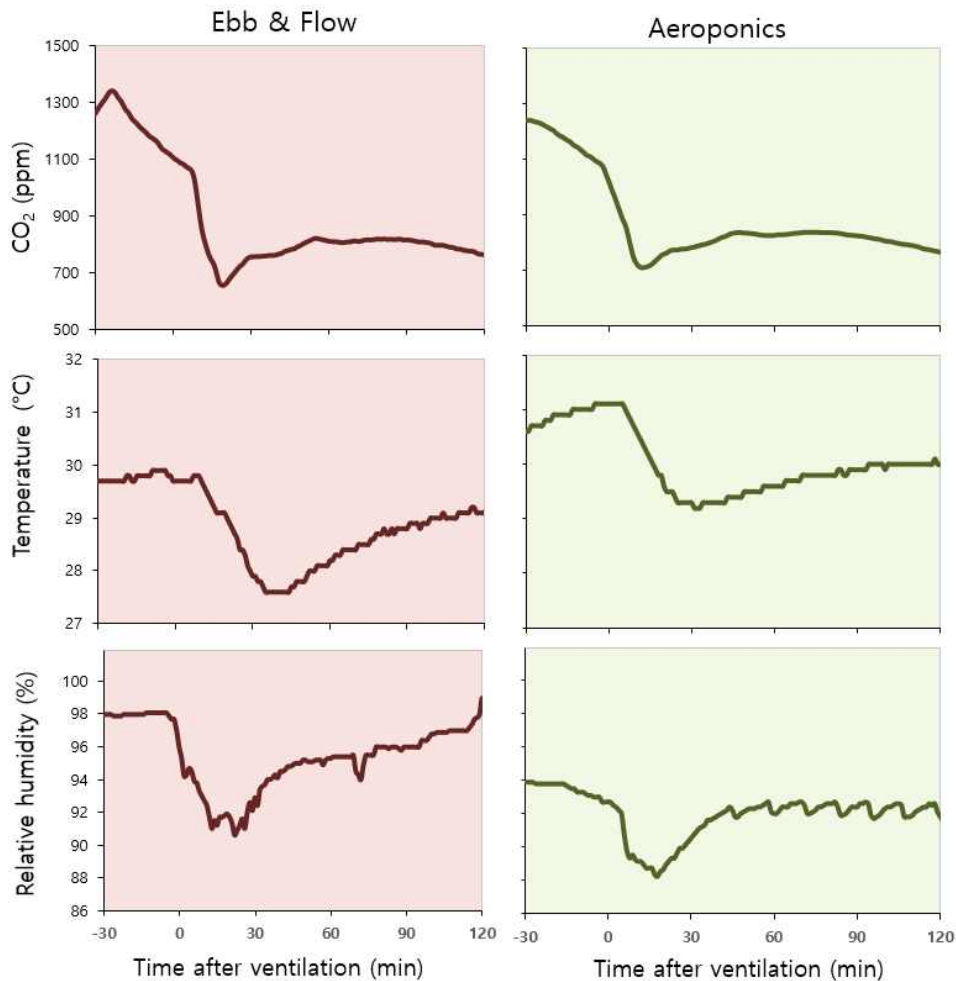


Fig. 3-1-4. Effects of rhizospheric ventilation on root zone environments by lapse of time in *Phalaenopsis* hydroponically grown in a closed plant factory system. Nutrient solution was applied by ebb & flow (left) and aeroponics (right).

관수방식 및 근권환기 실험에서는 엽수와 엽장, 엽폭, 근장이 비슷한 반응을 보였는데, EV와 EN처리구의 결과가 높고, AN이 AV 처리구보다 높거나 비슷했다(Table 3-1-2). 반면 AN 처리구는 장애와 고사에서 다른 처리구와 비슷하거나 더 많은 결과를 보였다. 품종별로 생육상태에 보이는 차이는 만천홍이 유묘기에 뿌리가 짧아 본 실험과 같이 배지를 사용하지 않는 EBB에서는 뿌리 쪽에 양액이 닿기 힘들게 된다. 따라서 양액을 원활히 공급받지 못하는 경우, 생육장애가 발생하거나 심하면 고사에 이르는 것으로 사료된다.

‘Blanc Rouge’는 엽수와 엽장, 엽폭 등 지상부와 근수와 근장 등 지하부 모두 EBB 처리

구가 AER 처리구에 비해 전체적으로 더 많은 생장을 보였으며 생육장애를 입거나 죽은 식물체의 수가 더 적었다(Table 3-1-2). 에어펌프를 통한 근권부 환기 처리 간의 차이는 거의 없었다. 또한 ‘Mantefon’에서는 모든 처리구에서 EA 처리구가 가장 많은 생장을 보였으며 엽수와 엽장, 근수와 근장에서 EN이 두번째로 많은 생장을 보였고 생육장애 수는 통계상 차이를 보이지 않았으나 죽은 식물체의 수는 EBB 처리구에서 더 적었다(Table 3-1-2). ‘Blanc Rouge’와 ‘Mantefon’ 모두 전반적으로 EBB 처리구에서 지상부와 지하부 모두 더 큰 생장을 보였으며 ‘Mantefon’은 근권부 환기에 의해 긍정적인 영향을 받는 모습을 보였다(Fig. 3-1-5).

Table 3-1-2. Effect of irrigation method and rhizospheric ventilation on growth and morphological characteristics in *Phalaenopsis* ‘Blanc Rouge’ and *Doritaenopsis* ‘Mantefon’ at 32 weeks after treatment.

Irrigation Treatment <sup>z</sup>		No. of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of roots	Root length (cm)	Disorder occurrence (%)	Death occurrence (%)
Method <sup>z</sup>	Ventilation <sup>y</sup>							
<i>Phalaenopsis</i> ‘Blanc Rouge’								
EBB	N	4.5ab <sup>x</sup>	11.69a	3.37a	11.6a	32.9a	14.8b	5.6a
	V	4.9a	12.23a	3.53a	10.3a	33.8a	7.4a	11.1b
AER	N	4.1bc	7.49b	2.68b	7.2b	29.4b	16.7b	22.2c
	V	3.7c	6.64b	2.34b	5.5b	19.7c	37.0c	18.5c
Significance								
Irrigation method (A)		**	***	***	***	***	**	*
Ventilation (B)		*	NS	*	NS	NS	NS	*
A×B		*	*	*	NS	*	*	*
<i>Doritaenopsis</i> ‘Mantefon’								
EBB	N	4.2b	7.37b	3.71b	11.4a	15.0bc	18.5b	18.5a
	V	5.1a	8.77a	4.13a	10.2ab	20.9a	13.0a	18.5a
AER	N	4.4b	6.45bc	3.55b	8.8b	16.5b	14.8a	24.1b
	V	3.3c	5.95c	3.46b	9.5ab	13.5c	16.7ab	33.3c
Significance								
Irrigation method (A)		*	*	NS	**	NS	*	*
Ventilation (B)		*	*	*	NS	*	*	*
A×B		**	**	**	*	**	**	**

<sup>z</sup>EBB: ebb-and-flow irrigation, AER: aeroponic irrigation system.

<sup>y</sup>N: no ventilation, V: ventilation for 1 min every hour with an air pump at 40L · min<sup>-1</sup> velocity.

<sup>x</sup>Mean separation within columns by Duncan’s multiple range test, 5% level.

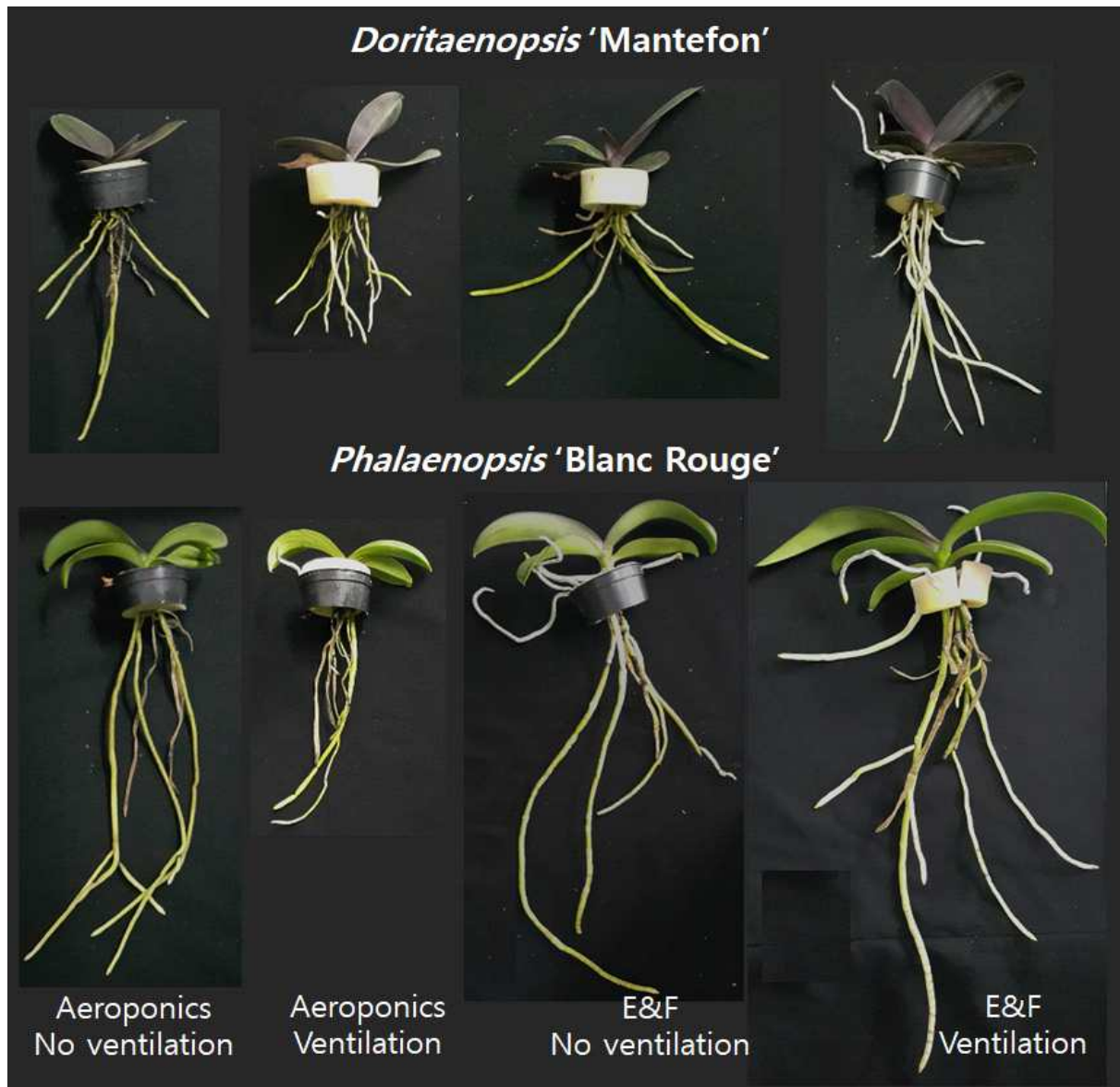


Fig. 3-1-5. Effects of irrigation method and rhizospheric ventilation in *Doritaenopsis* 'Mantefon' and *Phalaenopsis* 'Blanc Rouge'. Plants were irrigated by aeroponics and ebb-and-flow (E&F) with or without ventilation.

#### (다) 관수방법 및 근권부 환기에 따른 뿌리의 해부학적 특성

SEM으로 촬영한 뿌리 단면 사진(Fig. 3-1-6)에서 'Blanc Rouge'는 endodermis층과 cortex층, velamin층의 두께에 있어서는 통계적 유의차가 나지 않았고 stele층은 강제환기를 한 쪽인 EV와 AV 처리구가 각각 0.41mm와 0.37mm로 더 두꺼웠으며 exodermis층과 전체 직경은 EV, EN, AV 처리구가 가장 두꺼웠다(Table 3-1-3). 단위 넓이당 세포수는 AER가 EBB보다 많은 것으로 조사되었다. 'Mantefon'은 endodermis와 exodermis층에서는 처리별

로 통계상 두께의 차이를 보이지 않았고, stele층과 cortex층, 그리고 전체 직경은 EV와 EN, AN에서, velamin층은 EV와 AV, AN처리구가 더 두꺼운 것으로 조사되었다. 단위 넓이당 세포수는 EN에서 1mm<sup>2</sup>당 95개로 가장 많았다(Table 3-1-3). 단위 넓이당 세포수에서 EN이 특히 높게 나오는 이유는 몇 차례의 오작동으로 인해 건조피해를 받은 결과로 보이며, 이 외에는 대체적으로 이전의 근권부 생육조사와 비슷한 결과를 보였다.

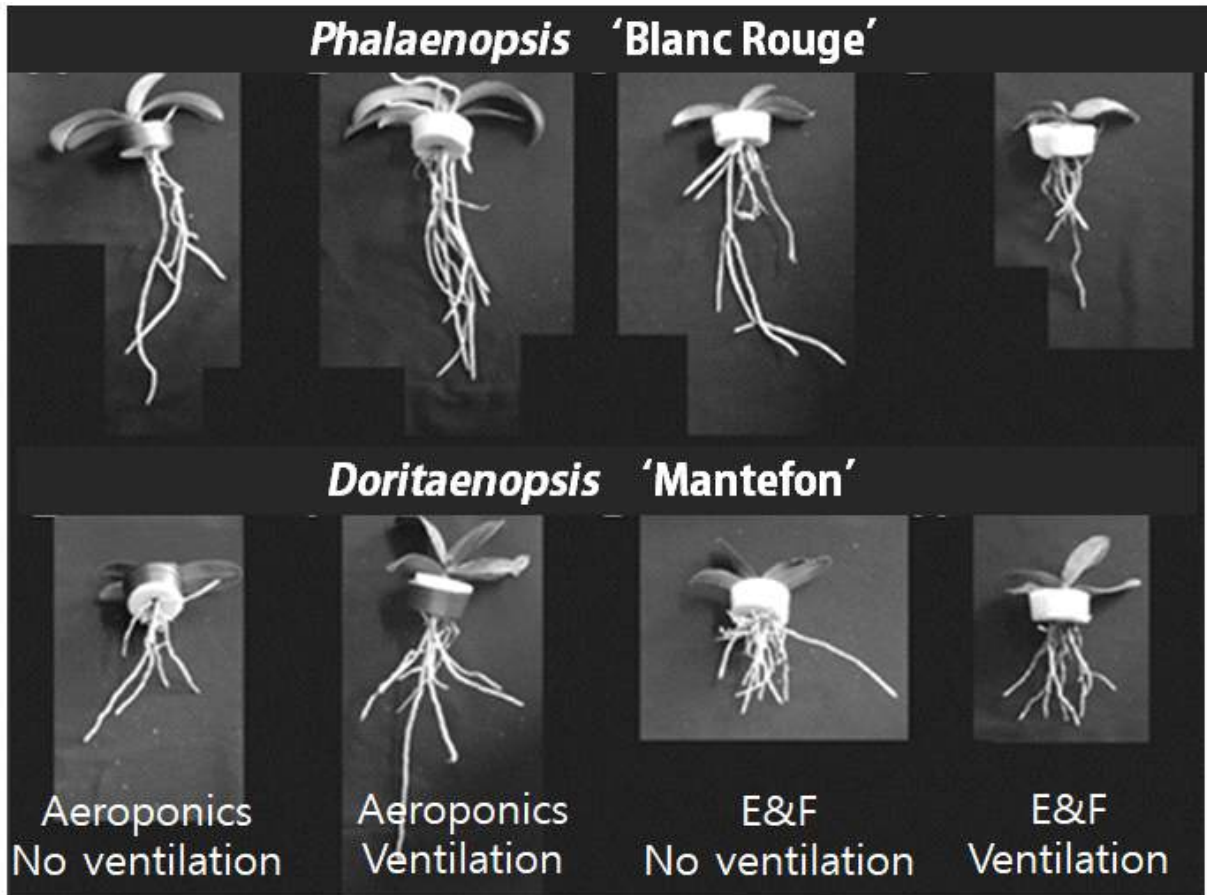


Fig. 3-1-5. Effects of irrigation method and rhizospheric ventilation in *Phalaenopsis* 'Blanc Rouge' and *Doritaenopsis* 'Mantefon'. (A, E) Ebb-and-Flow with ventilation, (B, F) Ebb-and-Flow without ventilation; (C, G) Aeroponics with ventilation; (D, H) Aeroponics without ventilation. Plants were irrigated by aeroponics and ebb-and-flow (E&F) with or without ventilation.



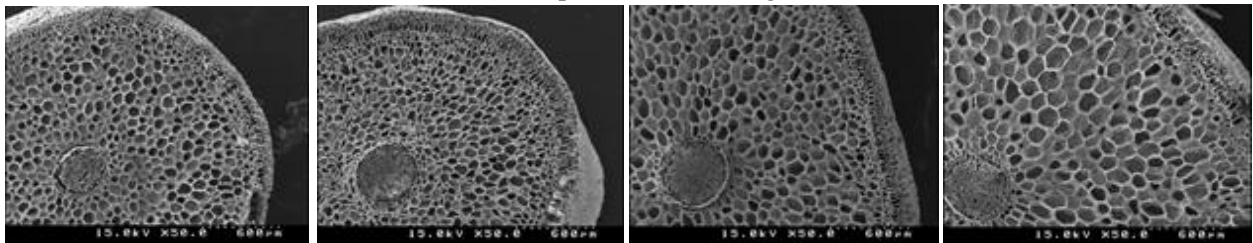
**Table 3-1-3.** Effects of application methods of nutrient solution and rhizospheric ventilation on anatomical characteristics of roots in *Phalaenopsis* ‘Blanc Rouge’ and *Doritaenopsis* ‘Mantefon’ .

Treatment <sup>z</sup>	Tissue thickness of root (mm)					Root diameter (mm)	No. of cells (mm <sup>-2</sup> )
	Stele	Endodermis	Cortex	Exodermis	Velamin		
<i>Phalaenopsis</i> ‘Blanc Rouge’							
AN	0.29 b <sup>y</sup>	0.03 a	0.89 a	0.06 b	0.06 a	2.35 b	49.0 a
AV	0.37 a	0.03 a	1.22 a	0.08 a	0.07 a	3.17 a	42.0 ab
EN	0.28 b	0.05 a	1.02 a	0.07 ab	0.07 a	2.68 ab	37.7 bc
EV	0.41 a	0.03 a	1.20 a	0.07 ab	0.08 a	3.15 a	32.0 c
<i>Doritaenopsis</i> ‘Mantefon’							
AN	0.35 a	0.03 a	0.73 ab	0.07 a	0.06 ab	2.12 a	60.0 b
AV	0.30 b	0.03 a	0.50 b	0.06 a	0.06 ab	1.58 b	95.0 a
EN	0.31 ab	0.02 a	0.82 a	0.06 a	0.04 b	2.18 a	51.0 b
EV	0.35 a	0.02 a	0.78 a	0.07 a	0.08 a	2.22 a	63.3 b

<sup>z</sup>EV, EN: ebb & flow without or with ventilation; AV, AN: aeroponics without or with ventilation.

<sup>y</sup>Means separation in columns by Duncan’s multiple range test at  $p < 0.05$ .

*Phalaenopsis* ‘Blanc Rouge’



*Doritaenopsis* ‘Mantefon’

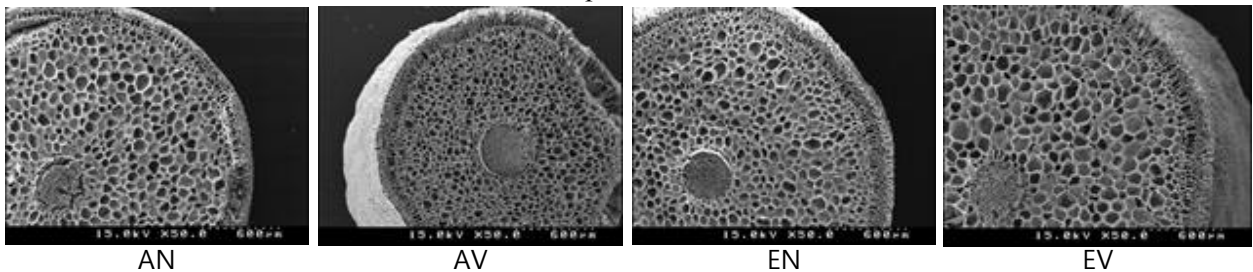


Fig. 3-1-6. SEM cross section pictures of *Phalaenopsis* ‘Blanc Rouge’ (top) and *Doritaenopsis* ‘Mantefon’ (bottom) roots as influenced by application methods of nutrient solution and rhizospheric ventilation. AV, AN: aeroponics with or without ventilation; EV, EN: ebb & flow with or without ventilation.

**(2) 2차 실험: 관수방식 및 관수시기에 따른 중간묘 생육 특성**

1차 실험에서 뿌리가 과도하게 신장하는 현상이 발생하였는데, 주로 ‘Blanc Rouge’ 에서 더 자주 나타났다(Fig. 3-1-5). 이 현상의 원인이 수분 부족으로 판단되었으며, 이에 따라 2차 실험에서 관수시간을 2배 더 길게 실시했다.

2차 실험에서 ‘Janseol’ 은 엽장과 엽폭, 엽수, 근경, 생리장해 발생률은 통계적으로 차이가 없었고, 엽수와 엽고, 엽색, 근수, 근장에서는 전부 EBB 처리구에서 높은 값을 나타냈고 죽은 식물체의 수도 EBB 처리구에서 낮았다. 또한 지상부 생체중과 지하부 생체중, 지상부 건물중과 지하부 건물중 모두 EBB 처리구에서 높았다(Table 3-1-4). ‘Mantefon’ 은 엽수와 엽폭, 엽고, 신엽수, 장해 발생수는 통계상 차이가 없었으며 엽장은 EBB-All day에서 가장 높고 엽색과 근수, 근장은 EBB 처리구에서 전반적으로 높았다. 또한 지상부 생체중과 지하부 생체중은 통계상 차이가 없었고 지하부 생체중과 지하부 건물중은 EBB 처리구에서 더 높은 등(Table 3-1-5), 2차 실험에서도 주로 관수시간보다는 EBB와 AER 간의 차이가 두드러졌다(Fig. 3-1-7).

초기 형광값(F0)은 AER+S1 처리구에서 가장 낮아 스트레스 정도가 가장 적음을 보였으나, 이외에 최대 형광값과 스트레스 지수, 광합성 수율, 광계II 전자전달효율 및 열로 인한 에너지 손실량 등을 보았을 때 EBB-S1 처리구가 가장 적은 스트레스를 받았음을 알 수 있다. 두 번째로 스트레스 지표가 낮은 처리구는 EBB-P1S1 처리구였으며, 이외에는 비슷한 정도를 보였다(Table 3-1-6).

Table 3-1-4. Effect of irrigation method and period on growth and morphological characteristics in *Phalaenopsis* ‘Janseol’ at 8 weeks after treatment.

Treatment		No. of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf thickness (cm)	Chlorophyll (SPAD)	No. of new leaves
EBB	P1S1	4.5 ab <sup>2</sup>	9.24 a	2.49 a	1.29 a	44.34 ab	2.0 a
	P1	4.4 ab	9.42 a	2.51 a	1.25 ab	40.22 b	1.5 a
	S1	4.6 a	9.57 a	2.51 a	1.26 ab	46.68 a	1.7 a
AER	P1S1	3.9 bc	9.67 a	2.52 a	1.08 c	40.66 b	2.0 a
	P1	3.7 c	8.6 a	2.58 a	1.12 bc	42.08 ab	1.7 a
	S1	3.9 bc	9.27 a	2.48 a	1.05 c	40.47 b	1.9 a
		No. of roots	Root length (cm)	Root diameter (cm)	Disorder (%)		Death (%)
EBB	P1S1	11.8 a	65.08 a	3.39 a	41.7 a		5.6 b
	P1	12.3 a	67.1 a	3.00 a	47.2 a		2.8 ab
	S1	13.8 a	74.26 a	3.27 a	47.2 a		0.0 a
AER	P1S1	5.1 b	28.61 b	2.94 b	55.6 a		16.7 c
	P1	4.8 b	25.71 b	3.03 ab	41.7 a		19.4 c
	S1	4.6 b	28.62 b	3.14 ab	52.8 a		25.0 d
		Top fresh wt (g)	Root fresh wt (g)	TR ratio (FW)	Top dry wt (g)	Root dry wt (g)	TR ratio (DW)
EBB	P1S1	5.19 ab	2.77 b	1.90 a	0.47 a	0.36 a	1.35 a
	P1	4.24 bc	2.63 b	1.69 a	0.39 abc	0.34 a	1.17 ab
	S1	5.76 a	3.56 a	1.73 a	0.43 ab	0.36 a	1.32 a
AER	P1S1	3.15 c	1.08 c	3.06 b	0.30 d	0.18 b	1.75 bc
	P1	3.25 c	1.06 c	3.92 b	0.34 cd	0.18 b	2.13 d
	S1	3.38 c	1.09 c	3.40 b	0.37 bcd	0.16 b	2.45 cd

<sup>2</sup>Means separation in columns by Duncan's multiple range test at  $p < 0.05$ .

Table 3-1-5. Effect of irrigation method and period on growth and morphological characteristics in *Doritaenopsis* ‘Mantefon’ at 8 weeks after treatment.

Treatment		No. of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf thickness (cm)	Chlorophyll (SPAD)	No. of new leaves
EBB	P1S1	3.2 a <sup>2</sup>	10.04 a	3.60 a	1.21 a	53.85 a	0.5 ab
	P1	3.2 a	8.84 b	3.74 a	1.08 a	47.77 b	0.4 a
	S1	3.3 a	8.06 b	3.50 a	1.18 a	51.55 ab	0.8 ab
AER	P1S1	2.7 a	8.74 b	3.49 a	1.08 a	43.62 c	0.9 b
	P1	2.9 a	8.89 b	3.56 a	1.18 a	43.80 c	0.7 ab
	S1	2.9 a	8.15 b	3.43 a	1.09 a	45.61 c	0.8 ab
		No. of roots	Root length (cm)	Root diameter (cm)	Disorder (%)	Death (%)	
EBB	P1S1	9.2 a	66.45 a	3.11 a	27.8 a	2.8 ab	
	P1	8.6 a	58.04 a	2.80 ab	27.8 a	2.8 ab	
	S1	8.8 a	53.30 a	2.96 ab	33.3 a	0.0 a	
AER	P1S1	4.5 b	29.11 b	3.27 a	30.6 a	0.0 a	
	P1	3.6 b	29.06 b	3.07 a	27.8 a	2.8 ab	
	S1	4.0 b	32.80 b	2.59 b	30.6 a	5.6 b	
		Top fresh wt (g)	Root fresh wt (g)	TR ratio (FW)	Top dry wt (g)	Root dry wt (g)	TR ratio (DW)
EBB	P1S1	4.80 a	2.22 a	2.22 a	0.43 a	0.31 a	1.41 a
	P1	4.00 ab	1.61 b	2.64 a	0.44 a	0.30 a	1.50 a
	S1	4.21 ab	1.73 ab	3.10 ab	0.44 a	0.31 a	1.64 ab
AER	P1S1	3.73 ab	1.01 c	3.97 bc	0.36 a	0.18 b	2.08 bc
	P1	3.66 b	0.78 c	4.97 c	0.38 a	0.17 b	2.42 c
	S1	3.85 a	0.93 c	4.48 c	0.39 a	0.19 b	2.17 c

<sup>2</sup>Means separation in columns by Duncan's multiple range test at  $p < 0.05$ .

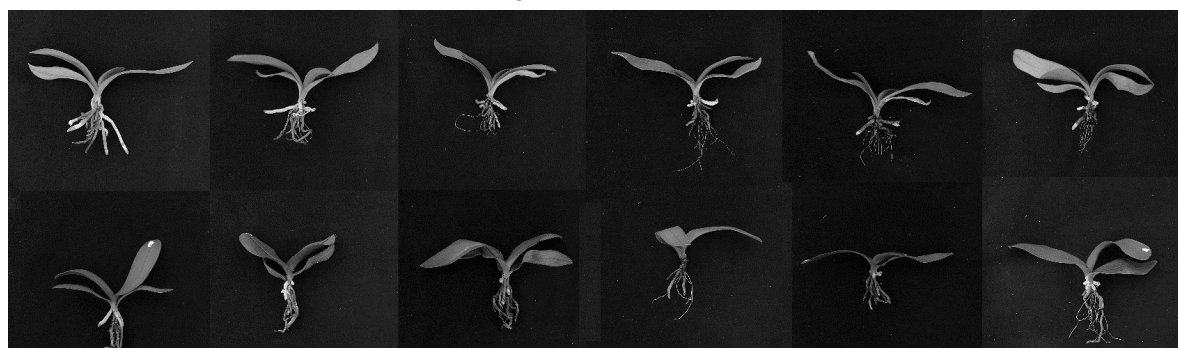


Fig. 3-1-7. Effects of irrigation method and period in *Phalaenopsis* ‘Janseol’ (A-F) and *Doritaenopsis* ‘Mantefon’ (G-L). (A, G) EBB-P1S1; (B, H) EBB-P1; (C, I) EBB-S1; (D, J) AER-P1S1; (E, K) AER-P1; (F, L) AER-S1.

Table 3-1-6. Chlorophyll fluorescence responses (JIP indexes) of *Doritaenopsis* ‘Mantefon’ as affected by irrigation method and period at 8 weeks after treatment.

Treatment		Fo	Fm	Fv	Fm/Fo	Fv/Fm
EBB	P1S1	6,408 b <sup>2</sup>	25,907 bc	19,500 bc	4.18 ab	0.75 ab
	P1	5,470 ab	21,225 a	15,755 a	3.87 a	0.74 a
	S1	5,759 ab	26,674 c	20,915 c	4.63 b	0.78 b
AER	P1S1	5,620 ab	24,374 abc	18,754 abc	4.33 ab	0.77 ab
	P1	6,164 ab	23,299 ab	17,135 ab	3.84 ab	0.74 a
	S1	5,339 a	23,503 ab	18,164 ab	4.41 ab	0.77 ab

<sup>2</sup>Means separation in columns by Duncan's multiple range test at  $p < 0.05$ .

## 2. 밀폐형 식물공장 시스템을 이용한 호접란 중간묘 생산에 적합한 양액공급 방식 구명(무배지와 배지방식 비교)

### 가. 연구목적

호접란 재배 시 온도나 양분 조성, 양액 공급 방식 등 지하부 환경조건은 호접란 중간묘 생산에 있어 품질이나 생산기간 등에 영향을 끼친다. 호접란은 국내 시장에서 타 화훼류에 비해 연간 시세가 일정하다(MAFRA, 2015). 또한 화경 발생 전까지는 초장이 낮아 다단재배에 용이하며 낮은 광요구도로 인공광원 사용이 가능하고 영양생장 및 개화유도에 필요한 온도를 시설 내에서 제어하기 쉽다. 그러므로 온실재배보다 환경제어가 용이하여 주년생산에 유리하며 공간활용도가 높아 다단재배가 가능한 밀폐형 식물공장이 호접란 재배에 알맞다고 할 수 있다.

따라서 호접란의 생산단가를 줄이고 작기를 단축하기 위해 식물공장 기술을 도입하는 것이 가능하며, 동선의 간소화와 정밀한 환경제어를 통해 생산성을 높일 수 있다. 이 연구에서는 밀폐형 식물공장 시스템을 이용한 호접란 중간묘 생산 시 관수방법이 식물체의 형태 및 광화학, 식물생리학적 특성에 미치는 영향을 구명하여 최적의 양액공급방식을 구명하기 위해 실시되었다.

### 나. 재료 및 방법

본 실험은 2016년 8월~10월까지 영남대학교 생명응용과학대학 소재의 컨테이너형 식물공장 내에서 *Doritaenopsis* ‘Mantefon(만천홍)’ 과 *Phalaenopsis* ‘Janseol(잔설)’ 의 조직배양 후 기외 1개월 순화묘를 사용하여 실시되었다. 지상부 생육환경은 온도 28℃, 일장 12시간 (06:00-18:00), 상대습도 70%, 수관 광도  $170\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 유지하였다. 관수 및 시비는 Ichihashi 양액(pH  $6.0 \pm 0.1$ , EC  $0.8 \pm 0.1\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ )(Ichihashi, 1997)로 하였으며 1주일마다 교환해 주었다.

베드당 품종별로 18주씩 원형 스폰지(직경 6cm, 두께 2cm)로 지재부를 고정시켜 양액 공급방식이 다른 베드에 정식하였다. 양액 공급방식은 무배지 재배방식으로 담배수관수(ebb & flow, EBB)와 분무경(aeroponics, AER), 배지 재배방식으로 피트모스 심지관수(nutrient flow wick with peatmoss, WICK)와 수태를 사용한 담배수관수(ebb & flow using media as sphagnum moss, SM)의 4가지로 실험하였다.

처리 8주 후 지상부(엽수, 신엽수, 엽장, 엽폭, 엽고)와 지하부(근수, 근장, 근경)의 성장 특성 및 발병률을 조사하였으며, 식물체 기부를 절단해 지상부와 지하부로 나누어 각각 생물

중과 건물중을 측정하였다.

관수 직후 최상위 전개엽에서 PolyPen RP-400을 사용하여 식물생리지수를 측정하였으며 역시 관수 직후 최상위 전개엽에서 FluorPen FP-100을 사용, 측정용 클립으로 15분간 암처리 후 엽록소 형광반응을 측정하였다.

#### 다. 결과 및 고찰

‘Janseol’ 은 엽장에서는 통계차를 보이지 않았고 엽수와 근수, 근장은 WICK 처리구에서 가장 높은 수치를, 엽폭과 엽고, 신엽수, 근경은 WICK과 SM의 배지경에서 둘 다 높은 수치를 보였으며 배지경에서는 장애를 입거나 죽은 개체가 나오지 않았다(Table 3-1-7). 지상부 생체중과 지하부 생체중, 지하부 건물중은 WICK 처리구에서 가장 높은 값을 보였고 지상부 건물중은 배지경 두 곳에서 높았다.

‘Mantefon’ 은 엽장에서는 통계차를 보이지 않았다. 엽수는 SM 처리구에서 가장 많았고 엽장, 근장, 근경은 WICK 처리구에서 가장 높은 값을, 엽고, 신엽수는 WICK과 SM의 배지경에서 높은 수치를 보였다(Table 3-1-8, Fig. 3-1-8). 전반적으로 WICK 처리구에서 가장 많은 생장을 보였다. 또한 실험 중 썩음병이 발생하였는데, WICK과 SM 등 배지경은 EBB, AER 등 무배지 재배와는 달리 재배 중 썩음병이 거의 발생하지 않았고 AER 처리구에서 많은 피해를 입었다(Table 3-1-8).

**Table 3-1-7.** Effect of irrigation method on growth and morphological characteristics in *Phalaenopsis* ‘Janseol’ at 8 weeks after treatment.

Treatment	No. of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf thickness (cm)	Chlorophyll (SPAD)	No. of new leaves
EBB	4.5 bc <sup>2</sup>	9.41 a	2.50 b	1.26 b	43.75 bc	1.73 b
AER	3.8 c	9.18 a	2.53 b	1.08 c	41.07 c	1.87 b
WICK	5.8 a	9.50 a	3.02 a	1.86 a	51.08 a	2.60 a
SM	5.0 ab	9.78 a	2.82 a	1.86 a	48.70 ab	2.80 a
	No. of roots	Root length (cm)	Root diameter (cm)		Disorder occurrence (%)	Death occurrence (%)
EBB	12.6 ab	68.81 b	3.22 bc		45.4 b	2.8 a
AER	4.8 c	27.65 c	3.04 c		50.0 b	20.4 b
WICK	14.8 a	98.80 a	4.36 a		0.0 a	0.0 a
SM	11.4 b	59.92 b	3.59 b		0.0 a	0.0 a
	Top fresh wt (g)	Root fresh wt (g)	TR ratio (FW)	Top dry wt (g)	Root dry wt (g)	TR ratio (DW)
EBB	5.06 c	2.99 b	1.77 a	0.43 b	0.35 b	1.28 a
AER	3.26 d	1.08 c	3.46 b	0.34 c	0.17 c	2.11 b
WICK	13.66 a	7.32 a	1.90 a	0.73 a	0.56 a	1.31 a
SM	7.95 b	2.94 b	2.77 b	0.66 a	0.38 b	1.75 ab

<sup>2</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

Table 3-1-8. Effect of irrigation method on growth and morphological characteristics in *Doritaenopsis* 'Mantefon' at 8 weeks after treatment.

Treatment	No. of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf thickness (cm)	Chlorophyll (SPAD)	No. of new leaves
EBB	3.2 b <sup>z</sup>	8.98 a	3.61 bc	1.16 b	51.06 b	0.6 b
AER	2.8 b	8.59 a	3.49 c	1.12 b	44.34 c	0.8 ab
WICK	3.2 b	8.76 a	4.04 a	1.71 a	57.48 a	1.2 a
SM	4.0 a	9.48 a	3.92 ab	1.78 a	51.62 b	1.0 ab
	No. of roots	Root length (cm)	Root diameter (cm)		Disorder occurrence (%)	Death occurrence (%)
EBB	8.9 a	59.26 b	2.96 b		29.6 b	1.9 a
AER	4.0 b	30.33 c	2.98 b		29.6 b	2.8 a
WICK	10.2 a	73.69 a	4.44 a		0.0 a	0.0 a
SM	10.4 a	52.75 b	3.34 b		0.0 a	0.0 a
	Top fresh wt (g)	Root fresh wt (g)	TR ratio (FW)	Top dry wt (g)	Root dry wt (g)	TR ratio (DW)
EBB	4.33 b	1.85 c	2.65 a	0.44 b	0.31 b	1.52 a
AER	3.75 b	0.90 d	4.47 b	0.38 b	0.18 c	2.23 b
WICK	8.22 a	3.89 a	2.15 a	0.60 a	0.38 ab	1.66 a
SM	7.56 a	2.76 b	2.93 a	0.61 a	0.41 a	1.48 a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

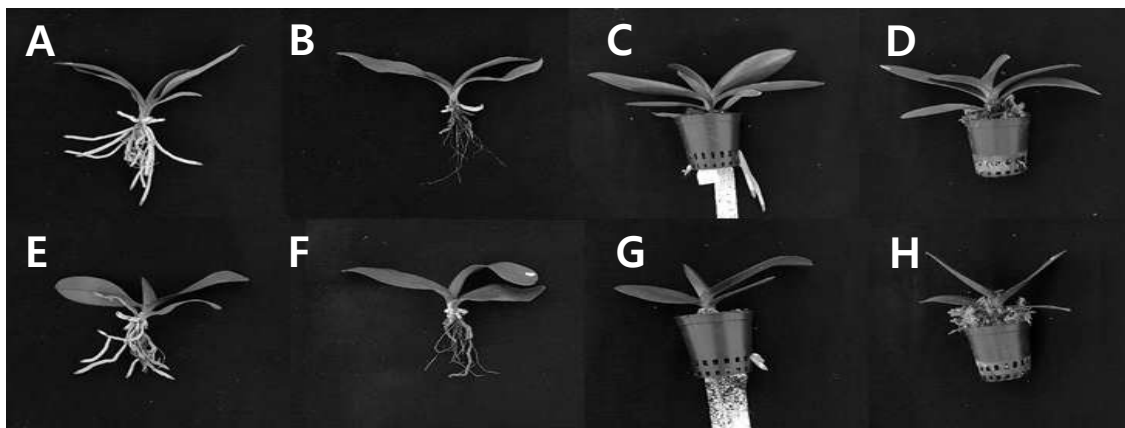


Fig. 3-1-8. Effects of irrigation method in *Phalaenopsis* 'Janseol' (A~D) and *Doritaenopsis* 'Mantefon' (E~H). A, E) EBB, B, F) AER, C, G) WICK, D, H) SM.

식물생리지수 분석에서 엽록소 수치는(Fig. 3-1-9) NDVI의 경우, 측정값은 전부 정상범위인 0.2와 0.8 사이에 들어오며 통계적으로는 AER 처리구에서 가장 높은 값을 보였다(Rouse Jr. et al., 1973). SR의 경우, 측정값은 전부 정상범위인 6.0과 10.0 사이에 들어오며 통계적으로는 역시 AER 처리구에서 가장 높은 값을 보였다(Birth and Mcvey, 1968).

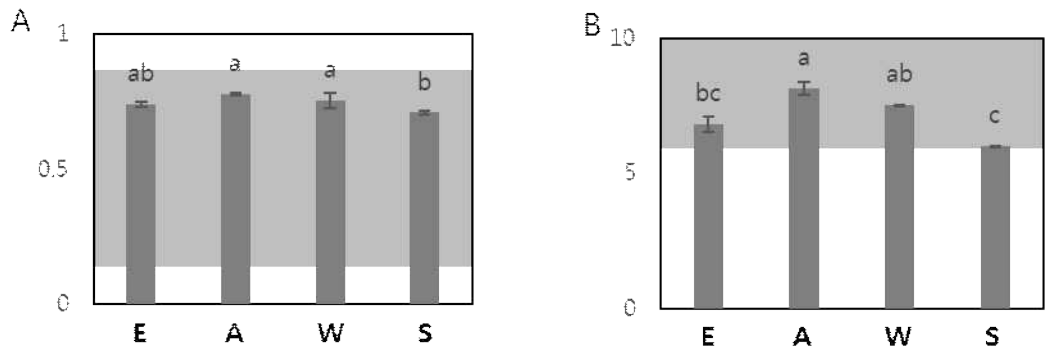


Fig. 3-1-9. The chlorophyll indexes of *Doritaenopsis* 'Mantefon' as affected by irrigation method at 3 weeks after treatment: (A) NDVI, (B) SR. E: ebb & flow, A: Aeroponics, W: wick culture, S: Sphagnum moss. The gray zone means healthy range.

카로티노이드 측정에서는(Fig. 3-1-10) PRI의 경우, 측정값이 전부 정상범위인 0.2과 -0.2 사이에 들어가며, 통계상으로는 Wick Culture가 가장 높은 수치를 가진다(Gamon et al., 1992). 또한 SIPI의 경우, 측정값이 전부 정상범위인 0에서 2 사이에 들어가며, 통계적인 유의차가 나지 않는다(Penuelas et al., 1995).

안토시아닌 수치는(Table 3-1-9) ARI1과 ARI2 모두 AER 처리구에서 가장 높고 WICK에서 가장 낮은 값을 보였다(Gitelson et al., 2001). 따라서 관수방법에서는 WICK 처리구가 엽록소 함유량은 낮으나 가장 스트레스가 적으며 노화도도 낮음을 보여주며, 반대로 AER 처리구의 경우에는 엽록소 함유량은 높으나 스트레스를 많이 받았으며 노화도 가장 많이 진행되어 있음을 볼 수 있다.

엽록소 형광 분석에서(Table 3-1-10), 광계II의 전자전달효율과 열로 인한 에너지 손실량을 제외한 다른 지표는 통계적으로 차이를 보이지 않았다. 광계II의 전자전달효율은 WICK 처리구에서 가장 많은 스트레스를 받았음을 보여주는 반면, 열로 인한 에너지 손실량에서는 오히려 WICK 처리구가 가장 적은 스트레스를 받았음을 나타내는 상반된 결과를 보였다(Stirbet and Govindjee, 2011).

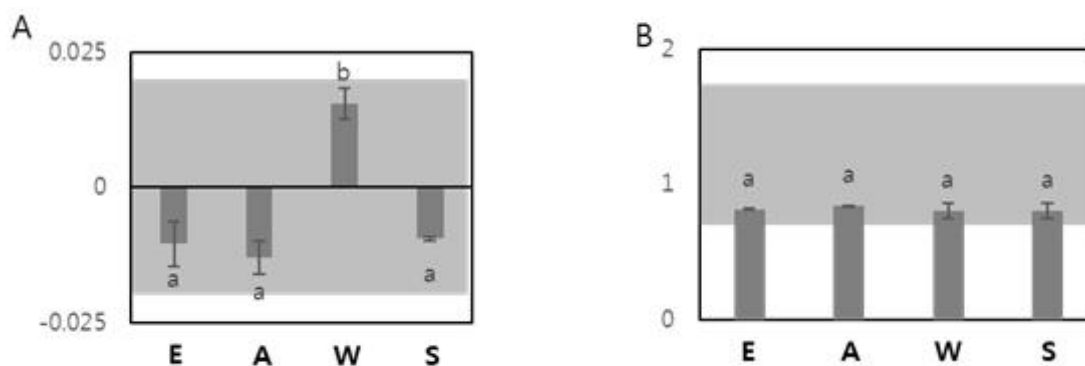


Fig. 3-1-10. The carotenoid indexes of *Doritaenopsis* 'Mantefon' as affected by irrigation method at 3 weeks after treatment: (A) PRI, (B) SIPI. E: ebb & flow, A: aeroponics, W: wick culture, S: sphagnum moss. The gray zone means healthy range.

Table 3-1-9. The anthocyanin indexes of *Doritaenopsis* 'Mantefon' as affected by irrigation method at 3 weeks after treatment.

Irrigation method	ARI1	ARI2
Ebb & flow	3.91 b <sup>2</sup>	4.05 b
Aeroponics	6.72 a	6.58 a
Wick culture	4.80 b	4.72 ab
Sphagnum moss	2.03 c	1.81 c

<sup>2</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

Table 3-1-10. The OJIP indexes of *Doritaenopsis* 'Mantefon' as affected by irrigation method at 3 weeks after treatment.

Treatment	Fo	Fj	Fi	Fm	Fv
EBB	5,879 a <sup>2</sup>	13,237 a	21,150 a	24,602 a	18,723 a
AER	5,708 a	12,104 a	19,745 a	23,725 a	18,018 a
WICK	5,929 a	13,221 a	22,593 a	27,693 a	21,765 a
SM	5,750 a	12,535 a	20,497 a	24,923 a	19,173 a
	Fm/Fo	Fv/Fm	ETo/RC	DIo/RC	
EBB	4.23 a	0.76 a	0.67 b	0.37 b	
AER	4.20 a	0.76 a	0.69 b	0.35 ab	
WICK	4.67 a	0.79 a	0.65 a	0.27 a	
SM	4.34 a	0.77 a	0.67 b	0.31 ab	

<sup>2</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, 5% level.



밀폐형 식물공장에서 호접란을 재배할 때 무배지 재배방식 중에서는 EBB가 AER보다 지상부와 지하부 모두 더 많은 생육을 보이며 장해나 고사 등의 피해를 비교적 적게 입었으나 WICK과 SM처리구가 그보다 더 좋은 생육결과를 보였고, 또한 다음과 같은 이유로 배지 재배가 밀폐형 식물공장에서 호접란 중간묘를 재배하기에 더 나은 방식으로 여겨진다.

대부분의 과정이 자동으로 이루어지는 식물공장 특성상 고장이나 정전 등으로 인해 작동을 중지할 경우, 무배지 재배의 경우에는 완충력이 거의 없어 배지재배보다 피해가 커지게 된다. 그리고 관수방식의 특성상 ebb & flow나 분무경은 사용한 양액을 회수하여 저장하고 재공급하게 되는데, 이 때 만약 식물체가 하나라도 병에 걸려 있었다면 회수된 양액이 모일 때 병원체가 양액 전체에 퍼지게 되고, 이후 양액이 재공급될 때 양액을 공유하는 모든 식물체에 병원체가 퍼져 병해의 확산이 매우 빨라지게 된다(Sanogo and Moorman, 1993). 또한 완충재가 없는 특성상 관수가 멈춘 시간에는 뿌리가 그대로 공중에 노출되어 표면이 마르게 되는데, 이 때 식물체는 수분 스트레스를 받게 되며 이는 뿌리가 지나치게 신장하는 원인이 될 수 있다(Bengough et al., 2011).

마지막으로 본 실험에도 사용한 ‘Mantefon’ 품종은 널리 재배되는 품종으로 *Phalaenopsis*속이 아닌 *Doritis*속과 *Phalaenopsis*속 간의 속간교잡종인 *Doritaenopsis*속으로, 일반적으로는 *Phalaenopsis*에 준하여 재배하고 있으나 *Doritis*는 착생란이 아닌 지생란이며 *Doritaenopsis*도 지생란의 특성을 가지고 있다면(Jantasuriyarat et al., 2012) 무배지 재배가 적합하지 않을 수도 있다. 무배지 재배방식들이 수분 공급량을 적당한 수준으로 조절하기가 어려운 반면, 심지재배의 경우 배지가 완충작용을 해 적당한 상태를 유지하기가 상대적으로 쉬우며, 현재 실험에 사용한 배지 및 심지를 사용할 시 호접란 재배에 이상적인 VWC(Rhie et al., 2016)를 유지하는 것을 보았다.

또한 본 실험과 같이 병해가 발생하거나 고장 등으로 피해를 입을 경우 호접란은 개당 가격이 비싼 작물(MAFRA, 2015)로 큰 경제적 손해를 입을 수 있는데, 심지재배의 구조상 구조가 양액이 회수되지 않고 양액이 심지를 통해 공급되어 그 특성으로 인해 병이 다른 식물체로 번지지 않으며(Oh and Son, 2008), 고장 등으로 인한 수분공급 중단 시에도 배지 내의 수분이 완충역할을 하여 어느 정도는 스트레스를 적게 받으며 버틸 수 있다. 그러므로 심지재배가 밀폐형 식물공장에서 호접란 중간묘 생산에 가장 적합한 방법이라 볼 수 있다.

