

최 종 보 고 서

발 간 등 록 번 호

11-1541000-001206-01

보안과제(), 일반과제(○) 108112-3

LED를 이용한 참외 재배 기술 및 광환경 제어 시스템 연구 개발 (참외 재배를 위한 LED 참외 재배 조명 장치 개발 및 실증 연구)

(Using LED oriental melon cultivation technology and light environmental control systems research and development)

도흥리정보화영농조합법인

농 립 수 산 식 품 부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “LED를 이용한 참외 재배 기술 및 광환경 제어 시스템 연구 개발”에 관한 과제(세부과제 “참외 재배를 위한 LED 참외 재배 조명 장치 개발 및 실증 연구”)의 보고서로 제출합니다.

2011년 12월 19일

주관연구기관명 : 도흥리정보화영농조합법인

주관연구책임자 : 김 종 삼

세부연구책임자 : 김 종 삼

연 구 원 : 박 무 열

연 구 원 : 장 관 집

연 구 원 : 도 한 우

협동연구기관명 : (주) 유 비 엔

협동연구책임자 : 안 은 기

협동연구기관명 : 경북농업기술원성주과채류시험장

협동연구책임자 : 서 동 환

요 약 문

I. 제 목

LED를 이용한 참외 재배 기술 및 광환경 제어 시스템 연구 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 연구는 LED가 식물에 필요한 광파장을 효율적으로 조사(照射)할 수 있고 환경이나 기후 변화에 좌우되지 않고 식물을 재배할 수 있는 점에 착안하여 참외재배에 있어서의 파장별 LED가 생육에 미치는 영향을 연구하고, 그에 따른 참외 재배의 생산성 증대를 위한 LED 등기구 및 광환경 제어장치를 개발하는 것이 목적임

국내외의 인공광원을 이용한 식물재배시스템은 주로 사용자가 임의로 조작하는 단순 온/오프 제어에 그치고 있어 그 효율성이 낮은 편이며, 최근처럼 불규칙한 날씨로 인해 광부족 문제 발생시에 대처하기가 힘든 면이 있음. 광환경 제어 시스템을 식물재배에 적용하여 안정적인 식물재배에 활용함으로써 생산량 증대 효과를 가질 수 있고, LED를 활용하여 기존의 백열등이나 형광등의 에너지 절감을 위한 대체조명으로써도 그 활용성이 굉장히 높음. 특히 LED를 이용한 식물공장 산업의 연구 및 상용화가 활성화 되면서 본 사업의 미래 성장성과 가능성을 높여주고 있음

III. 연구개발 내용 및 범위

가. 참외재배에 적합한 LED 재배 등기구의 제작

- 기제작된 참외 전용 LED의 현장 적용시의 문제점인 방수·방열에 대한 제품 수정, 고휘도 LED용 PCB 및 하우징 설계와 제작을 통한 안정적인 참외 재배용 LED 등기구 시제품 제작
- 백열등 타입의 보급형 LED 시제품의 개발을 통한 가격 경쟁력 확보와 설치 및 이전이 용이한 LED 제작

나. 외부 환경변화(날씨, 계절) 등에 지능적으로 동작하는 통합 광환경 제어시스템의 개발

- 통합 광환경제어시스템의 화면 구성 설계, 데이터베이스 설계 및 개발, 관련 프로그램 개발, 통합 테스트를 통한 광환경 제어시스템의 개발 수행
- 통합 광환경제어시스템의 요구분석 및 시스템 구성 설계, 최적 광환경 산출 및 성장환경의 DB화를 위한 시스템 설계
- Growth Chamber 형태의 등기구와 제어 컨트롤러 설계, 실험실 및 조직배양실에서의 광환경 적용을 위한 등기구 제작

다. 참외 재배에 필요한 LED 파장별 등기구의 영향 및 효과 연구

- 개발한 LED 등기구를 참외재배에 적용하여 참외 재배에 미치는 영향과 생산성 향상에 필요한 최적의 파장 및 파장 조합을 규명
- 묘소질, 접목활착률, 정식 후 초기생육, 개화수, 병해충 발생정도, 품질 및 수량조사
- 파종직후부터 수확기까지 하루 19시부터 30분간 처리하여 농촌진흥청 조사기준에 준하여 조사
- 참외 동계재배시 생장 및 품질향상을 위한 LED를 이용기술개발
- LED 파장별 P_{tr} , P_{fr} 이용 저온기 암꽃 유도 기술개발
- 참외재배 현장실증농가 3곳을 선정하여 기제작된 LED 등기구 시제품을 적용한 참외재배 생장에 대한 효과와 생산성에 대한 효과 검증

IV. 연구개발결과

본 연구에서는 LED를 참외재배에 적용하여 참외의 생육과 반응을 조사하였고, 참외 및 시설 재배에 적합한 LED 등기구를 개발하고, 이 등기구를 활용하여 주변 광환경의 변화에 대응이 가능한 광환경 제어 시스템을 구현하였음. 그리고 농가실증시험을 통해 유의한 광질과 광량의 조사방법을 확인하고, 참외의 안정적인 생산을 위한 LED 적용 방안과 효용성을 확인하였음

가. 다양한 농업용 LED 조명 등기구의 개발

- Bar형 LED, Growth Chamber, 반구형 아크릴 LED 등기구, Bulb형, Panel형 등 다양한 농업용 LED 등기구를 개발하였고, 식물재배 전용 LED Array 제작, 전원 공급 장치의 시제품 제작, 방열·방습 등 식물재배를 위한 시설에 적합한 등기구의 하우징 개발 등을 수행하여 농업에 LED 적용을 위한 원천 기술을 확보하였음

나. 통합형 LED 생장 환경 제어 시스템의 개발

- 최적의 광환경을 제공하기 위한 광환경 제어 시스템뿐만 아니라, 일반적으로 식물에 필요한 생장환경요소까지 모니터링하고 제어하기 위한 시스템으로의 확대 개발을 수행하였음. 작물의 재배 및 생장 환경의 체계적 관리를 위한 시스템 설계, 식물의 재배를 위한 광환경 및 생장 환경 데이터의 표준화, 센서 네트워크 설계, 광환경 검출 센서 및 생장환경센서 개발, 센서노드 및 제어기기 개발, 통합 광환경 제어시스템 응용 소프트웨어 개발을 수행하여, 향후 노동력 절감을 통한 생산비 감소와 고품질 농산물 생산이 가능할 것임

다. 참외 재배에 미치는 LED의 영향

- LED 처리로 참외의 묘소질 및 초기생육이 우수하고 암꽃 발생률이 많고 과중이 무겁고 상품수량이 증가하는 경향있음. 그러나 당도 등 품질은 큰 차이가 없었는데 이것은 생육 후기로 갈수록 LED 광량자가 감소하였기 때문으로 추정됨. 특히, 과채류의 경우 생육기간이 길고 영양생장 및 생식생장이 동시에 이루어지는 점과 생장상의 변화에 따른 영향을 검토하는 경우에는 광량자가 매우 중요한 영향을 미칠 것으로 판단됨.

- 참외 및 딸기 등의 과채류에 청색, 적색, 적외선을 비추어주면 생육이 촉진되고 암꽃 발생이 많아져 수량이 20% 정도 증가하는 경향있음. 또한 청색, 황색 및 자외선을 비추어주면 진딧물, 청벌레, 총채벌레, 노균병 등 병해충 발생이 감소하는 경향있음.
- 과피의 색도는 오히려 무처리구에서 우수한 경향있음. 시간별 처리에서는 참외의 생육은 3시간 및 6시간 처리구 공히 비슷한 경향을 보였고, 과피의 색도는 6시간 처리구에서 다소 우수하였으나, 상품수량은 3시간 처리구에서 다소 많았음. 이는 생육시기와 관련이 있는 것으로 추정되는데, 30분 처리구와 비교하면 참외 재배시 LED 처리는 고온기보다는 저온기에서 우수한 영향을 나타내는 것으로 판단됨.
- 광량에 따른 광합성량을 고려해 볼 때 광량이 광보상점인 $250 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이상이라야 효과가 있을 것이나, 일조가 부족한 기상조건에서는 흐린 날이나 비오는 날보다 LED 광량을 높이면 호흡으로 인한 소모를 다소 줄일 수 있는 효과가 있을 것으로 판단되므로 LED 광량과 처리시간 등에 관한 연구가 필요할 것으로 판단됨.
- 매일 4시간의 보광으로 광합성률을 증가시켜 참외의 생육 촉진 효과가 있었으나, 처리시간과 광량에 따라 효과의 차이가 있을 수 있음. 광합성에 효과적인 Red, Blue, Red+Blue 혼합광은 최소광량을 광보상점 이상으로 보광을 해야 생육 촉진 효과가 있을 것으로 사료됨.
- UV를 처리가 과실 착색을 촉진시킨다고 알려져 있으나, 본 시험에서는 Red광 처리가 착색을 촉진시키는 것으로 나타나 이에 대한 연구가 더 필요할 것으로 사료됨

V. 연구성과 및 성과활용 계획

본 연구개발 계획에서 수행하고자 했던 내용은 식물 재배용 등기구와 광환경 제어 시스템의 개발로 다양한 연구와 기술개발을 통해 모든 식물에 보편적으로 적용할 수 있는 제품의 개발에 주안점을 둠

가. 연구개발의 사업화 현황

- 경북농원기술원의 ‘딸기, 오이, 파프리카 안정생산을 위한 LED 이용 기술개발 연구’ 적용
- 중소기업청 “LED광처리 해양클로렐라와 해양심층수를 활용한 음료개발” 사업 참여
- 영남대 해양연구센터 및 원예학과, 포항공대 연구실 적용
- 그 외, 경북구미화훼단지, 경북경산 잇들개 농가 적용

나. 지적재산권 취득

“LED 광원 처리가 참외의 생육 및 개화에 미치는 영향” 에 관한 논문 1편
 “식물재배용 조명 장치” 와 관련 된 2건의 특허를 출원

다. 연구성과 활용계획

LED 재배기술이 성숙하고 있는 현 상황에서 본 연구개발을 통해 얻은 기술을 육묘재배와 식물공장 시스템, 미세조류 배양 등 연구에 적용한다면 이들 분야의 실용화와 대중화가 앞 당겨질 것임. 또한 이미 개발된 LED 등기구를 농가에 보급하는 사업을 꾸준히 진행하여 고품질 농산물 생산을 도모하고자 함.

Summary

I. Title

Research and Development of LED-based Oriental Melon Cultivation Technology and a Photo-environment Control System

II. Objective and necessity of research and development

The objective of this study is to develop LED lighting fixtures and a photo-environment control system in order to boost productivity in the cultivation of oriental melons by examining the wavelength-by-wavelength influence of LEDs on the growth of oriental melons on the basis of the fact that LEDs can effectively radiate photo-wavelengths required for the growth of plants, without being affected by the environment and changes in weather patterns.

The artificial light source plant cultivation systems, which are available in the domestic and international markets, show relatively low efficiency, while exhibiting other downsides, such as light shortages resulting from capricious weather patterns, as they only provide a simple on/off function that can be arbitrarily controlled by users. The application of a photo-environment control system for the stable growth of plants may lead to an increase in output, in addition to a wealth of applications as alternative lighting facilities that can reduce the amount of energy consumed by the conventional incandescent and fluorescent lamps. In particular, the future growth and possibilities of this project can be identified by examining the operation cases of LED-based plant cultivation sites.

III. R&D details and scope

A. Manufacturing of LED lighting fixtures suitable for the growth of oriental melons

- Manufacturing stable prototype LED lighting fixtures by providing solutions to the waterproof and heat resistance issues that have been raised over the course of the field application of the available LEDs intended for the growth of oriental melons, and by redesigning the PCBs and housings for the use of high-luminance LEDs
- Design and installation of LEDs that can cope with diverse environments through the development of a LED prototype of a light bulb type

B. Development of an integrated photo-environment control system that can intelligently

operate as outside environments change (weather patterns, seasonal changes)

- Development of a photo-environment control system by the following: display configuration design, the design and development of databases, the development of related programs, and the implementation of integration tests
- System design for the analysis of the requirements for the implementation of an integrated photo-environment control system, system configuration design, and the estimation of optimized light environments and the transformation of growth environments into databases
- Design of lighting fixtures in the form of a growth chamber, controllers, and the manufacturing of lighting fixtures intended to be used in laboratories and tissue culture facilities

C. Research on the wavelength-by-wavelength impact and effects of LEDs on the cultivation of oriental melons

- Identification of optimal wavelengths and wavelength combinations for an increase in outputs and the impact of manufactured LED lighting fixtures on the growth of oriental melons
- Investigation of seeding quality, graft union rates, the initial growth and development after transplant, the number of flowers, the outbreaks of diseases and pests, quality and quantity
- Daily investigation of seeding quality, graft union rates, the initial growth and development after transplant, the number of flowers, the outbreaks of diseases and pests, quality and quantity for 30 minutes (from 19:00) for the period between a point right after completion of sowing and a harvesting point in accordance with the investigation standards released by the Rural Development Administration
- Development of LED-based technology for an increase in the growth and quality of oriental melons during the wintertime
- Development of technology that can increase the number of pistillate flowers at low temperatures using the P_r and P_{fr} of each LED wavelength.
- Verification of the effects of the manufactured prototype LED lighting fixtures on an increase in the productivity and growth of oriental melons by applying the LED lighting fixtures to three selected farming families growing oriental melons.

IV. R&D results

In this study, the effects of LEDs on the growth and responses of oriental melons were investigated by applying the LEDs to the cultivation of oriental melons, and LED lighting fixtures optimized for oriental melon growth facilities were developed, while implementing a photo-environment control system that can cope with changes in nearby light

environments using the lighting fixtures. In addition, the investigation methods required for the verification of optimal light quality and light amount, plus the application methods and usefulness of LEDs in terms of the stable production of oriental melons, were identified.

A. Development of diverse types of agricultural-purpose LED lighting fixtures

- A diverse types of agricultural-purpose LED lighting fixtures, such as bar-type, growth chamber-like, semi-circular acrylic, bulb-type, panel-type LED fixtures, and the like, were developed, while securing core technologies essential for the application of LEDs to the agricultural sector by performing the manufacturing of LED arrays designed only for the cultivation of plants, the manufacturing of power supply prototypes, and the development of housings for lighting facilities suitable for the cultivation of plants.

B. Development of an integrated LED-based growth environment control system

- The scope of development not only covered a photo-environment control system providing optimal light environments, but also covered a more general system that can monitor and control environmental factors required for the growth of plants. A reduction in production costs and the production of high-quality produce will be realized through a decrease in labor costs by performing system design appropriate for the cultivation of plants, the systematic management of cultivation and growth environments, the standardization of light environments and environmental growth data for the cultivation of plants, the design of sensor networks, the development of light environment detection sensors and environmental growth sensors, the development of sensor nodes and control units, and the development of applications for the integrated photo-environment system.

C. According to the results of this research, the impact of LEDs on the cultivation of oriental melons can be boiled down to the following:

- The application of LEDs resulted in an increase in the number of pistillate flowers, and the seeding quality, initial growth rates, weight, and quantity of the oriental melons. However, there was no significant difference in sugar content, and the reason why this was the case was assumed to be the gradual decrease in the number of photons emitted from the LEDs at later stages. In particular, it is thought that photons play a pivotal role if the impact of LEDs is reviewed in consideration of changes in the growth of oriental melons and the fact that fruits and vegetables require long development and growth periods and their vegetative growth and reproductive growth occur concurrently.
- Radiation of blue, red, and infrared light over fruits and vegetables, such as oriental melons and strawberries, tended to stimulate the growth and development of such fruits and vegetables, while increasing the quantity by about 20% as a result of an

increase in the number of pistillate flowers. In addition, the number of aphids, moth larvae, and outbreaks of downy mildew tended to decrease when they were radiated by blue, yellow, and infrared light.

- However, the chromaticity of fruit skins in the non-radiated holes tended to outperform the radiated holes. The growth and development of oriental melons in hour-by-hour radiation conditions tended to be similar to those of 3-hour and 6-hour radiation holes, and the chromaticity of the fruit skins in the 6-hour radiation hole was slightly superior to other processing holes, but the biggest output was found in the 4-hour radiation hole. This can be down to the impact of radiation during growth and development periods. Compared with the 30-minute processing hole, it is thought that LED radiation has a bigger impact at low temperatures than at high temperatures.
- Given the volumes of photosynthates according to the amount of light, a significant impact of LEDs on the growth of oriental melons may take effect at a light compensation point higher than $250\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. However, as it is assumed that an increase in the amount of LED light may lead to a slight reduction in respiratory consumption under insufficient sunlight conditions (cloudy or rainy days), further studies on the amount of LED light and radiation time are required.
- An increase in the amount of photosynthesis accelerated the growth of oriental melons as a result of four hours of supplemental lighting a day. However, the effects of supplemental lighting may vary depending on radiation time and the amount of light. It is thought that such growth stimulation effects can only be achieved through the application of a minimum amount of supplemental lighting--mixed with red, blue, and red+blue light--higher than a light compensation point.
- Although UV radiation has been known to affect the coloration of fruits, this study found that it was red light radiation that caused the coloration of fruits. Therefore, it is thought that further studies on this issue are required.

CONTENTS

Chapter 1 Overview of R&D Tasks	12
Chapter 2 Latest Technology Developments in Korea and Abroad	14
Part 1 Latest technology developments in Korea	14
Part 2 Latest technology developments in overseas	17
Chapter 3 Details and Results of R&D	19
Part 1 Development of LED lighting facilities for the cultivation of oriental melons and empirical research	19
Part 2 LED-based technology development for stable production of oriental melons	83
Part 3 Development of an intelligent photo-environment control system for the cultivation of oriental melons	143
Chapter 4 Objectives Achieved and Contributions to Related Areas	220
Chapter 5 R&D Achievements and Application Plans	223
Chapter 6 References	226

목 차

요약문	2
Summary	5
Contents	9
목차	10
제 1 장 연구개발과제의 개요	12
1. 연구개발의 필요성	12
2. 연구개발의 목적	12
3. 연구범위 및 연구수행 방법	13
제 2 장 국내외 기술개발 현황	14
제 1절 국내의 기술개발 현황	14
1. 국내의 연구 현황	14
2. 국내 관련 연구사업 추진현황	16
제 2절 국외의 기술개발 현황	17
1. 일본의 LED 식물 연구 현황	17
2. 미국의 LED 식물 연구 현황	17
3. 유럽의 LED 식물 연구 현황	18
4. 해외 생장 환경 제어시스템(USN/RFID) 기술 활용사례	18
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	19
제 1절 참외 재배를 위한 LED 참외 재배 조명장치 개발 및 실증 연구	19
1. 연구 수행 개요	19
2. 참외 재배에 필요한 LED 연구	19
3. 참외재배용 LED 등기구 시제품 제작	22
4. 농가 실증 재배에 적합한 참외재배용 LED 등기구 시제품 제작	36
5. 참외재배용 LED 등기구의 성능 개선 및 최적화 연구	53

6. 참외 재배 LED의 실증 농가 적용 후 생산성 효과 연구	61
제 2절 참외 안정생산을 위한 LED 이용 기술개발	83
1. 연구 수행 개요	83
2. 참외 재배에 필요한 LED 영향 및 효과 연구	83
3. 저온기 참외 재배시험	87
4. 고온기 참외 재배시험	100
5. 참외 육묘기 암꽃개화 촉진을 위한 LED 이용기술 확립	114
6. 참외 동계재배시 품질향상을 위한 LED 이용기술 개발	123
7. 참외 안정생산을 위한 LED 이용기술 농가 실증시험	130
8. LED를 이용한 친환경 재배법 개발	131
제 3절 참외 재배용 지능형 광환경 제어 시스템의 개발	143
1. 연구 수행 개요	143
2. 참외재배 광환경 제어 시스템의 시스템 설계	143
3. 참외재배 광환경 제어시스템의 개발 연구	151
4. 참외 재배용 LED 재배 등기구 제작 연구	182
5. 광환경 제어시스템을 위한 LED 등기구 개발	192
6. 신규 개발 LED 등기구	195
7. 재배환경의 변화에 용이한 렌즈교환식 LED 식물재배등기구 개발	206
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	220
1. 연구목표 달성도	220
2. 관련분야의 기여도	221
3. 경제성 분석	222
제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획	223
1. 다양한 농업용 LED 조명 등기구의 개발	223
2. 통합형 LED 생장 환경 제어 시스템의 개발	223
3. 지적재산권 취득 및 획득 계획	224
4. 연구성과 활용계획	224
5. 시장규모 및 사업화 계획	225
제 6 장 참고문헌	226

제 1 장 연구개발과제의 개요

1. 연구개발의 필요성

최근 LED의 성능이 빠르게 개선되고, 수명 및 에너지 절감 등에 대한 우수성이 커지면서 관련 분야의 연구개발은 LED를 이용한 응용제품 개발은 물론 기존의 백열전구 및 조명기구들을 대체하려는 연구로 확대되고 있음.

농업분야에서는 LED를 이용한 광제어가 식물의 생장에 미치는 영향에 대한 연구 개발이 활발하며 특정한 파장과 혼합광을 통해 작물을 재배할 경우 광합성 촉진, 개화조절 및 당도와 사포닌 증가, 곰팡이 발생 억제 등 생육조절에 필요한 중요성이 대두되어 재래식 농업방식을 개선할 수 있는 경쟁요소로 부상하고 있음.

또한 기후변화로 인한 일조량 부족과 동계재배시 광량 부족 문제의 해결방안으로서 LED 적용기술이 주목이 되어 농업과 광기술을 융합한 애그리포토닉스(Agriphotonics), 즉 LED 조명을 이용한 농업으로 관심이 높아지고 있음.

식물 재배용 인공광원에는 형광등, 메탈등, 수은등, 백열등이 주로 사용되고 있으며, 이러한 광원들은 식물의 생장 및 광형태 형성에 불필요한 파장역의 광이 포함되어 있기 때문에 광이용 효율(광 및 광강도)이 낮고 일정 공간 내에서 광원이 차지하는 비율이 높아 생산효율이 낮으며, 광선 중에 열선을 포함하고 있어 공조 설비에 비용이 많이 소요되며, 전력비 증가로 인하여 농가 비용이 증가하였음.

따라서 고휘도화 및 저가격화 추세에 따라 일반화되고 있는 LED가 새로운 식물재배용 인공광원으로 주목을 받고 있으며, 특정한 파장과 혼합용 등기구 및 광제어 시스템을 적용할 수 있는 연구가 필요함.

2. 연구개발의 목적

전세계적으로 안정적 농산물 생산과 식량 부족 문제에 관심이 모아 지고 있고, 에너지 부족뿐만 아니라 식량 위기에 대한 문제가 현실의 문제로 대두되어 이에 농산물 재배에 있어서 주어진 환경에 의존하지 않고 새로운 환경을 창출하여 보다 안전하고 안심할 수 있는 농작물을 생산하는 것에 대해 중요성이 커지고 있음.

LED는 식물에 필요한 광파장을 효율적으로 조사(照射)할 수 있어, 환경이나 기후의 변화에 좌우되지 않고 식물을 재배할 수 있게 함으로 이러한 기술을 이용한 사례는 국내에서도 부분적으로 실험단계에서 시도 된 바 있으나, LED 및 제어기기의 가격부담, 관련 실증 자료의 부족, 농가 및 현장에서의 무관심 등으로 사업화에 많은 어려움이 있음.

현재 LED는 백열등 및 형광등의 1/10 전기사용량, 5-10배의 수명 등의 장점으로 정부의 에너지절감 대책과 맞물려 그 효용성을 인정받고 있으며, 기존 농가의 전조재배, 식물 육성, 축산농가 조명용 등으로 수요가 증가하고 있으며, 센서 기술의 발달과 다양한 환경제어방법, 이를 응용한 제어기기의 효용성은 국내의 여러 실험사례에서 입증되고 있음.

특히 일본의 식물재배에 적용한 실증사례는 본 사업의 타당성을 뒷받침 하고 있으며 본

연구는 참외재배에 있어서의 파장별 LED가 생육에 미치는 영향을 연구하고, 생산성 증대를 위한 LED 등기구 및 광환경 제어장치를 개발 하고자 함.

또한 참여기업 (주)UBN의 U-Farming 기술에 대한 노하우와 USN 센서 기술로 정밀하게 식물 성장환경을 제어하여 농작물에 적합한 광환경을 제공함으로써 참외의 생산량 증대 및 우수 농산물 생산에 기여 할 수 있음을 확신하였음.

국내외의 인공광원을 이용한 식물재배시스템은 주로 사용자의 임의로 조작하는 단순 On/Off 제어에 그치고 있으며 그 효율성이 낮은 편이며, 최근처럼 불규칙한 날씨로 인해 광부족 문제 발생시에 대처하기가 힘든 면이 있음.

광환경 제어 시스템을 식물재배에 적용하여 안정적인 식물재배에 활용함으로써 생산량 증대 효과를 기대할 수 있고, LED를 기존의 백열등이나 형광등의 에너지 절감을 위한 대체조명으로써 활용한다면 그 성장 가능성이 높으며, 특히 식물공장 시스템에 LED와 광환경 제어 기술의 중요성이 높아지고 있음.

3. 연구범위 및 연구수행 방법

가. 참외 재배에 필요한 LED 파장별 등기구 제작

- LED 파장이 참외에 미치는 영향을 기존 자료와 비교 조사 : 개발한 LED 등기구를 참외 재배에 적용하여 참외 재배에 미치는 영향과 생산성 향상에 필요한 최적의 파장 및 파장 조합을 규명
- 현장 실증 적용시에 생기는 문제점 및 개선점을 반영한 참외용 LED 제품 설계 및 시제품 제작 : 기계작된 참외전용 LED의 현장 적용시의 문제점인 방수방열에 대한 제품 수정과, 고휘도 LED 사용을 위한 PCB, 하우징을 재설계하여, 안정적인 참외재배용 LED 등기구 시제품 제작
- 다양한 형태의 LED 등기구 설계/개발 및 제어시스템에 적용을 위한 제작 : Growth Chamber 형태의 등기구와 제어 컨트롤러 설계, 실험실 및 조직배양실에서의 광환경 적용을 위한 등기구 제작

나. 외부 환경변화(날씨, 계절) 등에 지능적으로 동작하는 광환경 제어시스템의 개발

- 연구자 및 재배농가 요구분석을 통해 최적의 시스템 설계 : 통합 광환경제어시스템의 요구분석 및 시스템 구성 설계, 최적 광환경 산출 및 성장환경의 DB화를 위한 시스템 설계
- 연구자 및 재배농가에서 필요한 작물의 재배환경의 감시제어를 위한 최적의 통합 광환경 제어 시스템의 개발 : 통합 광환경제어시스템의 화면 구성 설계, 데이터베이스 설계 및 개발, 관련 프로그램 개발, 통합 테스트를 통한 광환경 제어시스템의 개발 수행
- 광환경 제어시스템을 위한 LED 등기구 설계/개발 및 제어시스템에 적용을 위한 제작 : 연구용 및 현장재배용으로 필요한 다양한 형태의 LED 등기구 시제품 제작과 제어 컨트롤러 설계, 실험실 및 조직배양실에서의 광환경 적용을 위한 등기구 제작

다. LED 파장별 참외 생장에 미치는 영향 연구

- LED 파장별 묘소질, 접목 활착률 증진, 육묘공장 공정묘 대량생산 기반구축
- LED 파장별 P_{rr} , P_{fr} 이용 저온기 암꽃 유도 기술개발
- 참외 육묘기 암꽃개화 촉진을 위한 LED 이용기술 확립
- 참외 고온기/저온기 재배시 생장 및 품질향상을 위한 LED를 이용기술개발

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1절 국내의 기술개발 현황

국내에서는 1990년대 후반부터 LED 단색광이 식물 재배 및 품질 향상에 미치는 영향을 분석하는 기초적인 연구 위주로 진행 되어 왔으며, 최근 농촌진흥청을 중심으로 농업용 LED의 실용화를 위해 다양한 사업을 전개되고 있으며 고도의 환경제어 및 자동화를 통하여 작물을 공장생산과 균일하게 계획적으로 생산할 수 있는 시스템인 식물공장 산업의 활성화와 함께 식물공장의 주광원으로써 LED의 효용이 커지고 있음.

1. 국내의 연구 현황

국내에서는 LED 파장 제어기술, 작물별 LED의 광질·파장·색깔·강도·주기 및 시간에 대한 연구가 진행되고 있으며, 1990년대 후반부터 LED를 식물의 생리 반응 연구에 활용하기 시작하였으며 최근에 LED의 발광 효율이 점차 증진되어 이를 작물 생산에 적용한 사례가 보고됨.

- 가. 잎들개 엽면적 생체중은 적색광으로 광 중단 처리할 경우 가장 높으며 개화 개시일은 적색광 처리시 광 중단 처리 120일후에도 개화하지 않았음 (최영환, 2003)
- 나. 아마란서스에 LED 처리시 광질에 따른 발아율 차이는 없었고 총페놀함량, 청색광과 청색광+적색광에서 높게 나타났고 총플라보노이드 함량은 적색+청색광 처리구에서 높았음(조자용, 2008)
- 다. 식물전용 LED 조명을 개발하기 위하여 적색 및 청색을 포함한 6개의 칩을 하나의 패키지로 하여 식물전용 바이오 LED 패키지 개발 특허출원 (경기도원, 2009)
- 라. 항산화물질 생산 강화를 위한 브로콜리 및 비타민 함량이 높은 적무 생산을 위한 최적 LED 광조건 규명 (경기도원, 2009)
- 마. 정부는 2009년 7월 신성장동력 스마트 프로젝트 사업에 'IT-LED 기반 식물공장을 위한 핵심부품 개발 과제'를 선정하여 중점 추진 중
- 바. 국내는 경기도, 전북도, 남양주시가 식물공장 사업에 관심을 갖고 선도적으로 추진되고 있으며, 전북도는 LED 융합기술 지원센터를 2009년 2월에 개소하고 2011년까지 식물공장 모델을 완성, 공장의 운영·제어 체계와 작목 재배 체계를 정립 하고 특화 브랜드 상품을 출시 준비하고 있으며, 전주생물소재연구소에서는 국내 최초로 수경재배에 LED 조명기술을 이용하여 인삼과 고추냉이(와사비)를 재배하는 식물공장 운영으로 인삼에서는 발 인삼보다 생육기간이 단축되었으며 효능 면에서는 사포닌이 뿌리에서는 2~3배, 잎에서는 5~10배나 추출되는 등의 효과를 거두었음.
- 사. (주)인성테크는 용인에 50평 규모의 태양광 없이 LED 광원만을 이용한 식물공장을 운영으로 최대 월 1만 5천 포기의 채소생산이 가능하다고 보고하고 있으며, 식물공장에 적용되는 LED 시스템은 비용면에서는 형광등에 비해 초기 설치비용이 약 20배 정도 비싼 것으로 추정되지만, 실제 시스템의 구현 후 사용시간이 약 5만 시간으로, 2500시

간마다 교체하는 형광등에 비해 우수한 경제성을 보여주고 있음.

- 아. 선행연구에서 대부분 식물공장 상업화를 위한 초기개념의 자동생산시스템개발과 청색과 적색 LED를 이용한 최적 조명장치 개발이 대부분으로 경관조명으로 시민들의 감성에 적합하고 식물재배 효과가 우수한 특색을 낼 수 있는 자연광(태양광)과 인공광을 동시에 병행하여 사용되는 연구 사례는 없었음
- 자. “국화 조직배양시 LED광의 종류가 생장에 미치는 영향”: 공주대학교 원예학과(2006. 2)
- 차. “원예식물의 생장 및 광형태 형성에 미치는 LED의 효과”: 충북대학교 첨단원예기술개발연구센터(2003. 7)
- 카. “수박집목묘의 활착특성에 미치는 청색, 적색 및 원적색 LED의 영향”: 김용현, 박현수 (2003 .4)
- 타. 그 외 농촌진흥청, 전북대, 포항공대, 경희대 등 연구기관에서 연구 활동이 이루어지고 있음.
- 파. 성장환경제어 분야에서는 온습도, 탄산가스 농도, 유무선 통신을 이용한 원격제어 시스템 등 개별환경 자동제어는 가능하나 복합환경제어 연구는 미흡한 상황임.

- 1) 05년 농산물 품질향상을 위한 USN기반 재배환경모니터링 사업
- 2) 07년 u-IT기반의 농산물 관리체계 실용화 구현
- 3) 07년 u-IT 융복합을 통한 녹차 웰빙 밸리 통합시스템 구축
- 4) 08년 화훼 성장환경관리시스템 구축 시범사업
- 5) 08년 고품질쌀 브랜드 육성을 위한 RFID 인프라 구축
- 6) 08년 u-IT기반의 전통식품 품질관리시스템 구축
- 7) 08년 u-IT 과수병해충 종합관리시스템 등의 연구가 진행 중

2. 국내 관련 연구사업 추진현황 (출처 : 2010 서울전략산업 지원사업)

과제명	사업분류	주관기관	사업 책임자	총개발기간
IT-LED 기반 식물공장을 위한 핵심기술 및 부품개발	스마트프로젝트	주관: (주)오디텍 참여: (주)갤럭시아, 포토닉스 릭스피아(주), (주)엔비엠	박병근	2009.07 -2010.08
생리감응형 LED 조명시스템개발	호남광역경제권 선도산업	주관: 한아에세스(주) 참여: 신안그린테크, 태종씨앤아이	김형진	2009.10 -2011.01
기능성향상 및 친환경 식물생장용 LED조명시스템개발	호남광역경제권 선도산업	주관: 한국고덴시(주) 참여: 라이텍코리아(주) (주)아름	양태현	2009.12 -2012.04
미생물배양용LED 조명시스템개발	호남광역경제권 선도산업	주관: (주)오디텍 참여: (주)삼호화공기계제작소 (주)엔비엠	김혁	2009.10 -2011.11
축사와실내식물재배를 위한친환경에너지 절감형 고효율 조명기기개발	농림개발사업	주관: 전자부품연구원 참여: (주)에스엘테크놀로지	윤형도	2009.04 -2010.03
LED를 이용한 해충방제시스템	농림개발사업	주관: 한국광기술원 참여: (주)링크옵틱스, 전자부품연구원	김정현	2009.04 -2010.03
로보틱스기술을 활용한 식물공장 자동화시스템 테스트베드 개발	민관 합동 프로젝트	공동주관: (주)LG CNS 경기도 농업기술원	김장우	2010.01 -2010.09

제 2절 국외의 기술개발 현황

해외의 LED의 작물에 따른 개화촉진 기술 및 적정 파장 구멍 연구, 광 이용효율 증대 및 균등조사, 근접조사 및 국부 조명기술, 간헐조명, 작물별 광 조사주기 및 시간제어에 대한 연구가 진행되고 있음.

1. 일본의 LED 식물 연구 현황

- 가. LED의 적색과 청색의 비율에 의해 채소 절간장 등의 형태가 큰 차이가 있음 (平井正浪, 2006)
- 나. 400nm~900nm의 LED 칩을 이용하여 광분포 완전제어형 LED 유사태양광 시스템개발 (富士原和宏, 2005)
- 다. 식물의 기능성 물질 발현에 있어 적외선(735nm)과 자외선(400nm이하) 파장이 관여할 가능성이 있음 (小嶋政信, 2006)
- 라. LED 적청혼합광을 이용하여 저온저장 토마토 묘소질을 향상시킴 (大橋敬子 등, 2004)
- 마. LED 조명은 식물공장에서 전기에너지 절감과 고영양성, 의약기능성 등 고품질 채소 생산을 위하여 사용될 가능성이 높음 (高辻正基, 2007)
- 바. Kagawa대학의 Tanaka교수를 중심으로 일본에서는 식물재배용 인공광원으로서의 LED에 대한 연구 시작, 이후 LED가 식물재배에 유효하다는 연구결과들이 보고
- 사. Chiba대학의 Kozai교수팀 감자 배양 소식물체를 이용한 LED 광조사 효과 보고
- 아. 실내재배에 필요한 LED 조명기는 아직까지 전세계의 시장 장벽이 높지 않으며, 식물 재배 LED기술이 가장 앞서가는 일본에서도 일부 제품이 개발되어 시판되고 있으나 아직까지는 초기 단계임
- 자. 상품화 현황
 - ▶ (주)LANDMARK 시설 원예용 LED조명기 “수확ACE” 생산
 - ▶ 와코 전연 주식회사 실내용 식물 육성LED스탠드 “My Plant” 생산
 - ▶ 이와사키전기(주) 식물 육성 시스템 “HORTILUX” 생산
 - ▶ 스텐리 전기와 토카이대학이 공동 개발한 LED를 이용한 시험관 장미
- 차. 식물공장형 LED 개발도 아직 실용화가 되지 않은 단계로 국내기술과 큰 격차가 없어 앞으로 시장 경쟁이 가능하여 기술 확보 및 제품 생산에 의한 선점효과가 클 것으로 판단됨.
- 카. 일본은 기업들이 식물공장 사업 진출이 이어지면서 기업형 대형 재배시설이 도입되고 있으며 향후 시장 확대 및 글로벌 시장 진출에 전망이 밝은 상황이며, 해당지역별 기반경제를 활성화하고, 기후변화에 대응 차원에서 식물공장 사업을 추진 중에 있으며 해당자치도 별로 식물공장은 대부분 한 개의 층에 다단식으로 인공조명 시설을 만들어 운영하고 있으며, 형광등을 주로 사용 중임.

2. 미국의 LED 식물 연구 현황

- 가. NASA를 중심으로 하는 연구팀과 각 대학 연구기관에서 활발한 연구를 진행 중으로 Phytochrome 생리에 대한 연구 수행
- 나. GE사는 뉴욕 근교 도시에 완전제어형 식물공장을 가동하고 광원으로 GE가 특별히 개

발해낸 재배용 전등 및 LED를 사용하여 밀식재배를 함.

다. 컬럼비아대의 주도로 뉴욕 같은 대도시에 빌딩 형태의 ‘수직 농장(vertical farm)’을 짓는 “Vertical farm“ 프로젝트를 진행 중이며 인공광원은 일부 LED를 적용하고 있음.

라. 미국의 식물공장은 초기 우주식량공급 목적으로 개발되었으나, 최근 도심의 대규모 고층수직 식물공장으로 진화 중에 있으며, 컬럼비아대 건축학과, 일리노이대 연구팀, 미턴 건축사무소에서 고층 건물 방식을 채택한 수직형 식물공장(vertical farming) 개발을 추진하고 있음.

마. 컬럼비아대와 일리노이대 연구진은 30층, 50층 규모 식물공장 개발에 착수하여, 풍력 및 태양력 등의 신재생에너지 사용, 고층의 설계로 인해 재배면적 증가 재배 작물의 수확량은 동일 면적의 야외 농경지보다 10배 정도의 수확량을 가지며, 30층짜리의 경우는 약 5만명에게 평생 공급할 음식을 만들 수 있을 것으로 추정되고 있음.

3. 유럽의 LED 식물 연구 현황

가. 유럽에서는 현재보다 더욱 발전된 식물공장을 실현하기 위하여 농작업 공정자동화 (벨기에 MSG식물공장과 스웨덴포닉 식물공장, 네덜란드 KP-HOLLAND 분화식물공장 등), 주간 조절 장치의 자동화(네덜란드 스웨덴포닉-네덜란드 식물공장) 등의 분야에서 활발한 연구를 수행하고 있음.

나. 빌딩 형태의 입체식 자동 식물공장을 개발, 태양광과 고압나트륨 램프를 병행한 광원을 사용하여 통제된 시설 안에서 빛과 공기, 열 등 생물이 자랄 수 있는 환경을 인공적으로 조절하는 것으로 공산품처럼 농산물을 계획 생산하는 시스템적인 농업 형태를 연구함.

4. 해외의 성장 환경 제어시스템(USN/RFID) 기술 활용사례

- 파이토크사 무선 식물 모니터링 시스템 (이스라엘) : 작물과 경작환경을 모니터링하는 센서와 소프트웨어를 개발하여 오렌지 농장에 적용
- King Family Farms 대기온도 모니터링 시스템 (캐나다) : 모트(Motes) 센서를 활용, 무선 센서 네트워크를 이용하여 포도 농장의 대기온도 측정 시스템 개발
- 위성활용 포도수확 최적화 프로젝트(유럽) : 위성에 의해 수집된 디지털 데이터를 유럽 포도 농가 컴퓨터에서 활용 가능한 시스템 구현
- 포도원 재배환경 모니터링 시스템 (미국) : 포도 농장에 센서를 부착하여 여러 환경 요소 감시, 시간대별 최고, 최저 온도 측정, 토양 물공급
- 농산물 생산환경 정보 모니터링 시스템 (일본) : 감자의 전분 함유량을 광센서의 근적외선 파장 투과량을 활용한 전분 함유량 실시간 순간 측정
- 캘리포니아주 식물원 실내외 환경 관리 시스템 (미국) : 센서를 통해 기온, 토양 온도, 수분, 습도, 산소량을 측정
- 온실 재배시 에너지를 효율적으로 이용하는 기술 (네덜란드) : 태양열 이용, 온실의 지붕과 열조절 시스템 및 습도 조절 시스템을 개선, 최적의 환경조절시스템 개발
- IT기술을 활용한 소분만 감시 시스템 (일본) : 센서가 온도와 빛을 감시하여 휴대전화로 정보 발신, 위속에 온도센서를 장착, 위내의 체온 측정, 분만 시기 판정
- 청과류에 유통 환경 센싱 (일본) : 딸기와 아모리 사과 등 유통 과정상 신선도 유지를 위해 온도 센서를 부착, 실시간 측정

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1절 참외 재배를 위한 LED 참외 재배 조명장치 개발 및 실증 연구

1. 연구 수행 개요

- 참외 재배에 필요한 LED 파장별 등기구의 영향 및 효과 연구
- 참외 재배에 적합한 파장별 LED의 조합(적,청,녹,황,백,초적,UV LED) 효과 연구
- 실증환경(참외하우스 재배농가)에서의 적합성 테스트 및 제품의 식물 성, 생장의 영향 등의 실증데이터 확보
- 실증 재배 농가 적용 후 생산성 효과 연구
- 참외 재배에 유효한 파장의 조합을 도출하고, 실증재배에 적합한 등기구 개발
- 기 개발 된 LED의 광학설계와 조명설계를 개선하여 최적화 구현

참외 재배에 특화하여 본 과제는 LED를 이용하여 참외재배에 있어서 수시로 변하는 외부 광환경에 대응하여 생육단계별로 요구 되어지는 참외 재배의 광환경 요소, 즉 광질, 광강도, 조사(照射)방향, 명기와 암기의 주기 등을 최적의 조건으로 제공하기 위한 참외 재배 장치의 개발에 대한 것이며, 개발된 시제품을 참외재배 실증농가 3곳을 선정, 참외 재배환경 중 광환경에 대한 참외의 생육과 광질과 광량에 대한 반응을 조사하고, 참외재배에 필요한 최적의 LED조사 방법과 조사 시기를 도출함.

연구과정에서 얻어지는 결과를 토대로 참외 재배용 LED의 제품 무게, 규격, 광원 배열, 방열설계 등을 수정하고, 리플렉터를 새롭게 적용하여 집광효과를 높여 최적의 재배용 LED 시제품 개발을 하고자 함.

2. 참외 재배에 필요한 LED 연구

가. 연구 내용

(1) LED 스펙트럼 분석

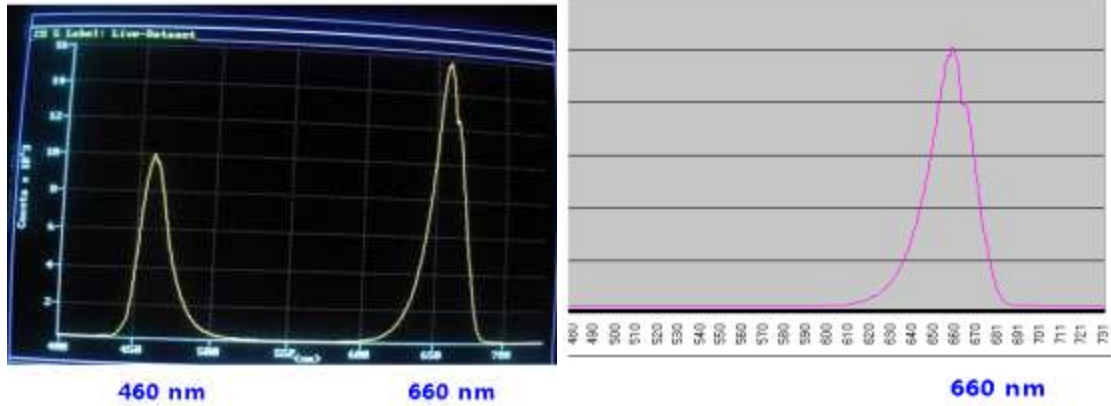
- 식물 재배용 LED 개발을 위한 LED 칩 생산업체 중 수급 가능한 (주)루멘스와 (주)유진LED의 LED 칩 스펙트럼 분석 수행
- 연구 개발에 적용할 LED 칩에 대한 성능테스트 및 스펙트럼 분석을 통해 참외 재배에 효과적으로 적용할 수 있는 LED 칩 결정
- LED 전문업체인 (주)다솔전자 기술연구소의 품질 테스트용 장비를 활용하여 수행
- LED단위 전류값 변경에 따른 조도 / 광도 / 온도 측정 (2009. 05. 08)

No.	규격	TEST조건	입력값	LED 단위전류 (100mA)		TEMPERATURE (점등 5분후@ °C)		
				조도값()	광도값(u mol@10cm)	LED LEAD	B/D FRONT	B/D BACK
1	LMT5630 M-R (RED)	단 품	12.5V/ 526mA	472	156	35.2	34.4	34
		Cover #1		412	145			
		Cover #2		346	119.65			
		Cover #3		316	109.3			
		Cover #4		248	84.85			
2	LMT5252 M-WZ (WHITE)	단 품	18.1/ 560mA	2,056	180.8	35	35.8	36.4
		Cover #1		190	24.63			
		Cover #2		161.5	21.49			
		Cover #3		137.3	18.22			
		Cover #4		110.6	13.4			
3	ULPW-UB 105A-F1B (BLUE)	단 품	19.2V/ 550mA	172	140	40.2	41.6	51.2
		Cover #1		60	0.87			
		Cover #2		59	0.81			
		Cover #3		59	0.79			
		Cover #4		59	0.67			
4	ULPW-660 1051A-7X (RED)	단 품	10.4V/ 590mA	156	45.06	34	35.2	33
		Cover #1		130	41.41			
		Cover #2		128	38.1			
		Cover #3		124	37			
		Cover #4		116	32.29			

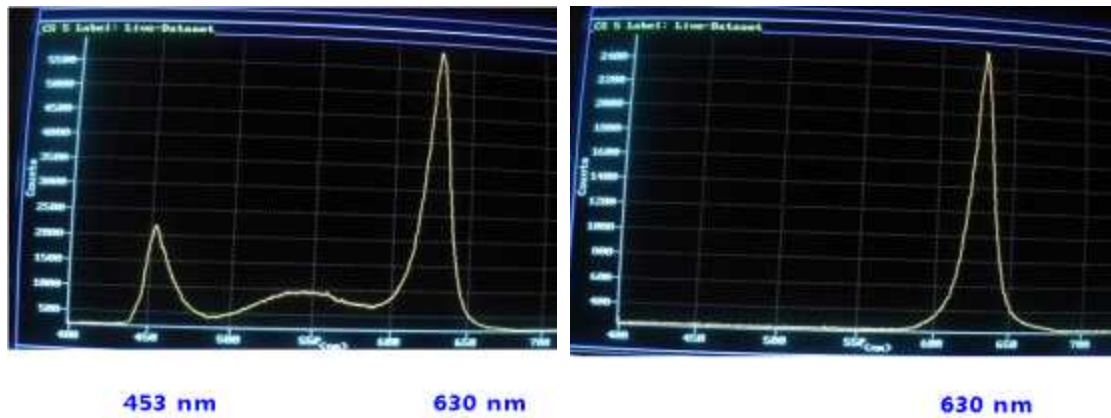
- LED 파장 측정 (2009. 05. 11)



< LED 파장 측정 및 분석 장비 >



<(주)유진LED RED, BLUE LED 분석>



<(주)루멘스 RED, BLUE LED 분석>

(2) 결론

- LED 성능면에서 루멘스 제품이 우수성을 보이기는 하나, 특정 파장에 대한 공급받기 위한 기간이 너무 길고 (최소 10주 이상 소요), 다양한 파장을 공급해 줄 수 없는 관계로 유진 LED 제품을 이용하여 연구과제의 LED를 사용함.
- 유진LED 제품의 경우 연구에 필요한 파장 대역의 LED 납품이 1-2주 이내 가능하고 파장 분석에서도 식물재배의 적합한 파장(660nm, 450-460nm)과 그 외 파장에 대한 LED 제품 공급이 가능하여 파장 효과에 대한 연구를 위해 적합하다 판단함.
- 향후 다양한 LED 제품 공급처를 확보하고, 고효도 파워LED를 적용한 LED 등기구 제품을 구성할 필요가 있음.

3. 참외제비용 LED 등기구 시제품 제작

가. 주요 사양

(1) LED 스펙

Color	Viewing Angle	Product Name	Dimension (mm)	Luminous Intensity (mcd)	Wavelength (nm)	Forward Voltage(V)	Reverse Voltage(V)
Red	120°	Top-View SMD LED	5.5 x 5.0	1,800 ~ 2,400	618 ~ 630	@If=20mA/Chip : Typ 2.2, Max 2.40	@Ir=5mA : Max 1.5
Blue	120°	Top-View SMD LED	5.5 x 5.0	500 ~1,200	460 ~ 470	@If=60mA : Typ 3.4, Max 3.60	@Ir=5mA : Max 1.5

(2) PCB Lay-out

항목	내역
Size(mm)	480(L) x 25(W) x 1(H)
PCB당 LED 개수	64EA
제품당 PCB개수	2Unit

(3) PSU(Power Supply Unit)

항목	내역
Size(mm)	225(L)x36.6(W)x41(H)
Input voltage	220V
Output voltage	48V
Output current	440mA, 550mA
Power	25W

(4) 하우징(Housing)

항목	내역
Size(mm)	1000(L) x 35(W) x 20(H)

(5) 파장 구성

색상	파장(nm)	LED 수량	PCB 1EA 당 LED수량	비고
BLUE	470	128	64	
RED	630	128	64	
BLUE + RED	470 + 630	16 48	16 48	약 3:7

(6) 제품 사진



< 과채류 전용 LED 등기구 시제품 RED, BLUE, RED+BLUE >

나. 참외재배를 위한 전용 LED Array 제작

(1) 개요

일반적으로 농업용 등기구인 형광등 및 백열전구 등의 경우 상용 교류 전원으로 많이 사용되고 있으나 본 제품은 조명 설치가 용이한 장소에 필요한 경우 어떠한 곳에라도 설치 가능 한 장점이 있으며 고회도 LED 소자는 수명이 100,000시간에 달하여 반영구적이라 할 수 있고, 전력소모가 적어 미래의 조명을 대체할 것으로 판단됨.

본 참외 재배용 LED의 연구개발은 환경보호와 에너지 절감을 원칙으로 참외 재배에 가장 효과적인 반도체 발광 다이오드를 가지고 있으면서 이들을 최적의 빛의 파장대 비율로 조합하여, 조명장치로 사용함으로써 참외의 생장에 있어서 광합성과 엽록성 향상에 최적의 조건을 갖추게 함으로써 식물의 성장을 대폭 촉진시켜 생산성 향상에 크게 기여하게 될 것임.

또한, LED를 이용한 등기구는 식물 생장에 필요한 빛의 프리즘 중 가장 중요한 영향을 미치는 파장을 조명으로 이용하여 식물 생장에 있어 가장 효율적인 재배가 가능하게 함과 동시에 일반인이라도 누구나 손쉽게 사용할 수 있어 농가 소득 증대 및 발전에 기여할 것임.

참외가 성장 하는데 필요한 빛 에너지의 원천 구조를 과학적으로 규명하여 가장 효과적인

방법으로 식물에게 빛 에너지를 공급함으로써 생산성 향상과 효율 증대를 이루는 LED 조명 기구의 구성으로 참외 재배 및 과채류 재배농가에서 누구나 쉽게 사용할 수 있는 국제표준형 조명등 구조로 개발코자 하였고, RED 단색광, BLUE 단색광, RED+BLUE 혼합광 형태로 1차 개발 완료하였음.