### 3. 밀폐형 식물공장 시스템을 이용한 호접란 중간묘 생산에 적합한 배지 및 관수방법 구명

#### 가. 연구목적

호접란(*Phalaenopsis*, *Doritaenopsis*)은 태국, 말레이시아, 베트남, 인도네시아 등 열대 아시아 원산지로 대략 60여 종이 알려져 있다. 대부분의 종들은 주간온도 28-35°C, 야간온도 20-24°C, 연간 강수량은 약 2,000mm 정도인 지역에서 자생한다(Anthura, 2005). 관리가 쉽고 다양한 꽃색 및 크기를 가진 호접란은 세계시장에서 중요한 분화작물이다(Runkle et al., 2007).

호접란은 개화를 억제하고 잎의 발달을 촉진하기 위해 28°C 이상의 고온에서 자라야 하기 때문에(Runkle, 2007) 난방비용이 많이 발생되고 재배기간이 길기 때문에 물과 비료의 소비량이 많고 관리에 많은 노동력이 요구된다. 호접란의 생산비 비중을 보면 자가 노력비와 광열동력비의 비중이 40%를 차지한다. 그러므로 호접란의 생산비를 낮추기 위해 재배기간을 줄이는 방법이 필요하다.

밀폐형 식물공장은 광도, 광질, 습도, 기온, CO<sub>2</sub> 농도, 공기유동(바람)을 제어하여 작물생육에 양호한 환경을 만들어주어 작물의 생육 및 수량을 높일 수 있는 시스템이다(Nam et al., 2012). 밀폐형 식물공장 시스템은 호접란의 생장에 최적의 환경을 조성하여 재배기간을 단축시킬 수 있는 가능성이 있다. 특히 호접란은 착생란으로 자연상태에서 숲의 그늘에서 나무 줄기에 붙어 자라는 습성이 있어서 광요구도가 비교적 낮으므로 다양한 인공광원 적용이 가능하다(Lopez and Runkle, 2005; Lopez et al., 2007). 또 호접란은 전형적인 단경성난으로 위구경(pseudobulb)은 없고, 넓고 평평한 잎이 짧은 줄기에 대생하는 형태를 가진다(Yoon and Jung, 2011). 따라서 화서 신장 전까지는 초장이 낮기 때문에 밀폐형 식물공장 시스템에서 다단재배를 적용하여 생산면적을 감소시킬 수 있으며, 적정 생육환경 조성을 통해 작기를 단축함으로써 생산비용을 줄일 가능성이 있다.

호접란 재배에 많이 사용되는 배지로는 수태(sphagnum moss), 피트모스(peatmoss), 바크(bark) 등이 사용된다. 수태는 호접란 재배에 가장 많이 사용되는 배지이며, 다른 배지보다 다소 비싸다. 그리고 수태를 이용하여 식물체를 심을 때 눌러담기 위한 노동력이 많이 든다(Kim et al., 2016). 피트모스는 수태보다는 저렴하며, 수분보유능력이 건물중의 10배 정도 된다고 한다(Shin et al., 2012). 피트모스는 보수력이 높기 때문에, 보비력도 높다. 바크는 식물체를 심는 데 노력이 많이 필요하지 않으나, 모세관 현상을 가지기 힘들어 저면관수에 적합하지 않다(RDA, 2001). 즉 밀폐형 식물생산시스템에서 피트모스와 수태 중 적합한 배지를 찾을 필요가 있다.

따라서 밀폐형 식물공장 시스템 내에서 호접란 중간묘의 생육에 적합한 저면관수 시스템과 관수 빈도 및 배지를 구명하고자 수행되었다.

## 나. 재료 및 방법

### (1) 식물재료 및 밀폐형 식물공장 환경 조건

본 연구에 사용된 호접란은 *Doritaenopsis* Queen Beer ‘Mantefon’ 으로 기내배양 후 기외에서 8개월간 순화시킨 것을 사용하였다. 1차실험에서는 평균 엽수가 5.3매, 평균 엽장이 8.3cm인 묘를 이용하였고, 2차실험에서는 평균 엽수가 5매, 평균 엽장이 7.9cm인 묘를 이용하였다(Table 3-1-11, Fig. 3-1-11).

Table 3-1-11. Growth characteristics of *Doritaenopsis* ‘Mantefon’ plants at the beginning of treatment.

No.	Uppermost leaf			No. of leaves	Leaf-span (cm)	Fresh wt. (g)		Dry wt. (g)	
	Length (cm)	Width (cm)	SPAD			Shoot	Root	Shoot	Root
Exp. 1	8.33	5.03	54.53	5.33	14.67	16.53	10.78	1.05	1.13
Exp. 2	7.90	5.04	55.24	5.00	12.88	17.39	8.76	1.93	1.78



Fig. 3-1-11. *Doritaenopsis* ‘Mantefon’ used in the experiment.

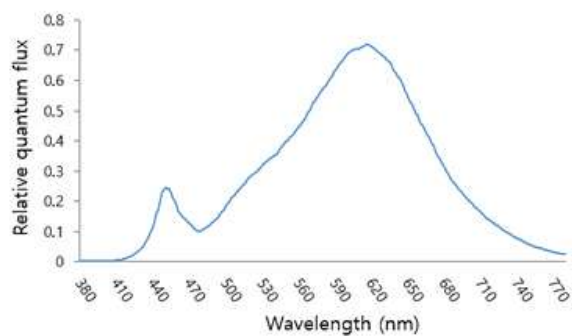


Fig. 3-1-12. The wavelength of warm-white LEDs used in this study.

실험은 영남대학교 밀폐형 식물공장 시스템에서 진행되었으며 재배환경은 온도  $28 \pm 0.5^\circ\text{C}$ , 상대습도  $70 \pm 5\%$ 을 유지해 주었다. 광 환경은 bar-type warm-white LED를 이용해 PPF  $150 \pm 10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 을 유지하였고 24시간 주기로 12시간(06:00-18:00) 점등하였다 (Fig. 3-1-12).

## (2) 배지 및 관수처리

### (가) 1차 실험

수태(sphagnum moss; Alpha Moss Ltd., Chile)와 피트모스(peatmoss; Sunshine Peatmoss, Sungro, Canada)의 2가지 배지를 사용하여 8.5cm 플라스틱 화분에 식물체를 이식하였다. 수태배지 135개체, 피트모스배지 135개체를 관수처리에 따라 15개 베드를 사용하여 각 베드에 배지처리 별로 9개체씩 배치하였다.

3가지 저면관수방법(담배수관수, 심지관수, 매트관수)과 4가지 관수 빈도(2회/일, 1회/일, 2회/주, 1회/주)로 처리해 주었다. 매트관수는 매트 한 장(6,060cm, LW) 위에 유공비닐을 덮은 매트(single)관수처리와 매트 두 장 위에 유공비닐을 덮은 매트(double)관수처리를 해 주었다. 담배수관수와 심지관수, 매트(single)관수는 4가지 관수빈도(2회/일, 1회/일, 2회/주, 1회/주)를 모두 처리해 주고, 매트(double)관수처리는 2가지 관수빈도(2회/주, 1회/주)를 처리해 주었다. 모든 매트관수는 1분간 관수해 주었고, 담배수관수는 물의 높이를 2cm를 유지해 주면서 10분간 관수해 주었다. 심지관수는 두께 1mm 정도의 심지를 이용하여 101.5cm(LW) 크기로 사용하였다. 2cm는 화분 안에 두고 8cm를 화분 밖에 위치하도록 하였고, 15분간 관수해 주었다. 실험의 대조구는 두상관수로 1회/주 관수해 주었다.

### (나) 2차 실험

1차 실험에서 생육이 양호했던 수태만 사용하여 관수처리 별로 10개 베드를 사용하여 각 베드에 20개체씩 배치하였다. 담배수관수, 심지관수는 4가지 관수 빈도[1회/일, 1회/2일(격일), 2회/주, 1회/주]로 처리해 주었고, 매트관수는 1회/주로 관수해 주었다. 매트관수는 1분간 관수해 주었고, 담배수관수는 물의 높이를 2cm를 유지해 주면서 10분간 관수해주었다. 심지관수는 두께 1mm 정도의 심지를 이용하여 81.5cm (LW) 크기로 사용하였다. 3cm는 화분 안에 두고 2cm를 화분 밖에 위치하도록 하였고, 90분간 관수해주었다. 실험의 대조구는 두상관수로 1회/주 관수해 주었다.

## (3) 배양액 관리

실험에 사용한 양액은 Ichihashi 양액( $EC\ 1.4 \pm 0.1 dS \cdot m^{-1}$ ,  $pH\ 6.3 \pm 0.1$ )을 사용하였다 (Ichihashi, 1997; Hwang and Jeong, 2009b). 양액통의 양액은 일주일에 한 번씩 교체해 주었다.

## (4) Volumetric water content (VWC) 측정

배지의 종류 및 관수방법, 빈도에 따른 배지 내 수분함량을 조사하기 위해 토양수분센서

(EC-5, Decagon, USA)를 이용하여 각 처리의 VWC를 측정하였다.

1차 실험의 VWC 측정에서는 2회/일, 1회/일 관수 처리의 경우에는 하루 동안의 VWC 1시간마다 측정하였고, 2회/주, 1회/주 관수 처리의 경우에는 관수 후 VWC 변화를 처리의 관수 직전부터 관수 후 2일까지 측정하였다. 2차 실험의 VWC 측정에서는 모든 관수처리에 대해 일주일 동안 1시간간격으로 연속적으로 측정하였다.

#### (5) 엽록소 형광 및 광합성 측정

관수처리에 따른 식물체의 엽록소형광반응은 FluorPen FP-100(PSI, Czech)을 이용하여 측정하였다. 식물체의 최상위엽에 암적응 클립으로 15분간 암처리를 해준 후 처리당 9개체를 측정하여 Fv/Fm 평균값을 구하였다.

관수처리에 따른 식물체의 광합성 변화를 알아보기 위해 처리 후 42일에 야간 CO<sub>2</sub> 흡수량을 조사하였다. CO<sub>2</sub> 흡수량은 21:00부터 24:00 사이에 휴대용 광합성 측정기(Li-6400, Li-COR, Lincoln, Nebraska, USA)를 이용하여 상위 2-3엽의 위치에서 측정하였다. 측정 당시 CO<sub>2</sub> 농도는 450ppm, 공기의 유속은 500 $\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 맞추었으며 IRGA(infra red gas analyzer) leaf chamber 내의 광원은 사용하지 않고 암상태에서 28°C로 설정하여 측정하였다.

#### (6) 생육 특성 측정 및 통계분석

1차 실험은 2017년 8월 28일까지 처리 12주 후, 2차 실험은 2017년 12월 12일까지 처리 8주 후 생육 특성을 측정하였다. ‘Mantefon’의 생육 특성은 엽장, 엽폭, 엽두께, 엽색, 엽수, leafspan, 지상부와 지하부의 생체중, 건물중, 엽면적을 조사하였다. 엽장과 엽폭, 엽두께, 엽색은 최상위 전개엽을 대상으로 측정하였다. Leafspan은 엽저와 엽선 사이의 길이를 측정하였다. 엽색은 엽록소측정기(SPAD-502plus, Minolta, Japan)를 사용하여 측정하였다. 건물중은 dry oven(DS-80MP-1, Dasol Scientific, Korea)으로 80°C에서 5일간 건조한 후 측정하였다. 엽면적은 엽면적 측정기(WinDIAS 3 Image Analysis System, Delta-T Device Ltd., England, UK)로 조사하였다.

수집된 자료의 통계분석은 SPSS Statistics 프로그램(IBM SPSS Statistics 22, IBM, USA)을 이용하여 Duncan의 다중 검정으로 유의성을 검정하였다.

## 다. 결과 및 고찰

### (1) <실험 1> 배지, 관수방법 및 빈도의 효과

#### (가) Volumetric water content (VWC)

1차 실험에서 각 관수방법과 빈도 별 VWC를 측정하여 2회/일, 1회/일 관수 처리의 경우에는 하루 동안의 VWC 변화를 시간대별로 나타내었고(Fig. 3-1-13A, D), 2회/주, 1회/주 관수 처리의 경우에는 VWC 변화를 관수 후 일별로 나타내었다(Fig. 3-1-13B, C, E, F).

피트모스처리와 수태처리의 VWC 변화를 살펴보면 그 양상이 비슷하였다. 2회/일 또는 1회/일 관수처리의 경우 매트관수에서 40%에서 50% 사이의 VWC를 지속적으로 유지하였다. 2회/주 또는 1회/주 관수의 경우에는 관수 직후부터 다음 관수 직전까지 꾸준히 감소하는 경향을 보였다. 그러나 매트관수의 경우 single과 double 모두에서 VWC가 감소하지 않고 지속적으로 동일한 수치를 유지하였다. 매트관수의 이러한 수분 평형은 배지내의 수분이 증발과 증산, 식물에 의해 손실되더라도 매트로부터 수분이 계속 공급됨에 따라 발생한다. 그리고 토양 공극률, 매트와 공극률, 수분 손실은 매트에 의해 저면관수된 배지에서 유지되는 수분의 양을 결정한다(Snow and Tingey, 1985). 1차 실험에서의 대부분의 매트관수(single, double)는 40% 이상의 VWC를 꾸준히 유지하였다.

#### (나) 배지에 따른 호접란 중간묘의 특성

영양생장 동안 배지에 따른 호접란의 성장 반응을 조사한 결과, 배지처리가 엽장, 엽폭, 엽두께, 엽록소함량(SPAD), 엽수, 엽면적, 그리고 shoot의 생체중 및 건물중에 영향을 주는 것으로 나타났다(Tables 3-1-12, 3-1-13). 배지 간에는 피트모스보다 수태에서 자란 호접란이 전체적으로 양호한 생육특성을 나타내었다. Kim et al.(2016)은 피트모스 배지가 호접란의 잎의 크기, 꽃수, 개화속도에 가장 긍정적인 영향을 준다고 보고하였다. 그러나 본 실험에서는 피트모스보다 수태에서 호접란의 생육이 더 좋았다. 이는 관수빈도차이의 영향으로 보인다. Kim et al.(2016)의 실험에서는 10일에 1회 관수 처리해 주었고 본 실험에서는 1일에 2회에서 7일에 1회까지 관수해 주었다. 따라서 Kim et al.(2016)보다 잦은 관수의 영향으로 피트모스보다 수태에서 호접란의 생육이 좋았던 것으로 보인다.

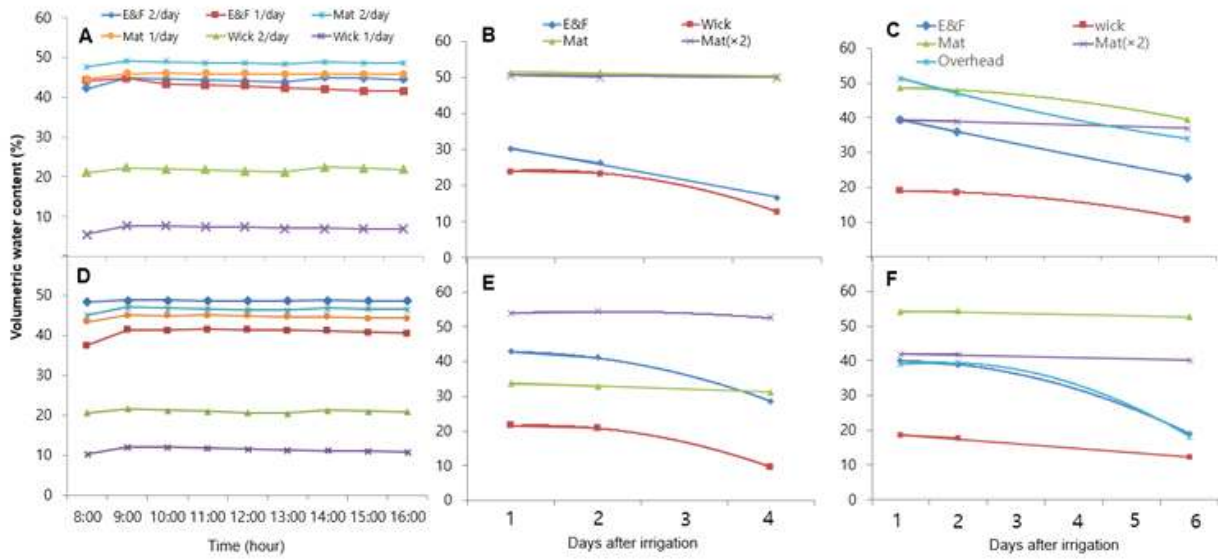


Fig. 3-1-13. The changes in volumetric water content in peat moss (A, B, C) and sphagnum moss (D, E, F) as influenced by irrigation methods (overhead, ebb-and-flow, and mat) and frequencies (once a day, twice a day, once a week, twice a week) in potted *Doritaenopsis* 'Mantefon'. A and D, once and twice a day; B and E, twice a week; C and F, once a week.

수태는 죽은 세포가 얇지만 단단한 세포벽을 가지고 있어 물을 전달하고 모양을 유지하는 데 탁월하다(Puustjarvi, 1977). Yao et al.(2008)에 따르면 피트모스의 공극률이 수태에 비해 훨씬 낮다. 그리고 대부분의 호접란은 착생식물이므로 호접란 재배 시 통기와 수분, 양분의 보유 용량을 고려해야 한다(Wang et al. 2007). 그러므로 피트모스보다 수태가 잦은 관수 처리에도 지하부에 공극률을 적절히 유지할 수 있기 때문에 착생란인 호접란의 생장에 긍정적인 영향을 준 것으로 판단된다.

Table 3-1-12. Growth characteristics of the uppermost mature leaves in *Doritaenopsis* ‘Mantefon’ as influenced by potting media and irrigation methods after 12 weeks of treatment.

Media	Irrigation method	Irrigation frequency	Uppermost mature leaf										
			Length (L, cm)		Width (W, cm)		L:W ratio		Thickness (mm)		Chlorophyll (SPAD)		
Peat moss	Overhead	1/week	10.29	c-h <sup>z</sup>	5.84	b-i	1.76	b-f	1.83	b-i	78.08	e-j	
		Ebb & flow	2/day	8.56	jk	5.47	f-i	1.56	fgh	1.84	b-h	81.23	a-f
			1/day	9.14	g-k	5.84	b-i	1.58	fgh	1.84	b-h	76.06	g-k
			2/week	9.46	f-k	5.84	b-i	1.61	e-h	1.86	b-g	79.74	a-g
	Wick culture	1/week	8.63	ijk	5.48	f-i	1.58	fgh	1.86	b-g	78.32	c-j	
		2/day	10.38	b-h	5.66	e-i	1.82	a-e	1.76	e-j	78.38	c-j	
		1/day	10.30	c-h	5.30	i	1.95	ab	1.65	jk	76.21	g-k	
		2/week	9.00	h-k	5.39	ghi	1.67	d-h	1.69	h-k	75.44	h-k	
	Mat culture (single)	1/week	9.04	h-k	5.42	ghi	1.67	d-h	1.30	l	71.52	l	
		2/day	8.89	h-k	5.46	f-i	1.64	d-h	1.86	b-g	82.02	a-d	
		1/day	8.06	k	5.46	f-i	1.48	h	1.87	b-g	78.11	e-j	
		2/week	9.40	f-k	5.78	c-i	1.63	d-h	1.87	b-g	78.59	b-j	
	Mat culture (double)	1/week	9.40	f-k	5.69	d-i	1.66	d-h	1.75	f-j	74.92	jk	
		2/week	8.00	k	5.38	hi	1.49	gh	1.81	c-i	75.86	h-k	
		1/week	9.09	g-k	5.34	i	1.71	c-f	1.87	b-g	75.33	ijk	
	Sphagnum moss	Overhead	1/week	10.83	a-f	5.94	a-h	1.82	a-e	1.82	b-i	77.51	f-j
Ebb & flow			2/day	10.68	a-g	6.30	abc	1.69	d-h	2.03	a	82.07	abc
			1/day	11.92	ab	6.48	a	1.85	a-d	2.02	a	78.84	b-i
			2/week	11.75	abc	6.00	a-f	1.95	ab	1.93	a-d	81.54	a-e
Wick culture		1/week	11.00	a-f	6.22	a-d	1.77	a-f	2.02	a	80.86	a-f	
		2/day	12.16	a	6.22	a-d	1.95	ab	1.91	a-e	76.67	g-k	
		1/day	10.34	b-h	5.63	e-i	1.83	a-e	1.73	g-j	78.32	c-j	
		2/week	11.61	abc	5.96	a-g	1.95	ab	1.82	b-i	73.33	kl	
Mat culture (single)		1/week	10.21	c-i	5.58	f-i	1.83	a-e	1.58	k	74.91	jk	
		2/day	9.74	d-j	5.71	d-i	1.70	d-h	1.90	a-f	83.18	a	
		1/day	11.12	a-e	6.16	a-e	1.80	a-e	1.96	abc	82.13	ab	
		2/week	11.12	a-e	5.80	c-i	1.93	abc	1.78	d-j	78.29	d-j	
Mat culture (double)		1/week	11.31	a-d	5.70	b-i	1.99	a	1.68	ijk	77.84	e-j	
		2/week	9.68	e-j	5.67	d-i	1.71	c-f	1.87	b-g	81.14	a-f	
		1/week	11.34	a-d	6.38	ab	1.78	a-f	1.97	ab	79.23	b-h	
Significance													
Potting media (A)			***		***		***		***		**		
Irrigation method (B)			**		***		***		***		***		
Irrigation frequency (c)			NS		NS		NS		***		***		
A × B			NS		NS		NS		***		*		
A × C			NS		NS		NS		NS		*		
B × C			***		*		**		***		***		
A × B × C			NS		NS		NS		NS		NS		

<sup>z</sup>Means within columns followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test at p ≤ 0.05. NS, \*, \*\*, \*\*\*, non-significant or significant at p ≤ 0.05, 0.01 and 0.001, respectively.



Table 3-1-13. Growth characteristics of *Doritaenopsis* ‘Mantefon’ as influenced by potting media and irrigation methods after 12 weeks of treatment.

Media	Irrigati on method	Irrigati on freque ncy	Leaf span (cm)		No. of leaves		Total leaf area (cm <sup>2</sup> )		Fresh weight (g)				Dry weight (g)				
									Shoot		Root		Shoot		Root		
Peat moss	Overhe ad	1/week	15.80	b-g <sub>z</sub>	5.44	a-f	155.9	b-e	26.50	a-d	11.28	g	1.83	d-k	1.67	e	
		Ebb & flow	2/day	15.43	d-g	3.78	i-l	93.0	ij	17.17	h-k	15.52	cde	1.52	klm	1.96	a-e
	Wick culture	1/day	16.06	b-g	4.33	g-j	124.2	e-i	21.91	c-j	17.02	abc	1.94	c-j	2.14	ab	
			2/week	15.23	efg	4.33	g-j	111.1	gfi	20.27	e-j	15.64	b-e	1.56	i-m	1.92	a-e
		1/week	15.52	c-g	4.44	gfi	115.2	f-i	20.19	f-j	13.43	d-g	1.74	g-l	1.79	b-e	
			2/day	16.39	b-f	5.89	abc	158.7	a-e	26.30	a-e	14.64	c-f	1.80	e-k	1.68	e
		1/day	17.14	b-e	5.44	a-f	155.0	b-e	23.19	b-h	12.66	efg	1.77	f-l	1.89	a-e	
			2/week	16.08	b-g	5.44	a-f	123.9	e-i	19.22	g-k	12.57	efg	1.33	m	1.78	b-e
			1/week	17.01	b-e	4.89	d-f	143.6	d-g	17.52	g-k	12.57	efg	1.60	h-m	2.04	a-d
		Mat culture (single)	2/day	15.88	b-g	4.00	f-k	104.3	fij	18.36	g-k	16.34	bcd	1.57	i-m	1.92	a-e
			1/day	13.50	g	3.00	l	75.7	j	13.84	k	15.33	cde	1.30	m	1.84	b-e
			2/week	17.13	b-e	4.56	f-i	139.7	d-f	21.36	d-j	16.15	bcd	1.82	d-k	1.92	a-e
			1/week	16.30	b-f	3.78	i-l	167.6	a-d	18.37	g-k	14.71	c-f	1.54	j-m	1.80	b-e
		Mat culture (double)	2/week	14.23	fg	3.38	kl	151.1	c-f	15.90	jk	16.34	bcd	1.38	lm	1.97	a-e
			1/week	15.57	c-g	3.43	jkl	177.9	a-d	16.93	ijk	14.77	c-f	1.60	h-m	1.92	a-e
			Overhe ad	1/week	16.93	b-f	5.67	a-e	155.3	b-e	25.84	a-f	11.91	fg	1.82	d-k	1.68
Sphag num moss	Ebb & flow	2/day	16.70	b-f	5.11	b-g	158.8	a-e	28.27	ab	15.29	cde	2.00	b-h	1.87	a-e	
		1/day	18.18	a-e	5.78	a-d	168.3	a-d	30.39	a	18.87	ab	2.31	abc	1.92	a-e	
		2/week	16.73	b-f	5.75	a-d	175.8	a-d	30.39	a	16.55	bcd	2.09	a-g	1.75	cde	
		1/week	16.89	b-f	6.11	a	191.1	ab	31.72	a	17.20	abc	2.40	a	2.06	abc	
	Wick culture	2/day	18.22	abc	6.22	a	193.7	a	30.86	a	15.66	b-e	2.19	a-e	1.83	b-e	
		1/day	17.42	b-e	6.00	ab	157.6	a-e	23.23	b-h	10.75	g	1.83	d-k	1.83	b-e	
		2/week	20.08	a	6.11	a	182.9	abc	30.14	a	10.92	g	2.05	a-g	1.76	cde	
		1/week	17.72	a-e	6.11	a	153.4	b-e	21.19	d-j	11.06	g	1.87	d-k	1.94	a-e	
	Mat culture (single)	2/day	16.93	b-f	5.00	c-g	126.4	e-i	22.93	b-i	16.50	bcd	1.77	f-l	1.79	b-e	
		1/day	16.71	b-f	5.11	b-g	154.0	b-e	27.76	abc	17.49	abc	2.16	a-f	1.93	a-e	
		2/week	17.30	b-e	5.56	a-e	155.1	b-e	23.58	b-g	15.65	b-e	1.96	b-i	1.82	b-e	
		1/week	18.36	ab	5.44	a-f	167.6	a-d	26.24	a-f	15.62	b-e	1.96	b-i	1.98	a-e	
Mat culture (double)	2/week	15.94	b-g	4.78	e-f	151.1	c-f	26.36	a-e	17.31	abc	2.22	a-d	2.07	abc		
	1/week	16.90	b-f	5.67	a-e	177.9	a-d	30.82	a	19.91	a	2.34	ab	2.22	a		

Significance

Potting media (A)	***	***	***	***	NS	***	NS
Irrigation method (B)	**	***	***	***	***	*	**
Irrigation frequency (c)	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS
A × B	NS	***	***	***	*	*	NS
A × C	NS	***	NS	NS	NS	NS	NS
B × C	NS	**	***	***	**	**	NS
A × B × C	NS	NS	***	**	NS	NS	NS

<sup>2</sup>Means within columns followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test at  $p \leq 0.05$ .

NS, \*, \*\*, \*\*\*, non-significant or significant at  $p \leq 0.05$ , 0.01 and 0.001, respectively.

### (다) 엽록소 형광

엽록소 형광값(Fv/Fm)은 제2광계(photosystem II)의 광화학 반응을 나타내며 일반적으로 0.79~0.84이 정상범위이다(Kitajima, Butler, 1975; Baker, 2008). Ryegrass, sorghum, *Annona squamosa*에서 Fv/Fm 값은 염분이 높을 때 또는 수분 함량이 낮을 때 감소하였다(Chechin, 1998).

1차 실험에서 Fv/Fm은 0.73~0.84 범위였다(Fig. 3-1-14). 심지관수구에서 주 1회 관수 처리에서 가장 낮은 값이 나타났는데, 이는 심지관수구에서 주 1회 관수가 호접란에 스트레스를 준 것으로 보인다. VWC는 심지 처리구에서 20% 이하의 낮은 값을 보여주었다(Fig. 3-1-14). 심지 처리의 주 1회 관수처리구에서 낮은 VWC로 인해 수분 스트레스를 야기하여 Fv/Fm 값이 감소한 것으로 보인다.

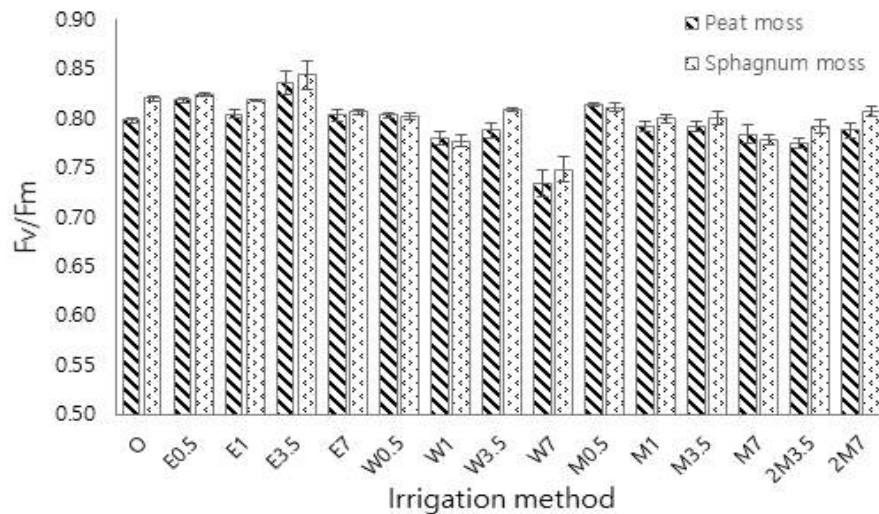


Fig. 3-1-14. Effects of potting media and irrigation methods after 12 weeks on maximum photochemical efficiency (Fv/Fm) of *Doritaenopsis* ‘Mantefon’ plants. Vertical bars represent standard error (n = 9). O, overhead; M, mat culture; E0.5, E1, E3.5 and E7, ebb-and-flow at irrigation 0.5/day, 1/day, 1/3.5day and 1/7day (times per day); W0.5, W1, W3.5 and W7, wick culture at irrigation 0.5/day, 1/day, 1/3.5day and 1/7day (times per day), respectively.

## (2) <실험 2> 수태배지에서 관수방식 및 빈도의 효과

### (가) Volumetric water content(VWC)

저면관수의 방법과 빈도별 VWC를 측정된 결과(Fig. 3-1-15)를 보면, 관수 빈도별로는 1회/일 관수 시 담배수관수와 심지관수 모두에서 40%에서 50% 사이를 유지하였다. 1회/2일 관수 시 담배수관수는 40%에서 30% 사이의 증가와 감소를 2일마다 반복하는 곡선을 나타내었고,

심지관수는 담배수관수에 비해 VWC가 5% 감소하였지만 동일한 양상을 나타내었다.

2회/주 관수 시 담배수관수는 관수 직후 40%에서 다음 관수 직전 30%까지 감소하는 양상을 반복하였다. 심지관수는 담배수관수에 비해 10% 정도 낮은 수준이었지만 동일한 양상을 나타내었다.

1회/주 관수 시 담배수관수는 관수 직후 VWC가 40%에서 다음 관수 직전 20%까지 감소하였고, 심지관수는 관수 직후 30%에서 10%까지 감소하였다. 매트관수는 50%를 꾸준히 유지하다가 관수 5일 후부터 감소하기 시작하여 40%까지 감소하였다. 두상관수는 관수 직후 40%에서 20%까지 감소하였다.

여러 연구들에서 일정한 수분체제를 유지하는 것은 수분 스트레스를 방지하는 데 중요하다(Toth et al., 1988). 그러나 충분한 수분함량 범위 내에서 수분 함량의 변동은 뿌리 호흡에 민감한 식물의 성장을 유도할 수 있다(Oh, 2003).

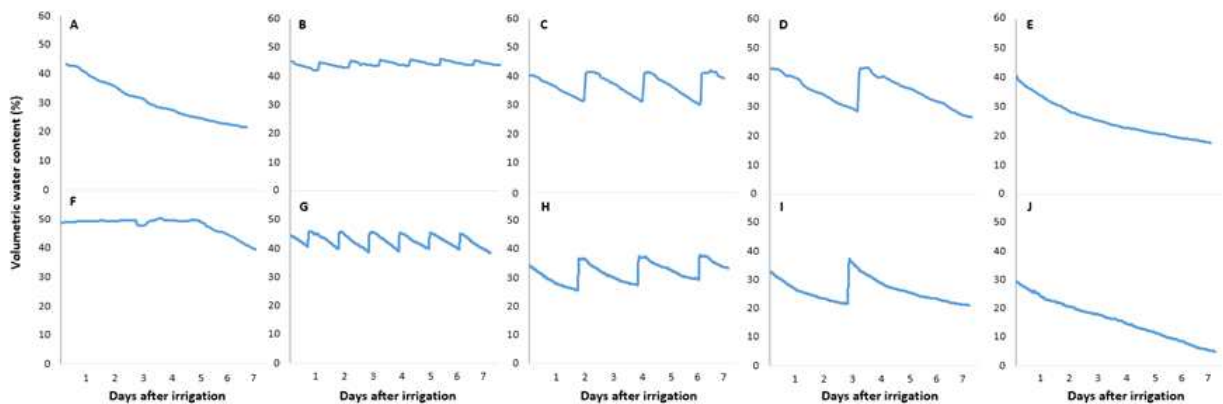


Fig. 3-1-15. The changes in volumetric water content in sphagnum moss as influenced by irrigation methods (overhead, ebb-and-flow, and mat) and frequencies (once a day, once two days, once a week, twice a week) in potted *Doritaenopsis* 'Mantefon'. A, overhead; B, C, D, E, ebb-and-flow; F, mat culture; G, H, I, J, wick culture.

#### (나) 관수방법 및 관수빈도에 따른 호접란 중간묘의 특성

2차 실험의 결과 역시 관수방법끼리 비교하기 위해서 관수방법 별로 가장 호접란의 생장이 좋은 빈도를 구명하였다. 담배수관수는 2일에 1회 관수처리에서 leafspan과 최상위엽의 길이 및 두께, 총엽면적, shoot의 생체중에서 가장 높은 값이 나타났고, 심지관수에서는 하루 1회 관수 처리에서 leafspan과 최상위엽의 엽장, 엽록소함량(SPAD), 엽면적에서 가장 높은 값이 나타났다(Table 3-1-14, 3-1-15). 그리고 이를 가지고 관수방법끼리 호접란 생육을 비교한 결과 매트관수에서 생장이 가장 안 좋았고, 담배수관수에서 가장 생장이 좋았다. 매트관수에서 호접란의 생장이 가장 좋지 않은 결과는 1차실험과 같은 결과이며, 이유 또한 동일하다고

생각된다. 담배수관수에서 가장 좋은 호접란의 생장을 보여주는데 이는 담배수관수에서 호접란을 재배할 때 생체중, 건물중, 엽장, 신엽수, spike의 길이, 꽃의 수에서 높은 값을 나타냈다는 Lee and Lee(2004)의 보고와 유사하였다. Hwang et al.(2003)은 담배수관수가 기존의 관행적인 상업적 생산방법인 고체비료를 사용한 두상관수와 비교하여 균일한 개화를 유도하고 물, 노동력, 전기를 절약한다고 보고하였다.

담배수관수의 2일에 1회 관수처리의 VWC결과를 살펴보면 2일 간격으로 수분 함량의 변동이 있었다. 충분한 수분 함량 범위 내에서 수분 함량의 변동은 뿌리 호흡에 민감한 식물의 생장을 유도 할 수 있다(Oh, 2003). 따라서 담배수관수의 2일 간격으로 40~30% 사이로 변동하는 VWC가 호접란의 뿌리 호흡에 긍정적인 영향을 주어 가장 좋은 생장을 보여 준 것으로 생각 된다.

결론적으로 담배수관수는 호접란의 생장을 촉진하며 물, 노동력, 전기를 절약하여 생산비를 절약할 수 있는 방법으로 보인다.

Table 3-1-14. Growth characteristics of the uppermost mature leaves in *Doritaenopsis* ‘Mantefon’ as influenced by potting media and irrigation methods after 8 weeks of treatment.

Irrigation method	Irrigation frequency	Uppermost mature leaf								
		Length (cm)		Width (cm)		Thickness (mm)	SPAD	Leaf area (cm <sup>2</sup> )		
Overhead	1/week	8.97	bcd <sup>2</sup>	5.31	ab	2.01	70.42	c	40.25	cd
Mat culture	1/week	9.38	a-d	5.31	ab	2.10	77.43	a	34.49	d
Ebb&flow	1/day	8.02	e	4.91	c	2.12	76.12	a	35.24	d
	1/2day	10.12	a	5.63	a	2.27	77.16	a	51.94	a
	2/week	9.77	abc	5.29	ab	2.07	74.34	abc	46.98	ab
	1/week	9.44	a-d	5.38	ab	2.08	73.26	abc	46.78	ab
Wick culture	1/day	9.90	ab	5.31	ab	2.03	75.89	a	48.01	ab
	1/2day	9.38	a-d	5.31	ab	2.10	75.46	ab	43.06	bc
	2/week	8.81	de	5.36	ab	2.14	74.49	abc	43.42	bc
	1/week	8.94	cd	5.08	bc	2.04	71.34	bc	39.96	cd
Significance										
Irrigation method (A)		NS		NS		NS		**		**
Irrigation frequency (B)		NS		*		NS		*		*
A × B		***		**		NS		NS		***

<sup>2</sup>Means within columns followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test at p ≤ 0.05.

NS, \*, \*\*, \*\*\*, non-significant or significant at p ≤ 0.05, 0.01 and 0.001, respectively.

Table 3-1-15. Growth characteristics of *Doritaenopsis* 'Mantefon' as influenced by potting media and irrigation methods after 8 weeks of treatment.

Irrigation method	Irrigation frequency	Leaf span (cm)	No. of leaves	No. of new leaves	Total leaf area (cm <sup>2</sup> )	Fresh weight (g)				Dry weight (g)					
						Shoot		Root		Shoot		Root			
Overhead	1/week	17.51	b	6.11	1.56	150.00	bc	20.11	de	10.27	abc	1.54	de	1.39	a
Mat culture	1/week	17.72	b	5.67	1.33	120.99	d	17.90	e	7.03	d	1.39	e	0.99	b
Ebb&flow	1/day	15.62	c	5.67	1.56	138.99	cd	21.30	cd	9.44	bc	1.65	bcd	1.43	a
	1/2day	19.16	ab	6.11	1.56	182.61	a	28.17	a	11.99	a	1.99	a	1.48	a
	2/week	18.90	ab	6.89	1.67	176.46	a	26.18	ab	10.36	abc	1.87	ab	1.41	a
Wick culture	1/week	17.86	b	6.44	1.89	165.22	ab	23.81	bc	11.28	abc	1.62	cde	1.43	a
	1/day	19.84	a	6.00	1.78	164.05	ab	23.39	bc	10.13	abc	1.78	abc	1.17	ab
	1/2day	17.72	b	5.78	1.78	147.88	bc	21.95	cd	10.24	abc	1.56	cde	1.27	ab
	2/week	18.68	ab	6.11	1.22	162.28	ab	23.70	bc	11.49	ab	1.68	bcd	1.35	a
	1/week	18.11	ab	6.33	1.67	145.83	bc	19.73	de	9.10	c	1.53	de	1.34	a
Significance															
Irrigation method (A)		NS	NS	NS	***	***	***	**	*	*	***	*	*	***	***
Irrigation frequency (B)		NS	NS	NS	*	**	**	NS	*	*	NS	*	*	NS	NS
A × B		***	NS	NS	***	**	**	*	*	*	**	**	**	NS	NS

<sup>a</sup>Means within columns followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test at  $p \leq 0.05$ . NS, \*, \*\*, \*\*\*, non-significant or significant at  $p \leq 0.05$ , 0.01 and 0.001, respectively.

#### (다) 엽록소 형광

2차 실험에서는 엽록소 형광 측정의 결과, Fv/Fm이 0.77에서 0.82 사이의 값을 나타내었다(Fig. 3-1-16). 특히 심지관수 주 1회 관수 처리구에서 가장 낮은 값을 나타내었는데, 이는 1차 실험결과와 동일하였다. 2차실험에서 VWC는 1차실험보다 높은 30%에서 출발하나 관수 2일 후부터는 20%로 떨어지게 되며 관수 직전까지 꾸준히 감소하여 10% 이하까지 감소하였다. 따라서 수분 스트레스로 인해 엽록소형광 값이 낮게 나타난 것으로 보인다(Chechin, 1998).

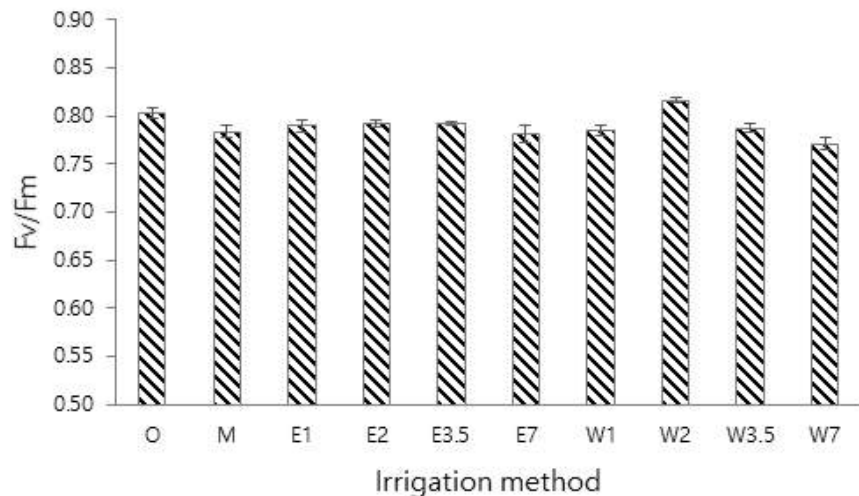


Fig. 3-1-16. Effects of irrigation methods on the maximum photochemical efficiency ( $F_v/F_m$ ) of *Doritaenopsis* 'Mantefon' plants after 8 weeks of treatment. Vertical bars represent standard error (n = 9). O, overhead; M, mat culture; E1, E2, E3.5 and E7, ebb-and-flow at irrigation 1/day, 1/2day, 1/3.5day and 1/7day (times per day); W1, W2, W3.5 and W7, wick culture at irrigation 1/day, 1/2day, 1/3.5day and 1/7day (times per day), respectively.

### (라) 광합성 분석

2차 실험에서 관수방법 및 관수빈도 별로  $CO_2$  흡수량은 1.7에서  $3.5 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 를 나타내었다(Fig. 3-1-17). 심지관수 1회/일에서 가장 높은 값이 나타났고, 두상관수와 매트관수에서 낮은 값이 나타났다. 광합성 측정결과는 다른 성장결과와 비슷하게 담배수관수에서  $CO_2$  흡수량이 가장 높은 처리는 1회/1회 관수처리였고, 심지관수에서는 하루 1회관수 처리에서 높은 값이 나타났다. CAM 식물인 *Kalanchoe tabiflora*의 경우 유효수분 감소할 때  $CO_2$  흡수가 감소하였다(Rabas and Martin, 2003). 따라서  $CO_2$  흡수가 가장 낮았던 두상관수와 매트관수는 다른 처리구보다 유효수분이 충분히 공급되지 않았음을 의미하고,  $CO_2$  흡수량이 가장 많았던 심지관수에서 하루 1회관수 처리구는 유효수분이 충분히 공급되었다고 볼 수 있다.

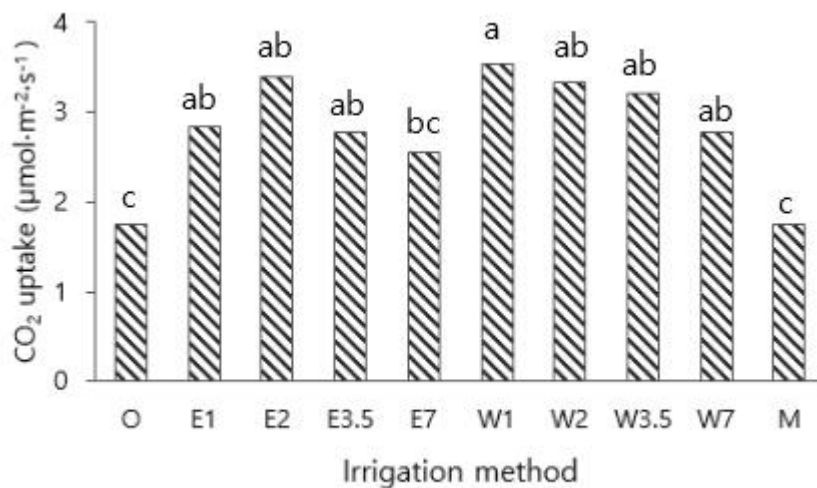


Fig. 3-1-17. Effects of irrigation methods on  $CO_2$  uptake of *Doritaenopsis* 'Mantefon' plants after 8 weeks of treatment. O, overhead; M, mat culture; E1, E2, E3.5 and E7, ebb-and-flow at irrigation 1/day, 1/2day, 1/3.5day and 1/7day (times per day); W1, W2, W3.5 and W7, wick culture at irrigation 1/day, 1/2day, 1/3.5day and 1/7day (times per day), respectively.

#### 4. 호접란 밀폐형 식물생산시스템 적용을 위한 지하부 환경조절기술 체계 확립

Table 3-1-16. 호접란 유묘 생산을 위한 밀폐형 식물생산시스템의 지하부 환경조건

항목		내용	비고
배지		수태 분재배	무배지는 적용 곤란
관수방식		담배수관수(ebb-and-flow)	
		심지재배	병발생 가능성 있을 경우
관수주기		EBB : 2일 1회 10분간 2cm 담수	VWC 30~40%
		심지재배 : 1일 1회(1시간)	
양액	조성	Ichihashi 양액	Peters(20-20-20)도 가능
	EC	EC $1.4 \pm 0.1 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$	
	pH	$6.3 \pm 0.1$	
지상부 조건 (식물생산시스템 내)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 온도 <math>28 \pm 0.5^\circ\text{C}</math>(영양생장)</li> <li>- 상대습도 <math>70 \pm 5\%</math></li> <li>- 광 : warm-white LED PPFD <math>150 \pm 10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}</math> 12시간(06:00-18:00) 명기</li> </ul>	

## <제1협동과제>

### 1. 인공 광원을 활용한 호접란 광 환경 조절을 위한 테스트 베드 제작

밀폐형 시스템 내에서의 다단식 재배는 인공광원을 활용하여 광질, 광도, 일장의 조절이 가능하다는 장점이 있다. 따라서 호접란 생육에 적합한 광환경을 조사하기 위해 이를 위한 테스트 베드를 제작하였다. 실험이 최대한 실제 밀폐형 시스템 내에서의 재배와 유사하게 진행될 수 있도록 항온항습 시설 내에 테스트 베드를 설치하였다. 테스트 베드는 베드 내 광분포가 균일하도록 설계하였으며, 각 베드에는 두 가지 서로 다른 광 처리가 가능하도록 구분하였다. 총 9개의 베드를 제작하여 한 번에 18개의 서로 다른 처리가 가능하도록 하였다. 또한 베드마다 광도, 일장 복합 조절이 가능하도록 타이머(timer)와 디머(dimmer)를 설치하였다. 따라서 총 18가지의 광질, 광도, 일장 복합 조절이 가능한 다단식 재배 베드를 제작하여 연구에 활용하였다(Fig. 3-2-1, 3-2-2). LEDs, 형광등 등의 인공광원에서 발생하는 열로 인해 처리 간 온도 불균형이 발생하는 것을 방지하기 위해 베드 마다 환기팬을 설치하였다. 테스트 베드 설치 후에는 온, 습도 데이터 로거를 이용하여 테스트 베드 내 온, 습도 및 광환경이 균일하게 유지되는 것을 확인할 수 있었다.

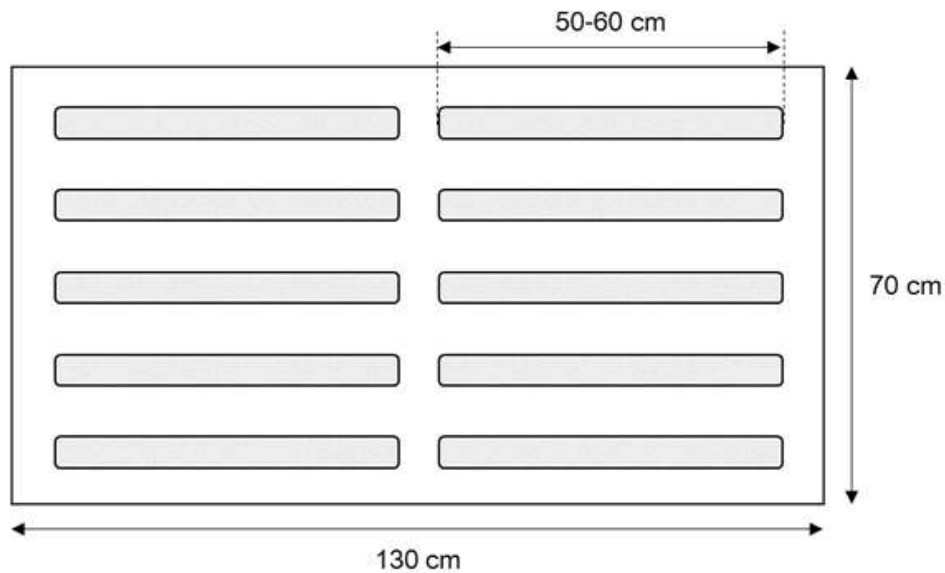


Fig. 3-2-1. Schematic design for installation of experimental beds to control light conditions in a closed plant production system.





Fig. 3-2-2. Experimental beds for controlling light conditions in a closed plant production system.

## 2. 호접란 영양생장 촉진을 위한 최적 광질 환경 구명

호접란은 약 66여종의 종을 포함하는 난과 식물 속으로 꽃의 수명이 길고 화색이 다양하며 화기 구조가 독특하다는 점에서 가장 인기 있는 화훼 작물 중 하나로 알려져 있다(Chen 와 Chen, 2011; Christenson, 2001). 독일, 일본, 네덜란드, 대만, 미국 등 다양한 나라에서 재배되고 있으며(De 외, 2014), 우리나라에서도 주요 화훼 작물로 재배되고 있다. 상품성 있는 호접란을 재배하기 위해서는 12개월 이상의 재배 기간이 필요하며, 호접란이 고온성 작물이라는 점에서 사계절이 뚜렷한 우리나라에서는 가을, 겨울철 온실 난방비가 주요 농가 지출 중 하나이다.

호접란의 긴 재배 특성, 높은 생산 비용 때문에 최근 재배 기간을 단축시키고 난방비를 절감하는 방법에 대한 연구개발이 많이 이루어지고 있다. 밀폐형 식물생산시스템은 환경을 정밀하게 조절할 수 있으며(Kozai, 2007), 외부 환경과는 상관없이 식물 생육에 적합한 환경을 만들 수 있으면서 고품질의 상품을 생산할 수 있다는 장점이 있다. 호접란은 광 요구도가 낮은 작물로 인공 광원으로든 생육에 충분한 광량을 조사할 수 있으며, 재식 밀도가 높으며 줄기가 짧다는 점에서 다단식 재배에 용이한 작물이라 할 수 있다. 따라서 호접란의 식물학적 특성은 밀폐형 시스템에서의 인공 광원을 활용한 다단식 재배가 요구하는 특성과 잘 부합하기 때문에 호접란 재배에 밀폐형 시스템을 도입하는 것이 재배 기간을 단축시키며 고품질의 묘를 생산할 수 있는 새로운 재배법으로 활용될 수 있다.

밀폐형 시스템에서의 다단식 재배를 위해서는 식물 생장에 적합한 인공 광원을 선발하는 것이 중요하다. 최근 LEDs를 사용한 식물재배가 많아지고 있는데, LEDs는 식물체 가까이 설치할 수 있으며, 광질과 광도를 쉽게 조절할 수 있다는 장점이 있다. 또한 특정 파장대의 광선을 이용할 수 있으며 에너지 효율성이 높고 수명이 길다는 장점도 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 밀폐형 시스템 내에서 호접란을 재배할 때 LEDs를 인공 광원으로 사용한다는 가정에서 호접란 생육에 적합한 광질을 구명하는 것을 목표로 설정하였다. 이를 위해 먼저 LEDs가 호접란 생육에 적합한 광원인지 알아보기 위해 세 가지 주요 광원을 비교하는 실험을 진행하였으며, 이후 파장대를 달리 적용해보면서 최적의 광질을 구명하기 위해 후속 실험들을 진행하였다.

## 가. 호접란 생장에 적합한 인공 광원 선발

### (1) 재료 및 방법

배양 후 1개월이 지난 호접란 ‘Blanc Rouge’, ‘Mantefon’ 품종의 유묘를 농가로부터 구입하여 실험 전까지 밀폐형 시스템 내에서 순화 과정을 거쳤다. 순화 환경은 온도 28°C, 상대습도 60%, 일장 12시간으로 유지하였으며, 처리가 들어갈 당시 식물체의 폭이 각각 평균 9.7, 11.9cm이었다. 처리를 위해서 세 가지 광원(형광등, cool-white LEDs, warm-white LEDs)을 선발하였다. 광도에 따른 광질 효과 차이를 고려하여 처리 시 80, 160  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 두 가지 광도에서의 효과를 확인하였다. 세 광원의 파장별 비율(blue:green:red:far-red)은 각각 1:1.3:0.8:0.1, 1:1.3:0.6:0.1, 1:2.7:2.3:0.4로 조사되었고(Fig. 3-2-3), 광질 측정을 위해서는 spectroradiometer(StellarNet, Tampa, FL, USA) 기기가 사용되었다. 일장은 처리 전과 동일하게 12시간으로 유지하였다. 충분한 생육 반응을 알아보기 위해 처리는 총 16주 간 유지되었다.

광질 차이에 대한 생육 반응을 알아보기 위해 엽록소 형광 측정을 진행하였으며 측정에는 PAM-2000(Heinz Walz, Effeltrich, Germany)이 사용되었다. Fo(minimal fluorescence), Fm(maximum fluorescence)을 통해, Fv/Fm(maximal quantum efficiency of PSII)를 측정하였으며, Fv값은 ‘Fv = Fm - Fo’의 계산을 통해 구하였다. 성장 지표로 신엽수, 식물체 폭, 엽장, 엽폭, 생체중, 건물중, SPAD value를 활용하였고, 생체중, 건물중은 실험 종료 시점에 조사하였으며 나머지 지표는 4주마다 조사하였다. 측정값은 SAS 9.3 version을 이용하여 통계 분석하였으며, ANOVA 분석과 Duncan’s multiple range test 사후분석을 진행하였다.

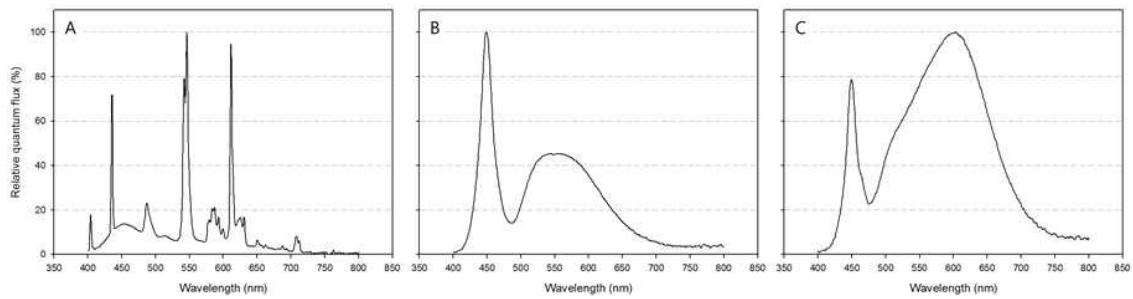


Fig. 3-2-3. Relative spectral distributions of the fluorescent lamps (A), cool-white light-emitting diodes (LEDs) (B), and warm-white LEDs (C) used in this study.

## (2) 결과 및 고찰

두 품종 모두에서  $160 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 높은 광도에서 생장이 촉진되는 경향이 나타났다 (Table 3-2-1, Fig. 3-2-4). 대부분의 지표에서 광도와 광질 간의 상호작용은 관찰되지 않았다. 따라서 광도와 광질은 호접란 생육에 독립적으로 작용하였다고 볼 수 있다. 광도 증가에 따른 생육 촉진은 많은 연구에서 보고된 바 있으며 (Guo 외, 2012; Konow와 Wang, 2001; Kubota와 Yoneda, 1993; Lin와 Hsu, 2004; Lootens와 Heursel, 1998; Wang, 1995b), 본 연구의 광량에 대한 반응을 알아보는 실험에서도 비슷한 결과가 관찰되었다.

광원에 따른 생육을 비교해 보았을 때에는 warm-white LEDs 하에서의 성장량이 가장 높았으며, 형광등, cool-white LEDs 순으로 높은 성장량이 나타났다 (Table). 이는 광원에 따라 광질 특성이 다르기 때문으로, warm-white LEDs, 형광등, cool-white LEDs 순으로 적색광 비율이 높다는 점에서 적색광 비율과 호접란의 성장량 사이에 밀접한 연관이 있음을 알 수 있다. 일반적으로 적색광이 식물 성장에 가장 중요한 파장대인 것으로 알려져 있는데, 국화, 임파첸스, 상추, 페츄니아, 셀비어, 토마토 등의 다른 작물에서도 적색광이 성장에 밀접한 연관이 있다고 보고된 바 있다 (Khattak와 Pearson, 2006; Son와 Oh, 2013; Wollaeger와 Runkle, 2014).

정상적인 식물체 잎은 0.8~0.83 사이의 Fv/Fm 값을 보인다 (Lin와 Hsu, 2004; Maxwell와 Johnson, 2000). 본 실험에서는 0.77~0.81로 두 품종 모두 처리에 상관없이 비슷한 값을 나타내었다 (Fig. 3-2-6). 하지만 청색광 비율이 높은 광원들 (형광등, cool-white LEDs)에서 값이 약간 높게 나타났는데, 이는 청색광이 광합성 순화에 관여하기 때문으로 알려져 있기 때문인 것으로 예상된다 (Anderson 외, 1995; Walters, 2005). 따라서 추후 호접란 생육에 적합한 광질을 구명할 때 청색광에 대한 고려도 필요한 것으로 판단된다.

적색광 비율이 높은 warm-white LEDs가 형광등과 cool-white LEDs에 비해 호접란 생육에 더 적합한 광원으로 조사되었다. 하지만 본 실험에서는 세 가지 광원을 단순 비교했다는 점

에서 호접란 생육에 가장 적합한 광질이 warm-white LEDs가 가진 광질이라 할 수는 없다. 또한 적색광 비율이 높을수록 호접란 생육이 촉진되는 경향이 나타났으므로 warm-white LEDs 보다 적색광 비율이 높은 광질 환경에서 생장이 더 촉진될 수 있을 것이라 예상할 수 있다. 따라서 본 실험에서의 결과를 바탕으로 여러 가지 광질 환경을 설정하여 호접란 생육에 더 적합한 광질을 찾는 연구가 필요할 수 있다.

Table 3-2-1. Vegetative growth of young *Phalaenopsis* ‘Blanc Rouge’ and ‘Mantefon’ plants after 16 weeks of photo-treatments.

Light treatments	No. of new leaves	Leaf span (cm)	Uppermost mature leaf (cm)		Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
			Length	Width	Shoot	Root	S/R ratio	Shoot	Root	S/R ratio
<i>Phalaenopsis</i> ‘Blanc Rouge’										
F <sub>80</sub> <sup>z</sup>	1.86 a	13.10 ab <sup>y</sup>	7.51 abc	3.04 b	6.33 a	4.26 c	1.51 a	0.31 a	0.34 c	0.94 a
F <sub>160</sub>	2.00 a	12.81 b	7.71 abc	3.17 ab	6.39 a	6.74 ab	0.98 bc	0.35 a	0.61 b	0.58 b
C <sub>80</sub>	2.20 a	12.44 b	6.88 c	3.07 b	6.07 a	5.26 bc	1.18 b	0.30 a	0.36 c	0.85 a
C <sub>160</sub>	2.00 a	13.18 ab	7.18 bc	3.20 ab	6.13 a	6.74 ab	0.92 bc	0.33 a	0.52 b	0.65 b
W <sub>80</sub>	2.00 a	13.55 ab	7.92 ab	3.08 ab	6.09 a	4.19 c	1.49 a	0.33 a	0.33 c	1.05 a
W <sub>160</sub>	2.00 a	14.16 a	8.28 a	3.34 a	6.21 a	8.51 a	0.75 c	0.36 a	0.78 a	0.48 b
Significance										
Light quality (LQ)	NS	*	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Light intensity (LI)	NS	NS	NS	*	NS	***	***	NS	***	***
LQ × LI	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	*
<i>Phalaenopsis</i> ‘Mantefon’										
F <sub>80</sub>	1.50 abc	13.78 ab	8.48 abc	4.22 a	9.70 a	4.75 c	2.06 a	0.56 b	0.60 c	0.93 bc
F <sub>160</sub>	1.17 c	14.17 ab	7.50 bc	4.17 a	9.80 a	8.79 a	1.12 c	0.63 ab	1.14 a	0.56 d
C <sub>80</sub>	2.00 a	12.32 c	7.40 bc	3.70 b	10.22 a	6.42 bc	1.66 b	0.61 b	0.48 c	1.29 a
C <sub>160</sub>	1.30 ab	13.08 bc	7.30 c	3.82 ab	9.20 a	7.55 ab	1.24 c	0.60 b	0.92 b	0.66 d
W <sub>80</sub>	1.29 ab	14.26 ab	9.23 a	4.09 ab	10.31 a	5.41 c	1.92 ab	0.60 b	0.55 c	1.11 ab
W <sub>160</sub>	1.83 ab	15.03 a	8.62 ab	4.15 a	10.84 a	8.69 a	1.27 c	0.74 a	1.05 ab	0.72 cd
Significance										
Light quality (LQ)	NS	**	**	*	NS	NS	NS	NS	NS	*
Light intensity (LI)	NS	NS	*	NS	NS	***	***	*	***	***
LQ × LI	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup>F<sub>80</sub>, fluorescent lamps at 80  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; F<sub>160</sub>, fluorescent lamps at 160  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; C<sub>80</sub>, cool-white LEDs at 80  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; C<sub>160</sub>, cool-white LEDs at 160  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; W<sub>80</sub>, warm-white LEDs at 80  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; W<sub>160</sub>, warm-white LEDs at 160  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .

<sup>y</sup>Means (n = 8) within columns for each cultivar followed by different letters are significantly different by Duncan’s multiple range test at  $p \leq 0.05$ .

NS, \*, \*\*, \*\*\*; non-significant or significant at  $p \leq 0.05, 0.01, \text{ or } 0.001$ , respectively.

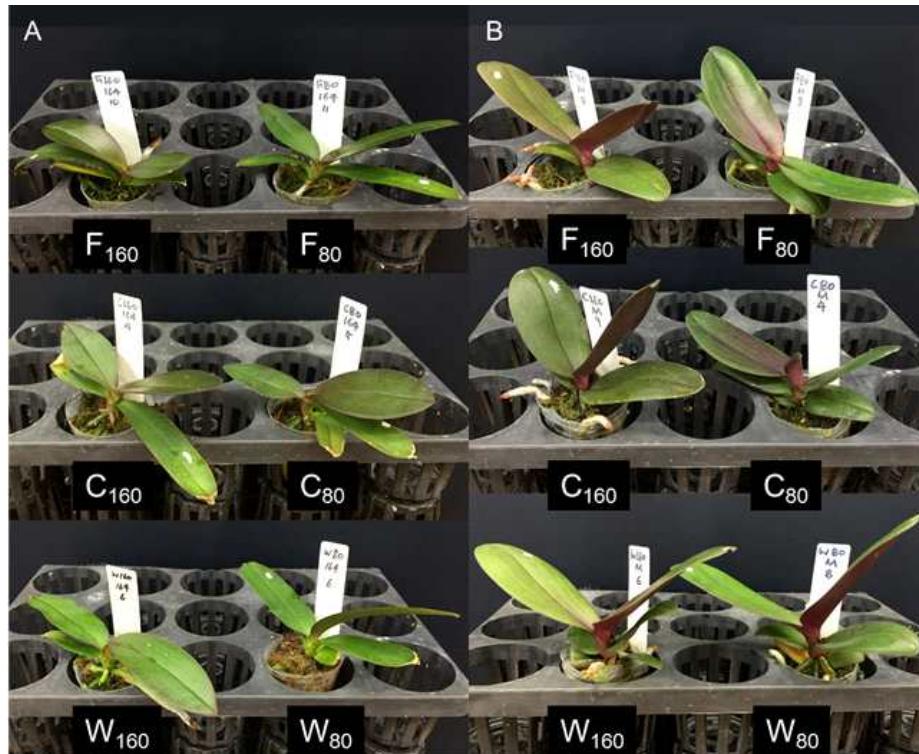


Fig. 3-2-4. Vegetative growth of young *Phalaenopsis* ‘Blanc Rouge’ (A) and ‘Mantefon’ (B) plants after 16 weeks of photo-treatments. F<sub>80</sub>, fluorescent lamps at 80  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; F<sub>160</sub>, fluorescent lamps at 160  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; C<sub>80</sub>, cool-white LEDs at 80  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; C<sub>160</sub>, cool-white LEDs at 160  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; W<sub>80</sub>, warm-white LEDs at 80  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; W<sub>160</sub>, warm-white LEDs at 160  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .

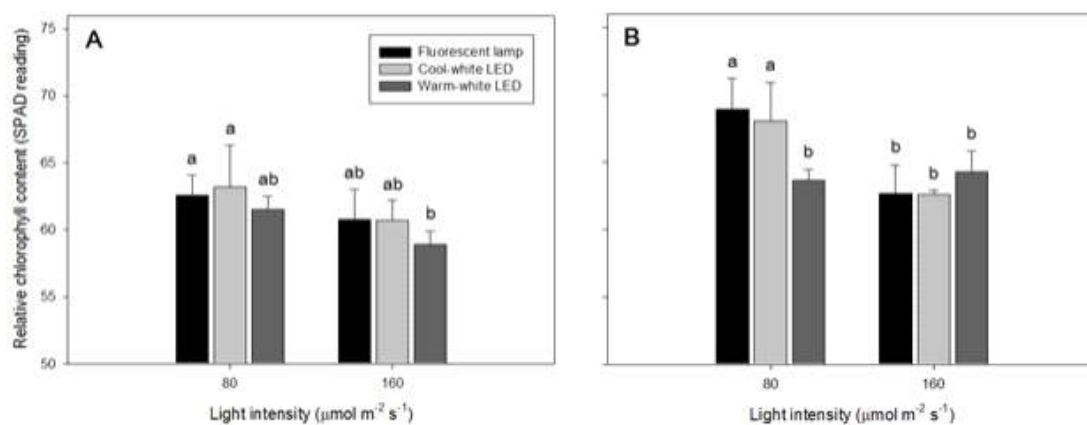


Fig. 3-2-5. Relative chlorophyll content (SPAD value) of young *Phalaenopsis* ‘Blanc Rouge’ (A) and ‘Mantefon’ (B) plants after 16 weeks of photo-treatments. The data shown are the mean  $\pm$  SE (n = 8). Differences were considered significant at  $p \leq 0.05$ .

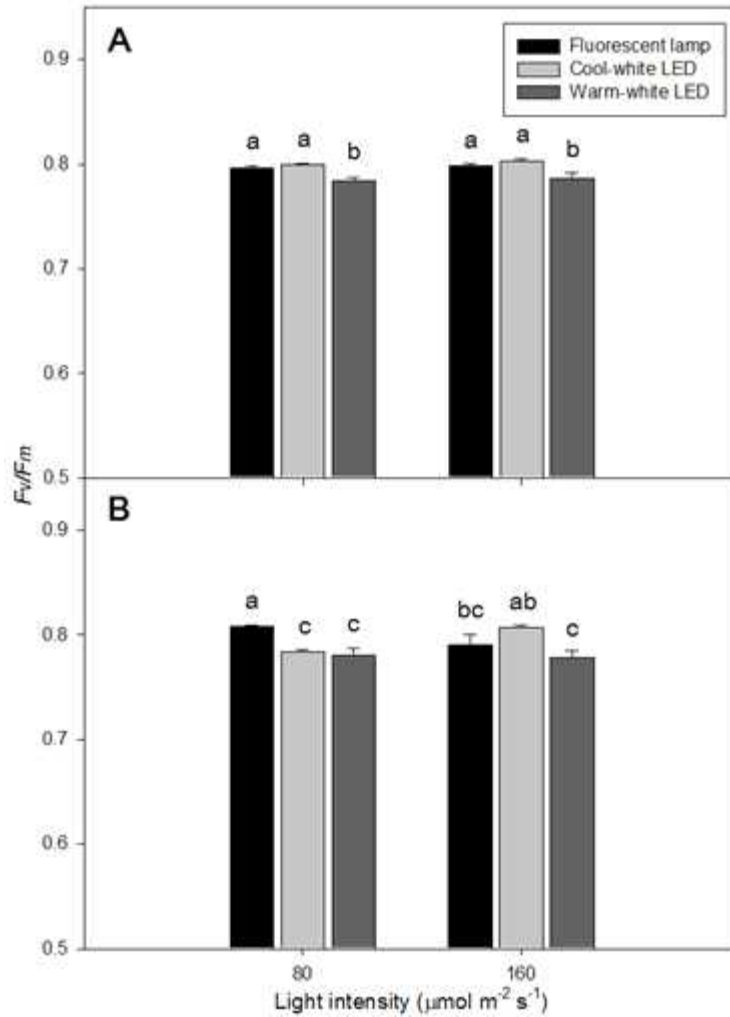


Fig. 3-2-6. Maximum quantum efficiency of photosystem II ( $F_v/F_m$ ) of the uppermost mature leaves of young *Phalaenopsis* 'Blanc Rouge' (A) and 'Mantefon' (B) plants after 16 weeks of photo-treatments. The data shown are the mean  $\pm$  SE ( $n = 6$ ). Differences were considered significant at  $p \leq 0.05$ .

## 나. 청색광, 적색광 비율에 따른 호접란 생육 반응 비교

### (1) 재료 및 방법

배양 후 1개월이 지난 호접란 'Mantefon' 품종의 유묘를 농가로부터 구입하여 실험 전까지 밀폐형 시스템 내에서 순화 과정을 거쳤다. 순화 환경은 온도 28°C, 상대습도 60%, 일장 12시간, 광도  $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 유지하였다. 청색광, 적색광 LEDs를 이용하여 청색광: 적색광 비율이 각각 100:0, 50:50, 25:75, 0:100이 되도록 처리구를 구성하였으며(Fig. 3-2-7), 각 처리는 15주간 유지되었다.

앞선 실험과 마찬가지로 광합성 특성을 알아보기 위해 엽록소 형광 측정을 진행하였으며 측정에는 PAM-2000(Heinz Walz, Effeltrich, Germany)이 사용되었다. Fo(minimal fluorescence), Fm (maximum fluorescence)을 통해, Fv/Fm(maximal quantum efficiency of PSII)를 측정하였으며, Fv값은 ‘Fv = Fm - Fo’의 계산을 통해 구하였다. 생장 지표로 신엽수, 식물체 폭, 엽장, 엽폭, SPAD value를 활용하였고, 생육조사는 4주마다 진행되었다. 측정값은 SAS 9.3 version을 이용하여 통계 분석하였으며, ANOVA 분석과 Duncan’s multiple range test 사후분석을 진행하였다.



Fig. 3-2-7. Photo-treatments with different blue:red ratio for the growth of *Phalaenopsis* ‘Mantefon’ plants.

## (2) 결과 및 고찰

앞선 실험에서 적색광 비율이 높은 warm-white LEDs에서 재배한 호접란의 생육이 가장 좋은 것으로 나타났으며 청색광도 광합성 순화 반응에 관여한다는 점에서 청색광과 적색광 비율에 따른 호접란 유묘의 생육 반응을 알아보는 실험을 설계하였다. 각 처리에 따른 생육을 비교해본 결과 적색광 비율이 높은 B25:R75 처리구에서 생육이 가장 좋은 것으로 나타났으며, 특히 엽장, 신엽수에서 유의미한 차이가 있는 것으로 관찰되었다 (Table 3-2-2). 하지만 적색광 단일 처리의 경우 혼합광 처리에 비해 생육량이 낮은 것으로 나타났는데, 이는 적색광과 청색광 모두 식물의 생육에 필요한 광이기 때문인 것으로 생각된다. 적색광 비율이 높을수록 식물의 생육은 촉진되지만 청색광이 없을 경우에는 오히려 생육에 부정적인 영향

이 나타난다는 것을 확인해볼 수 있는데, 일반적으로 청색광:적색광 비율이 약 1:3~1:4일 때 광합성 효율이 가장 좋게 나타나는 것으로 알려져 있다는 점에서 성장량에서도 비슷한 경향을 나타내는 것으로 보인다.

엽록소 함량(SPAD value)을 비교한 결과 B50:R50 처리가 가장 높은 것으로 나타났으며, 청색광 단일 처리를 제외하고 청색광 비율이 낮을수록 함량이 감소하는 경향이 나타났다(Fig. 3-2-8). 청색광 단일 처리는 오히려 혼합광 처리들에 비해 낮은 것으로 나타났다. 엽록소 함량의 경우에도 청색광이 광합성과 연관이 있다는 점에서 청색광이 높은 처리구에서 함량이 높게 나타난 것으로 보이며, 청색광 단일 처리의 경우 SPAD value가 생장 지표로써도 활용된다는 점에서 정상적인 생육을 하지 못하였기 때문으로 예상된다. 엽록소 형광 측정에서는 청색광 비율이 낮을수록  $F_o$  값이 증가하는 것으로 나타났고,  $F_v/F_m$  값은 감소하는 경향이 나타났다(Fig. 3-2-9). 이는 앞선 실험의 결과와 마찬가지로 청색광 비율이 높을 때  $F_v/F_m$  값이 증가하는 것을 알 수 있으며, 청색광이 광합성 순화에 관여하기 때문으로 생각된다.  $F_o$  값이 높다는 것은 앞에서 기본적으로 방출하는 형광이 높다는 의미로,  $F_o$  값이 높아진 만큼 전자전달 용량이 낮아졌을 것으로 판단된다. 따라서 호접란의 광합성을 위해서는 청색광과 적색광의 비율을 적절하게 조성하는 것이 중요할 것으로 예상된다.

Table 3-2-2. Vegetative growth of *Phalaenopsis* ‘Mantefon’ plants after 10 weeks of treatments.

Treatment	No. of total leaves	No. of new leaves	Leaf span (cm)	Uppermost mature leaf			
				Length (cm)	Width (cm)	L:W ratio	Thickness (mm)
B100:R0	5.75	1.88 a <sup>2</sup>	16.90	8.58 b	4.21	2.04	1.87
B50:R50	5.50	1.38 b	17.43	9.11 b	4.38	2.10	1.72
B25:R75	5.75	2.13 a	17.04	9.86 a	4.33	2.30	1.95
B0:R100	6.30	1.90 a	16.54	8.73 b	4.22	2.08	1.81
Significance	NS	**	NS	***	NS	NS	NS

<sup>2</sup>Means (n = 8) within columns for each cultivar followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test at  $p \leq 0.05$ .

NS, \*\*, \*\*\*; non-significant or significant at  $p \leq 0.01$ , or 0.001, respectively.



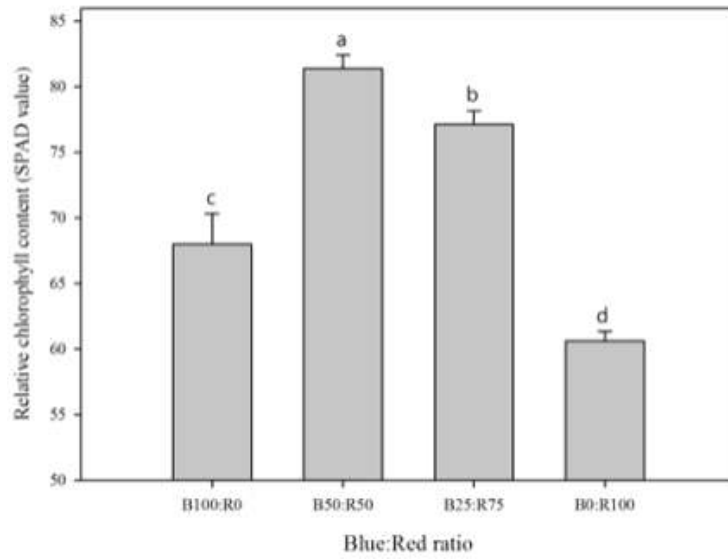


Fig. 3-2-8. Relative chlorophyll content (SPAD value) of the uppermost mature leaf after 10 weeks of treatments under different blue:red ratios. The data shown are the mean  $\pm$  SE (n = 8). Differences were considered significant at  $p \leq 0.05$ .

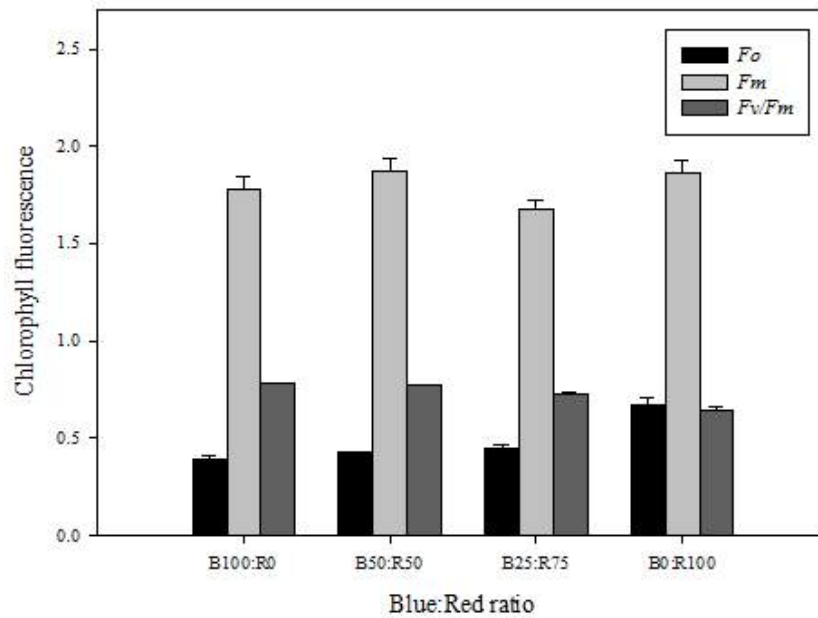


Fig. 3-2-9. Chlorophyll fluorescence of the uppermost mature leaf after 2 weeks of treatments under different blue:red ratios. The data shown are the mean  $\pm$  SE (n = 4).

## 다. 백색광, 적색광 비율에 따른 호접란 생육 반응 비교

### (1) 재료 및 방법

배양 후 1개월이 지난 호접란 ‘Mantefon’ 품종의 유묘를 농가로부터 구입하여 실험 전까지 밀폐형 시스템 내에서 순화 과정을 거쳤다. 순화 온도, 습도 환경은 온도 28℃, 상대습도 70%이었으며, 광 환경은 영양생장을 위한 광량 조사 실험 결과값을 참고하여 일장은 16시간, 광도는  $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 유지하였다. Warm-white, red LEDs를 이용하여 백색광:적색광 비율이 각각 100:0, 50:50, 33:67, 20:80이 되도록 처리구를 구성하였다. 실제 광질은 청색:녹색:적색:원적색 비율이 각각 적색광을 기준으로 0.60:1.18:1.00:0.11, 0.21:0.40:1.00:0.05, 0.13:0.26:1.00:0.03, 0.08:0.14:1.00:0.02로 조사되었다(Fig. 3-2-10). 또한 처리중 온도는 야간 온도에 따른 광합성 반응 조사 실험의 결과를 참고하여 주야간 28/22도로 설정하였으며, 야간 동안 900ppm의 이산화탄소 시비를 실시하였다. 각 처리는 5개월 간 유지되었다.

앞선 실험과 마찬가지로 광합성 특성을 알아보기 위해 엽록소 형광 측정을 진행하였으며 측정에는 PAM-2000(Heinz Walz, Effeltrich, Germany)이 사용되었다. Fo(minimal fluorescence), Fm (maximum fluorescence)을 통해, Fv/Fm(maximal quantum efficiency of PSII)를 측정하였으며, Fv값은 ‘Fv = Fm - Fo’의 계산을 통해 구하였다. 성장 지표로 총 엽수, 신엽수, 식물체 폭, 엽장, 엽폭, SPAD value를 활용하였고, 생육조사는 4주마다 진행되었다. 측정값은 SAS 9.3 version을 이용하여 통계 분석하였으며, ANOVA 분석과 Tukey’s honestly significant difference test 사후분석을 진행하였다.

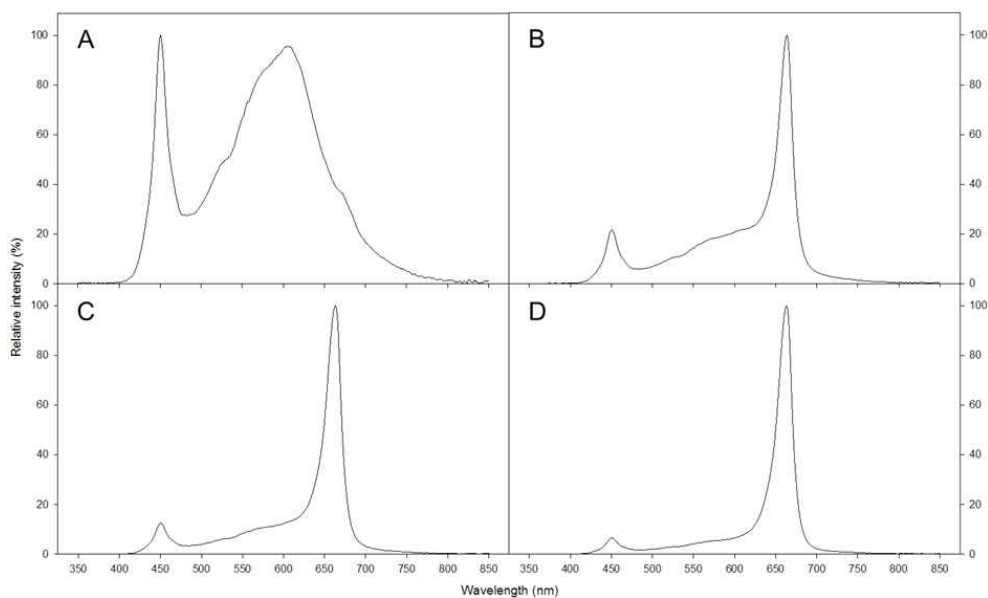


Fig. 3-2-10. Relative spectral distributions of W100:R0 (A), W50:R50 (B), W33:R67 (C), W20:R80 (D) treatments used in this study.

## (2) 결과 및 고찰

앞선 실험들에서 적색광 비율이 높을수록 호접란 생육이 촉진되는 것을 확인하였고, 정상적인 생육을 위해서는 청색광 또한 필요하다는 것을 알 수 있었다. 이에 따라 백색광과 적색광 비율에 따른 호접란의 생육 반응을 비교하고 인공 광원을 이용한 호접란 재배에 적합한 광질 환경을 구명하기 위해 본 실험을 진행하였다. 실험 결과 기존 백색광 LEDs에 적색광 비율을 첨가한 모든 처리에서 백색광 단일 LEDs 처리에 비해 호접란 생육을 촉진되는 경향이 나타났다. 이는 앞선 실험에서 호접란 재배를 위한 광원으로 선발된 warm-white LEDs가 호접란 생육에 최적의 광질은 아니었던 것을 나타내며, 호접란의 생육을 더욱 촉진시키기 위해서는 적색광 비율을 높일 필요가 있음을 보여준다.

엽록소 형광 측정에서 광계II의 최대광자수율 값을 비교하였을 때 백색광 단일 처리에 비해 적색광을 첨가한 모든 처리에서 측정값이 낮게 나타났다(Fig. 3-2-11). 이는 앞선 실험들에서와 마찬가지로 청색광 비율이 가장 높은 백색광 단일 처리에서 값이 상대적으로 높게 나타난 것으로 보인다. 하지만 모든 처리에서 정상적인 식물체에서 관찰되는 0.8 값에 가까운 값을 보였기 때문에 실제 광합성 반응에는 문제가 없었던 것으로 예상된다. 광질 차이에 따른 생육량을 비교해 보았을 때는 W33:R67 처리가 W20:R80 처리에 비해 촉진 효과가 더욱 큰 것으로 나타났는데(Table 3-3), 이는 W20:R80 처리에서 적색광 비율이 높아짐에 따라 상대적으로 청색과 또는 다른 파장대의 비율이 낮아졌기 때문으로 판단된다. 일반적으로 식물은 태양광에 적응이 되어 있기 때문에 적색광이 식물 생육에 가장 중요한 파장대임에도 불구하고 정상적인 생육을 위해서는 다른 파장대의 빛을 필요로 한다. 따라서 호접란 재배를 위한 최적 광질은 W33:R67 처리의 광질에 가장 가까운 것으로 판단된다.

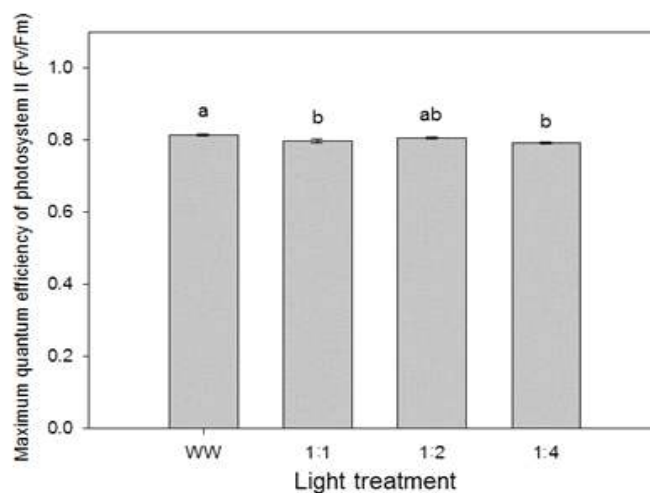


Fig. 3-2-11. Chlorophyll fluorescence of the uppermost mature leaves under different white:red ratios. The data shown are the mean  $\pm$  SE (n = 4). Means with the same letter are not significantly different at  $p < 0.05$  by Tukey's honestly significant difference test.

Table 3-2-3. Vegetative growth of *Phalaenopsis* ‘Mantefon’ plants after 20 weeks of different white:red ratio treatments.

Treatment	No. of total leaves	No. of new leaves	Leaf span (cm)	Uppermost mature leaf		SPAD
				Length (cm)	Width (cm)	
W100:R0	5.75	3.25	14.98 b <sup>z</sup>	8.43 b	4.85	71.04
W50:R50	5.88	3.63	16.13 ab	9.91 a	5.05	69.93
W33:R67	6.38	3.63	17.28 a	10.61 a	5.23	72.26
W20:R80	6.13	3.25	17.14 ab	9.91 a	5.11	72.80
Significance	NS	NS	*	***	NS	NS

<sup>z</sup>Means (n = 8) within columns for each cultivar followed by different letters are significantly different by Tukey’s honestly significant difference test at  $p \leq 0.05$ .

NS, \*, \*\*\*; non-significant or significant at  $p \leq 0.05$ , or 0.001, respectively.

### 3. 호접란 영양생장 촉진 및 개화유도를 위한 최적 광도, 일장, 일적산광량 환경 구명

일적산광량(daily light integral, DLI)는 하루 동안  $1m^2$ 에서 받게 되는 총 광량으로 광도와 일장을 복합한 개념이다. 광도에 의존해 광량을 계산한 방법에서 벗어나 더욱 정확한 광량을 계산하기 위해 개발된 모델로(Faust와 Heins, 1993), 많은 연구에서 DLI와 식물 성장 간의 상관관계에 대하여 알아본 바 있다(Kaczperski 외, 1991; Niu 외, 2000).

광도 변화에 대한 호접란의 생육 반응은 이미 여러 논문에서 다루고 있다. 고광도 환경에서는 받을 경우 광합성 효율이 낮아지거나 스트레스 반응이 나타나며(Guo 외, 2012), 엽색이 붉어지거나 반점이 나타나는 등의 피해가 나타난다. 적정 광도로는  $100\sim 300 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$  정도의 범위가 알려져 있으며, 적정 범위 내에서는 광도가 증가할수록 생육이 촉진된다고 알려져 있다(Guo 외, 2012; Lin와 Hsu, 2004). 적정 일장에 대해서는 단일, 장일 환경에서 이산화탄소 흡수가 제한될 수 있다는 보고가 있었으나(Guo 외, 2012), 여러 재배 매뉴얼에서는 호접란의 경우에도 보광을 통한 일장 연장의 필요성을 언급하고 있다. 또한 일장에 대한 생육 반응을 장기간 알아본 연구가 부족하기 때문에 추가적인 연구가 필요한 실정이다. 따라서 호접란이 광 요구도가 낮은 식물로 적정 광도 범위는 다른 작물들에 비해 상대적으로 낮지만 광량이 증가할수록 생육이 촉진될 것으로 예상된다.

광도에 대한 호접란의 개화 반응은 개화유도를 위한 저온 처리 과정에서 광도를 높여줄 경우 화경의 수, 소화 수 등이 많아지며 개화소요 일수가 짧아지는 것으로 알려져 있다(Guo 외, 2012; Konow와 Wang, 2001; Kubota와 Yoneda, 1993; Lin와 Hsu, 2004; Lootens와

Heursel, 1998; Wang, 1995b). 일장의 경우 일부 연구에서 단일 조건 하에서 환경 출현이 촉진되는 것으로 보고한 바 있으나(Rotor, 1952; Went 1957; An 외, 2013a), Ichihashi(1997)와 Sakanishi 외(1980)의 연구에서는 개화유도에 있어 일장의 영향이 없는 것으로 나타났다. 따라서 개화유도에 있어 일장의 영향은 명확하지 않다고 할 수 있다.

밀폐형 시스템은 식물 생육을 위한 광원으로 인공 광원을 사용하며 형광등, LEDs 등의 인공 광원이 널리 사용되고 있다. 특히 LEDs의 경우 광도, 일장, 광질을 조절하기 용이하다는 장점이 있다. 따라서 본 실험에서는 LEDs를 이용하여 여러 가지 광도와 일장 환경을 설정하였을 때 호접란의 성장 및 개화유도 반응이 어떻게 나타나는 지 알아보기 위해 수행되었다.

### 가. 광주기 단축에 따른 호접란 영양생장 및 광합성 특성 조사

#### (1) 재료 및 방법

일적산광량에 따른 호접란 생육 반응을 알아보기에 앞서 광량을 동일하게 하여 광주기만을 달리하였을 경우 나타날 수 있는 생육 및 광합성 반응에 대하여 알아보았다. 이를 통해 광주기 단축을 통해 생육 단계 또한 단축할 수 있는 지 알아볼 수 있을 것이라 예상하였다. 식물 재료로는 4개월 묘의 ‘Mantefon’ 품종을 재배 농가로부터 구입하였다. 구매 후에는 실험 전까지 상대습도 70%, 온도 28℃, 일장 12시간(08:00~20:00), 광도  $160 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 환경에서 보관, 순화시켰다. 광주기는 06/06, 08/08, 10/10, 12/12시간으로 네 가지의 광주기를 설정하였다(Fig. 3-2-12). 광원은 앞서 진행된 광원 선발 실험을 바탕으로 warm-white LEDs를 이용하였다. 각 처리구의 식물체는 완전임의배치법을 이용하여 배치하였고, 처리는 16주 동안 진행되었다.

광주기 변화에 따른 생육 반응을 알아보기 위해 엽수, 식물체 폭, 엽장, 엽폭, 엽두께, 생체중, 건물중, 엽록소 함량(SPAD value) 등을 4주마다 조사하였다. 또한 광주기 변화로 인한 이산화탄소 흡수 패턴 및 흡수량 변화를 알아보기 위해 이산화탄소 교환율과 기공전도도를 측정하였으며, 측정은 처리 시작 후 5주차와 10주차에 걸쳐 총 두 번 진행되었다. 측정에는 LI-6400XT(Li-Cor Co., Inc., Lincoln, NE, USA) 광합성 측정기를 사용하였으며, 오픈 챔버를 이용하여 측정 챔버 내 온도, 습도, 광 환경을 재배 환경과 동일하게 유지하였다. 측정된 결과 값은 통계 분석을 위해 SAS 9.3 version을 이용하여 ANOVA 분석과 Tukey's honestly significant difference test를 진행하였다.



Fig. 3-2-12. Schematic diagram of four different light/dark cycle treatments.

## (2) 결과 및 고찰

기존 온실 재배에서는 태양광을 이용하기 때문에 광주기가 24시간으로 고정되어 있다. 밀폐형 시스템 내에서는 인공 광원을 이용하기 때문에 재배자가 원하는 대로 광주기 조절이 가능하다. 따라서 본 실험은 광주기를 변화시킬 때 나타나는 호접란의 생육 반응을 알아보기 위해 진행되었다.

광주기를 변화시켰을 때 이산화탄소 흡수 패턴이 달라지는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 3-2-13). 처리 5주 후 이산화탄소 흡수 패턴을 보았을 때 24시간, 20시간 처리의 경우 암기 동안 이산화탄소 흡수가 이루어졌으며, 전형적인 CAM 식물의 흡수 패턴을 나타내었다. 하지만 그보다 광주기가 짧아질 경우(16시간, 12시간) 이산화탄소 흡수 패턴이 광주기에 맞아떨어지지 않는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 호접란의 광주기 변화에 맞추어 circadian rhythm이 변하기 때문으로 보인다. 전형적인 CAM 식물의 광합성 기작과는 다르게 주간에도 이산화탄소 흡수가 이루어지는 것을 확인할 수 있었으며, 이러한 양상은 광주기 짧아질수록 더욱 명확하게 나타났다. 이러한 반응은 광주기에 적응하고 있는 단계이기 때문으로 생각되었다. 이에 따라 처리 10주 후에도 이산화탄소 교환율을 측정해보았지만 앞선 측정과 동일한 패턴을 나타내었다. 따라서 호접란이 달라진 광주기에 적응하지 못한다는 것을 알 수 있었다. 이는 기공전도도 측정 결과에서도 동일한 양상이 관찰되었다(Fig. 3-2-14).

이산화탄소 흡수량을 비교해 보았을 때에는 이산화탄소 흡수 패턴에 따라 16시간, 12시간 처리에서 주간 동안의 이산화탄소 흡수량이 증가하는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 3-2-15). 광주기 동안의 총 이산화탄소 흡수량은 광주기가 짧아짐에 따라 흡수량 또한 감소하는 경향이 나타났다. 동일한 기간 동안 24시간 처리에 비해 다른 처리구가 더 많은 주기 cycle을 가질 수 있다는 점에서 전체 재배 기간을 고려한 비교가 필요한데, 이를 고려하여 24시간 처리구와 12시간 처리구의 흡수량을 비교하였지만 12시간 처리구의 흡수량이 24시간 처리구의 흡수량 절반에 미치지 못했다는 점에서 전체 재배 기간을 고려하여도 광주기가 짧아짐에 따

라 흡수량이 감소할 것이라 예상할 수 있다. 이는 호접란의 이산화탄소 흡수에 대한 circadian rhythm이 광주기 뿐만 아니라 탄소 고정에 필요한 여러 가지 요소들의 활성화에 따라 결정되기 때문으로 볼 수 있다. 일장이 짧을 경우 malate의 decarboxylation이 충분히 이루어지지 않아 야간의 이산화탄소 흡수량이 낮아진다는 점에서(Lüttge, 2007), 본 실험에서도 광주기 단축에 따라 주간 동안의 malate decarboxylation이 충분히 이루어지지 않았으며 이에 따라 이산화탄소 흡수량이 감소하였을 것이라 생각된다. 이러한 feedback effect는 Guo 외(2012)의 실험에서도 예측된 바 있다. 따라서 호접란이 20시간미만의 광주기에서는 달라진 광주기에 적응하지 못하였으며, 광주기 단축이 오히려 전체 재배 기간 동안의 이산화탄소 흡수량을 감소시킨다는 것을 알 수 있다.

영양생장 조사에서는 광주기가 짧아짐에 따라 생육량이 감소한 경향이 나타났다(Fig. 3-19, Table 3-2-4, 3-2-5). 엽폭, 엽두께가 유의성있게 감소한 것을 관찰하였으며, 다른 지표들에서도 유의성은 나타나지 않았지만 일부 감소하는 경향이 나타났다. 이러한 결과는 이산화탄소 흡수량 비교와 비슷한 경향으로, circadian rhythm의 교란이 광합성을 감소시키고 결과적으로 생장량 또한 감소시킨 것으로 판단된다.

밀폐형 시스템 내에서 인공 광원을 활용할 때 인공 광원의 광주기를 변화시킬 수 있다. 하지만 광주기의 단축이 호접란의 생장에 부정적인 영향을 준다는 것을 실험 결과 알 수 있었으며, 이는 식물이 태양광의 24시간 주기에 circadian rhythm이 맞추어져 있기 때문이라 생각된다. 따라서 추후 실험에서는 호접란 생육 촉진을 위해 광주기 조절 보다는 광질, 광도, 일장 등의 다른 광 환경 조절을 고려하는 것이 필요할 것이라 판단하였으며, 이에 따라 광질, 일적산광량 조절 실험을 계획하여 수행하였다.

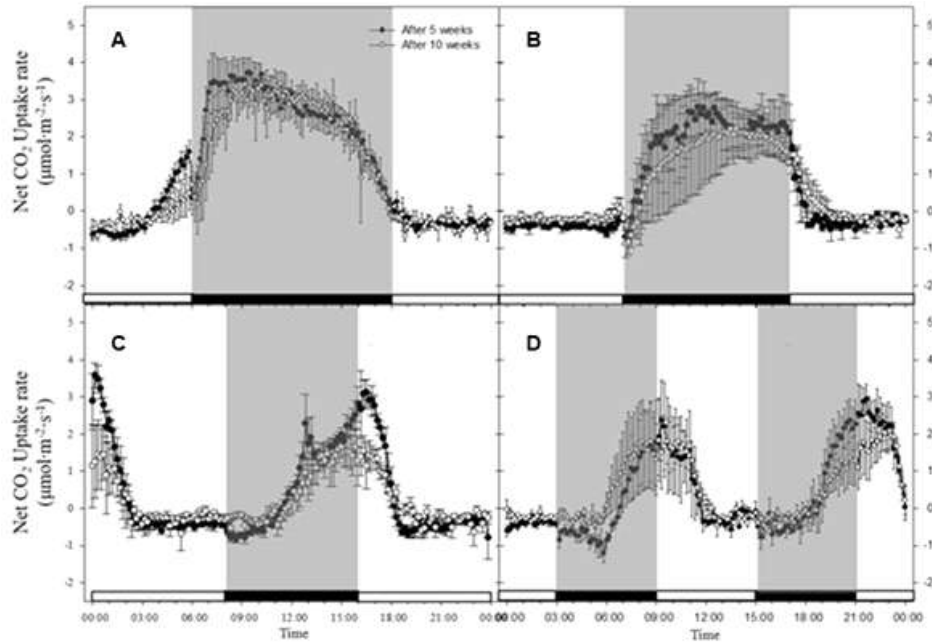


Fig. 3-2-13. The diurnal patterns of net CO<sub>2</sub> uptake rate of *Phalaenopsis* Queen Beer ‘Mantefon’ under 12/12 h (light/dark, A), 10/10 h (B), 08/08 h (C), and 06/06 h (D) treatments after 5 weeks and after 10 weeks.