< 완료된 참외 재배용 시제품 LED Array >

(2) LED 등기구 설계

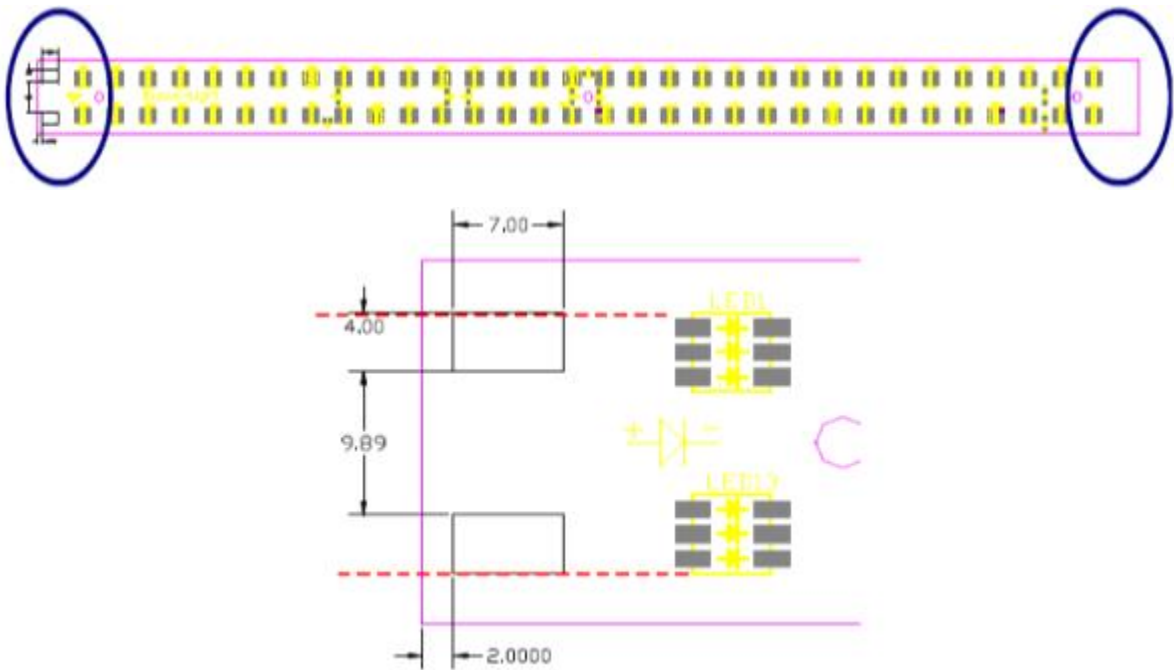
① LED 등기구 PCB 설계 시 적용사항

NO	항목	세부내역
1	LED 적용 갯수	<ul style="list-style-type: none"> LED BAR : 60 ~ 70EA 제품기준 : 120 ~ 140EA (Board to Board)
	세부 도면	
2	LED BAR SIZE	<ul style="list-style-type: none"> Max. 480(L) X 25(W) X 1(H)mm → Slim화 될수 있도록 Min. Size로 Artwork
	세부 도면	
3	Bar 체결 방법	<ul style="list-style-type: none"> Heatpipe에 고정할 수 있도록 Hole 3-EA삽입 후 Screw 체결
	세부 도면	
4	Board To Board	<ul style="list-style-type: none"> Bar Edge부에 동박을 형성하여 Wire로 Soldering Bridge진행
5	측정 Point 삽입	<ul style="list-style-type: none"> LED Bar에 전원 인가 시 LED에 인가되는 단위

		전류/전압 측정 가능하도록 Test Point 삽입.
6	LED BAR단위 점등검사	<ul style="list-style-type: none"> Heatpipe 및 PSU 조립 이전 SMT Ass'y 완료 후 Bar 단품 점등검사 가능하도록 전원 인가부 삽입
7	LED BAR SILK	<ul style="list-style-type: none"> Model : Dasolel-Light (REV 0) LED 극성 : Bar 전체적인 극성 표기 1EA만 삽입 LED 실장부 개별 No. : 5의 배수로 삽입
8	LED PAD 설계	<ul style="list-style-type: none"> LED Datasheet에 추천 사양 없음 : 기존 PAD 설계안으로 진행

② LED 등기구 ARTWORK 설계

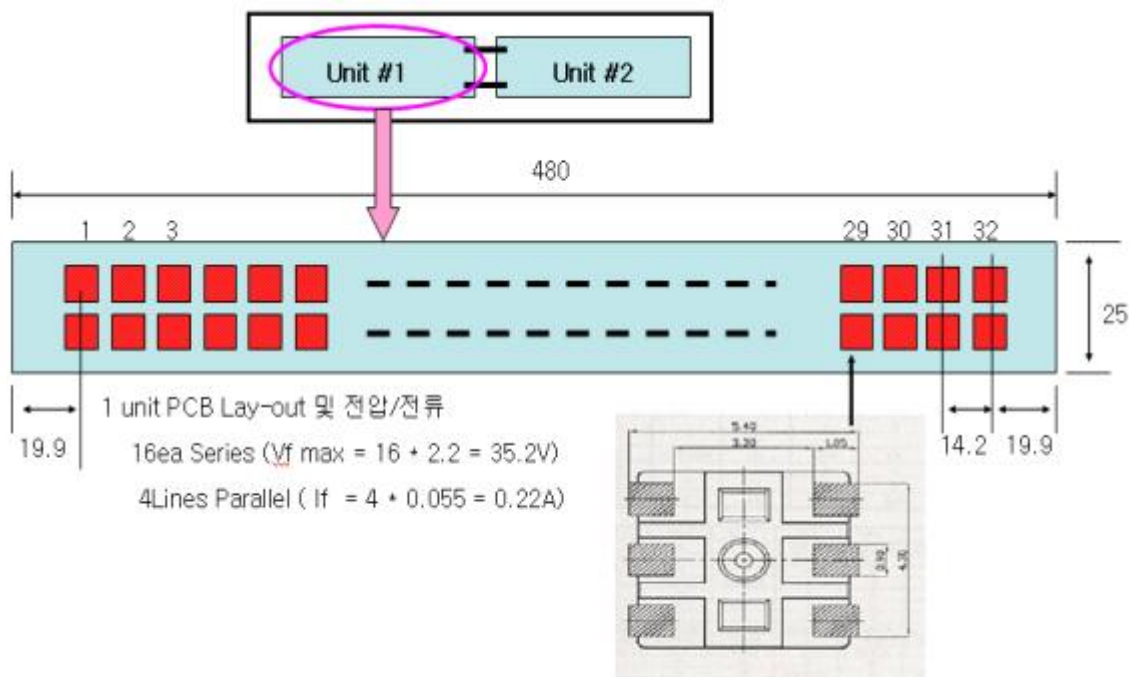
- Connector PAD 삭제 (2개소)
- 전원 단자부 PAD SIZE 변경 : Wire 납땜용
- 전원부 PAD 위치 이동
→ LED PKG Outline 기준으로 이동
: Board가 제품 Case에 Slide Type으로 장착될 경우
- 전원 단자부 극성 표기(+), (-) Silk 처리
- 상기내역은 좌우측 2개소에 모두 적용



<LED 등기구 시제품 ARTWORK 설계>

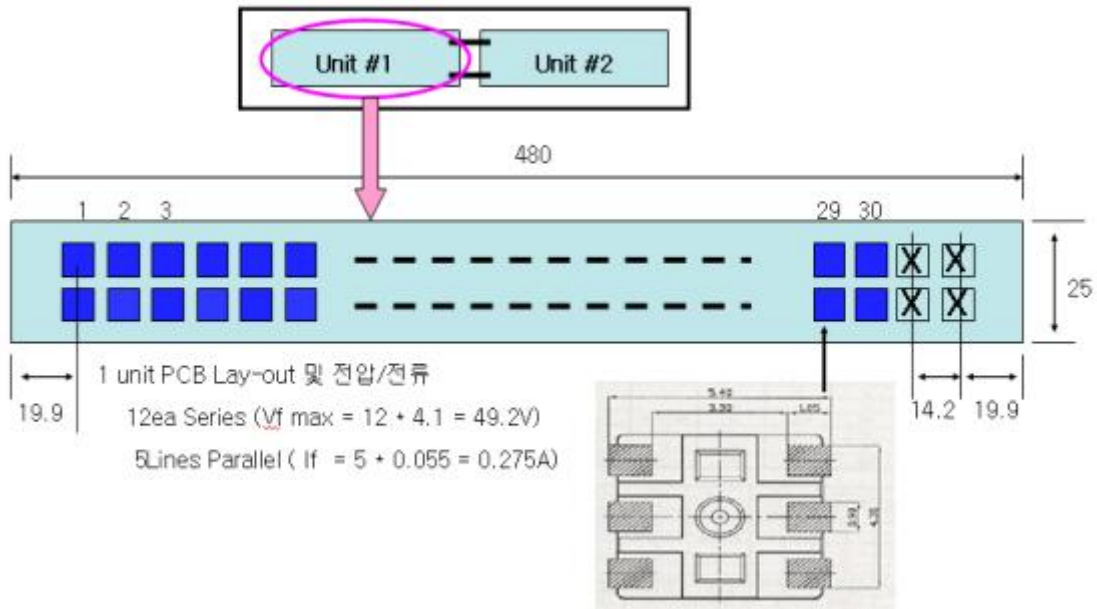
③ RED 단색광 등기구 설계

- RED LED Spec.
 $V_f \text{ max} = 2.2V$, $I_f = 0.06A$, 동작전류 = $0.055A$ (about 91.7%)
- PSU 전압/전류
 $V_f : 35.2V$
 $I_o = 0.44A$ ($0.22 * 2 = 0.44A$)
- Set의 구성 (1 set = 2 unit)



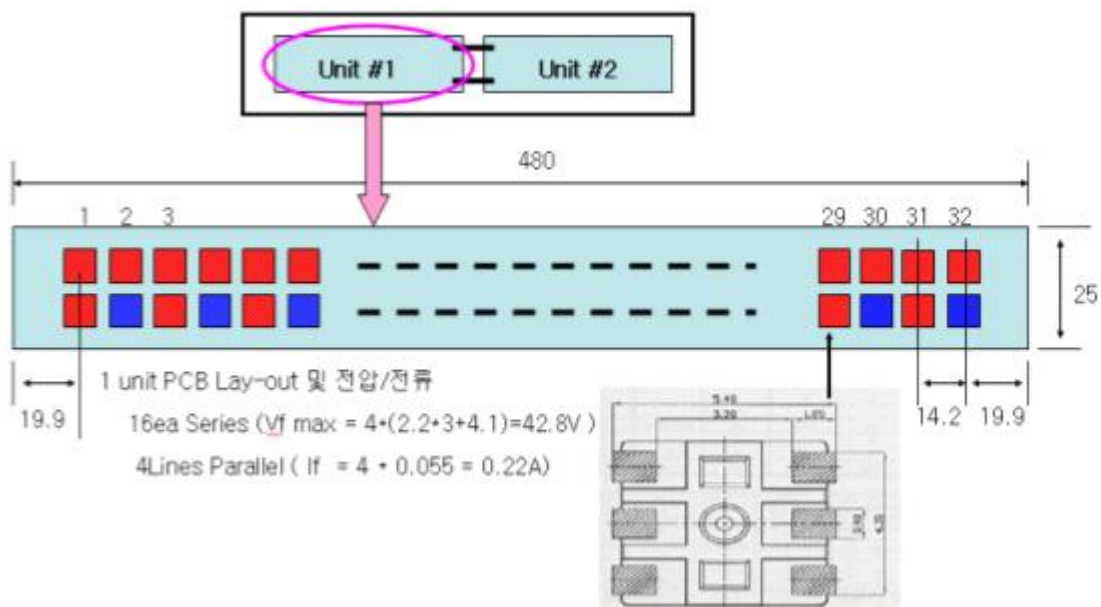
④ BLUE 단색광 등기구 설계

- BLUE LED Spec.
 $V_f \text{ max} = 3.4V$, $I_f = 0.06A$, 동작전류 = $0.055A$ (about 91.7%)
 (실제 Data Sheet상에서는 $0.055A$ 에서 $V_f = 4.1V$ 임)
- PSU 전압/전류
 $V_f : 49.2V$
 $I_o = 0.55A$ ($0.275 * 2 = 0.55A$)
- Set의 구성 (1 set = 2 unit)



⑤ RED + BLUE 혼합광(4:1) 등기구 설계

- LED Spec.
 BLUE LED Spec. : $V_f \text{ max} = 2.2V$, $I_f = 0.06A$,
 동작전류 = $0.055A$ (about 91.7%)
 RED LED Spec. : $V_f \text{ max} = 3.4V$, $I_f = 0.06A$,
 동작전류 = $0.055A$ (about 91.7%)
- PSU 전압/전류
 $V_f : 42.8 V$
 $I_o = 0.44A$ ($0.22 * 2 = 0.44A$)
- Set의 구성 (1 set = 2 unit)



⑥ 조도 측정 테스트

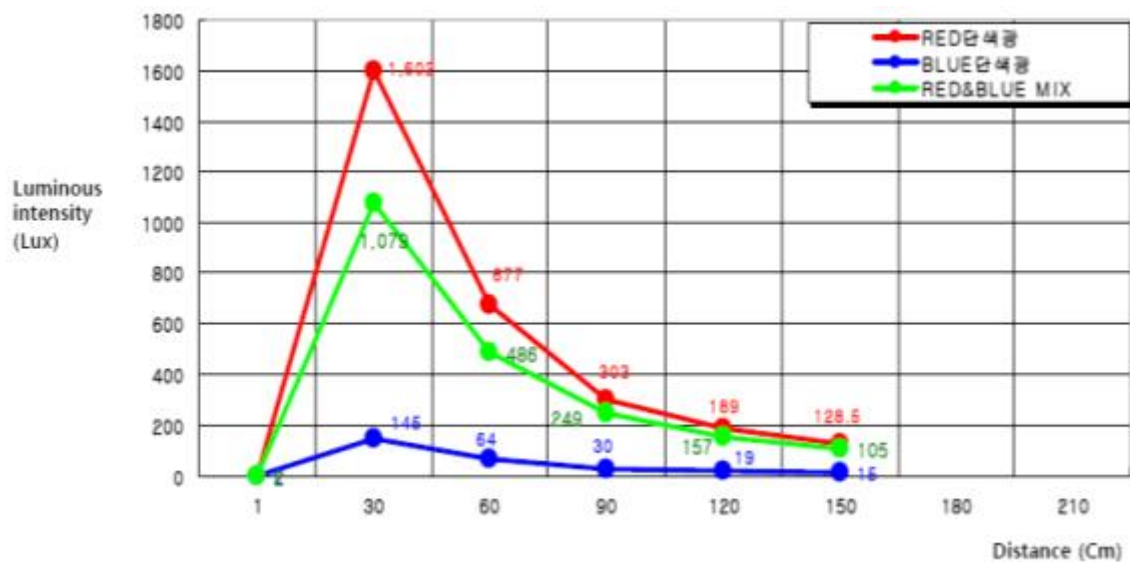
- 방법 : 각 Color Bar에 전원을 인가하여 단위 거리별로 조도값을 측정하여 비교



- 측정 결과

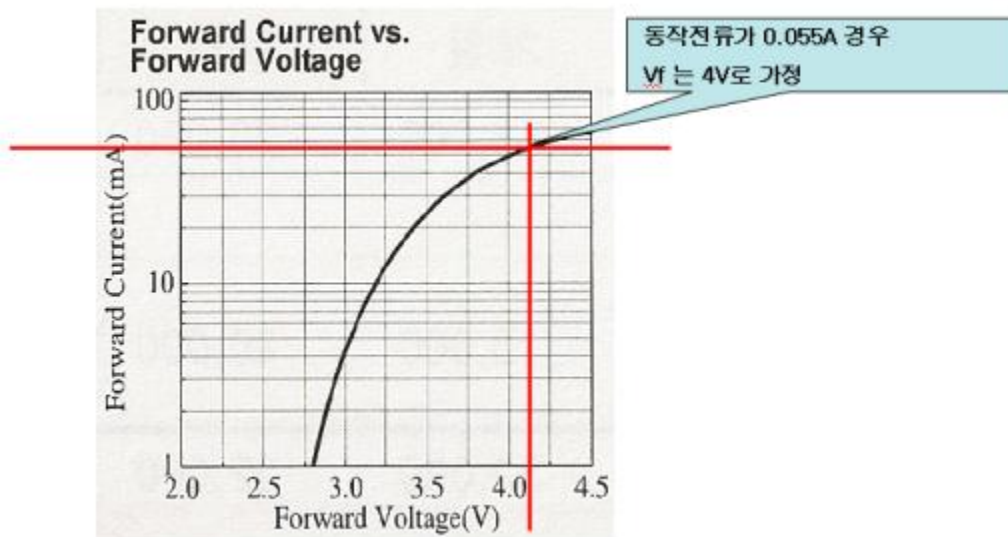
No.	COLOR	거리별 조도값 (Cm/Lux)					SPEC.	I/Vf 입력값
		30	60	90	120	150		
1	RED단색광	1,602	677	303	189	128.5	440mA/28.8~38.4V	440mA/35V
2	BLUE단색광	145	64	30	19	15	550mA/38.4~40.8V	550mA/39V
3	RED&BLUE MIX	1,079	486	249	157	105	440mA/34.4~42.4V	440mA/37V

- Distance VS Luminous intensity



⑦ 설계 방향 및 결론

- 광량 측정 필요 - 조도 뿐만 아니라 광량자 측정 계측기를 이용한 광량자 밀도를 이용하여 LED의 광강도 측정이 중요 : 현재 실증 테스트 중임
- LED장착 PCB는 Jumper (chip 2012 type 0Ω) 적용으로 공용화
- Power는 $V_o=48V$ 로 하고 2가지 형태로 분류
 - ▶ RED Only 및 RED / BLUE 혼합형 시 $I_o = 0.44A$ 로 동일
 - ▶ BLUE Only 시 $I_o = 0.55A$
 - ▶ 2차 측 출력 Power는 BLUE Only에서 가장 크고 $P_o \approx 48 * 0.55A = 26.4W$



다. 전원 공급 장치의 시제품 제작

(1) 개요

LED는 SMPS(SWITCH MODE POWER SUPPLY)나 아답터를 직류(DC) 전원을 사용하여 구동하는 형태가 많으나, 본 시제품 제작에서는 상용 교류 전원으로 LED를 구동하도록 구현하였고, 이 경우 직류변환 장치가 필요하며, 수동소자를 통해 회로를 구성한 제품의 경우는 LED를 구동하기에는 안정도가 미흡하다고 판단됨.

LED는 일반적으로 구동하는 방법에 따라 수명이 좌우됨.

수명을 좌우하는 요인은 LED의 순방향 전압(FORWARD VOLTAGE)과 전류(FORWARD CURRENT)이며, 고휘도 LED는 열 폭주 현상이 있어 순 방향 전압만 맞추어 가지고는 장기간의 수명을 보장하기 어려운 단점이 있음. 이를 해결하는 방법은 정전압 및 정전류 회로를 안정적으로 구성해야하며 기존의 SMPS나 아답터를 채택하여 LED를 구동하는 경우, 제조비용이 올라가는 요인이 되었음.

이러한 문제에 해결하고자 저가로 구성 가능한 LED 회로를 개발 적용하게 되었음.

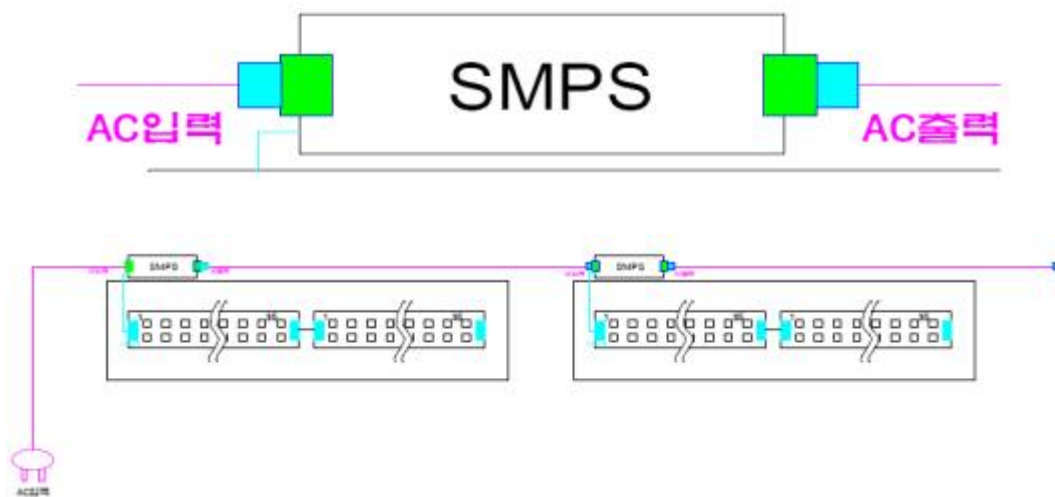
고휘도 LED를 직렬로 연결한 어레이를 조명용으로 설계하고 상용 교류 전원에 꽂아서 사용하도록 한 교류 전원이 있는 곳 어느 곳이나 설치 가능하도록 개발된 것으로, 조광 기능과 다채로운 LED 조합으로 다양한 색상을 구현함에 있어 안정적인 LED 전원공급 회로를 구성한 교류 구동 조명장치를 개발함.

본 개발 제품을 통해 안정적인 조명장치를 구성하고 조광기능 및 간단하고 반영구적인 장치를 구성하여 기존의 기술적인 LED 구동 상의 문제점을 해결하였으며, 손쉽게 상용 교류 전원을 이용하게 하여, 버섯 농장, 화훼 재배 시설, 양계장 하우스, 식물의 재배시설, 백화점 쇼 케이스, 기타 가정용 등 조명기구로 사용하기 쉬우며, 설치가 용이한 구조를 가지는 것이 특징임.



<개발된 시제품 전원 공급 장치 >

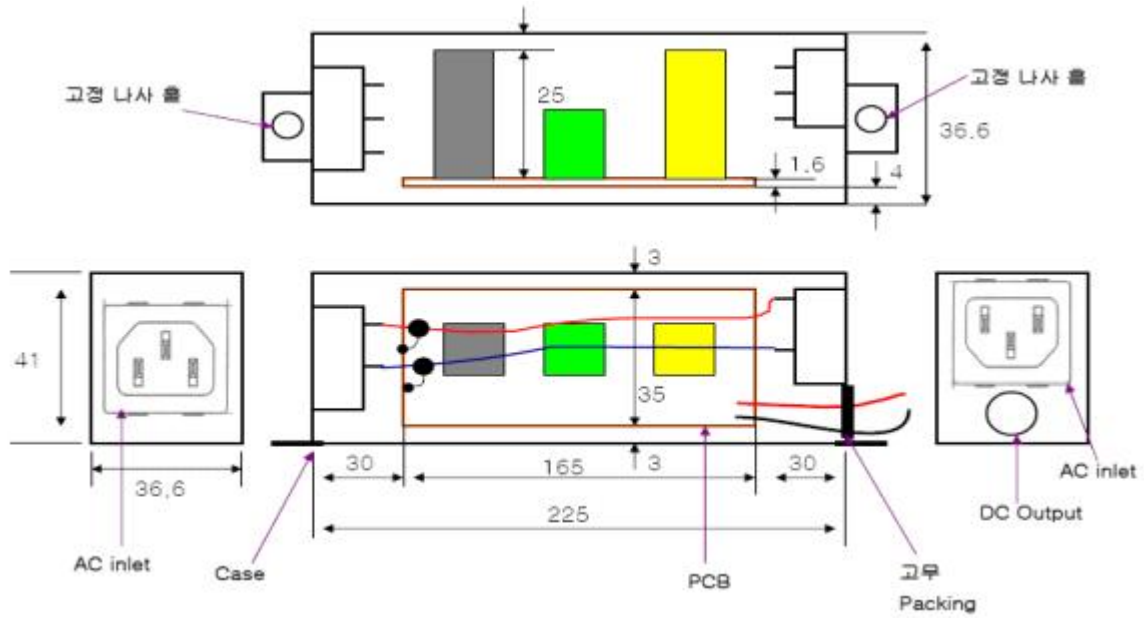
(2) AC전원 공급 방식 설계



<상용전원 공급 설계도>

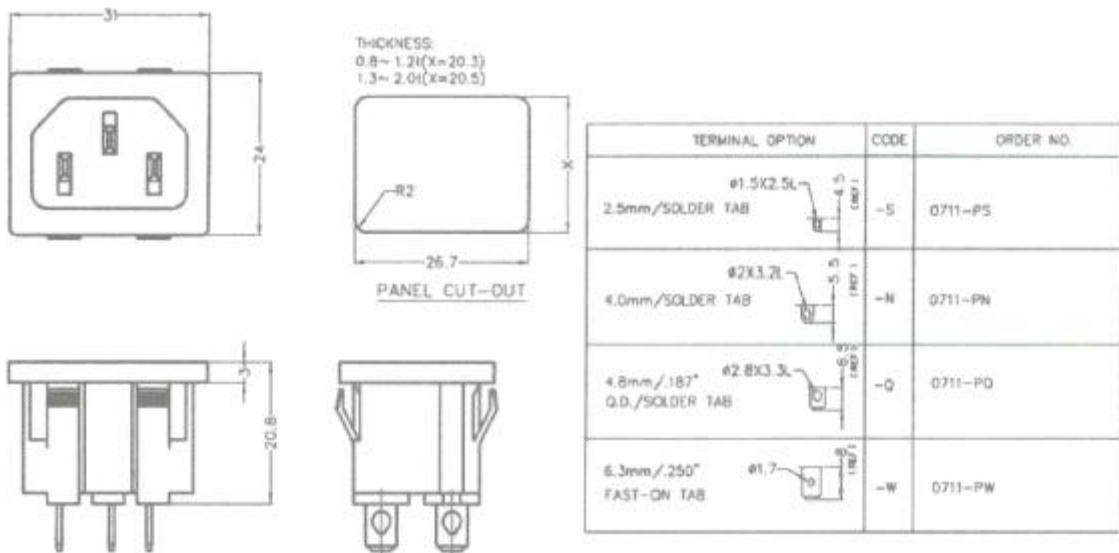
(3) 전원공급장치 설계

- PSU B/D ASS'Y : 165(L) x 35(W) x 26.6(H) mm
- PSU CASE : 225(L) x 36.6(W) x 41(H) mm



<전원 공급 장치 도면>

- AC Inlet 치수도
SKT Model No. : 0711 , 15A 250VAC 10A 250VAC



<AC Inlet 치수도>

라. 방열, 방습 등 참외재배를 위한 시설에 적합한 등기구 하우징 설계

(1) 개요

전력소모를 낮추고 조도를 높이면서도 장시간 사용할 수 있는 내구성이 좋은 전구를 위하여 고효율 LED를 광원으로 하여 다양한 형태의 LED 등기구를 개발하였음. 이러한 LED 전구로부터 높은 광출력을 얻기 위해서는 LED의 설치 개수를 증가하거나, 공급 전류를 높여야 하나 고효율 LED의 전구는 높은 소비전력에 따른 고온의 발열로 인하여 LED의 열화 및 LED 구동 소자의 고장 발생률이 높아지므로 자체 방열 설계가 필요함.

기존의 LED 등기구는, LED 기판에서 발생된 열이 전구 케이스를 통하여 일부 외부로 방출되지만, 출력이 높아질수록 발열은 커져 LED의 열화현상을 가속시켜 제품 수명이 단축됨.

또한 상당 부분의 열이 복사 또는 전도 형태로 구동 기판에 전달되므로 LED 구동소자의 수명을 단축됨에 따라 LED 전구의 수명을 단축시키는 결과를 초래함.

한편, 방열 성능을 향상시키기 위하여 상기 전열성 재질의 전구 케이스를 크게 하는 방법도 고려할 수 있으나, 설치환경의 제약을 많이 받게 되어 효율성이 많이 떨어지며 특히, 하우스 내부의 등기구 설치를 위한 환경 조건이 좋지 않고, 하절기에 하우스 내부의 고온을 위한 방열 설계가 매우 중요하게 대두되었음.

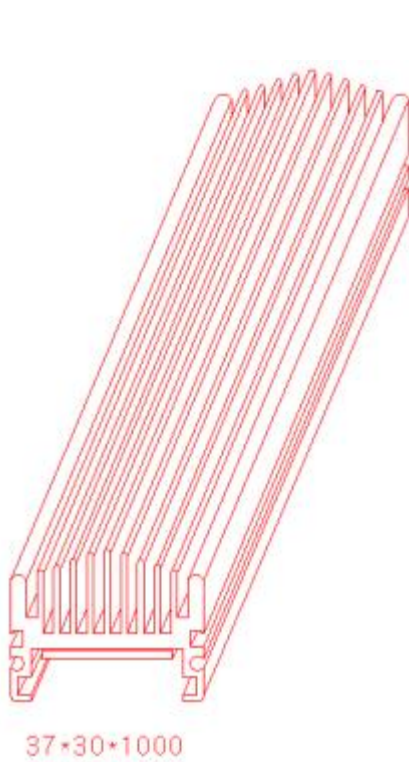
이에 따라 방열을 위한 LED 기판 및 LED 구동부를 수납하는 하우징부 내부를 LED 기판으로부터 전달되는 열을 최소화함과 동시에 하우징부 외부로 발산되는 열이 최대화될 수 있도록 하우징부 내부를 설계한 방열기능을 개선한 참외 재배용 고효율 LED 등기구를 개발하고자 하였음.



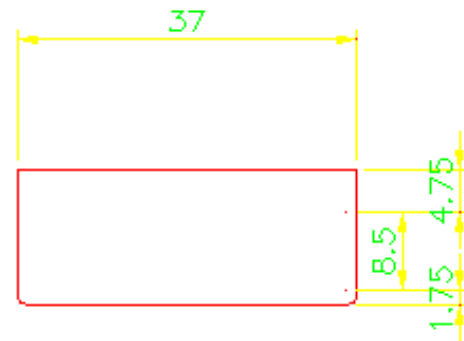
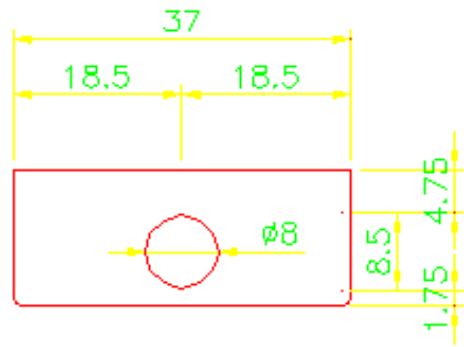
<개발 완료된 시제품 하우징 및 방열부>

(2) 하우징 및 방열 설계

- 고온, 다습한 재배환경에서 사용할 수 있도록 하우징 및 방열 설계
- 메탈 PCB를 사용하여 방열 효과 향상

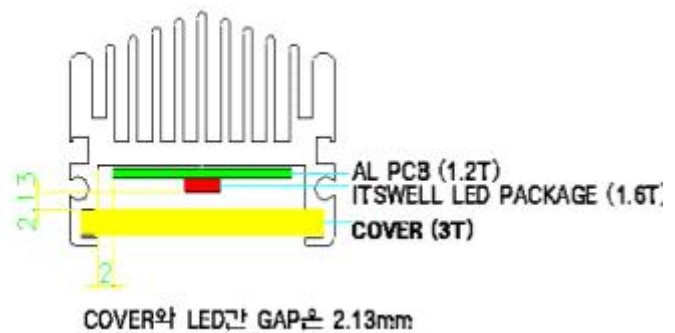
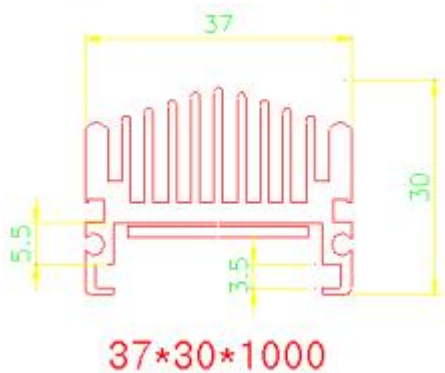


<Heatsink 도면도>



<엔드 캡 도면>

- 단면도 및 보완 사항



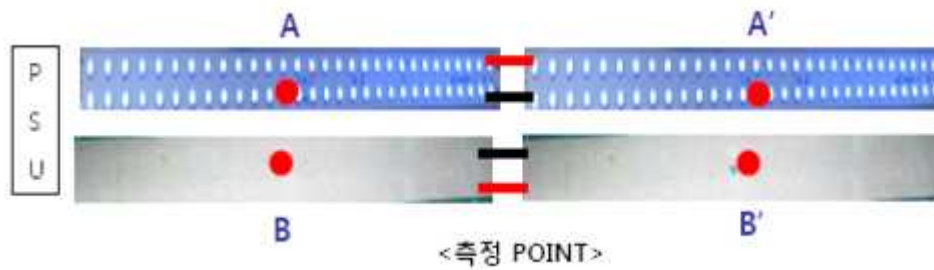
< 단면도 >

(3) 온도 변화 검토 테스트

- 검토내역 : 기 제작한 시제품 LED Bar 1Set(=2 Unit)에 전원을 인가하여 LED 발광부 및 Metal PCB 뒷면에 시간대별로 온도를 측정하여 온도변화 추이 검토

- 측정 규격

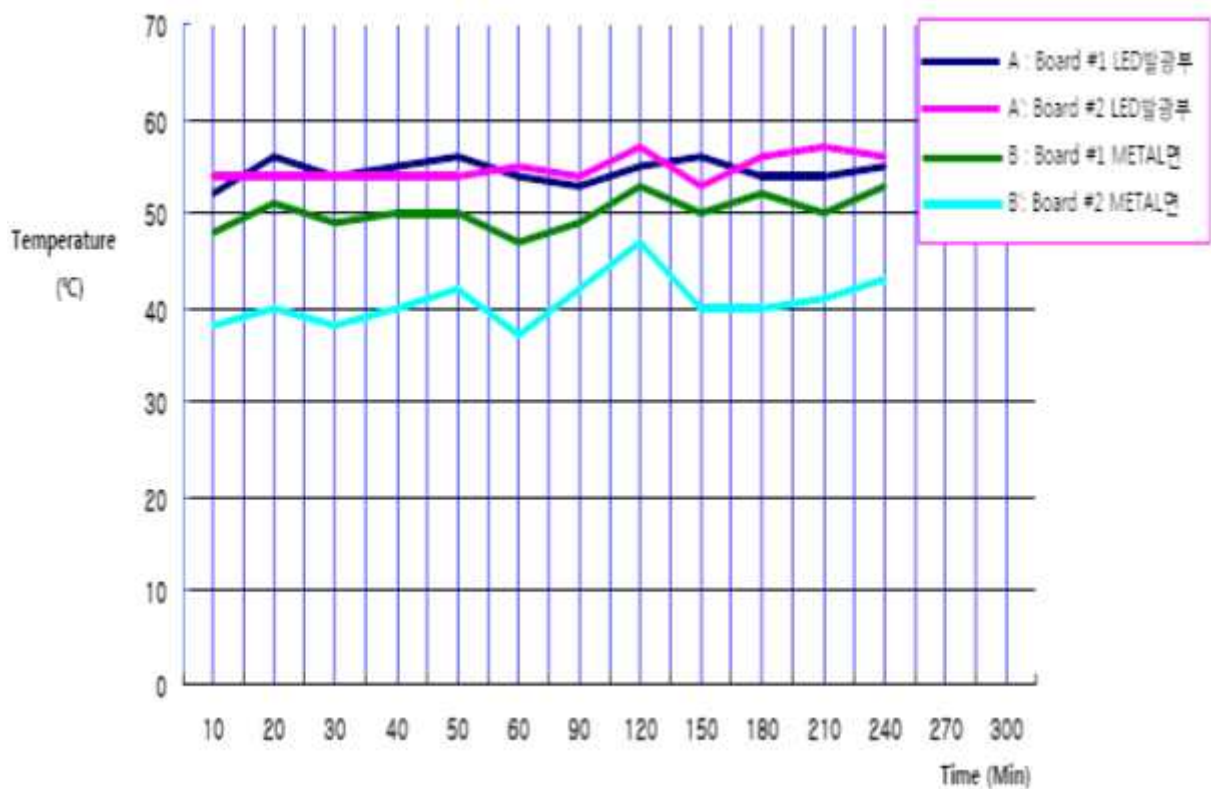
No	항목	규격
1	Ta	28.4℃
2	Vf	38.4 V
3	If	550 mA
4	Board	BLUE 단색광
5	측정장비	FLUKE=62 Mini (적외선 비접촉식 온도계)



- 측정 결과

No.	측정포인트	경과시간 (Min)												비고
		10	20	30	40	50	60	90	120	150	180	210	240	
1	A	52℃	56℃	54℃	55℃	56℃	54℃	53℃	55℃	56℃	54℃	54℃	55℃	
2	A'	54℃	54℃	54℃	54℃	54℃	55℃	54℃	57℃	53℃	56℃	57℃	56℃	
3	B	48℃	51℃	49℃	50℃	50℃	47℃	49℃	53℃	50℃	52℃	50℃	53℃	
4	B'	38℃	40℃	38℃	40℃	42℃	37℃	42℃	47℃	40℃	40℃	41℃	43℃	

- Time VS Temperature (LED Lens & Metal PCB)



(4) 설계 방향 및 결과

- 본 시제품의 경우 기존의 식물 재배 등기구에 비해 방열 및 방수 설계가 우수한 것으로, 시험결과에서도 장시간 사용시 안정적인 온도변화를 보여주고 있음.
- 다만, 참외 하우스 내부에 설치하여 사용할 경우 일반 조명기기의 사용 환경과는 달리 시설 하우스 내부의 여러 가지 열악한 환경(고온, 다습, 농작업의 불편함 등)에 대응할 수 있는 등기구의 개발 하도록 설계하였음.
- 특히 초기 방열 및 전원 설계가 고려되지 않은 LED 등기구 사용시의 LED 수명에 치명적인 영향을 주는 것으로 파악되었음.
- 방열판의 중량이 많이 나감으로 인해 실제 사용시 약간 불편함이 있을 것으로 판단되며, 방열판의 경량화 및 소형화에 대한 추가 연구개발이 필요하며, 또한 하우스 설계가 전체 등기구의 제조원가에 미치는 영향이 크므로 여러 요소를 고려하여 효율적인 설계가 중요함.

4. 농가 실증 재배에 적합한 참외재배용 LED 등기구 시제품 제작

가. 시장 현황 분석

(1) 관련 제품 및 업체

① 국외 제품

- 제조사 : L사(일본)
- 제품개요 : 바 형태의 제품으로 적색과 청색등 파장별 LED의 적절한 배합에 초점을 맞추어 개발된 제품, 일본 내 딸기 농가 등에 보급되어 운용되고 있음
- 광학특성 : 렌즈나 리플렉터 등의 광학관련 파트는 제공되지 않음
- 문제점 : 작물별, 생육단계별로 다르게 제공되어야 하는 배광특성에 대한 부분은 고려되지 않음, 제품의 성능대비 지나치게 높은 가격(84,000엔)



<제품 사진>



<제품 설치 활용 사진>

② 농진청 LED 광처리 장치

- 제 조 사 : B사
- 제품개요 : 농진청 연구개발과제로 생산된 제품으로 2009년에 농가보급사업을 진행하였으며 농가 및 농업기술센터의 의견을 청취한 결과 조사광도 및 성능부분의 개선이 필요하다고 판단됨
- 광학특성 : 렌즈나 리플렉터 등의 광학관련 파트는 제공되지 않음
- 문 제 점 : 조명에서 출력되는 광이 아래쪽에 위치한 작물에 보다 하우스상단과 측면에 주로 조사되는 문제가 있으며 작물이 필요한 광이 부족하여 광 효율이 부족하다고 판단됨



<LED 광처리 장치 제품 설치 활용 사진>

③ Farm LED

- 제 조 사 : E사
- 제품개요 : 적색, 청색, IR 의 혼합비율을 모드선택버튼을 이용하여 선택 가능한 기능을 제공하는 제품-특허출원 10-2009-61155
- 광학특성 : 렌즈나 리플렉터 등의 광학관련 파트는 제공되지 않음
- 문 제 점 : 1W Power LED를 FR4 PCB에 실장하여 제작된 제품으로 LED 조명설계시 필수적인 방열설계 및 방습, 방수에 대한 문제가 있다고 보여지며 또한 그로인한 짧은 수명이 예상됨, 조사되는 색상의 비율을 내장된 컨트롤러로 조절하는 데만 초점을 맞추고 있다고 보여지며 어느 정도의 광량을 재배면적에 제공할지에 대한 설명 및 사용에 대한 기준의 설명이 부족하다고 보여짐



<Farm LED 제품 및 설치 활용 사진>

(2) LED 시제품 개발 방향

- 현재 농가 보급사업 등으로 사용되고 있는 LED의 대부분이 전문적인 LED의 광학 설계와 조명설계 없이 제작되고 유통되는 제품이 많아 농가 적용에 많은 문제점이 생길 것으로 우려됨
- LED에 대한 광학적인 시뮬레이션을 통해 제품의 품질 및 작물에 대한 영향을 예측하고, 안정화 하여 최적의 재배용 LED 조명 설계를 바탕으로 한 시제품 개발
- 기존에 백열등을 이용하여 전조재배를 하고 있는 국화, 잎들깨, 딸기 등의 작물을 재배하는 농가의 백열등교체 수요시장을 초기시장으로 하여 채소, 화훼, 특용작물을 재배하는 시설하우스 농가에 까지 목표시장을 넓힐 계획
- 개발 시제품의 특허를 확보함으로써 타경쟁사와의 성능적 차별화와 더불어 보유기술에 대한 법적인 보호장치를 가지게 되어 신규업체에 대한 진입장벽을 높이는 효과를 기대함

- 시장에 있어서 제품의 신뢰성 확보와 광역지자체나 시군단위에서 진행하는 농가보급사업 등에 우선 참여할 수 있는 이점을 활용하여 시장을 선점하고 점유율을 높일 수 있을 것으로 예상함

나. LED 시제품 개발 및 보완

(1) 참외재배용 LED 시제품 개발 및 수정보완

- 제품 개요 : 참외재배 뿐만 아니라 엽채류 및 과채류에 적용을 위한 시설 하우스 및 육묘공장의 보광을 목적으로 개발된 LED 등으로 1m길이의 Bar 형태로 되어 있으며 높은 방열특성 및 방수/방습성을 가짐



<개발된 시제품 사진>

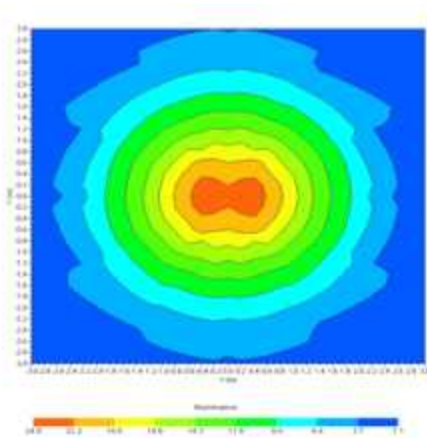
- Size(mm) : 1000(L) x 35(W) x 20(H)
- 입력전압 : 220VAC
- 소비전력 : 35W
- 파 장 : Blue(430~450nm), Red(650~670nm)
- 파장구성 : Red only (650~670nm)
Blue only (430~450nm)
Red + Blue mix
- 수 명 : 50,000 Hours
- PPF : 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (25°C, Red, 100mm)
- 적용LED : Top-View SMD (viewangle 140°)



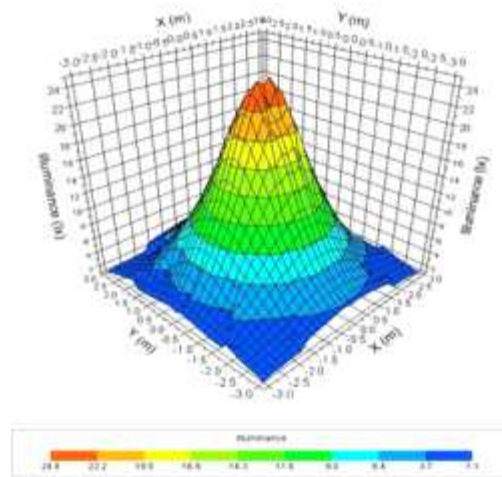
<시제품의 참외재배 농가 적용 사진>



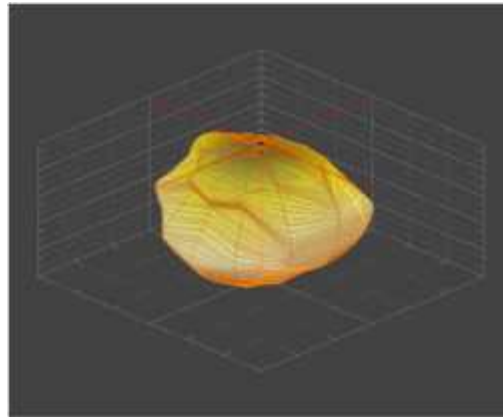
<시제품의 시설재배 적용 사진>



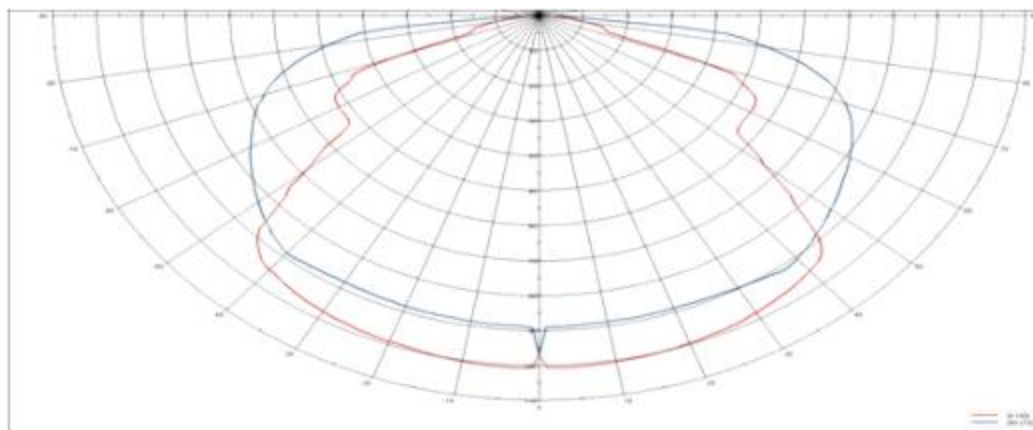
Iso Lux Diagram



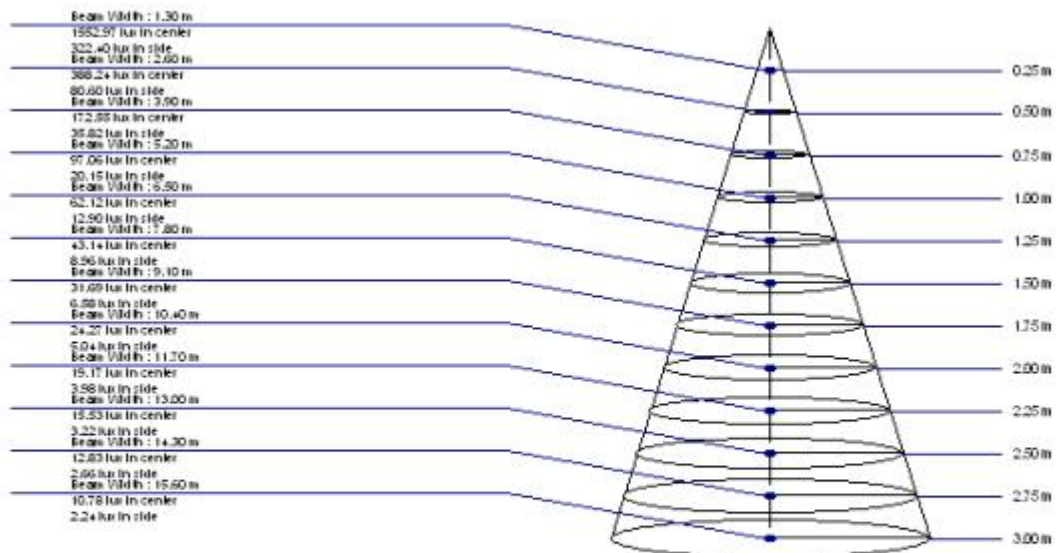
Iso Lux Diagram (3D)



3D Spherical Diagram

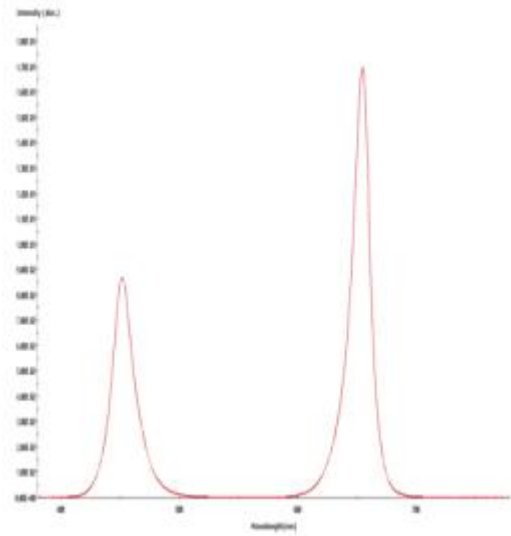
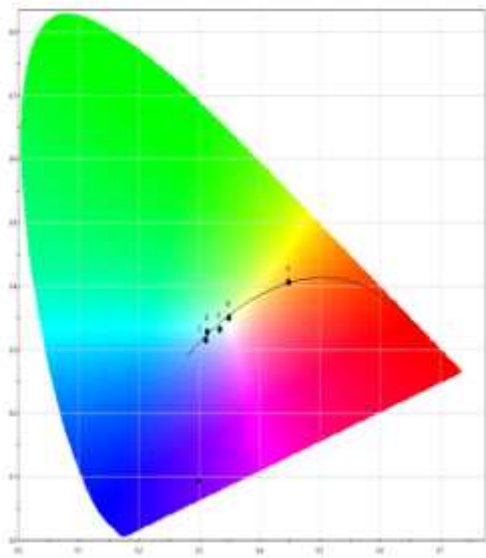


Polar Distrib. (ext)



Average Beam Angle = 137.9°
 Max. Beam Angle = 161.2° at $\phi_1 = 90^\circ \sim \phi_2 = 270^\circ$
 Min. Beam Angle = 127.1° at $\phi_1 = 150^\circ \sim \phi_2 = 330^\circ$

Conical Illuminance



<시제품의 광학 시험 결과>

(2) LED 시제품 광학설계 및 신뢰성 시뮬레이션

(가) Simulation process

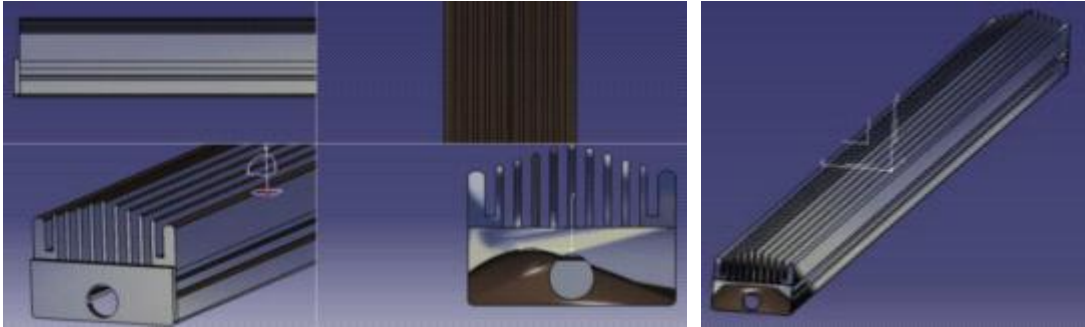
- ① Data 입수
 - 등기구 도면자료 및 치수 데이터 확보
 - 사용 LED spec sheet 및 array 도면 확보
- ② Modeling
 - 입수된 데이터로부터 simulation에 필요한 기구 3D modeling (Catia V5 활용)
 - LED 광원 modeling 및 array (SPEOS 활용)
- ③ Simulation
 - Modeling data를 기반으로 광학 simulation 실시 (SPEOS 활용)
 - 배광특성/조도 분포 결과 및 균제도(uniformity) 확인
- ④ 결과분석
 - Simulation 결과와 실제품 측정결과 비교
 - 오차 분석 후 modeling 수정
- ⑤ 신뢰성 확보
 - 신뢰성 확보를 위한 반복 simulation 실시
 - 오차를 감소시켜 신뢰성 확보

(나) Data 입수

- 길이 1m의 bar type 등기구
- 발광면적은 1m x 0.35m 에 해당함
- Housing은 heatsink의 기능을 겸함
- 별도의 cover는 없음

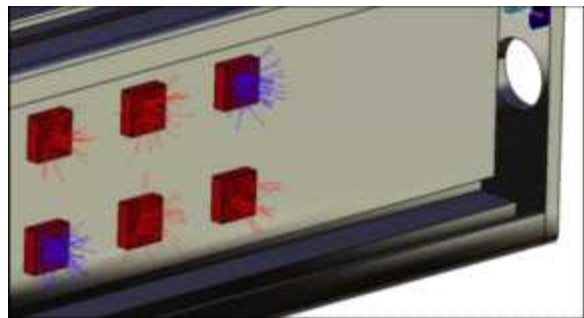
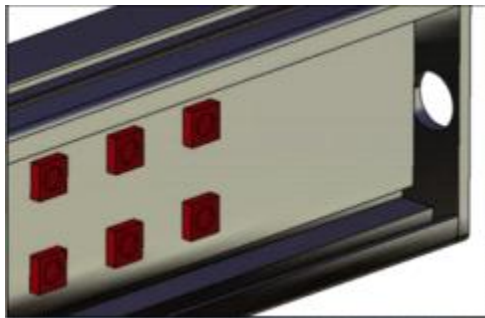
(다) 기구 모델링

- 제품 도면 data를 기반으로 3D modeling 실시
- 광학 simulation을 위해 재질을 알루미늄으로 설정
- 반사율은 측정 data가 없으므로 임의로 70%로 지정



(라) 광원 모델링

- LED는 총 128EA를 사용하며, mix type에서는 Red 96EA, Blue 32EA 사용
- LED package의 외관은 도면수치 기준이며 발광부의 크기는 Ø3.2mm
- LED array 간격은 별도의 치수가 없는 관계로 array data에서 측정하여 적용 (14mm)



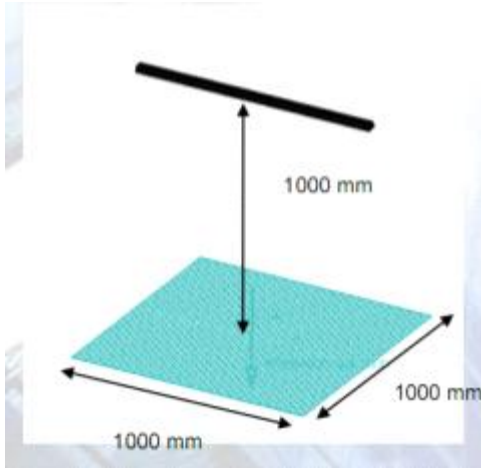
(마) 시뮬레이션

① Detector setting

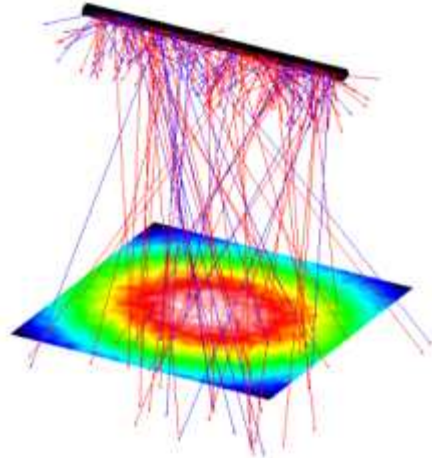
- 광원에서 나온 빛을 detecting하여 결과를 산출할 수 있는 detector setting
- detector는 실제 측정조건과 동일하게 설정(광원과의 거리/크기)

② Simulation

- 광원/기구/detector를 모두 설정한 상태에서 simulation 실시
- 결과의 오차범위가 5% 이내가 되도록 ray 수 설정(2천만개)



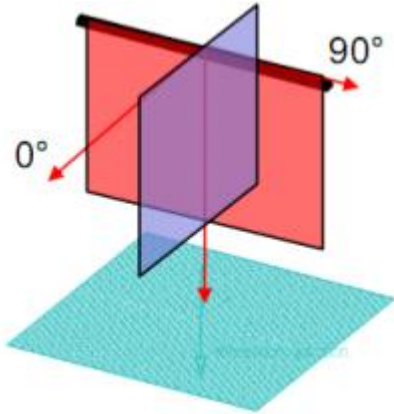
<Detector Setting>



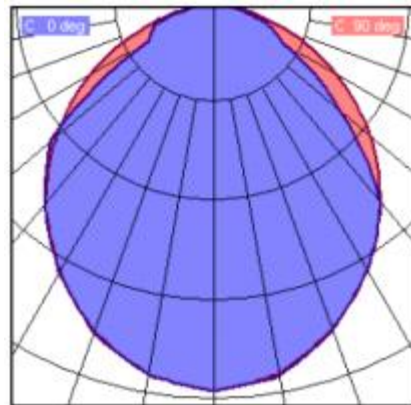
<Simulation result>

③ 결과 확인

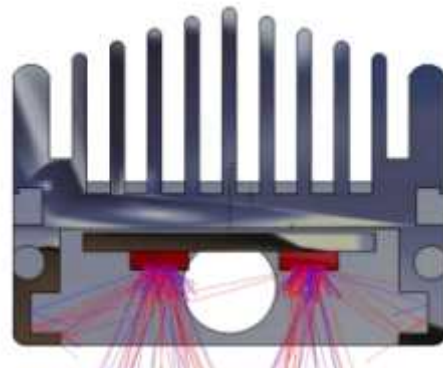
- LED의 광경로에 영향을 주는 광학부품이 없으므로 LED 자체의 지향각 특성과 유사함
- view angle은 110~120° 범위에 해당함
- 0° 평면의 경우 고각도의 광이 housing에 의해 일부 차단되어 광도가 감소함



<지향각 평면 기준>



<Simulation result>



<Housing에 의한 영향>

(바) 결과 분석

① 측정치와 오차분석

- 오차는 균제도2가 가장 높으나 일반적인 조명하에서는 균제도1을 적용함
- 균제도 2를 제외한 모든 항목에서 오차범위 10% 이내임
- 작성된simulation 결과는 실제반복simulation을 거쳐 오차범위를 줄인 결과임
(초기입력광량: R=4.36 lm ,B=1.21 lm /수정입력광량: R=4.8 lm, B=0.81 lm)
- 현 조건에서의 오차범위는 적정수준으로 판단되며 신뢰성을 확보하였음

(단위 : %)

	Red only	Blue only	Red-Blue mix
최대조도(E _{max})	0.05	4.6	7.02
최소조도(E _{min})	0.5	6.24	2.84
평균조도(E _{av})	2.56	2.2	5.7
균제도1(u ₀ =E _{min} /E _{av})	2.06	8.15	8.06
균제도2(E _{min} /E _{max})	0.68	10.4	9.1

② 오차 감소방안

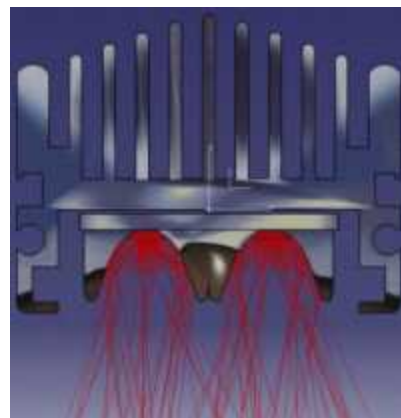
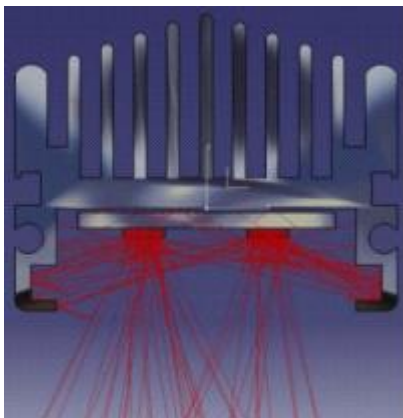
- 입력된 광량은 spec sheet상의 intensity를 변환하여 조도측정결과를 기준으로 효율을 조정하였음
- 정확한 결과를 위해서는 적분구와 같은 장비로 실제 광량을 측정 후 적용해야 함
- LED의 지향각 특성도 장비로 측정한 결과의 적용이 필요함
- 조도측정의 경우 측정면의 절반 측정 후 symmetry시켰으므로 모든 point에서의 측정이 필요함

(사) 광학 component 구성

① 광학 Component 추가

㉠ Reflector 추가

- 측면으로 손실되는 광을 reflector를 이용하여 집광



㉞ Reflector concept

- 폭방향 집광이 가능한 line type과 전방향 집광이 가능한 circle type을 검토



<Line type>



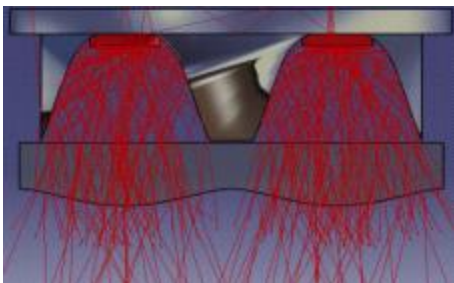
<Circle type>

- Reflector 추가결과, 전반적인 항목에서 결과가 향상됨
- Line type의 경우 균제도의 저하 없이 조도와 광량이 2배 가까이 상승
- Circle type의 경우 전방향 집광효과로 조도와 광량은 3배 이상 상승하나 균제도가 저하됨
- Circle type에서 reflector 형상에 따라 최대조도의 추가상승은 가능하나 균제도 저하가 심해짐

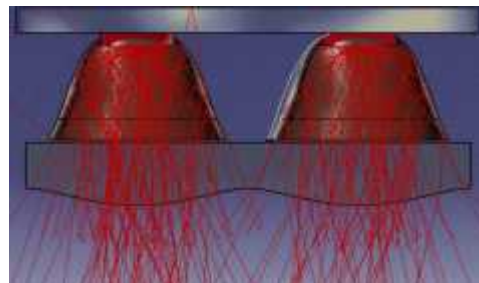
구 분	초기결과	Reflector추가	
		Line (변화량)	Circle (변화량)
최대조도 (lx)	83	142 (+71%)	298 (+259%)
광량 (lm)	65.7	120 (+83%)	202 (+207%)
효율(%) (출사광량/입사광량)	19	35 (+84%)	58 (+205%)
균제도 (최소조도/평균조도)	0.675	0.73 (+8%)	0.42 (-37%)

㉞ Reflector + lens concept

- 균제도 향상을 위해 lens 최적화 후 추가 검토



<Line type+lens>



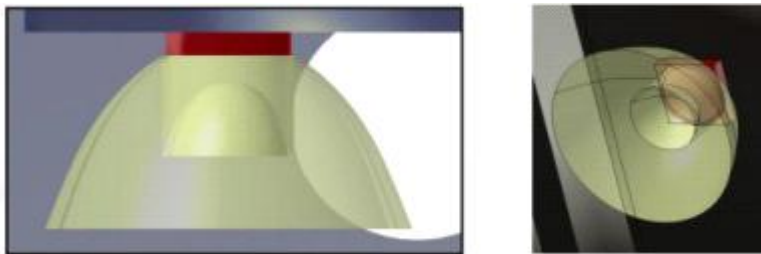
<Circle type+lens>

- Line type에서 lens추가 결과, 균제도를 제외한 전 항목에서 미세한 상승효과가 있으며 조사패턴도 향상됨
- Circle type에서 lens 추가 결과, 광량과 효율은 증가하나 최대조도와 균제도에서 약간의 감소가 있으며, 조사패턴은 향상됨
- 전면이 균일하게 포커싱 되는 목표하에서는 line type이 적합할 것으로 판단됨

구분	초기결과	Reflector +lens 추가	
		Line (변화량)	Circle (변화량)
최대조도 (lx)	83	155 (+87%)	278 (+259%)
광량 (lm)	65.7	125 (+90%)	206 (+207%)
효율(%) (출사광량/입사광량)	19	36 (+89%)	60 (+205%)
균제도 (최소조도/평균조도)	0.675	0.66 (-2%)	0.34 (-50%)

㉔ Collimator lens

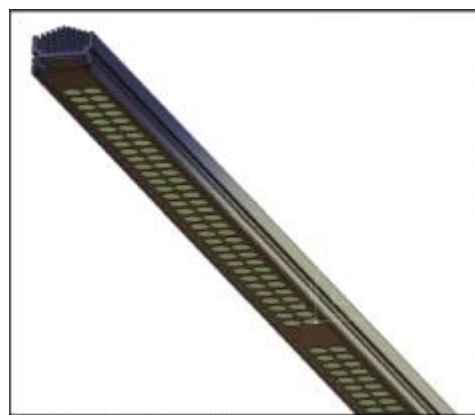
- 광학 component modeling
 - 기본적인 freeform형상의Collimator lens modeling
 - 광출사부는 평면을 기본으로 하여 곡률에 따라 광분포 변화 확인
 - Lens array후 반사재질의 cover plate modeling



<단일lens modeling>



<Lens array>



<Cover plate 추가>

- 변수 설정
 - Collimator lens 형상에 의한 효과 확인
 - 변수 범위 내 최적 spec 선정

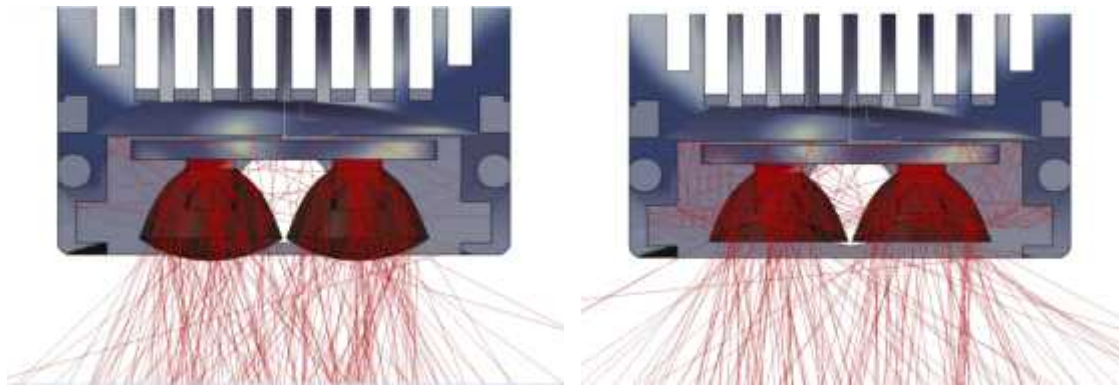
구 분	R=10mm	R=20mm	R=30mm	R=40mm	R=50mm
블록형상					
오목형상					

- 결과 확인
 - 블록형상의 경우 평면일 때에 비해 전반적인 수치가 증가함
 - 오목형상의 경우 평면일 때에 비해 최대조도만 증가하고 기타 수치는 감소함

블록형상	Base model	R=10mm	R=20mm	R=30mm	R=40mm	R=50mm
최대조도(lx)	270	283	271	270	267	268
광량 (lm)	164	171	172	170	169	169
효율(%) (출사광량/입사광량)	47	49	50	49	49	49
균제도 (최소조도/평균조도)	0.30	0.34	0.39	0.38	0.37	0.35

오목형상	Base model	R=10mm	R=20mm	R=30mm	R=40mm	R=50mm
최대조도(lx)	270	276	275	273	272	273
광량 (lm)	164	127	148	154	157	158
효율(%) (출사광량/입사광량)	47	37	43	45	45	46
균제도 (최소조도/평균조도)	0.30	0.26	0.28	0.26	0.26	0.27