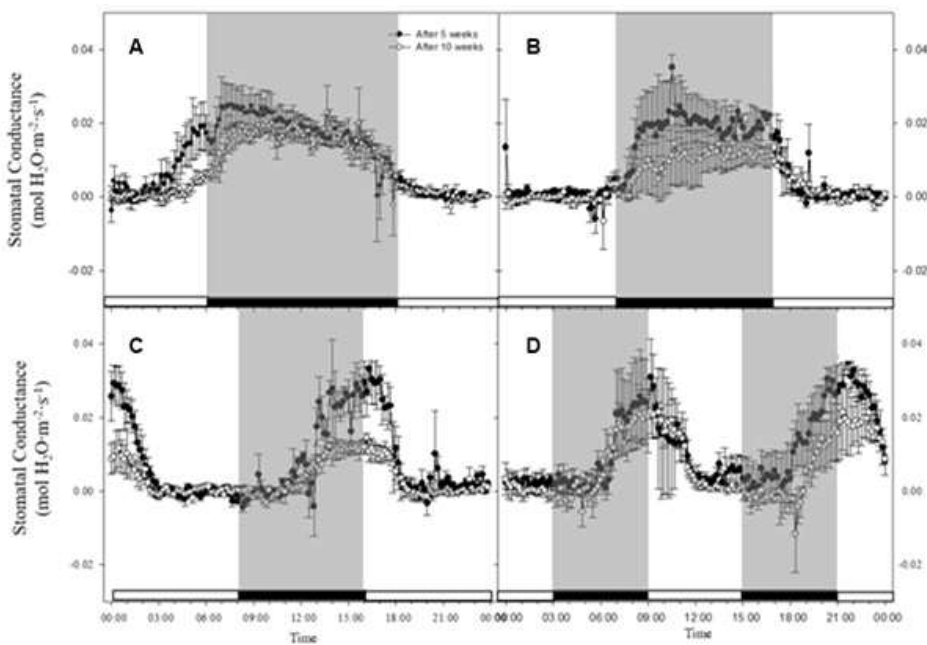


Fig. 3-2-14. The diurnal patterns of stomatal conductance of *Phalaenopsis* Queen Beer ‘Mantefon’ under 12/12 h (light/dark, A), 10/10 h (B), 08/08 h (C), and 06/06 h (D) treatments after 5 weeks and after 10 weeks.



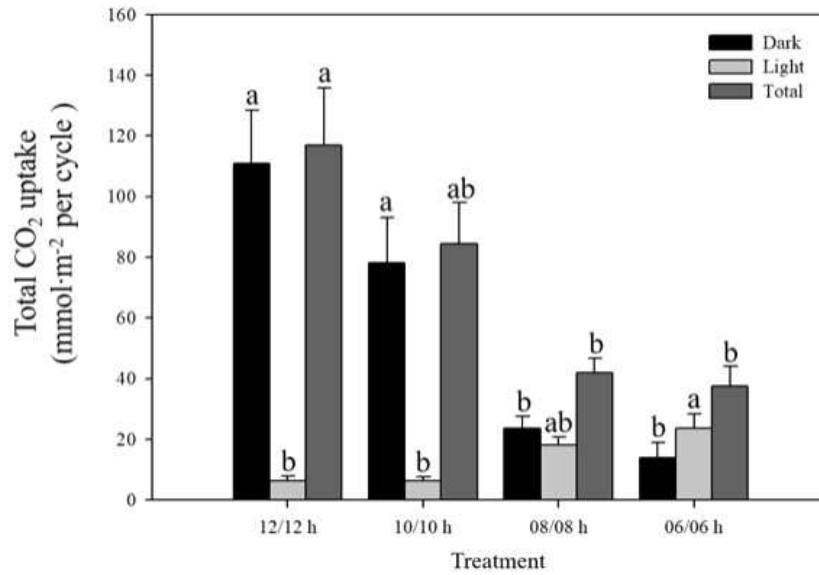


Fig. 3-2-15. Total CO<sub>2</sub> uptake during the dark period (black), during the light period (light gray), and over a cycle of each treatment (dark gray) in the youngest mature leaf of *Phalaenopsis* Queen Beer ‘Mantefon’. Results are means ± SE (n = 3). Means with the same letter are not significantly different at  $p < 0.05$  by Tukey’s honestly significant difference test.



Fig. 3-2-16. Effects of manipulated light/dark cycle on 4-month-old *Phalaenopsis* Queen Beer ‘Mantefon’ after 16 weeks of treatment.

Table 3-2-4. Effects of four different light/dark cycle on leaf characteristics of the uppermost mature leaf and on leaf span of *Phalaenopsis* Queen Beer ‘Mantefon’ after 16 weeks of treatments.

Treatment	Uppermost mature leaf				Leaf span	
	Length (cm)	Width (cm)	Thickness (mm)	L/W ratio	SPAD	(cm)
12/12 h	11.16	6.20 a <sup>z</sup>	2.23 a	1.80	76.71	20.97
10/10 h	11.14	5.74 a	2.07 b	1.96	76.57	22.47
08/08 h	10.46	5.46 a	1.94 b	1.91	80.07	20.40
06/06 h	8.97	4.51 b	1.57 c	1.99	77.60	20.17
Significance	NS	**	***	NS	NS	NS

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Tukey’s honestly significant difference test at  $p < 0.05$ .

NS, \*\*, \*\*\*; non-significant or significant at  $p < 0.01$  or  $0.001$ , respectively.

Table 3-2-5. Effects of four different light/dark cycle on growth of the *Phalaenopsis* Queen Beer ‘Mantefon’ after 16 weeks of treatment.

Treatment	No. of new leaves	No. of total leaves	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
			Shoot	Root	Shoot	Root
12/12 h	3.14	7.14	34.90 ab <sup>z</sup>	20.03	2.10	1.43 ab
10/10 h	3.29	5.00	37.72 a	22.84	2.26	1.82 a
08/08 h	2.86	7.00	29.19 ab	19.43	1.90	1.60 ab
06/06 h	3.14	6.71	26.06 b	17.40	1.78	1.18 b
Significance	NS	NS	*	NS	NS	*

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Tukey’s honestly significant difference test at  $p < 0.05$ .

NS, \*; non-significant or significant at  $p < 0.05$ , respectively.

## 나. 광도, 일장, 일적산광량(DLI)에 따른 호접란 영양생장 반응 조사

### (1) 재료 및 방법

식물 재료로는 5개월 묘의 ‘Mantefon’ 품종을 재배 농가로부터 구입하였다. 구매 후에는 실험 전까지 상대습도 70%, 온도 28℃, 일장 12시간(08:00~20:00), 광도  $100 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 환경에서 보관, 순화시켰으며, 실험 시작 당시 식물체의 폭은 평균  $17.1 \pm 1 \text{cm}$ 였다. 광 처리는 3개의 일장 [8(short day, SD), 12(medium day, MD), 16시간(long day, LD)]과 3개의 광도(50, 100,  $200 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )를 처리하여 결과적으로 1.44에서  $11.52 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 사이의 7개의 서로 다른 DLI를 가질 수 있도록 처리하였다. 처리 환경 외 다른 광질, 온도, 습도 환경은 위와 동일하게 유지하였다. 각 처리구의 식물체는 완전임의배치법을 이용하여 배치하였고, 실험은 20주간 진행되었다.

광 처리에 의한 생육 반응을 알아보기 위해 엽록소 형광 측정을 진행하였으며, 측정은 실

험 시작 4주마다 총 다섯 번에 걸쳐 PAM-2000(Heinz Walz, Effeltrich, Germany) chlorophyll fluorometer를 사용하여 측정하였다. Fo(minimal fluorescence), Fm (maximum fluorescence)을 통해, Fv/Fm(maximal quantum efficiency of PSII)를 측정하였으며, qP(Photochemical quenching)는 광적응을 거친 후의 Fo '(minimal fluorescence), Fm' (maximum fluorescence)을 구한 뒤  $(Fm' - Fo') / Fm'$ 의 공식을 통해 얻을 수 있었으며, 모든 측정은 08:00~11:00 사이에 이루어졌다. 생장량을 조사하기 위해 엽수, 엽장, 엽폭, 엽두께 등을 4주마다 측정하였으며, 측정한 결과값은 통계 분석을 위해 SAS 9.3 version을 이용하여 ANOVA 분석과 Duncan's multiple range test를 진행하였다. 처리별 각 요인의 기여도를 조사하기 위해 %SS를 표현하였다. 상관관계 및 회귀 분석은 Sigma Plot(버전 10.0, Systat Software, Chicago, IL, USA)을 사용하여 수행되었다.

## (2) 결과 및 고찰

광도가 감소할수록 잎이 길어지고 폭은 넓어지며 동시에 두께가 얇아지는 현상이 나타났으며, 이는 낮은 광도에서 잎이 도장한 것으로 보인다(Table 3-2-6). 일장의 경우 장일 환경에서 자란 식물이 단일 처리에 비해 전반적인 생육이 증가하였다. 신엽수와 총 엽면적은 일장이 길어지고 광도가 증가할수록 증가하였다는 점에서 호접란의 생육은 광도가 높아지고 일장이 길어짐에 따라 광량이 증가할수록 생육도 촉진되는 경향이 나타난다는 것을 알 수 있다. 본 연구진의 사전 실험에서도 16 시간과 같이 긴 일장조건 하에서 재배 된 식물에서 엽수가 증가되는 것을 발견한 바 있으며(An 외, 2013a), Konow와 Wang(2001)은 약  $50\sim 250 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 범위 내에서 광도가 증가할수록 엽수가 증가하며 총 엽 면적 또한 커졌다고 보고한 바 있다는 점에서 본 실험과의 결과가 여러 연구에서의 결과와 비슷하다는 것을 알 수 있다. 또한 각각 광도, 일장, DLI와 생육 지표들 간의 correlation coefficient를 구해본 결과 생육 지표들과 DLI의 상관관계가 가장 큰 것으로 나타났다(Table 3-7). 따라서 광도 및 일장 증가를 통한 광량 증가가 생육 촉진으로 이어진 것으로 판단된다.

엽록소형광 측정에서 각 처리구별 Fv/Fm(maximal quantum yield of PSII)은 모든 처리구가 0.79에서 0.82로 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났으며(Fig. 3-2-17), qP(Photochemical quenching)의 경우 일장이 길어지고 광도가 증가할수록 유의미하게 증가되었다. 선행 연구들을 통해 보았을 때, 높은 qP는 PSII 안테나에 의해 흡수 된 빛이 PSII 광화학에서 효율적으로 활용 될 수 있음을 보여준다는 점에서(Demmig-Adams 외, 1996), 광량 증가가 광합성 효율의 증가로 이어졌음을 알 수 있다. 광합성 효율이 높아질수록 탄소 축적량이 증가하게 되므로, 본 실험에서도 DLI 증가가 지상부, 지하부 및 총 건물중의 증가로 이어진 것으로 생각된다.

회귀분석을 통해 생장 반응을 유추해 보았을 때 DLI가 1.44에서  $11.52 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 증가함에 따라 신엽수, 지상부, 지하부 건물중 등이 각각 증가하는 것으로 나타났다(Fig.

3-2-18). 그러나 DLI가  $11.52 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 에 가까워질수록 증가곡선의 기울기가 점차 감소하는 것으로 관찰되었으며, 따라서 DLI에 대한 성장량 증가가 포화되는 경향이 나타났다. Faust(2002)는 온실에서의 호접란 최대 적정 DLI 값이 약  $6\sim 11 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 이라고 보고한 바 있다. 인공 광원을 활용한 광량 조절은 광량 증가만큼 투입 비용 또한 증가한다는 점에서 에너지 효율성을 고려해야 한다. 실제 밀폐형 시스템 내에서의 적정 DLI 범위는 재배자의 경제성 분석에 따라 달라질 수 있을 것으로 보인다.

Table 3-2-6. Vegetative growth of *Phalaenopsis* ‘Mantefon’ after 20 weeks of light treatment.

Photoperiod (h)	Light intensity ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	No. of new leaves	Total leaf area ( $\text{cm}^2$ )	Mature leaf size			Dry weight (g)		
				Length (cm)	Width (cm)	Thickness (mm)	Shoot	Root	Total
8	50	2.3 d	174.9 b	13.0 a	4.9 c	2.7 a	0.99 d	0.32 f	1.31 e
	100	2.6 cd	235.1 a	13.9 a	5.5 bc	2.5 a	1.52 c	0.61 def	2.13 d
	200	2.8 bc	234.9 a	12.5 a	5.9 ab	2.1 bcd	1.62 bc	0.89 cd	2.50 cd
12	50	2.3 d	228.4 a	13.8 a	5.7 abc	2.4 ab	1.70 bc	0.66 de	2.36 cd
	100	2.8 bc	232.1 a	13.6 a	5.2 bc	2.6 a	1.80 bc	1.08 bc	2.88 bc
	200	3.3 ab	237.3 a	9.9 b	5.6 abc	1.8 d	1.94 bc	1.38 ab	3.31 ab
16	50	2.3 d	229.0 a	13.4 a	5.5 abc	2.5 ab	1.68 c	0.55 ef	2.23 cd
	100	3.2 ab	251.3 a	13.6 a	6.3 a	2.2 bc	2.18 b	1.23 b	3.41 ab
	200	3.4 a	250.7 a	10.6 b	5.9 ab	1.9 cd	2.38 a	1.59 a	3.98 a
Significance (%SS)									
Photoperiod (P)		* (14.2%)	* (31.7%)	NS (7.5%)	NS (27.3%)	NS (16.4%)	*** (60.3%)	*** (33.3%)	*** (42.2%)
Light intensity (L)		*** (77.4%)	*** (46.8%)	*** (72.7%)	NS (27.4%)	*** (68.2%)	*** (35.5%)	*** (63.1%)	*** (50.6%)
Interaction (P x L)		NS (8.4%)	NS (21.4%)	NS (19.7%)	* (45.2%)	NS (15.2%)	NS (4.1%)	NS (3.4%)	NS (2.0%)

<sup>2</sup>Means separation within columns by Duncan's multiple arrange test at  $p < 0.05$ .

NS = non-significant; \*, \*\*, or \*\*\* = significant at  $p < 0.05$ , 0.01, or 0.001, respectively.

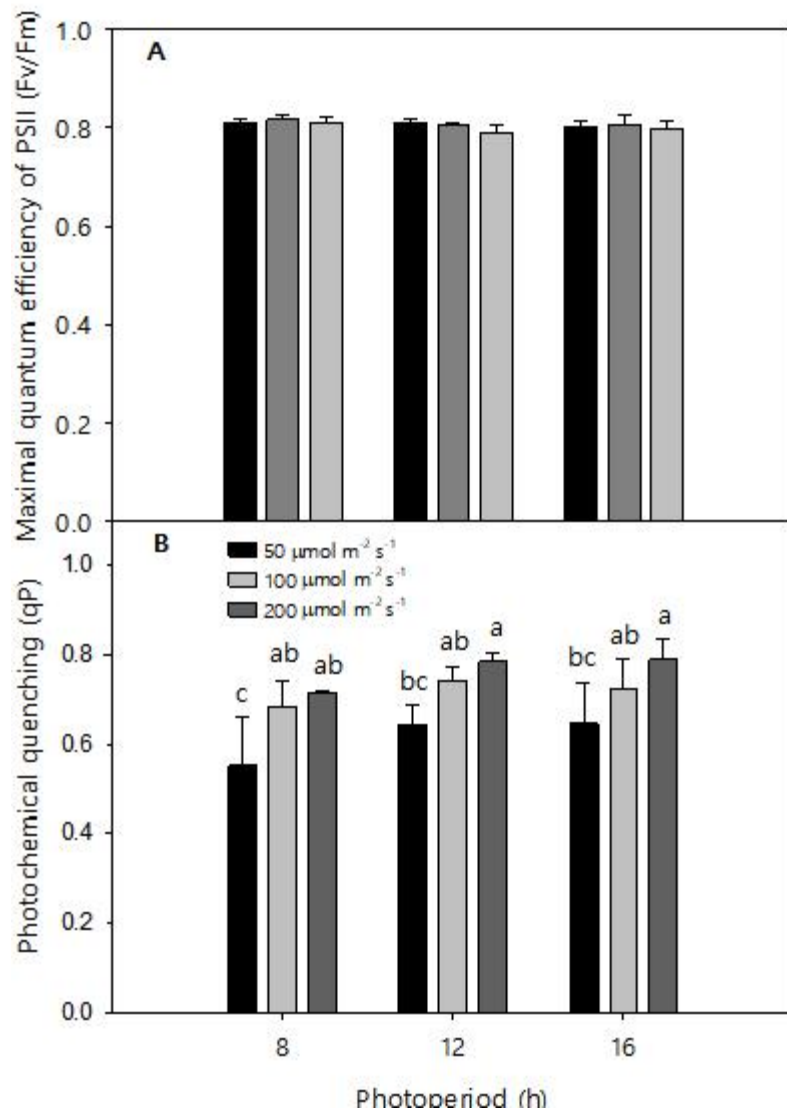


Fig. 3-2-17. Maximal quantum yield (Fv/Fm) (A) and photochemical quenching (qP) (B) of the uppermost mature leaves of 5-month-old *Phalaenopsis* ‘Mantefon’ grown under 8 (SD), 12(MD), or 16 h (LD) photoperiod with a combination of 50, 100, or 200  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  light intensity after 20 weeks of treatment. Vertical bars represent standard errors of the means. Different letters within each panel indicate significant differences at  $p < 0.05$ .

Table 3-2-7. Correlation coefficients between vegetative growth parameters and photoperiod, light intensity, and DLI.

Variable	Correlation coefficient ( $r^2$ ) and significance		
	Photoperiod	Light intensity	DLI
No. of new leaves	0.14 <sup>NS</sup>	0.68**	0.85***
Total leaf area (cm <sup>2</sup> )	0.30 <sup>NS</sup>	0.26 <sup>NS</sup>	0.39 <sup>NS</sup>
Leaf length (cm)	0.03 <sup>NS</sup>	0.62*	0.70**
Leaf width (cm)	0.19 <sup>NS</sup>	0.17 <sup>NS</sup>	0.25 <sup>NS</sup>
Thickness (mm)	0.15 <sup>NS</sup>	0.60*	0.65**
Shoot dry weight (g)	0.58*	0.27 <sup>NS</sup>	0.64**
Root dry weight (g)	0.27 <sup>NS</sup>	0.58*	0.87***
Total dry weight (g)	0.26 <sup>NS</sup>	0.44 <sup>NS</sup>	0.79**

NS, \*, \*\*, \*\*\* non-significant or significant at  $p < 0.05$ , 0.01, or 0.001, respectively.

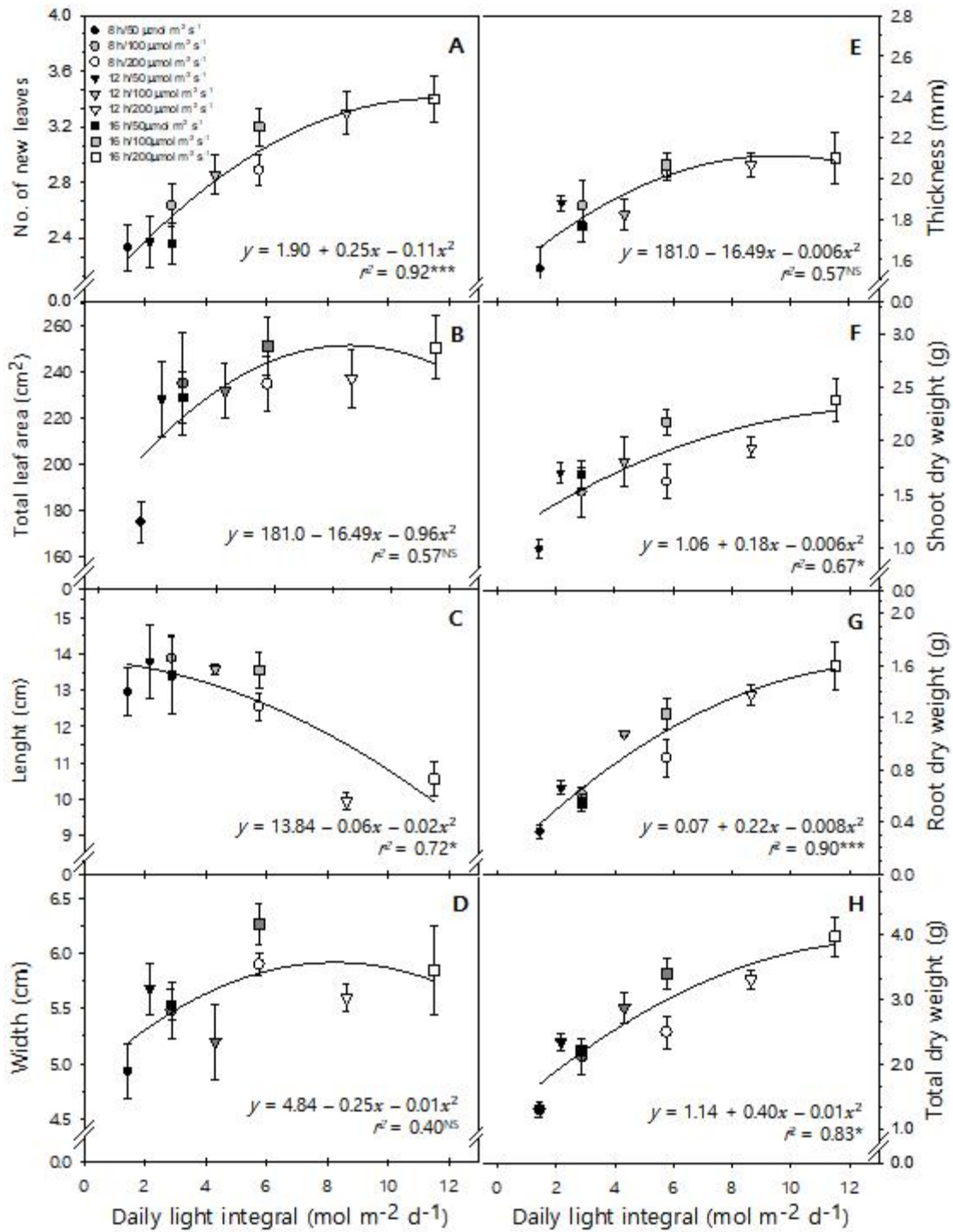


Fig. 3-2-18. Regression analysis between the DLI and no. of new leaves (A), total leaf area (B), leaf length (C), leaf width (D), leaf thickness (E), shoot dry weight (F), root dry weight (G), total dry weight (H). Data points are means  $\pm$  SE. Equations for regression lines are presented for significant correlations with corresponding  $r^2$ . NS, \*, \*\*, \*\*\*; non-significant or significant at  $p < 0.05$ , 0.01, or 0.001, respectively.

## 다. 광도, 일장, 일적산광량(DLI)에 따른 호접란 개화유도 반응 조사

### (1) 재료 및 방법

식물 재료로는 12개월 묘의 ‘Mantefon’ 품종을 재배 농가로부터 구입하였다. 구매 후에는 실험 전까지 상대습도 70%, 온도 28℃, 일장 12시간(08:00~20:00), 광도  $100 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 환경에서 보관, 순화시켰으며, 실험 시작 당시 식물체의 폭은 평균  $18.2 \pm 1 \text{cm}$ 였다. 광 처리는 3개의 일장 [8(short day, SD), 8+8(day extension, DE;  $10 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  for additional 8 hours after the SD), 16시간(long day, LD)]과 3개의 광도(75, 150,  $300 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )를 처리하여 결과적으로 2.16에서  $17.28 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 사이의 6개의 서로 다른 DLI를 가질 수 있도록 처리하였다. 처리 환경 외 다른 광질, 온도, 습도 환경은 위와 동일하게 유지하였다. 각 처리구의 식물체는 완전임의배치법을 이용하여 배치하였고, 실험은 20주간 진행되었다. 각 처리구의 식물체는 완전임의배치법을 이용하여 배치하였고, 실험은 12주간 진행되었다.

개화유도를 조사하기 위해 화경 출현 시기와 화경의 수를 첫 번째와 두 번째 꽃차례의 길이가 약 0.5cm일 때 계수되었으며, 2일마다 기록되었다. 화경 출현율은 꽃대의 총 수를 식물수로 나눈 수치이다. 측정된 결과값은 통계 분석을 위해 SAS 9.3 version을 이용하여 ANOVA 분석과 Duncan's multiple range test를 진행하였다. 처리별 각 요인의 기여도를 조사하기 위해 %SS를 표현하였다. 상관관계 및 회귀 분석은 SigmaPlot(버전 10.0, Systat Software, Chicago, IL, USA)을 사용하여 수행되었다.

### (2) 결과 및 고찰

실험 결과 첫 번째 화경 출현의 경우 16시간 장일 처리에서 다른 처리에 비해 화경 출현 일수가 약 18일 일찍 짧은 것으로 관찰되었다(Table 3-2-8). 광도의 경우에도 이전 실험들의 결과와 비슷하게 광도가 높을수록 출현이 빠른 것으로 나타났다. 전체 처리로 보았을 때에는 16시간  $300 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  처리가 평균 40.3일로 소요 일수가 가장 짧았으며, 8+8시간  $75 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  처리에서 71.0일로 가장 길었다. 두 번째 화경 출현 역시 비슷한 양상으로 나타났다. 가장 빠른 처리와 가장 늦은 처리 간에 약 30일 정도 차이가 났다.

8시간 단일 처리와 8+8시간 일장 연장 처리를 비교하였을 때 개화 소요 일수에 큰 차이가 나타나지 않았다. 두 처리의 경우 DLI가 비슷하기 때문에 광량의 차이 없이 일장의 영향을 알아볼 수가 있는데, 두 처리를 비교하였을 때 호접란의 개화유도에 있어 일장의 영향은 없는 것으로 판단된다. 이에 반해 16시간 처리의 경우 영양 생장에서와 마찬가지로 광량 증가로 인해 개화유도가 앞당겨진 것으로 예상할 수 있으며, 이전 실험들에서의 광도 증가에 따른 개화유도 촉진과 비슷한 반응으로 보인다. 평균 화경 수에서도 광량이 많을수록 유의미하



게 증가하였으며, 8시간  $75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  처리에 비해 16시간  $300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  처리에서 환경의 수가 2배 많은 것으로 관찰되었다(Table 3-2-8). 따라서 호접란의 개화유도에서 일장 반응은 나타나지 않으며 광량에 크게 반응하는 것으로 판단된다(Fig. 3-2-23). 또한 영양 생장에서의 결과와 유사하게 개화유도에서도 DLI와 개화유도 지표들 사이에 높은 correlation coefficient가 나타났다는 점에서 광량이 호접란 개화유도에 주요 환경 요소임을 확인할 수 있다(Table 3-2-9).

하지만 DLI증가에 따른 엽색을 관찰해 보았을 때  $2.16\sim 8.64 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  DLI 범위에서 자란 식물의 잎 색깔은 짙은 녹색이었지만,  $17.28 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 가장 높은 DLI에서 자란 잎은 붉은 녹색을 띠었다(Fig. 3-2-21). 일반적으로 식물의 잎은 식물이 충분한 빛을 받았을 때 짙은 녹색을 보이며 붉은 녹색 또는 붉은 색 잎은 식물이 너무 많은 빛이나 영양 결핍을 나타낸다(Withner and Congress, 1964). 이는 식물이 생장에 필요한 광량을 초과하여 고휘도 스트레스가 나타날 때 이에 대한 보호 기작으로 잎과 위구경에 안토시아닌이 축적되기 때문이라 생각된다(Albert et al., 2009; Trojak et al., 2017). 본 실험에서는  $12 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  이하의 범위에서 DLI가 증가함에 따라 환경 유도가 촉진되었지만, 그 이상의 광량에서는 포화되는 경향을 나타내며 잎이 붉어지는 등의 문제가 나타났다. 따라서 실제 재배에 활용할 때에는  $12 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  정도의 DLI를 유지하는 것으로 충분할 것이라 판단되며, 이를 통해 재배기간을 단축시키면서 보다 고품질의 호접란을 생산할 수 있을 것으로 예상된다.

Table 3-2-8. Days to the 1st and 2nd inflorescence and the number of inflorescences in *Phalaenopsis* ‘Mantefon’ after 20 weeks of light treatment.

Photoperiod (h)	Light intensity ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Days to 1st inflorescence	Days to 2nd inflorescence	No. of inflorescences
8	75	69.3 a <sup>z</sup>	81.2 ab	1.0 d
	150	54.2 b	65.8 bc	1.4 bc
	300	45.7 cd	57.6 cd	1.8 ab
8+8	75	71.0 a	81.0 ab	1.2 cd
	150	53.3 b	69.5 bc	1.4 bc
	300	50.7 bc	59.8 cd	1.5 bc
16	75	54.5 b	63.5 cd	1.5 bc
	150	46.5 bcd	55.5 cd	2.0 a
	300	40.3 d	49.3 d	2.0 a
Significance (%SS)				
Photoperiod (P)		*** (22.9%)	** (41.0%)	*** (36.0%)
Light intensity (L)		*** (66.8%)	** (35.4%)	*** (51.1%)
Interaction (P x L)		* (10.2%)	NS (23.5%)	NS (12.8%)

<sup>z</sup>Means separation within columns by Duncan's multiple arrange test at  $p < 0.05$ .

NS, \*, \*\*, \*\*\*; non-significant or significant at  $p < 0.05$ , 0.01, or 0.001, respectively.

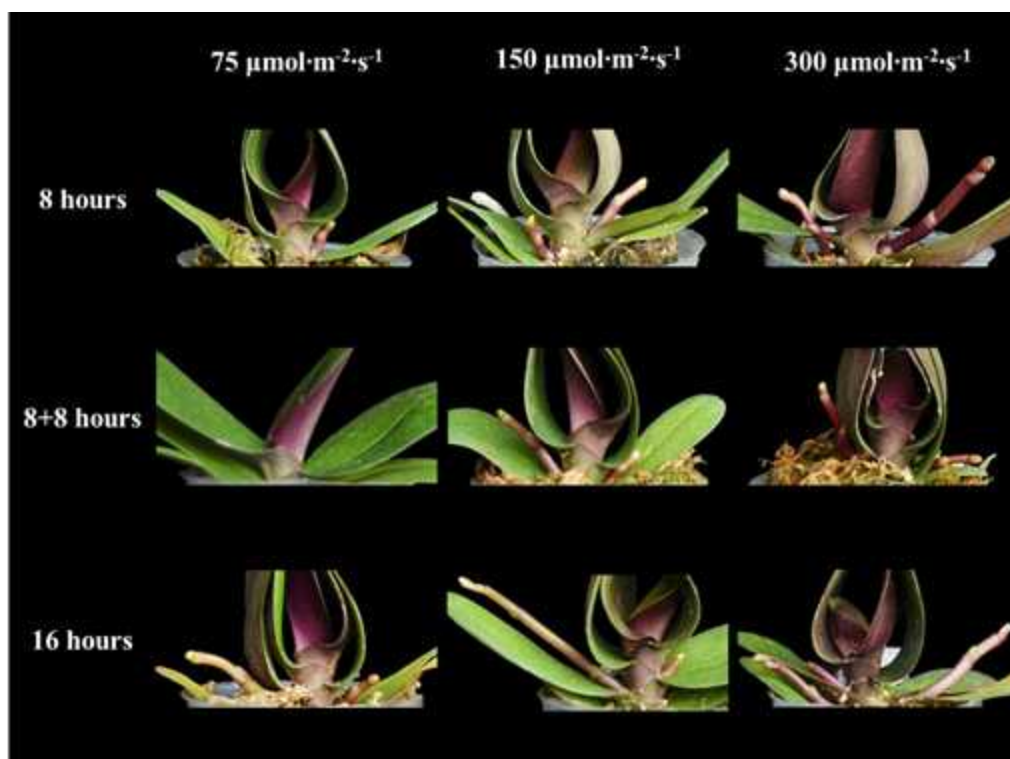


Fig. 3-2-19. Inflorescence emergence of *Phalaenopsis* 'Mantefon' treated with 8 (SD), 8+8 (DE), or 16 (LD) hour photoperiod with a combination of 75, 150, or 300  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  light intensity. Photographs were taken at 12 weeks after the light treatment.

Table 3-2-9. Correlation coefficients between vegetative growth parameters and photoperiod, light intensity, and DLI

Variable	Correlation coefficient ( $r^2$ ) and significance					
	Photoperiod		Light intensity		DLI	
Days to 1st inflorescence	0.25	NS	0.57	*	0.68	**
Days to 2nd inflorescence	0.21	NS	0.48	*	0.73	**
No. of inflorescences	0.32	NS	0.44	*	0.70	**

NS, \*, \*\*, \*\*\*; non-significant or significant at  $p < 0.05$ , 0.01, or 0.001, respectively.

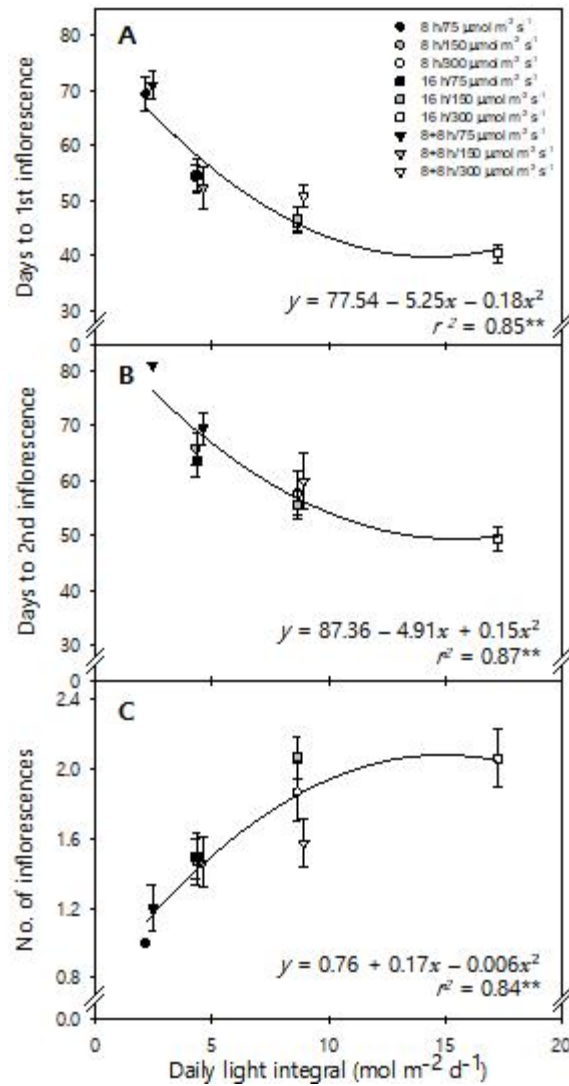


Fig. 3-2-20. Regression analysis between the DLI and days to the 1st inflorescence (A), days to the 2nd inflorescence (B), and the number of inflorescences (C). Data points are means  $\pm$  SE. Equations for regression lines are presented for significant correlations with corresponding  $r^2$ . \*\* = significant at  $p < 0.01$ .



Fig. 3-2-21. Leaf color of *Phalaenopsis* 'Mantefon' treated with 8 (SD), 8+8 (DE), or 16 (LD) hour photoperiod with a combination of 75, 150, or 300  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  light intensity. Photographs were taken at 12 weeks after start of the light treatment.

#### 4. 호접란 밀폐형 시스템 적용 시 적정 습도 환경 조사

습도 환경은 식물 성장 및 광합성에 있어 중요한 환경 요소 중 하나이다. 하지만, Grange와 Hand(1987)에 의하면 1.0에서 0.2kPa VPD 환경(20°C, 55~90% 상대습도)에서의 습도 변화는 식물의 성장발달에 있어 효과가 적은 것으로 나타났으며, 온도 또는 광 환경에 있어 상대적으로 중요도가 낮은 것으로 알려져 있다. 그럼에도 불구하고 습도가 낮은 경우 기공전도도가 낮아져 식물 세포 내 이산화탄소 농도가 낮아지거나, 습도가 높을 경우에는 증산량이 낮아져 뿌리의 수분 및 양분 흡수가 낮아질 수가 있으므로 습도 환경은 식물의 광합성에 매우 중요한 환경 요소임을 알 수 있다(Bumce, 1984; Franks와 Farquhar, 1999).

호접란은 CAM식물로, CAM식물의 하루 동안의 광합성 양상은 네 가지로 구분할 수 있다(Osmond, 1978; Ting, 1985; Griffiths 외, 2002). Phase I에서는 야간 동안 PEPC(phosphoenol/pyruvate carboxylase) 효소를 통해 이산화탄소를 malic acid로 고정하여 세포 내 액포에 저장한다. Phase III은 주간 동안 일어나며 malic acid의 탈탄산반응으로 방출된 탄소가 Rubisco(ribulose-1,5-bis-phosphate carboxylase/oxygenase) 효소에 의해 Calvin cycle을 거쳐 고정된다. Phase II와 IV은 PEPC와 Rubisco 효소 간의 활성 변화 과정에서 나타난다.

기존의 재배 방법에서는 호접란 육묘를 위해 높은 습도를 유지해야하는 것으로 알려져 있다. 하지만 온실 재배에서는 온도 및 광 환경 조절을 위해 계절마다 여름철 환기, 겨울철 난방 및 보온 등이 중요하기 때문에 이에 따라 온실 내 습도 환경이 크게 바뀔 수 있다. 밀폐

형 시스템의 경우 온도 및 광 환경에 관계없이 습도 조절이 자유롭다는 점에서 기존의 온실 재배와는 다르게 호접란 생장에 적합한 습도 환경을 만들어 줄 수 있다는 장점이 있다. 따라서 이를 위한 호접란 육묘 시 적정 습도 환경에 대한 조사가 필요하다고 할 수 있다.

이전 연구들에서는 배양묘의 순화 시 습도 반응을 알아보거나(Jeon 외, 2006) 습도 차이에 의한 광합성 연구(Ichihashi 외, 2008) 등이 이루어진 바 있다. 하지만 호접란 육묘 과정에서의 습도 반응에 대한 직접적인 정보를 얻을 수 있는 연구는 부족한 상황이다. 따라서 이번 연구에서는 호접란 밀폐형 시스템 적용 시 적정 습도 환경을 설정하기 위해 호접란 육묘 시 습도 변화에 따른 생장 및 광합성 반응을 알아보았다.

### (1) 재료 및 방법

식물 재료로 호접란 ‘Blanc Rouge’ 와 ‘Mantefon’ 품종을 이용하였으며, 1개월묘를 재배 농가로부터 구입하였다. 구입 후에는 실험 전까지 상대습도 55%, 온도 28°C, 일장 12시간(09:00~21:00), 광도  $110 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 환경에서 보관, 순화시켰으며, 실험 시작 당시 식물체의 폭은 각각 평균  $14.2 \pm 1.1\text{cm}$ (‘Blanc Rouge’)와  $16.7 \pm 1.7\text{cm}$ (‘Mantefon’)이었다. 습도 처리를 위해 네 가지의 상대습도 처리구를 두었으며, 각각 30%, 50%, 70%, 90% 처리를 설정하였다. 실험 기간 동안의 각 처리구의 실제 평균 상대습도는 각각 32.3%, 50.8%, 69.9%, 88.9%로 조사되었다. 습도 환경 외 다른 온도, 광 환경은 위와 동일하게 유지하였다. 각 처리구의 식물체는 완전임의배치법을 이용하여 배치하였고, 실험은 6개월 간 진행되었다.

습도 차이로 인한 생장 반응을 알아보기 위해 엽록소 형광 측정을 진행하였으며, 측정은 실험 시작 2개월, 9개월, 25개월 후 세 번에 걸쳐 PAM-2000(Heinz Walz, Effeltrich, Germany) chlorophyll fluorometer를 사용하여 측정하였다.  $F_0$ (minimal fluorescence),  $F_m$ (maximum fluorescence),  $F_v/F_m$ (광계II의 maximum quantum efficiency)를 측정하였으며, 모든 측정은 14:00~16:00 사이에 이루어졌다. 또한 각 습도 환경에서의 광합성 반응을 알아보기 위해 이산화탄소 교환율(흡수율)과 기공전도도, 증산량을 각각 측정하였으며, 측정에는 LI-6400XT(Li-Cor Co., Inc., Lincoln, NE, USA) 광합성 측정기를 사용하였다. 오픈 챔버를 이용하여 측정 챔버 내 온도, 광 환경을 재배 환경과 동일하게 유지하였다. 생장량을 조사하기 위해 엽수, 엽장, 엽폭, 엽두께, 엽록소 함량(SPAD value) 등을 4주마다 측정하였으며, 측정된 결과값은 통계 분석을 위해 SAS 9.3 version을 이용하여 ANOVA 분석과 Duncan's multiple range test를 진행하였다.

또한 온실 재배에서의 습도 환경 변화를 살펴보기 위해 경기도 이천에 위치한 호접란 재배 농가의 계절별 온실 내 습도 환경을 조사하였다.

## (2) 결과 및 고찰

재배 온실의 계절별 습도 환경을 조사하였을 때 특히 가을철 최저 습도가 약 40% 정도로 나타나는 것을 볼 수 있었으며, 하루 중 습도 차이가 약 40% 정도로 크게 차이가 나는 것 또한 알 수 있었다(Fig. 3-2-22). 이는 우리나라 계절적 특징으로 볼 수 있는데, 여름철의 경우 우리나라 습도가 높은 반면 가을, 겨울철 건조한 공기 때문으로 보여진다. 겨울철의 경우 호접란 온실 재배 시 온도 관리가 중요하기 때문에 보온으로 인해 환기가 잘 이루어지지 않아 습도가 높게 유지되는 것으로 조사되었다.

실험 결과에서 70% 상대습도 처리구에서 재배한 호접란 ‘Blanc Rouge’ 식물체의 식물체 폭이 다른 처리구의 식물체들과 비교하였을 때 평균 25.3cm로 유의성있게 가장 긴 것으로 나타났으며, ‘Mantefon’ 품종에서도 비슷한 양상을 나타내었다(Table 3-2-10). 하지만 엽수, 엽장, 엽폭 등의 지표에서는 유의성있는 차이가 나타나지 않았다. 90% 처리구의 경우에는 성장량이 상대적으로 낮게 나타났다. 따라서 70% 처리구에서 성장량이 일부 증가한 것으로 나타났지만 그 효과는 적은 것을 알 수 있었다. 따라서 다른 작물에서와 마찬가지로 호접란에서도 습도 조절이 실제 성장량에는 효과가 적다는 것을 알 수 있다. 또한 온도 또는 광 조절 실험 결과에서의 결과와 비교하였을 때 습도 환경이 호접란 재배에 있어 온도나 광 환경(광질, 일장, 광량 등)에 비해 성장에서의 효과가 상대적으로 적다는 것을 알 수 있다.

하지만 실험 기간 동안의 식물체 폭 변화를 살펴보았을 때, 30% 처리구에서의 성장량이 초기에는 낮게 나타나는 것으로 나타났으며, 이에 비해 70%, 90% 처리구의 경우에는 초기 성장량이 높은 것으로 나타났다(Figure 3-26). 이는 식물체가 실험이 진행되는 과정에서 각 환경에 적응하였기 때문으로, 초기에는 낮은 습도에서 성장량이 낮아지지만 환경에 적응한 이후에는 그 양상이 완화된다는 것을 알 수 있다. 낮은 습도에서 성장량이 낮아지는 것은 호접란 고유의 특성 때문으로 보이는데, 호접란의 자생지 환경이 습도가 높은 열대 지역이기 때문으로 재배에서도 높은 습도가 요구되는 것이라 판단된다. 이러한 결과는 다른 연구에서도 찾아볼 수 있는데, Jeon 외(2006)에서의 연구 결과를 살펴보면 호접란 배양묘의 *ex vitro* acclimation 과정에서 높은 습도가 필요했다는 점에서 본 실험의 결과와 비슷한 결과를 보인다는 점에서 호접란이 기본적으로 높은 습도를 요구하는 작물이라는 것을 알 수 있다.

엽록소 형광값 측정에서 각 처리구별 광계II의 maximal quantum yield가 차이가 없는 것으로 나타났으며(Figure 3-27), 이는 각 습도 환경이 호접란의 전자전달 능력에 영향을 주지 않았다는 것을 의미한다. 일반적으로 낮은 습도에서 식물체가 스트레스 반응이 나타나지만 본 실험에서는 30%의 낮은 습도에서도 전자전달 능력에는 영향을 주지 않았다는 점에서 처리구별 성장량 차이는 관찰되었으나 습도로 인한 피해는 일어나지 않았음을 알 수 있다. 몇몇 연구에서 Fv/Fm 값과 엽록소 함량 사이에 양의 상관관계가 관찰되었지만(Li 외, 2006; Netto 외, 2005), 본 실험에서는 초기(처리 9주 후)에 비슷한 양상이 관찰된 이후 실험 종료 시점(처

리 25주 후)에서는 유의성 있는 결과가 관찰되지 않았다. 엽록소 함량(SPAD value)의 경우 습도가 높아질수록 그 값이 낮아지는 경향이 관찰되었는데, 이는 높은 습도 환경에서 증산량이 감소하기 때문으로 보이며, 증산량 감소로 인한 새로 발달하는 잎에서의 질소 부족이 엽록소 합성에 영향을 주었기 때문으로 생각해볼 수 있다(Bunce, 1984; Lihavainen 외, 2016).

하지만 이산화탄소 교환율(흡수율)을 비교하였을 때에는 습도가 높아짐에 따라 흡수율도 높아지는 것을 볼 수 있었다(Fig. 3-2-25, 3-2-26). 이는 위에서 언급한 바와 같이 자생지 환경에 따라 호접란이 광합성을 위해 높은 습도를 요구하기 때문으로 볼 수 있으며, 이러한 결과는 Ichihashi 외(2008)의 실험 결과와 비슷한 양상을 나타낸다. 하지만 본 실험 결과는 이전 연구 결과와는 다르게 5개월 이상의 장기간 처리 후의 관찰 결과라는 점에서 호접란 육묘 시 광합성 반응을 좀 더 잘 나타낸다고 할 수 있다. 30%, 50% 습도에서 이산화탄소 흡수율이 낮은 것은 상대적으로 낮은 습도 환경에서 기공전도도가 낮아졌기 때문으로 보이며, 이러한 광합성 반응이 성장량에 영향을 주어 70% 처리에서 상대적으로 높은 성장량을 보인 것으로 판단된다.

기존 호접란 재배 방법에서도 호접란이 성장과 광합성에 있어 높은 습도를 요구한다고 알려져 있었으나 습도 환경이 성장 및 광합성에 어떠한 영향을 미치는 지에 대한 이해는 부족하다. 본 실험에서는 여러 습도 환경에서의 성장량 및 이산화탄소 흡수량 변화를 장기간 관찰하였다는 점에서 호접란 재배를 위한 적정 습도 환경을 구명하는 데 직접적인 정보를 얻을 수 있었다. 호접란이 성장을 위해 높은 습도를 요구하지만 90%와 같은 고습도 환경에서는 오히려 성장량이 감소하는 것을 관찰할 수 있었으며, 낮은 습도에서는 초기 성장량 감소, 이산화탄소 흡수량 감소 등과 같은 문제가 관찰되었다. 따라서 호접란을 밀폐형 시스템에서 재배할 때에는 70%의 상대습도 환경이 적정 습도 환경이라는 것을 알 수 있다.

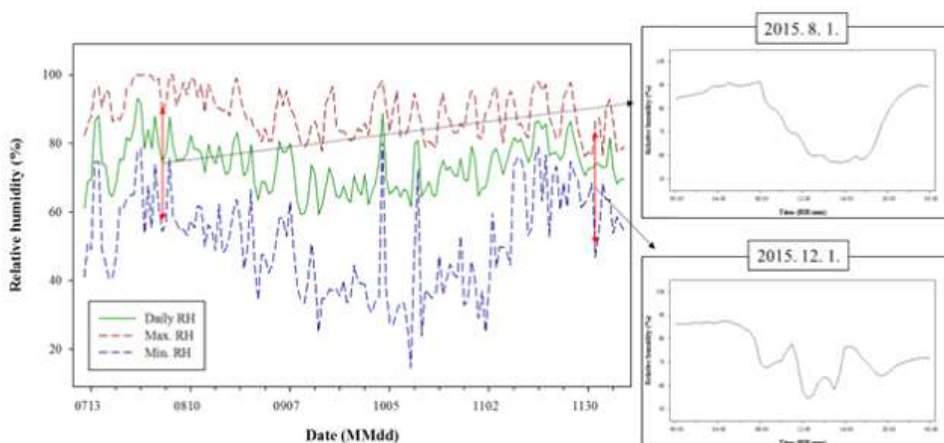


Fig. 3-2-22. Seasonal variation of humidity conditions in a commercial greenhouse for cultivating *Phalaenopsis* plants (Icheon, Gyeonggi).

Table 3-2-10. Number of total and new leaves, leaf span, length, width, and thickness of the uppermost mature leaf, and relative chlorophyll content (SPAD value) of 9-month-old *Phalaenopsis* 'Blanc Rouge' and *Phalaenopsis* 'Mantefon' plants grown for 6 months under different humidity conditions.

Treatment	No. of total leaves	No. of new leaves	Leaf span (cm)	Uppermost mature leaf			SPAD
				Length (cm)	Width (cm)	Thickness (mm)	
<i>Phalaenopsis</i> 'Blanc Rouge'							
30%	6.0	3.8	23.7 ab <sup>z</sup>	13.8	5.5 a	2.2	80.1
50%	5.8	3.2	22.5 b	14.2	5.5 a	2.2	79.6
70%	6.4	3.6	25.3 a	14.0	5.3 a	2.1	77.7
90%	5.6	3.0	24.4 a	13.3	5.0 b	2.1	75.1
Significance	NS	NS	*	NS	**	NS	NS
<i>Phalaenopsis</i> 'Mantefon'							
30%	4.7	3.0	18.1	11.0	5.9	2.1 a	75.3
50%	5.0	2.7	18.3	11.6	5.8	2.2 a	77.9
70%	5.3	3.0	20.6	11.6	5.6	1.7 b	74.8
90%	4.7	2.7	19.7	11.9	6.2	2.2 a	71.7
Significance	NS	NS	NS	NS	NS	**	*

<sup>z</sup>Means (n = 6) within columns followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test at  $P \leq 0.05$ .

NS, \*, \*\*; non-significant or significant at  $P = 0.05$  or  $P = 0.01$ , respectively.



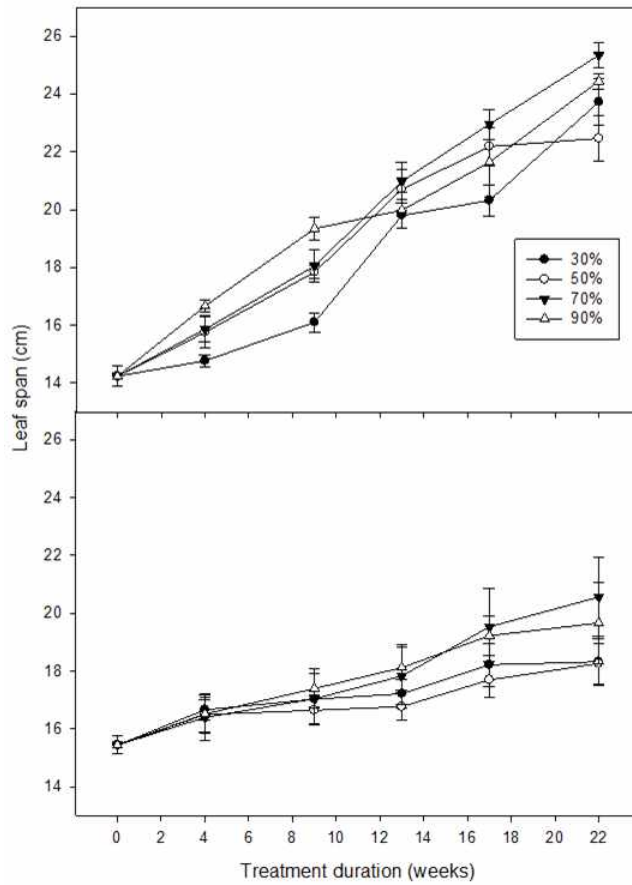


Fig. 3-2-23. Growth of leaf span of *Phalaenopsis* 'Blanc Rouge' (A) and *Phalaenopsis* 'Mantefon' (B) plants during 22 weeks of humidity treatments. The data shown are the mean  $\pm$  SE (n = 6).

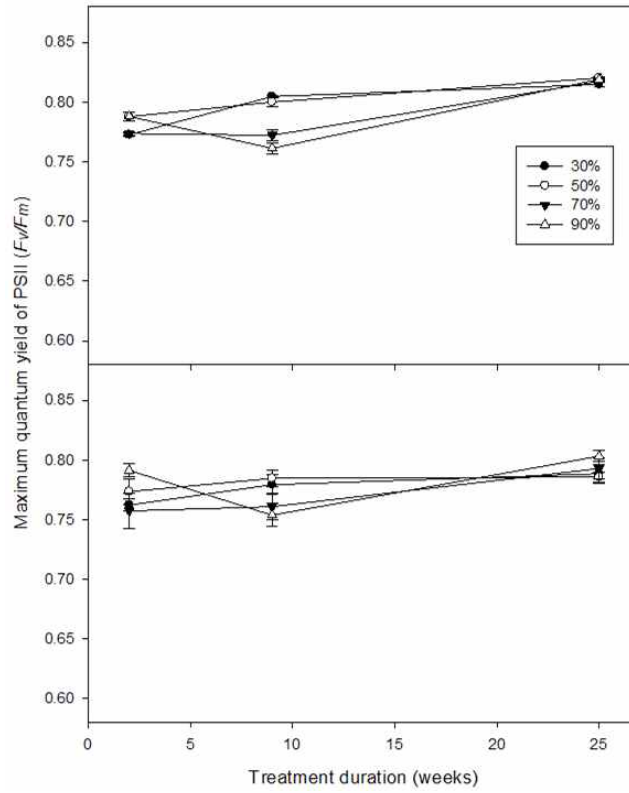


Fig. 3-2-24. Maximum quantum yield of photosystem II ( $F_v/F_m$ ) of the uppermost mature leaves of *Phalaenopsis* 'Blanc Rouge' (A) and *Phalaenopsis* 'Mantefon' (B) plants grown under different humidity conditions. The measurements were conducted after 2, 9, and 25 weeks of each treatment. The data shown are the mean  $\pm$  SE (n = 4).

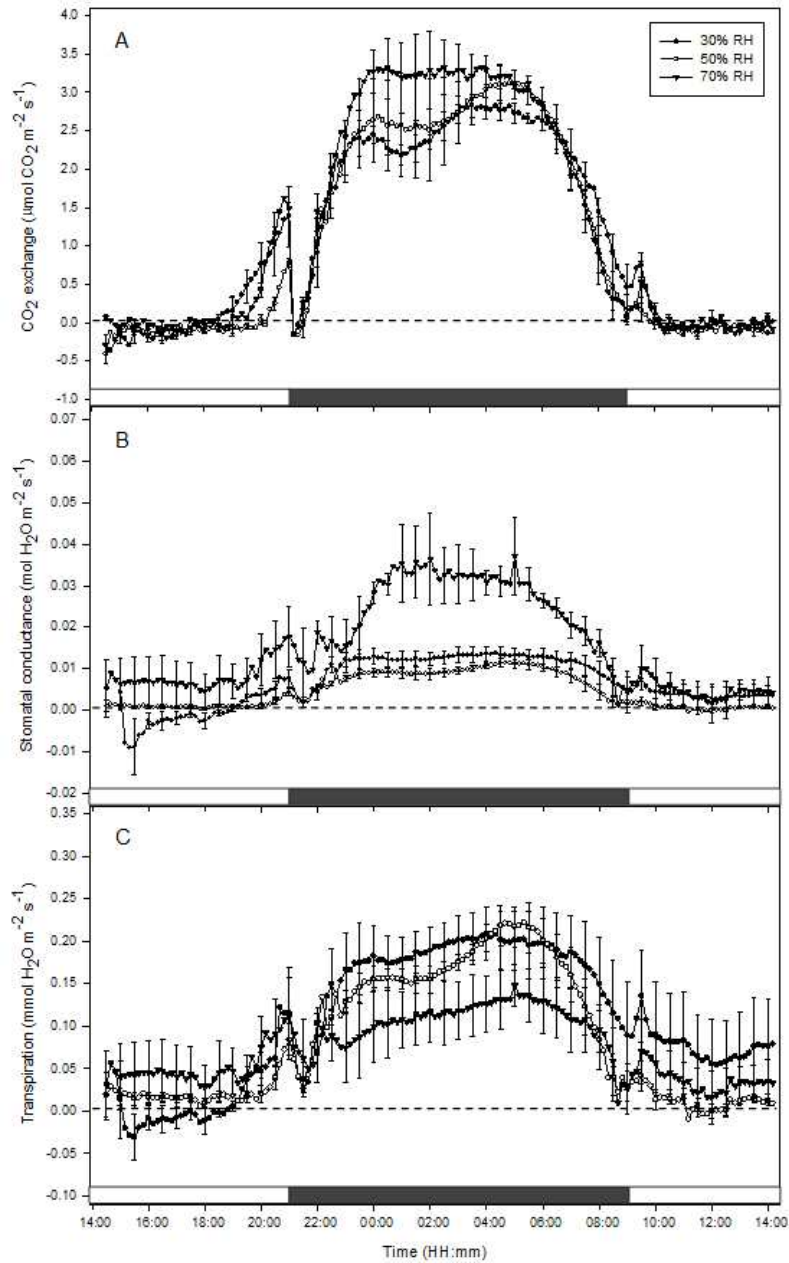


Fig. 3-2-25. CO<sub>2</sub> exchange (A), stomatal conductance (B), and transpiration rate of 8-month-old *Phalaenopsis* ‘Blanc Rouge’ plants grown for 5 months under 30%, 50%, or 70% RH conditions. Gray line indicates the night period. The data shown are the mean  $\pm$  SE (n = 3).

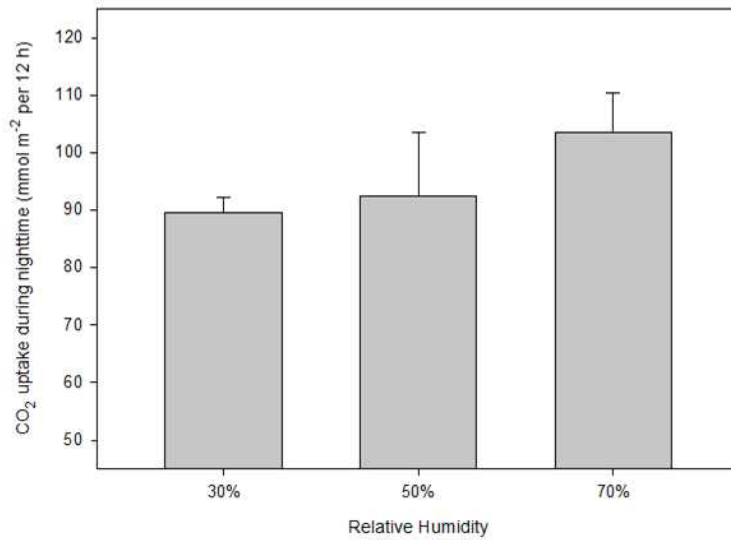


Fig. 3-2-26. CO<sub>2</sub> uptake during the night period of 8-month-old *Phalaenopsis* 'Blanc Rouge' plants grown for 5 months under 30%, 50%, and 70% RH conditions. The data shown are the mean  $\pm$  SE (n = 3).

## 5. 호접란 밀폐형 시스템 적용 시 적정 이산화탄소 시비 농도 조사

이산화탄소 시비는 분화, 절화, 채소 등의 원예 작물의 품질을 증진시키는 방법 중 하나로, 생산량과 개화 품질 증진을 위해 이미 많은 농가에서 온실 내 이산화탄소 시비를 활용하고 있다. 하지만 호접란 온실 재배의 경우 봄부터 초가을까지 온도 조절을 위한 환기로 인해 이산화탄소 시비에 어려움이 있어 그 활용이 제한적인 상황이다. 최근 일부 농가에서 야간 동안의 이산화탄소 시비를 도입하고 있으나, 호접란에서의 이산화탄소 시비 효과를 알아본 연구가 부족하기 때문에 적정 시비 농도나 고농도 피해 등에 대한 정보가 부족한 상황이다.

C3 또는 C4 식물에 비해 호접란과 같은 CAM 식물에서 이산화탄소 시비 효과를 알아본 연구는 상대적으로 부족하며(Poorter와 Navas, 2003), 그 효과도 식물 종마다 다르게 나타나고 있다. Drennan과 Nobel(2000)의 연구에서는 대기 중 이산화탄소 농도가 2배로 증가하였을 때 다육식물과 착생란 등을 포함한 10종의 CAM 식물에서 생체중이 약 35% 증가한 것으로 나타났다. 하지만 *Agave vilmoriana*(Isdo 외, 1986), *Ananas comosus*(Ziska 외, 1991) 등의 CAM 식물에서는 이산화탄소 농도 증가가 생체중 증가로 이어지지 않았으며, 이에 대해 CAM 식물에서의 PEPC 반응이 현재 대기 중 이산화탄소 농도에 포화되었다는 의견이 있다(Winter와 Englebrecht, 1994).

호접란 관행 재배에서 개화주의 상품성을 위해서는 일반적으로 12개월이 넘는 육묘 기간을 거친다. 따라서 호접란 육묘에서의 이산화탄소 시비 효과를 확인하기 위해서는 장기간 동안 고농도 환경에서의 순화 반응을 알아볼 필요가 있다. 국내에서도 몇몇 연구진이 호접란에서 이산화탄소 시비를 위한 연구를 진행한 바 있으나(Hwang과 Jeong, 2009a; Kim 외, 2017), 온실 재배에서의 활용을 위한 연구라는 점, 이산화탄소 공급 시간이 6시간으로 제한적이라는 점, 실험을 위해 설정한 이산화탄소 농도 범위가 넓어 적정 농도를 알아보기 어렵다는 점 등의 한계로 밀폐형 시스템에 적용하기에는 정보가 부족하였다. 따라서 이번 연구에서는 호접란 밀폐형 시스템 적용 시 이산화탄소 시비 활용 여부와 활용 시 적정 농도, 장기간 시비 시 고농도 환경에서의 순화 반응 등을 알아보기 위해 다양한 이산화탄소 시비 농도에서의 생장 및 광합성 반응을 알아보았다.

### (1) 재료 및 방법

식물 재료로 호접란 ‘Mantefon’ 품종을 이용하였으며, 배양 후 6주 묘를 재배 농가로부터 구입하였다. 구입한 식물체는 실험 전까지 밀폐형 시스템에서 상대습도 70%, 온도 28°C, 일장 12시간(09:00~21:00), 광도  $130 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 환경에서 보관, 순화시켰으며, 실험 시작 당시 식물체의 평균 엽장, 엽폭, 엽수는 각각 6.4cm, 3.2cm, 4매이었다. 이산화탄소 시비 효과를 비교하기 위해 네 가지의 이산화탄소 시비 농도 처리구를 두었으며, 각각  $400 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ (ppm), 900ppm, 1500ppm, 2100ppm 처리를 설정하였다. 하루 중 시비 시간은 일장에 대한 이산화탄소 흡수 반응을 고려하여 암기 전 1시간과 암기 총 13시간(20:00~09:00)으로 설정하였다. 충분한 처리 효과를 알아보기 위해 각 처리는 총 27주 간 유지되었다.

각 시비 환경에서의 광합성 반응을 알아보기 위해 이산화탄소 교환율(흡수율)과 기공전도도를 측정하였으며, 측정에는 LI-6400XT(Li-Cor Co., Inc., Lincoln, NE, USA) 광합성 측정기를 사용하였다. 오픈 챔버를 이용하여 측정 챔버 내 온도, 광 환경을 재배 환경과 동일하게 유지하였고, 챔버 내 이산화탄소 농도를 각 처리 농도와 동일하게 유지하였다. 각 시비 환경에서의 순화 반응을 알아보기 위해 측정은 처리 후 2주(기존 잎), 7주(처리 후 새로 발달한 잎)에 두 번에 걸쳐 측정하였다. 또한 각 처리구 마다 이산화탄소 농도 변화에 대한 이산화탄소 흡수율 차이를 조사하여 고농도에서의 스트레스 반응을 알아보았다.

기공 변화를 알아보기 위해 기공 지수(stomatal index)를 조사하였으며, 조사를 위해 처리가 끝난 식물체의 잎 윗면을 투명 매니큐어를 이용하여 본을 뜬 후 그 조각을 직립형광현미경(Axiophot, ZEISS, Oberkochen, Germany) 50배율로 관찰하였다. 현미경에는 카메라(ZaxioCam HRc, ZEISS, Oberkochen, Germany)를 연결하여 사진 촬영을 하였다. 기공 지수는 아래와 같은 식을 통해 계산하여서 구하였다(Salisbury, 1928).

$$\text{Stomatal index} = \frac{\text{no. of stomata present per unit area leaf}}{\text{no. of stomata} + \text{no. of epidermal cells within a unit area of leaf}} \times 100$$

생장량을 조사하기 위해 신엽수, 초폭, 최상위 성숙엽의 엽장, 엽폭, 엽두께 및 엽록소 함량(SPAD value)을 측정하였고, 처리가 끝나는 시점에 지상부와 지하부의 생체중 및 건물중을 측정하였다. 모든 통계분석은 SAS(version 9.4; statistical analysis system, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 ANOVA(analysis of variance) 분석을 실시하였고, 각 처리 간에 통계적인 유의성은 5% 유의수준에서 Tukey's range test로 사후 검정을 하였다. 그래프는 Sigma Plot (version 10.0; Systat Software, Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 작성하였다.

## (2) 결과 및 고찰

이산화탄소 시비 농도를 달리하였을 때 처리 2주 후 이산화탄소 교환율에서 900ppm 처리구의 이산화탄소 흡수량이 가장 높았으며, 그 이상의 농도(1500, 2100ppm)에서는 오히려 이산화탄소 흡수량이 상대적으로 낮은 경향을 나타내었다(Fig. 3-2-27, 3-2-29). 이는 고농도의 이산화탄소 환경에서 기공전도도가 낮아지기 때문으로(Figure 3-2-27), 400ppm의 낮은 농도 처리에서는 기공전도도는 높으나 공기 중 이산화탄소 농도가 낮고 900ppm 이상의 처리에서는 공기 중 이산화탄소는 높으나 기공 전도도가 낮기 때문에 상대적으로 900ppm 처리에 비해 낮은 흡수율을 나타낸 것으로 판단할 수 있다. 처리 7주 후 처리 중 새롭게 발생한 잎을 이용하여 이산화탄소 교환율을 재측정하였을 때에는 고농도에서의 흡수율 감소 현상이 일어나지 않았고, 처리 농도가 높아짐에 따라 흡수율 또한 증가하는 것을 확인하였다. 기공전도도의 경우에도 앞선 측정에서의 결과와 비교하였을 때 1500, 2100ppm 처리에서의 전도도가 증가한 것을 관찰하였다(Fig. 3-2-28). 이러한 결과는 처리 전 발생한 잎과 처리 중 발생한 잎이 각각 순화된 환경이 다르기 때문으로 생각된다.

호접란 잎이 순화된 환경에 따라 이산화탄소 흡수율이 다르게 나타나는 지 확인하기 위해 각 농도 환경에서 순화된 잎을 이용하여 이산화탄소 반응 곡선을 조사해보았다(Fig. 3-2-30). 400ppm의 환경에 순화된 잎은 약 1200ppm의 농도까지는 흡수율이 증가하였지만, 그 이상의 농도에서는 흡수율이 감소하는 것으로 나타났다. 이에 반해 900, 1500, 2100ppm의 고농도 환경에 순화된 잎은 흡수율 감소 없이 농도가 증가함에 따라 흡수율이 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 3-2-29). 따라서 호접란이 높아진 이산화탄소 농도 환경에 적응한다는 것을 알 수 있다.

생장량을 비교하였을 때에는 농도가 증가함에 따라 엽장, 엽폭이 감소하는 것으로 나타났다(Table 3-2-11). 반대로 처리 중 새롭게 발생한 잎의 수는 농도가 높을수록 수가 많아지는 것으로 나타났다. 즉 호접란이 고농도 이산화탄소 환경에서는 leaf expansion 보다는 신엽 발생이 촉진되는 것으로 판단되며, 신엽 발생이 많아지는 것은 생육 단계가 단축된다는 점에서

이산화탄소 시비의 긍정적인 효과라 할 수 있다. 호접란의 경우 각 잎의 기부에 화경 생장점이 있다는 점에서 잎이 많이 발달할수록 개화유도 시 화경의 수를 늘일 수 있다. 호접란 상품의 품질 중 화경의 수가 가장 중요한 지표라는 점에서 이산화탄소 시비가 호접란 밀폐형 시스템 재배의 주요 장점 중 하나가 될 수 있을 것이라 판단된다.

생체중과 건물중을 비교하였을 때에도 지상부 생체중과 건물중이 이산화탄소 시비를 하지 않은 처리구에서 더 높은 것을 관찰하였다(Table 3-2-12). 이는 고농도 환경에서 전체 잎의 수가 감소했기 때문으로 볼 수 있는데, 고농도 환경에서 새로 발달한 잎의 수가 늘어났음에도 불구하고 전체 잎의 수는 감소하는 경향이 나타났다(Table 3-2-11). 이러한 현상이 나타난 이유는 이산화탄소 시비 초기에 처리 전 발생했던 잎들이 시비를 하지 않은 처리에 비해 먼저 노화되어 떨어졌기 때문으로, 고농도 환경에 순화되어 있지 않은 잎들이 고농도에 노출되면서 스트레스가 발생한 것이라 판단된다. 이러한 현상은 이산화탄소 흡수율 관찰과 비슷한 반응으로 보이며, 호접란 이산화탄소 시비 시 급격한 농도 변화는 식물체에 부정적인 영향을 줄 수 있을 것으로 예상된다.

밀폐형 시스템에 이산화탄소 시비를 도입할 때에는 생육 단계 단축, 광합성 촉진 등의 효과를 기대할 수 있다. 하지만 급격한 재배 농도 변화는 잎 노화 등의 문제를 일으킬 수 있다. 따라서 이산화탄소 시비를 위해서는 단계적인 농도 변화를 주거나, 재배 전 순화 과정이 필요할 것이라 예상된다. 적정 시비 농도는 약 1200ppm에서 이산화탄소 흡수량이 포화되는 경향이 나타나므로 그보다 낮은 농도로 처리하는 것이 효율적일 것으로 판단된다.

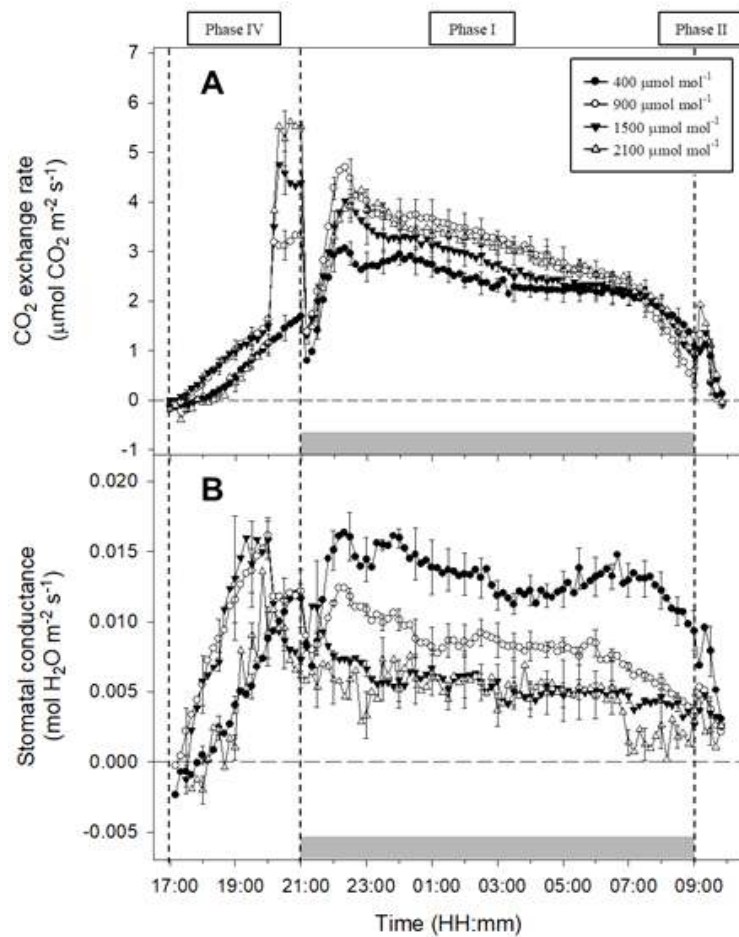


Fig. 3-2-27. CO<sub>2</sub> exchange rate (A) and stomatal conductance (B) of the uppermost mature leaf, which already existed before the treatments, after 2 weeks at 400, 900, 1500, and 2100  $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$  treatments. Vertical bars mean  $\pm$  SE (n = 3).



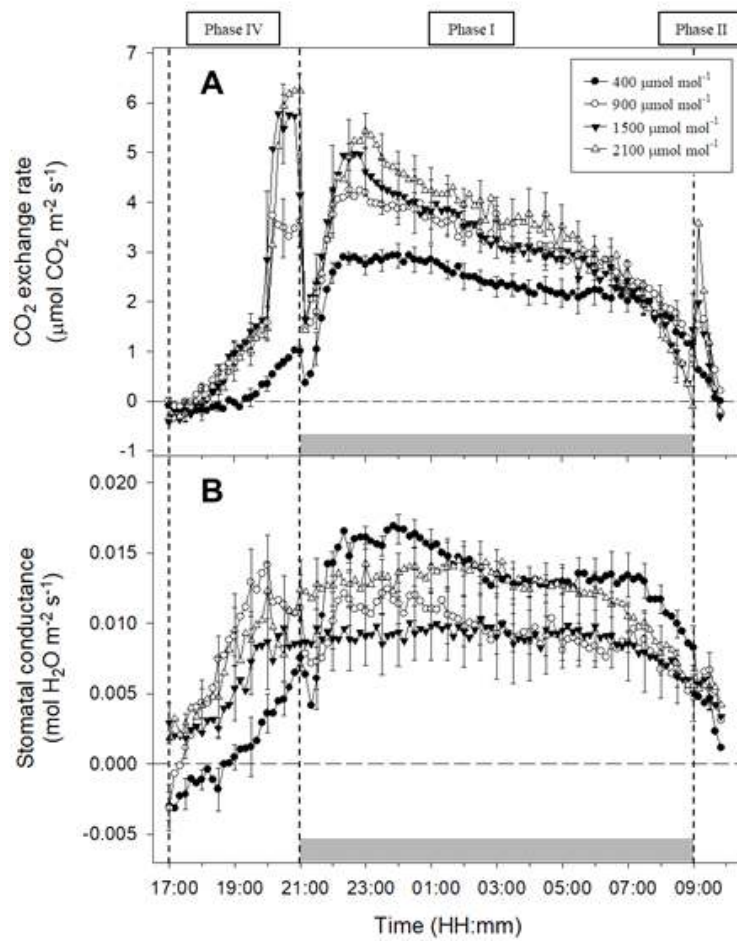


Fig. 3-2-28. CO<sub>2</sub> exchange rate (A) and stomatal conductance (B) of the newly developed mature leaf after 7 weeks at 400, 900, 1500, and 2100  $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$  treatments. Vertical bars mean  $\pm$  SE (n = 3).

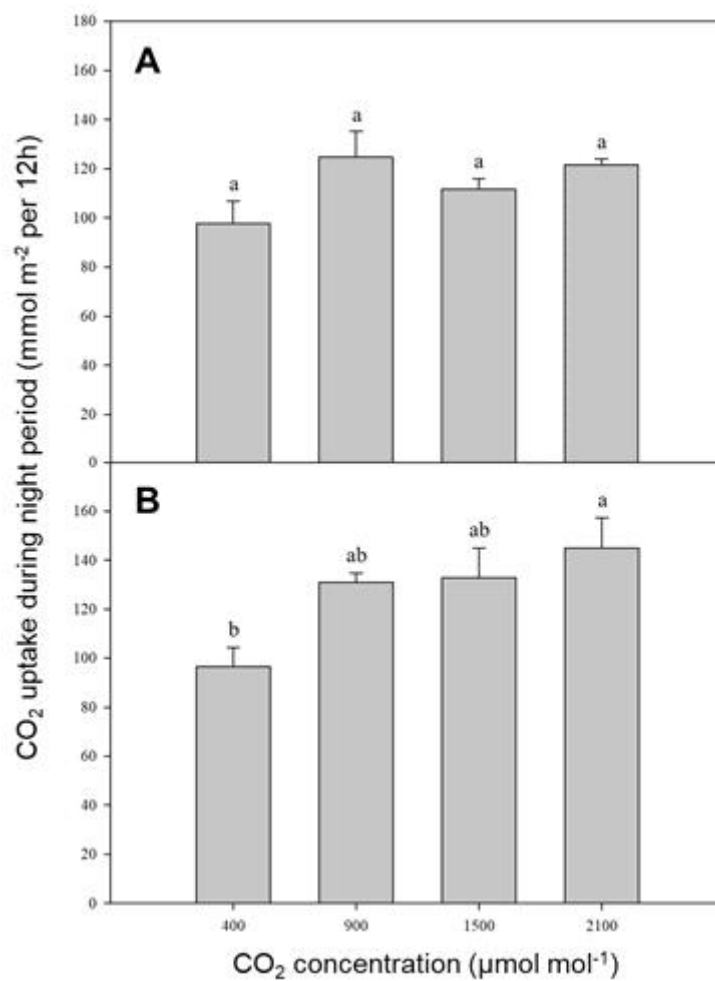


Fig. 3-2-29. CO<sub>2</sub> uptake during night period of the uppermost mature leaf, which already existed before the treatments, after 2 weeks (A) and the newly developed mature leaf after 7 weeks (B) at 400, 900, 1500, and 2100  $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$  treatments. Vertical bars mean  $\pm$  SE (n = 3). Differences were considered significant at  $p \leq 0.05$ .

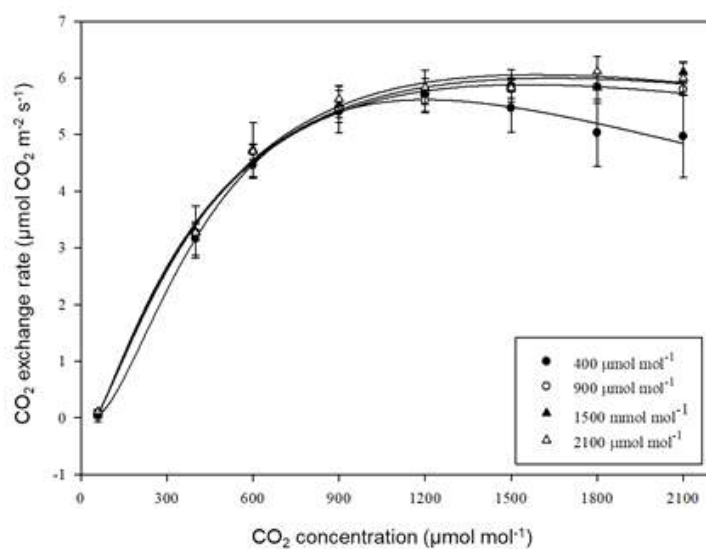


Fig. 3-2-30. CO<sub>2</sub> response curves of the newly developed mature leaf after 7 weeks at at 400, 900, 1500, and 2100  $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$  treatments. Vertical bars mean  $\pm$  SE (n = 3).

Table 3-2-11. Vegetative growth of young *Phalaenopsis* Queen Beer ‘Mantefon’ plants after 27 weeks of CO<sub>2</sub> treatments.

CO <sub>2</sub> concentration ( $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ )	No. of total leaves	No. of new leaves	Leaf span (cm)	Uppermost mature leaf			SPAD
				Length (cm)	Width (cm)	Thickness (mm)	
400 (control)	7.25	3.88 b <sup>z</sup>	17.00	11.73 a	6.73 a	2.02	75.66
900	7.00	4.38 ab	16.83	11.10 b	5.78 b	2.05	72.86
1500	6.88	4.75 a	14.95	9.80 b	5.91 b	2.00	75.93
2100	6.25	4.75 a	14.64	9.60 b	6.03 b	2.09	76.25
Significance	NS	**	NS	**	**	NS	NS

<sup>z</sup>Means (n = 10) within columns followed by different letters are significantly different by Tukey’s range test at  $p \leq 0.05$ . NS, \*\*; non-significant or significant at  $p \leq 0.01$ , respectively.

Table 3-2-12. Biomass of young *Phalaenopsis* Queen Beer ‘Mantefon’ plants after 27 weeks of CO<sub>2</sub> treatments.

CO <sub>2</sub> concentration ( $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ )	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
	Shoot	Root	Shoot	Root
400 (control)	33.54 a <sup>z</sup>	17.63	2.09 a	1.43
900	25.90 ab	15.70	1.63 b	1.37

1500	25.96 ab	16.25	1.63 b	1.38
2100	23.76 b	16.11	1.60 b	1.40
Significance	*	NS	*	NS

<sup>a</sup>Means (n = 10) within columns followed by different letters are significantly different by Tukey's range test at  $p \leq 0.05$ . NS, \*, non-significant or significant at  $p \leq 0.05$ , respectively.

## 6. 난방비 절감형 온도조절기술 개발

온도 환경은 호접란 생육 및 개화에 있어 가장 중요한 환경 요소이다. 호접란은 약 25°C 이하의 온도에서 개화가 유도되는 것으로 알려져 있으며(Sakanishi 외, 1980), 주야간 변온 없이도 개화유도 되는 것으로 알려져 있다(Blanchard와 Runkle, 2006). 단일 환경에서 호접란 개화유도가 촉진된다고 보고된 바 있지만(Rotor, 1952; Went, 1957, An 외, 2013a), 온도 환경이 개화유도에 더 중요한 것으로 알려져 있다(Ichihashi, 1997; Sakanishi 외, 1980). 또한 온도만 개화유도 온도인 25°C 이하일 경우 일장에 관계없이 개화가 가능하다는 점에서(An et al., 2013a) 호접란의 개화 조절은 온도에 의해 결정된다고 할 수 있다. 호접란 육묘 시 온도 조절은 조기 개화로 인한 상품성 저하를 방지하기 위해 28°C 이상의 온도를 유지한다. 이를 통해 호접란 재배는 육묘기 동안 28°C 이상의 온도에서 영양 생장을 지속시키다가 재배자가 원하는 시기에 25°C 이하의 온도에 노출시켜 개화를 시키는 방법으로 연중 출하가 가능하다.

하지만 호접란의 재배 온도가 개화 억제에 맞추어져 있다는 점에서 28°C 이상이 생육에 가장 적합한 온도인지에 대한 확인이 필요하다. 만약 호접란이 28°C 이하의 온도에서 더 좋은 생육을 보인다면 28°C 보다 낮은 온도에서 개화유도 없이 생육을 촉진시킬 수 있을 것이라 예상된다. 또한 호접란 생산 비용에서 난방비가 가장 많은 부분을 차지한다는 점에서 조기 개화를 방지하면서 난방비를 줄일 수 있는 온도조절기술 개발이 요구되고 있다.

기존의 개화억제 방법으로 하루 중 12시간 이상만 28°C 이상의 온도로 유지하는 주간 고온, 야간 저온 방법이 제시된 바 있다(An 외, 2013b; Newton와 Runkle, 2009; Pollet 외, 2011). 이 방법을 이용할 경우 야간 온도를 낮출 수 있다는 점에서 난방비 절감이 가능하며, 또한 야간 온도를 호접란 생육에 적합한 온도로 맞출 수 있다는 장점이 있다. Pollet 외 (2011)의 연구에서 호접란의 광합성이 28°C 보다 그 이하의 온도에서 더 촉진된다는 것이 확인되었다는 점에서 위와 같은 방법을 통해 난방비를 절감하면서도 생육을 촉진시키는 온도 조절기술의 개발이 가능할 것이라 예상된다.

밀폐형 시스템을 이용한 재배가 가능하기 위해서는 경제성을 갖추는 것이 가장 중요하다. 호접란이 28°C 이상을 요구하는 고온성 작물이며 약 12개월 이상의 긴 재배 기간이 필요한 작물이라는 점에서 타 작물에 비해 생산 비용이 높다는 단점이 있다. 따라서 호접란을 밀폐형 시스템에 적용시키기 위해서는 경제성 확보를 위한 난방비 절감형 온도조절기술의 개발이 필요하다. 따라서 본 실험은 호접란의 생육 적온을 확인하고, 난방비 절감형 온도조절기

술을 개발하고자 진행되었다.

### (1) 재료 및 방법

난방비 절감형 온도조절기술 개발에 앞서 호접란 생육 적온을 알아보기 위해 야간 온도를 조절하여 호접란 이산화탄소 흡수량을 비교하였다. 야간 온도를 20, 24, 28, 32℃로 설정하여 야간 동안의 이산화탄소 교환율을 측정하였다. 측정에는 LI-6400XT(Li-Cor Co., Inc., Lincoln, NE, USA) 광합성 측정기를 사용하였으며, 오픈 챔버를 이용하여 측정 챔버 내 온도 및 습도 환경을 재배 환경과 동일하게 유지하였다. 측정에는 1개월된 호접란 ‘Mantefon’ 품종이 이용되었다.

난방비 절감형 온도조절 방법으로 저온, 고온 교호처리가 이용되었다. 본 실험에서 개화유도 억제 및 성장량 비교를 위하여 25/20도(주/야간), 28/28도, 1L+1H(1주일 저온, 1주일 고온 교호처리), 2L+1H(2주일 저온, 1주일 고온 교호처리) 총 네 가지 처리를 설정하였다(Fig. 3-2-31). 호접란 ‘Matefon’, ‘Hong Seol’ 12개월 묘를 구입하였으며, 구입 후에는 실험 전까지 상대습도 60%, 온도 28℃, 일장 12시간, 광도  $130 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 환경에서 보관, 순환시켰다. 각 처리구의 식물체는 완전임의배치법을 이용하여 배치하였고, 15주 이후에도 화경이 관찰되지 않는 경우 개화유도가 되지 않았다고 판단하였다.

개화유도 반응을 조사하기 위해 화경 출현 시기를 조사하였고, 화경 출현 여부는 화경의 길이가 0.5cm(visible inflorescence) 이상인 경우 화경이 출현한 것으로 판단하였다. 성장량 비교를 위해 엽수, 엽장, 엽폭, 엽두께, 식물체 폭을 조사하였으며, 측정된 결과값은 통계 분석을 위해 SAS 9.3 version을 이용하여 ANOVA 분석과 Tukey's honestly significant difference test를 진행하였다. 통계 분석 시 처리에 대한 효과뿐만 아니라 개화유도 여부에 대한 성장량 차이를 분석하였다.

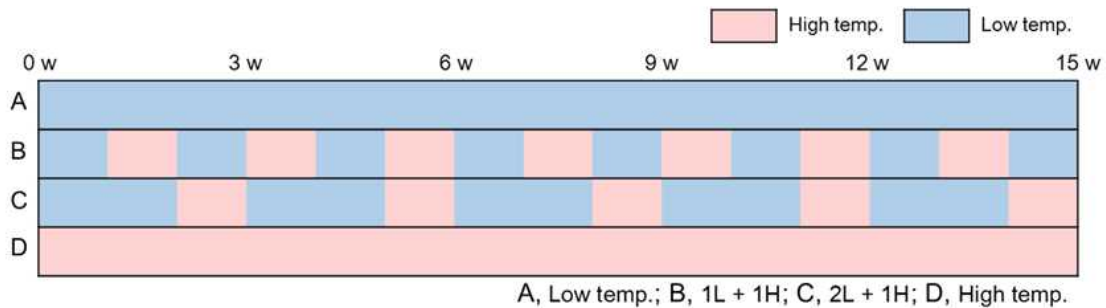


Fig. 3-2-31. Schematic diagram different intermittent high temperature treatments.

### (2) 결과 및 고찰

생육 적온을 알아보기 위해 야간 온도를 달리하였을 때 야간 온도가 낮을수록 이산화탄소 흡수율이 높아지는 것을 확인하였으며(Fig. 3-2-32), 이는 온도가 올라갈수록 호흡량이 증가하기 때문으로 보인다. 이러한 결과는 28℃보다 낮은 온도가 실제 호접란의 생육에는 더 적합하다는 것을 의미한다. 따라서 난방비 절감형 온도조절기술을 통해 난방비를 절감하면서 28℃보다 낮은 온도로 유지할 수 있다면, 기존의 재배 방법에 비해 난방비를 절감하면서도 생육을 촉진시킬 수 있을 것이라 예상된다.

온도 처리에 따른 호접란의 개화유도 양상을 살펴보았을 때 25℃ 저온처리에서는 100% 개화유도를 확인하였으며, 28℃ 고온처리에서는 100% 개화 억제를 확인할 수 있었다(Fig. 3-2-33). 교호처리에 따른 양상을 살펴보았을 때에는 교호처리를 통해 개화가 억제되는 것을 관찰할 수 있었다. 또한 1주마다 고온 처리를 하였을 때가 2주마다 처리를 하였을 때보다 개화유도율이 더 낮아지는 것을 관찰할 수 있었다. 하지만 두 가지 교호처리 모두에서 100% 개화 억제를 관찰할 수는 없었다는 점에서 온도 처리 주기에 대한 추가적인 실험이 필요할 것이라 생각된다.

영양생장 조사에서는 개화가 유도된 개체와 유도되지 않은 개체 사이에서 성장량 차이가 관찰되었다(Table 3-2-13). 모든 처리구에서 개화가 유도된 개체의 성장량이 낮게 관찰되었는데, 이는 생식생장이 유도됨에 따라 영양생장량이 감소되었기 때문으로 보인다. 일반적으로 생식생장 중에는 양분이 영양생장 기관 보다는 생식생장 기관으로 집중되게 된다는 점에서 호접란에서도 이에 따라 개화유도된 개체의 영양생장이 감소한 것으로 판단된다. 개화가 억제된 식물체들을 처리에 따라 비교하였을 때에는 28℃ 처리에 비해 교호처리에서의 식물체가 엽두께 등의 지표에서 유의성 있게 생장이 촉진된 것을 확인할 수 있었다. 이는 앞선 결과와 마찬가지로 호접란의 영양생장을 위한 생육 적온이 28℃보다 낮기 때문으로 예상되며, 교호처리의 경우 28℃ 처리구에 비해 저온기 동안 생육이 촉진된 것으로 판단된다.

본 실험에서는 온도 조절에 따른 개화 억제 효과를 확인하였으며, 개화 억제를 통해 영양생장을 유지할 수 있었다. 또한 호접란의 생육을 위한 적온이 28℃보다 낮다는 것을 확인하였으며, 이에 따라 난방비 절감형 온도조절기술을 통해 저온 기간을 확보함으로써 기존의 28℃ 고온 재배에 비해 성장량을 높일 수 있었다. 본 실험에 이용된 교호처리에서는 100% 개화 억제를 확인하지 못하였다는 점에서 실제 재배 방법에 적용할 때에는 온도 처리 주기에 대한 추가 실험이 필요할 것으로 판단된다.

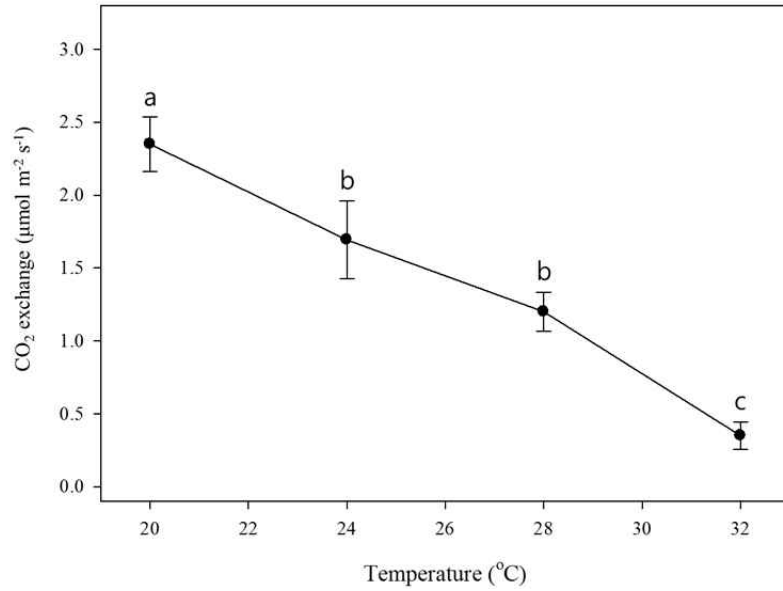


Fig. 3-2-32. CO<sub>2</sub> exchange rate of *Phalaenopsis* ‘Mantefon’ plants under different night temperature conditions. Means with the same letter are not significantly different at  $p < 0.05$  by Tukey’s honestly significant difference test.

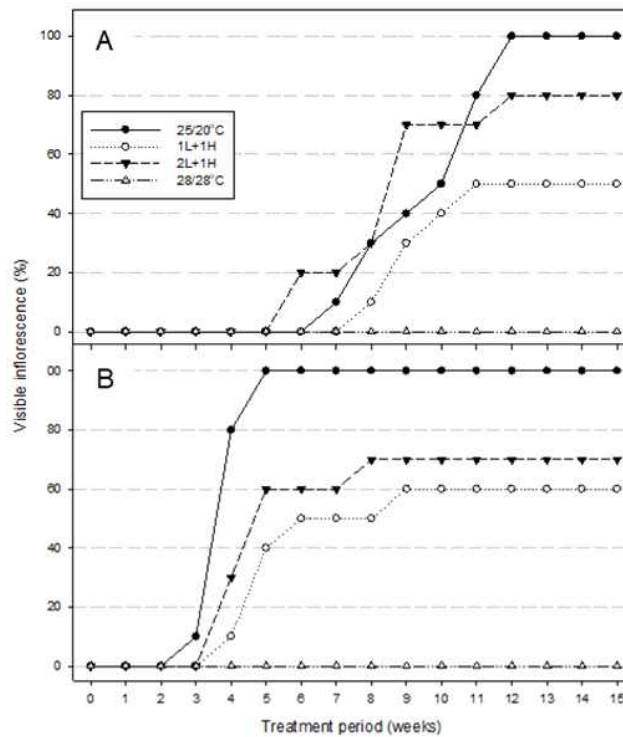


Fig. 3-2-33. Percentages of visible inflorescence of *Phalaenopsis* ‘Mantefon’ (A) and ‘Hong Seol’ (B) plants during 15 weeks of temperature treatments as affected by four different temperature conditions.

Table 3-2-13. Vegetative growth of *Phalaenopsis* ‘Mantefon’ (A) and ‘Hong Seol’ (B) plants after 15 weeks of different temperature treatments. (T: treatment, FI: flower induction)

Treatment	Flower induction	No. of total leaves	No. of new leaves	Leaf span (cm)	Uppermost mature leaf		
					Length (cm)	Width (cm)	Thickness (mm)
<i>Phalaenopsis</i> ‘Mantefon’							
25/20°C	FI	5.60 bc <sup>z</sup>	1.00 d	21.07 b	13.05 b	6.56	2.05 a
	Non-FI	-	-	-	-	-	-
28/28°C	FI	-	-	-	-	-	-
	Non-FI	6.20 ab	1.90 ab	24.76 a	16.90 a	6.57	1.90 b
1L+ 1H	FI	5.50 c	1.25 cd	23.73 bc	14.30 b	6.49	1.94 ab
	Non-FI	-	-	-	-	-	-
2L+ 1H	FI	6.25 ab	1.50 bc	24.85 a	14.15 b	7.20	2.01 ab
	Non-FI	6.60 a	2.20 a	25.22 a	15.02 ab	6.82	2.00 ab
Significance	T	**	****	*	**	NS	*
	FI	**	****	*	**	NS	NS
	T*FI	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<i>Phalaenopsis</i> ‘Hong Seol’							
25/20°C	FI	5.80 c	0.80 b	25.50	14.69 b	6.34 ab	2.16 ab
	Non-FI	-	-	-	-	-	-
28/28°C	FI	-	-	-	-	-	-
	Non-FI	7.00 a	2.10 a	26.18	16.34 a	6.55 a	2.11 b
1L+ 1H	FI	6.29 abc	1.00 b	25.40	14.71 b	5.93 b	1.97 c
	Non-FI	6.67 ab	2.00 a	26.33	17.23 a	6.47 a	2.26 a
2L+ 1H	FI	6.17 bc	1.00 b	25.12	13.80 b	6.27 ab	1.98 c
	Non-FI	7.00 a	2.25 a	25.10	14.95 b	6.43 ab	2.11 b
Significance	T	***	****	NS	***	NS	*
	FI	****	****	NS	****	*	*
	T*FI	NS	NS	NS	NS	NS	***

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Tukey’s honestly significant difference test at  $p < 0.05$ .

NS, \*, \*\*, \*\*\*, \*\*\*\*; non-significant or significant at  $p < 0.05$ , 0.01, 0.001 or 0.0001, respectively.

## 7. 호접란 밀폐형 식물생산시스템 적용을 위한 지상부 환경조절기술 체계 확립

호접란은 약 66여종의 종을 포함하는 난과 식물 속으로 꽃의 수명이 길고 화색이 다양하며 화기 구조가 독특하다는 점에서 가장 인기 있는 화훼 작물 중 하나로 알려져 있다(Chen 와 Chen, 2011; Christenson, 2001). 호접란은 약 25°C 이하의 온도에 노출되면 개화가 유도되는데(Sakanishi 외, 1980), 육묘 기간 동안 충분한 생장이 이루어지지 않을 경우 조기 개화가 발생하여 상품성이 떨어지게 된다는 점에서 재배 기간 동안 28°C 이상의 고온을 요구한다. 일반적으로 상품성 있는 호접란을 생산하기 위해서는 약 12개월 이상의 긴 육묘 기간이 필요하기 때문에 호접란 육묘는 긴 재배 기간으로 인한 관리의 어려움뿐만 아니라 높은 생산 비용 또한 요구된다. 이러한 호접란의 재배 특성으로 인해 우리나라 호접란 재배는 태국,



중국 등의 국가들에 비해 가격 경쟁력이 떨어지며, 대만이나 네덜란드 등의 호접란 재배 선진 국가들에 비해 상품성이 떨어지는 문제가 발생한다.