- 오목형상의 collimator의 경우 광출사면에서 전반사량이 증가하여 전체광량이 감소함
- 오목형상에서는 R이 20mm 이하인 경우 광량의 변화율이 크며, 30~50mm 범위에서는 광특성의 변화가 거의 없음
- 볼록형상은 전반적으로 광특성의 변화가 적으며, 최대조도는 R=10 mm인 경우임
- 최대조도를 기준으로 최적spec은 볼록형상에서 R=10mm로 선정



<볼록형상R=10mm>

<오목형상R=10mm>

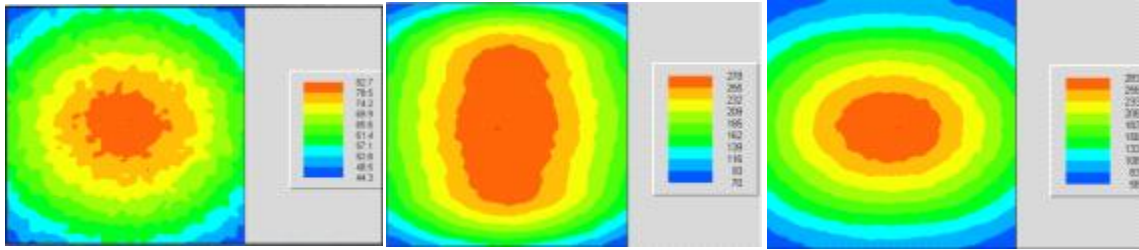
② 결과 분석

㉠ 설계결과 비교분석

- Collimator lens의 경우, 100% 전반사가 되지 않고 렌즈를 벗어나는 광이 생기므로 전체 광량은 Reflector+lens에 비해 다소 낮음
- 최대조도는 Collimator lens가 Reflector+lens 대비 약 2%정도 높음
- 수치적인 균제도는 Collimator lens와 Reflector+lens가 거의 같으나, illuminance 패턴에서 Collimator lens를 적용한 경우가 다소 불리함
- 종합적인 관점에서 볼 때 Collimator lens보다는 Reflector +lens를 적용하는 경우가 성능면에서는 비교우위에 있는 것으로 판단됨
- 향후 제작여건 등을 고려하여 추가적인 검토가 필요함

구 분	광학component 無 (1차 simulation 결과)	Reflector+lens (변화량) (2차 simulation 결과)	Collimator lens (변화량) (3차simulation 결과)
최대조도 (lx)	83	278 (+235%)	283 (+241%)
광량 (lm)	65.7	206 (+214%)	171 (+160%)
효율(%) (출사광량/ 입사광량)	19	60 (+216%)	49 (+158%)
균제도 (최소조도/ 평균조도)	0.675	0.34 (-50%)	0.34 (-50%)

㉞ Illuminance 비교

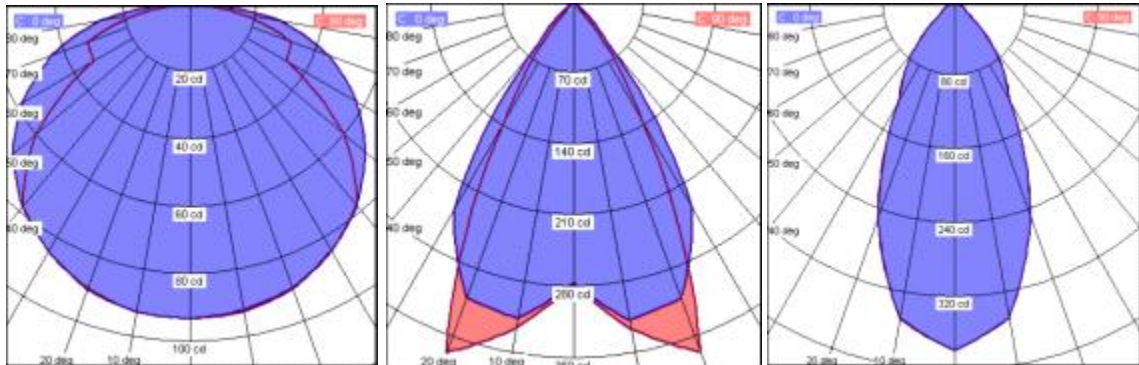


<광학component 無>

<Reflector(Circle)+lens>

<Collimator lens>

㉞ 배광 곡선 비교



<광학component 無>

<Reflector(Circle)+lens>

<Collimator lens>

③ 기타 LED 시제품 개발

㉞ 보광 및 전조용 백열등 타입(PAR TYPE)의 LED 등기구

- 제품 개요 : 시설재배에 필요한 전조 및 보광용으로 개발된 LED 등으로 기존 전조용 백열등 소켓에 바로 적용 가능한 형태로 렌즈 등 광학부품을 이용하여 다양한 형태의 배광특성을 제공할 수 있으며 시설비용이 저렴하도록 개발됨
- 제품 사양



- Size(mm) : 90mm
- 입력전압 : 220VAC
- 소비전력 : 7W
- 파장구성 :
 - Red only (650~670nm)
 - Blue only (430~450nm)
 - IR only (740~750nm)
 - Red + Blue mix
 - IR + Red mix
- 수명 : 50,000 Hours
- PPF : 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
(25°C, Red, 100mm)
- 적용LED : High Power



- Size(mm) : 120mm
- 입력전압 : 220VAC
- 소비전력 : 12W
- 파장구성 :
 - Red only (650~670nm)
 - Blue only (430~450nm)
 - IR only (740~750nm)
 - Red + Blue mix
 - IR + Red mix
- 수 명 : 50,000 Hours
- PPF : 500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
(25°C, Red, 100mm)
- 적용LED : High Power
(viewangle 120°)



<제품 적용 테스트 사진>

㉔ 기타 재배용 PAR TYPE LED 등기구 개발

- 참외재배 및 다른 작물 재배에 적용이 가능한 여러 형태의 LED TYPE을 추가적으로 개발하여, 작물재배의 적용 가능성과 효과, 문제점 등을 파악하여 실증연구 및 시제품 제작에 적용하고자 함



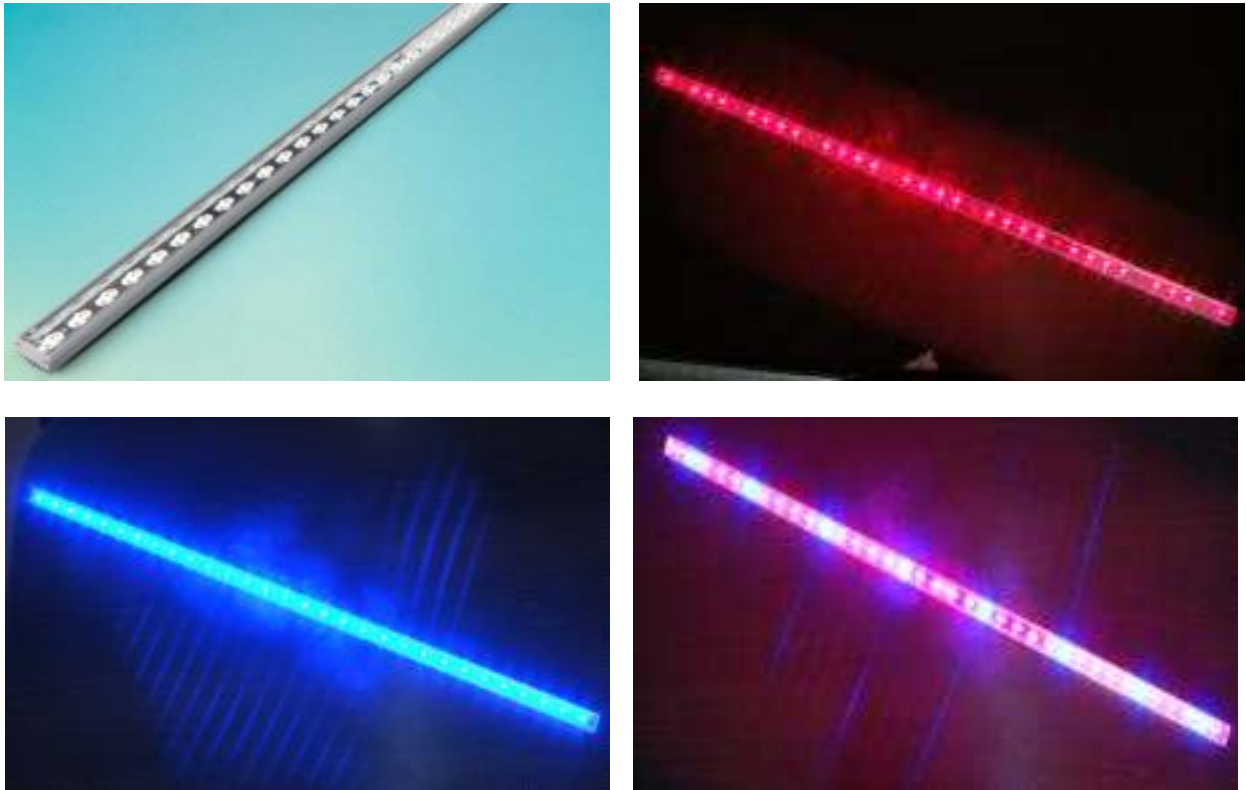
5. 참외재배용 LED 등기구의 성능 개선 및 최적화 연구

가. 연구목적

: 실험을 통해 새롭게 얻은 정보를 바탕으로 기개발된 LED를 개선하여 참외재배뿐만 아니라 다양한 식물에 최적 적용이 가능한 제품을 개발하고자 함

나. 최적화 연구

(1) LED 시제품 개발 및 수정보완

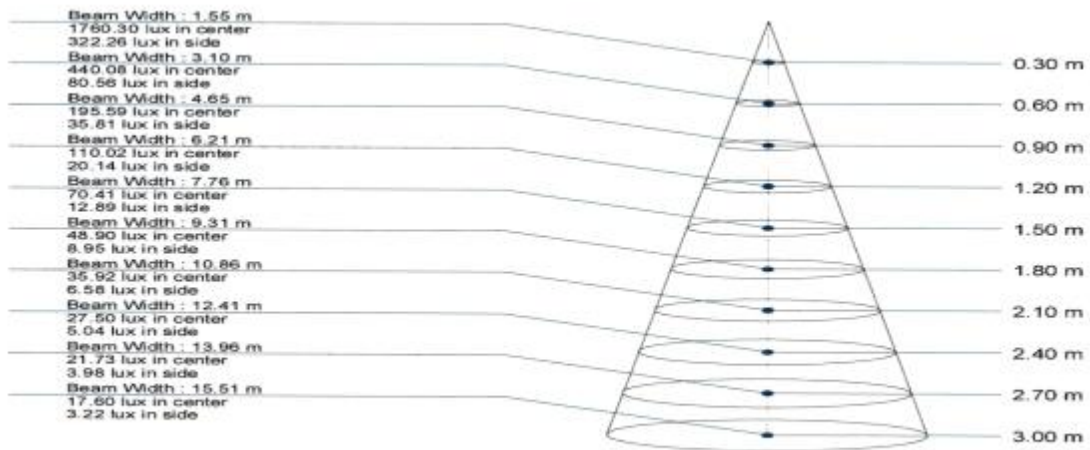
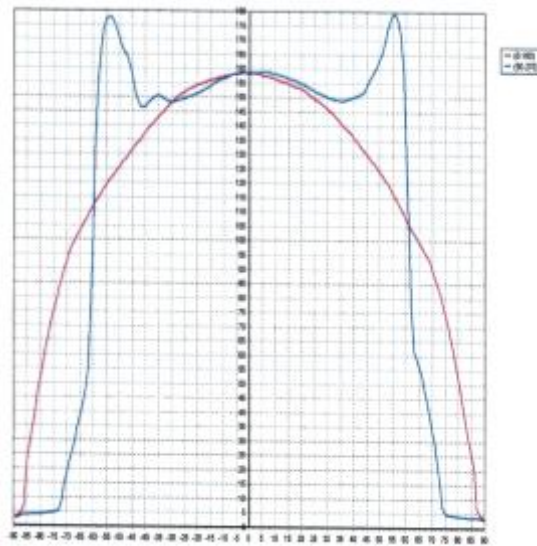
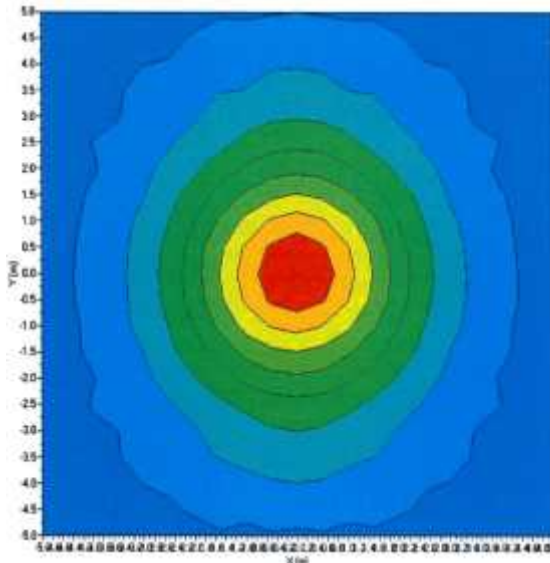


<성능 개선된 시제품>

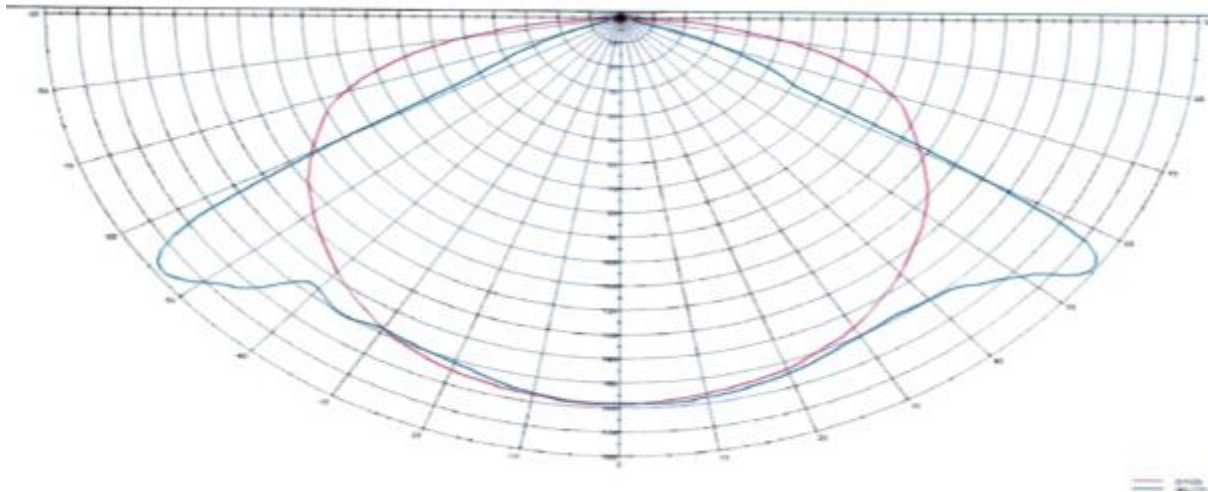
- Size(mm) : 1000(L) x 28(W) x 25(H)
- 입력전압 : 220VAC
- 소비전력 : 35W
- 파 장 : Blue(430~450nm), Red(650~670nm)
- 파장구성 : Red only (650~670nm)
Blue only (430~450nm)
Red + Blue mix
- 수 명 : 50,000 Hours
- PPF : 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (25°C, Red, 100mm)
- 적용LED : Top-View SMD (viewangle 140°)



<시제품의 시설재배 적용 사진>



Average Beam Angle = 137.7°
 Max. Beam Angle = 155.2° at $\Phi 1 = 15^\circ - \Phi 2 = 195^\circ$
 Min. Beam Angle = 121.9° at $\Phi 1 = 90^\circ - \Phi 2 = 270^\circ$



<시제품의 광학 시험 결과>

(2) 부분별 LED 시제품 개선 사항

(가) 방열설계

- 설계목표 : 정선온도 85℃ 이하(25℃ 기준, max 40℃), R_{ja} : 45K/W 이하
- Heat sink 목표사양 : 1000(L)×28(W)×arb.(H)mm, 600g 수준

① LED PKG 사양 및 열저항 시뮬레이션

Electrical Characteristics at 350mA, T_j = 25°C

Color	Forward Voltage V _f (V)			Thermal Resistance Junction to Wsg (°C/W)
	Min.	Typ.	Max.	
White	2.85	3.5	4.1	10
Warm White	2.85	3.5	4.1	10
Cyan	1.75	2.2	3.0	10
Red	1.75	2.2	3.0	10
Amber	1.75	2.2	3.0	10
Green	2.85	3.5	4.1	10
Cyan	2.85	3.5	4.1	10
Blue	2.85	3.5	4.1	10
Royal Blue	2.85	3.5	4.1	10
Cherry Red	1.75	2.2	3.0	10

Package Characteristics at 350mA, T_j = 25°C

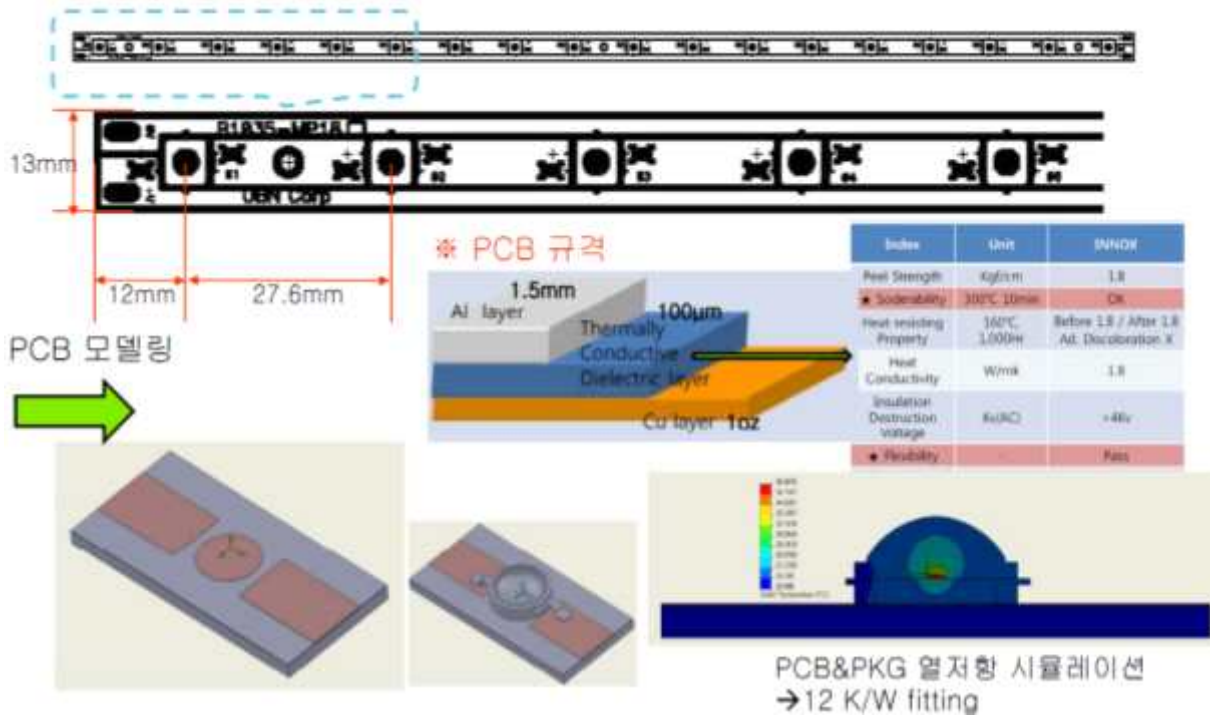
Parameter	Color	Power Dissipation	Wavelength	Beam Diameter	Beam Angle
Luminous	White	1000mW	450nm	1000μm	60°
	Warm White	1000mW	450nm	1000μm	60°
	Cyan	1000mW	490nm	1000μm	60°
	Red	1000mW	630nm	1000μm	60°
	Amber	1000mW	590nm	1000μm	60°
	Green	1000mW	520nm	1000μm	60°
	Cyan	1000mW	490nm	1000μm	60°
	Blue	1000mW	470nm	1000μm	60°
	Royal Blue	1000mW	445nm	1000μm	60°
	Cherry Red	1000mW	630nm	1000μm	60°

설계 기준

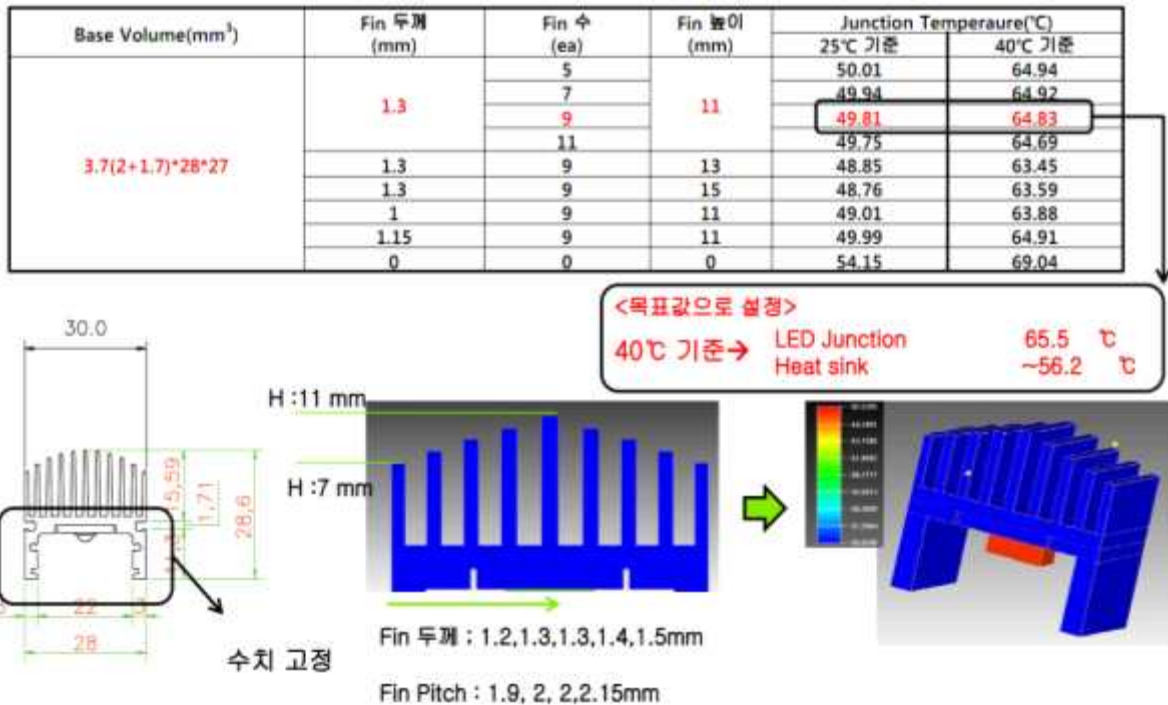
PKG 모델링

PKG 열저항 시뮬레이션
→ 10.0K/W fitting

② PCB 사양 및 열저항 시뮬레이션

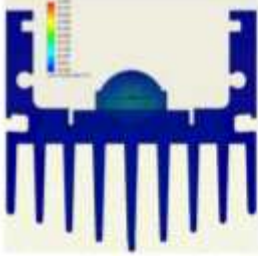


③ 하우징 사양 및 열저항 시뮬레이션

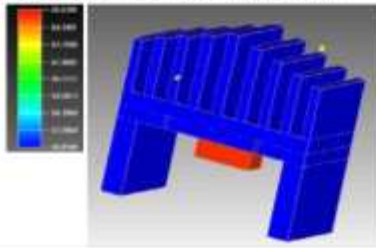


④ 개발 결과 및 결과 분석

4.1. 25℃ 기준 단일 LED pkg array

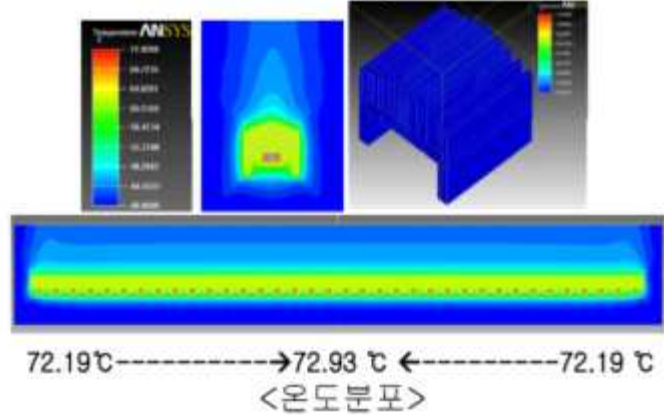


4.2. 40℃ 기준 단일 LED pkg array



Power	Junction Temperature (°C)		열저항(R _{ja}) (K/W)
	At 25°C	At 40°C	
1W	51.49	65.54	25.5~26.5

4.3. 40℃ 기준 전체 LED pkg array



-단일 LED pkg array와 전체 LED array와의 온도차는 약 5~7도 수준 증가
 ** 그러나, 25도 기준에서는 정선온도 약 57도, 히트싱크 온도는 약 45도 수준으로 기능면에서는 큰 문제점이 없을 것으로 판단됨.

⑤ 최종 방열설계 결과

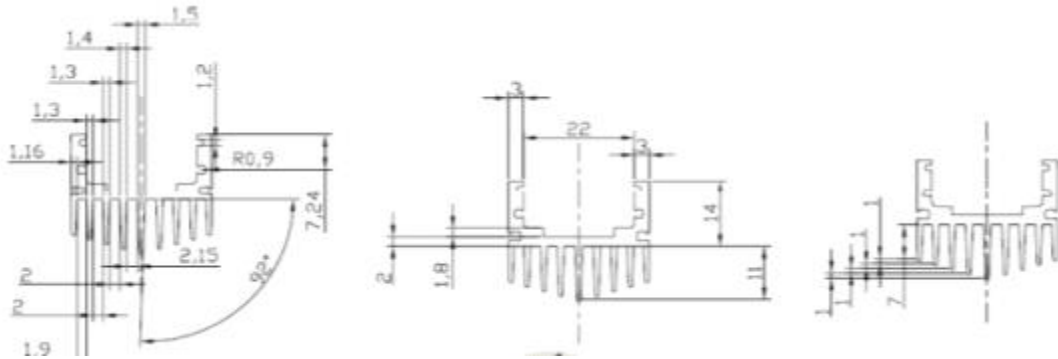
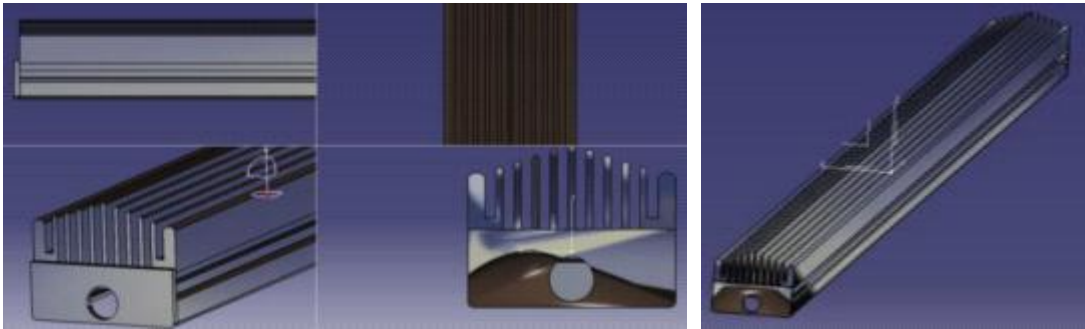
구 분	Power	무게(g) 1000mm(L)기준	Junction Temperature(°C)	열저항(R _{ja}) (K/W)
업체 기존제품	1W	1,005	46.09 at 25°C	21.1
업체 제안도면	1W	683	48.82 at 25°C	23.8
최종 설계도면	1W	564	51.49 at 25°C 65.54 at 40°C	26.5
	37W		72.93 at 40°C	0.89

- 기존 제품 및 제안 제품의 경우 정선온도는 단일 LED pkg 기준으로 최종적으로 설계된 제품에 비해 약 3~5도 정도 낮은 값을 가지나 무게가 목표 값보다 무거움
 → 최종적으로 무게 목표를 충족하는 수준으로 히트싱크 설계 변경
 : 최종 히트 싱크의 무게 600g 이하, 정선온도 85도 이하조건을 만족하는 수준으로 설계
- 최종 설계 제품의 예상 정선온도는 25도 기준에서는 약 57도, 40도 기준에서 73도 수준
 : 무게 대비 정선온도 최적화

(나) 외관 및 광원 리모델링

① 외관 리모델링

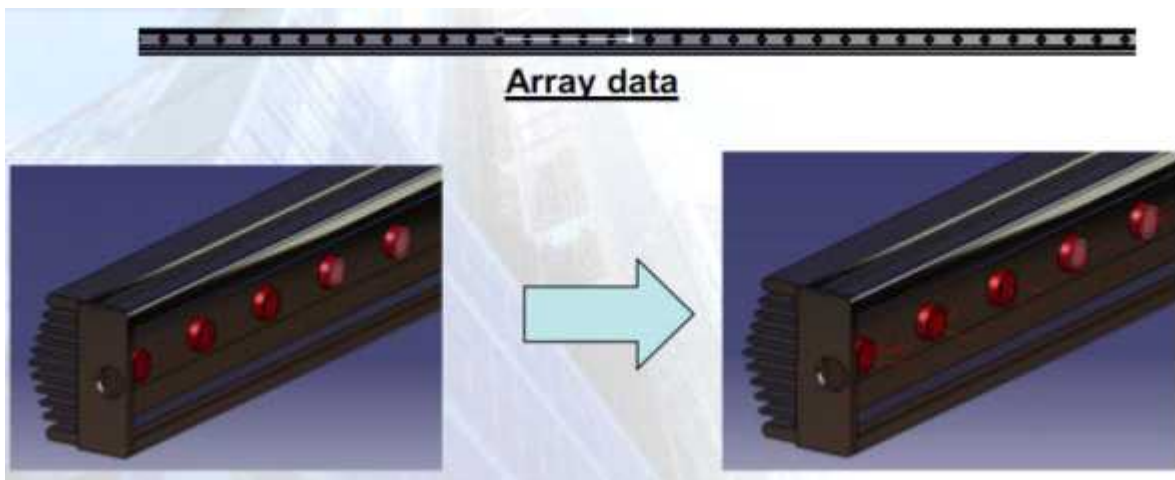
- 무게 564g, 규격 1000(L) x 28(W) x 25(H)으로 기존 제품에 비해 경량화, 슬림화 됨

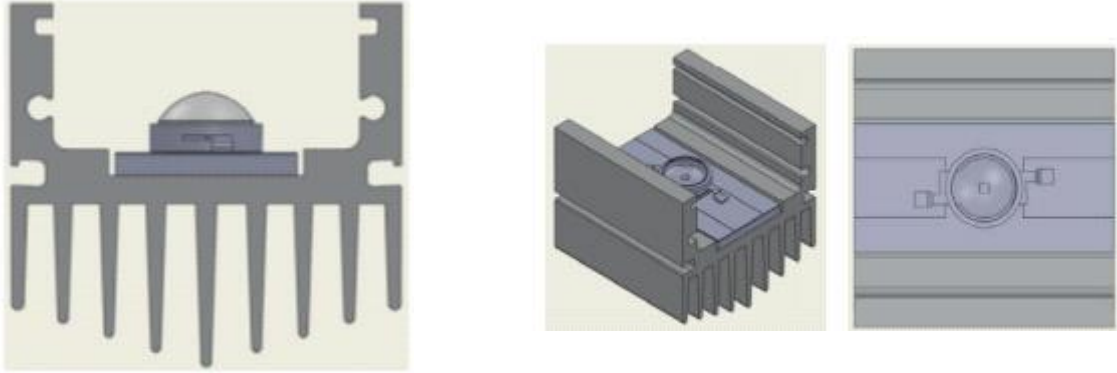


<리모델링 제품 외관 및 규격>

② 광원 리모델링

- LED는 총 36EA를 사용하며, mix type에서는 Red EA, Blue EA 사용
- LED 패키지 어레이를 기존 두 줄에서 한 줄로 개선하여 배열
- LED package의 외관은 도면수치 기준이며 발광부의 크기는 Ø3.2mm



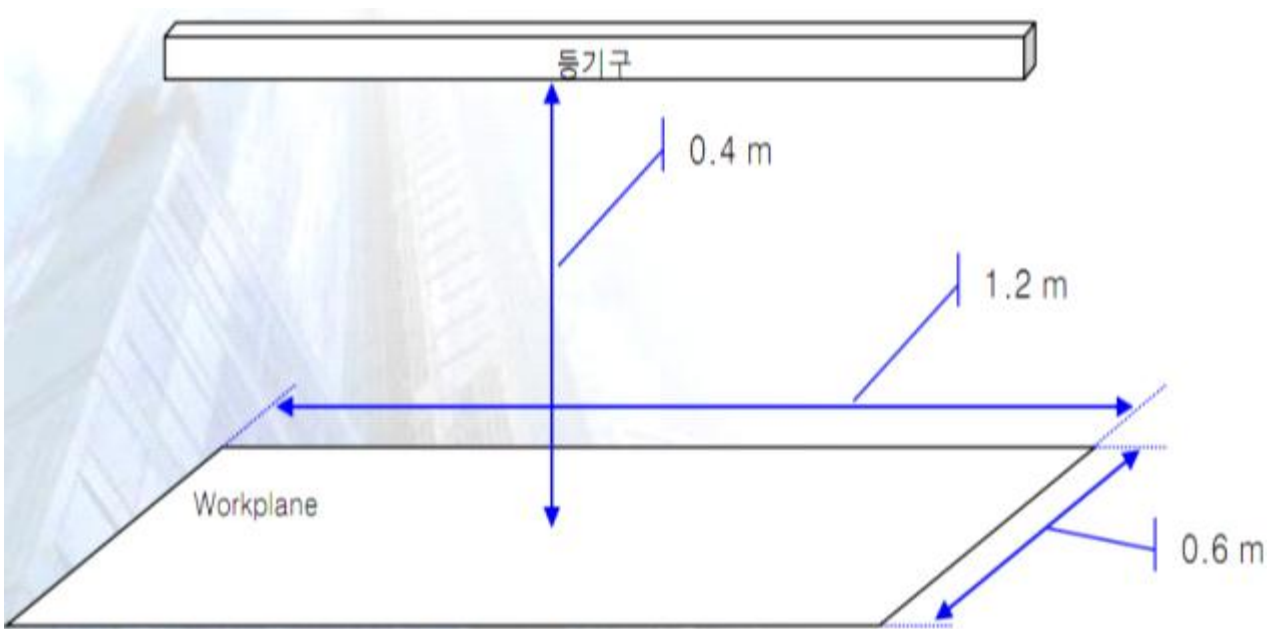


<One-Line LED 어레이 배열>

③ Reflector 리모델링

㉑ 목표스펙

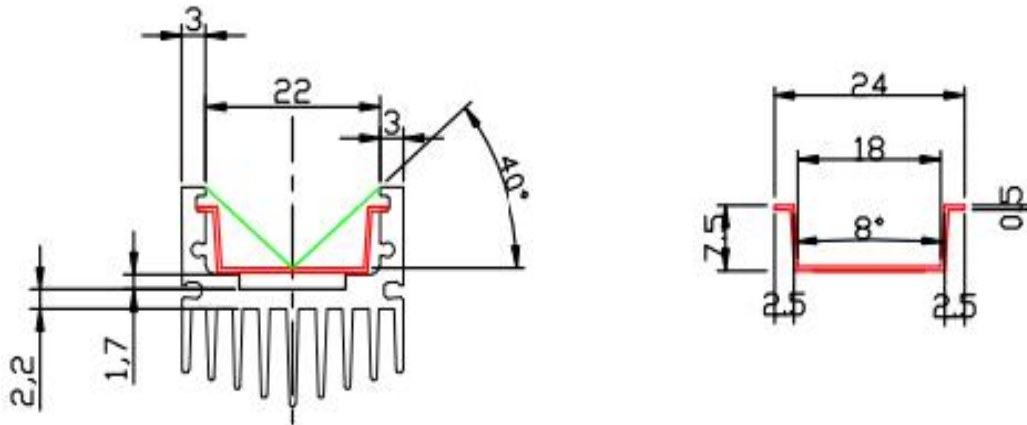
- 초기 목표 스펙 : Max 1,000 lx/Avr 600 lx
→ 좁은 면적에 집광되는 형태의 배광을 목표로 함
- 이론적인 계산실시 : input광량 490 lm/workplane 면적 0.72m²
→ 모든 광이 workplane에 입사한 경우 조도(Avr)는 $490/0.72=681$ lx임
→ 현 등기구는 폭방향으로만 제어가 가능하여 모든 광을 workplane에 넣을 수 없음
→ 따라서, 목표스펙을 만족하는 것은 이론적으로 불가능할 것으로 예상됨
- 목표스펙 변경 : 이론적인 계산에 따라 Max 600 lx/Avr 400lx로 변경



<측정조건>

㉞ Reflector concept 및 도면

- 측면과 후면으로 손실되는 광을 reflector를 이용하여 집광
- 폭방향 집광이 가능한 line type
- 도면과 같이 내부에 reflector를 장착하여 배광을 조절하는 concept
- 내부 reflector의 크기와 곡률을 조정하여 배광특성을 만족하는 스펙 확보
- 내부 reflector의 반사율은 85%로 설정
- 하우징의 크기를 고려하여 reflector 크기를 제한(높이:8.04mm, 폭:22mm)

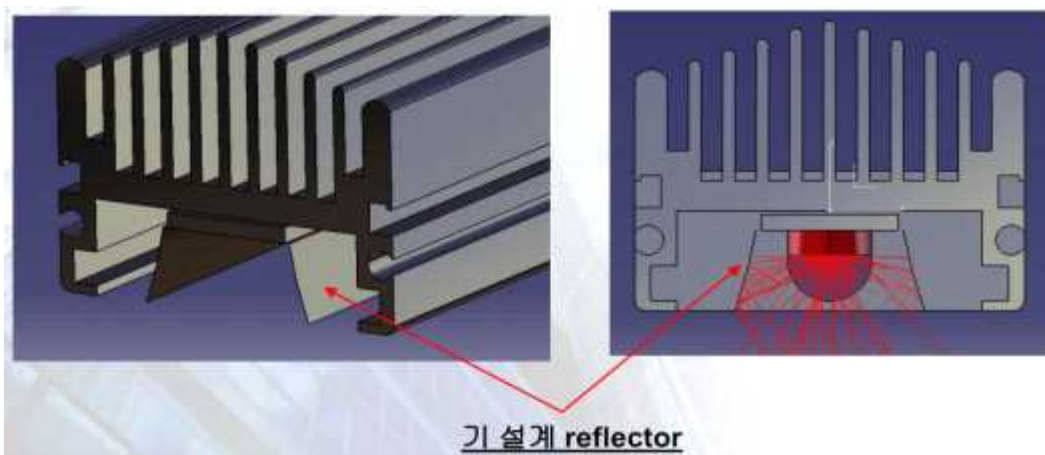


<리플렉터 도면>

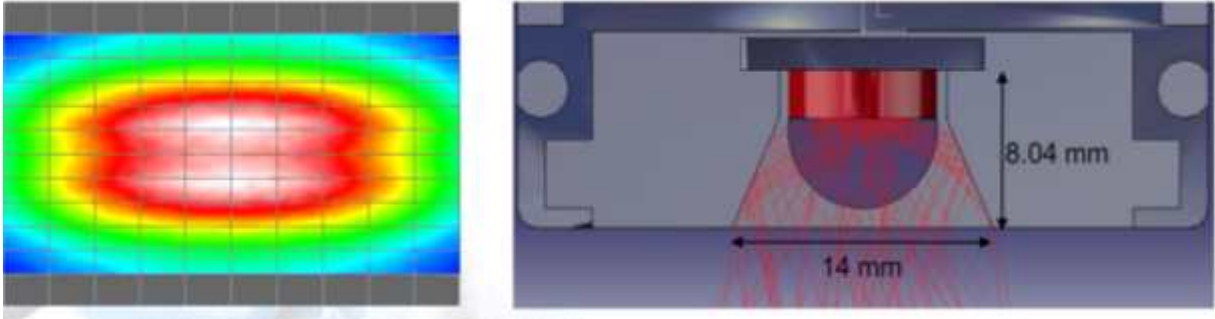


<제작 완료된 리플렉터>

㉞ 광학 component modeling 및 시뮬레이션



<Line type>



<시뮬레이션 결과>

구 분	No Reflector	Reflector추가
		Line (변화량)
최대조도 (lx)	396	678 (+282)
평균조도 (lx)	260	407 (+147)
균제도	0.45	0.31 (-0.14)

<시뮬레이션 결과 조도>

- 광량확보를 위해 Reflector의 개구부를 최대한 좁힘
- 설계결과 목표스펙은 만족하나 평균조도의 마진이 거의 없으며, 이는 제어의 한계로 광량이 부족하기 때문으로 판단됨
- 균제도는 기존 설계에 비해 감소함

6. 참외 재배 LED의 실증 농가 적용 후 생산성 효과 연구

가. 연구목적

: 참외 안정생산을 위하여 개발된 LED 이용기술을 농가실증시험을 통하여 조기에 보급하고자 함

나. 수행방법

- (1) 시험품종 : 오복꿀참외/신토좌계통호박(매직슈퍼토호박 등)
- (2) 처리내용 : ①RED, ②Red+Blue(3:1), ③Blue, ④Control
- (3) 처리시간 : 12월 28일 ~ 8월 30일 : 21:00~22:00 (120분/일)
- (4) 재배법

구분	정식기	재식거리	비고
김상규 농가	12월 04일	180cm×40cm	시비량 : 농가관행 조사위치 - 12월 28일~5월 12일 : 지상 0.2m지점 - 05월 13일~8월 11일 : 지상 2.0m 지점
노성후 농가	12월 15일		
노영현 농가	12월 06일		

(5) LED 처리 방법

- LED 램프 : 폭 3cm, 길이 100cm의 플라스틱에 1열에 15개씩 2열 30개를 부착한 회로판 2개 연결하여 200cm 알루미늄 하우징으로 제작하여 각 처리를 컨트롤박스에서 제어할 수 있도록 제작하여 사용하였음 (사진 1)



RED 단색광



RED+BLUE 혼합광 (3:1)



BLUE 단색광



LED 제어장치

사진 1. 시험에 사용한 LED 램프 및 제어장치



사진 2. 농가실증시험 참외 LED 재배시험 내부 전경 (2010. 6. 19)



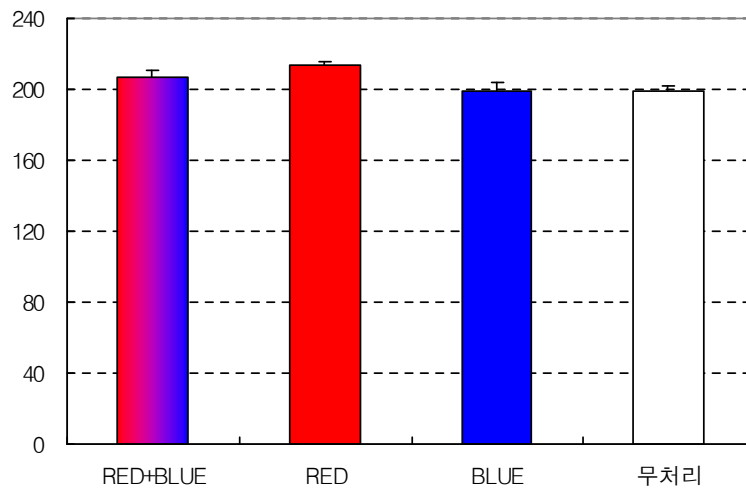
사진 3. 농가실증시험 참외 LED 재배시험 외부 전경 (2010. 6. 19)

다. LED 광원별 광량자 (측정높이 : 20cm)

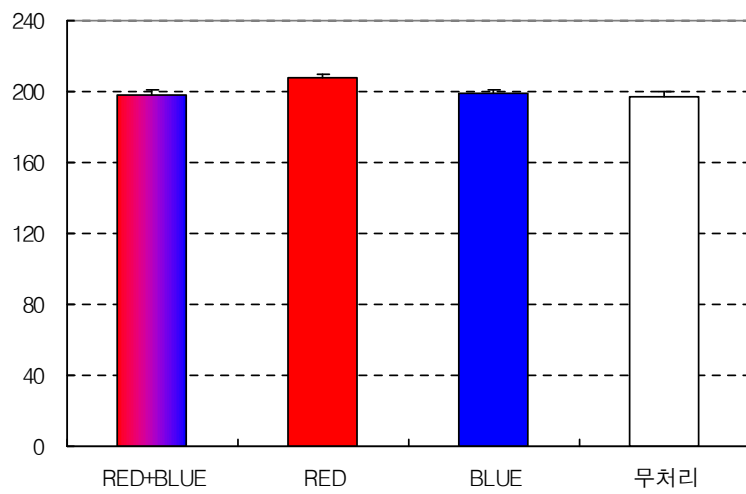
처리내용	파장 (nm)	측정일 (월.일)	측정치(PAR) $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
Red	660	3. 06	51.3
		6. 19	50.4
Red+Blue(3:1)	660+470	3. 06	93.7
		6. 19	92.1
Blue	470	3. 06	106.3
		6. 19	105.7

라. LED 광원별 참외의 초기생육 (LED 처리 30일후)

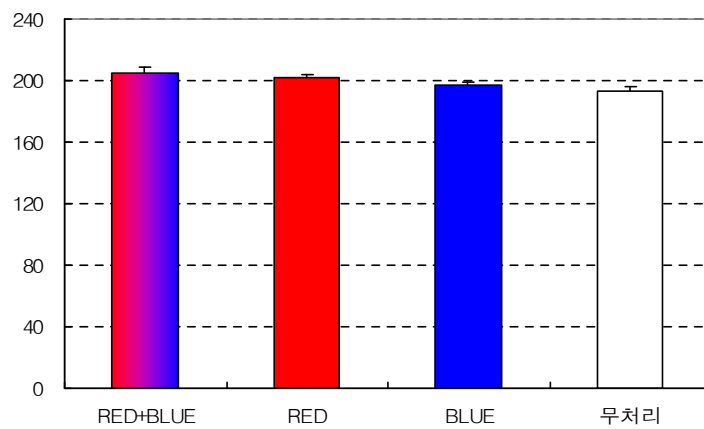
(1) 초장



김상규 하우스

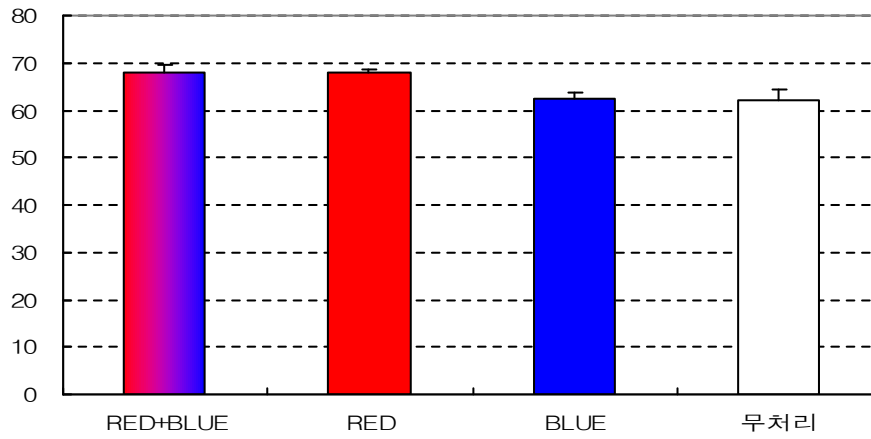


노성후 하우스

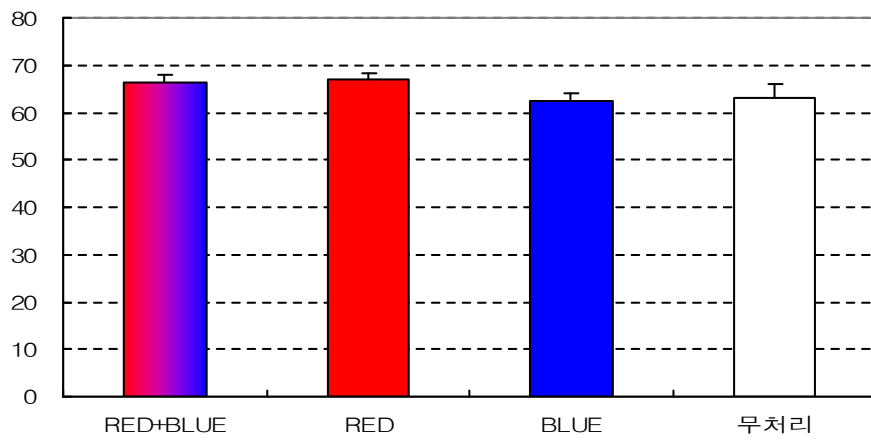


노영현 하우스

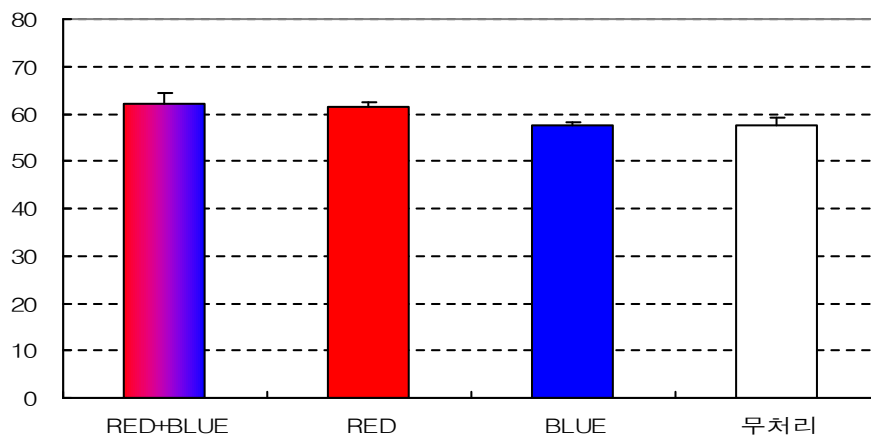
(2) 엽수



김상규 하우스

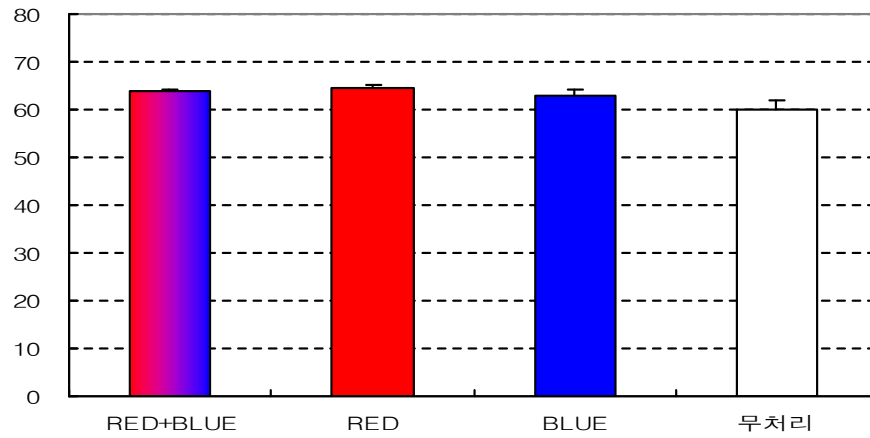


노성후 하우스

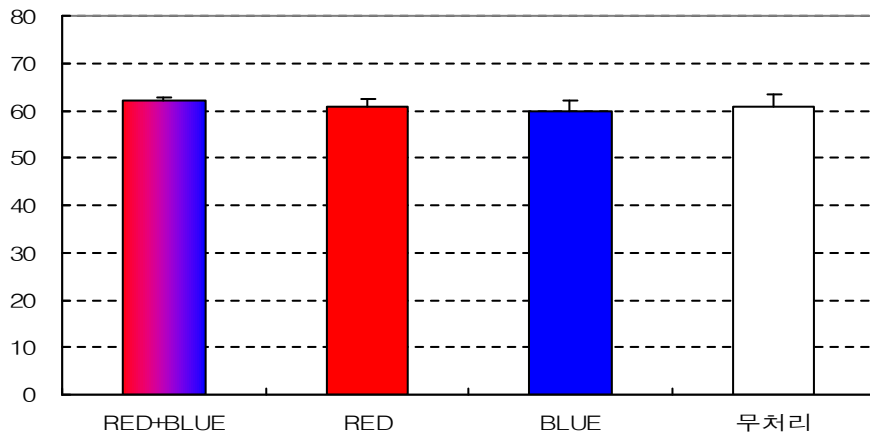


노영현 하우스

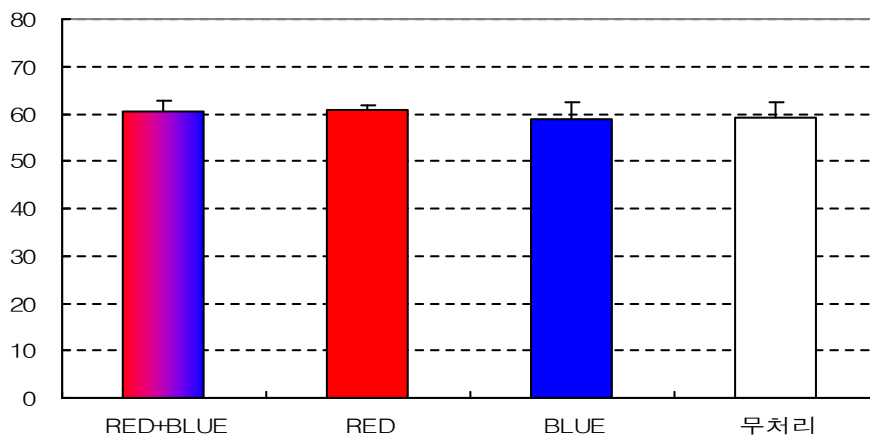
(3) SPAD



김상규 하우스

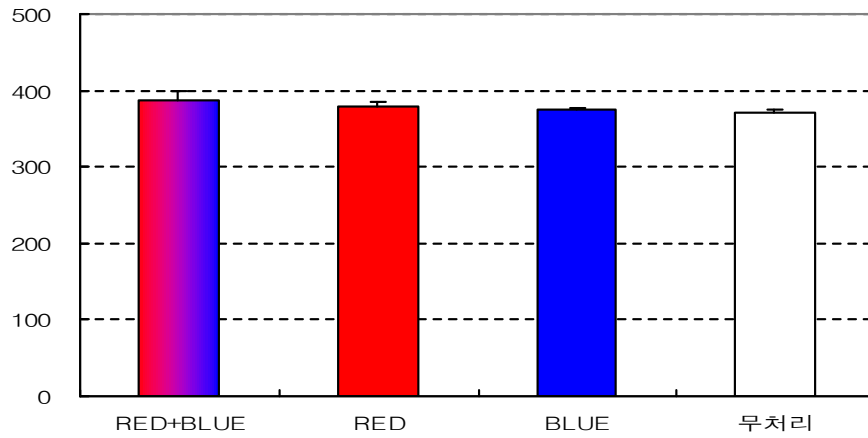


노성후 하우스

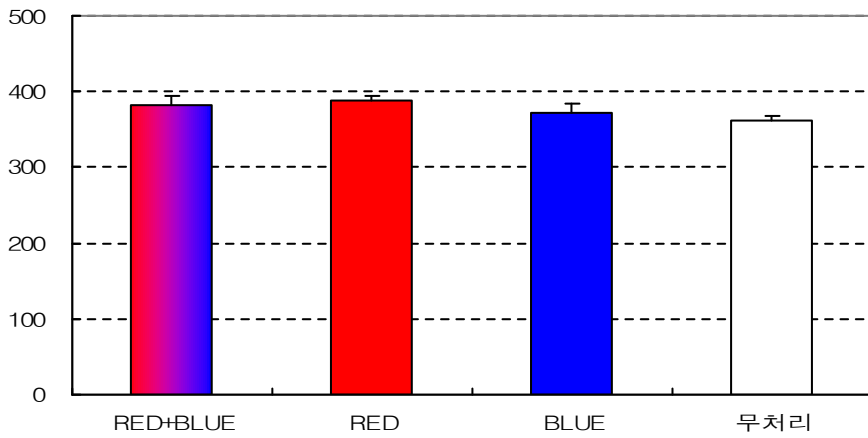


노영현 하우스

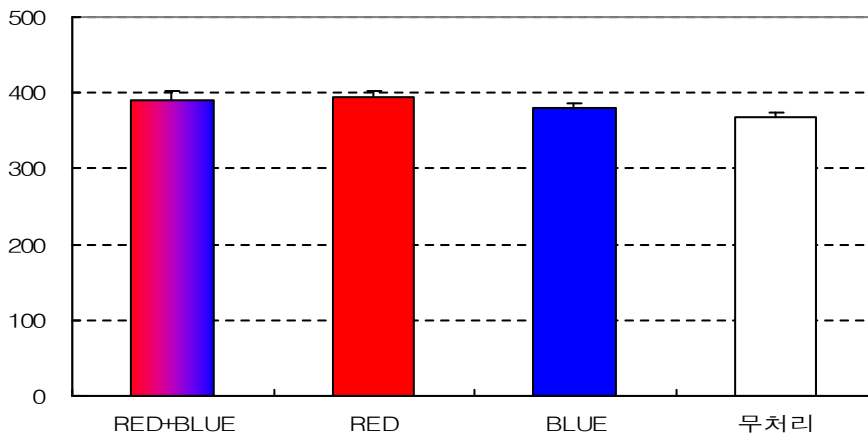
(4) 생체중



김상규 하우스

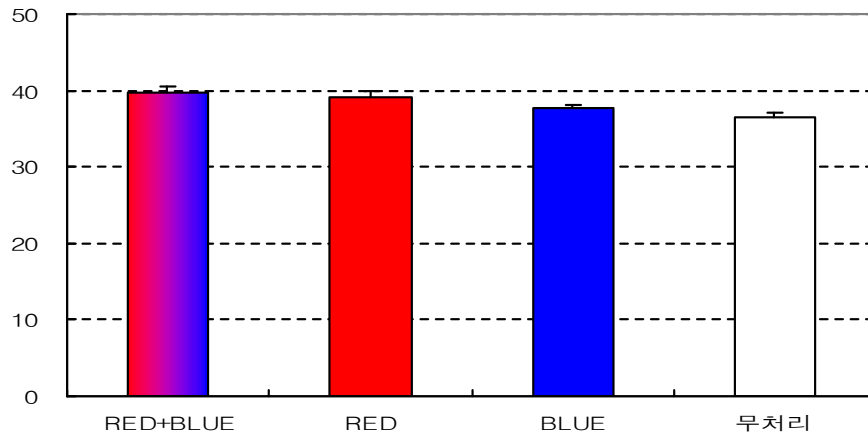


노성후 하우스

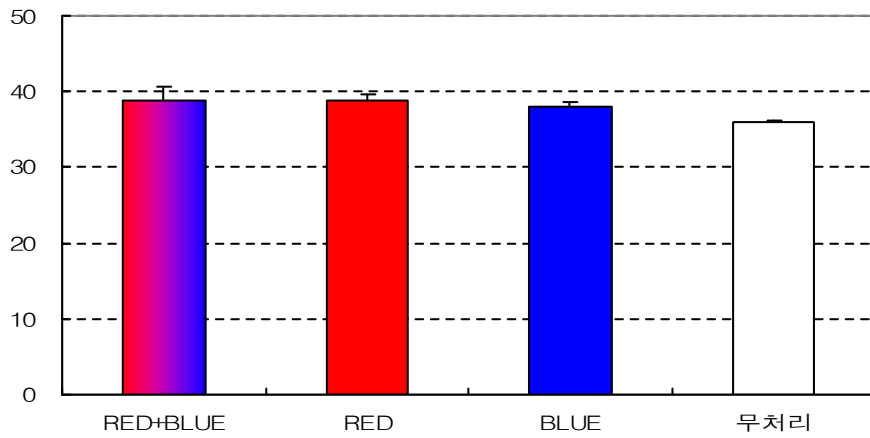


노영현 하우스

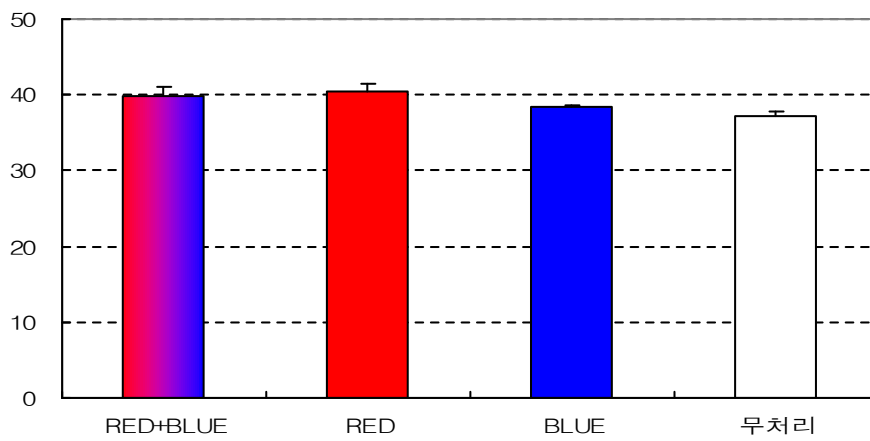
(5) 건물중



김상규 하우스



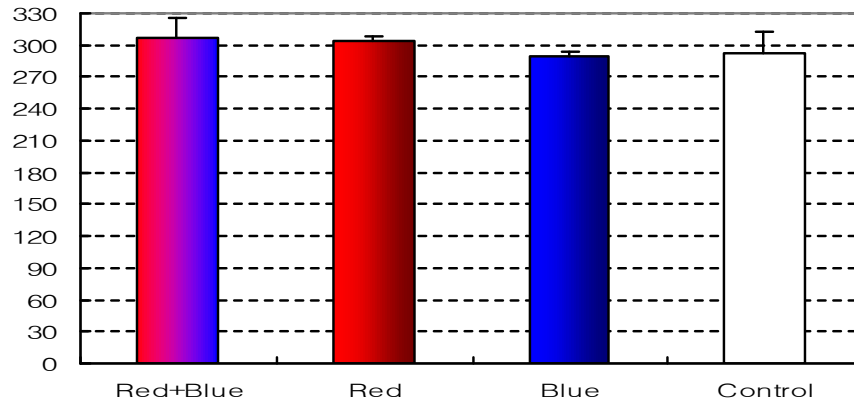
노성후 하우스



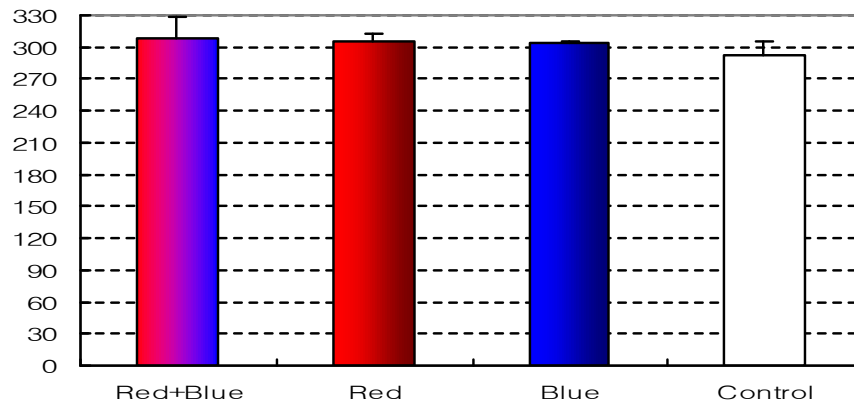
노영현 하우스

마. LED 광원별 참외 과실 특성 (수확 : 2010. 3. 6~20, 조사 : 3포기 3과 3반복)

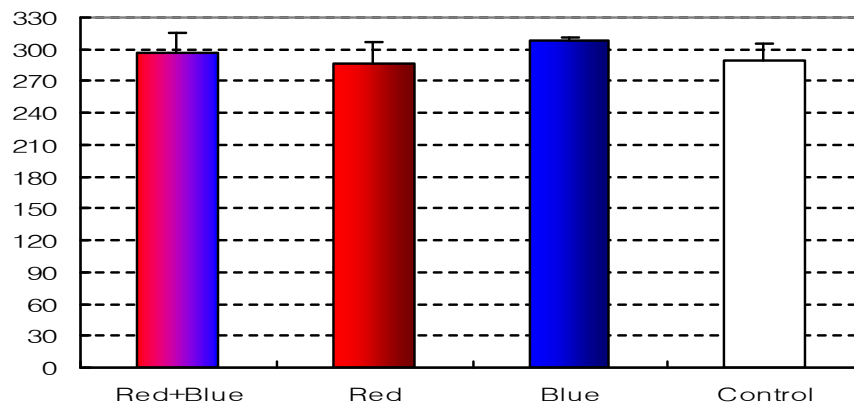
(1) 과중



김상규 하우스

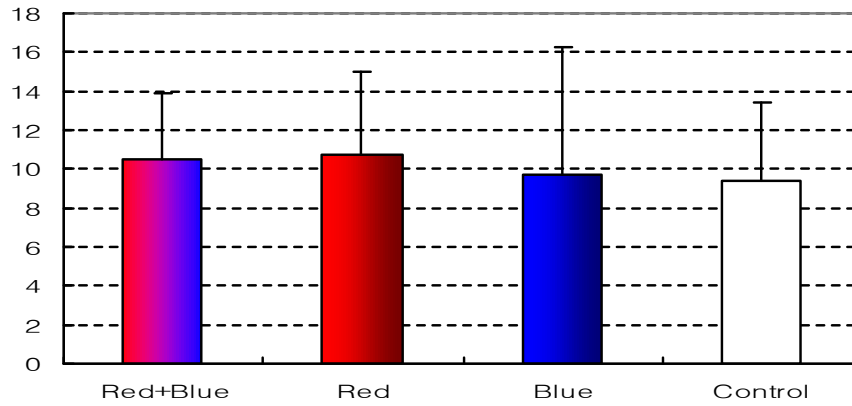


노성후 하우스

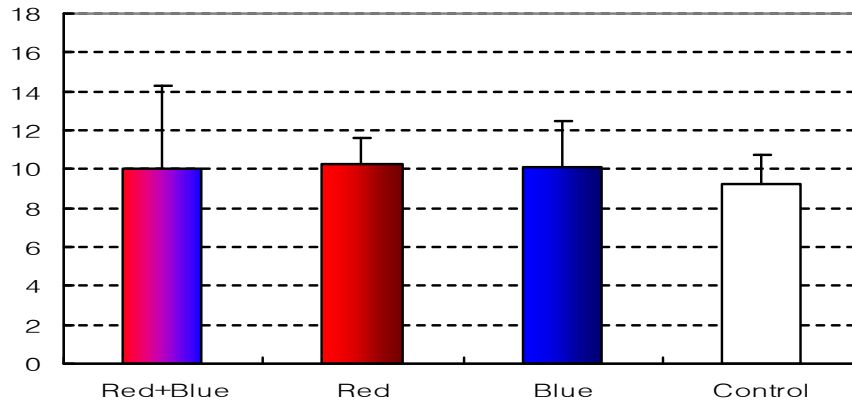


노영현 하우스

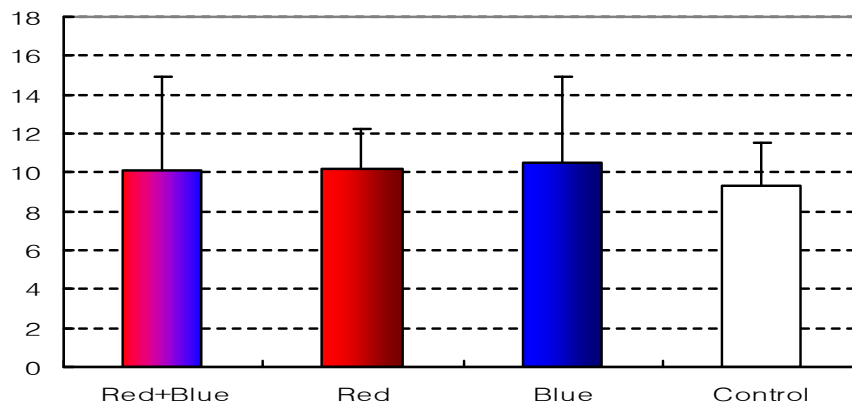
(2) 과장



김상규 하우스

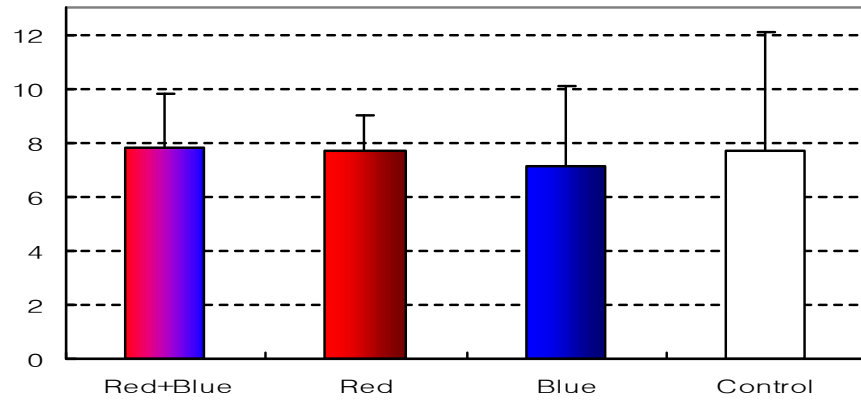


노성후 하우스

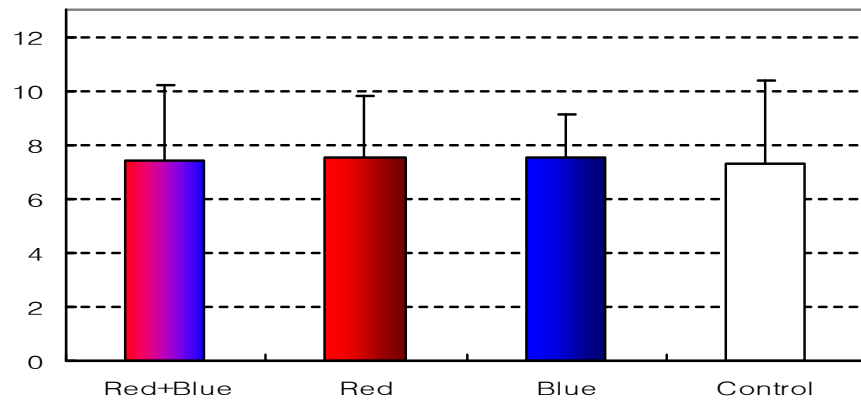


노영현 하우스

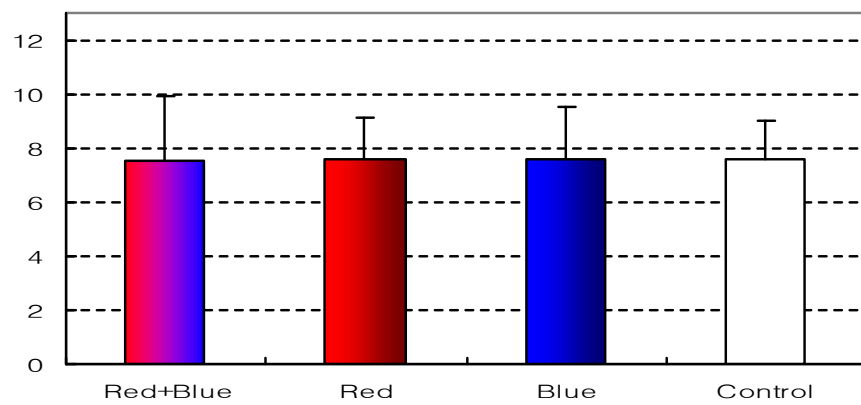
(3) 과폭



김상규 하우스

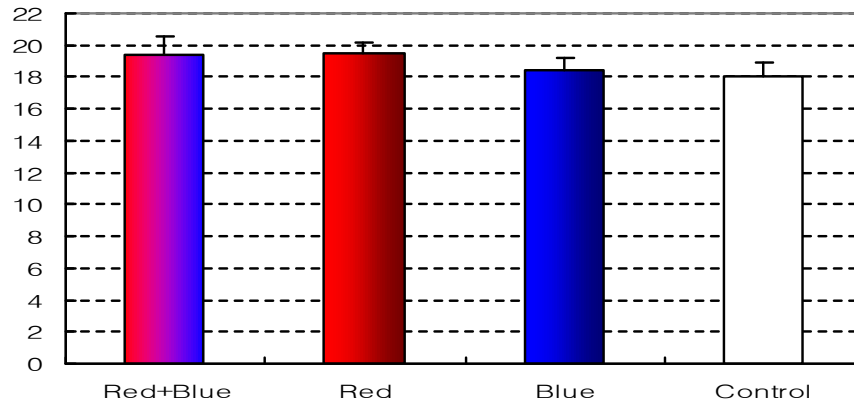


노성후 하우스

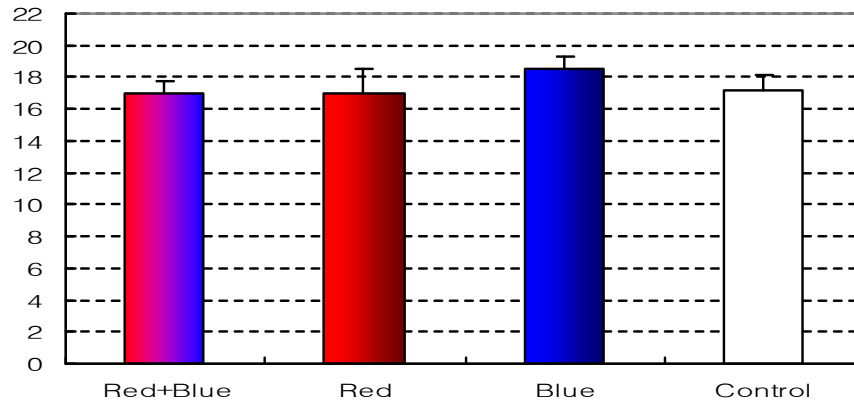


노영현 하우스

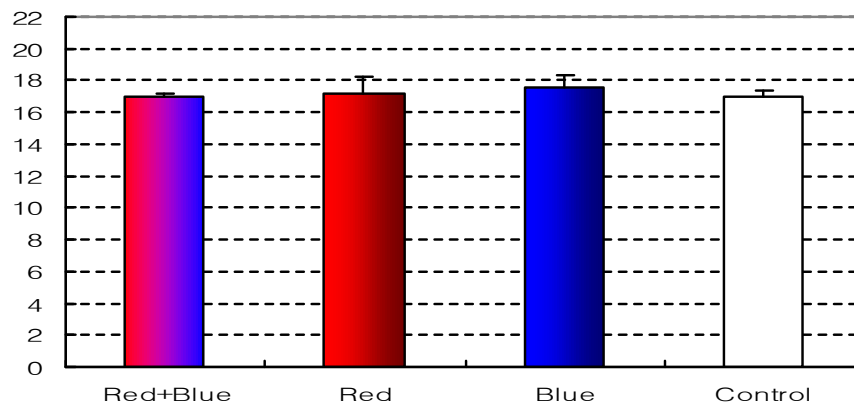
(4) 과육두께



김상규 하우스

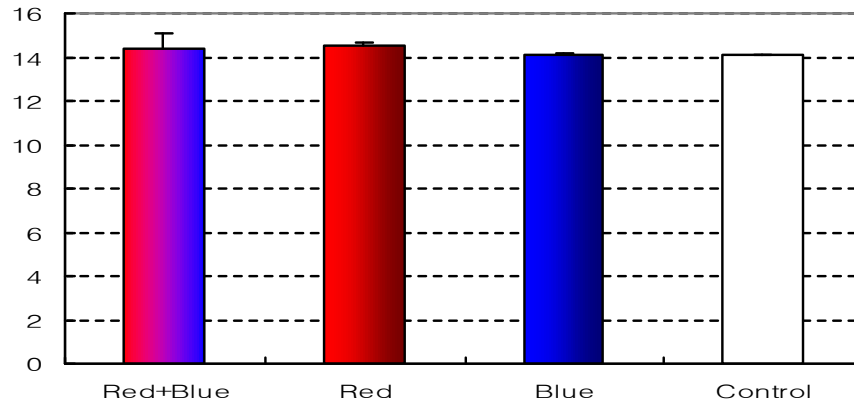


노성후 하우스

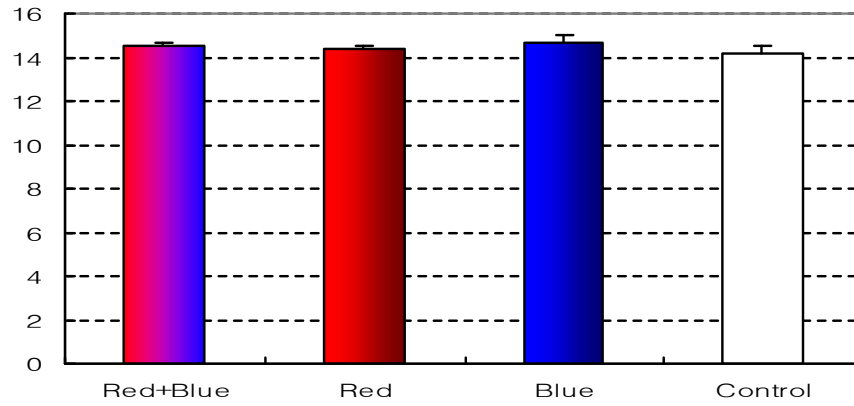


노영현 하우스

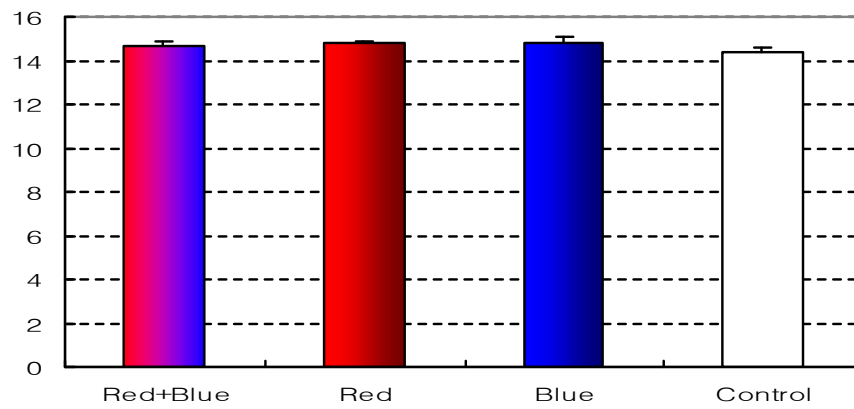
(5) 과육당도



김상규 하우스

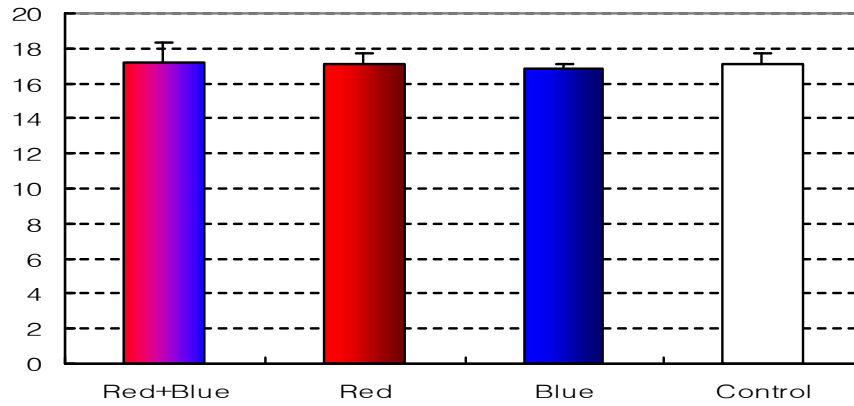


노성후 하우스

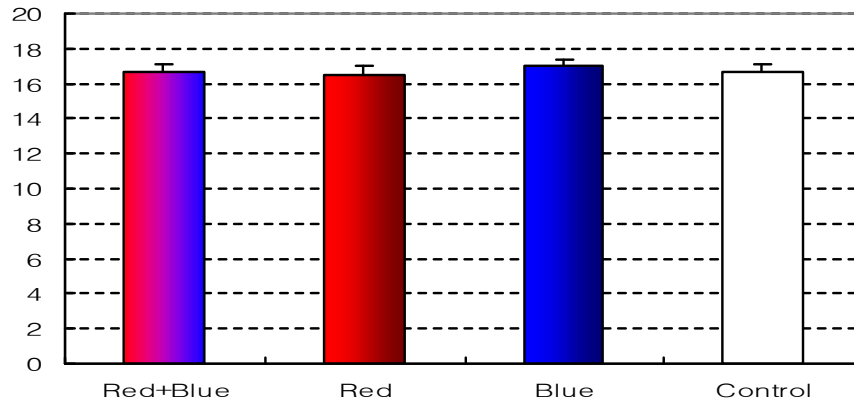


노영현 하우스

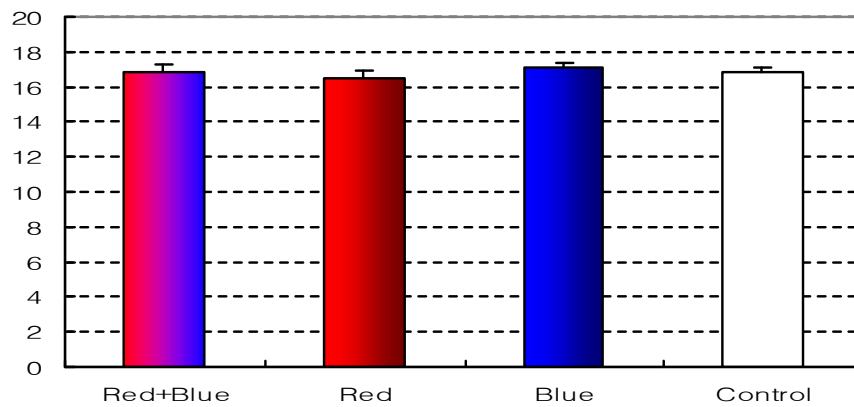
(6) 태좌당도



김상규 하우스

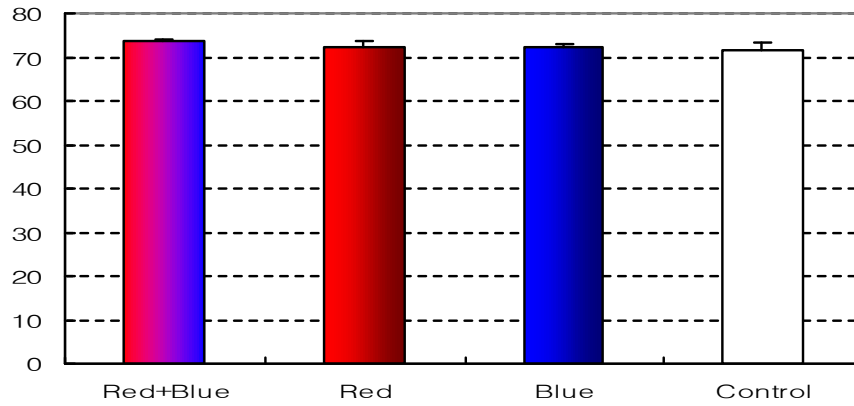


노성후 하우스

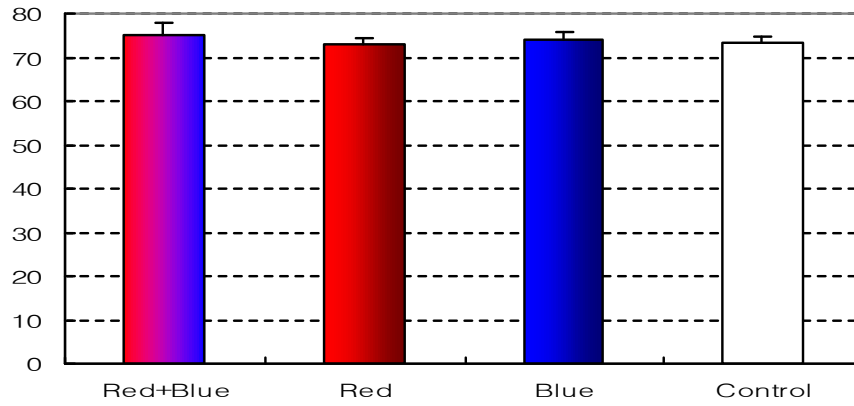


노영현 하우스

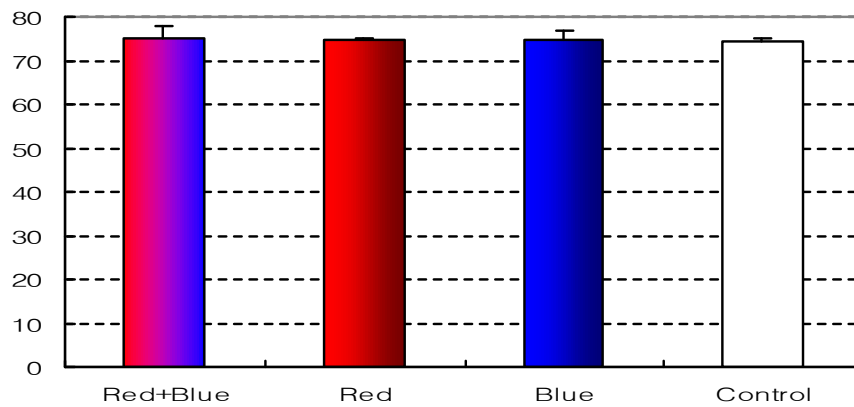
(7) 과피색도 (L값)



김상규 하우스

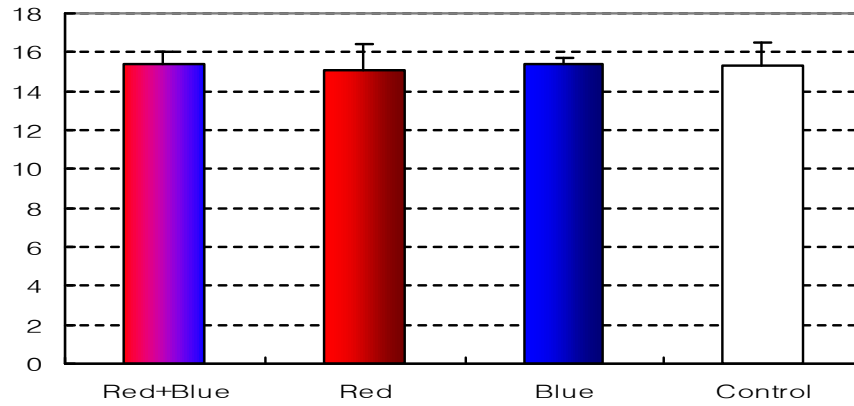


노성후 하우스

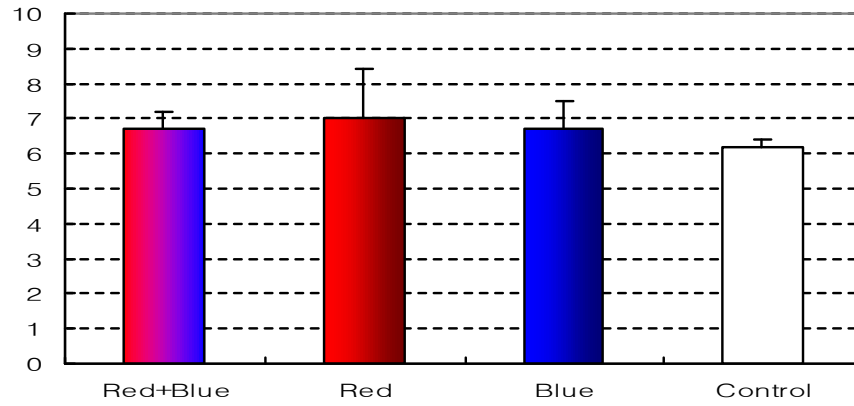


노영현 하우스

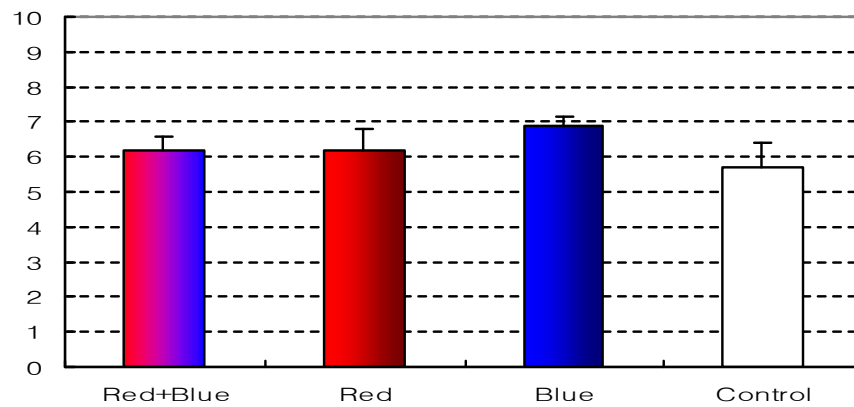
(8) 과피색도 (a값)



김상규 하우스

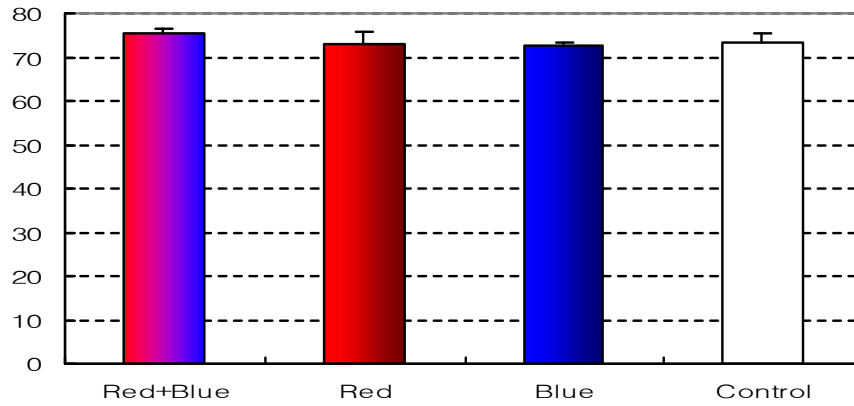


노성후 하우스

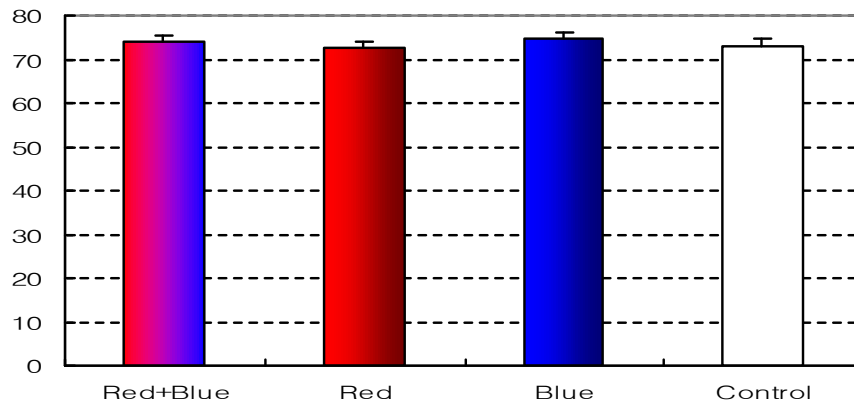


노영현 하우스

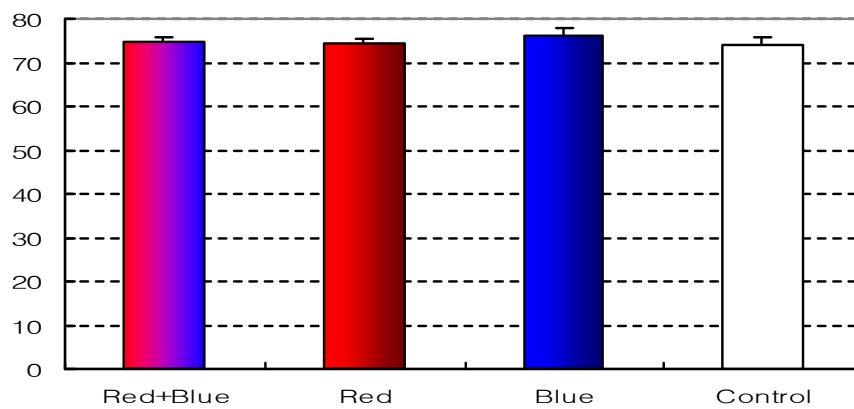
(9) 과피색도 (b값)



김상규 하우스

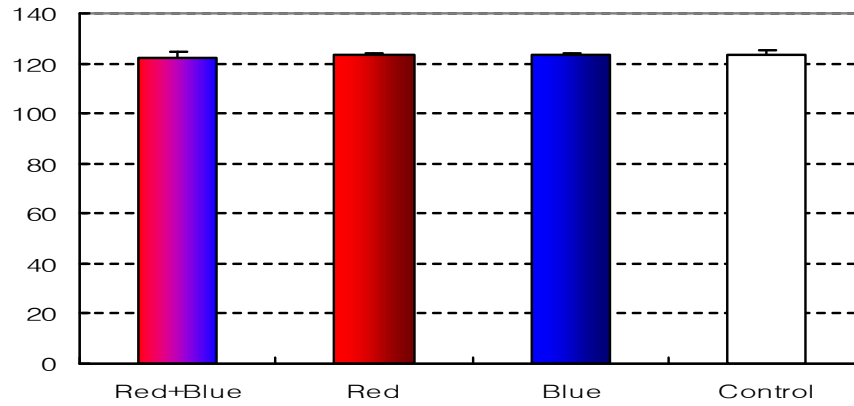


노성후 하우스

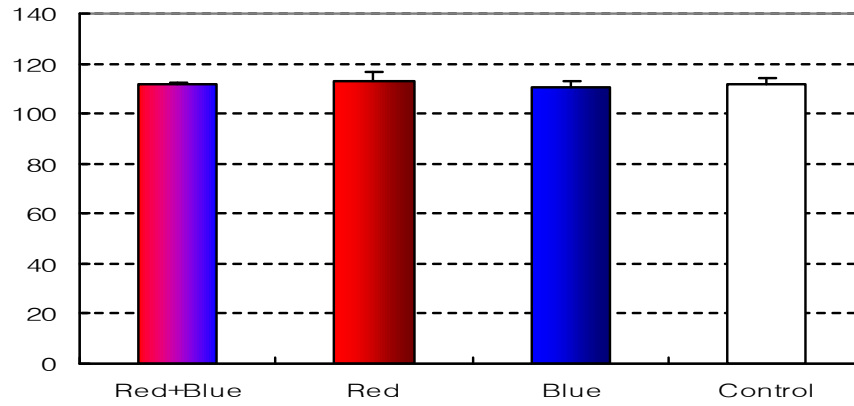


노영현 하우스

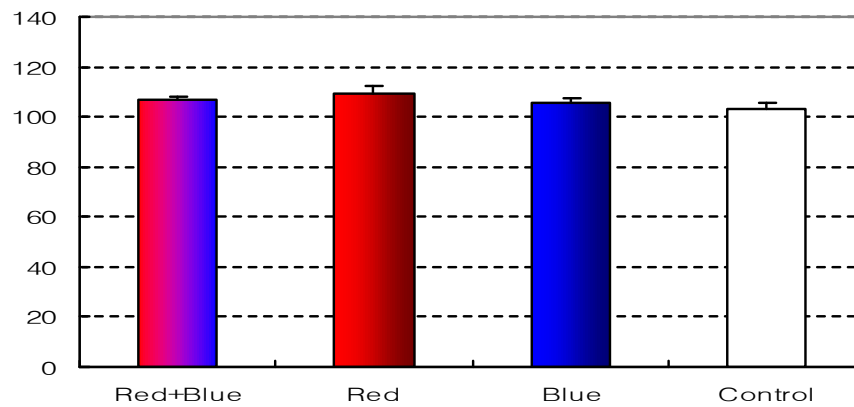
(10) 과피색도 (yellow index)



김상규 하우스



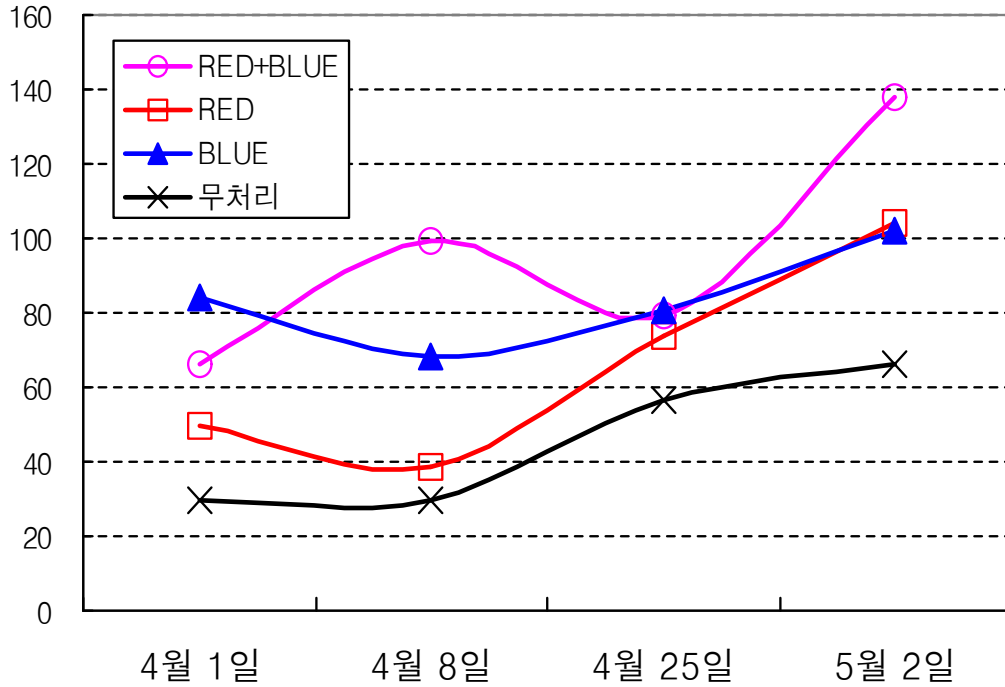
노성후 하우스



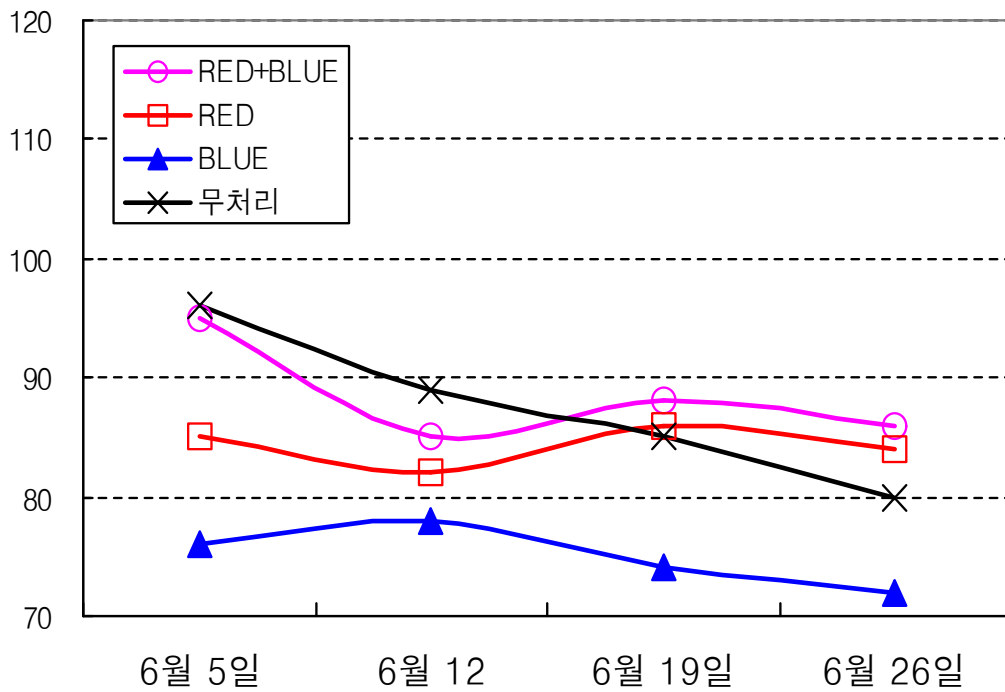
노영현 하우스

바. LED 설치 위치별, 시기별 참외 담배가루 발생의 경시적 변화

(1) LED 지상 0.2m 지점



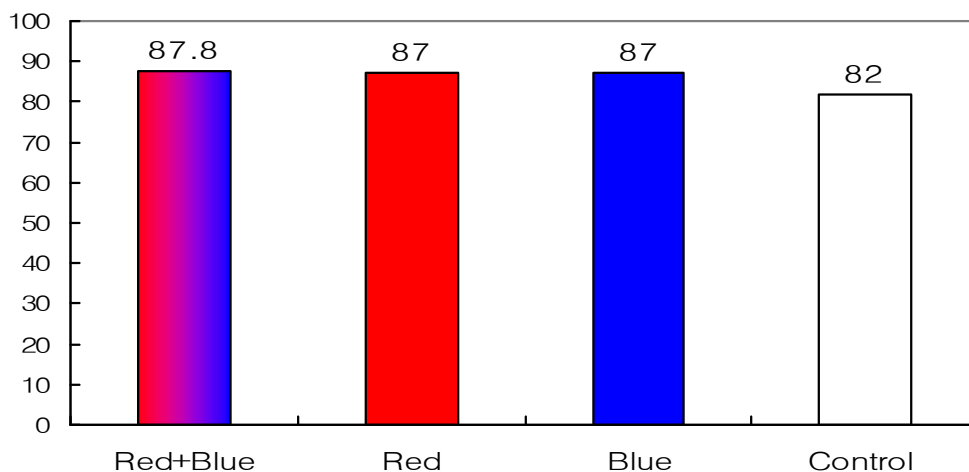
(2) LED 지상 2.0m 지점

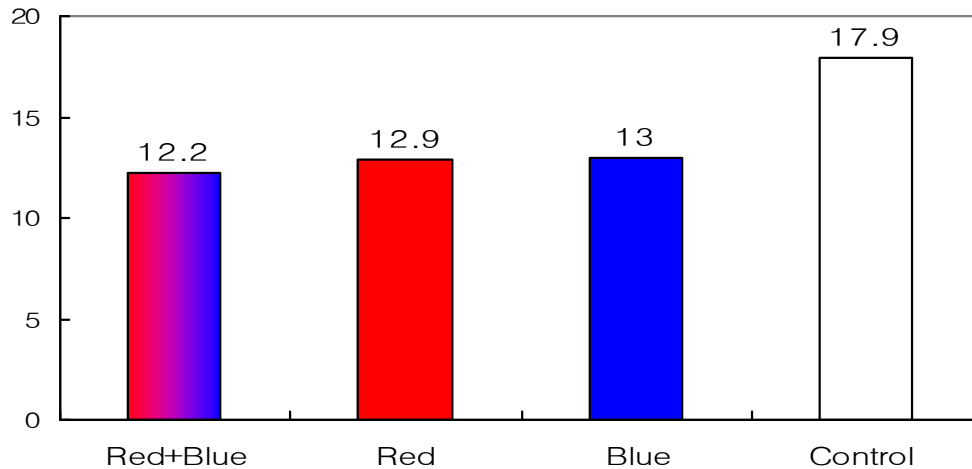


사. LED 광원별 참외 수량 (2010. 3. 6 ~ 4. 17)

처리내용	실증시험 농가명	상품과수 (과/3주)	상품과율 (%)	기형과율 (%)	상품수량 (g/3주)	상품 지수
Red+Blue	김상규	10.0	88.6	11.4	3,956	118
	노성후	10.0	88.2	11.8	4,027	122
	노영현	11.0	86.8	13.2	3,486	104
	평균	10.3	87.8	12.2	3,823	114
Red	김상규	9.0	82.9	17.1	3,819	114
	노성후	10.0	88.2	11.8	3,588	109
	노영현	12.0	90.0	10.0	3,530	108
	평균	10.3	87.0	12.9	3,645	110
Blue	김상규	10.0	84.6	15.4	3,833	114
	노성후	10.0	88.2	11.8	3,554	108
	노영현	10.0	88.2	11.8	3,426	105
	평균	10.0	87.0	13.0	3,604	109
Control	김상규	9.0	74.4	25.6	3,346	100
	노성후	10.0	85.7	14.3	3,292	100
	노영현	10.0	86.1	13.9	3,257	100
	평균	9.6	82.0	17.9	3,298	100

아. LED 광원별 참외 품질 (2010. 3. 6 ~ 4. 17)





자. Red+Blue 처리에 따른 참외 수량 (2010. 6. 1 ~ 7. 3)

실증시험 농가명	상품과수 (과/3주)	상품과율 (%)	기형과율 (%)	상품수량 (g/3주)	상품 지수
김상규	6	90.5	9.5	2,467	99
노성후	7	91.7	8.3	2,479	99
노영현	6	90.9	9.1	2,495	100
무처리	6	90.9	9.1	2,492	100

차. 결과요약

- (1) 3월 6일 Red+Blue 처리구의 광량자는 $93.7\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이었으나 6월 19일에는 $92.1\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, Red 처리구의 광량자는 $51.3\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이었으나 6월 19일에는 $50.4\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, Blue 처리구의 광량자는 $106.3\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이었으나 6월 19일에는 $105.7\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 큰 차이가 없었음.
- (2) LED처리 30일후 참외의 초장을 조사한 결과, 무처리구에 비하여 LED 처리구에서 다소 우수한 경향이었고, LED 처리간에는 Blue 처리보다는 Red+Blue(3:1) 혼합광 처리구 또는 Red 처리구에서 약간 우수한 경향있음.
- (3) LED처리 30일후 참외의 초장을 조사한 결과, 무처리구에 비하여 LED 처리구에서 다소 우수한 경향이었고, LED 처리간에는 Blue 처리보다는 Red+Blue(3:1) 혼합광 처리구 또는 Red 처리구에서 약간 우수한 경향있음.
- (4) LED처리 30일후 참외의 초장을 조사한 결과, SPAD 함량은 무처리구에 비하여 LED 처리구에서 다소 우수한 경향이었고, LED 처리간에는 Blue 처리보다는 Red+Blue(3:1) 혼합광 처리구 또는 Red 처리구에서 약간 우수한 경향있음.
- (5) LED처리 30일후 참외의 초장을 조사한 결과, 생체중은 무처리구에 비하여 LED 처리구에서 다소 우수한 경향이었고, LED 처리간에는 Blue 처리보다는 Red+Blue(3:1) 혼합광 처리구 또는 Red 처리구에서 약간 우수한 경향있음.

- (6) LED처리 30일후 참외의 초장을 조사한 결과, 건물중은 무처리구에 비하여 LED 처리구에서 다소 우수한 경향이었고, LED 처리간에는 Blue 처리보다는 Red+Blue(3:1) 혼합광 처리구 또는 Red 처리구에서 약간 우수한 경향있음.
- (7) LED처리에 따른 참외의 과실을 조사한 결과, 과중은 무처리구에 비하여 LED 처리구에서 다소 우수한 경향이었고, LED 처리간에는 Blue 처리보다는 Red+Blue(3:1) 혼합광 처리구 또는 Red 처리구에서 약간 우수한 경향있음.
- (8) LED처리에 따른 참외의 과실을 조사한 결과, 과장은 무처리구에 비하여 LED 처리구에서 다소 우수한 경향이었고, LED 처리간에는 Blue 처리보다는 Red+Blue(3:1) 혼합광 처리구 또는 Red 처리구에서 약간 우수한 경향있음.
- (9) LED처리에 따른 참외의 과실을 조사한 결과, 과폭은 무처리구에 비하여 LED 처리구에서 다소 우수한 경향이었고, LED 처리간에는 Blue 처리보다는 Red+Blue(3:1) 혼합광 처리구 또는 Red 처리구에서 약간 우수한 경향있음.
- (10) LED처리에 따른 참외의 과실을 조사한 결과, 과육두께는 무처리구에 비하여 LED 처리구에서 다소 두꺼웠으며 LED 처리구간에는 큰 차이가 없었음.
- (11) LED처리에 따른 참외의 과실을 조사한 결과, 과육의 당도는 무처리구에 비하여 LED 처리구에서 약간 높은 경향이었으나 LED 처리구간에는 큰 차이가 없었음.
- (12) LED처리에 따른 참외의 과실을 조사한 결과, 태좌의 당도는 무처리구에 비하여 LED 처리구에서 다소 높은 경향이었으나 LED 처리구간에는 큰 차이가 없었음.
- (13) LED처리에 따른 참외의 과피 색도를 조사한 결과, L, a, b, yellow index 모두 무처리구에 비하여 LED 처리구에서 다소 높은 경향이었으나 LED 처리구간에는 큰 차이가 없었음.
- (14) 담배가루이는 5월 이전에는 무처리구에 비하여 LED 처리구에서 많이 발생하였으나, 6월 이후에는 LED 처리구에서 전반적으로 적게 발생하였음.
- (15) 기형과율은 무처리구의 17.9%에 비하여 Red+Blue(3:1), Red, Blue 처리구에서 각각 12.2~13.0%로 다소 감소하였고, 상품과율은 증가하는 경향있음.
- (16) 저온기에는 상품수량은 무처리구에 비하여 Red+Blue(3:1), Red, Blue 처리구에서 다소 증가하는 경향이었으나, 6월 이후에는 모든 처리구에서 차이가 거의 없었음

카. 종합결과

이상의 결과를 종합하면, 무처리구에 비하여 LED 처리구에서 참외의 생육이 빠르고 참외의 품질이 다소 우수하고 상품수량이 약간 증가하는 경향이었는데, 이러한 것은 기상과 관련된 것으로 판단됨.

2010년의 경우 일조가 부족하고 온도가 낮고 강우가 많은 소위 저 일조 이상 기후 현상이 나타났으며, 이로 인한 보광효과가 크게 작용한 것으로 생각되며 이러한 것은 고온성, 호광성 작물인 참외의 특성을 감안하여 6월 이후 생육 후기에 조사한 참외의 수량이 무처리구와 차이가 없다는 점이 뒷받침하고 있다고 판단됨.

또한 참외재배에 LED를 이용하기 위해서는 11월부터 2월까지 육묘 및 정식초기에 효과가 클 것으로 판단됨. 따라서 기 연구된 시험결과를 바탕으로 참외 육묘전용 LED를 제작하여 농가 실증시험을 통한 기술보급이 필요한 것으로 판단됨.

제 2절 참외 안정생산을 위한 LED 이용 기술개발

1. 연구 수행 개요

- LED를 이용한 참외의 공정육묘, 착과증진, 생장 및 품질향상 기술개발

- LED를 이용한 참외 공정묘 생산 기술개발 : LED 파장별(적적색광, 초적색광, 적+초적색광, 청색광, 적색+청색광, 황색광, 백색광, UV광, 무처리) 묘소질, 접목 활착율 증진, 육묘공장 공정묘 대량생산 기반구축
- 참외 동계재배시 LED를 이용한 착과증진 기술개발 : LED 광선 종류별 개화촉진, 착과수(손만) 증진 기술개발
- 참외 동계재배시 생장 및 품질향상을 위한 LED 이용 기술개발 : 광합성 유효 광질, 광량 이용 고당도, 고품질 및 다수확 기술개발
- 참외 육묘기 암꽃개화 촉진을 위한 LED 이용기술 확립 : Red, Infrared, Green LED를 이용한 암꽃발생 농가실증시험
- 참외 동계재배시 생장 및 품질향상을 위한 LED를 이용기술개발 : Red, Blue, Red+IR 등 단색 또는 혼합광을 이용한 고품질 참외 생산기술 개발
- 참외 안정생산을 위한 LED 이용기술 농가 실증시험 : 개발된 기술 농가 현장실증시험을 통한 신기술 조기보급
- LED를 이용한 친환경 재배 방법 보급

2. 참외 재배에 필요한 LED 영향 및 효과 연구

가. 연구 수행 개요

- 참외 저온기에 대한 효과 연구와 고온기에 대한 효과 연구로 나누어 경북농원기술원 과채류시험장에서 수행하였으며, 시험 품종은 오복꽃참외 품종으로 1차 10가지 2차 12가지 LED의 효과에 대한 연구 수행
- LED 광조사 방법은 저온기와 고온기로 나누어 저온기에 일몰후 30분 LED 광조사, 고온기에 일몰후 3시간 광조사 처리 수행
- 연구에 사용된 LED는 길이 1m 바형 LED로 등기구당 200개의 램프형 단색 및 혼합광 LED를 실장하여 등기구 개발 적용
: Red, Infrared, Red+Infrared(4:1, 9:1), Yellow, Red+Blue(4:1, 9:1), Green, Blue, Ultraviolet, White 등기구 개발

○ 연구 수행 사진



<육묘기 시험 연구>



<정식후 실험연구>



<실험실 내부 시험 연구>



<현장 시험 조사>

나. LED 파장대별 재배 효과 연구

(1) LED 광량자

- 광합성 광양자 밀도(PPFD) : 식물의 광합성은 인간이 느끼는 시각각과는 무관하여, 식물재배에 필요한 광도를 구성하기 위해 광합성의 특성에 부합하는 단위($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)를 사용
- 연구실험에 적용한 LED 등기구의 광량자는 사용 초기의 측정값에 비해 3개월 후 재 측정시 광량자가 현저하게 낮아지는 문제가 있음
- 1차 재배에 적용한 LED 등기구의 경우 LED 칩이나 하우스에 방열에 대한 설계 고려가 미흡하고, 하우스내의 고온다습한 환경에 LED 칩 자체가 문제가 있는 것으로 보임
- 시제품 제작시 이러한 부분을 고려하여 방열설계, 고휘도 LED 사용 등으로 등기구 설계시 반영
- 또한 전원공급장치의 설계시 불안정한 전류공급으로 인한 광량자 감소의 영향이 있어 시제품 설계에 반영

(2) 묘소질

- LED 무처리구에 비하여 초적색광에서 초장의 길이, SPAD 함량, 절간장이 길었으며, 근장이 Red-Blue 혼합광에서 길게 나타남
- 전반적으로 묘소질은 무처리에 비해 생육이 우수한 편이나 각 LED 사이에는 차이가 적음

(3) 접목활착률

- 접목활착률은 무처리구에 비해 Yellow, Red+Blue, Green 처리구에서 다소 높으나 나머지 처리구에서는 비슷한 수준

(4) SPAD

- Red-Blue 혼합광에서 비교적 고르게 나타났고 White, Green, Red 처리구 순이었으나, 무처리, Infrared, Yellow 처리구에서는 고르지 않음. 다른 재배시험에서는 무처리구에 비하여 모든 LED 처리구에서 낮은 경향 나타냄

(5) 생육

- 생육은 초장은 Blue, Infrared, Red, 엽수는 Blue, Infrared, Red-Blue혼합광, SPAD는 Red-Blue혼합광, White, Red-Infrared혼합광, 엽장은 Infrared, Red, 엽수는 Infrared, Red, 엽폭은 Infrared, Red-Infrared혼합광, 절간장은 Blue, Infrared 를 처리한 곳에서 우수함을 나타냄

(6) 암꽃 발생률

- 암꽃 발생률은 무처리에 비해, Infrared에서 가장 많았고 White, UV, Red 순으로 많았으나, Green에서는 다른 처리에 비해 적게 발생함. 반면 고온재배시에는 Green과 UV에서 많이 발생함

(7) 과중 및 과피 색도

- 과중은 무처리구에서 비하여 모든 처리구에서 전반적으로 무거운 경향을 나타내었으나 당도는 큰 차이가 없었으며, 과피의 색도는 무처리한 곳에서 다소 우수함

(8) 상품 수량

- 상품수량은 무처리에 비하여 LED를 조사한 곳에서 수량이 다소 많은 경향을 나타내었고, 특히 Infrared, Red, Blue, UV, Red-Infrared혼합광, Yellow, Red+Blue혼합광에서 우수하였음

(9) 병해충

- 노균병은 Yellow 처리구에서 가장 효과가 좋았으며, UV, Blue, Green 에서 상대적으로 적음
- 담배가루이는 무처리에 비해, 모든 처리구에서 전반적으로 적게 발생하였으나, 특히 Red-Blue 혼합광에서 가장 적게 발생

다. 연구 결과 및 개선 방향

(1) 요약

- 참외 육묘기에 적색 LED를 밤 7시부터 하루에 30분 정도 비추어주면 비추어 주지 않는 것보다 암꽃이 두 배 정도 많이 생기는 것으로 확인됨으로 2009년 참외 암꽃이 오지 않아 문제가 되었던 칠성꽃참외와 같은 경우 적색의 LED를 연구수행시의 방법과 같이 정확하게 비추어 주면 암꽃 발생이 많아질 뿐만 아니라 수량도 20% 정도 증가하였음.
- 참외 정식 후 본포에 LED를 비추어주면 식물 생장이 촉진되고 병해충 발생이 감소하였음. 즉 청색, 적색 및 적외선의 LED를 비추어 주면 식물생육이 촉진되고 자외선 LED를 비추어 주면 참외의 뿌리 발달이 좋아짐. 또한 황색 LED를 비추어 주면 노균병 발생이 감소하기도 하였음.
- 참외에 청색 및 황색의 LED를 비추어주면 여름철에 많이 발생하는 청벌레(작은각시들명나방), 진딧물, 총채벌레 등이 해당 LED 파장을 기피하는 현상이 있어 친환경방제가 가능하였음.
- 참외, 딸기 등의 과채류에는 적색 LED를 비추어주면 런너 발생이 많아지고 자외선 및 적외선 LED를 비추어주면 탄저병 발생이 감소하기도 하였음.
- 과채류에 청색, 적색, 적외선 및 황색 LED를 비추어주면 화아분화 유도가 촉진되어 암꽃발생이 많아져 초기수량이 증가하였음.

(2) 결과 및 개선 방향

- 이상의 결과를 종합하면 참외 및 딸기 등의 과채류에 청색, 적색, 적외선을 비추어주면 생육이 촉진되고 암꽃 발생이 많아져 수량이 20% 정도 증가하는 경향이 있으며 또한 청색, 황색 및 자외선을 비추어주면 진딧물, 청벌레, 총채벌레, 노균병 등 병해충 발생이 감소하는 경향있음.
- 따라서 참외 및 딸기의 육묘기 또는 생육기에 적색 LED를 제작하여 참외 재배 선도농가에 소규모로 현장 실증시험을 실시하여 작물에 맞는 LED를 보급할 필요가 있다고 판단됨.
- 그러나 본 실험이 1년차 연구결과인 점을 감안한다면, 가시적인 성과를 나타낸 분야로 범위를 축소하여 해당 분야를 집중 연구하는 방법이 바람직하며 정확한 결과는 여러 변수를 고려하여 다시 한 번 더 충분히 검토한 후 확대 보급하는 것이 바람직하다고 판단됨.