밀폐형 식물생산시스템은 온, 습도 등의 환경을 정밀하게 조절할 수 있으며(Kozai, 2007), 외부 환경에 상관없이 작물이 원하는 환경을 조성해줄 수 있다. 밀폐형 시스템에서의 재배는 주로 인공 광원을 이용한 다단식 재배를 통해 이루어지는데, 현재 이용되고 있는 형광등, LEDs 등과 같은 인공 광원의 경우 온실 재배에서의 태양광에 비해 광량이 떨어진다는 단점이 있다. 하지만 호접란의 경우 광 요구도가 낮은 작물로 인공 광원만으로 재배하여도 생육에 필요한 충분한 광량을 제공해줄 수 있다. 또한 호접란은 줄기가 짧으며 재식밀도가 높다는 점에서 다단식 재배에 적합하다. 따라서 밀폐형 시스템 내에서 인공 광원을 활용한 호접란 다단식 재배는 호접란 온실 재배에서의 어려움과 밀폐형 시스템의 한계를 모두 극복할 수 있다는 점에서 호접란 육묘에서의 새로운 재배 방법이 될 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 밀폐형 식물생산시스템 내 호접란 육묘를 위한 환경조절기술을 개발하기 위하여 호접란의 다양한 지상부 환경에 대한 생육 반응을 알아보았다.

호접란을 인공 광원만을 이용하여 재배하였을 때 어떠한 반응이 나타나는지 알아본 연구는 많지 않다. 일부 연구에서 조직 배양 시 광질에 대한 효과, 적색광:원적색광 비율에 따른 화경 유도 등에 대한 결과를 보고한 바 있으나(Dueck 외, 2016; Shin 외, 2008) 호접란 육묘에 있어서 광질 효과를 장기간 관찰한 연구 결과는 부족하다 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 먼저 다른 작물에서 이용 중인 여러 가지 화이트 광원을 비교하여 호접란에 적합한 광원을 선별한 후 추가 실험을 통해 적정 광질을 개선해나가는 방법으로 연구를 진행하였다. 형광등, cool-white LEDs, warm-white LEDs 세 가지 광원을 이용하여 호접란을 재배해 보았을 때 warm-white LEDs 하에서 가장 높은 생육량을 나타내었다. 세 광원의 광질을 비교해본 결과 warm-white LEDs의 적색광 비율이 가장 높은 것을 확인할 수 있었다. 이에 따라 청색광:적색광 비율에 따른 호접란 생육을 추가로 조사해 보았는데, 조사 결과 적색광 비율이 높을수록 호접란의 생육이 촉진되었지만 적색광 단일 광 처리에서는 청색광/적색광 조합 처리에 비해 생육량, 광합성 효율, 엽록소 함량 등이 낮은 값을 보였다. 따라서 호접란의 생육을 위해서는 적색광 비율이 높을수록 좋지만, 정상적인 생육을 위해서는 청색광 또한 필요하다는 것을 알 수 있었다. 후속 실험으로 warm-white LEDs의 적색광 비율이 호접란 생육에 최적의 비율인지를 알아보기 위해 warm-white LEDs와 적색광 LEDs의 비율을 조합하여 성장 반응을 비교해보았으며, 화이트 단일 처리에 비해 적색광을 추가시켰을 때 더 높은 성장량을 보였다. 하지만 white:red 비율이 1:2일 때 성장량 증가가 포화되는 경향이 나타났으며, 그 이상의 적색광 비율에서는 적색광 비율 증가에 따른 생육량 증가가 관찰되지 않았다. 따라서 이러한 단계적 연구 과정을 통해 인공 광원을 활용한 호접란 육묘에서는 warm-white:red의 비율이 1:2인 광질이 가장 적합한 것으로 판단되었다.

식물이 하루 동안 받는 광량은 일적산광량(DLI, daily light integral)으로 표현할 수 있는데,

일반적으로 식물의 생육은 DLI 값에 따라 결정되는 것으로 알려져 있다(Kaczperski 외, 1991; Niu 외, 2000). 호접란은 광 요구도가 낮은 식물로 약  $300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  이상의 광도에서는 광합성 효율이 낮아지는 등의 스트레스 반응이 나타나며(Guo 외, 2012), 그 이하의 광도에서는 광도가 증가할수록 생육이 촉진되는 것으로 알려져 있다(Guo 외, 2012; Lin와 Hsu, 2004). 일장에 대한 효과로는 단일 환경에서 야간 동안의 이산화탄소 흡수량이 감소하는 것으로 알려져 있으나(Guo 외, 2012) 일장에 따른 생육량을 비교해본 연구는 진행된 바 없다. 이에 따라 본 연구에서 광도와 일장, 그리고 DLI에 따른 호접란의 생육 반응을 비교해 보고 호접란 밀폐형 시스템 육묘에 적합한 광도, 일장 환경을 확인해 보았다. 실험 결과 호접란에서도 DLI와 생육량 간의 높은 상관관계가 나타났으며, DLI 값이 증가함에 따라 생육량이 증가하는 경향이 관찰되었다. 하지만 이러한 반응은 DLI 값이 증가할수록 포화되는 경향이 나타났다. 일반적인 호접란 온실 재배에서의 적정 최대 DLI 값이  $6\sim 11 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 이라는 점에서(Faust, 2002) 밀폐형 시스템에서의 적정 DLI 값도 온실에서와 유사한 값을 보인다고 할 수 있다. 이러한 내용을 종합하였을 때 본 연구에서는 광도  $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 일장 16시간을 통해 약  $11.52 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 DLI 값을 조성하는 것을 제시하였다. 하지만 밀폐형 시스템의 경우 온실 재배에서와는 다르게 광량을 높이기 위해서는 그 만큼의 에너지 투입이 필요하다는 점에서 실제 재배에서는 에너지 투입 대비 생산성을 고려한 효율을 따져볼 필요가 있을 것으로 보인다. 개화유도에 대한 효과를 비교하였을 때에도 약  $12 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 DLI 값에서 포화되는 경향이 나타났으며, 그 이상의 광량에서는 잎이 붉어지는 문제가 나타났다. 일부 연구에서 호접란이 단일 환경에서 개화가 촉진되는 것으로 보고된 바 있으나, 본 실험에서는 Ichihashi(1997)와 Sakanishi 외(1980)의 보고와 마찬가지로 호접란의 개화유도에 있어 일장 반응은 없는 것으로 관찰되었다. 따라서 밀폐형 시스템에서의 광도, 일장은 DLI 값을 기준으로 설정하는 것이 적합할 것이라 생각된다. 적정 DLI 값은 에너지 효율성을 고려해야 한다는 점에서 약  $11 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 최대값을 제시하고자 한다.

호접란의 자생지는 열대 지역의 연중 습한 환경이다. 따라서 기존의 호접란 재배법에서도 습도를 높게 유지하는 것을 추천하고 있다. 하지만 우리나라 호접란 온실 재배에서는 온도 조절에 따른 환기, 난방, 보온 등으로 인해 온실 내 습도 환경이 쉽게 변화한다. 실제 호접란 농가의 계절별 습도 환경을 조사해보았을 때 하루 동안 약 40%의 상대 습도 차이가 발생했으며, 최저 상대 습도가 30% 이하로 내려가는 것을 확인하였다. 따라서 기존의 온실 재배에서는 재배 방법의 특성상 습도 환경에 대한 정밀한 조절이 이루어지지 않는다는 것을 확인할 수 있다. 밀폐형 시스템의 경우 습도 환경을 쉽게 조절할 수 있다는 장점이 있다. 본 실험에서는 호접란 생육 및 광합성에 적합한 습도 환경을 조사하였다. 기존 문헌들에서는 일부 단기간 호접란의 습도에 따른 이산화탄소 교환 반응을 관찰한 연구가 있었으나, 장기간 생육량을 비교해본 연구는 없었다. 따라서 본 실험에서는 6개월 이상의 육묘기에 걸쳐 생육 반응을 비교해보았다. 관찰 결과 비록 큰 성장량 차이를 보이지 않았지만 70% 상대습도 환

경에서 가장 높은 생육량을 보였으며, 90% 고습도 환경에서는 오히려 생육량이 낮아지는 경향이 나타났다. 또한 상대 습도가 낮아질수록 이산화탄소 흡수율이 감소하고 생장량이 감소하였다는 점에서 밀폐형 시스템에서 70% 상대습도를 유지하는 것이 기존 온실 재배와 비교하였을 때 생육 촉진을 기대할 수 있을 것으로 예상된다.

호접란 온실 재배에서는 여름철 환기로 인해 이산화탄소 시비가 제한적이지만 밀폐형 시스템은 외부 환경과 단절되어 있다는 점에서 매일 이산화탄소 시비가 가능하다. 호접란과 같은 CAM 작물에서 연구에서 이산화탄소 농도 증가가 생체중 증가로 이어졌다는 보고가 있으나(Drennan과 Nobel, 2000), 일부 연구에서는 생체중 증가가 관찰되지 않았다(Isdo 외, 1986; Ziska 외, 1991). 본 연구에서는 이산화탄소 농도 증가가 신엽 발생을 촉진시킨다는 것을 확인할 수 있었다. 호접란의 화경이 잎의 기부마다 발달한다는 점에서 신엽 발생 촉진은 더 많은 화경을 만들어낼 수 있음을 뜻한다. 호접란의 상품성에서 화경의 수가 주요 지표라는 점에서 이산화탄소 시비를 통해 고품질의 호접란을 생산할 수 있을 것이라 예상된다. 이산화탄소 흡수량을 비교하였을 때에는 농도가 증가할수록 흡수량 또한 증가하였지만 1200ppm에서 포화되는 경향이 나타났다. 이산화탄소 시비의 부정적 효과 또한 나타났는데, 농도가 증가할수록 처리 전 발달했던 잎들이 일찍 노화되는 현상을 관찰할 수 있었다. 이는 고농도 이산화탄소 환경에 대한 스트레스 반응으로 예상되며, 추후 이산화탄소 시비를 도입할 때에는 환경 순화 기간이 필요할 것이라 판단된다. 적정 시비 농도는 900ppm으로 판단되며, 이는 일반적인 화훼류 재배 시 이산화탄소 시비 농도와 비슷한 수준이다.

호접란 생산 비용에서 가장 많은 부분을 차지하는 것이 난방비이다. 호접란 재배에서의 온도 조절은 조기 개화로 인한 상품성 저하를 막기 위해 육묘기 동안 28℃ 이상의 온도를 유지한다. 하지만 야간 온도에 따른 이산화탄소 흡수량을 비교해보았을 때 야간 온도가 낮을수록 흡수량이 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 호접란의 생육 촉진을 위해서는 28℃ 보다 낮은 온도로 유지하는 것이 필요하며, 이러한 온도 하강은 난방비를 줄일 수 있다는 장점 또한 있다. 본 연구에서는 저온/고온 교호처리를 통해 난방비 절감형 온도조절기술을 개발하였다. 저온기와 고온기를 번갈아 처리하였을 때 개화유도율이 감소하는 것을 확인하였으며, 교호처리구에서 생육이 촉진되는 경향을 관찰할 수 있었다. 이는 교호처리 시 저온기 동안 이산화탄소 흡수량이 증가하여 생육량 또한 증가한 것이라 예상되며, 새로운 온도조절기술을 통해 난방비 절감뿐만 아니라 생장 촉진 효과도 기대할 수 있음을 의미한다. 하지만 본 연구에서 사용한 처리에서는 100% 개화 억제를 확인할 수 없었다는 점에서 교호처리 방법에 대한 추가적인 실험이 필요할 것이라 예상된다.

본 연구 과제를 통해 호접란 밀폐형 식물생산시스템 적용을 위한 지상부 환경조절기술을 확립하였다. 광, 온도, 습도, 이산화탄소 등의 다양한 지상부 환경을 조절하기 위한 기초자료를 수집하였으며, 호접란 재배에 밀폐형 시스템을 도입하기 위한 적정 환경을 확인할 수 있었다. 본 연구 결과는 호접란 재배에서의 신 재배기술을 제안하였다는 점에서 기존의 재배

방법을 개선할 수 있을 것이라 예상되며, 아직 화훼류 재배에서의 밀폐형 시스템 도입이 많이 이루어지지 않았다는 점에서 주요 사례로 활용될 수 있을 것이라 생각된다.

## <제2협동> 호접란 분화 재배용 밀폐형 식물생산시스템 개발

### 1. 수경재배용 조립식 식물공장(특허출원 10-2015-0058758)

#### 가. 제품 개요

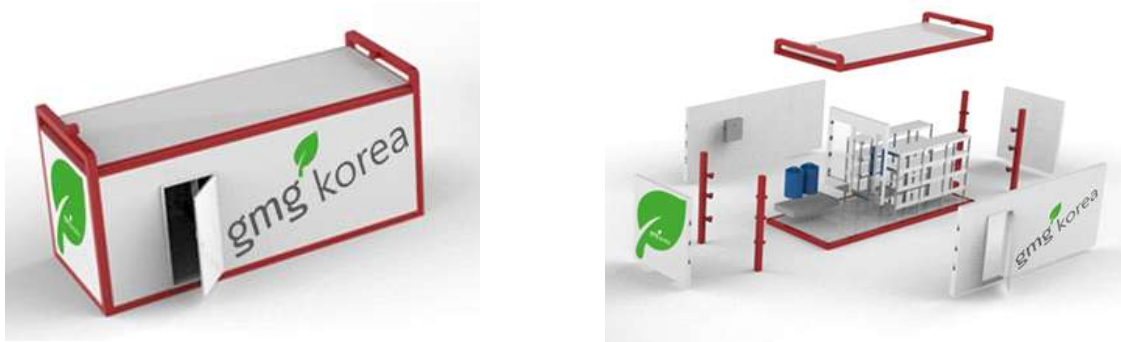


그림 3-3-1. 수경재배용 조립식 식물공장의 개요.

나. 조립식 식물공장시스템 구성 및 디자인

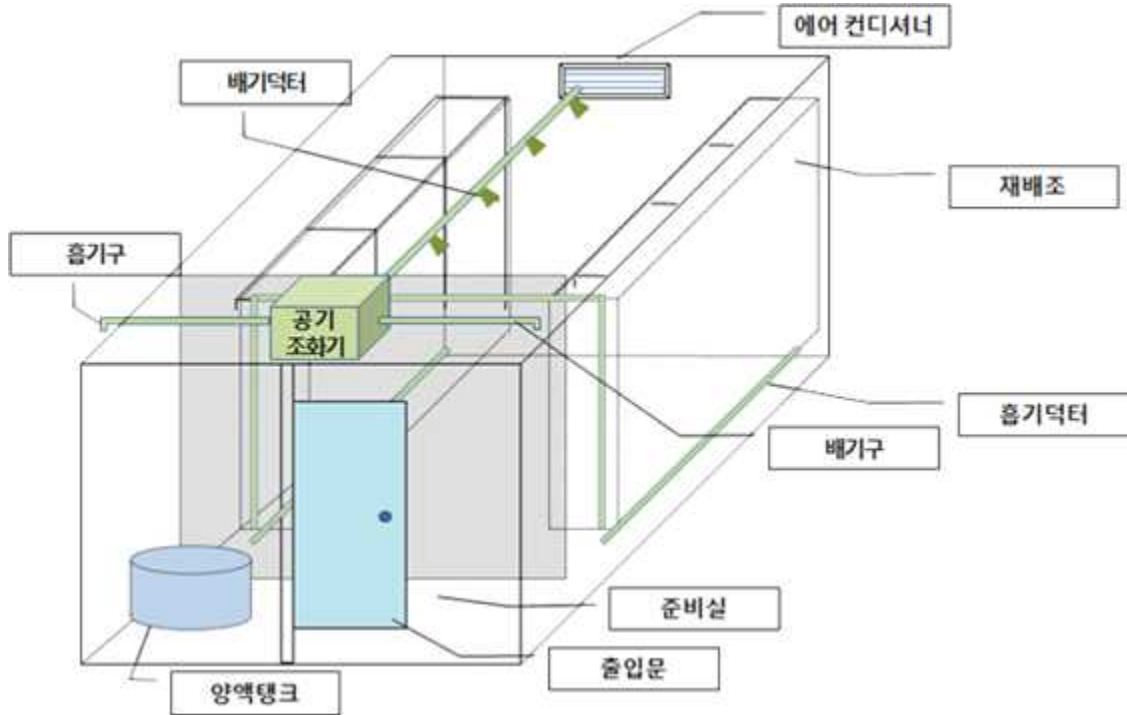


그림 3-3-2. 수경재배용 조립식 식물공장 시스템의 개념 및 구성

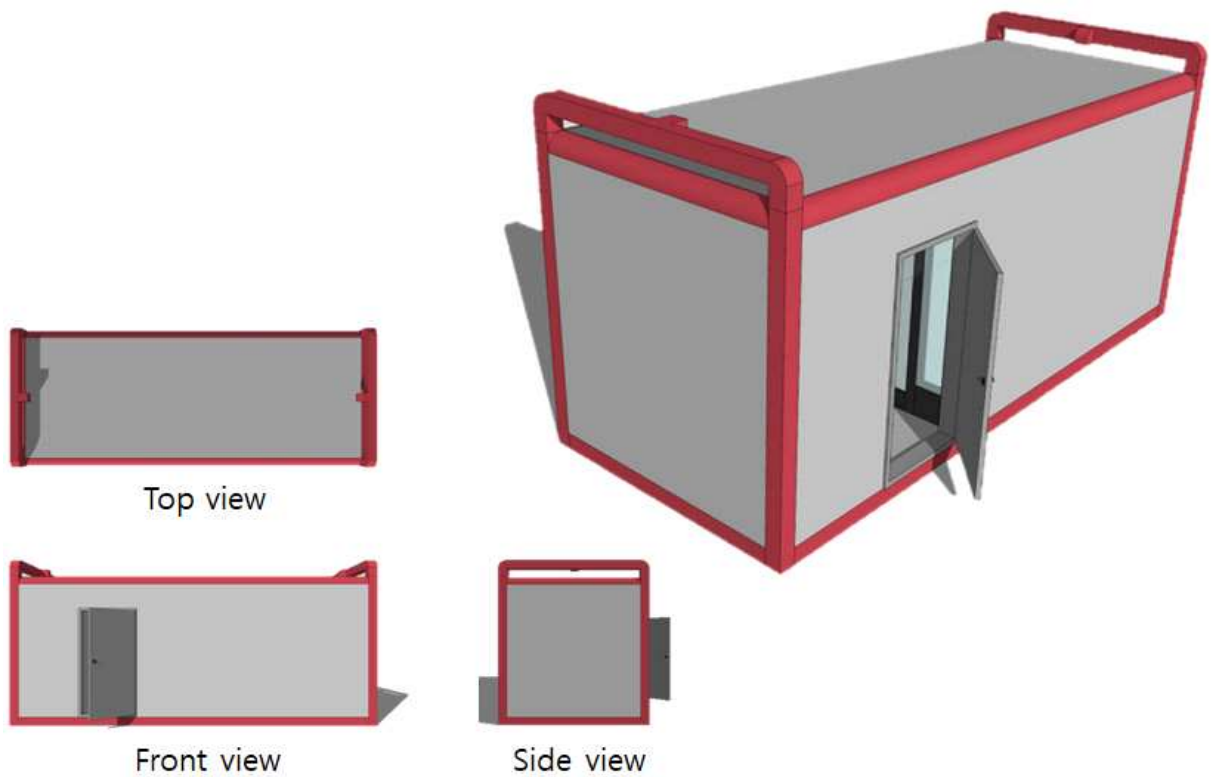


그림 3-3-3. 수경재배용 조립식 식물공장 시스템의 기본 디자인

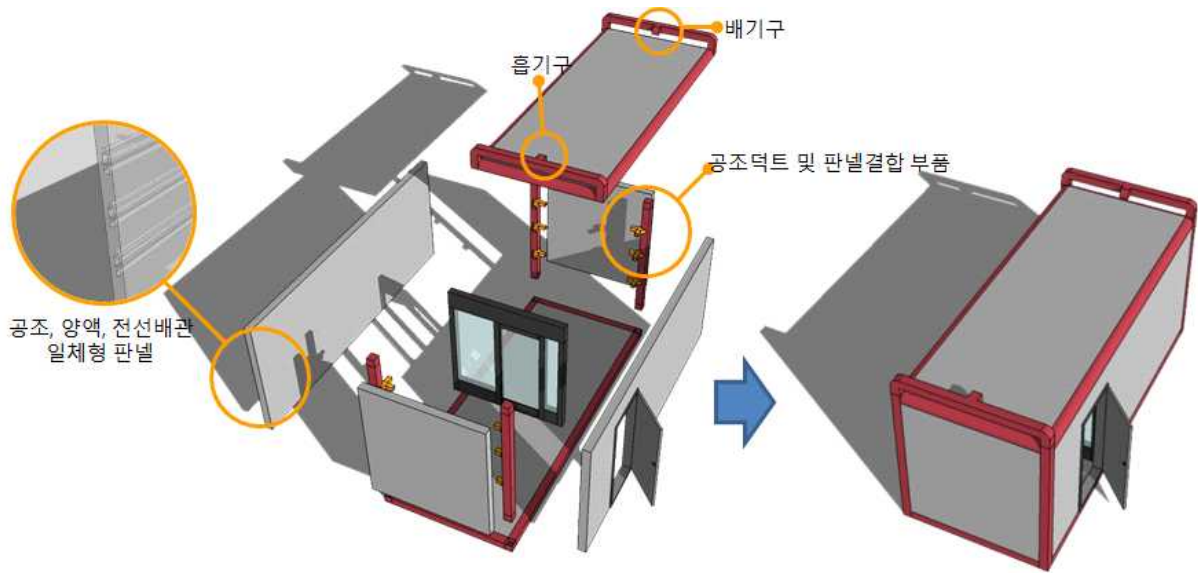


그림 3-3-4. 수경재배용 조립식 식물공장 시스템의 기본 조립도

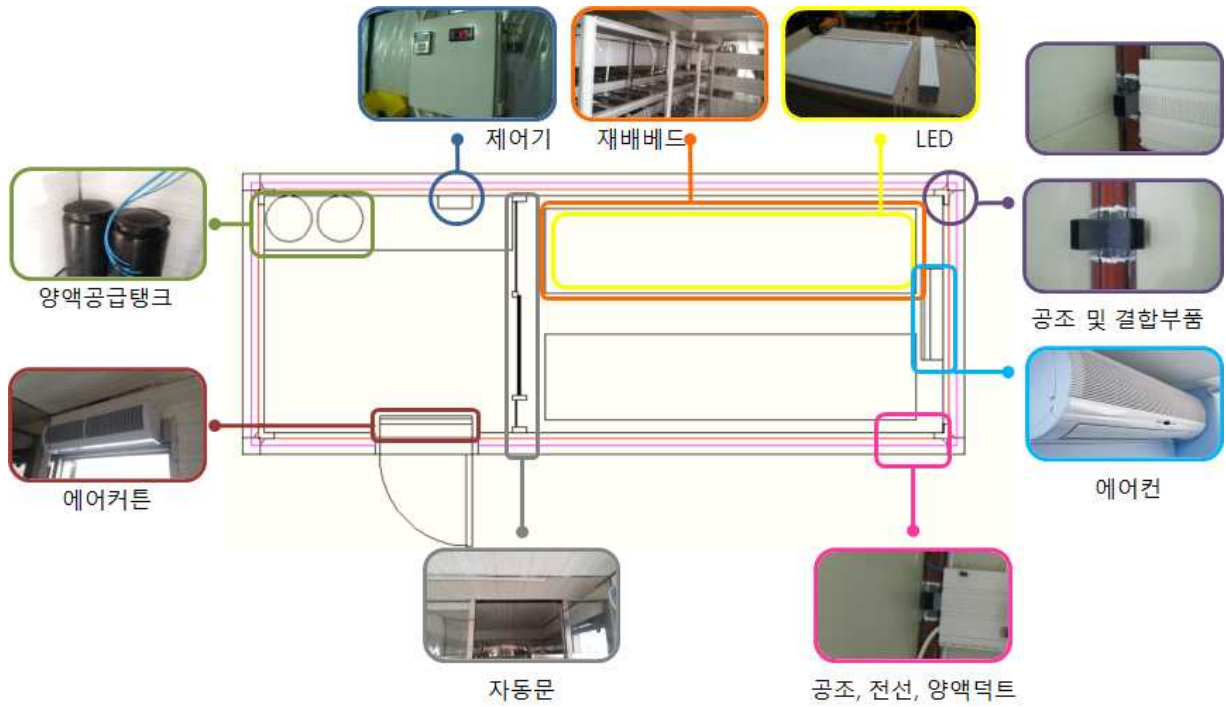
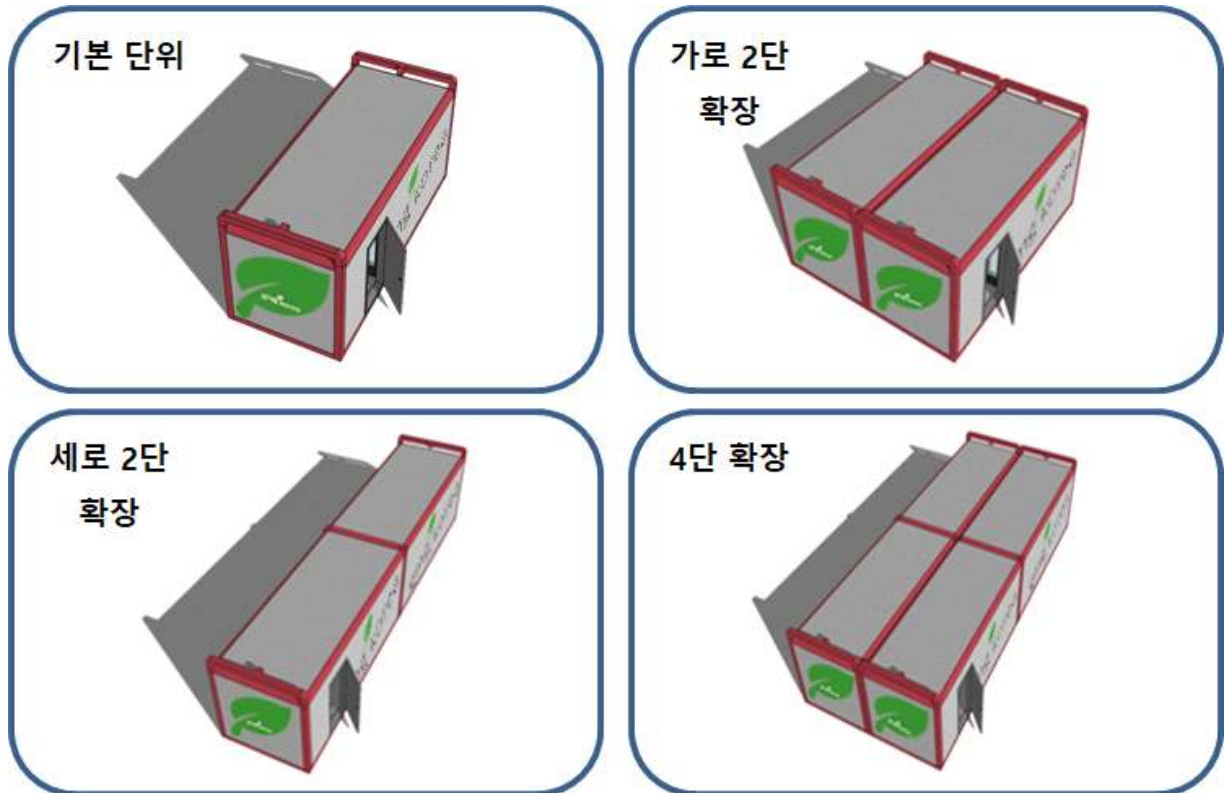


그림 3-3-5. 수경재배용 조립식 식물공장 시스템의 구성

#### 다. 조립식 식물생산시스템 확장 조립



- 다양한 사용자의 요구 따라 맞춤형 조립식 식물공장 형태로 다양한 형태로의 조립 및 확장 가능

그림 3-3-6. 수경재배용 조립식 식물공장 시스템의 확장 조립.

#### 라. 제품 차별화

- 부품의 표준화와 모듈화로 투자비용 절감, 주문자 요구에 맞춤형 설비 제작
- 폐양액 재처리 기술 적용으로 비료 및 물 소모량 최소화
- 광량효율성을 극대화하는 스테인레스 미러판을 부착하여 반사광을 활용한 내부 벽면 디자인
- 재배식물의 종류에 맞춰 재배용 베드의 층간 높이를 조절할 수 있게 하여 식물환경조절 효율성을 극대화
- NFT 및 Ebb & Flow 방식을 적용하여 용존산소량 극대화
- 개별 부품의 표준화와 모듈화로 식물공장 생산, 제작설비의 이동성 향상
- 소규모부터 대규모까지 사용자의 요구에 맞는 실용적인 확장형 컨테이너 형태의 모델 개발



## 2. 실험용 식물생산시스템 개발

### 가. 미래형 식물생산시스템 연구용 재배기

#### (1) 개발 목적

- 수경재배기술 발전을 위한 연구용 재배기로서 현재 소형화 연구 환경에 맞게 제작된 장치가 없어 편리성, 공간성, 실용성, 재배환경들을 각 베드별로 하여 비교분석이 가능하도록 하는데 목적이 있음
- 수경재배방식에는 크게 담액방식, NFT방식, ebb-and-flow방식, 분무경방식 등이 있음
- 분무경방식에는 재배베드에서 뿌리 부분에 양액을 세밀하게 분무하여 뿌리 부위에 적당한 습도 및 공기유입(공조)을 활용하는 기술로 뿌리부분의 적절한 습도와 양분을 공급하는 조절하는 장치와 온/습도 및 뿌리부분에 빠른 건조를 제어할 기술 등이 필요함
- 담액방식인 경우, 양액에 산소를 공급하는 장치와 양액이 소모되어 필요한 시기에 양액을 공급하고 수위 및 양액농도를 제어하는 센서 등을 활용하여 식물뿌리가 필요로 하는 환경을 조절하는 장치가 필요함
- 컨트롤러 장치(디머) 및 시간타이머 등을 설치하여 쉽게(편리하게) 각 층마다 따로 환경조절이 가능한 방식으로 부위별 광량 및 광질을 마음대로 조절이 가능하고 양액공급방식 및 양액공급량과 공급시간을 각층별로 달리여 다양한 환경변화를 줄 수 있는 방식임
- 현재 출시된 재배기에는 지상부에 설치된 LED등에서 발생하는 열을 제어하는 시스템이 없고, 식물 성장에 필요한 증산작용을 활발히 할 수 있는 근접 공조시스템(팬)이 없는 실정임
- 효율적인 재배실험을 위해 하나의 재배기에서 각각 재배층마다의 다른 기능과 환경을 적용하여 다양한 환경을 조성할 수 있어야 하나 이러한 구조를 가진 연구용 재배기는 없는 실정임

#### 나. 테스트용 수경재배기 전체 사양

- 전체 규격 : 670(W) X 630(D) X 1900(H)mm <컨트롤부 포함 2,100(H)mm>  
재질 : SUS
- 모터 : 고압 저소음 소형모터 채택함으로 미세하고 균일한 분사 가능, 여과기 부착으로 노즐 막힘 예방.
- 구성 : 3단 분무시스템, 각 단을 제어할 수 있는 상부 컨트롤부, 재배조, LED, 양액탱크로 구성

○ 기타 : 조립식으로 구성되며 이동을 위한 바퀴 장착



살수량 : 7 ~28 L/H

사용압력: 2.0 4.0 Bar

현재 적용사양 : 21 ~ 28 L/H , 2.0 Bar

모터: 고압 저소음 소형모터 채택함으로  
미세하고 균일한 분사 가능.

여과기 부착으로 노즐 막힘 예방.

재배조

규 격 : 600(W) X 600(D) X 200(H)

재 질 : ABS

정식판

규 격 : 570(W) X 570(D) X 30(T)

재 질 : 고밀도 폴리스틸렌

재식공 : 5 X 6 (30공)



규격 : 670(W ) X 630(D) X 1900(H)  
컨트롤부 포함 2,100(H)

구성 : 3단 분무 시스템  
각 단을 제어 할 수 있는 상부 컨트롤부  
재배조, LED, 양액탱크로 구성

재질 : SUS

기타 : 조립식으로 구성되며 이동을 위한  
바퀴부착

그림 3-3-7. 테스트용 수경재배기 개요: 실험용 재배장치(특허출원 10-2015-0143900)

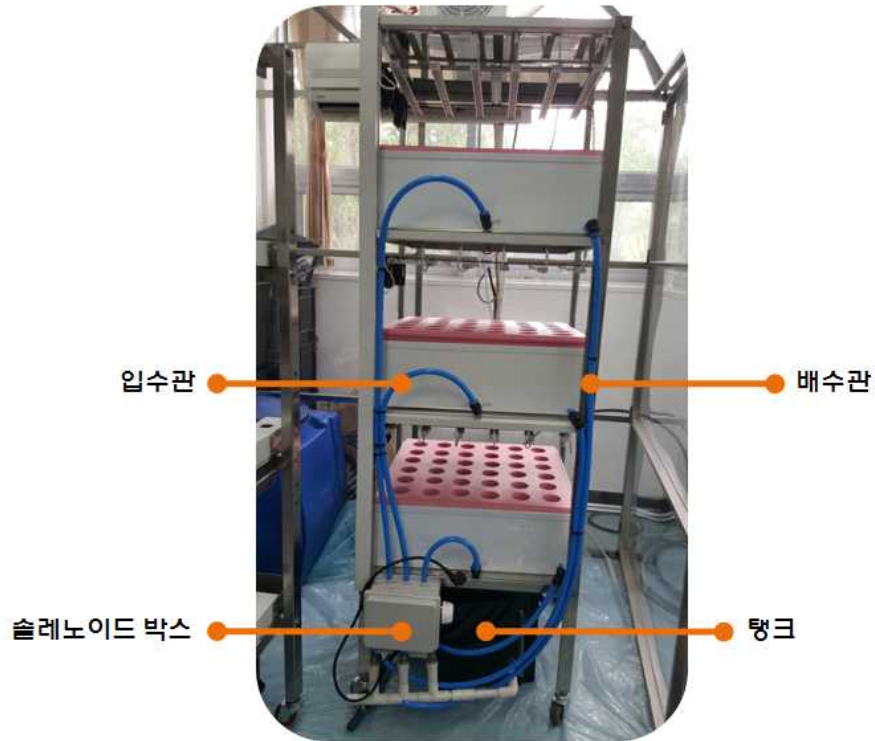


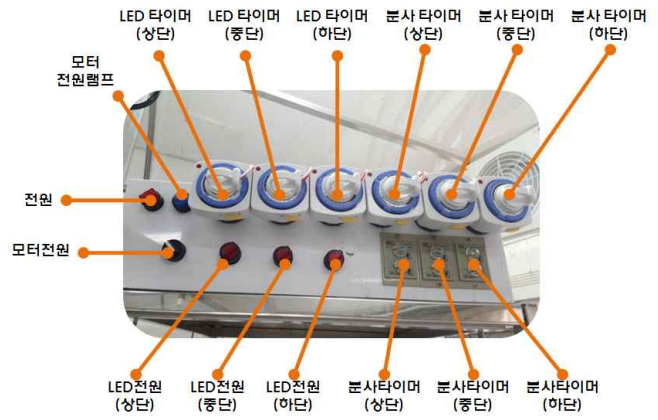
그림 3-3-7.(계속) 테스트용 수경재배기의 후면부

#### 다. 컨트롤부 사양

- 전원 : 메인 전원으로 전체 전원 제어
- 모터전원 및 램프 : 구동모터 입력전원 제어, 비상 시 모터 작동 중지
- LED 전원 : LED에 전원 공급 스위치
- LED 타이머 : LED ON/OFF 시간 제어
- 분사 타이머 : 재배조 내의 미스트 노즐 분사시간 제어
- 분사 메인 타이머 : 분사타이머 전체 시간 제어

#### 다. LED 조명부 사양

- 규격 : 520(W) × 26(D) × 14(H)mm, 2라인 적용
- 사양 : R:B:W = 4:2:2 (사양 변경 가능)
- 식물생장용 LED로 파장 Red(660nm)와 B(450nm) 사용
- 램프 높이 조절 가능, 각 단별 디머 기능 부착



<컨트롤부 구조>

<컨트롤부 명칭>

그림 3-3-8. 테스트용 수경재배기의 컨트롤부

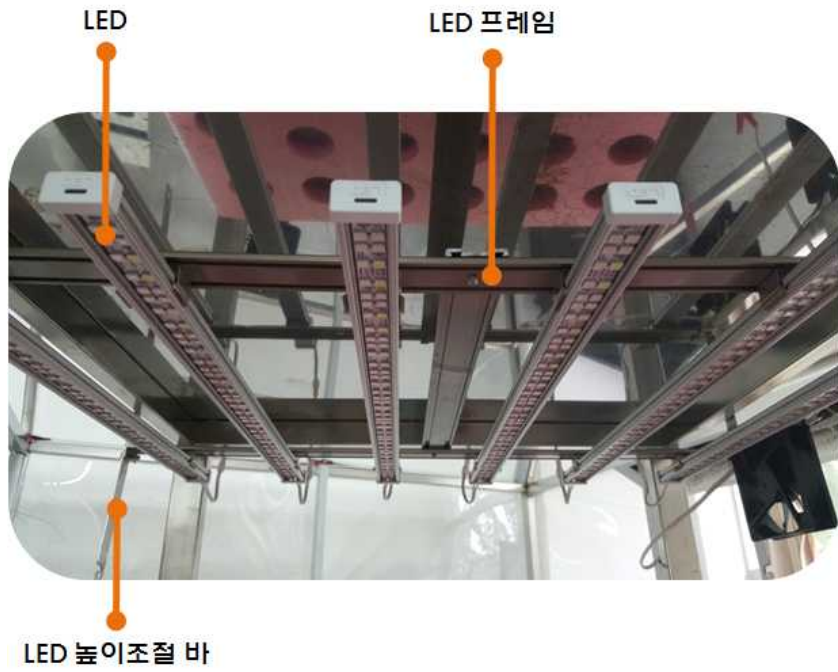


그림 3-3-9. 테스트용 수경재배기의 조명부(LED)

### 라. 공기순환부 사양

- 각 층마다 각각의 식물 성장에 따른 차별적으로 정제된 공기를 순환시켜 주며 LED 발열부 냉각 효과

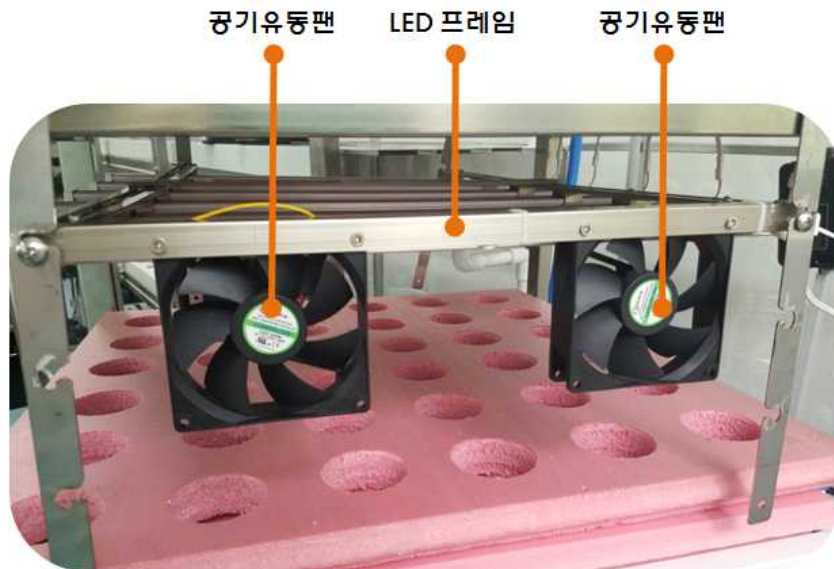


그림 3-3-10. 테스트용 수경재배기의 공기순환부

### 마. 재배부 사양

- 재배조 규격: 600(W) × 600(D) × 200(H)mm  
재질: ABS
- 정식판 규격: 570(W) X 570(D) X 30(H)mm  
재질: 고밀도 폴리스틸렌
- 재식공 : 5(가로) X 6(세로) = 30공, 3단



그림 3-3-11. 테스트용 수경재배기의 재배부(베드)

**바. 재배 분사부 사양**

- 포그 노즐
- 살수량 : 7~28 L/h
- 사용압력 : 2.0, 4.0 bar
- 현재 적용 사양 : 21~28 L/h, 2.0 bar



그림 3-3-12. 테스트용 수경재배기의 베드 내 관수부(분무경)

○ 테스트용 식물생산시스템 분사노즐 작동 개요

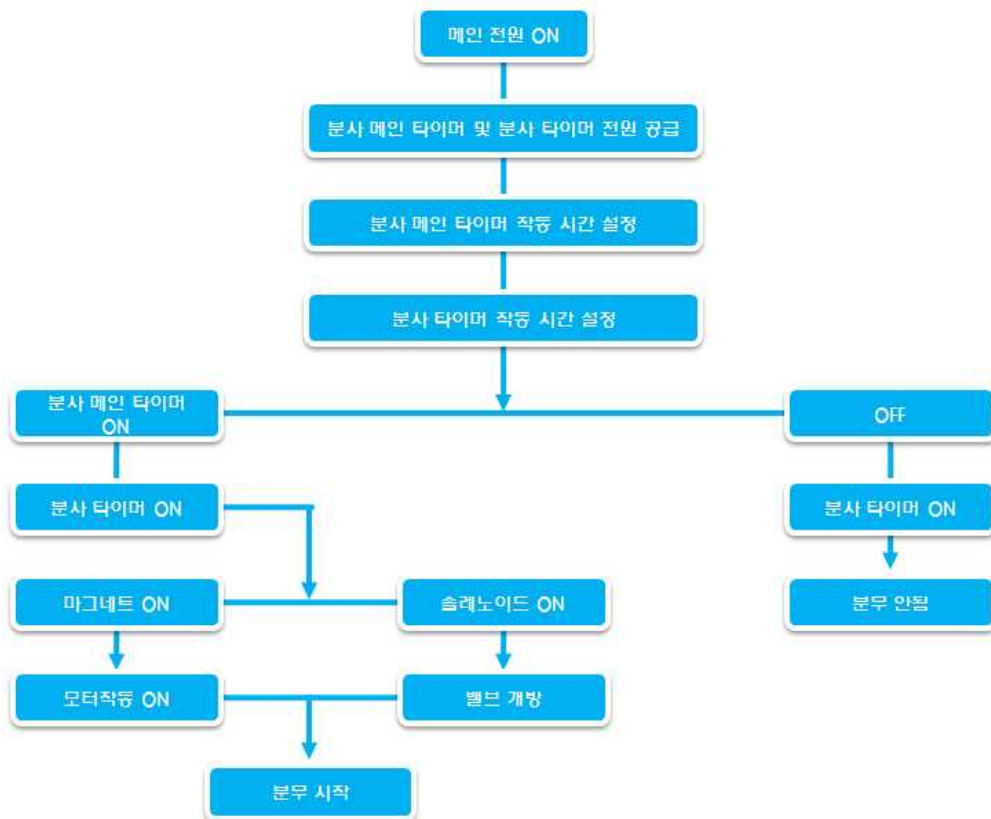


그림 3-3-13. 테스트용 수경재배기의 분무노즐 작동 경로

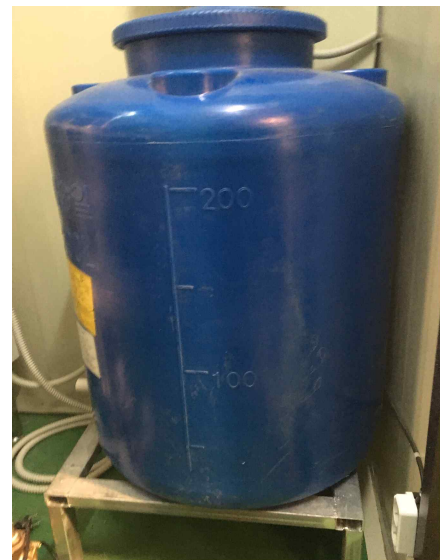
3. 호접란 증묘 재배용 밀폐형 생산시스템의 요소기술을 적용한 시스템 제작  
 가. 출입문 및 온습도 제어장치



- 주야간 온습도 제어
- 이상 온도 시 조명 차단

그림 3-3-14. 출입문 및 온습도제어장치

나. 호접란 분화 재배용 밀폐형 식물생산시스템 내부 전경



[양액탱크]



[양액 공급용 모터]

그림 3-3-15. 시스템 내 관수시스템: 분무경, ebb & flow, 배지경, 심지재배가 가능한 관수시스템 및 재배베드.

#### 다. 분무경 재배 베드 내 분무노즐



- 초기 실험에서 효과가 좋을 것으로 예상되어 제작된 분무경 시스템
- 양액공급구의 밸브만 잠그면 E&B+배지경으로 적용 가능
- 베드 교체도 동이

그림 3-3-16. 분무경 시스템의 분무노즐 배치

#### 라. LED 조명부 사양



- 현재 warm-white 및 다양한 파장 조합 LED 등기구로 교체 가능



그림 3-3-17. LED 등기구(상) 및 LED 광량조절 시스템(하)



마. 공조 시스템



[공조 팬- 내부공기순환용]



[습도 조절용 시스템]



[에어컨]



[습도 감지용 센서]



- 상대습도 70% 유지, 개화유도를 위한 저온처리, 공기유동에 의한 경계층 감소 등을 위한 장치

그림 3-3-18. 공조 시스템

바. 배액 수거시스템(양액여과 및 재순환)



펌프

거름망

양액회수통

그림 3-3-19. 배액 수거 시스템(양액여과 및 재순환)

사. 식물생산시스템 전체 모습

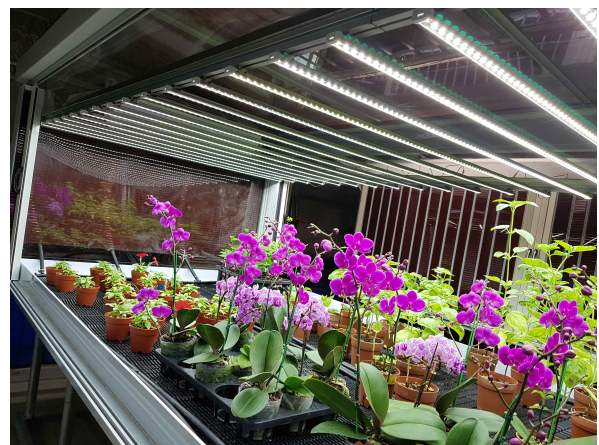
- 공조시스템(온도, 습도조절) : 에어컨, 히터, 가습기, 팬 활용
- 인공광 조절시스템 : warm-white LEDs
- 자동관수시스템 : 타이머 활용, 양액탱크, 모터, 배수탱크+펌프
- 배액 수거 및 재순환시스템 : 넘침 방지 장치



그림 3-3-20. 밀폐형 식물생산시스템의 전체 구성



밀폐형 식물생산시스템 내 호접란



조립식 미니온실 내 호접란

그림 3-3-21. 밀폐형 식물생산시스템 내 식물 식재(배치 모습)

## 4. 호접란을 위한 조립식 미니 온실 제작

### 가. 연구의 필요성

#### (1) 호접란 증묘의 특성

- 열대 원산으로 비교적 고온에서 잘 자라며 온도에 민감.
- 작기가 길어 조직 배양묘를 사용하더라도 수확까지 약 18개월이 소요.
- 재배 시 문제점 : 일조 부족, 이상고온이나 저온 등의 기후 변화로 인한 재배 환경의 변수가 많음.
- 문제 해결 연구 : 개화시기 조절용 저온처리 온실 시스템 필요.

#### (2) 개화 유도 및 분화생산용 온실의 필요성

- 개화시기 조절용 저온처리 조립식 미니온실에 목적을 두며 항온항습장치, LED 광질 조절을 위한 디머, 양액분사용 노즐 등
- 개발된 시스템의 호접란 생육 및 재배관리 적합성 평가
- 저온 처리용 온실을 조립식 미니 온실로 제작 개발 냉난방 시스템가동 비용 절감으로 에너지 효율
- 고품질의 호접란을 급속 생산하는 밀폐형 연구용 식물생산 시스템(최적의 생육환경)
- 인공광원을 이용해 호접란에 맞는 파장주기, 빛의 세기와 양을 조절하여 급속 생산의 효과 등
- 각각의 실험결과에 따라 점차 근접개발 진행 중에 있음

#### (3) 개화시기 조절용 저온처리 조립식 미니온실의 특성

- ① 조립식 미니 온실은 다양한 인공광원 적용 및 밀식재배 가능
- ② 다단재배 가능
- ③ 엽각 조절로 재식밀도를 더 높일 수 있어 공간이용 효율 극대화.
- ④ 생육단계에 따라 적정온도가 다르므로 조립식 미니온실로 작기 단축 가능.
- ⑤ 기후 변화로 인한 생산성 저하 극복 가능.
- ⑥ 릴레이재배로 중간묘와 분화 상품생산의 분업화로 품질 향상, 수출용 중간묘 재배 가능
- ⑦ 연중 고품질의 상품생산이 가능하여 수요에 맞게 출하 조절 가능.