3. 저온기 참외 재배시험

가. 수행방법

- (1) 시험품종 : 오복꿀참외/뚝심토좌호박
- (2) 처리내용 : ①RED, ②Infrared, ③Red+Infrared, ④Yellow, ⑤Red+Blue, ⑥Green, ⑦Blue, ⑧Ultraviolet A, ⑨White, ⑩Control
- (3) 처리시간
 - 2월 4일 ~ 5월 14일 : 19:00~19:30 (30분/일)
 - 5월 15일 ~ 9월 30일 : 19:00~19:30 (30분/일)
- (4) 재배법

파종기 (월.일)	접목기 (월.일)	정식기 (월.일)	재식거리 (cm)	시비량 (kg/10a)
2. 4	2. 18	3. 31	180×40	18.7-6.3-10.9-1,500

나. LED 처리 방법

- LED 램프 : 폭 3cm, 길이 50cm의 플라스틱에 1열에 25개씩 2열 50개를 부착한 회로판 2개 연결하여 100cm 알미늄 하우징으로 제작하여 각 처리를 컨트롤박스에서 제어할 수 있도록 제작하여 사용하였음(사진 1, 2)
- 육묘상 LED 설치방법 : 폭 2m, 길이 2m의 육묘상 지상 20cm 높이에 LED램프 2개를 20cm 간격으로 설치하여 처리하였음(사진 3)
- 본포 LED 설치방법 : 폭 1.8m, 길이 1.5m의 참외 재배이랑 지상 20cm 높이에 LED램프 2개를 50cm 간격으로 설치하여 처리하였음(사진 4)



사진 1. 시험에 사용한 LED 및 제어장치



사진 2. 시험에 사용한 RED 등 LED 램프



사진 3. 참외 육묘상 LED 광원별 처리전경 (2009. 3. 9)



사진 4. 참외 재배하우스 LED 광원별 처리전경 (2009. 3. 17)

다. 시험결과

(1) LED 광원별 광량자 측정 (측정높이 : 20cm)

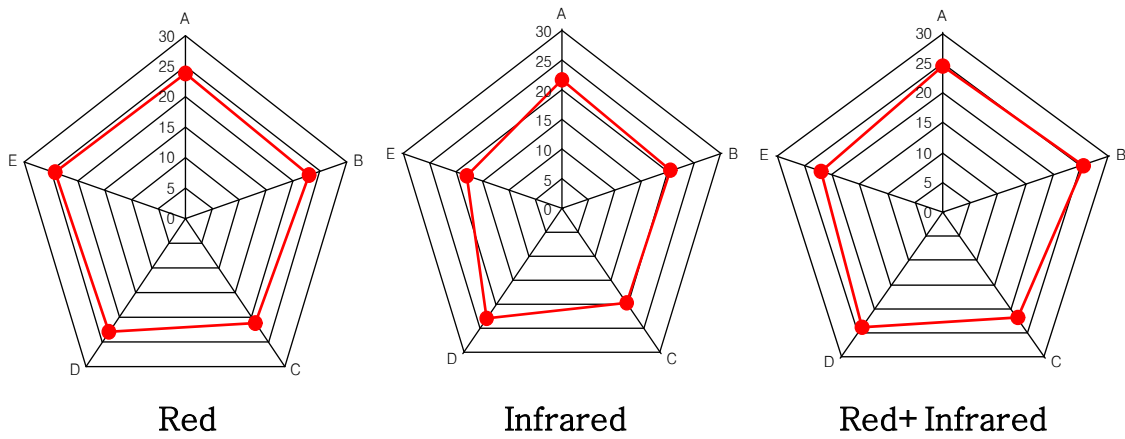
처리내용	파장 (nm)	측정일 (월.일)	측정치(PAR) $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	측정치(RAD) $\text{w} \cdot \text{s}^{-1}$
Red	660	5. 20	16.7	
		8. 18	8.9	
Infrared	730	5. 20		6,148
		8. 18		6,231
Red+IR	660+730	5. 20	15.5	
		8. 18	4.8	
Yellow	595	5. 20	5.1	
		8. 18	1.9	
Red+Blue	660+470	5. 20	13.9	
		8. 18	2.4	
Green	530	5. 20	15.4	
		8. 18	16.3	
Blue	470	5. 20	10.5	
		8. 18	6.3	
Ultraviolet A	395	5. 20		413.6
		8. 18		119.8
White		5. 20	14.7	
		8. 18	9.4	

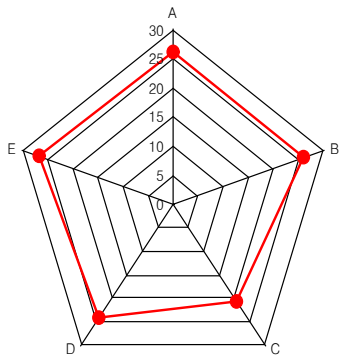
(2) 육묘기간 중 SPAD 함량측정 지점 (2009. 3. 9)



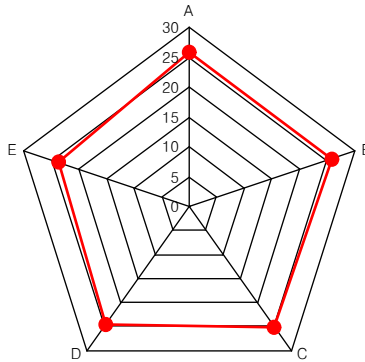
사진 5. 육묘기간 중 SPAD 함량측정 지점 (2009. 3. 9)

(3) 육묘기간 중 SPAD 함량 (2009. 3. 9)

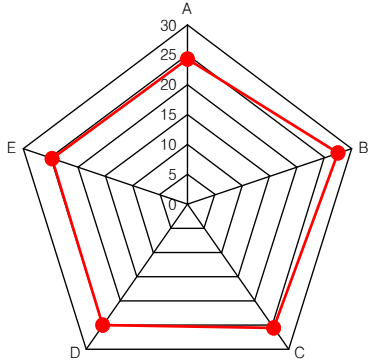




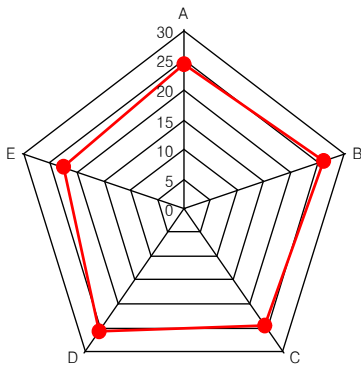
Yellow



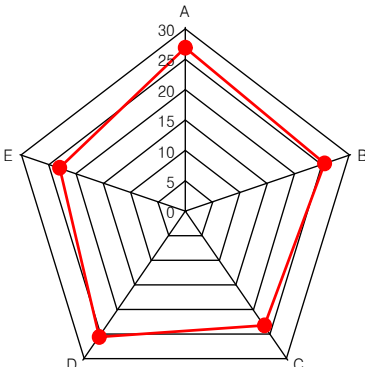
Red+ Blue



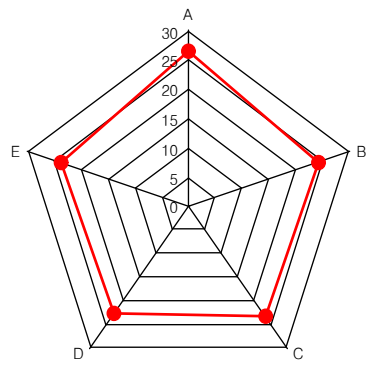
Green



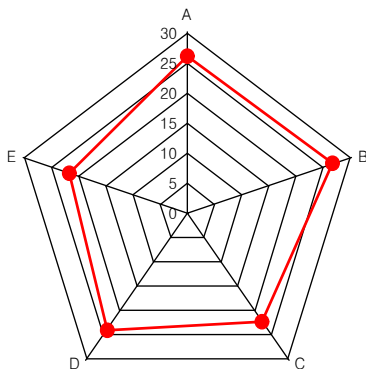
Blue



Ultraviolet



White



Control



Red



Infrared



Red+ Infrared



Yellow



Red+ Blue



Green



Blue



Ultraviolet



White



Control

라. LED 광원별 정식시 묘소질 (2009. 3. 31)

처리내용	초장 (cm)	엽수 (매/주)	SPAD	엽장 (cm)	절간장 (cm)	근장 (cm)	생체중 (g/지상부)	건물중 (g/지상부)
Red	23.5	9.7	37.0	7.0	1.8	21.0	10.7	0.92
Infrared	24.3	11.9	41.8	6.1	2.1	27.7	10.4	0.88
Red+IR	23.2	11.8	40.3	5.9	1.6	31.6	11.4	0.85
Yellow	23.8	12.8	38.4	5.8	1.7	17.6	12.0	0.95
Red+Blue	21.9	11.5	40.1	5.5	1.6	40.2	10.2	0.72
Green	23.3	11.2	37.6	5.7	1.5	20.8	11.2	0.76
Blue	21.3	11.5	39.9	5.3	1.9	17.2	10.7	0.76
Ultraviolet	22.6	12.7	38.7	5.6	1.8	19.8	11.3	0.87
White	24.1	11.5	37.1	6.0	1.7	24.5	11.5	0.91
Control	22.5	12.5	39.7	5.8	1.7	27.0	11.9	0.97



사진 6. LED 광원별 정식직전의 묘소질(Red, Infrared, Red+Infrared, Yellow, Red+Blue, Green, Blue, Ultraviolet, White, Control, 좌에서 우로, 3월25일)

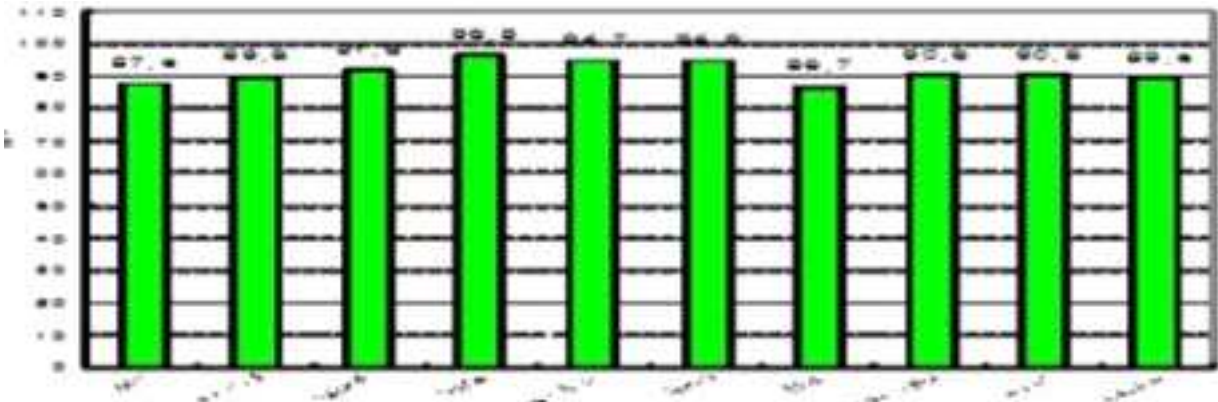


사진 7. LED 광원별 정식직전의 지상부 상태 (Red, Infrared, Red+Infrared, Yellow, Red+Blue, Green, Blue, Ultraviolet, White, Control, 위줄 좌에서 우로 시계방향, 3월25일)



사진 8. LED 광원별 정식직전의 지상부 상태 (Red, Infrared, Red+Infrared, Yellow, Red+Blue, Green, Blue, Ultraviolet, White, Control, 위줄 좌에서 우로 시계방향, 3월25일)

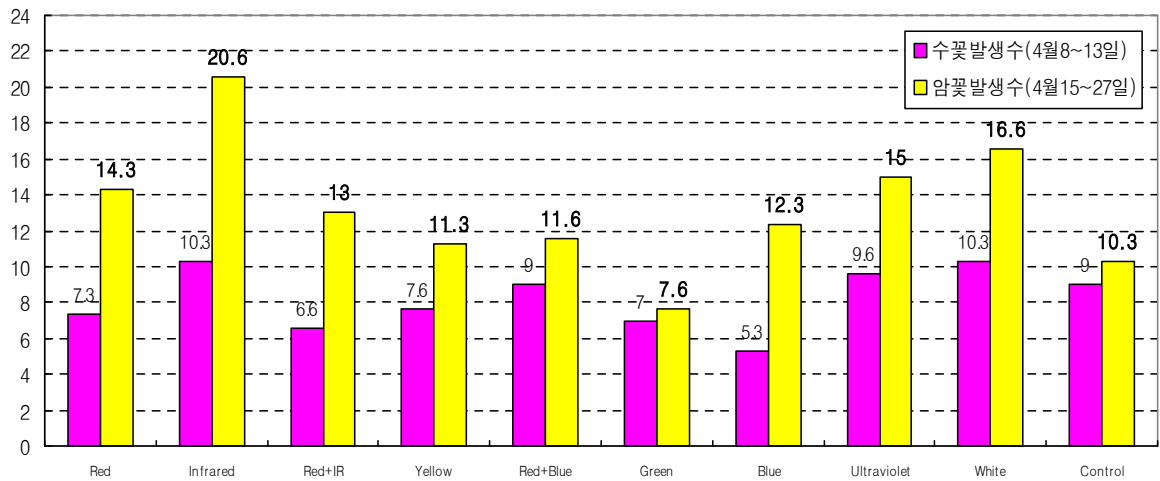
마. LED 광원별 편엽합접 접목활착률 (2009. 3. 31)



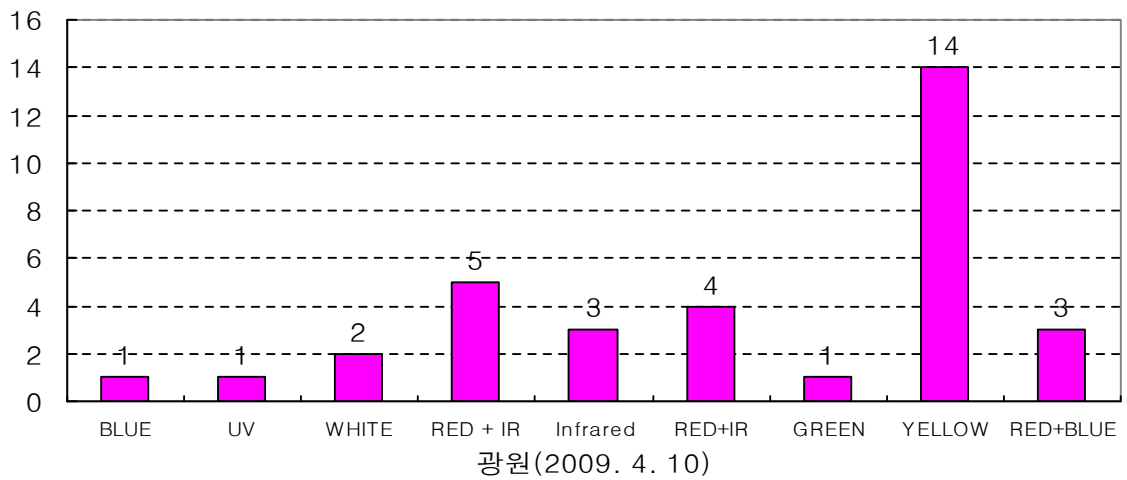
바. LED 광원별 정식직후 참외의 초기생육



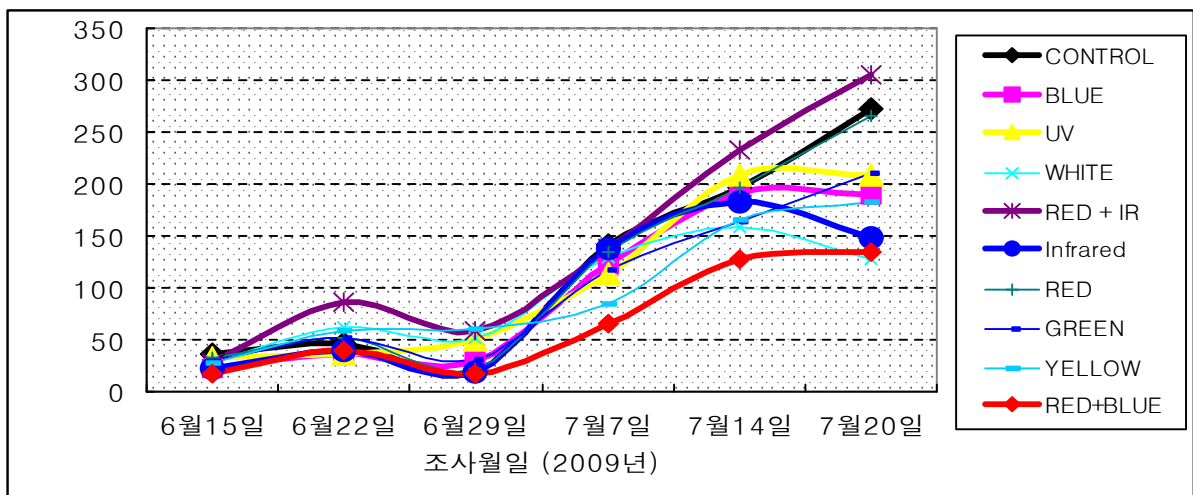
사. LED 광원별 개화수



아. LED 광원별 노균병 발생정도



자. LED 광원별 담배가루이 발생의 경시적 변화



차. LED 광원별 과실특성

(1) 조기재배 (2009. 5. 25 ~ 6. 5)

처리내용	과중 (g)	과장 (cm)	과폭 (cm)	과육두께 (mm)	당도 (°Brix)		경도 (g/cm ³)
					과육	태좌	
Red	432.4	13.3	7.7	19.5	11.9	14.7	2,005.8
Infrared	461.2	13.5	7.9	21.0	10.7	14.4	1,791.7
Red+IR	450.6	13.6	7.9	21.1	11.5	15.0	1,805.6
Yellow	407.1	13.2	7.7	19.3	12.5	15.3	1,768.3
Red+Blue	387.0	13.0	7.78	19.0	12.7	16.5	1,969.0
Green	407.1	13.3	7.7	18.8	13.0	17.2	1,958.5
Blue	345.7	12.5	7.6	19.8	10.4	15.8	1,625.8
Ultraviolet	413.5	13.1	7.8	19.4	11.7	15.3	1,799.2
White	462.3	13.4	8.0	19.6	11.9	15.4	900.5
Control	361.0	11.3	7.6	19.3	11.4	15.3	1,635.8

(2) 연장재배 (2009. 7. 9 ~ 9. 23)

처리내용	과중 (g)	과장 (cm)	과폭 (cm)	과육두께 (mm)	당도 (°Brix)		경도 (g/cm ³)
					과육	태좌	
Red	335.5	11.5	7.3	17.3	11.1	14.5	1,859.4
Infrared	323.3	11.6	7.2	17.6	11.1	14.2	1,850.6
Red+IR	310.2	11.4	6.9	16.5	10.4	13.9	1,863.2
Yellow	322.7	11.3	7.5	17.2	11.9	15.1	1,771.3
Red+Blue	319.4	11.7	7.3	17.2	11.1	14.8	1,986.1
Green	302.5	11.4	7.3	16.6	11.6	15.4	1,882.4
Blue	276.5	10.8	7.1	15.5	12.0	15.2	1,643.5
Ultraviolet	285.8	10.8	7.2	16.6	13.2	16.2	1,722.5
White	314.1	11.5	7.3	16.2	11.0	14.5	1,430.1
Control	307.0	11.1	7.0	16.8	10.9	14.3	1,832.7

카. LED 광원별 과피의 색도

(1) 조기재배 (2009. 5. 25 ~ 6. 5)

처리내용	L	a	b	Yellow index
Red	81.8	-4.3	78.1	102.2
Infrared	81.7	-1.9	84.1	108.1
Red+IR	84.4	-4.1	79.3	101.6
Yellow	81.8	-1.6	83.1	107.4
Red+Blue	81.2	-1.7	78.2	104.0
Green	79.2	-4.0	80.1	104.8
Blue	84.7	-5.0	84.3	102.5
Ultraviolet	82.4	-4.1	80.5	103.1
White	81.2	-2.9	80.8	104.8
Control	81.9	-1.8	82.2	108.8

(2) 연장재배 (2009. 7. 9 ~ 9. 23)

처리내용	L	a	b	Yellow index
Red	81.0	-1.9	80.0	107.0
Infrared	81.1	-1.5	75.7	102.8
Red+IR	80.8	-0.5	79.3	106.3
Yellow	81.1	-0.3	79.9	107.2
Red+Blue	80.1	-2.1	75.3	102.8
Green	80.1	-0.7	79.9	107.0
Blue	80.8	-0.4	75.9	107.4
Ultraviolet	81.1	-0.8	80.7	107.2
White	82.1	-2.3	80.4	105.4
Control	81.8	-3.9	67.3	100.4

타. LED 광원별 참외 수량특성

(1) 조기재배 (2009. 5. 25 ~ 6. 5)

처리내용	총수확과수 (과/3주)	상품과수 (과/3주)	상품과율 (%)	상품수량 (g/3주)	상품 지수
Red	22	21	95.4	8,970	170
Infrared	21	21	100	8,640	164
Red+IR	18	18	100	7,730	147
Yellow	18	18	100	7,120	135
Red+Blue	22	21	95.4	8,480	161
Green	15	15	100	6,130	116
Blue	15	15	100	5,260	99
Ultraviolet	23	22	95.6	8,910	169
White	22	22	100	9,940	189
Control	14	14	100	5,270	100

(2) 연장재배 (2009. 7. 9 ~ 9. 23)

처리내용	총수확과수 (과/5주)	상품과수 (과/5주)	상품과율 (%)	상품수량 (g/5주)	상품 지수
Red	109	109	100	31,786	128
Infrared	102	101	99.0	28,010	113
Red+IR	104	103	99.0	27,930	113
Yellow	83	83	100	21,996	89
Red+Blue	77	76	98.7	21,710	88
Green	129	127	98.4	32,100	130
Blue	102	101	99.0	26,940	109
Ultraviolet	119	119	100	32,480	131
White	93	91	98.8	26,280	106
Control	98	98	100	24,740	100

과. 시험결과 요약

- 5월 20일 Red 처리구의 광량자는 $16.7\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이었으나 8월 18일에는 $8.9\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 매우 낮았는데 다른 처리구도 비슷한 경향있음.
- 육묘기간 중 SPAD를 조사한 결과, Red+Blue 처리구에서 가장 고른 분포를 나타내었고 White, Green, Red 처리구 순이었으나, 무처리, Infrared, Yellow 처리구에서는 고르지 않았음.
- 정식시 묘소질 조사결과, 무처리구에 비하여 LED 처리구에서 초장, 엽수, SPAD, 엽장, 생체중 및 건물중은 큰 차이가 없었으나 근장은 Red+Blue 처리구에서 매우 길었음.
- 정식 7일후 참외의 생육은 무처리구에 비하여 초장은 Blue 및 Infrared 처리구에서, 엽수는 Blue, Infrared 및 Red+Blue 처리구에서, SPAD는 Red+Blue, White 및 Red+Infrared 처리구에서, 엽장은 Infrared 및 White 처리구에서, 엽수는 Infrared 및 Red 처리구에서, 절간장은 Blue 및 Infrared 처리구에서 우수한 경향있음.
- 접목 활착률은 무처리구의 89.5%에 비하여 Yellow, Red+Blue, Green 처리구에서 96.8~94.6%로 다소 높은 경향이였으나 나머지 처리구에서는 비슷한 경향있음.
- 암꽃 발생률은 무처리구의 10개에 비하여 Infrared 처리구에서 21개로 가장 많았고 White 16개, UV 15개, Red 14개 순으로 많았으나, Green 처리구에서는 8개로 다소 적은 경향있음.
- 노균병은 Yellow 처리구에서 가장 많았고 UV, Blue 및 Green 처리구에서 상대적으로 적었음.
- 담배가루이는 무처리구에 비하여 Red+Infrared 처리구를 제외한 모든 처리구에서 전반적으로 적게 발생하였으나, 특히 Red+Blue 처리구에서 가장 적게 발생하였음.
- 조기재배시 과중은 무처리구에서 비하여 모든 처리구에서 전반적으로 무거운 경향이였으나 당도는 큰 차이가 없었는데, 연장재배시에도 비슷한 경향있음.
- 과피의 색도는 조기재배시에는 무처리구에서 다소 우수한 경향이였으나, 연장재배시에는 LED 처리구에서 다소 우수한 경향있음.
- 상품수량은 조기재배 및 연장재배 공히 무처리구에 비하여 LED 처리구에서 많은 경향있음.
- 이상의 결과를 종합하면 LED 처리로 참외의 묘소질 및 초기생육이 우수하고 암꽃 발생률이 많고 과중이 무겁고 상품수량은 증가하는 경향있음. 그러나 당도 등 품질은 큰 차이가 없었는데 이것은 생육 후기로 갈수록 LED 광량자가 감소하였기 때문으로 추정됨. 특히, 과채류의 경우 생육기간이 길고 영양생장 및 생식생장이 동시에 이루어지는 점과 생장상의 변화에 따른 영향을 검토하는 경우에는 광량자가 매우 중요한 영향을 미칠 것으로 판단됨.
- 따라서 다음 년도에는 Red, Blue, Infrared 등의 단색광과 Red+Infrared 및 Red+Infrared 등의 혼합광을 축약시키는 대신, 시험면적을 넓혀 고휘도 LED 사용, 광량자 변화가 적은 램프 선택 등을 고려하여 생육, 개화, 병해충, 품질 및 수량에 대한 재현성과 재검토가 전반적으로 필요한 것으로 판단됨.

4. 고온기 참외 재배시험

가. 수행방법

- (1) 시험품종 : 오복꿀참외/뚝심토좌호박
- (2) 처리내용 : ①RED, ②Red+Blue(4:1), ③Red+Blue(9:1), ④Blue, ⑤Red+Infrared(4:1), ⑥Red+Infrared(9:1), ⑦Infrared, ⑧Yellow, ⑨Green, ⑩Ultraviolet A, ⑪White, ⑫Control
- (3) 처리시간 및 방법
 - 육묘기 : 4월 1일 ~ 5월 10일(19:00~22:00, 3, 6시간/일), 지상 20cm 조사
 - 정식이후 : 5월 15일 ~ 5월 31일(19:00~01:00, 3, 6시간/일), 지상 20cm 조사
 - 정식이후 : 6월 1일 ~ 10월 10일(19:00~01:00, 3, 6시간/일), 지상 100cm 조사
- (4) 재배법

파종기 (월.일)	접목기 (월.일)	정식기 (월.일)	재식거리 (cm)	시비량 (kg/10a)
4. 1	4. 15	5. 11	180×40	18.7-6.3-10.9-1,500

나. LED 처리 방법

- 육묘장 : 시험 1의 저온기 재배시험에 사용된 LED와 동일(사진 1, 2, 3).
- 본 포 : 1차 시험에서 사용한 LED는 사각지역이 많고 광량이 부족하여(사진 9), 2차 시험에서는 문제점을 개선하기 위하여 라운드형으로 개조(사진 10)하였음. 2차 시험에 사용된 LED는 폭 3cm, 길이 50cm의 알루미늄 1열에 50개씩 부착한 회로판 6개 연결하여 LED램프 300개를 폭 8cm, 길이 100cm 스테인레스 하우징으로 제작하여 각각 컨트롤박스에서 제어 할 수 있도록 제작하여 사용하였음.(사진 11, 12)

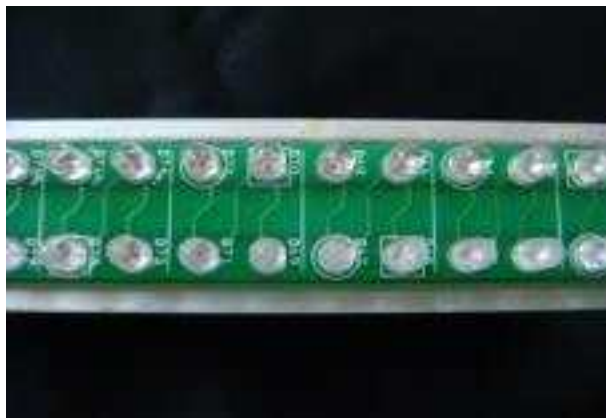


사진 9. 1차 시험에 사용된 LED 모듈

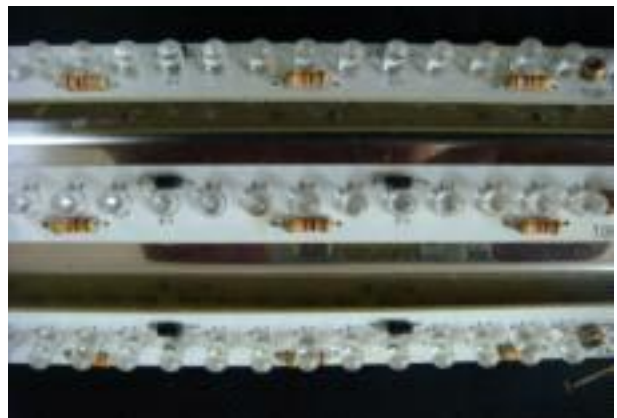


사진 10. 2차 시험에 사용된 LED 모듈



사진 11. 재배시험전경 [1차 시험(오른쪽), 2차시험(왼쪽)], (2009. 5. 25)



사진 12. LED 광원별 2차 재배시험 전경 (2009. 10. 10)

다. 시험결과

(1) LED 광원별 광량자 측정 (측정일 5월 20일)

처리내용	파장 (nm)	측정위치 (cm)	측정치(PAR) $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	측정치(RAD) $\text{w} \cdot \text{s}^{-1}$
Red	660	20	9.8	
		100	2.9	
Red+Blue(4:1)	660+470	20	15.8	
		100	3.8	
Red+Blue(9:1)	660+470	20	17.4	
		100	2.9	
Blue	470	20	19.8	
		100	5.3	
Red+Infrared(4:1)	660+730	20	15.8	2,318
		100	6.7	779
Red+Infrared(9:1)	660+730	20	17.4	2,004
		100	7.4	794
Infrared	730	20		3,037
		100		1,354
Yellow	595	20	10.0	
		100	2.9	
Green	530	20	21.4	
		100	5.2	
Ultraviolet A	395	20		319.9
		100		140.1
White		20	21.6	
		100	530	

(2) 광원별 정식시 묘소질 (2009. 5. 11)

처리내용	처리 시간	초장 (cm)	엽수 (매/주)	SPAD	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	근장 (cm)	생체중 (g/주)		생체중 (g/주)	
								지상부	지하부	지상부	지하부
Red	3	26.5	11.3	43.0	7.7	9.6	27.4	14.7	3.9	1.4	0.4
	6	26.4	9.3	39.3	7.8	9.8	28.5	13.3	3.0	1.3	0.2
Red+Blue(4:1)	3	26.3	10.3	37.9	7.4	9.4	29.2	15.7	4.2	1.7	0.3
	6	26.6	9.3	36.5	7.1	9.3	28.5	13.5	4.2	1.2	0.4
Red+Blue(9:1)	3	26.0	10.0	41.5	7.0	9.2	31.0	14.9	4.9	1.5	0.4
	6	26.3	10.7	40.3	7.6	9.5	30.1	15.6	4.1	1.4	0.4
Blue	3	27.5	9.3	28.6	7.7	9.4	22.2	14.2	5.2	1.4	0.3
	6	26.6	9.7	38.6	7.8	10.2	29.4	15.0	4.8	1.3	0.4
Red+Infrared(4:1)	3	27.7	10.0	37.8	8.1	10.0	37.2	15.1	3.9	1.4	0.3
	6	25.7	10.3	37.6	7.7	9.7	28.3	16.8	4.0	1.5	0.4
Red+Infrared(9:1)	3	27.8	9.0	36.5	7.9	9.5	30.1	15.8	3.6	1.6	0.2
	6	26.8	8.7	38.8	7.4	9.0	27.2	14.7	3.6	1.3	0.4
Infrared	3	26.5	10.7	39.5	7.7	9.6	27.4	14.7	3.9	1.4	0.4
	6	25.8	9.3	42.5	6.9	8.7	32.4	14.4	3.6	1.6	0.3
Yellow	3	27.4	10.7	39.9	8.1	10.1	36.9	17.8	4.3	1.6	0.3
	6	27.5	10.7	39.1	8.0	9.8	25.4	18.6	4.4	1.9	0.4
Green	3	26.5	11.3	40.6	7.6	9.5	25.7	16.0	6.1	1.6	0.4
	6	27.0	10.3	38.6	7.8	9.8	28.0	16.0	4.4	1.6	0.4
Ultraviolet	3	26.9	9.3	36.4	7.6	9.5	52.0	14.5	3.9	1.3	0.3
	6	26.3	9.7	41.1	7.6	9.4	36.4	15.2	3.5	1.4	0.3
White	3	27.5	10.0	40.9	8.1	9.9	32.9	15.3	4.4	1.4	0.2
	6	27.7	7.7	35.0	8.0	9.8	30.2	13.6	3.1	1.2	0.3
Control	-	24.4	10.3	44.1	6.9	8.6	26.3	14.6	3.8	1.5	0.2



사진 13. 하루 3시간 처리한 참외의 묘소질 (Red, Infrared, Red+Infrared(4:1), Red+Infrared(9:1), Yellow, Red+Blue(4:1), Red+Blue(9:1), Green, Blue, Ultraviolet, White, Control, 좌에서 우로, 5월 11일)



사진 14. 하루 6시간 처리한 참외의 묘소질 (Red, Infrared, Red+Infrared(4:1), Red+Infrared(9:1), Yellow, Red+Blue(4:1), Red+Blue(9:1), Green, Blue, Ultraviolet, White, Control, 좌에서 우로, 5월 11일)

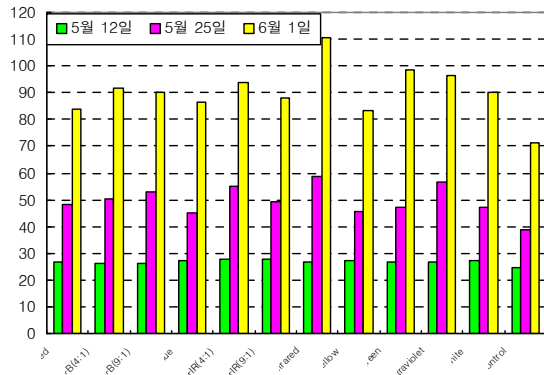


사진 15. 하루 3시간 처리한 참외의 묘소질 (Red, Infrared, Red+Infrared(4:1), Red+Infrared(9:1), Yellow, Red+Blue(4:1), Red+Blue(9:1), Green, Blue, Ultraviolet, White, Control, 좌에서 우로, 5월 11일)

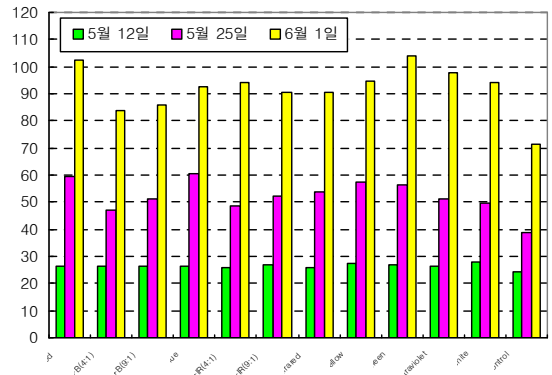


사진 16. 하루 3시간 처리한 참외의 묘소질 (Red, Infrared, Red+Infrared(4:1), Red+Infrared(9:1), Yellow, Red+Blue(4:1), Red+Blue(9:1), Green, Blue, Ultraviolet, White, Control, 좌에서 우로, 5월 11일)

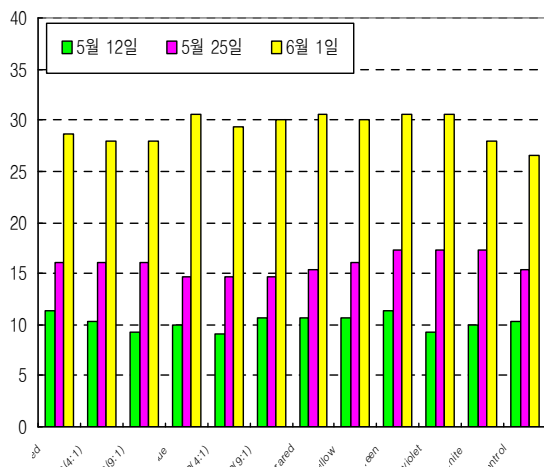
(3) LED 광원별 정식직후 참외의 초기생육



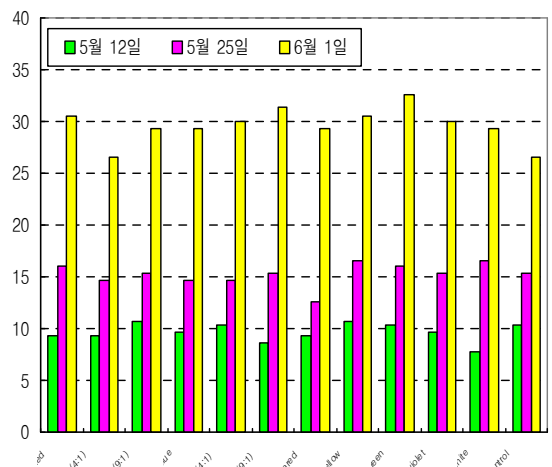
3시간/일



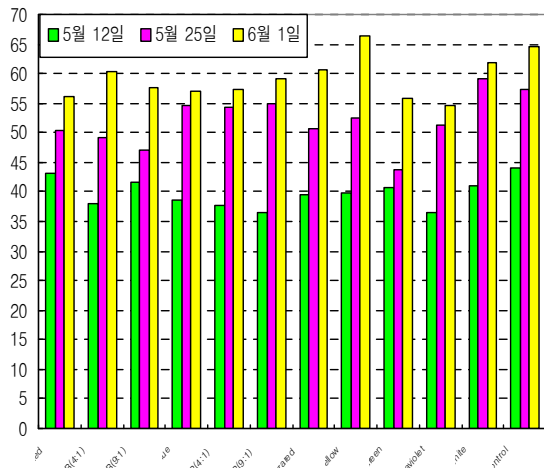
6시간/일



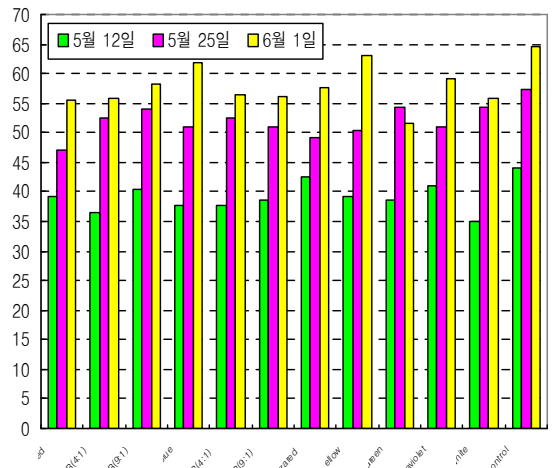
3시간/일



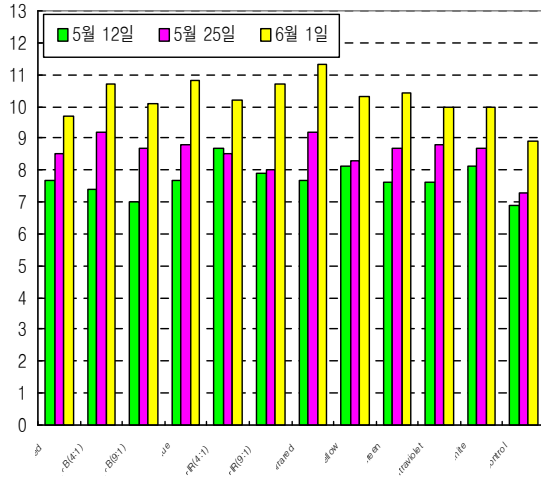
6시간/일



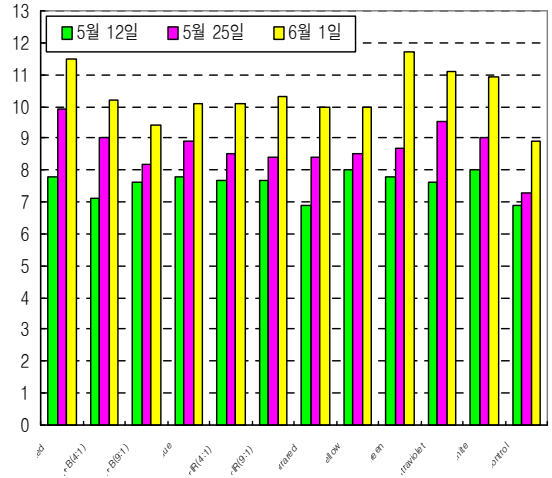
3시간/일



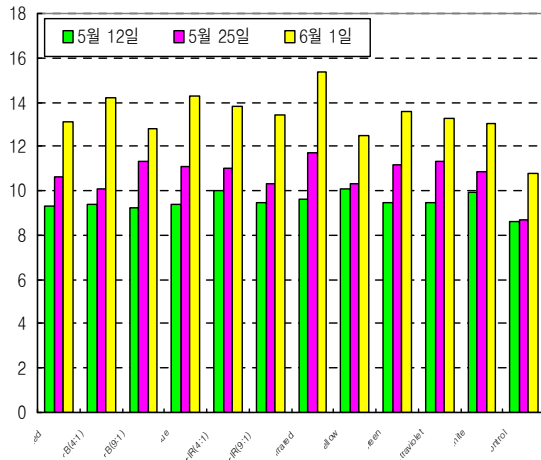
6시간/일



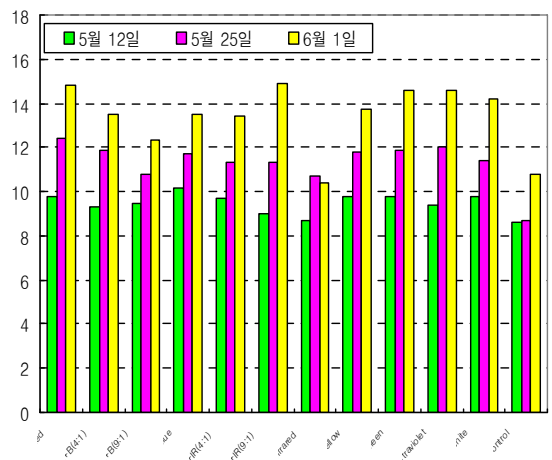
3시간/일



6시간/일

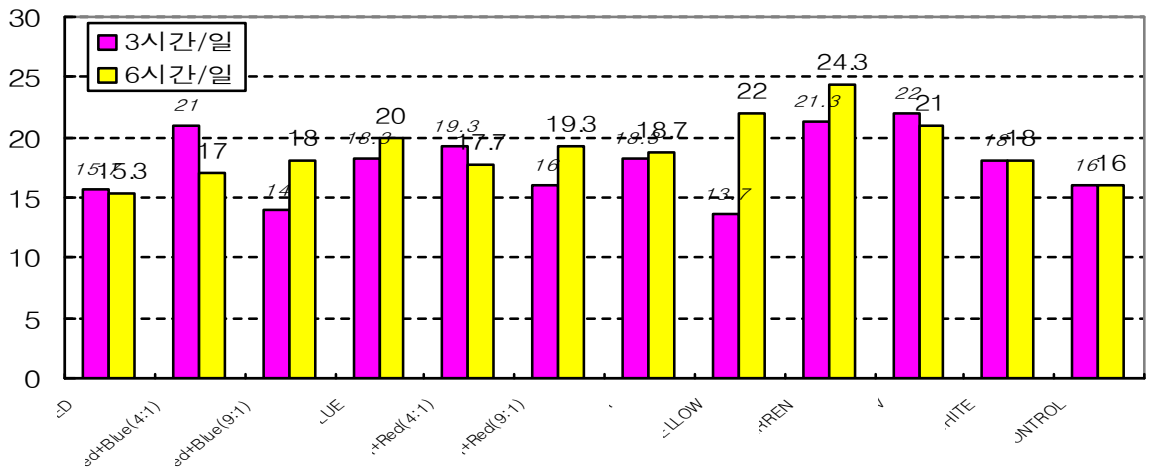


3시간/일



6시간/일

(4) LED 광원별 개화수



(5) LED 광원별 과실특성

(가) 조기재배 (2009. 7. 9 ~ 29)

처리내용	처리 시간	과중 (g)	과장 (cm)	과폭 (cm)	과육두께 (mm)	당도 (°Brix)		경도 (g/cm ³)
						과육	태좌	
Red	3	478.3	14.4	8.0	19.4	10.4	17.1	1,431.7
	6	391.2	12.8	8.0	20.1	10.5	12.6	1,720.8
Red+Blue(4:1)	3	426.4	13.2	8.1	18.4	9.3	12.8	1,593.3
	6	552.3	14.3	8.6	17.8	10.7	15.2	1,683.3
Red+Blue(9:1)	3	484.8	13.6	8.5	22.5	10.9	14.5	1,769.2
	6	483.4	14.1	8.5	20.3	12.6	15.5	1,541.7
Blue	3	444.8	13.8	8.0	18.5	10.2	14.0	1,564.2
	6	510.3	14.0	8.4	21.7	11.2	14.5	1,730.0
Red+Infrared(4:1)	3	572.2	12.7	8.5	20.5	11.0	14.7	2,011.7
	6	487.2	14.1	8.3	19.3	12.8	14.3	1,447.0
Red+Infrared(9:1)	3	530.3	14.3	8.3	19.9	12.4	14.6	1,711.7
	6	427.7	13.5	8.0	21.6	12.2	15.2	1,791.7
Infrared	3	349.7	12.1	7.2	16.9	8.1	8.9	1,805.0
	6	304.3	10.5	7.6	18.8	11.8	14.1	1,530.0
Yellow	3	498.1	14.2	7.8	21.5	11.0	13.7	1,865.8
	6	457.8	13.6	8.3	17.7	11.0	14.0	1,856.0
Green	3	458.3	13.4	8.1	18.7	11.6	13.1	1,835.0
	6	416.2	12.9	8.3	21.3	13.5	15.8	1,632.5
Ultraviolet	3	405.8	13.1	8.0	19.3	11.8	14.4	1,511.7
	6	498.3	13.4	8.7	21.8	12.5	14.4	1,845.0
White	3	519.5	14.3	8.3	21.0	11.8	14.0	1,530.8
	6	577.6	13.4	8.7	22.3	12.4	14.4	1,704.0
Control	-	393.5	12.2	7.9	21.3	13.5	15.3	1,475.0

(나) 연장재배 (2009. 7. 29 ~ 10. 10)

처리내용	처리 시간	과중 (g)	과장 (cm)	과폭 (cm)	과육두께 (mm)	당도 (°Brix)		경도 (g/cm ³)
						과육	태좌	
Red	3	389.3	12.7	7.8	17.7	10.8	14.6	1,717.5
	6	280.0	12.7	7.1	14.6	14.2	15.2	1,580.0
Red+Blue(4:1)	3	380.0	13.6	7.4	18.6	11.2	15.6	1,210.0
	6	239.7	9.9	6.8	12.0	12.1	14.3	1,397.0
Red+Blue(9:1)	3	483.0	13.4	8.2	17.7	10.0	13.5	1,835.0
	6	278.5	10.9	7.1	13.5	12.5	15.0	1,640.0
Blue	3	355.0	13.2	7.5	16.0	11.8	14.7	1,600.0
	6	302.5	11.8	6.8	14.4	10.2	14.3	2,025.0
Red+Infrared(4:1)	3	420.0	12.9	8.2	18.4	11.0	15.2	1,750.0
	6	241.4	10.3	7.7	12.1	12.7	14.2	1,669.0
Red+Infrared(9:1)	3	358.0	11.7	7.6	16.4	10.6	13.2	1,870.0
	6	240.0	10.4	6.6	12.8	12.8	14.4	1,670.0
Infrared	3	361.0	12.5	7.5	15.4	11.6	14.0	1,655.0
	6	341.0	13.5	7.7	18.0	8.6	11.4	1,990.0
Yellow	3	220.0	9.6	6.8	14.2	13.6	15.2	2,050.0
	6	303.5	11.6	7.1	14.0	9.9	12.3	1,795.0
Green	3	310.0	11.6	7.4	16.5	10.3	15.1	1,510.0
	6	500.0	13.8	8.1	17.2	11.8	13.0	1,600.0
Ultraviolet	3	246.0	10.3	6.9	14.6	9.5	11.9	1,750.0
	6	351.0	11.8	7.5	12.8	10.2	13.1	1,780.0
White	3	370.0	12.9	7.7	18.4	11.8	14.6	1,635.0
	6	416.5	13.1	7.8	17.0	9.2	13.2	1,665.0
Control	-	356.1	12.2	7.6	17.9	11.0	14.5	1,926.4

(6) LED 광원별 과피색도

(가) 조기재배 (2009. 7. 9 ~ 29)

처리내용	처리 시간	L	a	b	Yellow index
Red	3	82.8	-5.1	73.4	98.1
	6	80.4	-2.0	75.1	103.1
Red+Blue(4:1)	3	80.1	-2.3	68.9	98.2
	6	80.4	-0.5	83.9	108.7
Red+Blue(9:1)	3	77.1	1.0	75.4	107.6
	6	80.2	0.8	78.2	99.5
Blue	3	80.5	0.7	76.0	106.1
	6	80.6	-0.5	78.5	105.7
Red+Infrared(4:1)	3	80.3	1.2	75.5	106.3
	6	80.7	-2.7	80.7	104.7
Red+Infrared(9:1)	3	80.3	-2.3	69.9	98.9
	6	79.6	-0.1	75.6	105.5
Infrared	3	80.9	-2.5	70.9	99.3
	6	81.1	0.0	75.8	105.0
Yellow	3	79.8	1.7	77.4	108.2
	6	80.1	-1.7	75.8	103.5
Green	3	79.4	-2.6	70.9	99.9
	6	72.7	4.6	76.5	111.0
Ultraviolet	3	81.2	-1.8	76.7	104.1
	6	78.3	1.8	74.3	107.3
White	3	78.6	-2.3	62.8	93.0
	6	78.0	-0.3	73.2	104.8
Control	-	82.4	-0.5	78.8	105.8

(나) 연장재배 (2009. 7. 29 ~ 10. 10)

처리내용	처리 시간	L	a	b	Yellow index
Red	3	79.9	0.8	77.1	107.2
	6	80.5	1.8	73.6	106.0
Red+Blue(4:1)	3	80.1	-5.0	70.5	105.3
	6	80.4	-0.5	83.9	108.7
Red+Blue(9:1)	3	79.1	-1.7	81.0	107.7
	6	81.3	0.8	82.4	109.7
Blue	3	81.9	-0.4	78.9	104.5
	6	81.9	-0.4	80.8	107.6
Red+Infrared(4:1)	3	82.4	-1.3	77.1	100.0
	6	80.7	-2.7	80.7	104.7
Red+Infrared(9:1)	3	84.4	-5.4	74.7	98.7
	6	81.4	-2.4	80.2	105.5
Infrared	3	81.5	-2.8	75.4	102.0
	6	84.0	-6.1	78.7	100.2
Yellow	3	82.5	-2.8	80.6	104.9
	6	84.3	-7.1	77.3	102.2
Green	3	80.0	-3.3	76.4	102.8
	6	75.7	3.6	76.7	111.9
Ultraviolet	3	83.7	-3.3	80.1	103.7
	6	81.7	-1.0	77.5	100.8
White	3	78.7	1.5	78.9	109.6
	6	83.5	-7.0	68.1	91.5
Control	-	79.8	0.8	77.3	107.4

(7) LED 광원별 참외 수량특성

(가) 조기재배 (2009. 7. 9 ~ 29)

처리내용	처리 시간	총수확과수 (과/5주)	상품과수 (과/5주)	상품과율 (%)	상품수량 (g/5주)	상품 지수
Red	3	17	17	100	8,220	143
	6	10	10	100	3,460	60
Red+Blue(4:1)	3	11	11	100	5,260	92
	6	6	6	100	2,680	47
Red+Blue(9:1)	3	13	13	100	5,010	87
	6	19	19	100	7,620	133
Blue	3	19	19	100	8,700	152
	6	17	16	94.1	6,660	116
Red+Infrared(4:1)	3	16	16	100	7,390	129
	6	9	9	100	4,320	75
Red+Infrared(9:1)	3	13	13	100	5,580	97
	6	8	8	100	3,540	62
Infrared	3	22	22	100	9,220	161
	6	11	11	100	4,400	77
Yellow	3	12	12	100	5,700	99
	6	11	11	100	4,240	74
Green	3	8	8	100	3,240	57
	6	11	11	100	4,760	83
Ultraviolet	3	22	22	100	7,940	138
	6	6	6	100	3,010	53
White	3	12	12	100	6,360	111
	6	8	8	100	3,650	64
Control	-	16	15	93.7	5,730	100

(나) 연장재배 (2009. 7. 29 ~ 10. 10)

처리내용	처리 시간	총수확과수 (과/5주)	상품과수 (과/5주)	상품과율 (%)	상품수량 (g/5주)	상품 지수
Red	3	14	14	100	4,290	127
	6	6	6	100	1,700	50
Red+Blue(4:1)	3	11	11	100	3,156	93
	6	11	11	100	2,200	65
Red+Blue(9:1)	3	13	13	100	3,920	116
	6	9	9	100	2,177	64
Blue	3	13	13	100	3,120	92
	6	12	12	100	3,000	89
Red+Infrared(4:1)	3	7	7	100	2,200	65
	6	15	15	100	3,160	93
Red+Infrared(9:1)	3	16	16	100	4,780	141
	6	9	9	100	2,760	82
Infrared	3	8	8	100	2,420	72
	6	6	6	100	1,840	54
Yellow	3	11	11	100	2,660	79
	6	20	20	100	5,060	150
Green	3	11	11	100	3,500	104
	6	8	8	100	1,590	47
Ultraviolet	3	13	13	100	3,580	106
	6	8	8	100	2,402	71
White	3	14	14	100	3,400	101
	6	14	14	100	3,160	93
Control	-	12	11	91.6	3,380	100

라. 시험결과 요약

- 5월 20일 지상 20cm 높이에서 측정한 Red 처리구의 광량자는 $9.8\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이었고 100cm 높이에서는 $2.9\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 매우 낮았는데 다른 처리구도 비슷한 경향있음.
- 정식시 묘소질은 무처리구에 비하여 LED처리구에서 초장, 엽수, 엽장, 엽폭 및 근장 등이 길거나 많아 생육이 우수한 경향이었는데, 3시간 및 6시간 처리간에는 큰 차이가 없었음.
- 초장은 무처리구에 비하여 LED 전 처리구에서 우수한 경향이었는데, 3시간 처리구에서는 Infrared 처리구에서, 6시간 처리구에서는 Green 및 Red 처리구에서 가장 우수한 경향있음.
- 엽수는 무처리구에 비하여 LED 전 처리구에서 많은 경향이었는데, 3시간 처리구에서는 처리간에는 큰 차이가 없었으나 6시간 처리구에서는 UV 및 Red+Infrared(9:1) 처리구에서 많은 경향있음.
- SPAD는 무처리구에 비하여 모든 LED 처리구에서 낮은 경향이었는데, 3시간 및 6시간 모두 같은 경향이였다. 특히 3시간 처리구에서는 Yellow 처리구를 제외한 모든 처리구에서, 6시간 처리구에서는 모든 처리구에서 낮은 경향있음.
- 엽장은 무처리구에 비하여 LED 전 처리구에서 긴 경향이었는데, 3시간 처리구에서는 Infrared 처리구에서, 6시간 처리구에서는 Green 및 Red 처리구에서 우수한 경향있음.
- 엽폭은 무처리구에 비하여 LED 전 처리구에서 긴 경향이었는데, 3시간 처리구에서는 Infrared 처리구에서, 6시간 처리구에서는 Red+Infrared(9:1) 및 Red 처리구에서 우수한 경향있음. 그러나 Infrared 처리구에서는 무처리구보다 짧은 경향있음.
- 암꽃 발생률은 무처리구에 비해 모든 LED 처리구에서 많은 경향이였으나, Red 처리구에서는 다소 적은 경향있음. 3시간 및 6시간 모두 Green 및 UV 처리구에서 많은 경향있음.
- 과중은 무처리구에서 비하여 모든 처리구에서 전반적으로 무거운 경향이였고 조기재배 및 연장재배시에도 큰 차이는 없었음. 그러나 UV 및 White 처리구에서는 조기재배 및 연장재배 공히 3시간 처리보다는 6시간 처리구에서 무거운 경향있음.
- 과피의 색도는 LED 처리구에 비하여 무처리구에서 다소 우수한 경향이었는데 조기재배 및 연장재배 모두 비슷한 경향있음. 그러나 3시간 처리보다는 6시간 처리구에서 다소 우수한 경향있음.
- 상품수량은 조기재배시에는 무처리구에 비하여 Infrared, Red, Blue, UV, Red+Infrared(9:1), 연장재배시에는 Yellow, Red+Infrared(9:1), Red, Red+Blue(9:1) 처리구에서 많은 경향이 있으나 6시간 처리보다는 3시간 처리구에서 다소 증가하는 경향있음.
- 이상의 결과를 종합하면, 무처리구에 비하여 LED 처리구에서 묘소질 및 초기생육이 우수하고 암꽃 발생률이 증가하고 과중이 무겁고 상품수량은 증가하였으나 당도 및 경도는 큰 차이가 없었고 과피의 색도는 오히려 무처리구에서 우수한 경향이 있음.
- 시간별 처리에서는 참외의 생육은 3시간 및 6시간 처리구 공히 비슷한 경향을 보였고, 과피의 색도는 6시간 처리구에서 다소 우수하였으나 상품수량은 3시간 처리구에서 다소 많았음.
- 이러한 것은 생육시기와 관련이 있는 것으로 추정되는데, 시험 1에서의 30분 처리구와 비교하면 참외 재배시 LED 처리는 고온기보다는 저온기에서 우수한 영향을 나타내는 것으로 판단됨.
- 따라서 내년도에는 묘소질, 생육, 개화, 병해충 발생, 품질 및 수량성 등의 재현성 검정을

위하여 참외 주산지의 재배작형(12월 정식, 6월 수확)에 맞추어서 충분히 검토되어야 할 것으로 판단됨.

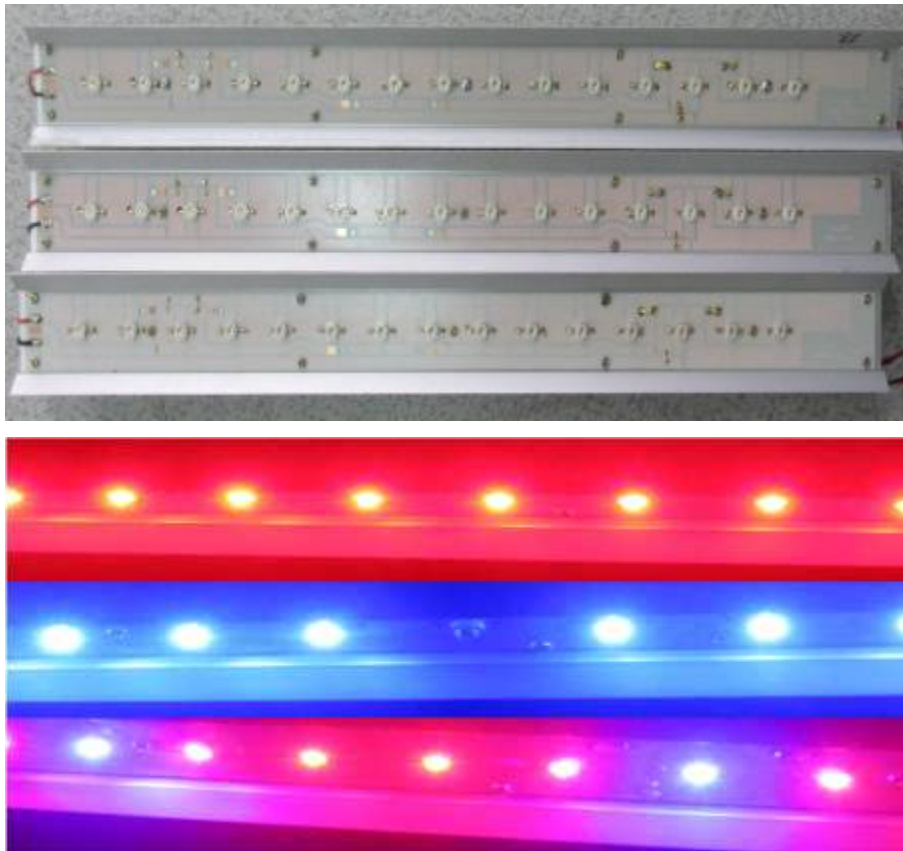
5. 참외 육묘기 암꽃개화 촉진을 위한 LED 이용기술 확립

가. 수행방법

- (1) 시험품종 : 오복꿀참외/뚝심토좌호박
- (2) 처리내용 : ①RED(660nm), ②Blue(450nm), ③Red+Blue(4:1), ④Infrared(740nm), ⑤Control
- (3) 처리시간 : 일몰 후 1시간(19:00~20:00)
- (4) 재배법

파종기 (월. 일)	접목기 (월. 일)	정식기 (월. 일)	재식거리 (cm)	시비량 (kg/10a)
3. 18	4. 7	5. 10	180×40	18.7-6.3-10.9-1,500

- (5) LED등 : 길이 55cm, 램프 15개



<시험에 사용한 LED등>

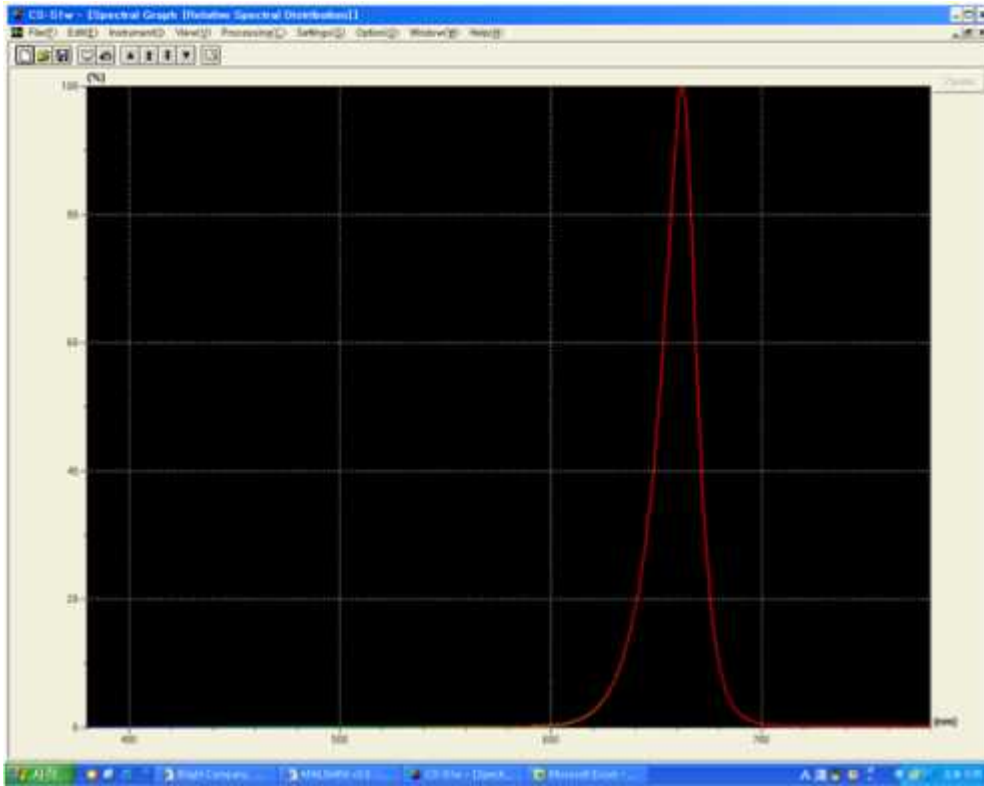
(6) LED 육묘시험



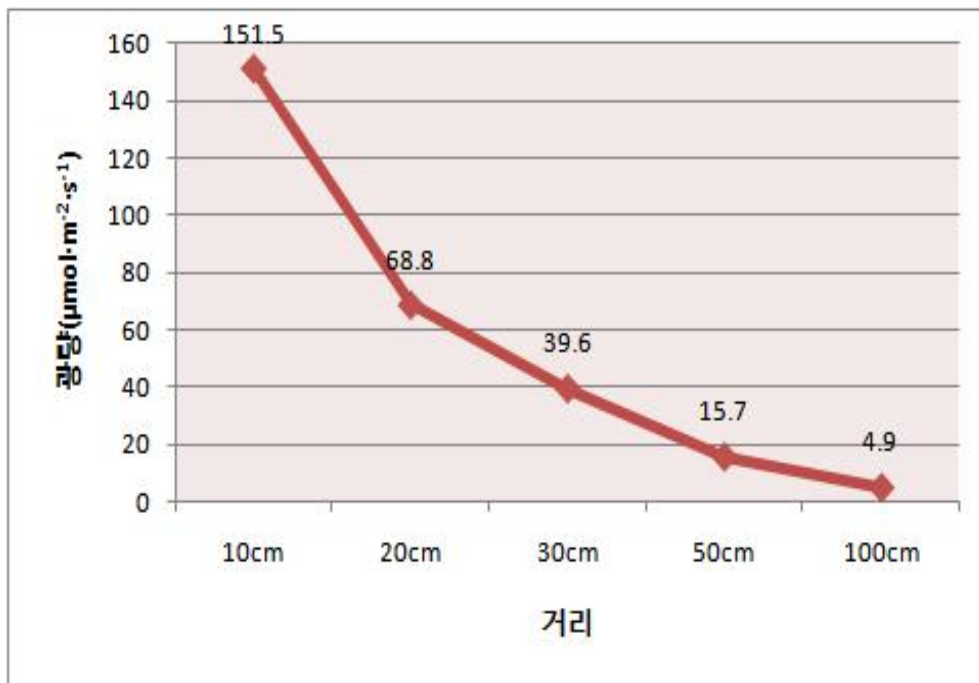
<육묘상 전경 (지상 35cm에 LED 설치)>

나. 시험결과

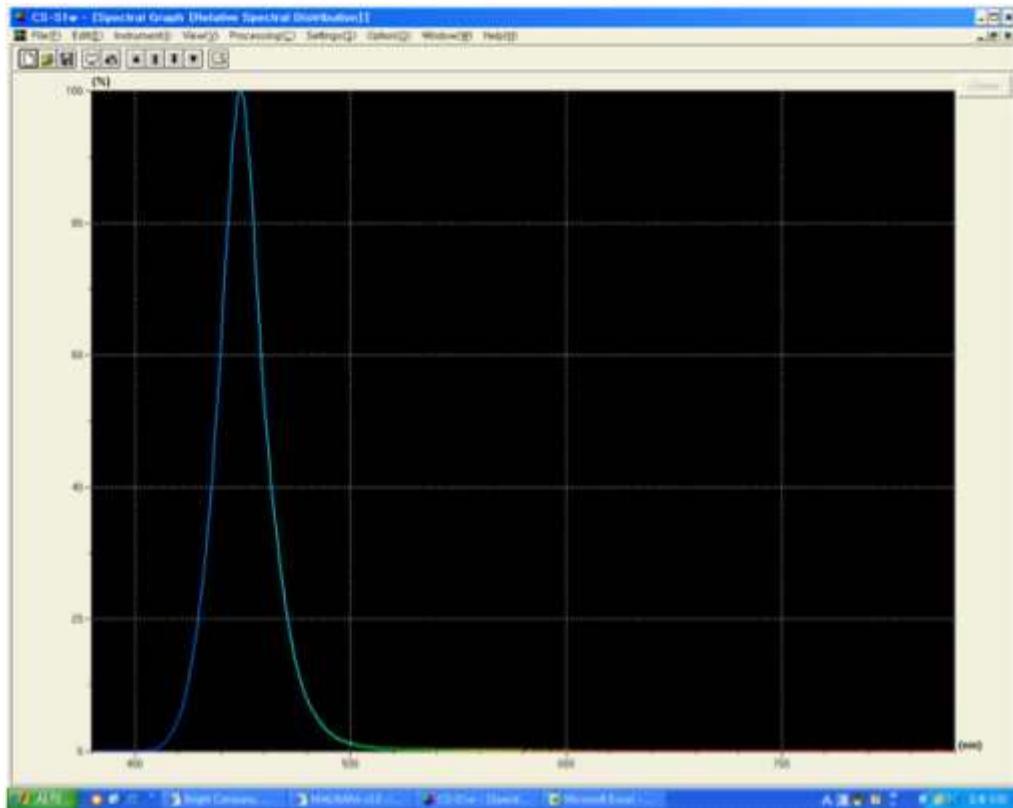
(1) LED 스펙트럼 및 거리별 광량



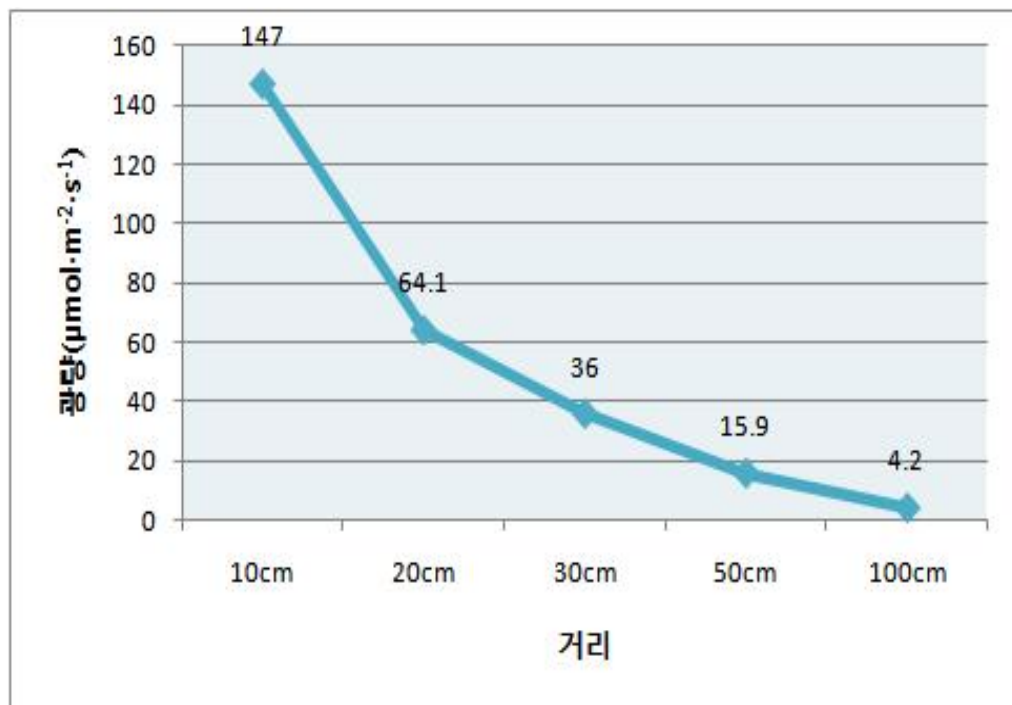
Red(660nm)



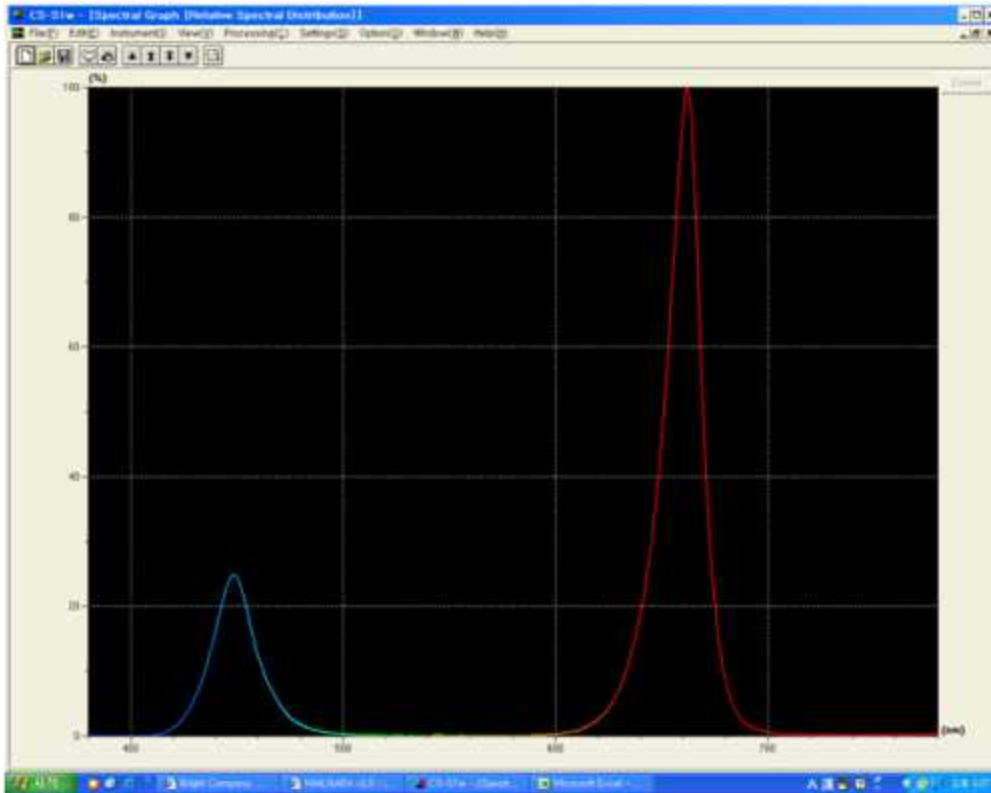
Red광 거리별 광량



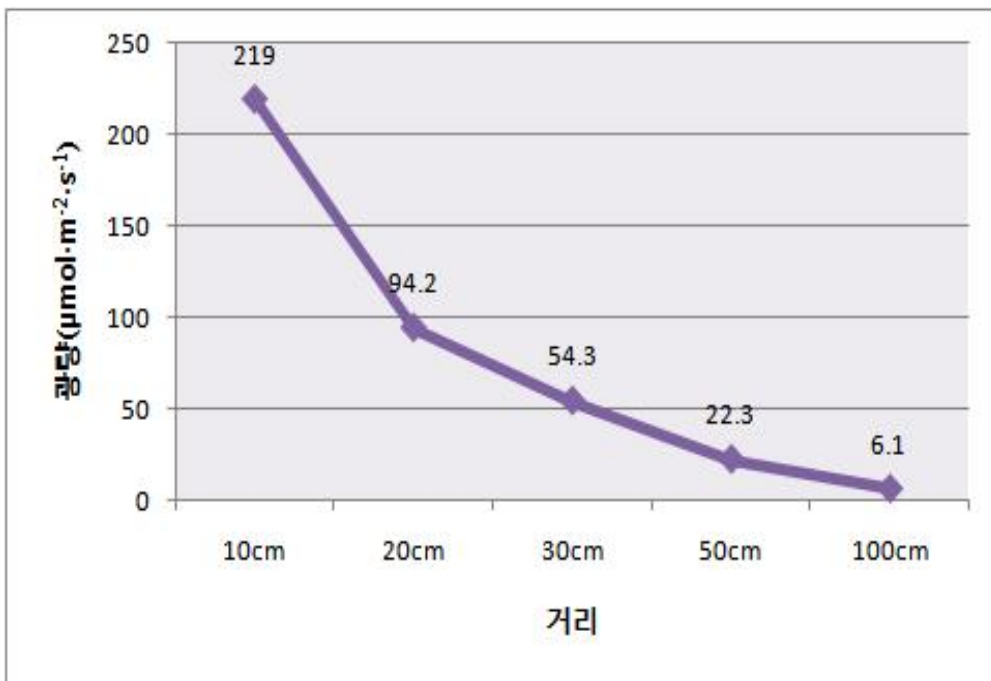
Blue(450nm)



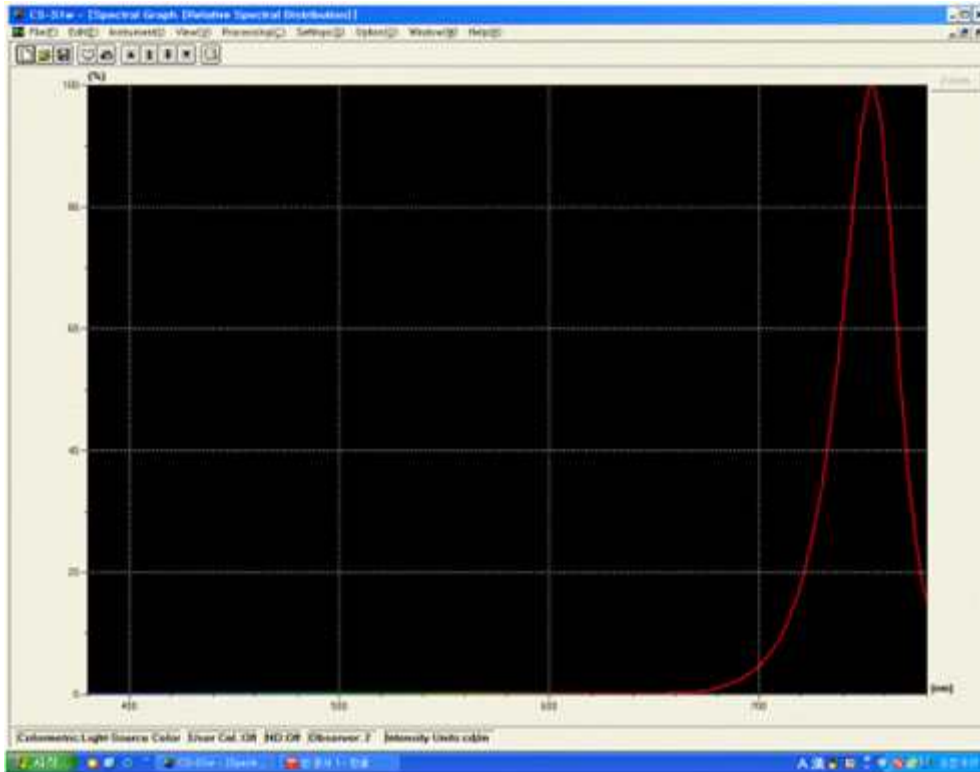
Blue광 거리별 광량



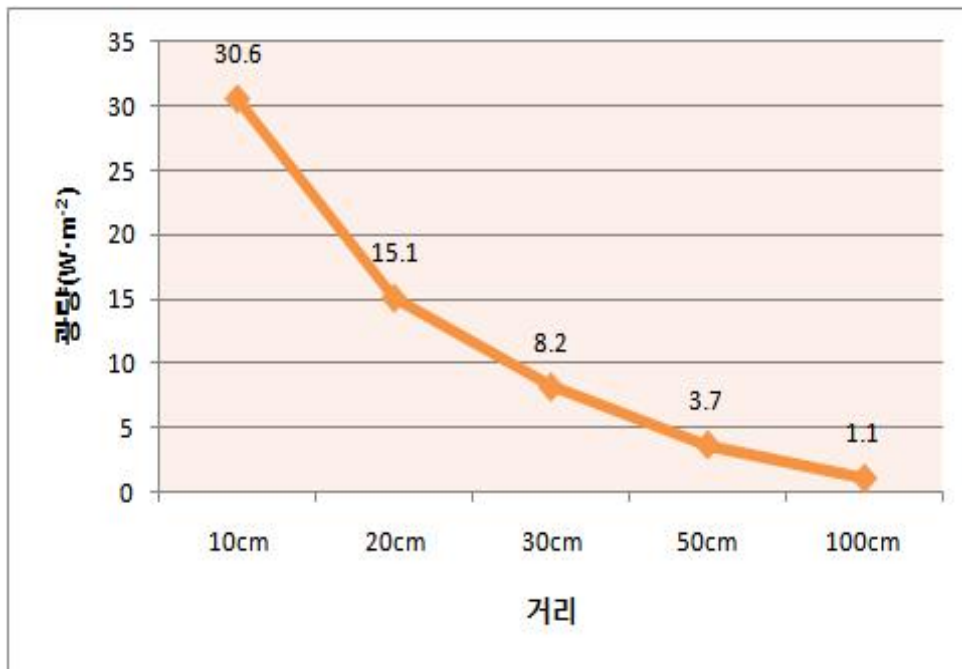
Red+Blue



Red+Blue광 거리별 광량



Infrared(740nm)



Infrared광 거리별 광량

(2) 육묘상의 LED 광원별 광량

광 원	단위	A	B	C	D
Red	$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	37.1	9.5	3.7	0.3
Blue	$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	13.2	7.0	1.8	0.6
Red+Blue	$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	29.3	4.6	6.4	0.4
Infrared	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	6.2	1.0	1.0	0.1



광량 측정 위치

(3) LED 광원별 육묘생육

처 리	초 장 (cm)	엽 수 (매)	엽면적 (cm ²)	생체중(g)		건물중(g)	
				지상부	지하부	지상부	지하부
Red	16.7	11.4	172.6	11.3	3.3	1.1	0.5
Blue	17.3	9.6	138.2	10.2	3.5	1.0	0.5
Red+Blue	18.5	12.0	163.3	10.8	3.8	1.1	0.5
Infrared	20.4	13.2	202.3	12.6	4.0	1.4	0.5
control	19.1	10.6	192.6	12.2	3.3	1.2	0.6



Red



Blue



Red+Blue



Infrared

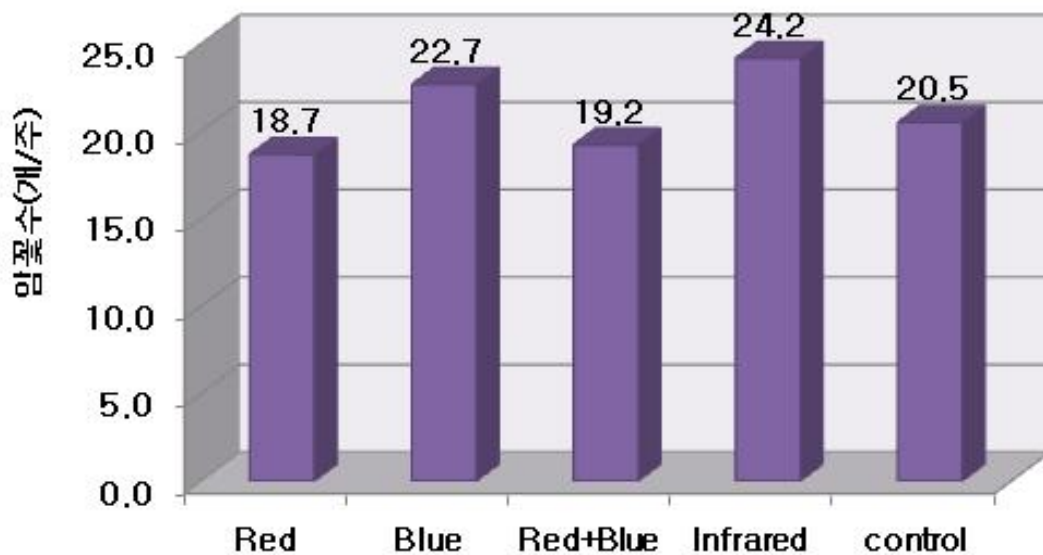


control

(4) 정식 후 초기 생육(정식 15일 후)

처 리	초 장 (cm)	엽 수 (매)	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	절간장 (cm)	SPAD
Red	51.8	13.9	8.7	10.4	6.1	43.4
Blue	58.0	14.6	9.7	11.2	7.2	44.2
Red+Blue	55.9	16.6	9.4	11.3	5.6	42.0
Infrared	66.2	18.2	9.9	11.6	5.8	46.0
control	57.6	13.9	9.9	12.0	6.9	45.2

(5) LED 광원별 암꽃 개화수 (자만 6~14마디)



다. 시험결과 요약

- 시험에 사용한 LED의 광량이 10cm에서는 $150\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이상으로 높았으나, 20cm에서는 $64 \sim 94\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 30cm에서는 $36 \sim 54\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 으로 거리가 멀어질수록 광량은 급격히 감소하였음.
- 육묘시험에는 높이 35cm부위에 LED 설치하여 식물체 부위의 광량을 측정된 결과 LED등 바로 아래는 $13 \sim 37\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이었고, 등 사이는 $10\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이하이었음.
- 참외 육묘 생육은 Infrared처리구에서 초장이 길고 엽면적이 넓어 생육이 우수하였고, 정식 15일후 참외의 생육도 육묘 생육과 유사한 경향있음.
- 암꽃 개화수는 처리간에 차이는 없었으나, Infrared 처리구에서 무처리보다 4개 정도 많았음.
- 육묘시에 흑성병과 바이러스 증상이 심하였고, 광량이 부족하여 LED외의 다른 환경의 영향이 있었을 것으로 판단되어 광질과 광량에 대한 정밀한 재검토가 필요할 것으로 판단됨.

6. 참외 동계재배시 성장 및 품질향상을 위한 LED 이용기술 개발

가. 수행방법

- (1) 시험품종 : 오복꿀참외/뚝심토좌호박
- (2) 처리내용 : ①RED(660nm), ②Blue(450nm), ③Red+Blue(4:1), ④Infrared(740nm), ⑤Control
- (3) 처리시간 : 일몰 후 1시간(20:00~21:00)
- (4) 재배법

파종기 (월. 일)	접목기 (월. 일)	정식기 (월. 일)	재식거리 (cm)	시비량 (kg/10a)
3. 18	4. 7	5. 10	180×40	18.7-6.3-10.9-1,500

- (5) 시험구배치 : 난괴법 3반복(구당 6주)



정식포장 시험전경 (지상 80cm에 LED 설치)

나. 시험결과

(1) 태양광의 시기별 광량

측정일	날씨	장소	광량($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
3월 30일	맑음	노 지	1,835
		비닐하우스 내	1,500
4월 1일	비	노 지	15
		비닐하우스 내	21
6월 30일	흐림	노 지	520
		비닐하우스 내	320
8월 3일	비	노 지	218
		비닐하우스 내	190

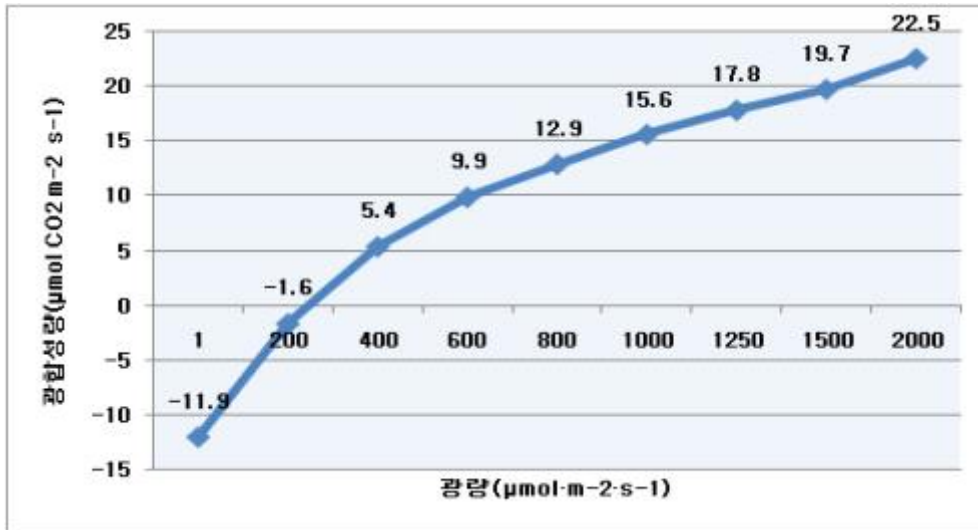
(2) 정식포장의 LED 광원별 광량

광 원	단 위	A	B	C	D	E
Red	$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	9.7	8.6	2.4	3.5	1.3
Blue	$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	6.0	6.4	1.7	2.5	1.3
Red+Blue	$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	7.9	7.8	1.8	2.8	1.2
Infrared	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	1.3	1.2	0.4	0.6	0.2



광량 측정 위치

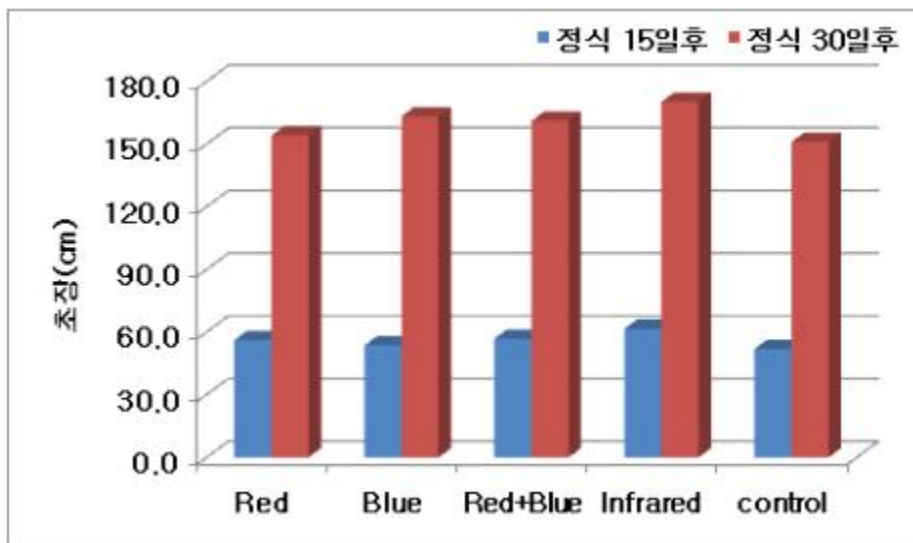
(3) 참외 광량별 광합성 변화

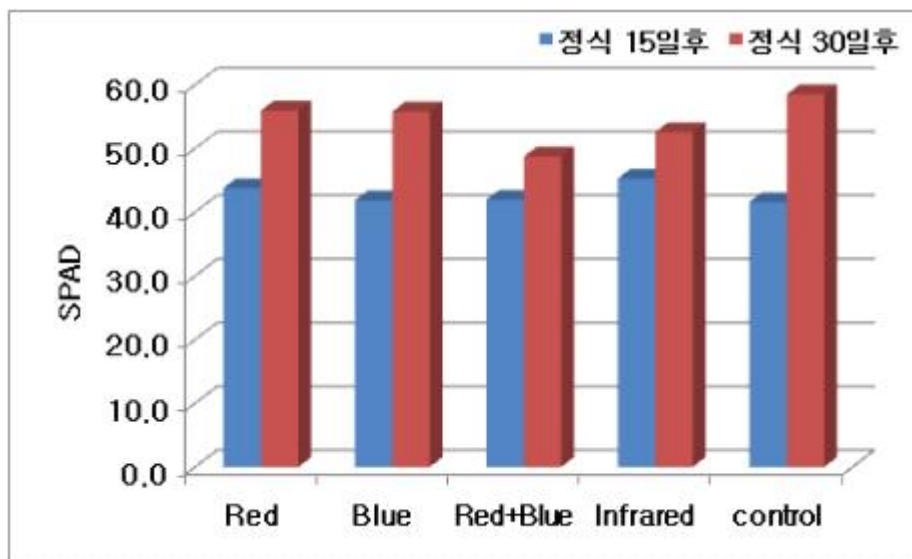
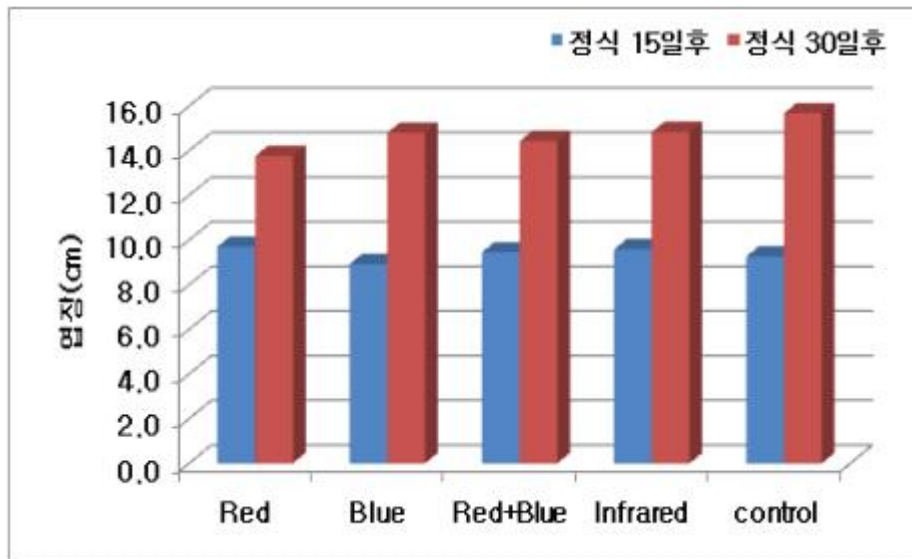
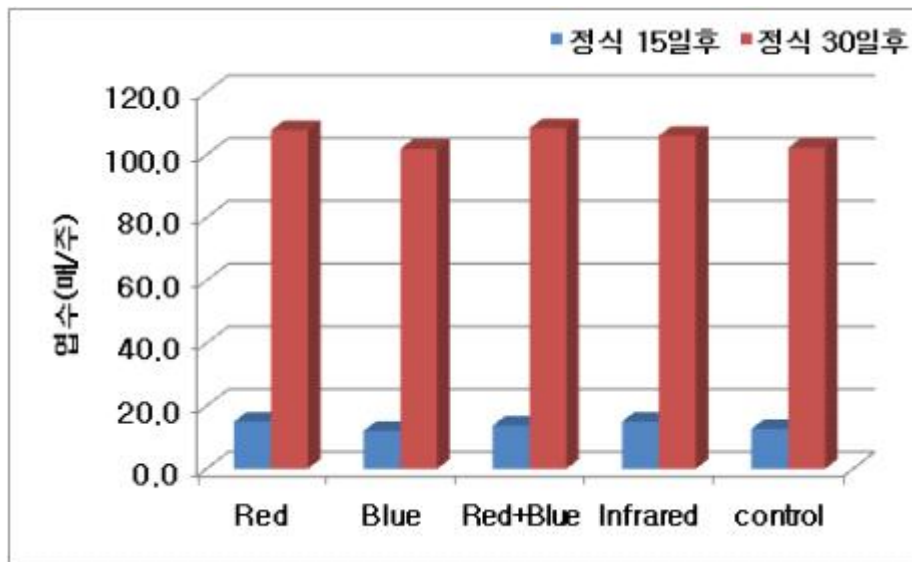


(4) LED 광원별 광합성량

처 리	광 량	엽 온 ($^{\circ}\text{C}$)	광합성량 ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
Red	$8.9 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	21.7	-7.6
Blue	$6.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	21.7	-7.8
Red+Blue	$8.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	22.0	-7.4
Infrared	$1.4 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	21.2	-8.4
control	0	21.7	-7.9

(5) LED 광원별 정식 후 참외 생육







정식 한 달 후 참외 생육

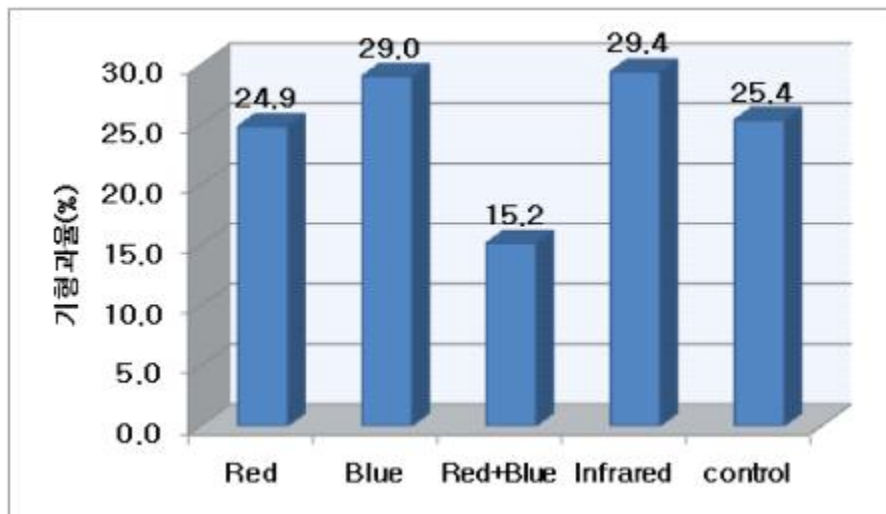


정식 두 달 후 참외 생육

(6) LED 광원별 수량

처 리	수확과수 (개/6주)	수 량 (kg/6주)	상품과수량 (kg/6주)	상품과율 (%)	상품지수
Red	38.3	17.8	11.0	60.0	93
Blue	40.0	16.6	11.4	61.7	96
Red+Blue	39.3	18.0	13.6	74.6	115
Infrared	42.0	18.2	11.9	61.1	100
control	38.0	16.7	11.9	66.7	100

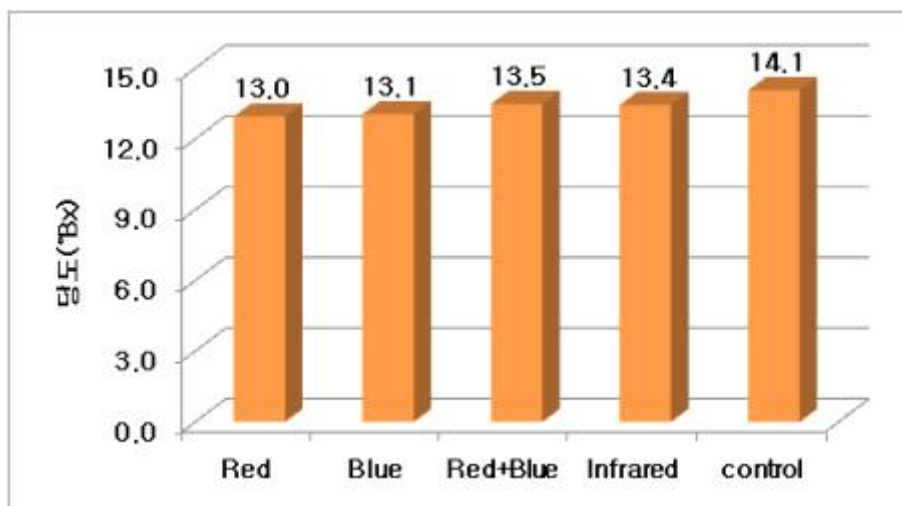
(7) LED 광원별 기형과 발생률



(8) LED 광원별 참외 과실특성

처리	과 중 (g)	과 장 (mm)	과 폭 (mm)	과육두께 (mm)
Red	455.3	134.5	82.4	19.0
Blue	433.6	133.6	81.1	18.8
Red+Blue	452.9	136.3	82.1	19.1
Infrared	470.3	136.0	83.0	19.2
control	434.4	131.0	82.2	19.1

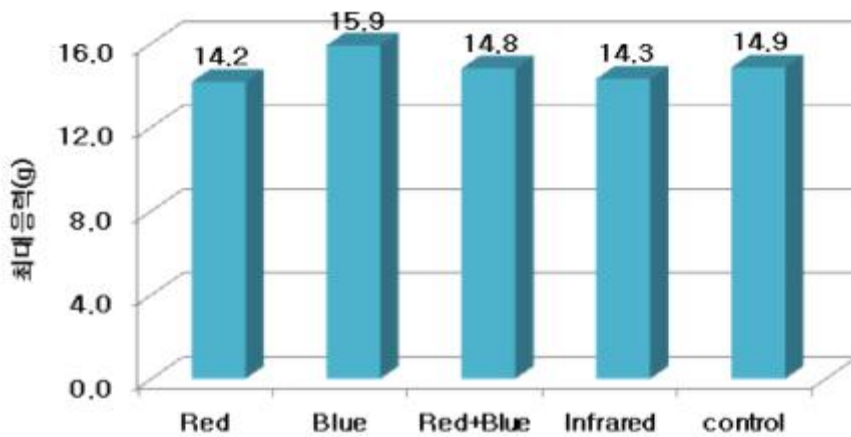
(9) LED 광원별 참외 과실의 당도



(10) LED 광원별 과실의 색도

처 리	L	a	b
Red	78.0	4.7	66.7
Blue	75.5	6.5	70.4
Red+Blue	76.0	6.8	69.5
Infrared	75.5	6.2	69.8
control	75.4	6.4	69.3

(11) LED 광원별 과실의 경도



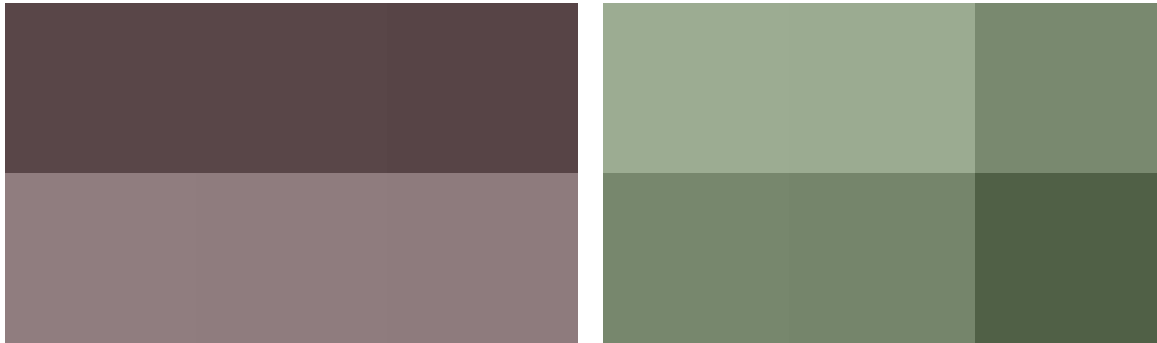
다. 시험결과 요약

- 봄철의 하우스 내 태양광의 광량이 맑은 날은 $1,500\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 비오는 날은 $21\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 정도였으며, 여름철의 흐린 날은 $320\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 비오는 날은 $190\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 정도였음.
- 참외의 광합성은 광량이 증가할수록 증가하였으며, 광보상점은 $250\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 정도이고, 광포화점은 $2,000\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이상이었음.
- 야간에 LED광원별로 광합성량을 측정한 결과 -7.4~-8.4로 처리간 큰 차이는 없었는데 LED의 광량이 $6\sim 9\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 정도로 낮았기 때문인 것으로 판단되며, 엽온은 $21.2\sim 22.0^\circ\text{C}$ 로 처리간에 차이가 없었음.
- 참외의 총수량과 상품 과수량은 처리간에 통계적 유의성은 없었으나, Red+Blue 처리구에서 기형과 발생이 적어 상품 과수량이 무처리구보다 15% 정도 높았음.
- 과중, 과장, 과폭, 과육두께, 당도는 처리간에 차이가 없었고, 과실의 색도는 red처리구에서 L값이 높고, a와 b값은 낮았으며, 과실의 경도는 차이가 없었음.
- 이상의 결과를 종합해보면 광량에 따른 광합성량을 고려해 볼 때 광량이 광보상점인 $250\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이상이라야 효과가 있을 것이나, 금년 봄과 같이 일조가 부족한 기상 조건에서는 흐린 날이나 비오는 날보다 LED 광량을 높이면 호흡으로 인한 소모를 다소 줄일 수 있는 효과가 있을 것으로 판단되므로 LED 광량과 처리시간 등에 관한 연구가 필요할 것으로 판단됨.

7. 참외 안정생산을 위한 LED 이용기술 농가 실증시험

가. 수행방법

- (1) 시험품종 : 오복꿀참외/토고
- (2) 처리내용 : RED, Red+Blue(4:1), Control
- (3) 처리시간 : 일출 전 2시간, 일몰 후 2시간
- (4) 농가실증시험 전경



나. 시험결과

(1) 유묘 생육

처리	초장 (cm)	엽수 (매)	SPAD	생체중 (g)	건물중 (g)
Red	12.0	6.6	43.0	17.7	1.8
Red+Blue	13.2	6.8	37.9	15.8	1.4
무처리	12.8	6.2	35.2	16.0	1.6

(2) 정식 후 생육

처리	초장 (cm)	절간장 (cm)	엽수 (매)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	SPAD
Red	93.1	19.9	31.1	8.3	9.8	35.4
Red+Blue	81.4	17.3	33.7	8.1	9.9	39.1
무처리	69.6	16.0	28.0	8.5	10.7	38.3

다. 시험결과 요약

- 유묘의 생육은 Red+Blue 혼합광에서 초장이 길고, Red광에서 초장이 짧고 건물중이 높았음.
- 정식 후의 참외 생육은 LED광 처리에서 초장과 절간장이 길고 엽수도 많았음.

8. LED를 이용한 친환경 재배법 개발

8-1. 육묘시험

가. 수행방법

- (1) 시험품종 : 오복꽃참외/조생토좌호박
- (2) 처리내용

광 원	파장	광량
Red	660nm	$76 \mu \text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
Blue	450nm	$49 \mu \text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
Red+Blue	660+450nm	$55 \mu \text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
Farred	740nm	$10.3\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$

- (3) 처리시간 : 파종 ~ 정식전(일출 전 2시간, 일몰 후 2시간)

(4) 재배법

파종기	접목기	정식기	재식거리 (cm)	시비량 (kg/10a)
1월 5일	1월 21일	2월 22일	180×40	18.7-6.3-10.9-1,500

- (5) 시험구배치 : 난괴법 3반복(구당 6주)

(6) 육묘시험 전경

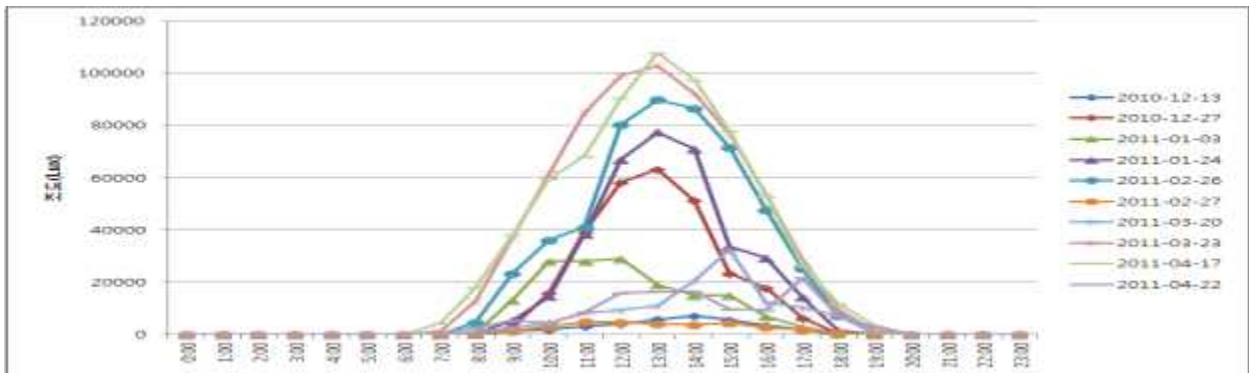


나. 시험결과

- (1) 일별 최대조도의 변화(2010. 12. 4~2012. 4. 24)



(2) 조도가 최대와 최소인 날의 조도 월별 일변화



(3) 시기별 광량



(4) 파종 16일후 유묘생육

처리	배축길이 (mm)	엽장 (mm)	엽폭 (mm)
Red	33.8 b	25.0 a	26.6 a
Blue	31.9 b	19.3 bc	21.2 c
Red+Blue	30.5 b	21.0 b	24.1 b
Farred	41.1 a	15.1 d	15.1 e
무처리	30.3 b	17.1 cd	17.5 d

(5) 정식기 유묘생육

처리	초장 (cm)	엽수 (매)	SPAD	엽면적 (cm ²)	건물중(g)	
					지상부	지하부
Red	25.6 a	16.4 a	42.0 a	328.2 a	1.6 a	0.3 b
Blue	22.6 a	14.8 ab	44.4 a	289.5 a	1.5 a	0.5 b
Red+Blue	22.7 a	13.6 bc	48.4 a	311.8 a	1.8 a	0.8 a
Farred	16.9 b	11.2 c	34.8 b	126.5 b	0.7 b	0.4 b
무처리	15.0 b	13.0 bc	41.4 a	174.0 b	1.0 b	0.5 b



Red

Blue



Red+Blue

Farred

무처리

(6) 정식 15일후 생육

처리	초장 (cm)	엽수 (매)	절간장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)
Red	42.5 bc	9.8 ab	10.6 a	8.0 a	10.1 a
Blue	51.9 a	11.0 a	12.7 a	8.7 a	10.6 a
Red+Blue	47.8 ab	11.0 a	12.5 a	8.4 a	10.0 a
Farred	37.5 c	8.8 b	13.1 a	8.5 a	10.3 a
무처리	41.8 bc	9.5 b	14.2 a	8.6 a	10.4 a

(7) 정식 30일후 생육

처리	초장 (cm)	엽수 (매)	절간장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	손만수
Red	101.1 b	19.7 a	15.3 b	12.2 b	14.1 b	7.0 ab
Blue	117.3 a	19.7 a	18.5 ab	12.5 b	14.4 b	8.2 a
Red+Blue	115.6 a	20.2 a	18.5 ab	12.2 b	14.3 b	7.2 ab
Farred	100.1 b	17.0 b	19.6 a	13.4 a	16.3 a	6.3 b
무처리	107.8 ab	17.8 b	20.8 a	12.6 b	15.6 a	6.8 b

(7) 암꽃 개화기와 암꽃 개화수

처리	개화기 (월. 일)	암꽃개화수 (개/주)
Red	3. 19	18.3 a
Blue	3. 17	19.9 a
Red+Blue	3. 18	18.9 a
Farred	3. 21	13.4 b
무처리	3. 20	16.9 ab

다. 시험결과 요약

- 육묘온실 내의 조도를 2010년 12월 4일부터 2011년 4월 24일까지 조사하였음.
- 시기별로 최대조도는 12월에 60,000Lux, 1월에 80,000Lux, 2월에 90,000Lux, 3월에 100,000Lux, 4월에는 100,000Lux이상으로 시간이 지날수록 조도가 증가하였음.
- 맑은 날은 해가 뜬 후 조도가 급격히 증가하다가 13시경에 최대에 이르고 다시 급격히 감소하였음. 2월 27일에는 최대조도가 4,857Lux로 비슷한 시기의 맑은 날의 5%정도 수준이었음.
- 맑은 날 온실 내부의 광량은 11월과 12월에는 $700 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 2월에는 $1,000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 정도이었고, 흐린 날은 $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 비오는 날은 $75 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 정도이었음.
- 파종 후 16일에 참외의 생육은 Red, Blue와 Red+Blue처리시 배축길이는 무처리와 비슷하였고 잎은 무처리보다 큰 편이었으나, Farred에서는 묘가 도장되어 배축이 길고 잎은 작았음.
- 정식기의 참외 접목묘의 생육은 Red, Blue와 Red+Blue처리에서 초장이 길고 엽면적과 건물중이 높아 무처리보다 생육이 우수하였고, Farred에서는 무처리와 생육이 비슷하였음.
- 정식 후 15일에 참외의 초장은 Blue광에서 길었고, Farred에서 짧았음.
- 엽수는 Blue와 Red+Blue광에서 많았음.
- 정식 후 30일에는 Blue와 Red+Blue광에서 초장이 길었고, 엽수는 Red, Blue와 Red+Blue광에서 많았음.
- 절간장은 Farred와 무처리에서 길었고, Red에서 짧았음.
- 손만수는 Blue에서 많았고, Farred와 무처리에서 적었음.
- 개화기는 Blue에서 가장 빨랐고, Farred에서 가장 늦었음
- 주당 암꽃 개화수는 Red, Blue와 Red+Blue광에서 많은 편이었음.

8-2. 정식포시험

가. 수행방법

(1) 시험품종 : 오복꽃참외/조생토좌호박

(2) 처리내용

광 원	파장	광량
Red	660nm	107 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
Blue	450nm	92 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
Red+Blue	660+450nm	103 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
Farred	740nm	13W·m ⁻²

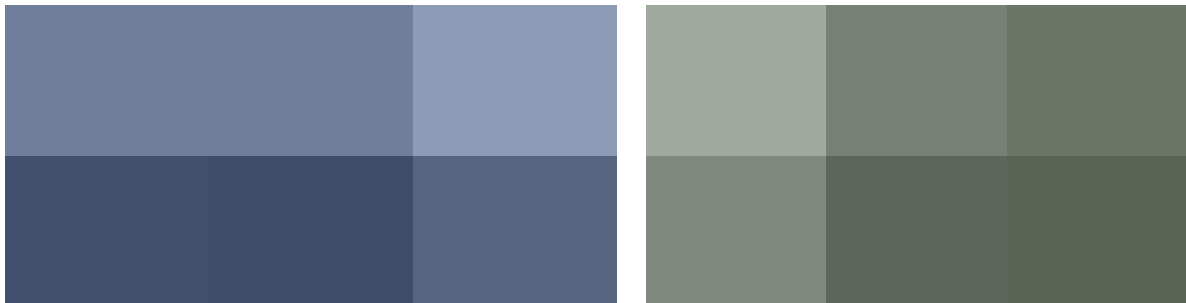
(3) 처리시간 : 정식 후 일출 전 2시간, 일몰 후 2시간

(4) 재배법

파종기	접목기	정식기	재식거리 (cm)	시비량 (kg/10a)
12월 6일	12월 23일	1월 20일	180×40	18.7-6.3-10.9-1,500

(5) 시험구배치 : 난괴법 3반복(구당 6주)

(6) 시험 전경



나. 시험결과

(1) 정식 20일후 생육

처리	초장 (cm)	마디수 (마디)	절간장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	SPAD
Red	41.4 ab	11.2 a	9.6 ab	6.9 a	8.2 a	41.9 ab
Blue	43.9 a	12.1 a	9.5 b	6.6 a	8.0 a	42.1 ab
Red+Blue	39.4 bc	11.6 a	8.7 b	6.8 a	8.2 a	44.6 a
Farred	43.4 a	10.7 a	11.8 a	6.7 a	7.8 a	41.0 b
무처리	37.1 c	10.4 a	10.6 ab	6.1 a	7.2 a	40.7 b

(2) 정식 40일후 생육

처리	초장 (cm)	마디수 (마디)	절간장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	SPAD
Red	81.8 a	16.5 ab	6.1 a	8.8 a	10.5 a	44.7 bc
Blue	72.5 abc	16.5 ab	7.7 a	9.1 a	10.4 a	45.4 b
Red+Blue	79.3 ab	17.8 a	5.7 a	8.5 a	9.9 a	50.1 a
Farred	71.8 bc	15.5 b	7.6 a	8.5 a	9.8 a	40.7 cd
무처리	64.5 c	15.3 b	6.1 a	7.9 a	9.5 a	40.2 d

(3) 암꽃 개화기와 암꽃 개화수

처리	개화기 (월. 일)	암꽃 개화수 (개/주)
Red	3. 6	20.8 a
Blue	3. 7	19.6 a
Red+Blue	3. 6	17.8 a
Farred	3. 7	13.2 a
무처리	3. 8	13.6 a

(4) 과실의 특성

처리	과중 (g)	과장 (mm)	과폭 (mm)	과육두께 (mm)
Red	303.5 ab	99.3 a	79.0 a	17.8 a
Blue	309.7 ab	100.4 a	78.7 a	18.0 a
Red+Blue	329.1 ab	102.9 a	80.4 a	18.3 a
Farred	347.1 a	104.2 a	80.3 a	18.3 a
무처리	296.8 b	97.9 a	77.6 a	17.9 a

(5) 과실의 색도

처리	L	a	b
Red	68.0 a	18.0 a	100.4 a
Blue	67.6 a	17.9 a	100.4 a
Red+Blue	68.5 a	17.2 a	99.6 a
Farred	68.2 a	17.8 a	100.5 a
무처리	68.7 a	15.8 a	98.7 a

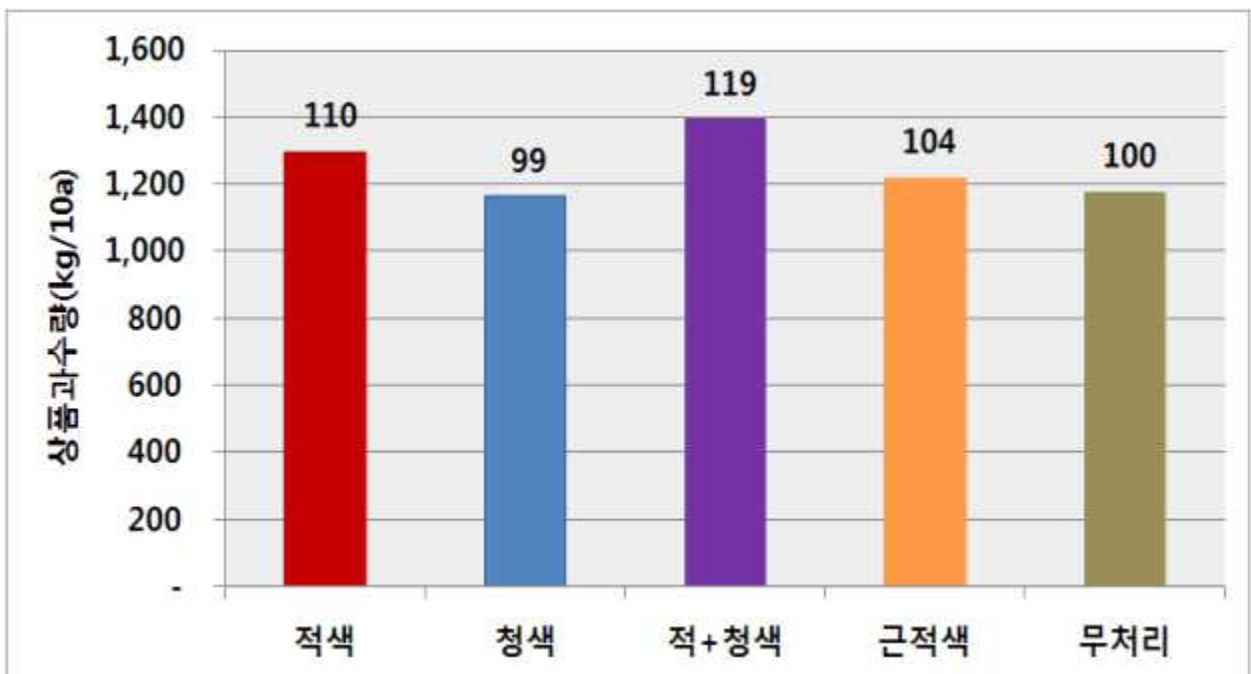
(6) 과실의 당도와 경도

처리	당도 (° Brix)	경도 (g)
Red	14.3 a	1691 a
Blue	14.3 a	1763 a
Red+Blue	14.2 a	1674 a
Farred	15.2 a	1793 a
무처리	15.3 a	1717 a

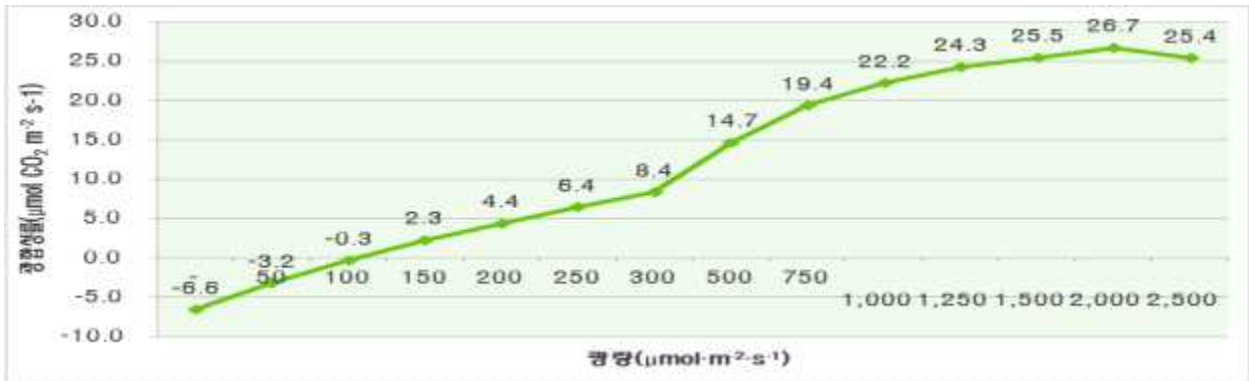
(7) 수량

처리	총수량 (kg/10a)	상품과수량 (kg/10a)	기형과율 (%)
Red	1,528 a	1,297 a	8.5 b
Blue	1,410 a	1,162 a	23.3 a
Red+Blue	1,579 a	1,392 a	18.8 ab
Farred	1,411 a	1,218 a	19.1 ab
무처리	1,324 a	1,174 a	16.9 ab