⑧ 인공광원의 발생 열 활용으로 에너지 비용 절감

**(4) 개화시기 조절용 저온처리 조립식 미니온실 재료**

- ① 조립식 미니 온실의 주재료는 폴리카보네이트이며 이는 PC로 압출해서 제작
- ② 누구나 쉽게 만들 수 있도록 조립식으로 제작
- ③ 폴리카보네이트는 방탄 유리소재로 사용되는 외부 압력이나 충격에 강한 재질
- ④ 일반 유리보다 250배 정도 강하고 내열성, 내구성이 모두 뛰어나 산업, 건축, 의료 등 그 사용범위가 광범위함
- ⑤ 가볍고 표면이 잘 긁히지 않는 특징이 있음

**(5) 개화시기 조절용 저온처리 조립식 미니온실 개념도**

- ① 이 온실은 외부 온도와 내부 온도를 같이 만들어 주는 시스템(그림 3-3-16)
- ② 조립식 미니 온실에 햇빛이 들어오지 않기 때문에 인공광원 이용.
- ③ 외부 온도와 내부 온도를 같게 하는 효과는 파장대가 있는 LED등을 이용.
- ④ 간단하게 원리를 설명 하자면 먼저 꽃을 피우기 위해 온실2(내부)에 들어감.
- ⑤ 꽃대가 올라오는데 45일이 걸림. 꽃대가 올라온 후 온실1(외부)로 옮겨 심음.
- ⑥ 위에도 설명 했듯이 저온 처리용 온실은 공간 활용성이 뛰어나고 급속생산에 장점이 있음.

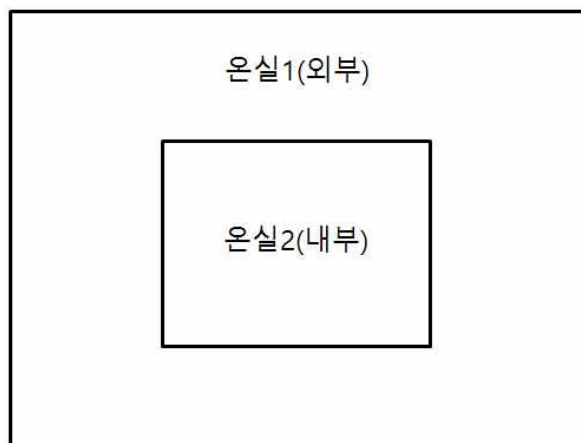


그림 3-3-22. 조립식 미니 온실 개념도.

(6) 개화시기 조절용 저온처리 조립식 미니온실 설치

- 호접란 생산에 있어 국내에서 가장 앞선 기술과 규모를 가진 전문농가에 조립식 미니 온실을 제작 완료.



그림 3-3-23. 특허출원된 조립식 미니온실의 골격재 조립 방식.



[조립식 미니온실(영남대 유리온실 내) - 주간]



[조립식 미니온실(영남대 유리온실 내) - 야간]



[2016 부산 유기농 친환경 귀농귀촌 박람회(부산, BEXCO) 조립식 미니온실 전시 모습]  
그림 3-3-24. 조립식 미니온실(특허출원번호 : 10-2016-0131450).

## 5. 호접란 미니 분화용 식물판매장치 개발

### ○ 규격

- 740(W) X 490(D) X 1530(H)
- 콘트롤부 740(W) X 740(D) X 112(H)

### ○ 구성 및 특징

- 고강도 스틸(Steel)프레임
- 미단이 서랍형 3단 재배 구조, 레일이 부착된 서랍형 재배베드로 식물 관리 및 수확 등 사용자의 편리성 강조
- PC(폴리카보네이트)를 활용하여 경량성, 시안성 확보 및 외부 환경과의 물리적 차단 (병충해 방지), 광원 및 온습도 등 내부 식물 생육 환경의 최적화
- 식물생장용 LED 구성(식물생장용 2라인, 규격: 피크파장 660nm, 각 층마다 3개의 LED 구성을 하고 광량의 조절 및 광원 사이 간격 조절 가능)
- 광원, 급수, 온습도 등 생육환경 타이머 제어 컨트롤 시스템
- 하단의 급수 저장소(양액 앵크) 및 공급펌프 설치
- 측면 공조팬 활용하여 led광원에 의해 발생한 발열 냉각 및 내부 공기 흐름 순환(공조)
- 재배기 하단 바퀴 부착으로 이동 용이



정면(주간)

정면(야간)

좌측면

우측면

그림 3-3-25. 식물판매장치(특허출원 10-2018-0007856).



그림 3-3-26. 식물판매장치의 습도조절장치(상) 및 광/관수 조절장치.



그림 3-3-27. 식물관매장치의 내부 모습.



A



B



그림 3-3-28. 부산 유기농친환경·귀농귀촌박람회[2017년 4월(A), 11월(B)].

## 6. 호접란 생산용 밀폐형 식물생산시스템의 경제성 분석

### 가. 경제성 분석

- 밀폐형 식물생산시스템(40피트 컨테이너형, 실면적 28.3m<sup>2</sup>, 재배면적 64.9m<sup>2</sup>)
  - 연간생산량 : 27,000주(재배일수 120일, 연간 3회 재배) 기준
- 3중 플라스틱하우스에서 연간 27,000주 생산 시 100m<sup>2</sup>(30평) 소요(선도농가 추정치)
- 향후 사업화 과정에서 실제 비교 데이터를 수집하고, 전문기관의 경제성 분석을 받을 예정임

항목	3중 비닐하우스	밀폐형 식물생산시스템
<비용> * 시설비	100m <sup>2</sup> (30평) 기준 (28,500천원) - 비닐하우스: 15,000천원(평당 500천원) · 3중 비닐, 2중 차광막, 보온커튼, 컨트롤 박스 등 - 재배용 베드(1.2m×5m) : 600천원×10대 = 6,000천원 - 양액시스템(양액탱크, 급수/회수펌프, 분배기, 여과기, 배관, 솔레노이드 밸브, 각종 센서, 회수탱크, 양액제어박스 = 3,000천원 - 냉난방시스템(30평 기준) : 4,500천원	28.3m <sup>2</sup> 컨테이너(40피트) (30,000천원) - 컨테이너식 밀폐형 식물 생산시스템(수직 5단 베드) 설치(구매) 비용 - 40피트 컨테이너: 5,000천원 - 수직 5단 베드: 5,000천원 - LEDs, 환기팬, 타이머 등 광 조절 설비: 1,200천원×5단 = 6,000천원 - 항온항습기: 5,000천원 - 양액제어시스템: 8,000천원 - 이산화탄소 시비 장치: 1,000천원
○ 감가상각비	2,850천원 - 28,500천원/10년	1,500천원 - 30,000천원/20년=
○ 유지관리비	1,155천원 - 하우스 15,000천원×5% = 750천원 - 재배시설 13,500천원×3% = 405천원	900천원 - 식물공장 30,000천원×3%=900천원
○ 자본용역비	1,425천원 - 28,500천원×5%	1,500천원 - 30,000천원×5%
○ 생산비	62,315천원	55,115천원 57,461천원
- 전기료	36KWh/일×365일×39.2원/KWh ≒ 515천원	200KWh/일×365일×39.2원/KWh ≒ 2,861천원
- 비료	피터스(10kg) 100천원/포×24포 = 2,400천원	좌동 = 2,400천원
- 종묘비	1천원/주×27천주 = 27,000천원	좌동 = 27,000천원
- 수도, 농약, 배지, 기타경비, 인건비	2,700,000원/월×12개월 = 32,400천원	2,100천원×12월 = 25,200천원
총비용	67,745천원	61,391천원
<수익> - 산출근거	연간 생산량: 27,000주/년 추정 - 추정 수익: 3,000원/주×27,000주	좌동
총 수익	81,000천원	81,000천원
추정 수익	13,255천원(A)	19,609천원(B)
수익 비교	개발 시스템의 경제성 향상 추정액(B-A) = 19,609천원 - 13,255천원 = 6,384천원	

#### 나. 추가적인 이익 요소

- 밀폐형 생산시스템 활용 시 기상변화에 관계없이 연중 고른 품질 생산 가능
- 관련 기술 발전에 따른 생산성 향상 가능 요인 존재: 작기 단축, 에너지 절감, 농자재 절감, 품질 향상 등

## 〈제3협동〉 밀폐형 식물생산시스템 중간묘의 고품질 상품화기술개발 및 현장 실증 연구

### 1. 미니 분화 생산을 위한 다경성 및 다화성 소형품종 선발

#### 가. 연구목적

팔레놉시스(*Phlaenopsis* spp)는 아름답고 화려한 꽃으로 국내뿐 아니라 전세계적으로 인기가 많은 난 중 하나이며, 국내에서는 난류 생산액 1위에 해당하는 작목이다(MAFRA 2016). 그동안 국내시장에서는 중대형종 팔레놉시스를 합식하여 선물을 목적으로 소비가 많이 되었으나, 국내의 사회적 여건변화로 선물용 난의 소비가 급격히 감소하면서 개인이 일상적으로 소비할 수 있는 소형 혹은 미니 팔레놉시스에 대한 관심이 높아지고 있다. 이는 미니 거베라, 국화 등 미니 분화의 수요 증가와 함께 미니 난에 대한 인기도 높아져 팔레놉시스를 포함하여 카틀레야, 심비디움 등 다른 난 작목에서도 다양한 미니형 품종들이 개발되고 있다. 하지만 국내에서는 미니 팔레놉시스가 아직 보편화 되어있지 않아 시장성을 갖추기 위한 품종선발, 상품성 향상기술, 포장기술 등 상품화를 위한 기술개발이 요구되고 있다.

품종에 따라 화경출현률에 차이가 있고 화경발생이 잘 안 되는 품종의 경우 화경수와 꽃수에 따라 다소 왜소해 보일 수 있어 작지만 콤팩트하고 볼륨감 있는 형태의 상품성 있는 품종 선발이 우선적으로 필요하다. 따라서 본 연구에서는 국내외 다양한 소형 팔레놉시스를 수집하여 기본적인 생육 및 개화특성 평가를 통하여 미니 분화에 적합한 팔레놉시스 품종을 선발하고 미니 팔레놉시스의 기준을 마련하고자 하였다.

#### 나. 재료 및 방법

국내에서 소형 호접란 ‘블랑루즈’, ‘발렌티노’, ‘마운트림’, ‘미니LP’, ‘딜라이트’, ‘사라골드’ 6품종을 수집하였으며, 대만에서 ‘Coffee’ (371), ‘Jiaho’ s Pink Girl’ (329), *P. amabilis* x *P. Liu’s Bright Ruby*’(2E-1) 3품종을 수집하여 총 9품종에 대하여 엽장, 엽폭, 화경길이, 화수, 꽃크기를 조사하였다.

#### 다. 결과 및 고찰

수집한 9품종의 엽크기를 조사한 결과 엽장은 사라골드, 딜라이트> 마운트림, 미니LP> 발렌티노> 블랑루즈> *P. amabilis* x *P. Liu’s Bright Ruby*’, Coffee > Jiaho’ s Pink Girl 순으로 조사되었다(그림 3-4-1, 3-4-2). 위의 순서에서 블랑루즈 이상의 품종은 8cm이상의 엽장을 가지고 있었고, 2E이하 품종은 6-8cm 정도의 엽장을 가지고 있었다. 엽폭 크기는 미

니LP> 딜라이트, 사라골드, 마운트림, 발렌티노, *P. amabilis* x *P. Liu's Bright Ruby* , Coffee> 블랑루즈> Jiaho' s Pink Girl 순으로 조사되었다. 신초의 생육속도를 조사하여 속도가 빠른 순서로 나열해 보았을 때 발렌티노< 미니LP, Jiaho' s Pink Girl < 딜라이트, 마운트림, *P. amabilis* x *P. Liu's Bright Ruby* < Coffee < 사라골드, 블랑루즈 순이었고, 엽의 크기와 생육속도 사이의 상관관계는 확인할 수 없었다.

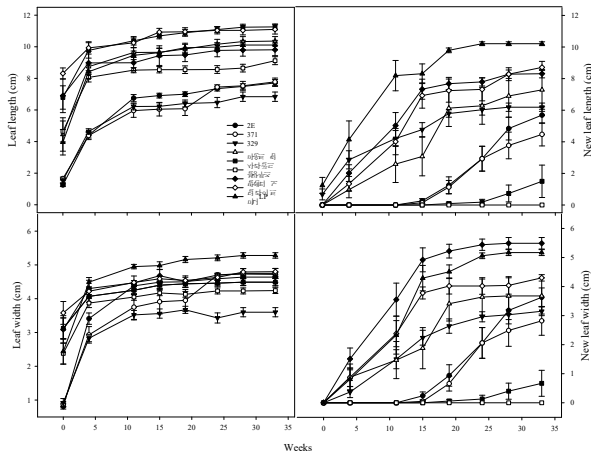


그림 3-4-1. 호접란 소형품종의 잎 생육속도



그림 3-4-2. 호접란 소형품종의 잎 비교

수집 품종 중 개화한 7품종에 한해서 개화특성을 조사한 결과, Coffee, Jiaho' s Pink Girl, 블랑루즈, *P. amabilis* x *P. Liu's Bright Ruby* 품종은 화경길이가 30cm 미만이고 꽃크기도 5cm 전후인 것으로 조사되었다(표 3-4-1). 개화특성 및 잎의 특성을 종합해 보았을 때 Coffee, Jiaho' s Pink Girl, 블랑루즈, *P. amabilis* x *P. Liu's Bright Ruby* 품종이 미니분화에 적합할 것으로 여겨졌다(그림 3-4-3).

표 3-4-1. 호접란 소형품종의 개화특성

품종명	화경길이	화수	꽃크기
329	10.0	7.9	3.8
블랑루즈	15.9	5.2	5.1
2E-2	20.6	11.2	4.7
371	25.5	7.4	4.1
발렌티노	33.5	4.0	7.7
마운트림	32.2	3.5	8.5
미니LP	33.6	6.8	7.4

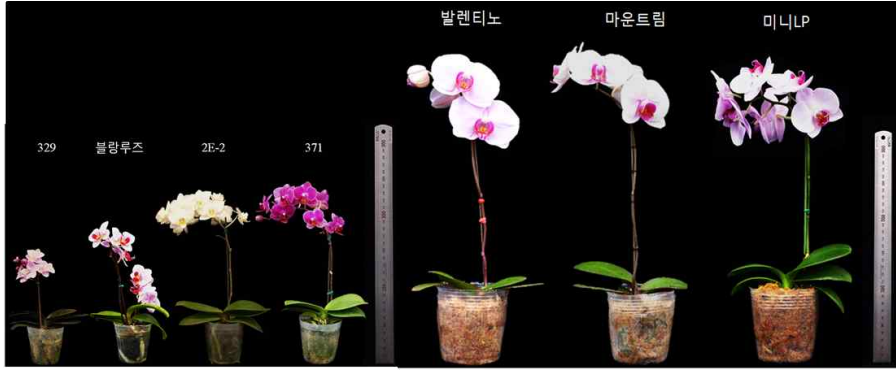


그림 3-4-3. 호접란 소형품종의 개화특성

## 2. 미니 호접란 조기출하를 위한 적정생육단계 구명

### 가. 연구목적

미니 호접란의 상품화를 위해서는 기존의 대형종에서 고수하던 긴 꽃대길이, 큰 꽃크기 등의 요건과 달리 작고 컴팩트한 형태가 요구되므로 본 연구에서는 대형종에서 관행적으로 여겨지던 약 18-20개월의 재배기간이 아닌 미니 품종에 적절한 영양생장기간을 구명하고자 하였다.

### 나. 재료 및 방법

본 연구에서는 위에서 선발된 품종 중 미니형 호접란 P. 'Jiaho's Pink Girl' (A), *P. amabilis* x P. 'Liu's Bright Ruby' (B), D. 'Coffee' (C) 3품종을 실험재료로 하였다. 식물체는 2015년 5월에 대만에서 조직배양묘를 수입하여 직경 5cm 화분에 100% 수태(MossAAAA, Ahaura Plains Moss, Co., Ltd., New Zealand)로 정식한 후 3개월 후에 직경 8cm 화분에 동일한 배지로 이식하였고, 국립원예특작과학원 유리온실(N35)에서 재배되었다. 영양생장기간 동안 여름철과 겨울철의 평균온도는 각각 30/24℃와 23/20℃였으며 평균습도는 74%와 55%로 유지되었고, 2주 간격으로 하이포넥스(N20:P20:K20)를 2,000배로 희석하여 시비하였다. 조직배양묘에서부터 8, 10, 12개월의 영양생장기간 후 저온처리(23/21℃)를 통해 개화유도하였으며 화분당 개화 80%이상 완료된 이후 생육 및 개화특성조사를 수행하였다. 시험 처리구는 각각 처리당 20개체가 되도록 완전임의배치하여 시험을 수행하였으며, 통계분석은 SAS 통계프로그램을 이용하여 분산분석 후 5% 유의수준에서 유의성이 있을 경우 처리 평균에 대하여 Duncan의 다중검정을 실시하였다.

### 다. 결과 및 고찰

세 품종 모두 영양생장기간이 길수록 초장, 엽면적, 지상부와 지하부의 생체중과 건물중이 증가하는 경향이 나타났다. 꽃대출현 소요일수도 영양생장기간이 길어질수록 단축되는 경향을 보였는데, 12개월묘는 8개월묘에 비해 A, B, C 품종에서 각각 6, 21, 17일이 단축되는 결과가 나타났다. A와 B품종은 생육기간이 증가함에 따라 개화율이 증가하여 12개월묘에서 각 90, 100% 개화하였고, C품종은 8개월묘에서 90%, 10개월묘에서 100% 개화에 이르렀다.

표 3-4-2. 미니 호접란 영양생장기간별 생육특성

품종명	생육단계	초장 (cm)	엽면적 (mm <sup>2</sup> )	생체중 (g)		건물중 (g)	
				잎	뿌리	잎	뿌리
Jiaho's	8개월	13.7 f <sup>2</sup>	96 c	12.1 d	2.5 c	0.74 d	0.20 e
	10개월	15.4 d	142 ab	19.1 ab	7.8 b	1.28 ab	0.70 bc
Pink Girl (A)	12개월	16.1 e	158 a	22.1 a	6.4 b	1.40 a	0.46 d
<i>P. amabilis</i> x	8개월	14.7 e	92 c	12.4 d	2.8 c	0.82 d	0.20 e
<i>P. Liu's Bright</i>	10개월	16.2 bc	137 ab	17.3 bc	10.9 a	1.24 ab	1.24 a
Ruby' (B)	12개월	17.8 a	147 ab	21.5 a	11.2 a	1.23 ab	0.83 b
	8개월	14.0 f	100 c	13.4 d	8.1 b	0.90 cd	0.64 c
Coffee (C)	10개월	15.0 de	92 c	14.7 cd	7.7 b	1.08 bc	0.85 b
	12개월	16.7 b	127 b	22.0 a	11.3 a	1.45 a	0.86 b
유의성	품종	***	**	NS	***	NS	***
	생육단계	***	***	***	***	***	***
	교호작용	***	**	NS	***	NS	***

<sup>2</sup> Average values in columns with different letters are significantly different ( $P < 0.05$ ) using Duncan's multiple range test.

NS, \*\*, \*\*\* Non-significant or significant at  $P < 0.01$ , or 0.001, respectively.

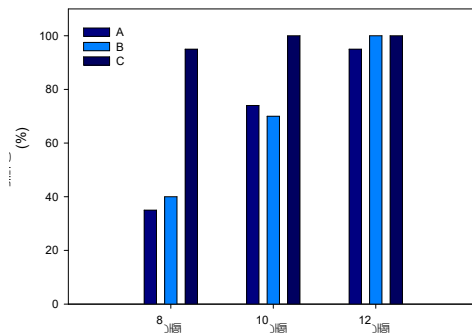


그림 3-4-4. 미니 호접란 영양생장기간별 개화율

개화품질의 경우 A와 B품종에서 화수와 화경길이가 8개월묘보다 10개월묘에서 크게 증가하였으나, 12개월묘는 10개월묘와 비슷한 수준이었다. C품종은 8개월묘와 10, 12개월묘를 비교해보면, 화수와 화경길이 등 품질차이가 미미한 것으로 나타나 8개월묘에서도 상품화

가 가능한 것으로 판단되었다.

미니분화의 특성과 개화율을 고려하여 볼 때, A와 B품종의 경우 상품성은 10개월묘에서도 갖추고 있었으나 안정적인 생산을 위해 12개월묘가 적절할 것으로 판단되었고, C품종은 8개월의 영양생장기간으로 출하가 가능하여 기존의 대형종보다 2~4개월 정도 재배기간이 단축할 수 있으며 회전율을 높여 재배할 수 있을 것으로 판단되었다.



그림 3-4-5. 미니 호접란 영양생장기간별 개화품질

표 4-3. 미니 호접란 영양생장기간별 개화특성

품종	생육단계	꽃대출현 소요일수	개화 소요일수	화수	꽃크기 (cm)	화경길이 (cm)
Jiaho's	8개월	44.7 ab <sup>z</sup>	87.3 d	5.8 ef	3.32 d	6.7 e
Pink Girl (A)	10개월	40.8 bc	115.1 a	7.9 cd	3.79 cd	11.3 d
	12개월	38.9 bc	117.4 a	8.9 cd	3.83 cd	12.8 d
<i>P. amabilis</i> x <i>P. Liu's</i>	8개월	44.5 ab	95.8 c	5.3 f	3.99 bc	8.1 e
	10개월	37.3 c	107.7 b	10.7 b	4.70 a	22.0 b
	12개월	23.4 e	97.5 c	14.1 a	4.43 ab	20.7 b
Coffee (C)	8개월	47.9 a	112.4 ab	7.2 de	4.34 abc	18.5 c
	10개월	40.2 bc	117.2 a	7.5 cd	4.14 abc	25.7 a
	12개월	30.6 d	116.2 a	9.4 bc	4.34 abc	26.5 a
유의성	품종	***	***	***	***	***
	생육단계	***	***	***	NS	***
	교호작용	**	***	*	NS	***

<sup>z</sup> Average values in columns with different letters are significantly different ( $P < 0.05$ ) using Duncan's multiple range test.

NS, \*\*, \*\*\* Non-significant or significant at  $P < 0.01$ , or 0.001, respectively.

### 3. 미니 호접란의 분화품질 고급화를 위한 분지발생 조절 기술개발

#### 가. 연구목적

사이토키닌(Cytokinins)은 세포분화, 기관형성, 생식생장 등 식물의 생리적 반응에 널리 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며, 사이토키닌 처리가 개화반응에 관여하여 개화를 촉진하거나 유도시킨다는 연구들이 보고된 바 있다(Stirk et al. 2005). *Arabidopsis thaliana* L. 와

Boronia megastigma Nees 등에서 화아분화 혹은 개화발달 시기에 정단분열조직의 사이토키닌 농도가 증가하였고(Corbesier et al. 2003; Day et al. 1995), B. megastigma에서는 저온처리 시 Benzyladenin(BA)을 처리하였을 때 개화소요기간이 감소하는 결과를 보였다(Day et al, 1994). Lindsay et al.(2006)은 사이토키닌이 정단분열조직의 개화발달에 관여하는 유전자를 조절함으로써 개화에 영향을 미친다고 하였다.

외생 사이토키닌 처리는 팔레놉시스와 도리테놉시스(Doritaenopsis)의 화수와 화경수를 증가시키며 화경길이를 증가시키고(Ho and Yang 1990; Kim et al. 2000; Lin 1994), 개화를 촉진시킨다는 보고가 있다(Blanchard and Runkle 2008; Ichihashi 1997; Yoneda and Momose 1990). 사이토키닌과 같은 생장조절제는 저온처리를 대체시켜 개화를 유도하고자 사용하지만 팔레놉시스에서는 BA처리를 하더라도 26°C 이하의 저온처리 없이는 개화하지 않는 것으로 나타났다(Blanchard and Runkle 2008). 즉, 사이토키닌은 팔레놉시스의 화아분화를 조절하지만 부분적으로 관여하는 것을 알 수 있으며, 묘의 상태와 재배환경에 따라 효과가 달리 나타난다고 하였다 (Kim et al. 2000). 또한 일부 품종에서는 꽃잎이 얇아지거나 꽃눈이 낙뢰하는 현상이 증가하기도 하였다(Lin 1994). 외생 사이토키닌 처리가 팔레놉시스에서 화경수 증가를 촉진시키는 것으로 여러 문헌에서 보고되어 왔으나 반응이 상이하고 처리법과 부작용에 대한 고찰은 부족한 실정이다.

미니 팔레놉시스의 경우 화경길이 20cm 이내에 꽃크기가 3-4cm인 양증맞은 꽃들이 달리는데, 품종에 따라 화경수와 꽃수에 차이가 있으며 다소 왜소해 보일 수 있어 작지만 콤팩트하고 볼륨감 있는 형태로 상품성을 높일 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 개화성에 차이가 있는 미니 팔레놉시스와 도리테놉시스에서 BA처리가 개화에 미치는 영향을 살펴보고, 개화 품질 향상을 위한 적정 BA농도와 처리시기를 구명하고자 하였다.

## 나. 재료 및 방법

본 연구에서는 핑크 화색을 가지는 미니형 *Phalaenopsis* ‘Jiaho’ s Pink Girl’ 와 *Doritaenopsis* ‘Coffee’ 2 품종을 실험재료로 하였다. 재배환경은 실험2와 동일하였다.

먼저 1차 실험에서 농도별 처리 실험을 위해 2016년 5월 16일에 12개월된 식물체를 개화를 유도하고자 냉방처리가 가능한 저온실로 옮겼으며, 이 때 *P.* ‘Jiaho’ s Pink Girl’ 와 *D.* ‘Coffee’ 두 품종의 평균 엽간거리는 각각 16, 17cm였다. 저온처리 시작과 함께 식물체에 6-benzylaminopurine (BA) (6-BAP, MBcell, Co., Seoul, Korea)를 100, 200, 400mg · L<sup>-1</sup>의 농도로 화분마다 50mL 엽면살포하여 1회 처리하였고 개화기간동안 온도와 습도가 각각 23/21°C와 74%로 유지되었다.

2차 실험은 BA처리시기 구명을 위해 2016년 9월 8일에 16개월묘를 저온실로 옮겼고, *P.* ‘Jiaho’ s Pink Girl’ 와 *D.* ‘Coffee’ 두 품종의 평균 엽간거리는 각각 16, 19cm였다. 무



처리(BA 0mg · L<sup>-1</sup>)를 제외하고 BA농도 100mg · L<sup>-1</sup>를 화분마다 50mL씩 저온처리일(0일)을 기준으로 4시점에 1회 처리(-7, 0, +7, +14일)하였다. 개화기동안 온도와 습도는 각각 21/20°C와 66%로 유지되었다.

온실 내 환경은 호보(HOBO, Onset Computer, Co., USA)를 이용하여 온도와 상대습도를 측정하였다. 저온처리일로부터 20주 후, 눈이 분화하여 0.5cm이상이 되는 모든 화경을 출현 화경수(Emerged inflorescences)로 조사하였고, 이 중에 개화까지 이르는 화경수 (Flowered inflorescences)를 조사하였다. 화경장은 개화된 화경 중 가장 긴 화경의 길이를 측정하여 평균길이를 나타내었으며, 화경당 화수와 꽃의 횡경을 조사하였다. 화경출현소요일수와 개화소요일수는 저온처리 시기를 기준으로 화경의 길이가 0.5cm가 되는 시점과 첫 꽃이 완전히 개화한 날까지의 소요일수를 조사하여 평균일수로 나타내었다.

시험 처리구는 BA농도 및 처리시기별 시험 각각 처리당 10, 12개체가 되도록 완전임의배치하여 시험을 수행 하였으며, 통계 분석은 SAS 통계 프로그램을 이용하여 분산분석 후, 5% 유의 수준에서 유의성이 있을 경우 처리 평균에 대해 Duncan의 다중검정을 실시하였다.

#### 다. 결과 및 고찰

BA처리에 따라 화경이 분화되는 효과는 두드러지게 나타났으나 BA처리농도, 시기, 품종에 따라 반응이 다르게 나타났다. 저온처리 시 BA를 농도별로 처리하였을 때 미니 *P.* 'Jiaho' s Pink Girl' 와 *D.* 'Coffee' 각 품종 모두에서 농도가 증가함에 따라 출현화경수가 유의적으로 증가하였다. 특히 BA 400mg · L<sup>-1</sup>에서 *P.* 'Jiaho' s Pink Girl' 와 *D.* 'Coffee' 의 화경수가 각각 2.9와 3.3으로 무처리보다 2배 이상 증가하였다(그림 3-4-6). Blanchard and Runkle(2008)에 따르면 *P.* Brother Apollo '072' 와 *P.* Golden Treasure '470' 품종에서 BA를 400mg · L<sup>-1</sup>처리하였을 때 화경수가 약 2배~3배까지 증가한다고 하였고, 낮은 농도에서는 화경을 분화시키는 효과가 감소하였다.

팔레놉시스와 도리테놉시스는 줄기를 따라 측면에 분화되지 않은 눈원기를 가지고 있고, 일반적으로 엽의 정단으로부터 세번째와 네번째 엽액 혹은 두 위치 모두에서 일정기간의 저온을 경과하여 화경이 출현한다(Sakanishi et al. 1980; Wang 1995a). 일반적으로는 네번째 눈에서 화경출현율이 1%인 반면 BA처리시 네번째 눈에서의 화경출현율이 18%로 증가한다고 하였다(Yonenda and Momose 1990). 이처럼 BA처리로 화경분화가 촉진됨으로써 화경이 발생하는 위치 외에서 화경이 출현하거나 같은 위치에서 화경이 2-3대 이상 출현하는 결과로 이어졌고, 다수 출현한 화경 중 꽃눈이 없거나 화경이 기형화되고 화경 끝이 고사하는 등의 이유로 개화까지 이르지 못하는 화경이 발생하였다(그림 3-4-7).

특히 품종 *D.* 'Coffee' 와 BA농도 200mg · L<sup>-1</sup>과 400mg · L<sup>-1</sup>에서 이러한 현상은 두드러졌다. *P.* 'Jiaho' s Pink Girl' 의 경우 BA 200mg · L<sup>-1</sup>까지 출현화경수와 개화화경수에서 큰

차이가 없었으나 농도  $400\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 에서 미개화 화경수가 증가하였고, *D. 'Coffee'* 는 BA처리농도에 상관없이 미개화 화경이 발생하여 BA  $400\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 에서 출현화경수의 50%이상이 개화에 이르지 못하였다(그림 3-4-6). 이는 화경 발생수가 증가하면서 오히려 화경끼리 동화산물에 대한 경쟁이 그 원인 중 하나로 판단된다. 또한 BA처리시 팔레놉시스나 도리테놉시스에서 화경이 기형화되는 현상은 여러 문헌들을 통하여 보고되었다. 예를 들어 *P. Luchia Pink '244'* 에서 BA  $70\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리시 화경이 갈라져 기형이 되거나(Wu and Chang 2009) BA  $400\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 에서 *Doritaenopsis* 식물체의 5-13%가 출현화경이 기형화 되거나 3-7%는 꽃눈의 낙뢰현상이 발생한다고 하였다(Kim et al 2000).

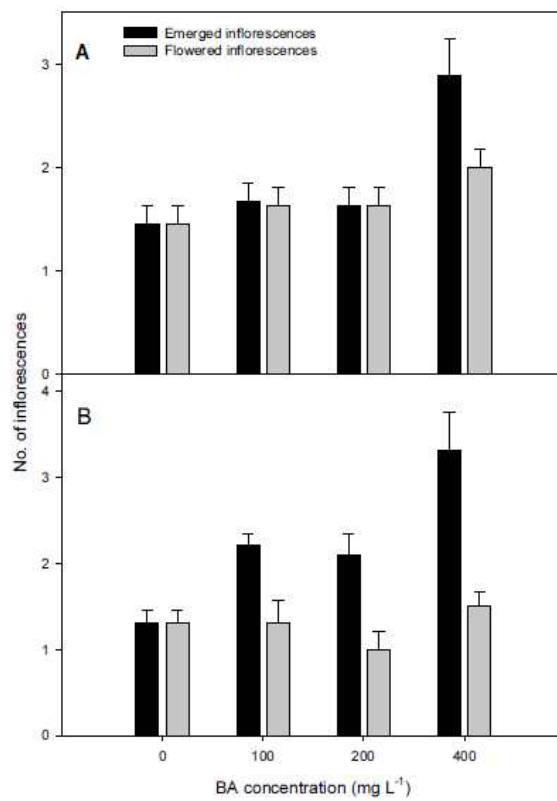


그림 3-4-6. 미니 호접란 *P. 'Jiaho' s Pink Girl'* (A) 및 *D. 'Coffee'* (B)의 BA 농도에 따른 화경수.



그림 3-4-7. BA 농도 200 및 400mg · L<sup>-1</sup>에서의 기형화경

미니 *P.* 'Jiaho' s Pink Girl' 와 *D.* 'Coffee' 경우 BA처리에 따른 개화촉진 효과는 발생하지 않았으며, 오히려 BA 400mg · L<sup>-1</sup>에서 개화가 무처리보다 *P.* 'Jiaho' s Pink Girl' 는 10일, *D.* 'Coffee' 는 14일 지연되었다(표 3-4-4). 이는 Yonenda and Momose(1990)의 보고에 따라 팔레놉시스에 BA처리 시 무처리보다 화경출현이 13–25일 촉진되었다는 것과 반대되는 결과였으나, Blanchard and Runkle(2008)의 연구결과에서는 BA처리가 팔레놉시스의 개화소요일수에 영향을 미치지 않는다는 보고도 있어 품종의 다양한 유전적 배경에 따라 반응에 차이가 있는 것으로 판단된다. *D.* 'Coffee' 품종의 경우 농도가 증가함에 따라 화경길이와 화수, 꽃크기가 감소하였다. 하지만 *P.* 'Jiaho' s Pink Girl' 의 경우 화수는 오히려 BA처리 시 무처리보다 증가하였고, 화경길이와 꽃크기는 BA농도 100과 200mg · L<sup>-1</sup>에서 무처리와 차이가 없었으며 고농도인 400mg · L<sup>-1</sup>에서만 꽃크기가 유의적으로 감소하는 것으로 나타났다(표 3-4-4).

표 3-4-4. 미니 호접란 BA 농도에 따른 개화특성

품종	BA 농도 (mg · L <sup>-1</sup> )	버드출현 소요일수	개화소요일수	화경길이 (cm)	화수	꽃직경 (cm)
<i>P.</i> 'Jiaho' s Pink Girl'	0	43.0 ab <sup>z</sup>	122.1 c	13.3 cd	9.5 bc	3.69 b
	100	38.6 bc	122.1 c	13.2 cd	12.1 ab	3.67 b
	200	49.8 a	125.3 c	11.8 cd	11.4 ab	3.59 b
	400	38.0 bc	132.1 ab	10.9 d	13.8 a	3.20 c
<i>D.</i> 'Coffee'	0	30.8 cd	121.0 c	25.0 a	10.2 bc	4.19 a
	100	26.9 d	125.5 c	18.6 b	10.6 ab	3.71 b
	200	28.5 d	127.0 bc	15.2 bc	7.0 cd	3.80 b
	400	26.3 d	135.2 a	14.3 cd	5.3 d	3.68 b
유의성						
품종		***	NS	***	***	***
BA 농도		NS	***	***	NS	***
품종 * BA 농도		NS	NS	**	**	*

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

NS, \*, \*\*, \*\*\*Non-significant or significant at  $P < 0.05, 0.01, \text{ or } 0.001$ , respectively.

BA처리시기를 달리하여 농도  $100\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 를 처리한 결과, *P.* 'Jiaho' s Pink Girl' 의 경우 BA처리 시 무처리보다 화경수가 증가하였으며, BA처리시기에 따라 화경수에서 유의적인 차이가 발생하였다. 특히 저온 7일 후 BA처리시 화경수가 2.1개로 가장 크게 증가하였으며, 무처리보다 67% 증가하였다(그림 3-4-7A). *D.* 'Coffee' 품종은 BA처리 시 무처리보다 출현화경수가 수치적으로 증가하는 경향을 보였으나 처리시기에 따른 유의적인 차이는 없었다(그림 3-4-7B). 그러나 저온 14일 후 BA처리 시험구를 제외하고 꽃눈이 달리지 않거나 개화하지 못하는 화경수가 급격히 증가하여 개화 화경수가 오히려 무처리보다 감소하였다(그림 3-4-7B).

저온 14일 후 BA처리 시에는 다른 처리보다 개화 화경수는 증가하였으나 무처리와의 유의적인 차이는 없었다. *D.* 'Coffee' 의 경우 1차 실험에서는 무처리 시 출현화경수가 1.3개로 저조하였으나 2차 실험에서는 무처리의 출현화경수가 평균적으로 2개 발생하였는데, 이는 1차 실험을 진행할 때보다 2차 실험이 진행될 때 묘령이 4개월 더 지난 식물체를 실험 재료로 하여 화경수에 영향을 미친 것으로 판단된다. 즉 *D.* 'Coffee' 품종의 경우 충분한 저온환경과 묘령 확보시 화경출현이 잘되며, 추가적인 BA처리가 출현화경수를 증가시키지만 온전히 발달하지 못하고 멈추거나 화수가 1-2개 달리는 화경 발생으로 오히려 상품성을 떨어뜨렸다. Wu and Chang(2009)도 화경수 증가가 화수 증가로 이어지지 않으며 화분당 3개 화경발생 시 각 화경에 화수가 크게 감소한다고 보고한 바 있다.

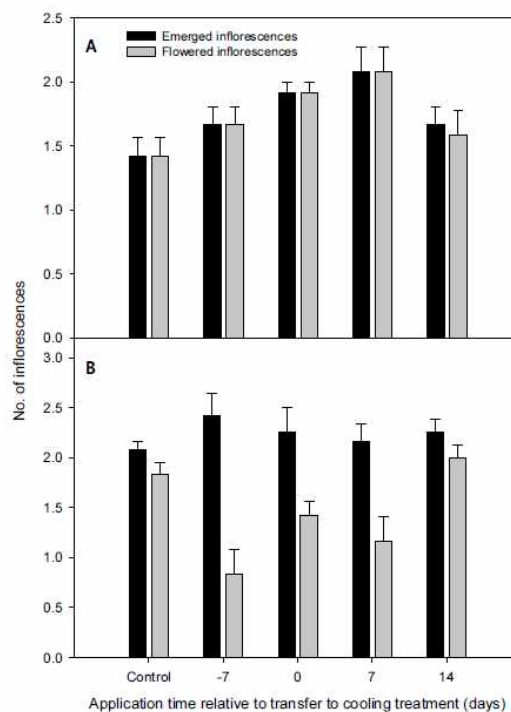


그림 3-4-8. 미니 호접란 *P.* 'Jiaho' s Pink Girl' (A) *D.* 'Coffee' (B)의 BA처리시기에 따른 화경수

화경출현소요일수는 P. 'Jiaho' s Pink Girl' 의 경우 저온 7일 후 BA처리구에서 무처리보다 8일 촉진되었고 14일 후에는 오히려 5일 지연되었다(표 3-4-5). D. 'Coffee' 는 BA처리시기에 따른 화경출현소요일수의 유의적인 차이는 없었으며, 개화소요일수에서는 두 품종 모두 BA처리시기에 따른 차이는 발견되지 않았다(표 3-4-5). P. 'Jiaho' s Pink Girl' 는 BA처리시 무처리보다 화수가 증가하는 경향을 보였고, 저온7일 후와 14일 후 처리에서 무처리보다 유의적으로 증가하였다(표 3-4-5). D. 'Coffee' 의 경우 처리시기에 따른 화수의 유의적인 차이는 없었으나 화경길이와 꽃크기가 저온 14일 후 BA처리구에서 가장 감소하였는데 이는 개화 화경수가 다른 처리보다 증가하면서 나타난 결과로 판단된다.

표 3-4-5. 미니 호접란 BA처리시기에 따른 개화특성

품종	BA 처리시기 (일)	버드출현소요일수	개화소요일수	화경길이 (cm)	화수	꽃직경 (cm)
P. 'Jiaho's Pink Girl'	Control	31.5 a <sup>z</sup>	119 a	12.9 c	11.5 b	3.60 d
	-7	25.3 b	119 a	14.4 c	13.9 ab	3.54 d
	0	25.9 b	117 a	14.1 c	15.4 ab	3.41 d
	+7	23.5 bc	115 a	15.0 c	15.8 a	3.44 d
	+14	36.5 a	117 a	14.7 c	16.5 a	3.55 d
D. 'Coffee'	Control	21.5 bc	123 a	27.8 a	15.1 ab	4.41 a
	-7	18.8 c	125 a	28.1 a	13.6 ab	4.14 b
	0	20.6 bc	124 a	26.2 ab	15.1 ab	4.14 b
	+7	20.6 bc	121 a	28.8 a	13.1 ab	4.02 bc
	+14	20.9 bc	121 a	24.8 b	14.1 ab	3.85 c
유의성						
품종		***	NS	**	NS	***
BA 처리시기		**	NS	*	***	**
품종 * BA 처리시기		*	NS	***	***	*

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

NS, \*, \*\*, and \*\*\*: Non-significant or significant at  $P < 0.05$ , 0.01, and 0.001, respectively (n = 12).

BA처리가 두 품종의 화경출현을 증가시키는데 기여하였으나 개화에 대한 반응은 상이하였다. P. 'Jiaho' s Pink Girl' 품종의 경우 저온7일 후 BA 100mg · L<sup>-1</sup>가 화경길이와 꽃크기의 감소없이 화경수와 화수 증가로 이어져 품질 향상을 꾀할 수 있었다. 그러나 D. 'Coffee' 품종은 묘령과 저온의 충족도가 개화 화경수와 품질 향상에 지배적으로 영향을 미치고 기본적으로 2대의 화경 발생이 가능하여 BA 처리로 3대 이상의 화경을 유도했을 때 오히려 기형화경수를 증가시켜 상품성을 감소시켰다. Blanchard and Runkle(2008)은 외생 사이토키닌 처리가 동화산물의 이동을 증가시켜 화아분화를 촉진한다고 하였는데, 제한된 동화산물이 출현한 다수의 화경에 경쟁적으로 분배되면서 성장을 멈추는 현상이 발생한 것으로 판단된다. 따라서 BA 처리가 모든 품종의 개화 품질 향상에 효과적인 것이 아니며, 다양한 부작용 사례 조사를 통해 품종의 개화특성에 따라 시용방법을 달리 할 필요가 있다.

## 4. LED 식물생산 시스템을 이용한 농가 실증실험

### 가. 연구목적

농가에서 실질적으로 LED 식물생산 시스템을 적용하여 호접란을 생산하기 위한 가능성을 확인하고자 유묘기와 개화기 두 단계에서 농가실증재배를 진행하였다.

### 나. 재료 및 방법

농가실증실험은 충남 태안군에 위치한 상미원 온실에서 진행하였다.

1) 먼저 유묘 순화시 LED광의 이용성을 검토하고자 소형 호접란 ‘만천홍’, ‘청풍’ 품종을 실험재료로 하여 White-LED, 형광등, 자연광(60%차광) 3처리를 실시하였다. 조직배양묘에서부터 3개월간 순화 후 엽수, 초장 등 생육특성을 조사하였다.

2) 개화기의 LED광의 이용성을 검토하고자 미니 호접란 P. ‘Jiaho’ s Pink Girl’ 9개월묘를 실험재료로 하여 상미원 개화실(저온실 20°C 내외)에서 LED광(R2:B1:W1), 자연광, LED광에서 꽃대출현 후(1개월 반) 자연광에서 개화시킨 3 조건 처리 후 개화품질을 비교하였다.



그림 3-4-9. 농가(상미원) 저온 실내 LED 재배대

### 다. 결과 및 고찰

#### (1) 유묘 순화 실험

미니 호접란 유묘순화시 광질조건에 따른 생육비교 결과 LED조건에서 지상부뿐 아니라 지하부 발달에 자연광 60% 차광조건 못지않은 긍정적인 결과를 보였다. 지상부의 초장과 잎의 생육은 자연광60%가 LED조건보다 증가하는 경향을 보였으나 엽록소함량이 감소하여 차광을 했지만 비교적 높은 광도조건에서 잎이 상대적으로 누렇게 변하는 것을 알 수 있었다. 따라서 유묘단계에서 묘 순화시 White LED등 이용이 안정적일 것으로 판단되었다.

표 3-4-6. 미니 호접란 유묘순화 시 광조건에 따른 생육특성

처리구	엽수	초장 (cm)	SPAD	뿌리수	뿌리 길이 (cm)	생체중 (g)		건물중 (g)	
						잎	뿌리	잎	뿌리
자연광 60% 차광	4.5 a	16.6 a	35.6 c	7.75 a	7.66 a	4.73 a	2.49 a	0.262 a	0.195 a
LED	4.5 a	13.4 b	55.7 a	6.75 a	7.10 a	3.84 b	2.25 a	0.212 b	0.175 a
형광등 50W	4.5 a	12.5 c	44.7 b	5.13 b	7.25 a	2.13 c	1.14 b	0.107 c	0.095 b
유의성	NS	***	***	***	NS	***	***	***	***

<sup>a</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

NS, \*\*\* Non-significant or significant at  $P < 0.001$ , respectively.



그림 3-4-10. 미니 호접란 유묘 순화 시 광조건에 따른 생육특성

## (2) 개화발달실험

LED조건에서 개화유도 시 자연광에 비하여 화경장과 화수가 감소하는 경향을 보였는데, 이는 LED광 하에서 광량이 120PPF 정도였고, 자연개화실이 240PPF로 2배 광량차이가 주요인 중에 하나로 보였다. 개화발달시기에는 영양생장기보다 많은 광량을 요구하는 만큼 LED 시스템 내에서 충분한 개화품질을 확보하기 위해서는 광도를 200PPF까지는 확보하는 것이 필요하겠다.

표 3-4-7. 미니 호접란 광조건에 따른 개화특성

처리	엽수	초장 (cm)	화경수	화경길이 (cm)	총화수	꽃크기	
						폭 (cm)	길이(cm)
LED(R2:B1:W1)	6.5±0.9	15.7±2.0	1.1±0.3	15.6±3.3	7.2±2.7	3.8±0.3	3.7±0.5
LED + 자연광	6.2±1.5	15.7±0.8	1.2±0.4	24.4±3.9	10.8±2.1	4.2±0.3	4.1±0.2
자연광	6.3±1.1	15.8±1.3	1.3±0.5	26.9±2.9	10.8±3.5	4.1±0.2	4.0±0.3



그림 3-4-11. 미니 호접란 광조건에 따른 개화품질  
자연광(좌), 자연광+LED(중), LED(우)

## 5. 미니 호접란 상품에 대한 소비자 반응조사 (설문조사)

### 가. 연구목적

새로운 형태의 미니 호접란 상품에 대한 소비자 반응과 소비형태, 정보를 확보하고자 설문조사를 수행하였다.

### 나. 결과 및 고찰

총 74명의 응답자 중에 여성이 74%, 남성이 26%였으며, 연령대는 20대(39%)가 가장 많았고 40대, 30대, 50대 순이었다.

과거에 선물용 외에 개인 소비를 위한 목적으로 난을 구입한 적이 있는 사람은 33%에 불과했으며, 미니 호접란의 형태로 합식형보다는 미니 단품으로 형태를 선호하였고 전체적으로는 여성의 경우는 지주형에 대한 선호도가 높았지만 남성의 경우는 무지주 형태에 대한



선호도가 높은 편이었다. 따라서 지주형태를 고집하지 않고 다양한 형태로 제안할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

미니호접란의 구입 가능한 적정 가격대로는 10,000~12,000원이 제일 많았고, 13,000원~15,000원이 그 다음으로 높았으며, 구입처로는 여전히 플라워숍을 통한 구입을 가장 선호하고 있었다.

구입 혹은 재배의 제한요인으로서는 재배관리에 대한 지식 부족이 비율이 가장 높았고, 다음으로 홍보와 정보의 부족한 것으로 대체적으로 미니 호접란에 대한 관리법, 홍보 등이 필요할 것으로 생각되었다.

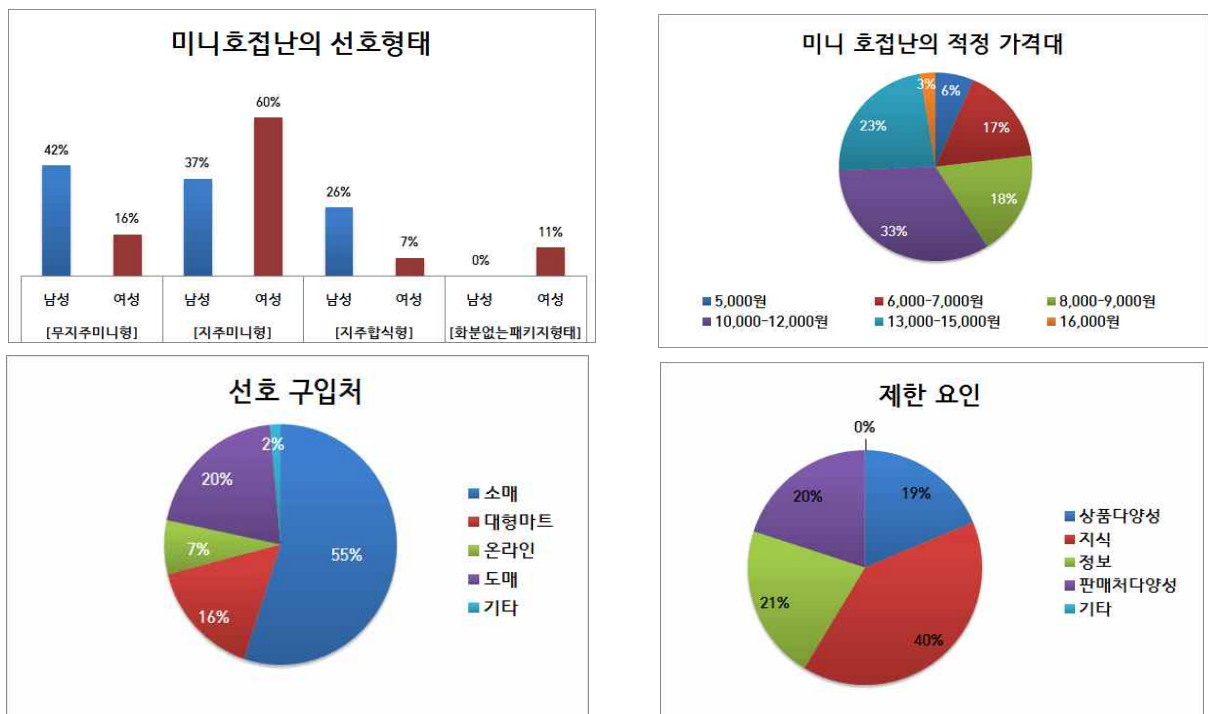


그림 3-4-12. 미니 호접란에 관한 설문조사 결과.

## 6. 미니 호접란 상품화를 위한 포장상자 개발

### 가. 연구목적

포장 개선을 통해 호접란의 부가가치 향상 및 난 소비문화를 확산하고, 농가의 완제품 생산을 유도하여 농가 직거래와 소득 증대를 유도하고자 하였다.

## 나. 결과 및 고찰

- 쉽게 조립이 가능하고, 휴대 및 선물이 용이한 소형 혹은 미니 호접란 소포장 상자개발
- 포장상자 특성: 호접란의 식물체 크기에 따라 높이조절이 가능하고, 운송시 적재가 가능하도록 디자인



그림 3-4-13. 호접란 소포장 상자

### <통합생산시스템 제안>

고품질 미니 호접란 분화 급속생산을 위한 밀폐형 생산 시스템

#### ○ 분화용 미니 호접란 품종 선발

- Coffee
- Jiaho' s Pink Girl
- 블랑루즈
- P. amabilis x P. 'Liu's Bright Ruby' 품종

#### ○ 생산 시스템

- 조립식 식물공장 시스템(그림 3-3-1, 108쪽)

○ 환경조건

항목		내용	비고
배지		수태 분재배	무배지는 적용 곤란
관수방식		담배수관수(ebb-and-flow)	
		심지재배	병발생 가능성 있을 경우
관수주기		EBB : 2일 1회 10분간 2cm 담수	VWC 30~40%
		심지재배 : 1일 1회(1시간)	
양액	조성	Ichihashi 양액	Peters(20-20-20)도 가능
	EC	EC $1.4 \pm 0.1 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$	
	pH	$6.3 \pm 0.1$	
지상부 환경조건	온도	28°C(영양생장) 25°C(개화유도)	
	광원	- Warm-white LED: red LED = 33:67 (1:2)	
	광도 및 광주기	- PPFD $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ - 16시간 광주기 - DLI : 약 $11 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$	
	상대습도	- $70 \pm 5\%$	
	CO <sub>2</sub> 농도	- 900ppm	

○ 온실 릴레이 재배 조건 및 상품화

- 미니 호접란의 경우 12개월 영양생장(중묘 재배) 후 저온처리
  - \* Coffee 품종은 8개월도 가능
- 인터넷 판매 시 호접란 소포장 상자(그림 3-4-13) 활용
- 소매점 판매 시 식물판매장치(그림 3-3-25) 활용

### 제3절 연구개발 성과

#### 1. 논문 게재

No.	게재 연도	논문명	저자명	학술지명	권 (호)	국내 · 외	SCI 구분
1	2015	Shoot Elongation and Gibberellin Contents in <i>Cyclamen persicum</i> Are Influenced by Temperature and Light Intensity	오욱 김지선 김기선	Hortic Environ Biotechnol	56 (6)	국내	SCI
2	2017	Vegetative growth characteristics of <i>Phalaenopsis</i> and <i>Doritaenopsis</i> plants under different artificial lighting sources.	이효범 안성광 김기선	Hortic Sci Technol	35 (1)	국내	SCI
3	2017	CO <sub>2</sub> uptake behavior and vegetative growth of <i>Doritaenopsis</i> Queen Beer ‘Mantefon’ orchids as influenced by light/dark cycle manipulation	김효진 이주희 이효범 안성광 김기선	Flower Res J	25 (4)	국내	비 SCI
4	2017	6-Benzylaminopurine 처리가 미니 팔레놉시스와 도리테놉시스의 개화품질에 미치는 영향	안혜련 이수영 박부희 박필만 윤도이	Flower Res J	25 (4)	국내	비 SCI
5	2018	Growth and CO <sub>2</sub> exchange in young <i>Phalaenopsis</i> orchids grown under different levels of humidity during the vegetative period	이효범 임소현 임남현 안성광 김기선	Hortic Environ Biotechnol	59 (1)	국내	SCI
6	2018	Effects of nutrient solution application methods on vegetative growth of young <i>Phalaenopsis</i> plants without potting medium in a multi-layered, closed plant factory system	민상윤 김지선 오욱	J People Plant Environ	21 (1)	국내	SCI
7	2018	Acclimation of Young <i>Doritaenopsis</i> Queen Beer ‘Mantefon’ Plants under Increased CO <sub>2</sub> Concentration	임남현 이효범 안성광 김기선	Flower Res J	26 (1)	국내	비 SCI

#### 2. 특허, 산업재산권

No.	종류	연도	특허명	출원등록번호	발명자	출원국
1	특허출원	2015	수경재배용 조립식 식물공장	10-2015-0058758	서문진	한국
2	특허출원	2015	수경재배용 파종포트 패널 및 그 제조방법	10-2015-0092568	서문진	한국
3	특허출원	2015	실험용 재배장치	10-2015-0143900	서문진 오욱	한국

4	특허출원	2016	조립식 미니온실	10-2016-0131450	서문진 오욱	한국
5	특허등록	2017	수경재배용 파종포트 패널 및 그 제조방법	10-1779779-0000	서문진	한국
6	디자인출원	2017	난 포장용 케이스	30-2017-0052024	안혜련 이수영 박부희 박필만	한국
7	특허출원	2018	식물관매장치 및 그 제어방법	10-2018-0007856	서문진	한국

### 3. 학술발표

No.	발표 연도	발표제목(논문명)	저자명	학술대회명	장소	국내·외
1	2016	Vegetative growth of young <i>Phalaenopsis</i> 'Blanc Rouge' and <i>Doritaenopsis</i> 'Mantefon' plants under different artificial lighting sources	이효범 안성광 이승연 김기선	ISHS 2016 Light in Horticulture Symposium	미국	국제
2	2016	Photo-control and intermittent high temperature treatment to reduce the production time in <i>Phalaenopsis</i> cultivation	이효범 안성광 김기선	Asian Horticultural Congress 2016	중국	국제
3	2017	Photoperiod influences the growth of <i>Phalaenopsis</i> in a closed type plant factory system	안혜련 권오근 박부희 박필만 백윤수	Agriculture and Climate Change Conference	스페인	국제
4	2017	Investigating CO <sub>2</sub> uptake behaviors under increasing relative humidity and nighttime CO <sub>2</sub> concentration in young <i>Phalaenopsis</i> orchids	이효범 임남현 임소현 안성광 김기선	ASHS 2017 Annual Conference	미국	국제
5	2017	Vegetative growth of <i>Phalaenopsis</i> plants as affected by nutrient solution supply method in a closed plant factory system	이진희 민상윤 김지선 박수현 오욱	ASHS 2017 Annual Conference	미국	국제
6	2015	Vegetative growth of young <i>Phalaenopsis</i> 'Blanc Rouge' and <i>Doritaenopsis</i> 'Mantefon' plants under different light intensity and quality	이효범 안성광 이승연 김기선	한국원예학회 2015 추계학술 발표회	여수	국내
7	2015	Effects of application methods of nutrient solution on growth characteristics of potted <i>Phalaenopsis</i> and <i>Doritaenopsis</i> in a closed plant factory system	민상윤 김지선 이진희 오욱	한국원예학회 2015 추계학술 발표회	여수	국내
8	2015	Photocontrol of growth and flowering in floriculture crops	오욱 김기선 Erik Runkle	한국원예학회 2015 추계학술 발표회	여수	국내
9	2016	밀폐형 식물공장 시스템에서 양액 및 공기의 근권부 공급 방법이 호접란 유묘 생장에 미치는 영향	민상윤 이진희 김지선 박수현 오욱	한국생물환경조절학회 2016 춘계학술발표회	수원	국내

10	2016	Vegetative growth of young <i>Phalaenopsis</i> 'Blanc Rouge' and <i>Doritaenopsis</i> 'Mantefon' plants under different relative humidity conditions	임소현 이효범 김효진 안성광 김기선	한국원예학회 2016 춘계학술 발표회	창원	국내
11	2016	Growth and photosynthetic characteristics of young <i>Phalaenopsis</i> plants under different relative humidity conditions	이효범 임소현 임남현 안성광 김기선	한국원예학회 2016 추계학술 발표회	한국	국내
12	2016	Determination of optimal growth stage for flowering in miniature <i>Phalaenopsis</i>	윤도이 권오근 박부희 박필만 안혜련	한국원예학회 2016 추계학술 발표회	광주	국내
13	2017	CO <sub>2</sub> uptake behavior and vegetative growth of <i>Doritaenopsis</i> 'Mantefon' orchids as influenced by light/dark cycle manipulation	김효진 이주희 이효범 안성광 김기선	한국원예학회 2017 춘계학술 발표회	대전	국내
14	2017	Investigating vegetative growth of <i>Phalaenopsis</i> orchids under different light intensity and photoperiodic conditions	이주희 이효범 김효진 안성광 김기선	한국원예학회 2017 춘계학술 발표회	대전	국내
15	2017	Effects of benzyladenine on flowering of <i>Phalaenopsis</i> orchid	안혜련 윤동리 박부희 백윤수	한국원예학회 2017 춘계학술대회	대전	국내
16	2017	Effects of media and irrigation methods on growth of young moth orchids in a closed plant factory system	이진희 김지선 박수현 오욱	한국원예학회 2017 추계학술 발표회	인천	국내
17	2017	Growth and flowering of <i>Doritaenopsis</i> Queen Beer 'Mantefon' in response to different light intensity and photoperiod	이주희 이효범 안성광 김기선	한국원예학회 2017 추계학술 발표회	인천	국내
18	2017	CO <sub>2</sub> exchange and growth behaviors of young <i>Doritaenopsis</i> plants acclimated to different CO <sub>2</sub> concentrations	임남현 이효범 안성광 김기선	한국원예학회 2017 추계학술 발표회	인천	국내

#### 4. 기술이전

No.	기술명	기술실시유형	출원등록번호	실시기관(업)	유무상	계약체결일
1	실험용 재배장치	특허출원	10-2015-0143900	상미원	무상	2016.04.01
2	식물관매장치 및 그 제어방법	특허출원	10-2018-0007856	비엔비오키드 난원	무상	2017.10.01

## 5. 사업화 성과 및 매출실적

### 가. 사업화 성과

항목	세부항목			성 과	
사업화 성과	매출액	개발제품	개발 후 현재까지	0.32억원	
			향후 3년간 매출	3.00억원	
		관련제품	개발 후 현재까지	0.10억원	
			향후 3년간 매출	3.00억원	
	시장 점유율	개발제품	개발 후 현재까지	국내 : 100% 국외 : - %	
			향후 3년간 매출	국내 : 50% 국외 : - %	
		관련제품	개발 후 현재까지	국내 : 80% 국외 : - %	
			향후 3년간 매출	국내 : 50% 국외 : - %	
	세계시장 경쟁력 순위	현재 제품 세계시장 경쟁력 순위			-위
		3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위			-위

### 나. 사업화 계획 및 매출 실적

항 목	세부 항목	성 과			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	5			
	소요예산(백만원)	100			
	예상 매출규모 (억원)	현재까지	3년후	5년후	
		0.5	3	5	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년후	5년후
		국내	80	50	40
		국외	-	-	10
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획	- 선인장 및 다육식물용 밀폐형 식물생산시스템 - 실험용 및 판매용 재배장치 - 도시농업용 재배장치			
무역 수지 개선 효과	(단위: 억원)	현재	3년후	5년후	
	수입대체(내수)	-	-	-	
	수 출	-	3	5	

#### ※ 향후 사업화 전략

- 수경재배용 조립식 식물공장을 활용한 미니 호접란 생산은 퇴직자 취업/창업, 귀농·귀촌 희망자를 중심으로 협동조합을 설립하여 공동으로 해 나갈 예정.
- 이렇게 생산된 미니 호접란 분화를 식물판매장치가 설치된 대형 마트, 24시간 편의점 등에 납품하여 판매할 예정임. 식물판매장치는 판매 또는 대여 가능. 추후 다육식물, 관엽식물에도 적용
- 조립식 미니온실은 호접란 개화조절용, 도시농업용, 실험용 등으로 판매할 예정

## 6. 교육지도

No.	교육 및 컨설팅명	장소	참석대상	일시
1	호접란 밀폐형 시스템을 위한 인공광원 설치 및 환경 조절기술	삼현난농원	고양시 난농가	2016.10.07
2	팔레놉시스 농가 현장기술지원	김성규 농가	농가 대표	2017.06.02
3	국산 팔레놉시스 순화묘 보급 및 LED 생산 현장기술지원	상일식물공장	농가 대표	2017.06.02
4	호접란 밀폐형 식물공장 농가 현장기술지도	상일식물공장	농가 대표	2017.06.19
5	밀폐형 식물생산시스템을 이용한 호접란 육묘	삼현난농원	삼현난농원 관계자	2017.11.03
6	호접란 다단식 육묘 생산을 위한 LEDs 활용	상미원	상미원 관계자	2017.11.14

## 7. 정책활용·홍보

### 가. 정책활용

No.	주관부처	시책명	건의일	시행(예정)일
1	농림축산식품부	미니 분화류의 직거래 정기구독 플랫폼 제의	2017.05.01	2017.07.11
2	경기도 농업기술원	밀폐형 식물생산시스템을 활용한 호접란 육묘 시스템 보급	2017.11.21	2017.12.29

### 나. 홍보, 전시, 수상

No.	유형	매체명/장소	홍보 내용	일자
1	기타	-	서울대학교 호접란 밀폐형 시스템 연구성과 홍보 및 연구 시설 견학	2017.08.03
2	지방일간지	대전일보	태안군, 원예특작 신기술 보급사업 성과 평가회 최우수 선정	2017.11.07
3	지방일간지	대전투데이	태안군, 신기술개발로 화훼산업 견인차	2017.11.07
4	지방일간지	중도일보	태안군, 신기술로 화훼산업 발전 이끈다!	2017.11.07
5	지방일간지	중부매일	호접란, 훼손없이 배송받으세요	2017.11.07
6	지방일간지	충남일보	태안군, 신기술로 화훼산업 발전 이끈다!	2017.11.07
7	지방일간지	충청매일	소형 호접란 택배로 안전하게 받으세요	2017.11.07
8	지방일간지	충청타임즈	태안군 신기술로 화훼산업 발전 이끈다	2017.11.07
9	지방일간지	충청일보	'소형 호접란 포장' 농가소득 효과	2017.11.07
10	지방일간지	한국공보뉴스	태안군, 신기술로 화훼산업 발전 이끈다	2017.11.08
11	지방일간지	뉴스21	신기술로 화훼산업 발전 이끈다!	2017.11.08
12	월간잡지	퀵	태안군, 신기술로 화훼산업 발전 앞당긴다!	2017.11.07
13	월간잡지	팜&마켓	팔레놉시스 꽃 선물 유형	2017.12.01



14	전시회 등	부산 벅스코	2016 부산 유기농 친환경 귀농귀촌 박람회(조립식 미니온실)	2016.11.24 ~11.27
15	전시회 등	부산 벅스코	2017 부산 유기농, 친환경, 귀농귀촌 박람회(조립식 미니온실 및 실험용 재배장치)	2017.04.13 ~04.16
16	전시회 등	부산 벅스코	2017 부산 유기농, 친환경, 귀농귀촌 박람회(조립식 미니온실, 실험용 재배장치, 식물판매장치)	2017.11.23 ~11.26
17	수상	(사)한국원예 학회	우수구두발표상 수상(서울대학교 이효범)	2017.05.25

## 8. 인력양성 및 고용창출

### 가. 인력양성

No.	학위명	성명	학교	학위취득연월	비고
1	농학박사	김지선	영남대학교	2016.02	
2	원예학사	이진희	영남대학교	2016.02	
3	원예학사	박수현	영남대학교	2016.08	
4	농학석사	민상윤	영남대학교	2017.02	
5	농학사	임소현	서울대학교	2017.02	
6	농학석사	김효진	서울대학교	2017.08	
7	농학석사	이진희	영남대학교	2018.02	

### 나. 고용창출

No.	직명	성명	고용기관	고용기간	비고
1	박사후연구원	김지선	영남대학교	2016.06~2017.12	
2	연구원	권진영	영남대학교	2017.07~2017.12	

## 9. 기타

### 가. 타과제 활용

No.	과제명	지원기관	사업명	연구기간	수행기관
1	호접란의 고온 환경 하에서의 개화억제 원인구명	미래창조과학부(연구재단)	기초연구사업(중견연구)	2017.03~2020.02	서울대
2	반투명 태양전지와 ICT를 적용한 태양광 유리온실 실증	산업통상자원부(예기평)	에너지기술개발사업	2016.05~2019.04	영남대
3	미국수출용 호접란 분화 최적 경화처리기술 개발	농림축산식품부(농기평)	수출전략기술개발사업	2017.04~2021.12	영남대
4	번식이 어려운 수출 유망 다육식물의 영양번식 효율 향상 기술 개발	농촌진흥청	농업과학기술연구개발사업	2017.01~2019.12	영남대

## 제4장 목표달성도 및 관련분야 기여도

코드번호 D-06

### 제1절 목표달성도

연차	연구개발의 목표	가중치	평가의 착안점 및 기준	목표달성도
1차 년도 (2014)	○ 지하부 적정 지하부환경 구명	6	- 호접란 유묘의 적정 생육을 위한 무배지 양액공급방식 도출 - 학술 발표 1건, SCI 논문 1건	100
	○ 밀폐형 식물생산시스템 지하부 환경 조절 연구용 테스트 베드 제작	3	- 분무경, 저면관수 시스템 개발	100
	○ 지상부 적정 광환경(광분포, 광도, 일장) 구명	6	- 최적 생육촉진 광환경 도출 - 학술대회 발표 1건	100
	○ 밀폐형 식물생산시스템 지상부 광환경 조절 테스트 베드 제작	3	- 테스트 베드의 호접란 생육 적합성 평가	100
	○ 호접란 생산을 위한 밀폐형 식물생산 시스템 관수시스템 개발	7	- 저면관수(담배수관수, 심지관수, 매트관수) 및 분무경 시스템 개발 - 특허 2건 출원	100
2차 년도 (2015)	○ 지하부 적정 지하부 환경 구명	6	- 호접란 유묘 생산을 위한 적정 양액공급방식 도출 - 학술발표 1건, 인력양성 2명	100
	○ 지하부 환경관리기술 개발	4	- 밀폐형 호접란 생산시스템을 위한 관수시스템, 배지, 수분함량, 양액 조성, 농도, pH 등 - 학술대회 발표 2건, 고용 1건	100
	○ 지상부 적정 환경(광질, 온도, 습도, CO <sub>2</sub> 농도) 구명	6	- 최적 광질, 생육온도, 습도, CO <sub>2</sub> 농도 환경 도출 - SCI(E) 논문 1편, 학술대회 발표 2건	100
	○ 밀폐형 식물생산시스템 내 호접란 지상부 관리체계 확립	4	- 최적 지상부 관리체계 확립 - 교육지도 1건	100
	○ 호접란 재배용 밀폐형 생산시스템 개발	10	- 특허 1건 출원	100
	○ 미니분화용 소형 품종선발	5	- 다경성 및 다화성 소형 5품종 이상 선발	100
○ 식물공장 생산묘 상품화 기술	5	- 중요 순화, 화경 발생, 최적 출하시기 도출 - 학술대회 발표 1건	100	

3차 년도 (2016)	○ 호접란 고품질 급속 생산을 위한 밀폐형 식물생산시스템의 지하부 환경조절기술 개발 및 보완	6	- 지하부 환경관리기술 개발 - 비SCI 논문 1편, 학술대회 발표 2건, 인력양성 1건	100
	○ 밀폐형 식물생산시스템의 지하부 환경제어 매뉴얼 제작 및 교육	3	- 교육지도 1건	100
	○ 호접란 고품질 급속 생산을 위한 밀폐형 식물생산시스템 개발 및 보완	5	- SCI(E) 논문 1편, 비SCI 논문 1편 - 학술대회 발표 2건	100
	○ 밀폐형 식물생산시스템의 환경제어 매뉴얼 제작 및 교육	4	- 교육지도 2건, 홍보 2건, 정책자료 1건 등	100
	○ 밀폐형 식물생산시스템 완성 및 운영 매뉴얼 제작	8	- 기술거래 2건 - 사업화 1건, 특허출원 1건, 특허등록 1건	100
	○ 상품화 기술 개발 및 현장실증	4	- 비SCI 논문 2편, 학술대회 발표 2건 - 교육지도 2건, 정책자료 1건	100
	○ 미니분화 수송 및 상품화에 필요한 포장기술개발	5	- 의장등록 1건 - 언론홍보 1건	100

## 제2절 관련분야 기여도

### 1. 제1세부과제

- 밀폐형 식물생산시스템을 이용한 호접란 유묘 생산에 적합한 무배지 관수방식 검토
- 밀폐형 식물생산시스템을 이용한 호접란 유묘 생산에 적합한 저면관수방식 및 배지 선정
- 호접란 밀폐형 식물공장을 이용한 호접란 유묘 생산 시 지하부 환경조절기술 개발로 안정적 생산 가능

### 2. 제1협동과제

- 호접란 다단식 재배를 위한 인공 광원 선발
- 호접란 육묘 시 인공 광원 이용을 위한 적정 광 환경(광질, 광도, 일장, 일적산광량) 제시
- 호접란의 다양한 환경에 대한 생육 및 광합성 반응 조사를 통해 후속 연구, 개발을 위한 기초자료 제시
- 난방비 절감형 온도조절기술 개발을 통한 호접란 재배 시 생산 비용 절감

### 3. 제2협동과제

- 호접란의 밀폐형 생산시스템에 적합한 관수시스템 개발
- 연구개발 결과에 기반한 호접란 밀폐형 생산시스템 개발
- 실험용 식물재배장치, 식물개화조절용 온실 및 미니 호접란 판매용 식물판매장치 개발로 밀폐형 생산시스템의 활용도 향상

### 4. 제3협동과제

- 미니 호접란의 조기출하를 위한 영양생장단계 구멍으로 재배기간 단축 및 농가 소득향상
- 미니 호접란 분지조절 기술개발을 통한 고품질 상품화 가능
- 소포장 및 선물용 호접란 상자개발로 농가직거래 활성화 가능

## 제5장 연구결과의 활용계획

코드번호

D-07

- 예상 활용분야 및 활용방안
  - 조직배양묘 순화 및 중묘생산의 연계 시스템개발로 호접란 생산기간 단축
  - 여름 고온 및 겨울철 난방비 부담이 큰 호접란의 밀폐형 식물생산시스템을 이용한 집약적인 재배로 연중 안정생산 기반 확보
  - 밀폐형 식물생산시스템에 스마트팜 기술 접목으로 노동력 절감 및 품질 향상
  - 미니 호접란용 포장의 활용으로 소비자 구매욕 향상
  
- 기업화, 추가연구, 기술이전 등
  - 호접란 재배용 밀폐형 식물생산시스템 구축 및 운용방법 개발
    - 기업형 호접란 중묘 생산업체 양성 및 밀폐형 식물생산시스템 기술이전
  - 개발된 실용화 기술은 농가현장 적용 및 실증
    - 미니분화 상품화 기술은 농가에 실증하여 시장에 출하하여 소비자 반응 조사
  - 저비용 미니분화 생산 및 상품화 기술개발로 틈새시장 개척
    - 미니분화 상품개발로 사무실 및 가정 등 호접란 이용 저변확대
  - 다육식물, 선인장 등 CAM식물의 밀폐형 식물생산시스템 기술 적용

## 제6장 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

코드번호	D-08
<p>○ 2015. 3. 6. ~ 2015. 3. 9. 대만</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taiwan International Orchid Show 2015 심포지엄에 참석하여 호접란 분류, 질소 시비 등에 대한 연구 내용을 수집하였음.</li> <li>• Tainan의 ‘Taiwan orchid plantation’ 에 방문하여 대만 호접란 온실을 견학하였으며, 재배된 묘는 유묘나 중간묘 상태로 미국 수출이 이루어지는 것을 볼 수 있었음.</li> <li>• 대만 호접란 재배 온실의 경우 팬앤패드(fan and pad) 시스템을 이용하여 여름철 온도 관리를 하고 있었으며, 광도는 5,000-10,000lux 수준으로 유지하는 것을 볼 수 있었음.</li> <li>• 네덜란드, 대만, 중국 등에서 육성한 호접란 심품종 정보를 수집하였으며, 당시 미니어 처 품종이 소개되었음.</li> <li>• LEDs를 활용한 제품화된 가정용 난 재배기가 소개되었음.</li> <li>• 국립대만대학교를 방문하여 호접란 재배를 위한 LEDs 광질 실험이 진행 중인 것을 확인하였음.</li> <li>• ‘Dr. Cecilia Koo Botanic Conservation Center’ 에 방문하여 <i>amabilis</i>, <i>equestris</i>, <i>fasciata</i>, <i>violacea</i>, <i>cornu-cervi</i>, <i>hieroglyphica</i>, <i>pallens</i>, <i>sanderiana</i>, <i>bellina</i>, <i>gigantea</i> 등의 호접란 원종을 확인할 수 있었음.</li> </ul> <p>○ 2016. 5. 22. ~ 2016. 5. 26. 미국</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Light in Horticulture Symposium에 참석하여 네덜란드, 미국, 일본 등의 원예 분야에서의 광 연구 현황을 확인할 수 있었음.</li> <li>• 인공광원을 이용한 연구로는 far-red, UV 광을 이용한 개화조절 연구가 소개되었음.</li> <li>• 화훼 분야에서는 주로 bedding plants에 대한 연구가 소개되었으며, 호접란에 대한 연구는 소개되지 않았음.</li> <li>• 미시간주립대학교의 연구 온실을 방문하여 LEDs를 이용한 화훼류 개화조절 연구 현황을 파악하였으며, 당시 green light의 효과를 알아보는 연구가 진행되고 있었음.</li> <li>• ‘Four Star Greenhouse’ 에 방문하여 미국 미시간 지역의 화훼류 생산 온실을 견학하였으며, 미국의 경우 주로 화단용 식물에 대한 수요가 높은 것을 확인할 수 있었음.</li> <li>• 재배 단계에서 완제품 형태로 농가에서 출하하는 모습을 확인할 수 있었음.</li> </ul> <p>○ 2016. 9. 26. ~ 2016. 9. 28. 중국</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asian Horticultural Congress 2016에 참석하여 중국, 일본, 태국 등의 원예 분야 연구 현황을 확인할 수 있었음.</li> <li>• ‘Sansheng Town Flower Production Base ‘에 방문하여 중국 청두 지역의 화훼류 재배 온실을 견학하였으며, 주로 분화류 및 화단류 생산량이 많은 것을 확인할 수 있었음.</li> </ul>	

○ 2016. 9. 26. ~ 2016. 9. 28. 중국

- 2017 ASHS Annual Conference에 참석하여 미국의 원예 분야 연구 현황을 확인할 수 있었음.
- 미국의 경우 화훼 분야에서 LEDs를 이용한 광질 연구가 주로 진행되고 있으며, 호접란의 경우 관수 방법에 대한 연구가 소개되었음.
- 미국 하와이(빅아일랜드) 난 농가(Akatsuka orchid gardens)를 방문하여 난 재배 온실을 견학하였으며, 호접란, 덴드로비움, 온시디움, 밀토니오피스, 카틀레야 등의 난 재배가 이루어지고 있는 것을 확인할 수 있었음.
- 난 농가들의 경우 농가에서 직접 검역이 확인된 상품을 소포장하여 판매하고 있었으며, 농가 현장 판매가 원활히 이루어지고 있었음.
- 배양묘를 판매하고 있어 국내 농가로의 신작물 도입 또는 밀폐형 시스템에서의 호접란 외 다른 작물 재배가 가능할 것으로 판단되었음.

○ 2017. 9. 19. ~ 2017. 9. 22. 미국

- 미국원예학회 Annual Conference에 참여하여 식물공장, LED 식물생장, 난 관련 정보를 수집하였음.
- 최근 미국에서도 LED를 활용한 연구가 많이 진행되고 있었으며, 특히 UV와 Far-Red광의 식물 생육에 대한 영향 연구와 이를 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있었음.

## 제7장 연구개발결과의 보안등급

코드번호	D-09
<input type="radio"/> 일반 과제	



## 제8장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

코드번호

D-11

### ○ 주관연구기관(영남대학교)

- 연구실 안전교육
  - 대학원생 및 상시연구활동종사자 : 대학원생 환경소방안전교육(2회/연)
- 연구실 안전점검
  - 일상점검 : 매일 연구활동 수행 전 자체 점검 실시(1회/일)
  - 정기점검 : 연구실 안전점검 실시(1회/연)
  - 정밀안전진단 : 외부 전문기관 위탁 점검 실시(1회/2년)
- 연구활동종사자 상해보험
  - 학부생, 대학원생, 대학원연구원 : 교육시설재난공제회 가입(매년 갱신 처리)
  - 교직원, 유급연구원 : 사학연금, 산재보험으로 대체
- 연구활동종사자 건강검진
  - 학부생, 대학원생 대상 일반건강검진 : 건강관리센터 주관 연 1회 실시

### ○ 제1협동기관(서울대학교)

- 연구원 전원은 서울대학교 연구실 안전환경 의무 교육을 이수하였으며, 매년 1회 이상 연구실 정기점검을 통해 안전조치를 이행하였음.
- 연구실 일상 점검표를 작성하여 실험 기간 동안 소화기 비치, 전선 피복 상태, 보호장비 구비, 폐수 보관 상태, 인화성 물질 보관 상태 등을 점검하였음.
- 밀폐형 시약장, 인화성 물질 보관 캐비닛 등을 설치하여 시약, 인화성 물질 등의 보유량, 사용 여부를 표시하여 분리 보관 및 사용 중에 있음.

## 제9장 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국가	코드번호		D-12	
						Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/ 인용횟수 등)
1	논문	Vegetative growth characteristics of <i>Phalaenopsis</i> and <i>Doritaenopsis</i> plants under different artificial lighting sources	서울대학교	교신 저자	Horticultural Science and Technology	0.365	2017.02.28	단독사사	SCIE, 1회 인용
2	논문	Growth and CO <sub>2</sub> exchange in young <i>Phalaenopsis</i> orchids grown under different levels of humidity during the vegetative period	서울대학교	교신 저자	Horticulture, Environment, and Biotechnology	0.812	2018.02.28	단독사사	SCIE
3	논문	Growth and CO <sub>2</sub> exchange in young <i>Phalaenopsis</i> orchids grown under different levels of humidity during the vegetative period	서울대학교	교신 저자	Horticulture, Environment, and Biotechnology	0.812	2018.02.28	단독사사	SCIE
4	논문	CO <sub>2</sub> uptake behavior and vegetative growth of <i>Doritaenopsis</i> Queen Beer 'Mantefon' orchids as influenced by light/dark cycle manipulation	서울대학교	교신 저자	Flower Research Journal	-	2017.12.15	단독사사	KCI
5	논문	6-Benzylaminopurine 처리가 미니 팔레놉시스와 도리테놉시스의 개화품질에 미치는 영향	국립원예 특작과학 원	제1 저자, 교신 저자	Flower Research Journal	-	2017.12.15	단독사사	KCI
6	기술 이전	실험용 재배장치 및 식물판매장치	GMG코 리아 영남대학 교	-	무상이전 (비엔비오키 드, 상미원)	-	2016.12.10 2017.11.01	단독사사	-
7	학술 지편 집위 원장	한국원예학회 학술지 편집위원장 활동	영남대학 교	편집 위원 장	Horticultural Science and Technology	0.365	2017.07.01. (임기 2년)	-	SCIE 학술지

## 제10장 참고문헌

	코드번호	D-14
Albert NW, Lewis DH, Zhang H, Irving LJ, Jameson PE, Davies KM (2009) Light-induced vegetative anthocyanin pigmentation in <i>Petunia</i> . J Exp Bot 60:2191-2202		
An SK, Kim YJ, Kim KS (2013a) Inhibition of inflorescence initiation in immature <i>Doritaenopsis</i> Queen Beer ‘Mantefon’ by photoperiod and temperature. Hortic Environ Biotechnol 54:223-227		
An SK, Kim YJ, Kim KS (2013b) Optimum heating hour to maintain vegetative growth and inhibit premature inflorescence initiation of six-month and one-year-old <i>Phalaenopsis</i> hybrids. Hortic Environ Biotechnol 54:91-96		
Anderson JM, Chow WS, Park YI (1995) The grand design of photosynthesis: acclimation of photosynthetic apparatus to environmental cues. Photosynth Res 46:129-139		
Anthura (2005) Cultivation guide <i>Phalaenopsis</i> . Knowledge for professionals. Anthura, Bleiswijk, The Netherlands, pp 17-28		
Baker NR (2008) Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. Annu Rev Plant Biol 59:89-113		
Blanchard MG, Runkle ES (2006) Temperature during the day, but not during the night, controls flowering <i>Phalaenopsis</i> orchids. J Expt Bot 57:4043-4049		
Blanchard MG, Runkle ES (2008) Benzyladenine promotes flowering in <i>Doritaenopsis</i> and <i>Phalaenopsis</i> orchids. J Plant Growth Regulat 27:141-150		
Bunce JA (1984) Effects of humidity on photosynthesis. J Expt Bot 35:1245-1251		
Cechin I (1998) Photosynthesis and chlorophyll fluorescence in two hybrids of sorghum under different nitrogen and water regimes. Photosynthetica 35:233-240		
Chen WH, Chen HH (2011) Orchid biotechnology II. Ed 1, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, pp 1-2		
Christenson EA (2001) <i>Phalaenopsis</i> : a monograph. Ed 1, Timber Press, Portland, OR, USA, pp 24-25		
Corbesier L, Prinsen E, Jacquard A, Lejeune P, Van Onckelen H, Perilleux C, Bernier G (2003) Cytokinin levels in leaves, leaf exudate and shoot apical meristem of <i>Arabidopsis thaliana</i> during floral transition. J Expt Bot 54:2511-2517		
Day JS, Loveys BR, Aspinall D (1994) Manipulation of flowering and vegetative growth of brown boronia ( <i>Boronia megastigma</i> Nees.) and white myrtle ( <i>Hypocalymma angustifolium</i> Endl.) using plant growth regulators. Scientia Hort 56:309-320		
Day JS, Loveys BR, Aspinall D (1995) Cytokinin and carbohydrate changes during flowering of <i>Boronia megastigma</i> . Austral J Plant Physiol 22:57-65		
De LC, Pathak R, Rao AN, Rajeevan PK (2014) Commercial orchids. Walter de Gruyter GmbH, Berlin, Germany, pp 17-18		
Demmig-Adams B, Adams WW, Barker DH, Logan BA, Bowling DR, Verhoeven AS (1996) Using		

- chlorophyll fluorescence to assess the fraction of absorbed light allocated to thermal dissipation of excess excitation. *Physiol Plant* 98:253-264
- Dole JM, Cole JC (1994) Growth of poinsettia, nutrient leaching, and water use efficiency respond to irrigation methods. *HortScience* 29:858-864
- Drennan PM, Nobel PS (2000) Responses of CAM species to increasing atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations. *Plant Cell Environ* 23:767-781
- Dueck T, Trouwborst G, Hogewoning SW, Meinen E (2016) Can a high red:far-red ratio replace temperature-induced inflorescence development in *Phalaenopsis*?. *Environ Exp Bot* 121:139-144
- Faust JE (2002) First research report. Light management in greenhouses. I. Daily light integral: A useful tool for the U.S. Floriculture Industry.
- Faust JE, Heins RD (1993) Modeling leaf development of the African violet (*Saintpaulia ionantha*). *J Amer Soc Hort Sci* 118:747-751
- Frank PJ, Farquhar GD (1999) A relationship between humidity response, growth form and photosynthetic operating point in C<sub>3</sub> plants. *Plant Cell Environ* 22:1337-1349
- Grange RI, Hand DW (1987) A review of the effects of atmospheric humidity on the growth of horticultural crops. *J Hort Sci* 62:125-134
- Griffiths H, Helliker B, Roberts A, Haslam RP, Girnus J, Robe WE, Borland AM, Maxwell K (2002) Regulation of Rubisco activity in crassulacean acid metabolism plants: better late than never. *Funct Plant Biol* 29:689-696
- Guo WJ, Lin YZ, Lee N (2012) Photosynthetic light requirements and effects of low irradiance and daylength on *Phalaenopsis amabilis*. *J Amer Soc Hort Sci* 137:465-472
- Ho FW, Yang L (1990) Effects of plant growth regulators on the growth and flowering of *Phalaenopsis*. *Taiwan Sugar Res Inst Ann Rpt* 1989-90:17-18
- Hwang SJ, Jeong BR (2009a) Effect of CO<sub>2</sub> concentration and fertilization time on the growth of potted *Phalaenopsis*. *Flower Res J* 17:29-35
- Hwang SJ, Jeong BR (2009b) Growth of *Phalaenopsis* plants as affected by nutrient solution composition. *Sci Hortic* 27:73-80
- Hwang SJ, Park SM, Jeong BR (2003) Growth of two cultivars of *Phalaenopsis* at two growth stages as affected by the nutrient solution formulation. *Korean J Hortic Sci Technol* 21(Supp. 1):31
- Ichihashi S (1997) Orchid production and research in japan. *In* J Arditti, AM Pridgeon, (eds.) *Orchid biology: reviews and perspectives*, VII. Kluwer Academic, London, UK, pp 171-212
- Ichihashi S, Higuchi T, Shibayama H, Tesima Y, Nishiwaki Y, Ota K (2008) Aspects of CO<sub>2</sub> uptake in the crassulacean acid metabolism orchid *Phalaenopsis*. *Acta Hort* 766:245-256
- Isdo SB, Kimball BA, Anderson MG, Szarek SR (1986) Growth response of a succulent plant, *Agave vilmoriniana* to elevated CO<sub>2</sub>. *Plant Physiol* 80:796-797
- Jantasuriyarat C, Ritchuay S, Pattarawat P, Huehne PS, Kate-Ngam S (2012) Development and transferability of EST-SSR and transferability of genomic SSR markers for genetic diversity

- assessment of *Doritis*. *Biochem System Ecol* 45; 57-65
- Jeon MW, Ali MB, Hahn EJ, Paek KY (2006) Photosynthetic pigments, morphology and leaf gas exchange during ex vitro acclimatization of micropropagated CAM *Doritaenopsis* plantlets under relative humidity and air temperature. *Environ Exp Bot* 55:183-194
- Kaczpereski MP, Carlson WH, Karlsson MG (1991) Growth and development of *Petuniahybrida* as a function of temperature and irradiance. *J Amer Soc HortSci* 116:232-237
- Kato N, Ichihashi S, Momiyama A, Ota K (1993) Studies on *Phalaenopsis* cultivation. 1. Effects of fertilization, irrigation and compost. *J Jpn Soc Hortic Sci* 62:564-565
- Khattak AM, Pearson S (2006) Spectral filters and temperature effects on the growth and development of chrysanthemums under low light integral. *Plant Growth Regul* 49:61-68
- Kiehl PA, Lieth JH, Burger DW (1992) Growth response of chrysanthemum to various container medium moisture tension levels. *J Am Soc Hortic Sci* 117:224-229
- Kim HJ, Cho AR, Park KS, Kim YJ (2017) Effects of CO<sub>2</sub> enrichment on growth and flowering of *Phalaenopsis*. *Hort J* 86:389-394
- Kim HJ, Kim J, Do LY, Kim KS, Kim YJ (2016) Growth and flowering of *Doritaenopsis* Queen Beer 'Mantefon' as affected by different potting substrates. *Hortic J* 85:360-365
- Kim TJ, Lee CH, Peak KY (2000) Effects of growth regulators under low temperature environment on growth and flowering of *Doritaenopsis* 'Happy Valentine' during summer. *J Kor Soc Hort Sci* 41:101-104
- Kim YS, Jeong YO, Park JC, Huh MR (2002) Effect of irrigation methods on the early growth of *Phalaenopsis*. *J Korean Soc People Plants Environ* 5(2):35-39
- Kitajima M, Butler WL (1975) Quenching of chlorophyll fluorescence and primary photochemistry in chloroplasts by dibromothymoquinone. *Biochem Biophys Acta* 376:105-115
- Kitaya Y, Niu G, Kozai T, Ohashi M (1998) Photosynthetic photon flux, photoperiod, and CO<sub>2</sub> concentration affect growth and morphology of lettuce plug transplants. *HortScience* 33:988-991
- Konow EA, Wang YT (2001) Irradiance levels affect in vitro and greenhouse growth, flowering, and photosynthetic behavior of a hybrid *Phalaenopsis* orchid. *J Amer Soc Hort Sci* 126:531-536
- Kozai T (2007) Propagations, grafting and transplant production in closed systems with artificial lighting for commercialization in Japan. *Propag Ornament Plants* 7:145-149
- Kubota S, Yaneda K (1995) Effects of watering on the growth and induction of inflorescence in *Phalaenopsis* plants. *J Jpn Soc Hortic Sci* 64:608-609
- Kubota S, Yoneda K (1993) Effects of light intensity preceding day/night temperatures on the sensitivity of *Phalaenopsis* to flower. *J Jpn Soc Hort Sci* 62:595-600
- Lee HB, An SK, Kim KS (2015) Inhibition of premature flowering by intermittent high temperature treatment to young *Phalaenopsis* plants. *Hortic Environ Biotechnol* 56:618-625
- Lee YB, Lee DS (2004) Selection of optimal hydroponic system for growth of *Phalaenopsis*. *Hortic Environ Biotechnol* 45:109-114

- Lihavainen J, Ahonen V, Keski-Saari S, Kontunen-Soppela S, Oksanen E, Keinänen M (2016) Low vapour pressure deficit affects nitrogen nutrition and foliar metabolites in silver birch. *J Expt Bot* 67:4353-4365
- Lin MJ, Hsu BD (2004) Photosynthetic plasticity of *Phalaenopsis* in response to different light environments. *J Plant Physiol* 161:1259-1268
- Lin YR (1994) Effect of light, temperature and plant growth regulators on flowering of *phalaenopsis* spp. Master's thesis Graduate Institute of Horticulture, National Taiwan University, Taipei, Taiwan
- Lindsay DL, Sawhney VK, Bonham-smith PC (2006) Cytokinin induced changes in CLAVATA1 and WUSCHEL expression temporally coincide with altered floral development in *Arabidopsis*. *Plant Sci* 170:1111-1117
- Lootens P, Heursel J (1998) Irradiance, temperature, and carbon dioxide enrichment affect photosynthesis in *Phalaenopsis* hybrids. *HortScience* 33:1183-1185
- Lopez RG, Runkle ES, Wang YT, Blanchard MG, Hsu T (2007) Growing the best *Phalaenopsis*, Part 3: Temperature and light requirements, height, insect, and disease control. *Orchids* 76:184-189
- Lopez RG, Runkle ES (2005) Environmental physiology of growth and flowering of orchids. *HortScience* 40:1969-1973
- Lüttge U (2007) *Clusia*: a woody neotropical genus of remarkable plasticity and diversity. *Ecological studies*, Vol 194. Springer, Berlin
- Maxwell K, Johnson GN (2000) Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *J Expt Bot* 51:659-668
- Min SY (2017) Determination of nutrient solution supply method suitable for young *Phalaenopsis* plant production using a closed plant factory system. MS Thesis, Yeungnam Univ., Gyeongsan, Korea, pp 44-45
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (2016) Statistics for floricultural industry in 2015. Sejong, Korea
- Nam SY, So CH, Jo GH (2012) Everything of hydroponics. PGB Press, Seoul, Korea, pp 348-352
- Newton LA, Runkle ES (2009) High-temperature inhibition of flowering of *Phalaenopsis* and *Doritaenopsis* orchids. *HortScience* 44:1271-1276
- Niu G, Heins RD, Cameron AC, Carlson WH (2000) Day and night temperature, daily light integral and CO<sub>2</sub> enrichment affect growth and flower development of pansy (*Viola wittrockiana*). *J Amer Soc Hort Sci* 125:436-441
- Oh MM (2003) Comparison of system characteristics, water content of root media, and growth of potted kalanchoe (*Kalanchoe blossfeldiana* cv. New Alter) in various subirrigation systems. PhD Diss., Seoul Natl Uni., Seoul, Korea, pp 23-47
- Oh MM, Son JE (2008) *Phytophthora nicotianae* transmission and growth of potted kalanchoe in two recirculating subirrigation systems. *Sci Hortic* 119:75-78
- Osmond CB (1978) Crassulacean acid metabolism: a curiosity in context. *Ann Rev Plant Physiol*

29:379-414

- Pollet B, Kromwijk A, Vanhaecke L, Dambre P, van Labeke MC, Marcelis L, Steppe K (2011) A new method to determine the energy saving night temperature for vegetative growth of *Phalaenopsis*. *Ann Appl Biol* 158:331-345
- Poorter H, Navas ML (2003) Plant growth and competition at elevated CO<sub>2</sub>: on winners, losers and functional groups. *New Phytol* 157:175-198
- Puustjarvi V (1977) Peat and its use in horticulture. Liikekirjapaino Oy., Helsinki, Finland
- Rabas AR, Martin CE (2003) Movement of water from old to young leaves in three species of succulents. *Ann Bot* 92:1-8
- Rotor GB (1952) Daylength and temperature in relation to growth and flowering of orchids. *Cornell Univ Agr Expt Sta Bul* 885:3-47
- Runkle ES (2007) Innovative production systems for ornamental potted plants: a case study for *Phalaenopsis* orchids. *Acta Hortic* 755:55-60
- Runkle ES, Wang YT, Blanchard MG, Lopez RG (2007) Growing the best *Phalaenopsis*, Part 1: An introduction to potted *Phalaenopsis* orchids. *Orchids* 76:24-28
- Rural development administration (2001) Cultivation of orchid, Rural development administration, Seoul, Korea, pp 70-102
- Sakanishi Y, Imanishi H, Ishida G (1980) Effect of temperature on growth and flowering of *Phalaenopsis amabilis*. *Bul Univ Osaka Prefecture Ser B Agr Biol* 32:1-9
- Shin BK, Son JE, Choi JM (2012) Physico-chemical Properties of Peatmoss and Coir Dust Currently Used as Root Medium Components for Crop Production in Korean Plant Factories. *J Bio-Environment Control* 21:362-371
- Shin KS, Murthy HN, Heo JW, Hahn EJ, Paek KY (2008) The effect of light quality on the growth and development of in vitro cultured *Doritaenopsis* plants. *Acta Physiol Plant* 30:339-343
- Snow MD, Tingey DT (1985) Evaluation of a system for the imposition of plant water stress. *Plant Physiol* 77:602-607
- Son KH, Oh MM (2013) Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes. *HortScience* 48:988-995
- Stirk WA, Gold JD, Novak O, Strnad M, Staden JV (2005) Changes in endogenous cytokinins during germination and seedling establishment of *Tagetes minuta* L. *J Plant Growth Regulat* 47:1-7
- Ting IP (1985) Crassulacean acid metabolism. *Ann Rev Plant Physiol* 36:595-622
- Toth J, Nurthen EJ, Chan KY (1988) A simple wick method for watering potted plants which maintains a chosen moisture regime. *J Austral Exp Agric* 28:805-808
- Walters RG (2005) Towards an understanding of photosynthetic acclimation. *J Expt Bot* 411:435-447
- Wang YT (1995a) Gibberellic acid on *phalaenopsis*. *Am Orchid Soc Bul* 64:744

- Wang YT (1995b) *Phalaenopsis* orchid light requirement during the induction of spiking. HortScience 30:59-61
- Wang YT, Blanchard MG, Lopez RG, Runkle ES (2007) Growing the best *Phalaenopsis*, Part 2: Media, transplanting, water and nutrient requirements. Orchids 76:106-111
- Went FW (1957) The experimental control of plant growth. Chronica Bot 17:148-152
- Winter K, Engelbrecht B (1994) Short-term responses of light and dark fixation in the Crassulacean acid metabolism plant *Kalanchoë pinnata*. J Plant Physiol 144:462-467
- Withner CL, Congress CO (1964) The importance of light for orchid growth. Amer Orchid Soc Bull, pp 218-220
- Wollaeger HM, Runkle ES (2014) Growth of impatiens, petunia, salvia, and tomato seedlings under blue, green, and red light-emitting diodes. HortScience 49:734-740
- Wu PH, Chang DCN (2009) The use of N-6-benzyladenine to regulate flowering of *Phalaenopsis* orchids. HortTechnology 19:200-203
- Yao HY, Chung RS, Ho SB, Chang YCA (2008) Adapting the pour-through medium extraction method to *Phalaenopsis* grown in sphagnum moss. HortScience 43:2167-2170
- Yoneda K, Momose H (1990) Effects on flowering of *Phalaenopsis* caused by spraying growth regulators when transferred to highlands. Bul College Agr Veterinary Medicine Nihon Univ 47:71-74
- Yoon GE, Jung SY (2011) Orchids of world. Gimmyoung Publishers, Paju, Korea, pp 104-119
- Ziska LH, Hogan KP, Smith AP, Drake BG (1991) Growth and photosynthetic response of nine tropical species with long-term exposure to elevated carbon dioxide. Oecologia 86:383-389



## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.