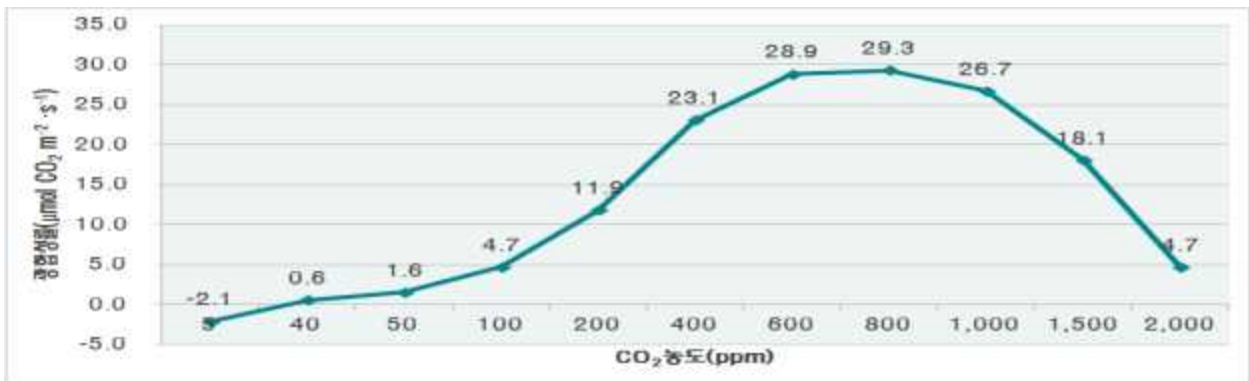
(8) 광원별 참외 수량



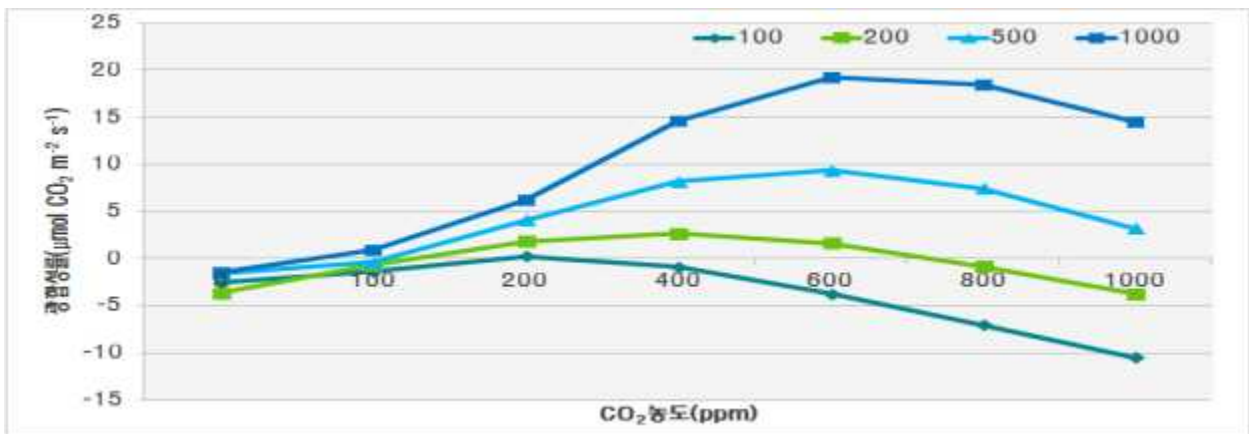
(9) 광량별 광합성



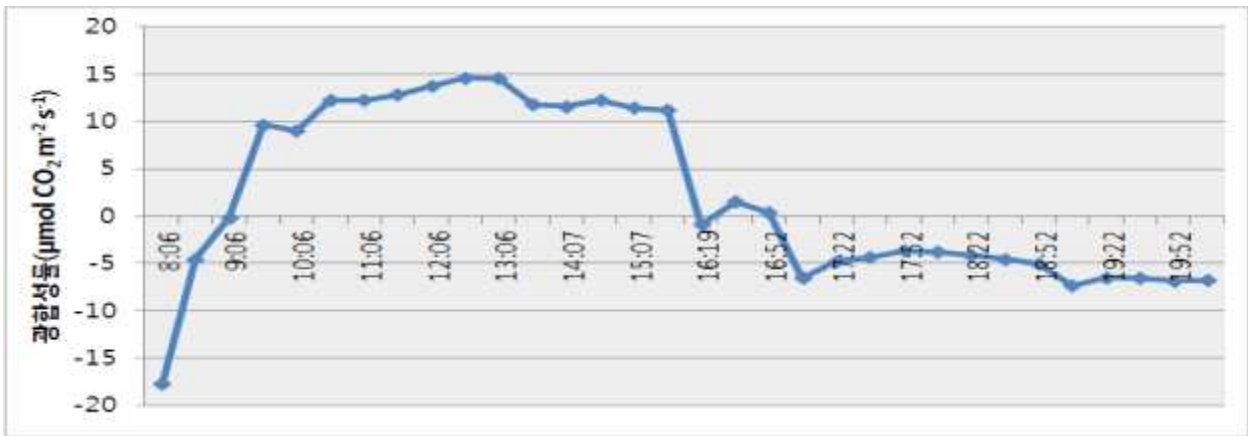
(10) CO₂농도별 광합성



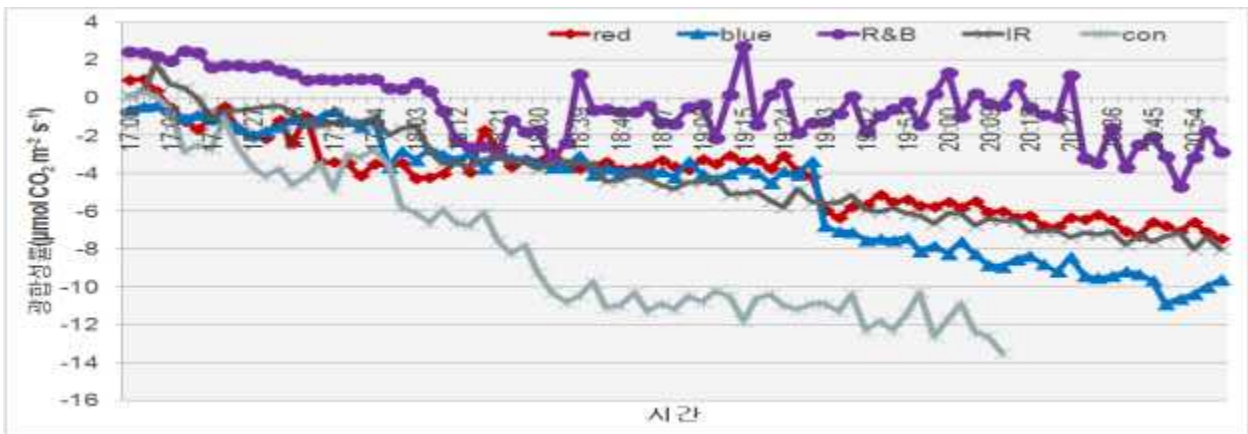
(11) 광량과 CO₂농도별 광합성



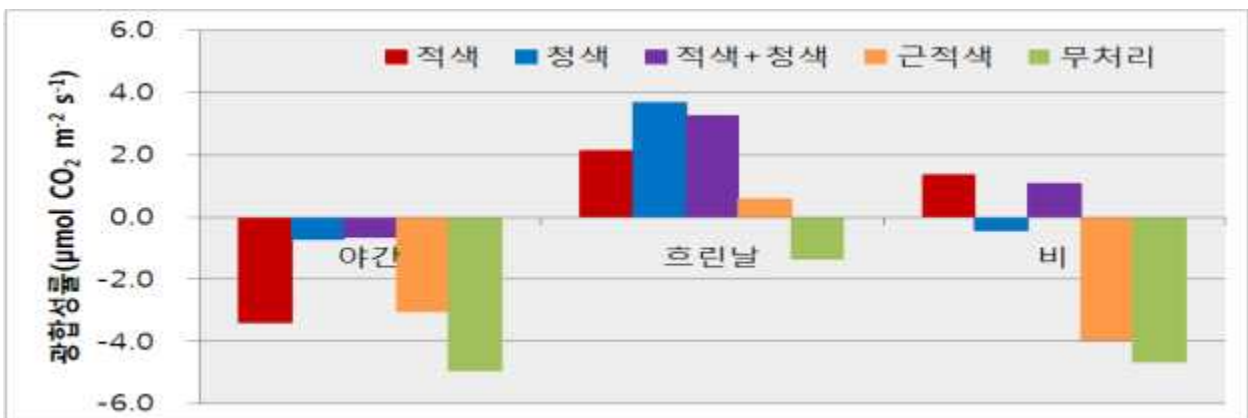
(12) 광합성의 일변화



(13) LED광원 처리시간의 광합성 변화



(14) LED광원별 야간, 흐린날과 비오는 날의 광합성



다. 시험결과 요약

- 정식 후 20일에는 Blue와 Farred광에서 초장이 길었고, 절간장은 Farred광에서 길었음. SPAD는 Red+Blue광에서 다소 높았음. 정식 후 40일에 참외의 생육도 Red, Blue와 Red+Blue처리에서 초장, 마디수와 SPAD값이 무처리보다 높았고, 절간장이나 잎의 크기는 비슷하였음. 암꽃 개화수도 생육 촉진의 영향으로 Red, Blue와 Red+Blue처리에서 많았으나 통계적 유의성은 없었음.
- 상품수량은 통계적 유의성은 없었으나 Red+Blue혼합광은 19%, Red는 10% 높았음. 평균 과중은 Farred에서 347g으로 가장 높았고 무처리가 297g으로 가장 낮았음.
- 과장, 과폭과 과육두께는 차이가 없었으며 과피색은 차이가 없었으나, a값이 LED처리가 높은 경향있음. 당도와 경도는 차이가 없었음.
- 광합성을 측정한 결과 참외 광보상점은 $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 광포화점은 $2,000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 정도 이었고, CO₂보상점은 40, 포화점은 800ppm정도였음. 광량이 높을수록 CO₂농도가 증가에 따라 광합성률이 크게 증가하였음.
- 참외는 일출후부터 광합성이 증가하다가 13시경에 최대에 이르고 점차 감소하여 보온부직포를 덮은 후부터 광합성이 급격히 감소하였음.
- 보온부직포를 덮은 후에 LED를 보광하면 광합성이 일정하게 유지하다가 보광이 끝나면 다시 감소하는 경향을 보였음.
- 야간, 흐린날과 비 내리는 날의 광합성은 LED 보광에서 무처리보다 광합성률이 다소 높았으며 과장별로는 Red, Blue와 Red+Blue가 비슷하였으나 Farred가 다소 낮았고, 광량에 따라 광합성률에서 차이가 있었음.
- 본 시험은 매일 4시간씩 LED 보광으로 광합성률을 증가시켜 참외의 생육을 촉진하는 효과가 있었으나, 처리시간과 광량에 따라 효과가 다르게 나타날 수 있음
- 광합성에 효과적인 Red, Blue, Red+Blue 혼합광을 최소광량을 광보상점 이상으로 보광을 하여야 생육 촉진의 효과가 있을 것으로 사료됨.

8-3. 착색촉진시험

가. 수행방법

(1) 시험과실 : 완숙과 및 미숙과

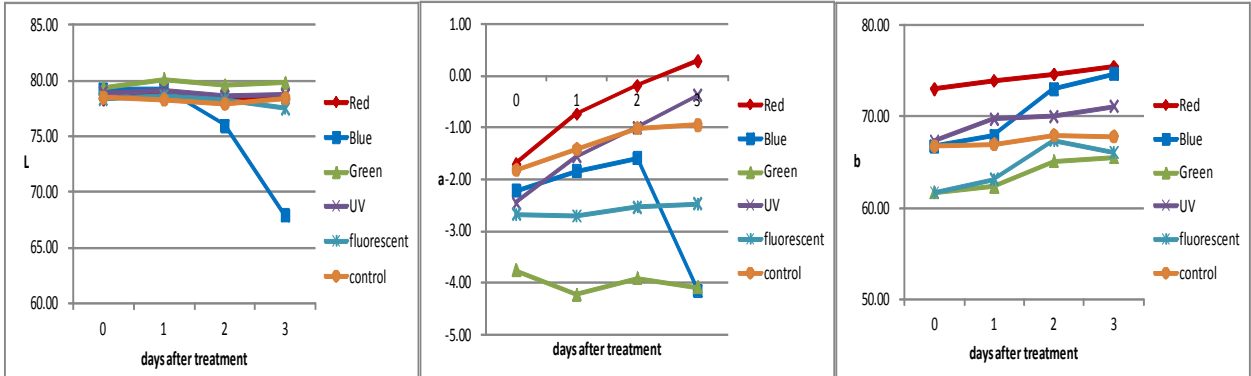
(2) 처리내용

광 원	과장	광량($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	
		완숙 및 착색기 과실	미숙과실
Red	650nm	125	105
Blue	460nm	325	101
Geen	530nm	145	100
UV	390nm	21	80
Farred	740nm	-	$21.5\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$

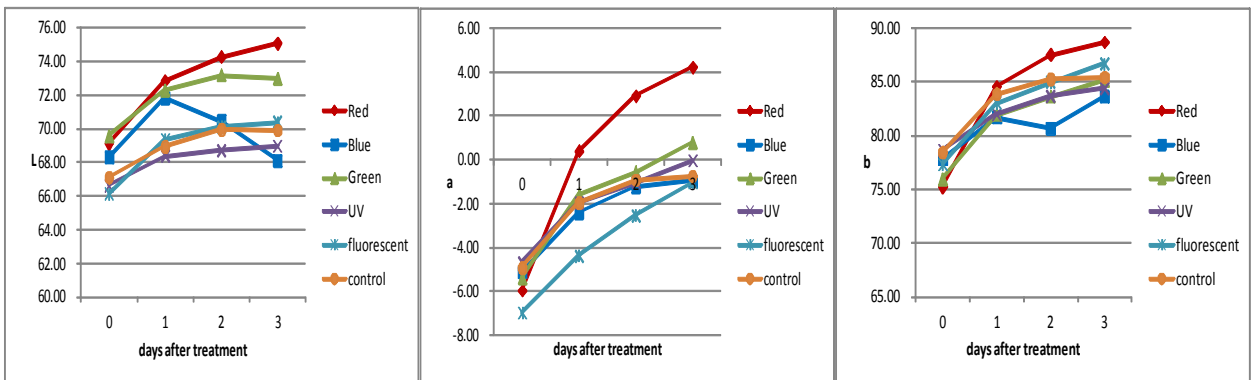
(3) 처리조건 : 23°C 압조건 24시간 LED 처리

나. 시험결과

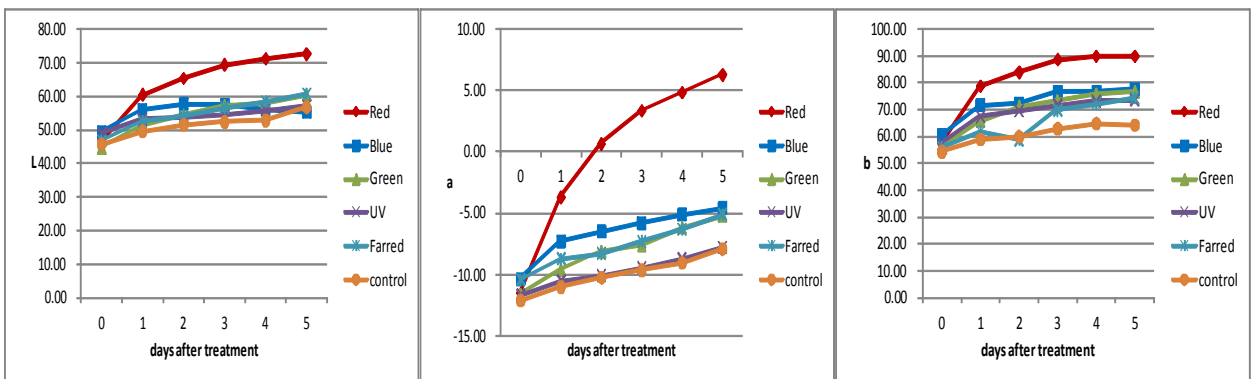
(1) 완숙과실의 색도 변화

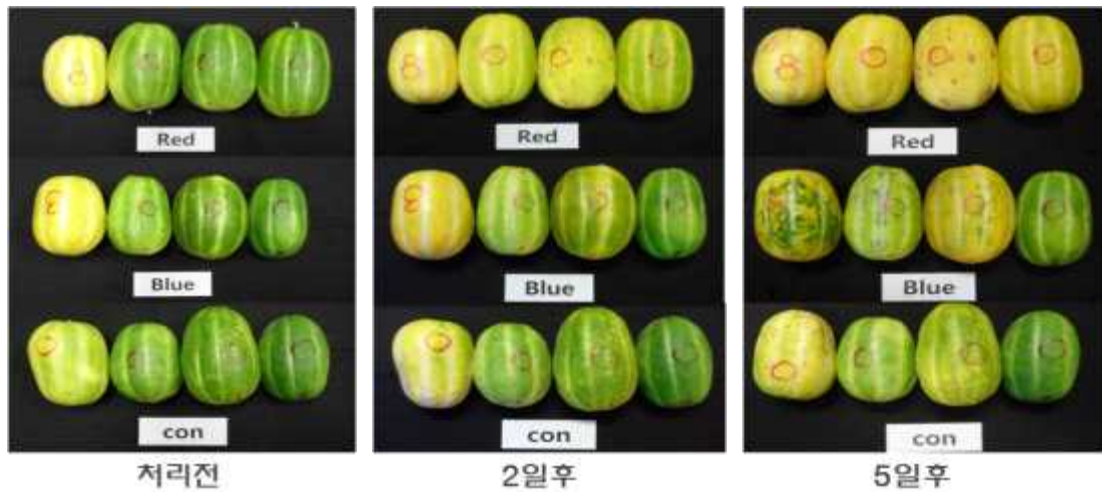


(2) 착색기 과실의 색도 변화



(3) 미숙과실의 색도 변화





다. 시험결과 요약

- 완숙과에 LED를 처리한 결과 L과 b값은 변화가 거의 없었고, a값은 다소 증가하는 경향있음.
- Blue와 Green광에서는 처리 2일후부터 과피색이 노랑에서 녹색으로 변하는 현상이 있었음.
- 미숙과는 Red광에서 처리 후 3일까지 L, a, b값이 급격하게 증가하였음.
- 다른 LED광에서는 무처리와 차이가 없었음
- UV를 처리가 과실 착색을 촉진시킨다고 알려져 있으나, 본 시험에서는 Red광 처리가 착색이 촉진되어 이에 대한 연구가 더 필요할 것으로 사료됨.

제 3절 참외 재배용 지능형 광환경 제어 시스템의 개발

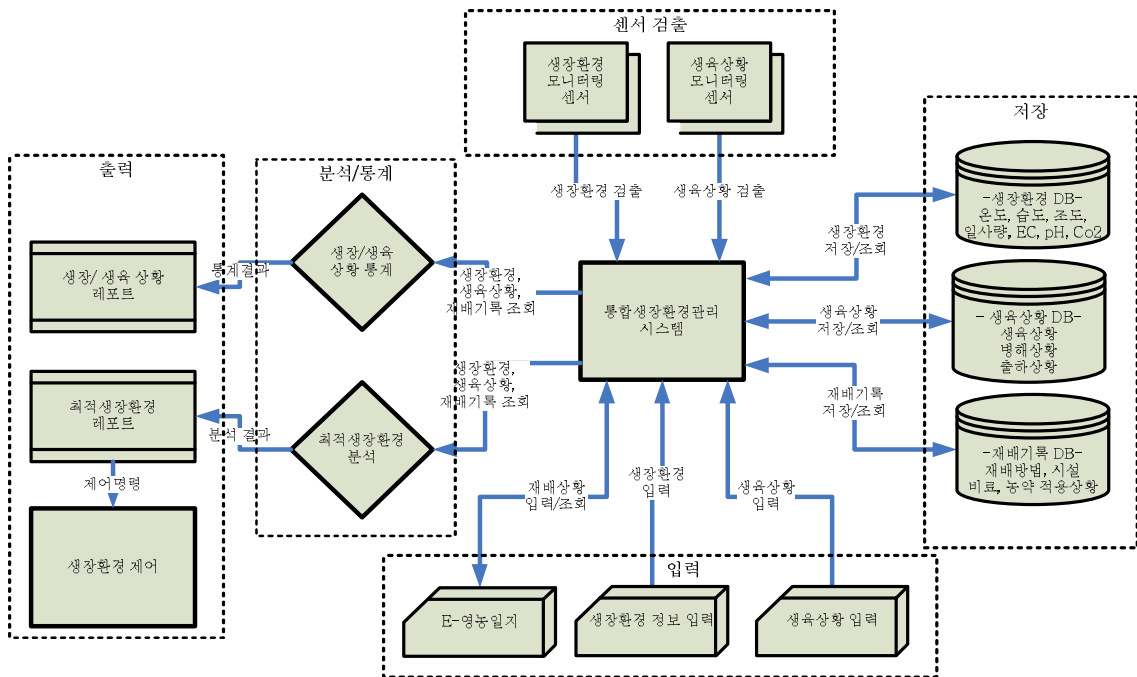
1. 연구 수행 개요

- 참외 재배의 LED조명모듈의 조도, 파장조합, 조사방법, 실 적용환경(참외하우스의 고온다습한 하우스)에서의 오작동 및 고장가능성에 대응하도록 구현
- 하우스 센서장치의 데이터 정확성, 고온다습한 하우스에서의 오작동 및 고장 대비
- 연구자 및 재배농가에서 필요한 작물의 재배환경의 감시제어를 위한 최적의 통합광환경 제어 시스템의 개발
- 통합 광환경제어시스템의 화면 구성 설계, 데이터베이스 설계 및 개발, 관련 프로그램 개발, 통합 테스트를 통한 광환경 제어시스템의 개발 수행
- 광환경 제어시스템을 위한 LED 등기구 설계/개발 및 제어시스템에 적용을 위한 제작
- 연구용 및 현장재배용으로 필요한 다양한 형태의 LED 등기구 시제품 제작과 제어컨트롤러 설계, 실험실 및 조직배양실에서의 광환경 적용을 위한 등기구 제작
- 재배환경이 바뀌더라도 배광의 변경이 용이하게 하는 LED 조명장치의 제작
- 농업용 LED재배조명의 고가격로 인해 정부 지원 없이 농가 스스로 재배작물에 설치하기에는 비용적 부담이 크므로 농가 실정에 맞는 저가형 제품 개발
- 신산업으로 성장하고 있는 미세조류와 식물공장 분야에 적용 가능한 LED 제품의 제작

2. 참외재배 광환경 제어 시스템의 시스템 설계

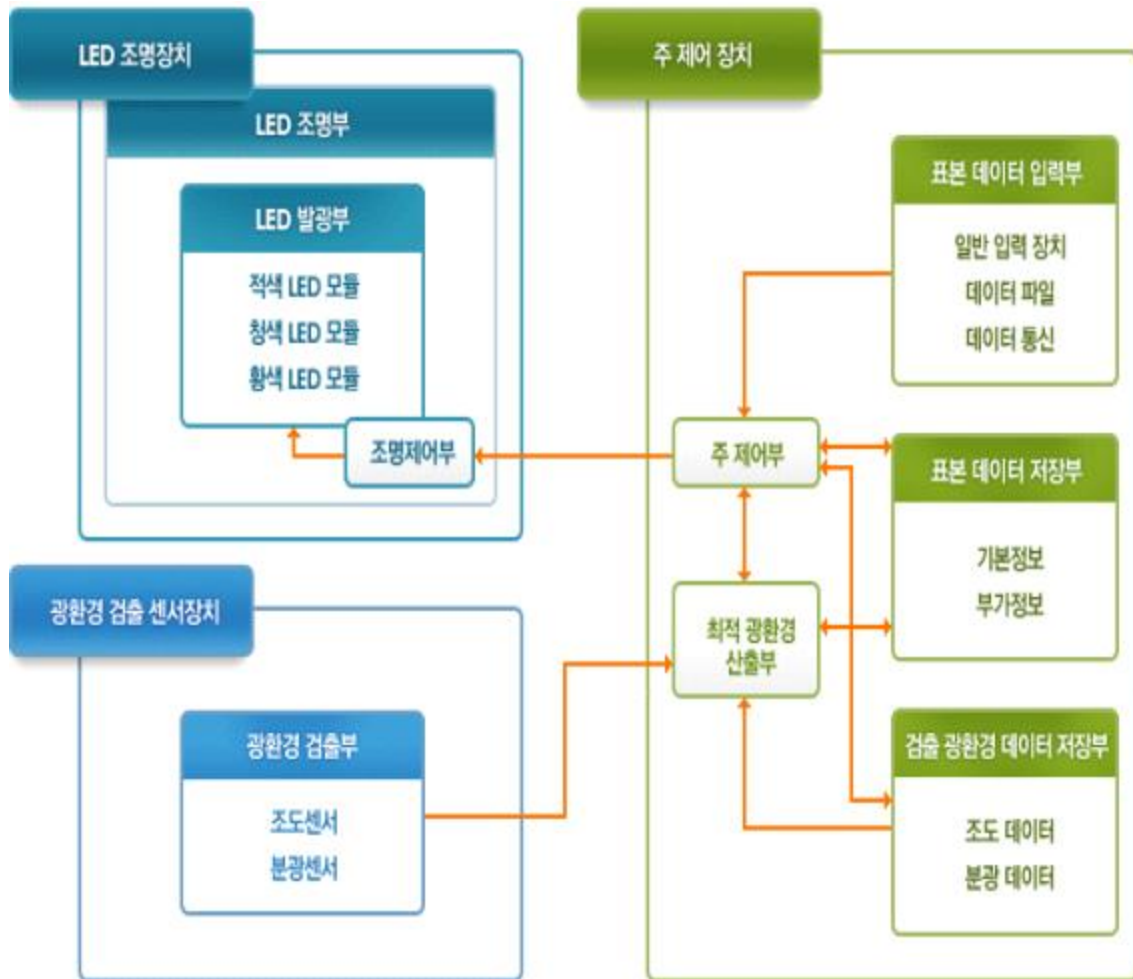
가. 개요

- 통합 성장 환경 제어 시스템 흐름도



<통합 광환경 시스템 흐름도>

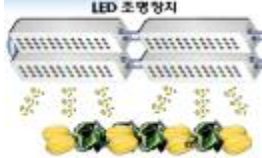



- 광환경 제어부를 위한 세부 설계 및 시스템 구성도



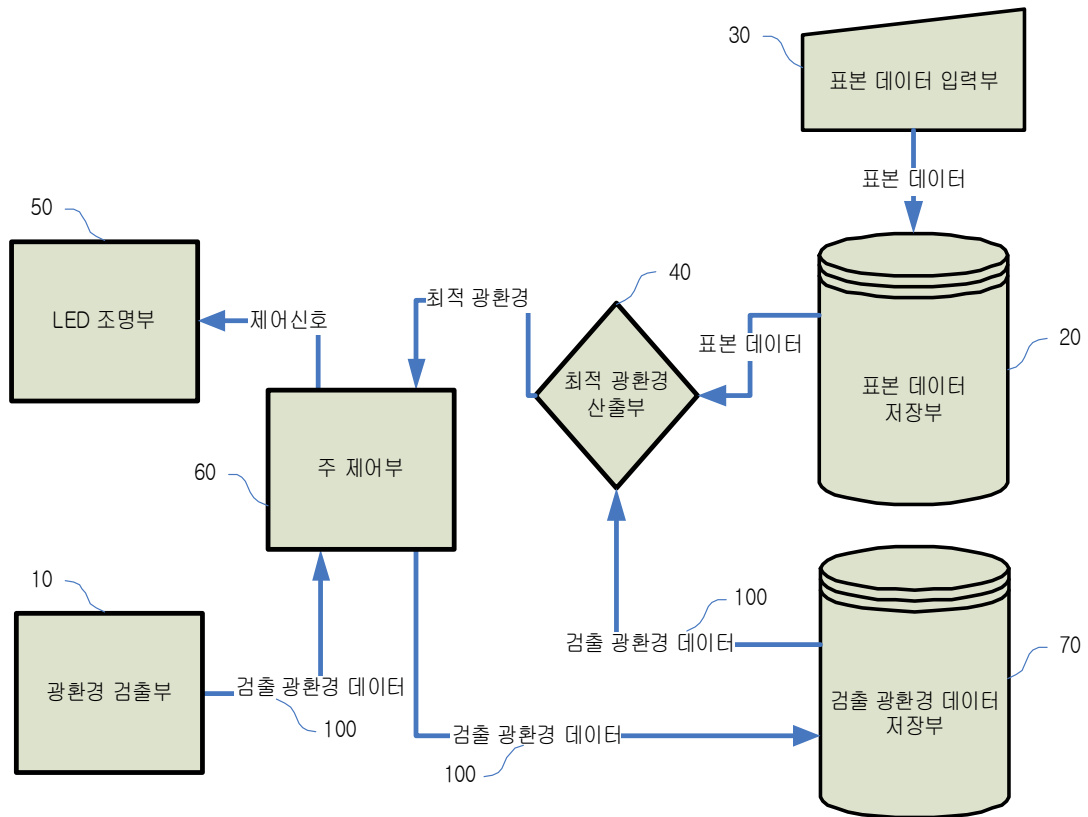
<광환경 제어 시스템 구성도>

- 광환경 검출(센서)부 - 광환경의 정확한 데이터를 검출
(빛을 파장별로 분석하는 분광센서와 조도를 검출하는 조도센서로 구성)
- 표본데이터 저장부 - 최적 광환경을 산출하는 지표가 되는 정보 저장
(기준 환경의 광과장 조성 및 조도, 작물과 생육단계별 요구광량 및 광포화점 등)
- 최적 광환경 산출부 - 상기의 표본 데이터 저장부에 저장된 정보와 광환경 검출부에서 검출된 광환경 데이터를 바탕으로 현재 재배 상황과 작물에 적합한 최적의 광환경 산출
- 주 제어부 - 산출된 최적 광환경을 LED조명 장치에 전달 제어하는 역할 등, 시스템의 전반적인 부분들을 총체적으로 관리하고 제어

- 광환경 제어 시스템의 요소 기술

기술(제품)	구성요소(elements)		
LED를 이용한 참외 지능형 광환경 제어 시스템	LED 조명장치	LED 파장별(적색광, 초적색광, 적+초적색광, 무처리)로 식물에 조사하는 광원으로 사용	
	조명 제어장치	참외에 조사하는 조명 시간 및 조명량을 조정하는 장치	
	주 제어장치	날씨, 계절 및 작물종류, 성장상황에 따라 필요한 요소의 제공이 가능하여 환경 변화에 지능적으로 대처하는 제어장치	
	광환경 검출센서	조도 센서 및 분광센서를 구비하여 외부 환경 상황을 검출함	

- 광환경 제어를 위한 제어 신호와 데이터 흐름도



<제어신호와 데이터 흐름도>

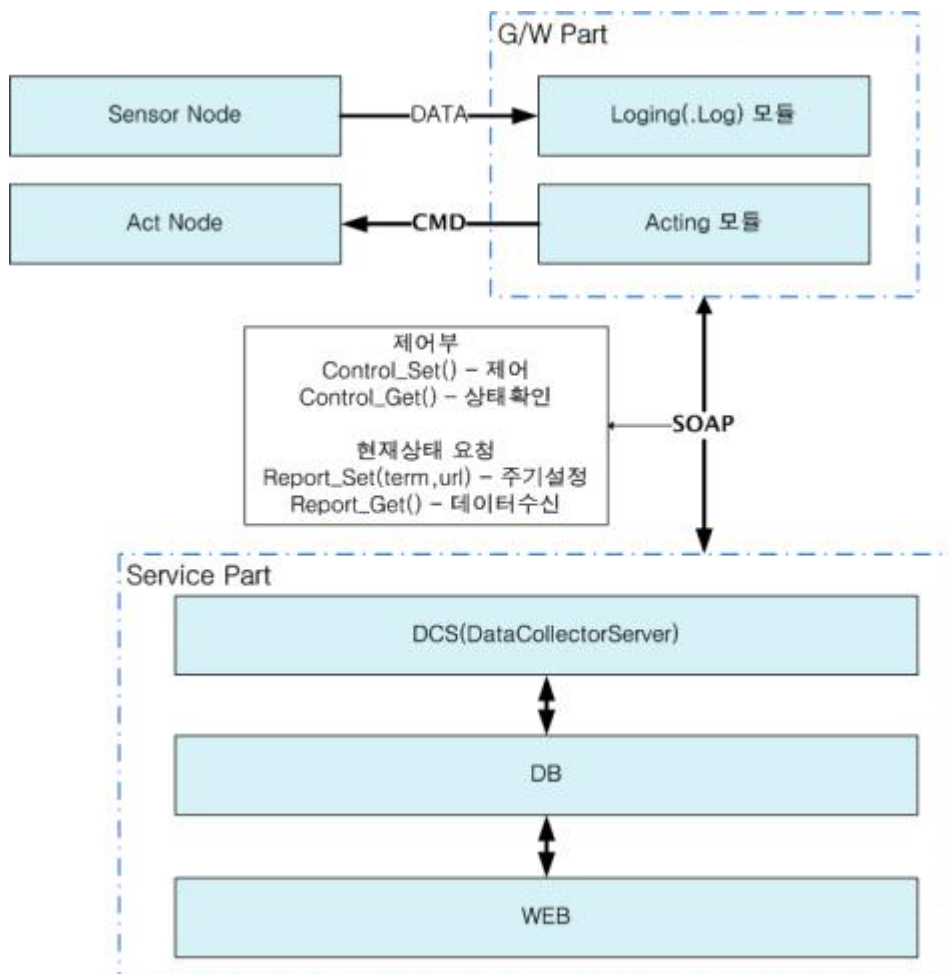
나. 참외의 재배 및 생장 환경의 체계적 관리를 위한 시스템 설계

(1) 설계 방향

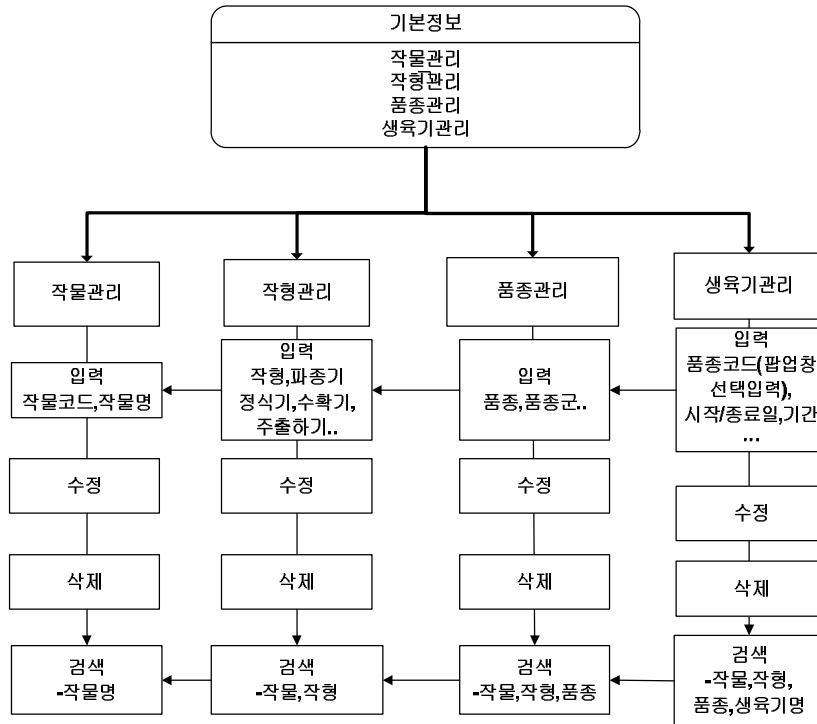
- 센서 네트워크를 구성하여 광환경 및 생장환경을 모니터링 하고 제어할 수 있도록 요소 기술을 정의하고, 센서가 수집하는 데이터를 가공, 저장, 통보를 통해 사용자에게 최적 재배환경을 위한 정보제공이 가능하도록 데이터 정의
- 생장환경, 생육상황, 재배기록을 표준화하여 체계적으로 관리
- 광환경 센서 및 생장환경센서를 이용하여 수집된 데이터 이외에 수동으로 입력되는 데이터를 통합 저장/관리하여 최적의 생장환경을 분석하고 생장/생육에 관련한 통계를 생성하여 연구 및 경작에 이용

(2) 시스템 설계

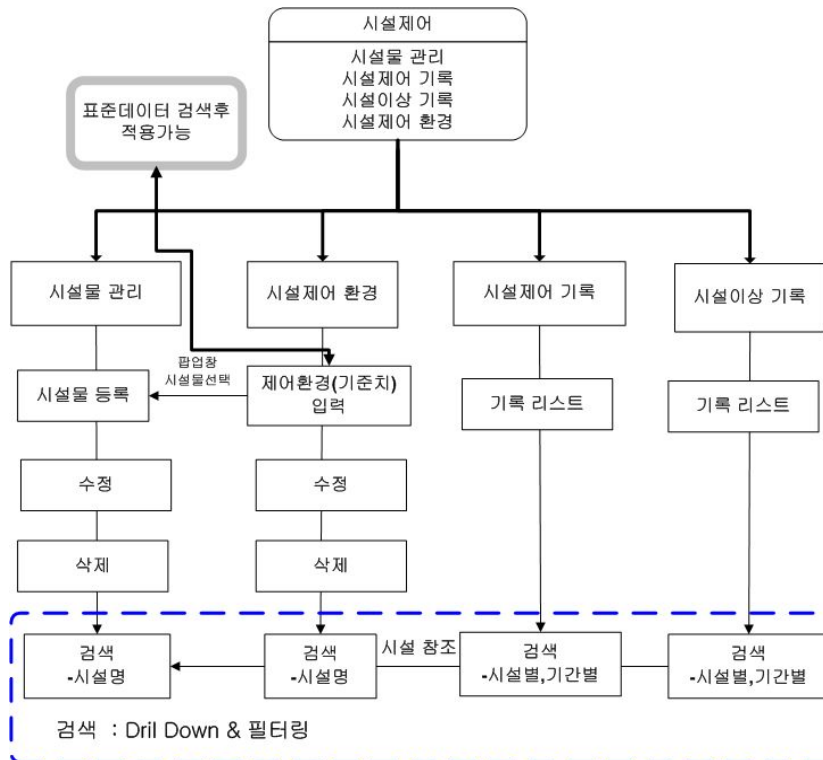
- 시스템 다이어그램 설계



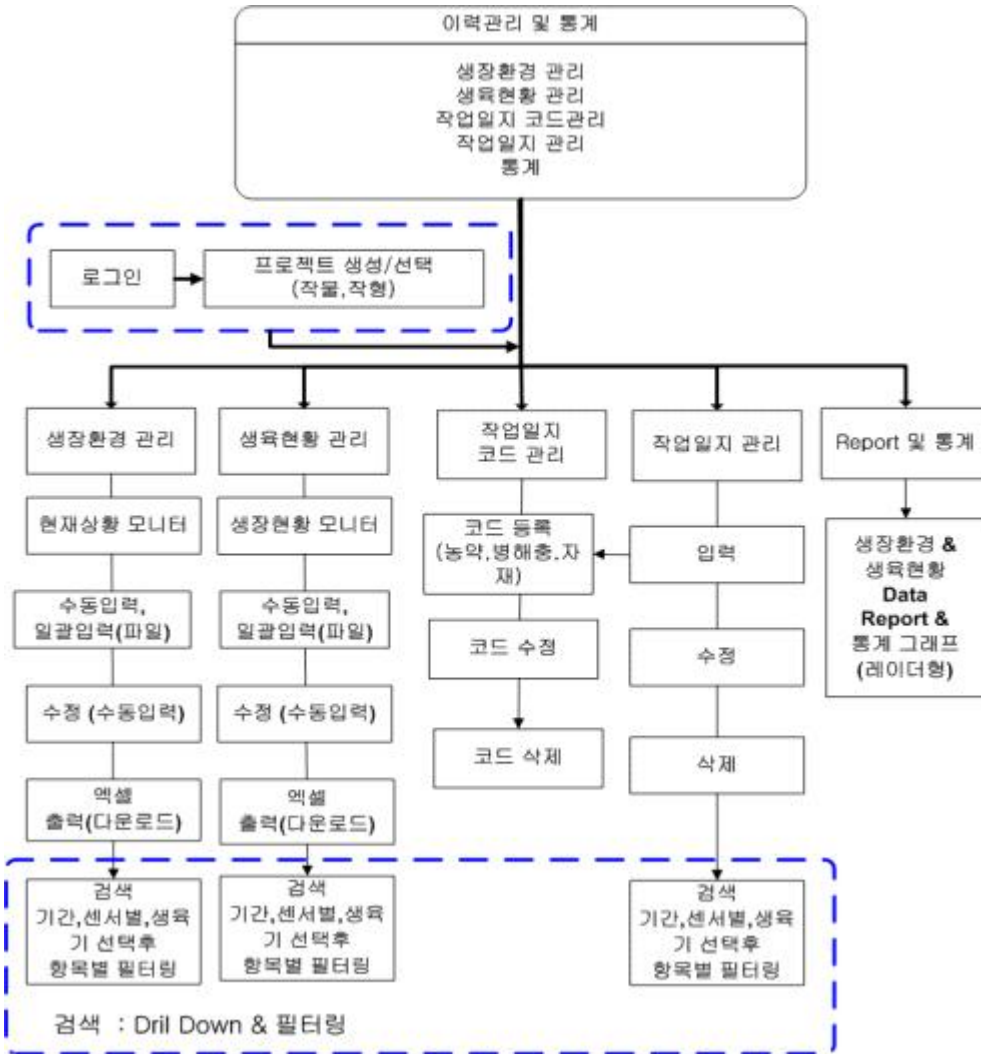
- 생장환경 기본정보 관리 설계



- LED 등기구 및 시설 제어 관리 설계



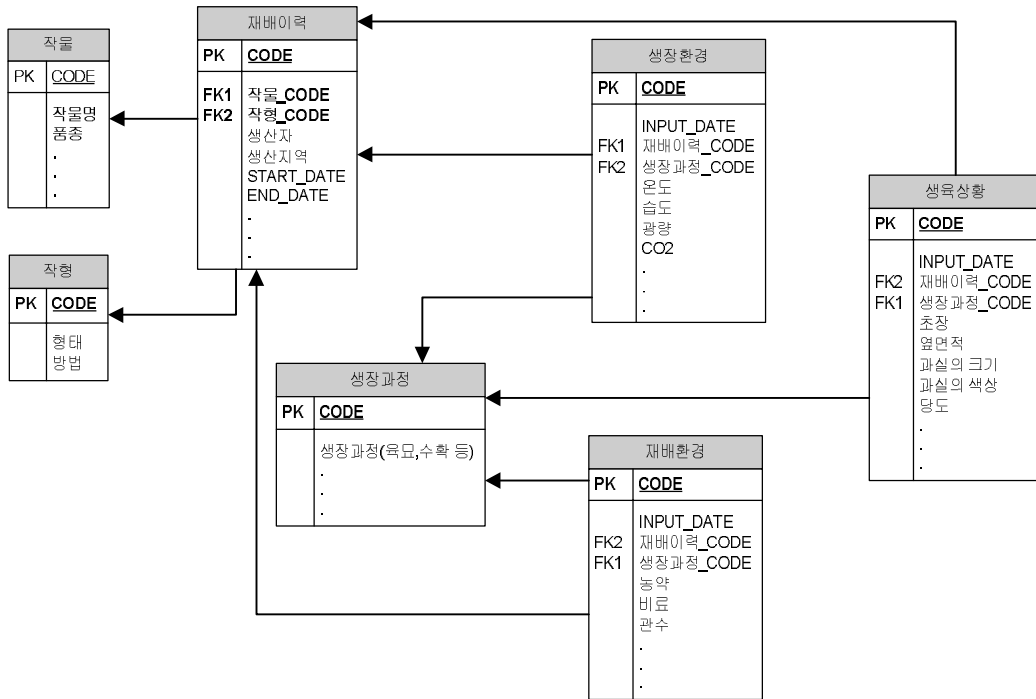
- 이력관리 및 통계 설계



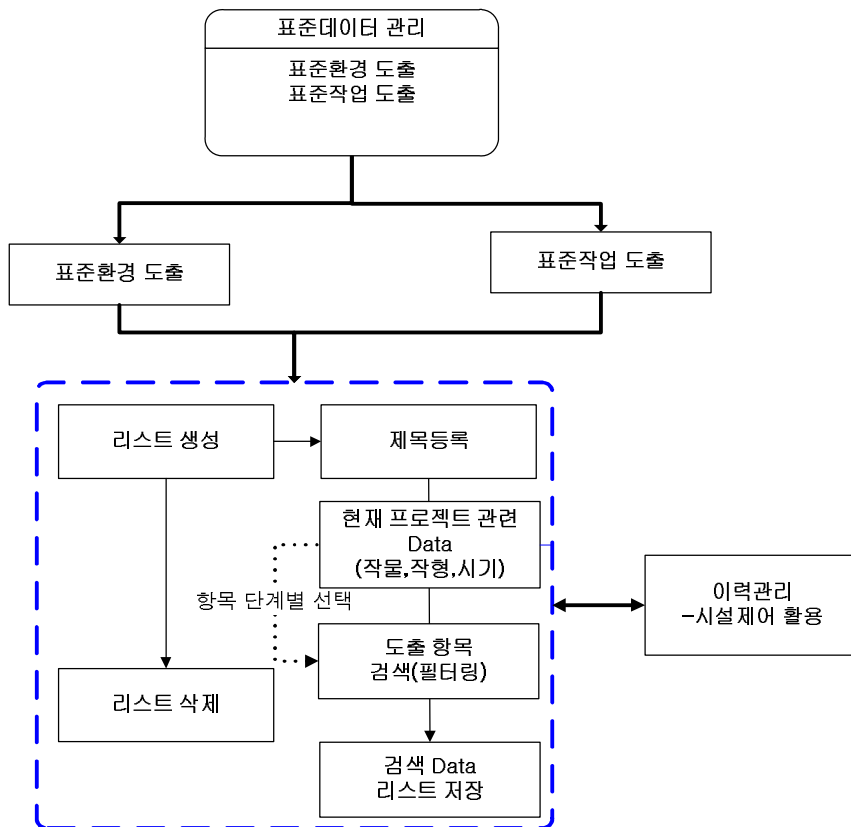
다. 참외의 재배를 위한 광환경 및 생장 환경 데이터의 표준화

- 연구자, 농민, 작목별로 다르게 적용되고 있는 광환경 및 생장환경 데이터를 통합/표준화
- 광환경 분석을 위한 센서와 생장환경 모니터링을 위한 센서를 이용해 수집된 기본 환경 데이터와 연구자 혹은 농민이 직접 입력한 추가 환경 데이터를 통합관리
- 누적된 작물의 광환경 및 생장환경과 생육상황, 재배기록을 분석하여 생장에 필요한 최적환경을 산출할 수 있는 기능 제공
- 농민, 연구원 등 누구나 쉽게 접근하고 이용할 수 있도록 손쉽고 직관적인 인터페이스를 제공하고, 다양한 통계와 레포트를 출력할 수 있는 편의성을 제공

- 표준 데이터 테이블 관계도 설계



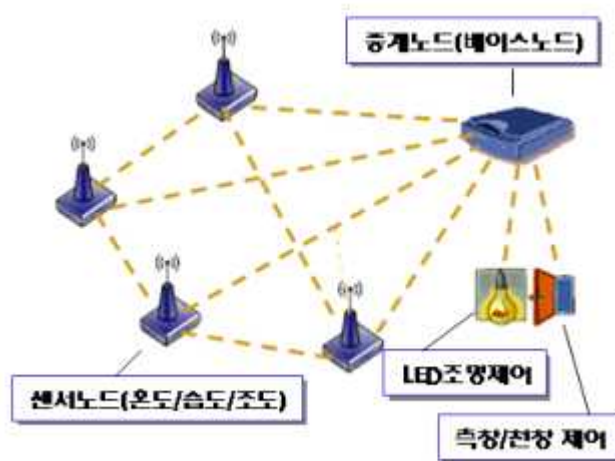
- 표준 데이터 설계 관리



라. 센서 네트워크 설계

(1) 센서 네트워크 구성

- 각 구역별 싱크노드를 중심으로 Star 네트워크를 구성하고, 각 구역내 센서노드 및 제어노드는 싱크노드와 RF 통신
- 각 구역별 센서노드와 제어노드는 센서 및 제어노드의 추가, 제거 등 네트워크의 확장성을 고려하여 동적 라우팅을 적용
- 구역별 싱크노드와 게이트웨이는 RF 통신
- 게이트웨이와 모니터링 PC 간은 Ethernet/WLAN 통신



(2) 시스템 설계 구성

- 참외 재배 시설하우스의 센서노드로부터 환경데이터를 전송하는 부분
- 싱크 노드를 통해 전송된 데이터를 수신하는 부분
- RS-232C 통신을 통해 센싱된 데이터를 파싱하여 값을 추출하는 부분
- 특정시간 마다 DB서버에 센서 데이터를 기록 하는 부분
- DB에 기록된 데이터를 웹서버를 통해 디스플레이 하는 부분
- 디스플레이 된 정보를 통해 관리자가 생장환경 제어기기를 작동하는 부분

(3) 센서노드 및 싱크노드



3. 참외재배 광환경 제어시스템의 개발 연구

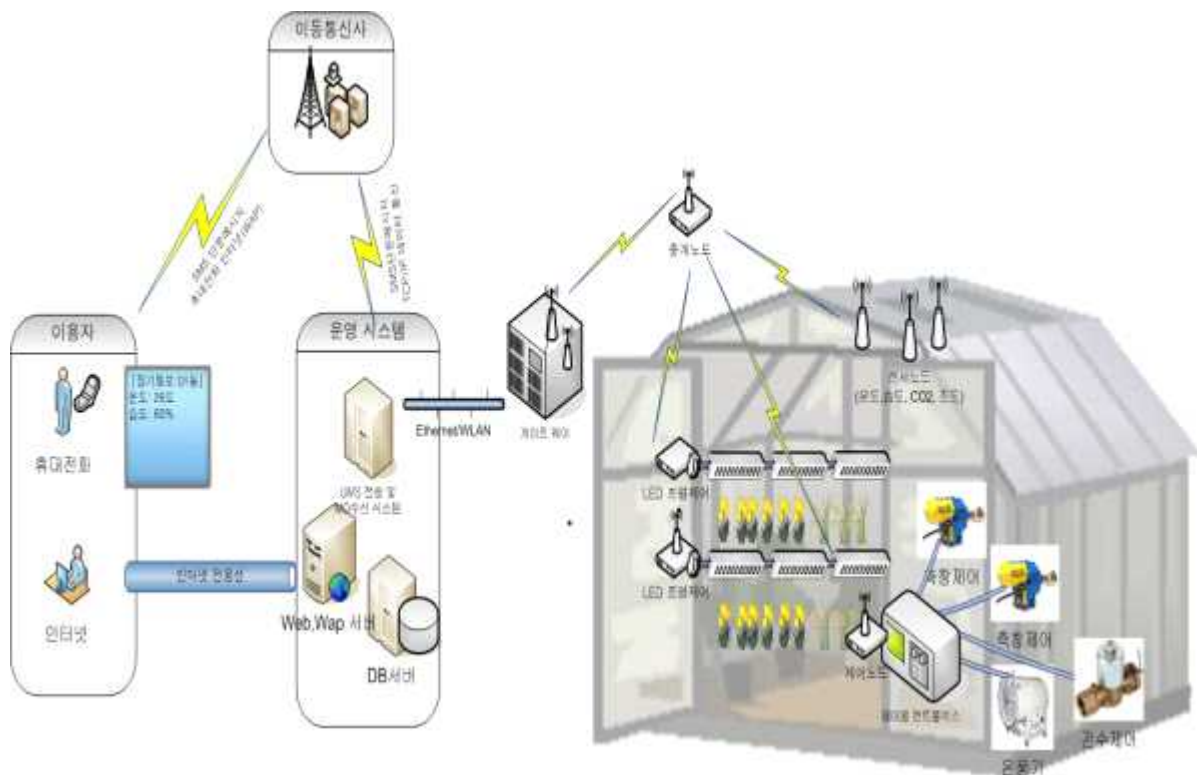
가. 개요

- 참외재배뿐만 아니라 시설재배 전반에 적용이 가능하도록 시스템을 확장하여 통합 광환경 제어시스템을 구축하고, 향후 사업화가 가능한 시스템의 구현
- 기개발된 시스템 설계 및 내용을 보완하고, 안정적이며 사용자의 편의성을 높이는 시스템의 구현 개발완료

나. 주요 개발 내용

(1) 하드웨어 및 네트워크 구축

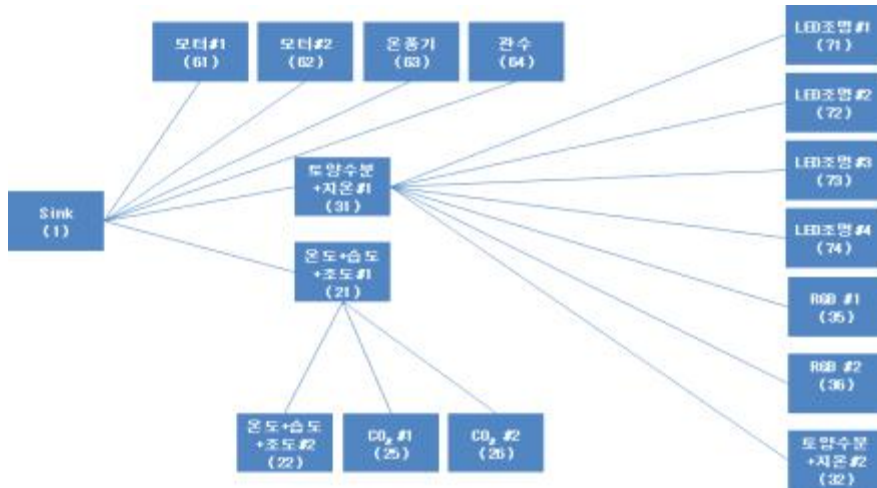
재배하우스 내 성장환경 정보 수집을 위한 USN장비(온도, 습도, 조도, CO2 등)와 각종 시설 제어를 위한 시설제어용 콘트롤러, 식물재배를 위한 LED 광환경, 통합 관제를 위한 네트워크 및 서버시스템 등으로 구성하고 각 하드웨어간 유기적인 결합으로 End 노드부터 최상위단 웹 시스템, 제어, DB 까지 일괄적으로 관리가 가능하도록 구성하여 여러 발생 시 발생 포인트 추적과 대처가 신속하게 이루어지도록 구성함.



<하드웨어 구성도>

(2) USN 망 구축 및 센서 설치

온실 내부를 영역별로 분할(Segmentation)하여 영역 단위로 센서 설치, 각 영역별로 설치된 센서와 한 조를 이루도록 USN 센서노드(Zigbee)를 설치하고 센서노드와 센서를 유선으로 연결, 싱크노드(Zigbee Data 수집기)를 하우스 끝단에 설치하고, 센서노드로부터의 전송데이터를 수집 및 센서노드 제어명령 전송하도록 구성함.



<센서 네트워크 구성도>

(3) LED인공광원 및 광원제어장치 설치

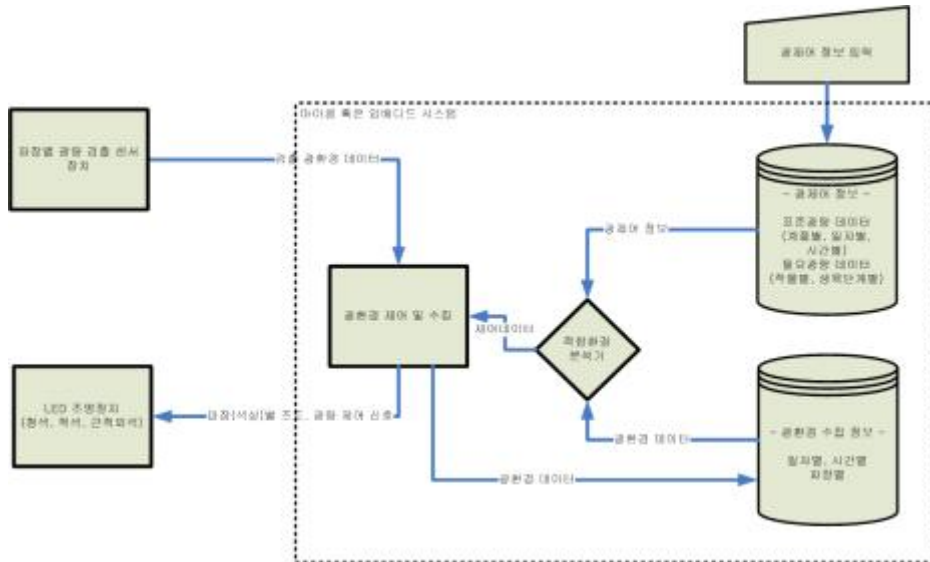
(가) LED 인공광원 설치

LED 광원 설치 시 적정 광강도는 200 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$) 이상이 되어야 하며, 길이 1m 정도의 바(Bar) 형태의 등기구로 구성하며, 설치되는 LED 등기구의 경우 안정기와 일체형으로 하우스내 최소 2m 이상으로 구성하여 작물에 충분히 영향을 줄 수 있도록 설치함.



<시설하우스 내의 LED 인공광원>

(나) 광원제어를 위해 광환경검출 센서를 갖춘 LED 광환경 제어 시스템 개발
 광환경 센서를 통해 광과장 분포와 광량을 분석하여 저장하고 기 저장되어 있는 표
 본데이터를 통하여 작물특성 및 생산단계별로 필요한 최적광환경을 산출하며, 현재
 검출된 광환경과 산출된 최적환경을 비교하여 필요한 광환경을 산출 제공함.



<LED광환경 제어 시스템 구성도>

다. 운영 소프트웨어 및 통합 DB 구축

(1) 통합 생산 환경 감시 제어 시스템 개발

웹을 이용하여 센서에서 수집되어진 생산환경을 모니터링 할 수 있는 재배환경 감시
 기능과 재배시설물을 원격제어 할 수 있는 시설물 제어 기능, 이상상황발생시 이용자
 에게 통보 할 수 있는 이상상황 경고 기능을 제공하는 시스템을 구축함.



<통합 생산 환경 감시 제어 시스템 화면구성>

(2) 성장환경 DB 체계적 관리 및 데이터 통합 및 표준화

- 작물의 재배 및 성장 환경의 체계적 관리
 성장환경, 생육상황, 재배기록을 표준화 하여 체계적으로 관리하고 센서를 이용하여 수집된 데이터를 통합 저장/관리하여 최적의 성장환경을 분석하고 통계 생성
- 작물의 재배 및 성장 환경 데이터의 표준화
 연구자, 농민, 작목별로 다르게 적용되고 있는 성장환경 데이터를 통합/표준화하고 누적된 작물의 성장환경과 생육상황, 재배기록을 분석하여 최적환경을 산출하는 기능 제공

라. 하드웨어 및 네트워크

(1) 구성 개요

U-Greenhouse의 하드웨어 구성은 크게 운영시스템과 시설하우스 내부에 설치되는 USN 센서/제어노드 및 제어용 컨트롤러와 게이트웨이 그리고, 시설하우스와 운영시스템을 연결하는 외부통신망으로 구성됨.

(2) 하드웨어 구성 목록

(가) 운영시스템 하드웨어 구성

구분	품명	규격	수량
서버	WEB/DB/DCS(Data Collect Service) 서버	-Quad-Core Intel Xeon E54xx (2.0GHz, 12M Cache) x 2processor -2GB (2x1GB) PC2-5300 -73GB 10K SAS 2.5" -HP Smart Array E200/64MB Controller -OS : Windows 2003 R2 Server	기존 H/W 활용
네트워크 장비	L2 Switch	-Port : 10/100 24 Ports -24 auto-sensing 10/100,L2, 2dual-personality 10/100/1000T or mini-GBIC connectivity	기존 H/W 활용

(나) 시설하우스 내 하드웨어 구성

구 분		내 용	수량
USN 장비	게이트웨이/ 싱크노드	- USN to WLAN Wireless Interface - Ethernet, Serial, JTAG, USB, Connectors - Network Interface : 10/100Mbps Base-T Ethernet, RJ-45 ×1 port	1
	센서노드 (송수신기)	센서데이터 송신기	12
	중계노드	센서데이터 중계기	2
	제어노드	측창모터, 온풍기, 관수, LED조명 제어용 콘트롤러를 포함한 송수신기	8
센서	온도/습도 통합 센서	온도 및 습도 측정 센서	2
	조도센서	조도 측정 센서	2
	CO2센서	CO2 측정 센서	2
	RGB센서	과장별 광량 측정 센서	2
	토양수분/지온 센서	토양의 수분과 온도 측정 센서	2
	스펙트로메타	분광분석 장비	1
인공 광원	식물 재배용 LED 등기구	적색, 청색, 적/청 혼합 광원	4
	LED용 PSU	30W/220V	4
시설제어	측창개폐용 DC모터	24V/4A(리미트센서 포함)	4
	측창개폐기 수동 제어기	2CH DC모터 제어, 원격제어기와 연동 기능	2
	측장용 DC모터 원격 제어기	CW, CCW, OFF 동작 제어, UP/DOWN 리미트 센서정보 검출, RS-232C,RS-485통신	2
	솔레노이드밸브	관수제어용 솔레노이드 밸브	1
	LED조명 제어기	PWM Dimming 제어, 현재 PWM상태 검출, RS-232C 통신	4
주변기기	무선AP	-802.11 - a/b/g Access Point -10/100Mbps WAN포트 1개, -10/100Mbps LAN 포트 1개	1

마. 하드웨어 사양

(1) 게이트웨이

싱크노드의 기능을 내장하고 DCS(Data Collect Service)서버와 통신을 위한 LAN, WLAN기능을 제공하며 센서노드의 데이터 수집, 제어명령전달의 역할과 DCS(Data Collect Service)서버와 싱크노드간 데이터 중계역할을 수행

- 공급전원 : DC 5V, 2A
- USN to BcN(CDMA, HSPDA, WLAN) Wireless Interface
- Ethernet, Serial, JTAG, USB, Connectors
- Network Interface : 10/100Mbps Base-T Ethernet, RJ-45 ×2 port
- Network Protocol : TCP, UDP, IP, ARP, ICMP, MAC
- Serial Speed : 1200bps to 230Kbps
- Input Voltage : 3.3V internal operation, 5V tolerant I/Os
- 센서노드에서 수집되는 정보 제공 LCD 패널



<게이트웨이 하드웨어>



<시설하우스내 게이트웨이 설치형태>

(2) 센서노드

센서에서 수집된 데이터를 싱크노드로 전송하기 위해 무선 데이터 통신기능을 갖춘 송수신장치

- 동작전원 : 5VDC
- 소모전력 : 100mA
- NETWORK :IEEE 802.15.4
- 데이터속도 : 250Kbps
- 주파수범위 : 2405MHz~2480MHz
- 방진/방습 케이스



<센서노드 하드웨어>



<센서노드와 센서가 결합된 모습>



<시설하우스 내 센서노드 설치형태>

(3) 환경 검출 센서


(3.1) 온/습도 센서

	<ul style="list-style-type: none"> - Model : SHT75 - 온도 측정범위 : -40°C ~ 123.8°C - 온도 정밀도: +/- 0.3°C @ 25°C - 습도 측정 범위: 0-100% RH - 습도 정밀도: +/- 1.8% RH (20-80% RH) - Interface : 2 wire serial (I2C)
<p><온/습도 센서 - SHT75></p>	

(3.2) 조도센서

	<ul style="list-style-type: none"> - Model : LX1971IDU - 측정범위 : 0~25,000 Lux/25,000~10,000Lux - 검출과장 : Approximate Human Eye Spectral Response(380~780nm) - 동작온도 : -40~85°C - Interface : 1 wire ADC
<p><조도 센서 - SHT75></p>	

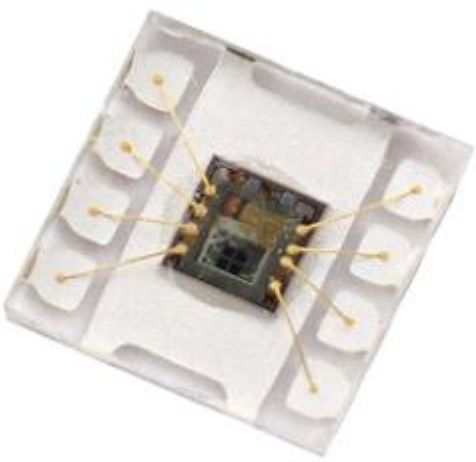
(3.3) CO2 센서

	<ul style="list-style-type: none">- Model : SH-300-STH- CO2 측정 범위 : 0 ~ 3,000ppm, 0 ~ 5,000ppm- 온도 측정 범위 : -25℃ ~ 60℃- 습도 측정 범위 : 0 ~ 100% RH- 출력 : 0 ~ 3V (CO2 Value Only)
<p><CO2 센서 - SH-300-STH ></p>	

(3.4) 토양수분 센서

	<ul style="list-style-type: none">- Model : WT1000A- 측정범위 : Moisture : 0-99.9%/Temperature : 0-60도- 오차 : Moisture : +3%/Temperature : +-0.5도- Sensor Type : FDR- Power Supply : 9VDC- Current : 20mA
<p><토양수분 센서 - WT1000A></p>	


(3.5) RGB 센서

	<ul style="list-style-type: none">- Model : VM6101- 4-channel Y+RGB photosensor- Optical center location: (+70, +35) μm relative to package center.- Sensitive area: 220 x 240 μm- Interface : 2wire serial (I2C)
<p><RGB 센서 - VM6101></p>	

(4) 제어노드 및 제어장치


원격지의 운영시스템에서 전송하는 제어명령을 시설하우스 내의 각종 시설물에 전달하여 시설물 제어를 실행하며 시설물의 제어 상태를 싱크노드에 전달하는 송수신 장치와 제어명령을 수행하는 콘트롤 장치

(4.1) AC전원 제어용 전력제어 노드

	<ul style="list-style-type: none">- Model : SA110- 전력제어 범위 : Max 600V/8A- 전력제어 방식 : Triac Driver Port Control- Interface : 1 wire GPIO(on/off)
<p><AC 전원 제어용 전력제어 노드></p>	


	
<p><온풍기에 전력제어 노드를 적용한 모습></p>	<p><관수 제어용 솔레노이드 밸브></p>

(4.2) 측창개폐용 DC모터 제어 컨트롤러

	<ul style="list-style-type: none"> - Model : UGN-CM241 - Channel : 1CH - 최대전류 : 8A - 구동전압 : 5V~25V - Interface : RS-232C/RS-485 - 제어신호 : CW, CCW, OFF
<p><DC 모터 제어용 컨트롤러></p>	

	
<p><측창 개폐용 24VDC 모터></p>	<p><측창 개폐용 모터 수동제어 장치></p>

(4.3) LED 조명 제어용 컨트롤러

	<ul style="list-style-type: none"> - Model : UGN-CL301 - Channel : 1CH - 최대전류 : 1A - 구동전압 : 12V~48V - Interface : RS-232C - 제어신호 : 1~255 PWM
<p><LED조명 제어용 컨트롤러></p>	

(5) 식물 재배용 LED 등기구

- Model : UGN-B135
- Size : 1,000(L) x 37(W) X 28(H)
- LED Type : 0.3W 5050 SMD x 128 EA
- 방수/방습 : IP65
- 출 력 : 30W
- 파장대역 : Red(630~660nm), Blue(440~470nm), Red+Blue(1:9)
- 입력전원 : 220VAC(48VDC In LED Array)



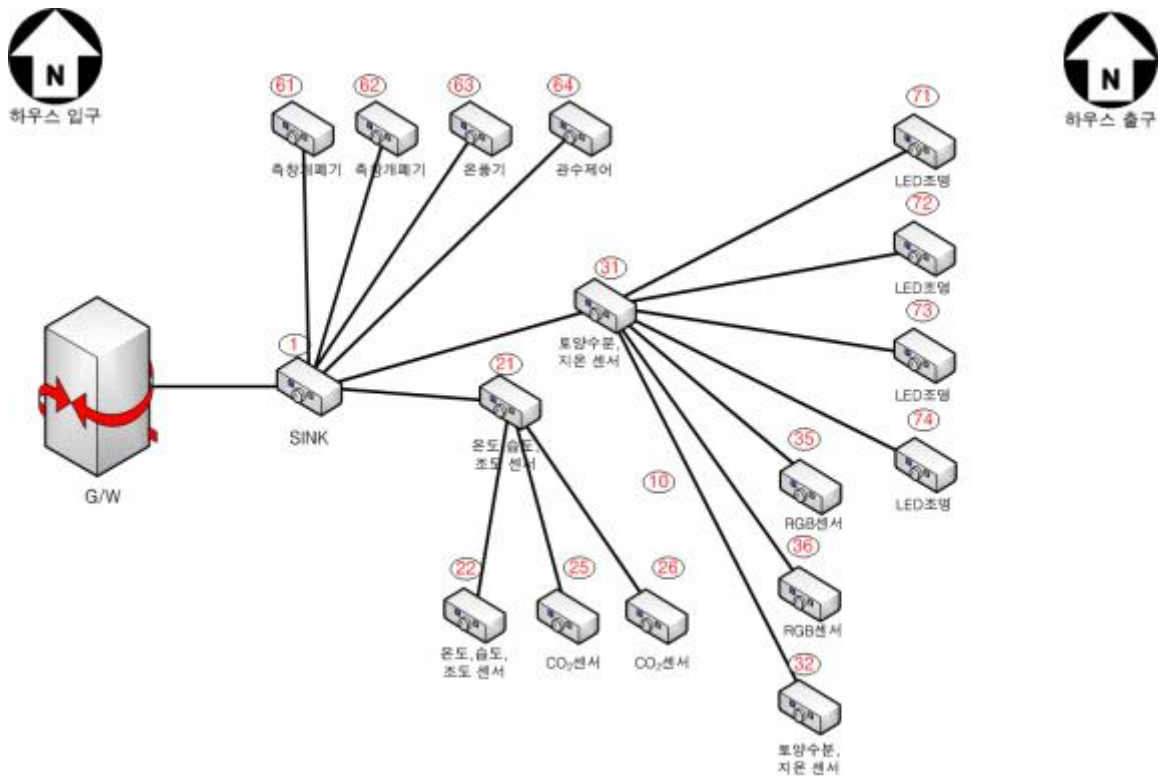
<식물 재배용 LED 등기구>



<파장별 식물 재배용 LED 등기구>

바. 네트워크 구성

시설 하우스 내부에 설치되는 위치와 Sink 노드와의 거리를 고려하여 직접 연결과 중계노드를 거쳐서 연결하는 방식을 결정하며 센서노드21번(온도/습도/조도 센서)과 센서노드31번(토양수분/지온 센서)을 중계노드로 이용하여 원거리의 센서 및 제어노드를 싱크노드와 연결하는데 이용함



<시설하우스 내부 센서 네트워크 구성>

사. DCS(Data Collect Service) 서버 부문

(1) 시스템 소프트웨어

구분	품명	규격	수량
Operating System	Microsoft Windows 2003 Standard Edition	-고급 수준의 신뢰성, 확장성 및 보안을 제공하는 OS -지능형 파일 및 프린터 공유 -안전한 인터넷 연결, 중앙 집중형 데스크톱 정책관리, 웹 솔루션 제공	CPU별 라이선스

DBMS	Microsoft SQL Server 2005 Standard Edition	-CPU별 라이선스 -분석, 보고, 통합 및 알림 기능이 최적으로 통합 -자사 개발 도구와의 긴밀한 통합 -다중 사용자 지원 -백업/복구 기능 제공 -대용량 데이터 지원 -테이블 개수 제한 없음 -자동화된 성능진단 및 SQL튜닝기능	CPU별 라이선스
------	--	--	-----------

(2) 응용 소프트웨어

구분	품명	특징
Web Server	IIS 7.0	-상기 O/S에 포함되어 제공됨
개발	U-GreenHouse Data Collecte Server	USN Gateway와 TCP/IP Socket 통신방식을 사용하고, USN의 센싱정보를 파싱하여 DB로 LOG정보를 저장하는 한편, 기설정된 제어조건과 비교/분석하여 해당 제어노드로 피드백 데이터를 Gateway로 전송
	ASP.NET용 Web Application	- 관리자/생산자의 웹사이트 로그인 - 생산자가 수행하는 일련의 재배활동을 프로젝트 단위로 관리 - 프로젝트별 센싱/제어상 발생하는 정보를 시점별(현재/이력) 조회 - 축적된 센싱/제어정보 분석을 통한 작물별 품종별 표준성장환경 모델을 추출

(3) 소프트웨어 개발 적용기술

(가) DCS(Data Collect Service)

- 개발도구 : Visual Studio 2005 Team Suit
- 개발언어 : C#
- 플랫폼 : Windows Server 2003, .NET Framework 2.0
- 통신프로토콜 : HTTP, SOAP

(나) Web Application

- 개발도구 : Visual Studio 2005 Team Suit
- 개발언어 : C#, HTML, Javascript
- 플랫폼 : Windows Server 2003, ASP.NET, .NET Framework 2.0
- 통신프로토콜 : HTTP, SOAP
- UI : AJAX (javascript prototype library)

아. 서비스 부문

구분	서비스명	기능
기본정보 관리	농작물 원형정보관리	작물, 작형, 품종 엔터티에 대한 정보를 관리하고, 작물별 품종수가 많은 경우, 관리의 용이성을 제고하기 위해 품종군 정보를 포함. 작물별 생육정보를 유형별로 분류하여 관리
	노드/장치 관리	하나의 노드에 다수의 센서/제어장치가 포함되므로 노드 및 센서/제어장치를 개별화, 고유화 하고 상호 매핑하여 관리
	생산자 관리	회원(비생산자 포함)정보와 별도로 관리되고, 생산자별 재배시설, 이상통보 연락처 정보 등이 포함
회원정보	보안관리	생산자와 비생산자, 시스템 관리자, 운영자등으로 등급을 설정하고 로그인을 통하여 본 시스템의 서비스 정보에 대한 접근을 통제
	가입/탈퇴	회원가입(비생산자도 포함) 및 승인, 탈퇴를 관리
프로젝트	등록정보 관리	프로젝트는 생산자의 작물별 시기별 재배활동 단위를 관리하는 논리적 단위 생산자의 특정프로젝트 진행요청이 승인되면 <농작물 원형정보> 및 생산자 재배시설 정보를 원본으로 등록정보를 구성 재배시기, 진행중인 생육단계 등의 정보도 포함
하우스정보	생장환경 현재정보	생산자별 재배시설(하우스)별로 최근 수집된 센싱정보 및 제어정보를 노드별로 확인
생장환경 이력정보 & 통계	생장환경관리	재배시설별 현재 센싱정보를 포함하여 기간별 센싱정보를 조회
	생육현황관리	재배작물의 열매크기, 무게, 주된 줄기의 길이 등을 조회
	작업일지	생산자가 영농일지를 입력하고 편집

표준데이터 관리	표준환경 도출	작물, 품종, 생육기, 생육조건을 단계적으로 선택한 후 해당정보를 기준으로 최적의 재배환경에 필요한 표준환경데이터를 도출
시설제어	시설제어 설정	사용자가 설정한 제어 조건을 기준으로 해당조건이 발생할 경우 자동으로 설비를 제어
	시설제어 로그	제어 설정에 따른 시설제어기록을 저장함
시설물이상 상황알림	임계치 설정	재배시설별 센서장치의 임계치를 설정함으로써 이상상황발생시 SMS 통보를 받을 수 있음
	통보설정	이상상황 발생시 수신자 정보(휴대폰번호,이름)를 등록 관리
	이상상황 기록	사용자가 설정한 임계치정보를 기준으로 발생한 이상 상황에 대한 내용, 발생날짜, 센서정보를 기록, 조회
	통보내역	이상 상황 발생 및 통보에 관한 정보를 기록, 조회
커뮤니티	게시판	공지사항, Q&A 게시판

자. 서비스 주요기능

(1) 메인 페이지



<사이트 로그인 및 공지사항 목록 페이지>

(2) 기본정보 - 작물관리



<기본 작물정보 관리 페이지>

(3) 기본정보 - 품종군 관리



<기본 품종군 관리 페이지>

(4) 기본정보 - 품종 관리



<기본 품종 관리 페이지>

(5) 기본정보 - 작형 관리



<기본 작형 관리 페이지>

(6) 기본정보 - 기본생육목록 관리



<기본생육목록 관리 페이지>

(7) 기본정보 - 기본생육기 관리



<기본생육기 관리 페이지>

(8) 프로젝트 관리



<프로젝트 생성 및 프로젝트 진행단계(생육기) 관리 페이지>

(9) 하우스 정보 - 하우스 정보 모니터링

프로젝트 진행 중 인 하우스의 정보를 모니터링하는 페이지, 제어시설 및 센서를 클릭 하면 해당 장치의 제어화면으로 이동함



<하우스의 정보 모니터링 페이지>

(10) 하우스 정보 - 시설 제어



<선택한 시설의 자동제어설정 및 로그정보 확인 페이지>

(11) 하우스정보 - 센서 제어



<선택한 센서의 데이터 입력 및 로그정보 확인 페이지>

(12) 이력관리&통계 - 성장환경 관리



<시설별 성장환경현황 및 로그정보 확인 페이지>

(13) 이력관리&통계 - 생육현황 관리



<시설별 생육현황 및 로그정보 확인 페이지>

(14) 표준데이터 도출



<작물, 품종, 생육시기 및 생육결과에 적합한 표준환경 도출 페이지>

(15) 시설 제어 - 시설제어 설정



<프로젝트 시설별 시설제어 설정 및 현황정보 페이지>

(16) 시설 제어 - 시설제어 로그



<프로젝트 시설별 시설제어 설정로그 정보 페이지>

(17) 시설물 이상상황 알림 - 임계치 설정



<시설에 등록된 센서장치의 임계치 설정 페이지>

(18) 시설물 이상상황 알림 - 수신자(SMS) 설정

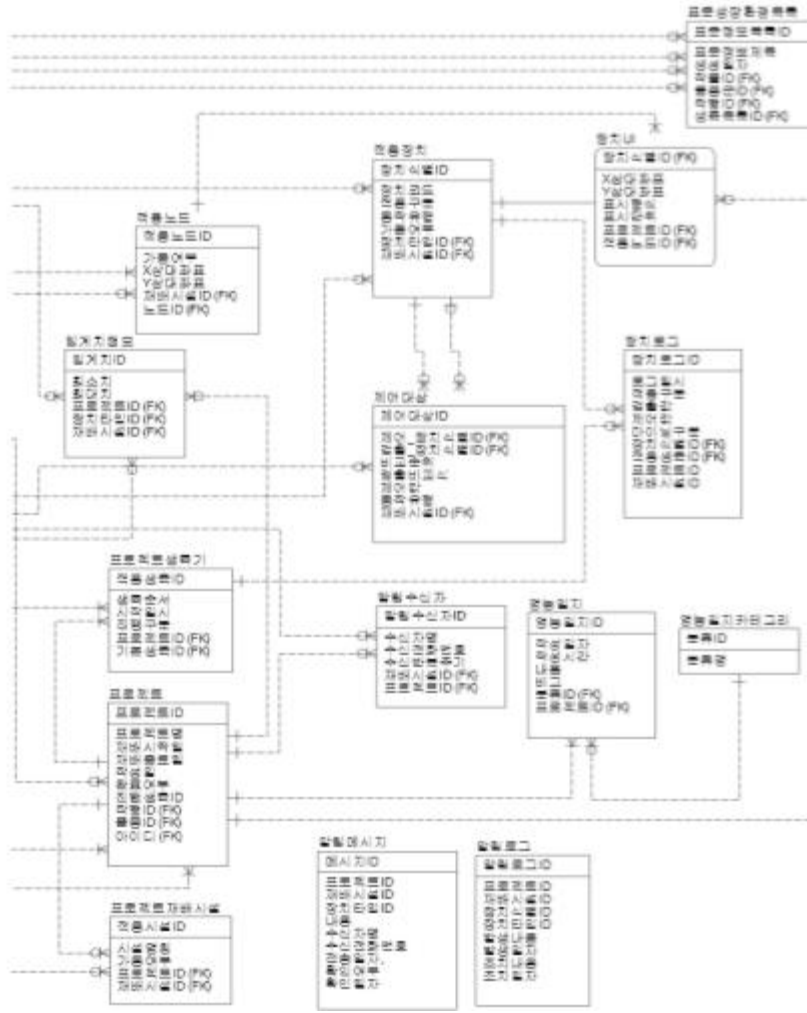


<이상상황 발생시 SMS 수신대상 등록 페이지>

(19) 시설물 이상상황 알림 - 이상상황 기록

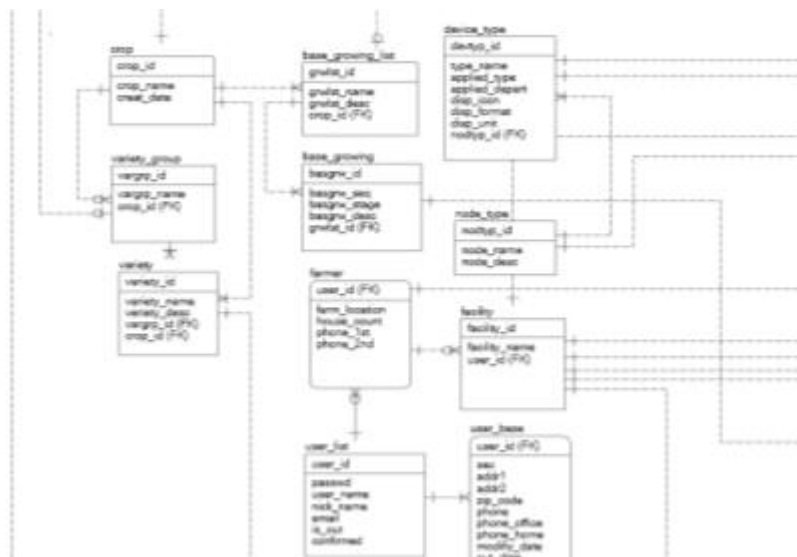


<이상상황 에 대한 데이터 로그정보 및 조치내용 등록>

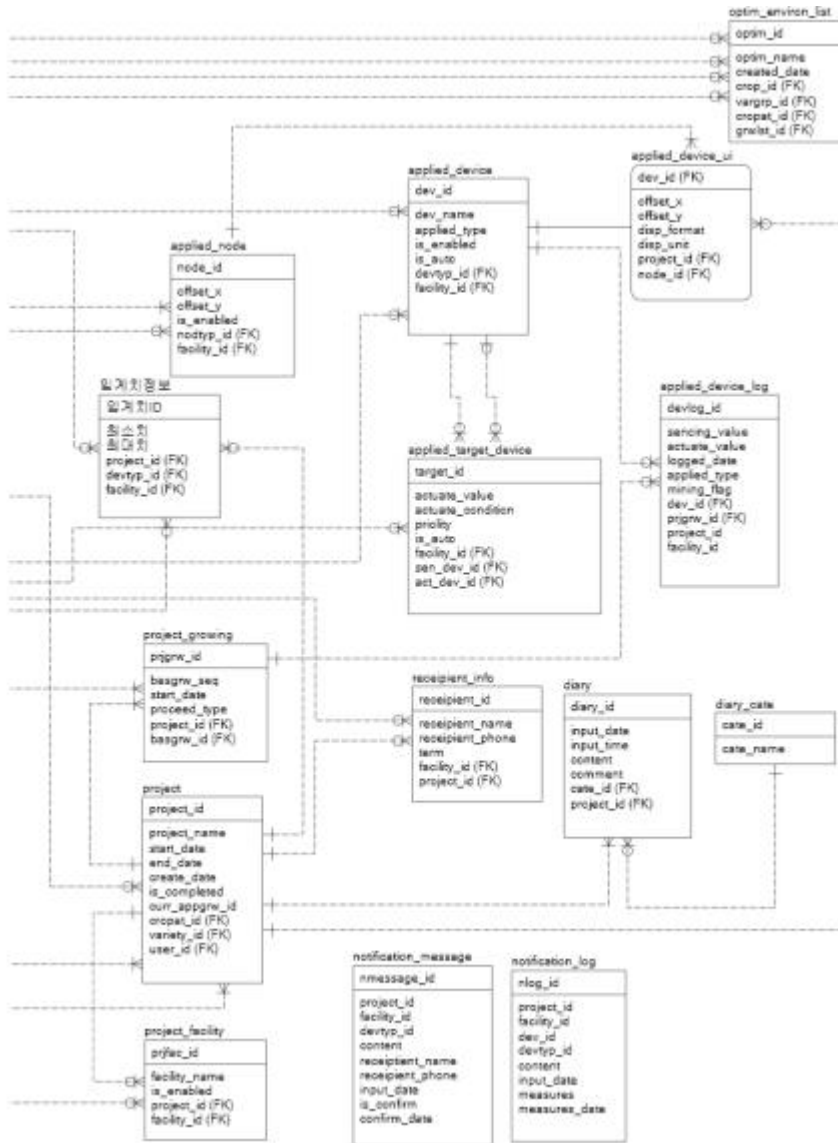


<데이터베이스 다이어그램 논리적 구성 2>

(다) 물리적 구성



<데이터베이스 다이어그램 물리적 구성 1>



<데이터베이스 다이어그램 물리적 구성 2>

(3) 구성내용

(가) 데이터 베이스 Table 목록

구분	테이블ID	테이블명	설명	보관 주기
회원정보	user_list	생산자 정보	생산자 기본정보	영구
	user_base	생산자정보상세	생산자 상세정보	영구
농작물 기본정보	crop	작물	재배작물 기본정보	영구
	cropping_pattern	작형	작물별 재배방법, 시기 등에 대한 정보	영구

	variety	품종	작물별 재배품종에 대한 기본정보	영구
	variety_group	품종군	작물별 재배품종이 속한 품종군에 대한 기본정보	영구
	base_growing_list	기본생육기목록	작물별 생육기 유형을 정의하는 기본정보	영구
	base_growing	기본생육기	<기본생육기목록>에서 정의한 유형에 대한 생육단계에 대한 상세기본정보	영구
재배시설 기본정보	facility	재배시설 (하우스)	생산자별 소유재배시설에 대한 정보	영구
센서 및 제어장치 기본정보	device_type	장치타입	센서 및 제어장치에 대한 적용부문,타입명 등의 기본정보	영구
	node	노드	노드기본정보(생산자,재배시설,프로젝트에 관계없이 고유성을 유지)	영구
	node_device	노드장치	현장에 적용되는 실질적인 노드정보(하나의 <노드>에 다수의 <장치타입>이 대응)	영구
재배 프로젝트	project	프로젝트	생산자의 특정작물에 대하여 일정기간동안 수행하는 재배활동을 하나의 프로젝트로 보며 작물, 작형, 품종, 재배기간 등의 정보를 포함함	영구
	project_facility	프로젝트 재배시설	<프로젝트>에 사용된 <재배시설>에 대한 정보로 <프로젝트>가 생성될 때 복사되어 생성됨	재배 기간
	applied_node	적용노드	<프로젝트>에 사용된 <노드>에 대한 정보	재배 기간
	applied_device_ui	적용장치 UI정보	<프로젝트>에 사용된 <노드장치>에 대한 정보로서 주로 UI에 필요한 정보를 포함	재배 기간
	applied_device_log	적용장치 로그	<프로젝트>에 사용된 <노드장치>의 센싱자료 또는 제어자료를 포함함	영구
	applied_target_device	적용제어대상	센서장치의 센싱자료에 대한 제어장치의 피드백동작에서 요구되는 조건범위, 제어량 등을 포함하는 정보	반영 구
표준생육 환경정보	optim_envron_list	표준성장환경 목록	축적된 센싱정보를 토대	
이상상황	device_threshold	임계치설정	센서장치의 임계치를 설정함	반영구

알림	recipient_info	수신자정보	이상상황 발생시 SMS수신자 정보	반영구
	notification_log	이상 상황기록	이상상황발생 데이터로그	영구
	notification_message	이상 상황 통보 내역	이상상황통보(SMS)내역 데이터로그	영구

(나) 데이터베이스 뷰 목록

구분	뷰ID	연결테이블	설명
프로젝트	prjfac_device	node_device applied_device_ui device_type	<프로젝트>에 자주 참조되는 적용장치에 대한 정보를 제공
표준생육 환경정보	optimized_stdenv _list	optim_env_list crop variety base_growing_list cropping_pattern	생성된 <표준생육정보>에 대한 명명정보를 제공

(다) 데이터베이스 프로시저 목록

구분	프로시저ID	참조개체	설명
성장환경	sp_growth_house _info	node_device device_type	시설에대한 성장환경 센싱데이터(평균값) 정보를 제공
하우스 정보	sp_project_facility _deviceinfo	applied_device_log applied_device_ui device_type	시설에 등록된 장치 및 센싱데이터 정보를 제공
프로젝트	sp_project_growing _start	project project_growing	프로젝트 생육단계 진행처리
프로젝트	sp_project_insert	project project_growing project_facility	프로젝트 생성에 필요한 데이터입력처리 (시설,생육기)

(라) 데이터베이스 함수 목록

구분	함수ID	참조개체	설명
적용장치	getDeviceDispUnit	node_device device_type	적용장치 데이터표현 단위값 제공
적용장치	getDeviceName	node_device	적용장치 적용구분값 제공
장치타입	getDeviceType	device_type	장치의 적용구분값 제공

카. 결 론

U-GreenHouse의 최종목표는 재배작물의 품질을 향상시키고 재배활동에 소요되는 노동력 및 비용을 최소화함에 있다고 보며 이러한 최종목표를 달성하기 위한 단계적 목표는 아래와 같음.

- USN 구현 및 운영에 필요한 기술 및 체계의 고도화
- USN 적용의 확대를 위한 농촌지역의 통신환경 개선
- 재배작물의 성장환경정보 표준화 및 적용작물 확대

본 과제를 진행하면서 파악된 여러 가지 장애요인 중 선결되어야 할 요인 및 결론은 다음과 같음.

(1) 적용할 수 있는 센서들이 제한적

작물의 생육단계에 영향을 주는 요소들이 의외로 다양한데 비해 적용할 수 있는 센서들은 특정 요소에 국한되어 있음.

여러 분야에 걸쳐 센서기술이 발전하고 있는 단계이고 가까운 시기에 다양한 요소에 적용되는 센서들이 개발되리라고 예상됨.

(2) 제어방법 또는 제어량 / 시간을 결정하기가 어려움

해당 생육단계의 주요 요소를 검출할 수 있는 센서가 있지만 센싱된 자료를 토대로 제어노드에 전달할 피드백 수위를 정하기가 어려운 점이 있음. 예를 들어, 기온을 검출한 결과 현재 17.5도였다면 영농교본에서 제시하는 18도~20도를 넘지 않게 하기 위해 온풍기를 가동하려면 어떻게 할 것인가?

우선 온풍기의 가동단위시간 당 발열량 등을 알고 온풍기 가동 후 유지시간을 결정해야 보다 정확한 제어가 가능할 것임. 그리고 영농현장에서 일정기간의 측정을 통하여 필요한 자료를 추출하더라도 농업용 온풍기가 IT분야 기기와의 연결을 고려해서 제작되지 않은 까닭으로 비례제어가 필수적인 온도를 제어할 수 있는 방법은 많지 않음. 이러한 유형의 난제는 비단 온풍기에만 국한된 것이 아님.

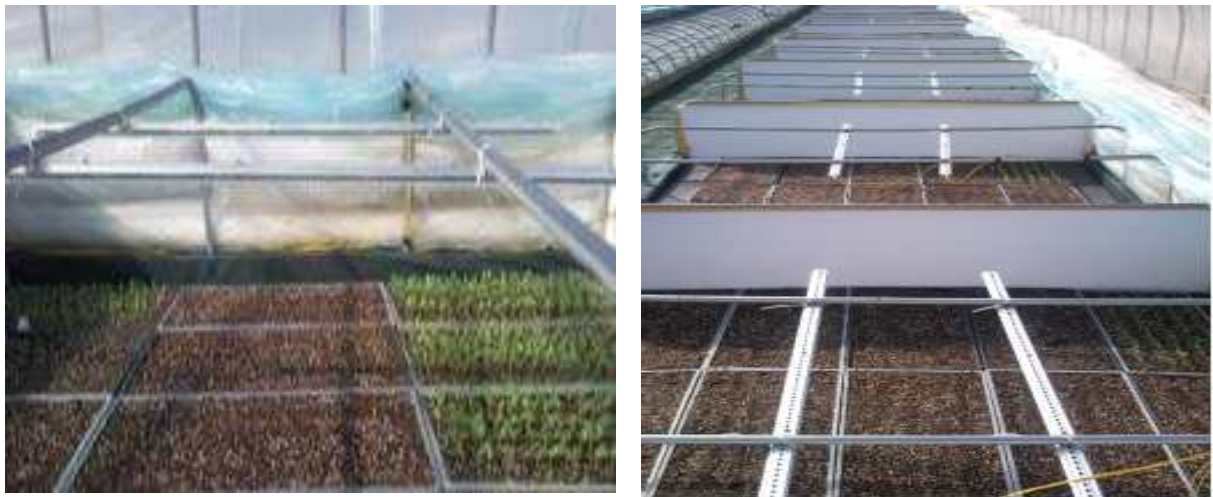
결론적으로 보면 현재 활발하게 이루어지고 있는 타 산업분야와의 기술융합이 영농 산업분야에도 보다 활발하고 구체적인 주제로 다루어져야 한다고 사료됨.

4. 참외 재배용 LED 재배 등기구 제작 연구

가. 참외 육묘 적용을 위한 LED 등기구 제작

(1) 개요

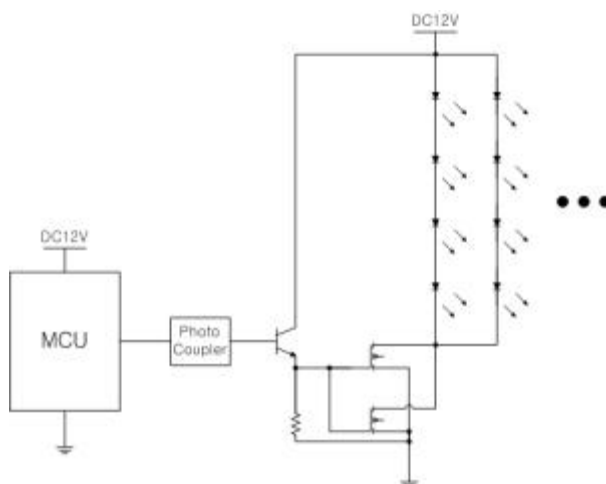
- 참외 육묘기 적용을 위한 LED 등기구 제작
- 육묘시 발아 상황을 연구하기 위한 LED 제작으로 전원공급장치와 방수 및 방열에 문제점 발생으로 제품 교체 및 추가제작 형태의 대응



< 참외 재배 발아 효과 적용 LED 등기구 >

(2) LED 등기구 설계 및 컨트롤러 제작

- 1m 길이의 Bar형 LED 모듈을 9가지 색상별로 2개씩 구성
- 전체 모듈을 통합제어 가능한 컨트롤러 구성



Part List

- MCU : M2CV ATmega128 Base Board
- Photo Coupler : TLP280
- MosFET : IRF530
- TR : NPN TR
- Resister : 4.7KΩ

<전원부 회로도>

(3) LED 등기구 제작



<LED 등기구>



<컨트롤러 내부>



<컨트롤러 외부>



<재배 연구지 설치 사진>

나. 아크릴 돔 타입의 LED 등기구 제작

(1) 개요

- 실험실 및 연구실내의 연구재배를 위한 그로스챔버 형태의 LED 등기구 제작
- 지름 200mm 의 원형 PCB에 LED를 128개 실장하여 제작하고 이를 반구형 아크릴과 원통형 아크릴을 조합한 배양기로 제작함
- 9가지의 색상 LED 단색광과 혼합광으로 구성 : RED, BLUE, YELLOW, WHITE, GREEN, BLUE + RED, BLUE + RED, IR + RED, IR + RED
- 각각의 반구형 배양기에 별도의 어댑터를 장착하여 전원을 공급

(2) 개발 사양 및 설계

- PCB 레이아웃

항목	내역
Size(mm)	200(φ) x 1.6(t)
재질	FR4,2Layer
PCB당 LED 개수	128EA
제품당 PCB개수	1Unit

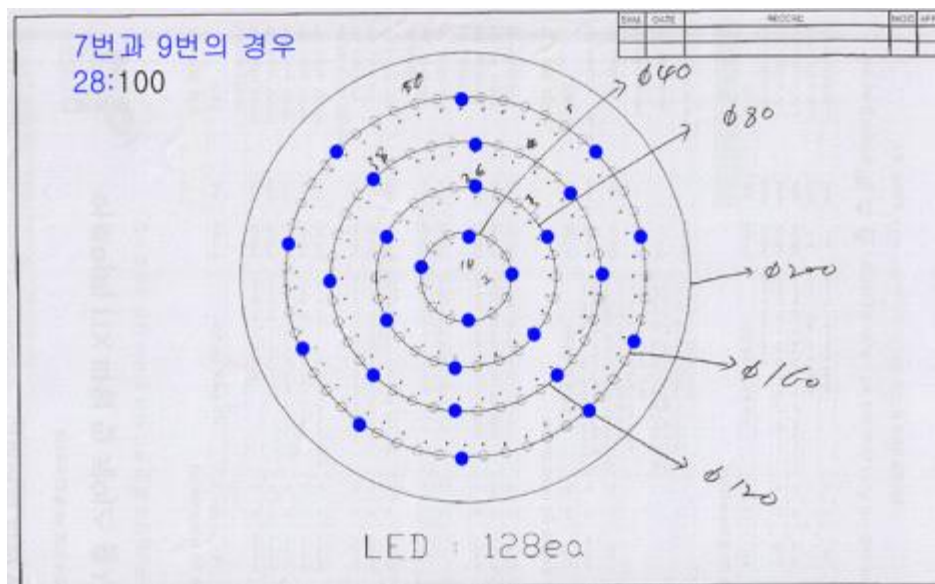
- 전원공급장치

항목	내역
Input voltage	220V
Output voltage	12V
Output current	2A

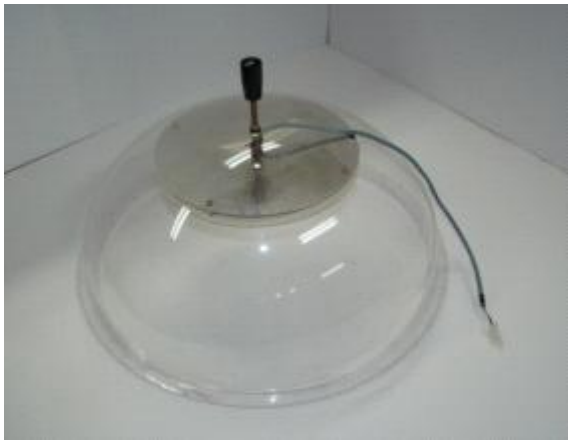
- 하우징

항목	내역
Size(mm)	몸 : 400(φ)x2(t) 원통 : 400(φ)x400(H)x5(t)
재질	아크릴

- 설계도면



(3) 제품 개발



<Growth Chamber 형태의 LED 등기구 및 적용 사진>

다. 참외 정식재배 적용을 위한 LED 등기구 제작

(1) 개요

- 초기 육묘재배시 적용한 LED 등기구를 보완 하여 정식재배에 적용하기 위한 LED 등기구 제작
- 재배 등기구의 방수 방열 개선과 조사각도 개선을 위한 스테인레스 하우스징
- 길이 500mm 의 바형 PCB에 LED를 50개 실장하고 이를 6개씩 조합하여 1000mm길이의 LED 바형 모듈을 구성함
- 9가지의 색상으로 구성된 모듈을 각각 2개씩 제작
- 각각의 LED 바형 모듈에 별도의 어댑터를 장착하여 전원을 공급

(2) 설계 및 사양

• PCB 레이아웃

항목	내역
Size(mm)	480(L) x 17(W) x 1.6(t)
재질	FR4,2Layer
PCB당 LED 개수	50EA
제품당 PCB개수	6Unit

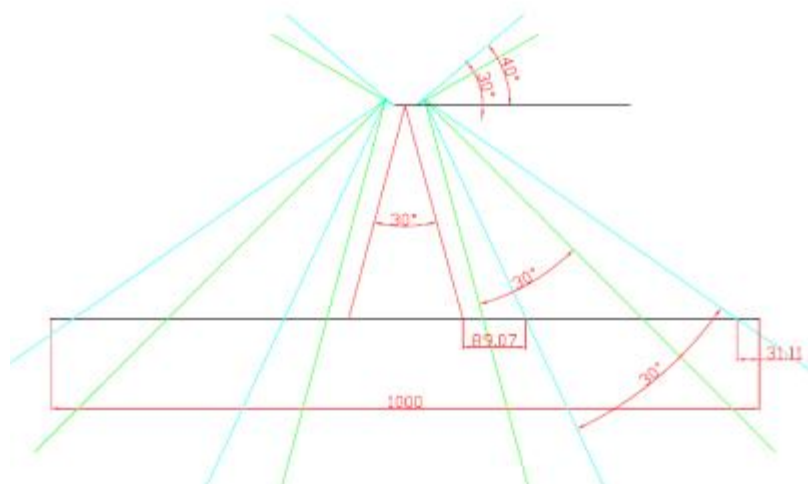
• 전원공급장치

항목	내역
Input voltage	220V
Output voltage	24V
Output current	2A

• 하우징

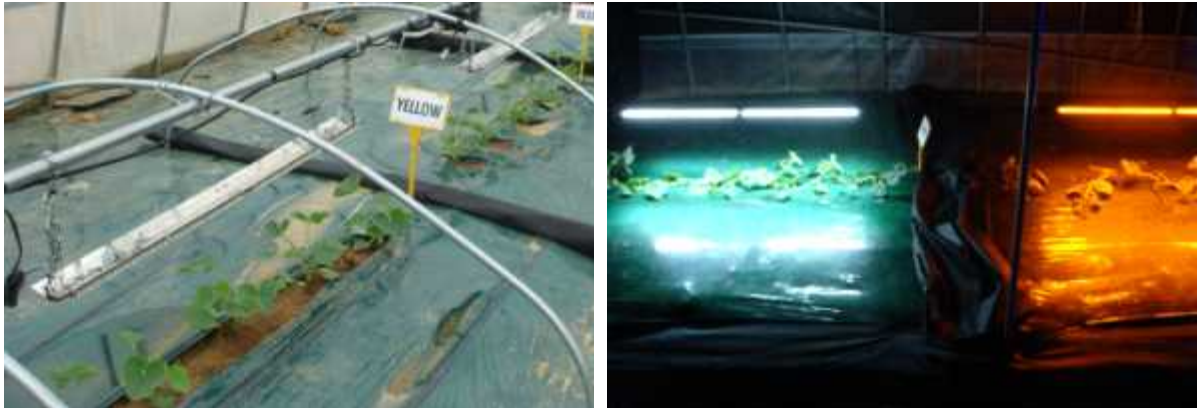
항목	내역
Size(mm)	1000(L)x35(W)x20(t)
재질	SUS

• 조사각도 설계



<LED 등기구 조사각도 개선을 위한 하우징 설계>

- 제품 및 적용 사진



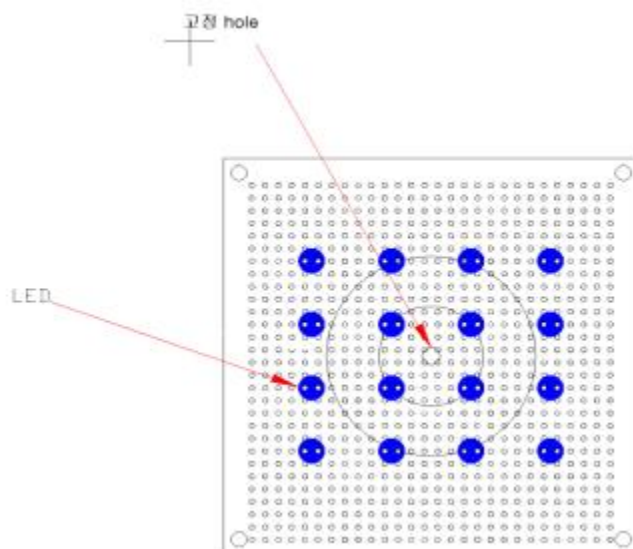
라. 자바라 타입의 LED 등기구 제작

(1) 개요

- 실험실 및 연구실내의 연구재배를 위한 자바라 형태의 LED 등기구 제작
- 작은 사이즈의 LED 등기구 개발로 LED 파장에 대한 반응 및 영향을 효율적으로 파악할 수 있도록 개발

(2) 등기구 설계 및 제작 형태

- 설계도면 및 사양



- Size(mm) : 50(L) x 50(W)
x 1.6(t)
- 재질 : FR4,2Layer
- PCB당 LED 개수 : 16EA
- 제품당 PCB개수 : 1Unit

- 제품 사진



마. Growth Chamber 용 LED 개발 설계

(1) 개요

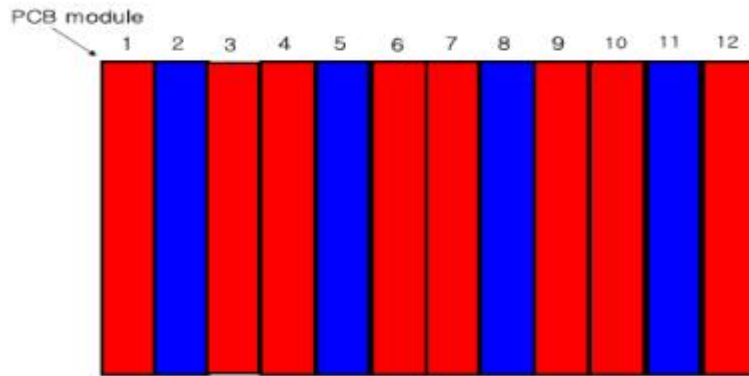
- 식물재배를 위한 재배 성장상에 적합한 LED 등기구 개발
- 챔버 내부의 환경을 조절하고 제어가 가능한 시스템으로 구성

LED 판넬	크기	350mmx350mm
	LED 수량	약 1200개(10mm 간격)
	색상 구성	1.Red(ULP-ALR36A-30HH) 2.Blue(ULP-UB36A-30FI) 3.Red+Blue, 4.IR(ULI-73036A-30BA) 5.IR+Red
콘트 롤러	제어방식	PWM 제어
	제어채널	2CH 독립제어
	Duty rate 조정(펄스폭)	0~100%(5%단위 조절)
	Duty cycle 조정(펄스주기)	300 μ s~10 μ s(10 μ s단위)
	LED드라이브 능력	1200개(채널당)
ON/OFF 타이머	1.지정시간 간격으로 On/Off-30분단위로설정 2.지정된 시간에 On/Off - 시계내장	

(2) 설계방향 및 구성

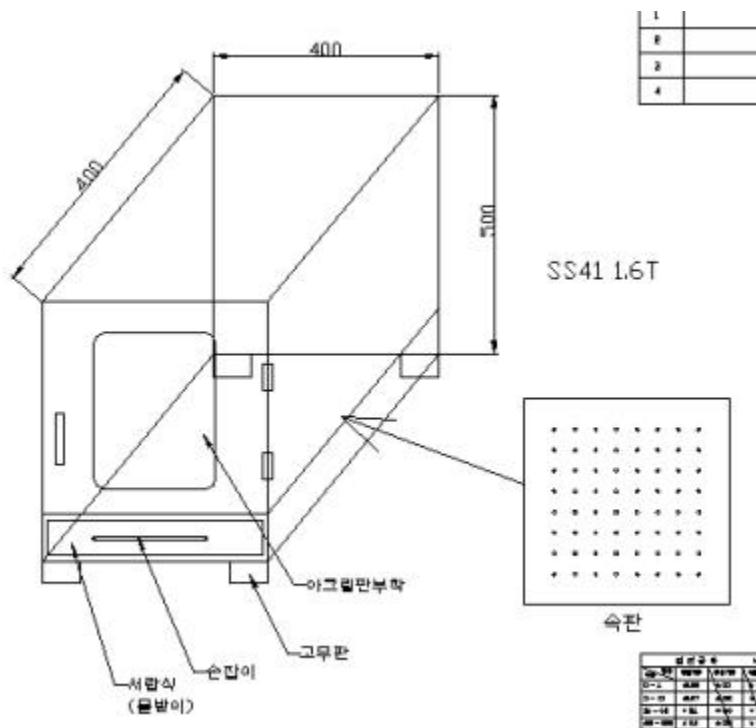
• PCB 설계

- LED PCB VIEW(1152개)
- PCB 한장에 LED 96개씩 배치하여 PCB 12장 (96*12=1152)을 각각 고정
- RED + BLUE 같은 경우 1~6 PCB는 RED CH1 콘트롤 7~12 PCB 는 BLUE CH2 콘트롤, RED +IR BLUE +IR 이런 조합도 가능
- PCB SIZE (약 가로 3.5mm * 350mm) * 12 장



<PCB 모듈 구성 : Blue 모듈이 4개 들어가는 type, 밝기 조정 12채널 모두 가능>

• 도면 설계



< 도면 설계도 >

- 컨트롤러 구성 화면 설계

한글 LCD 설정 보기 화면

CH 1 (설정)Adj
 펄스 주기 T : 300 μ s~10 μ s
 펄스 폭 : R 100% 75% W 25% E 0%
 타이머 ON : 16h/ OFF : 8h
 ESC UP DOWN ENT

CH 2 (설정)Adj
 펄스 주기 T : 300 μ s~10 μ s
 펄스 폭 : R 100% 75% W 25% E 0%
 타이머 ON : 16h/ OFF : 8h
 ESC UP DOWN ENT

스위치 패널



바. 참외 재배용 광환경 제어 LED 시제품 제작 설계

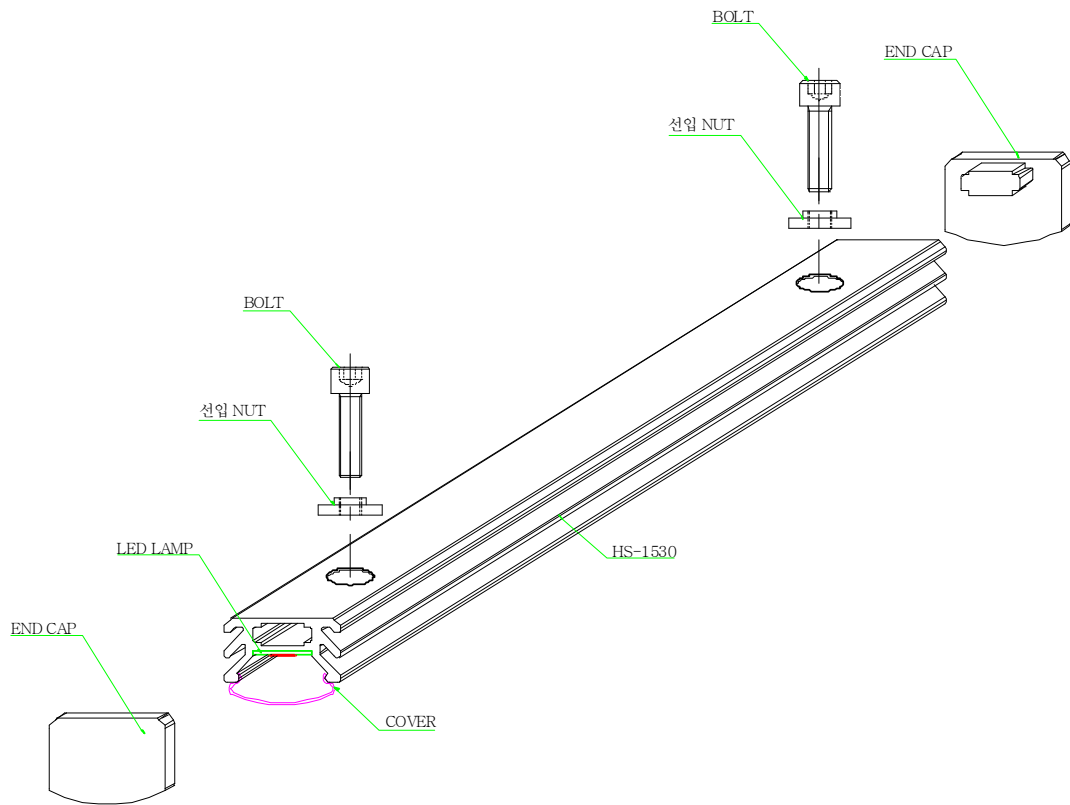
(1) 제품 설계 사양

- 방열판 (HEAT SINK)
 - 알루미늄 (A6063-T5) PROFILE 압출구조 제작
 - 금형, 시압출, 열처리, 피막
- COVER
 - 아크릴 : 광투과율 90%이상 이며 착색성이 우수하고 내약품성이 양호함, 전기절연성이 높으며(정전기에 해 먼지를 끌어당긴다), 온도변화에 의한 반응이 크고, 탄성률이 작음. 또한 가열성이므로 조명 커버 등 발광성인 전기기구와 조합 할 때는 충분한 고려 필요
 - PC : 판유리에 비해 250배의 충격성이 강한소재로서 80%이상의 투명성으로 광학 관련 (컴팩트 디스크, 광섬유), 의료(인공투석기 등)용으로 사용.
- END CAP : PCV사출 또는 고무사출품 으로 금형제작.

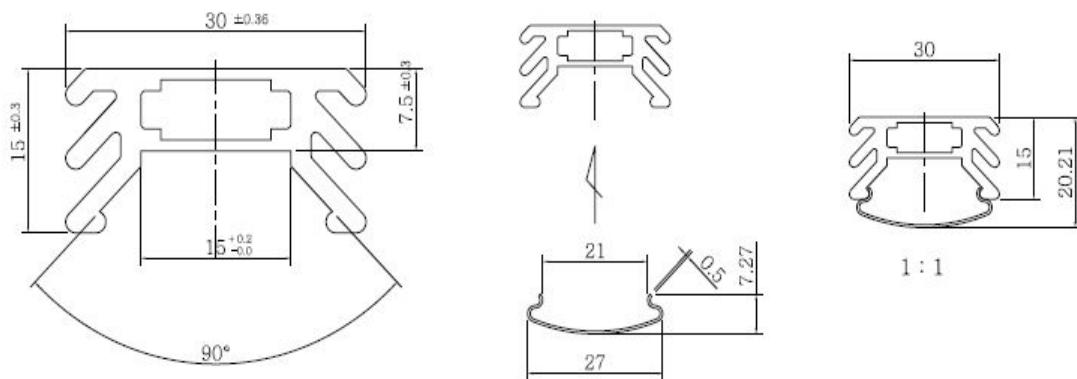
(2) 도면 설계

- LAMP SIZE < 15w x 1t x 480L> --- SPEC'미확정
- 온도 45도, 습도 90%

- COVER 색상 다양하게
- 측면 END CAP (RUBBER)
- 상부 고정 가능한 BOLTING구조 (선입 NUT 삽입가능)



<시제품 설계 도면도>



<시제품 설계 단면도>

5. 광환경 제어시스템을 위한 LED 등기구 개발

가. Growth Chamber 및 판넬형 LED 연구 개발

(1) 개요

- 식물재배 및 미생물 배양 등을 위한 재배 성장상에 적합한 LED 등기구 개발
- 다양한 챔버 내부의 환경을 조절하고 제어가 가능한 시스템으로 구성
- 식물생리나 광형태 반응실험, 조직배양 등의 다양한 광환경 관련 실험을 위하여 제작된 탁상형 소형챔버
- PWM 제어방식으로 PPFD값, 펄스주기, 점/소등 타이머 조작 등 실험을 위한 다양한 형태의 설정을 적용할 수 있음
- 소형으로 실험실 실내나 항온항습 기능이 제공되는 대형 챔버 내부에 설치하여 실험 가능

(2) 제품 규격

- 그로스챔버(Growth Chamber)
 - Size(mm) : 외부 - 400(W) x 340(D) x 450(H)
내부 - 300(W) x 260(D) x 330(H)
 - 온/습도제어 : 온습도센서 및 배기팬 내장
(항온항습기능을 보유하고 있지는 않음)
- LED 조명 패널
 - Size(mm) : 발광면 380(W) x 260(L)
 - 색상 구성 : Red only (650~670nm)
Blue only (430~450nm)
Red + Blue mix
IR (740~750nm)
IR + Red mix
- 컨트롤러
 - 제어방식 : PWM
 - 제어채널 : 2CH 독립제어
 - Duty rate(Dimming) : 0~100%(5%단위 조절)
 - Duty cycle(펄스주기) : 300 μ s~10 μ s(10 μ s단위 조절)
 - LED드라이브 능력 : 1,200개(채널당)
 - ON/OFF 타이머 : 지정시간간격으로 On/Off - 30분 단위로 설정
지정된 시간에 On/Off - 시계내장
 - 온/습도 센서 : 온도 측정범위 : -40°C ~ 123.8°C
온도 정밀도: +/- 0.3°C @ 25°C
습도 측정 범위: 0-100% RH
습도 정밀도: +/- 1.8% RH (20-80% RH)
 - 온/습도 제어 : 설정된 온습도에 따라 배기팬 및 히터 동작



<제작 시제품 사진>



<제작 시제품 컨트롤러>

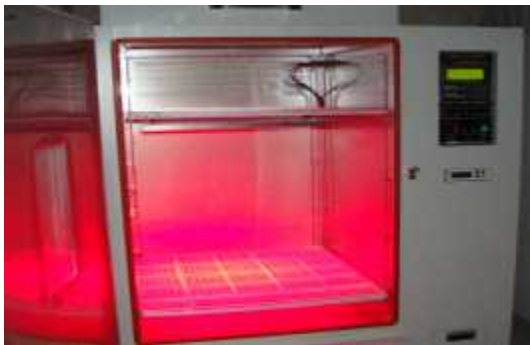
(3) 적용 사진



<챔버용 LED 시제품 사진>



<경북농업기술원 LED 공급 사진1>



<경북농업기술원 LED 공급 사진2>



<대형 챔버 LED 적용 컨트롤러>



<영남대 챔버 LED공급 사진1>



<영남대 챔버 LED공급 사진2>

나. 형광등 타입 식물재배용 LED 등기구 개발

(1) 개요

- 기존 그로스챔버의 형광등을 대체하여 LED 식물 조사 연구를 위한 등기구 개발
- 조직배양실 등 기존 형광등 시설을 활용한 LED 광환경 연구 개발
- 미세조류 배양을 위한 LED 수중등 연구 개발

(2) 제품 소개



- Size(mm) : 1200(L)
- 입력전압 : 220VAC
- 소비전력 : 12W
- 파장구성 : Red only (650~670nm)
Blue only (430~450nm)
IR only (740~750nm)
Red + Blue mix
IR + Red mix
- 수명 : 50,000 Hours
- PPF_D : 100 μmol/m²/s (25°C,Red,100mm)
- 적용LED : Top-View SMD (viewangle 140°)

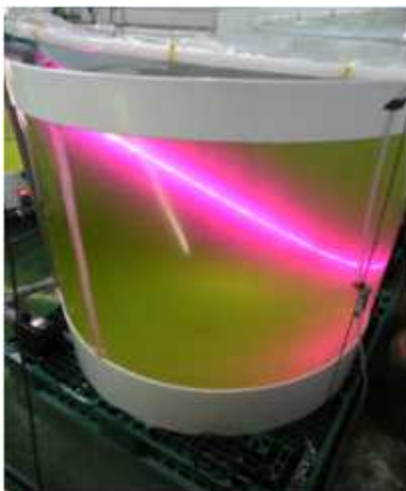
- 제품사진



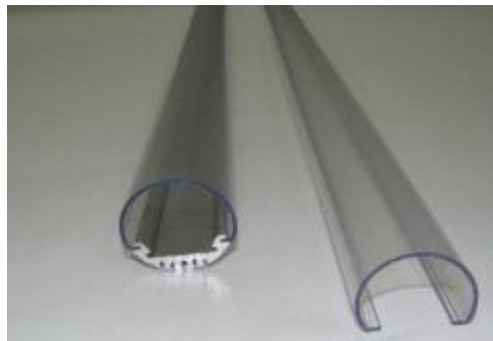
<미세조류 배양을 위한 LED수중등>



<형광등 타입의 LED>



<실제 미세조류 배양 적용 사진>



<형광등 타입 LED 하우징>

6. 신규 개발 LED 등기구

가. Bulb형 LED

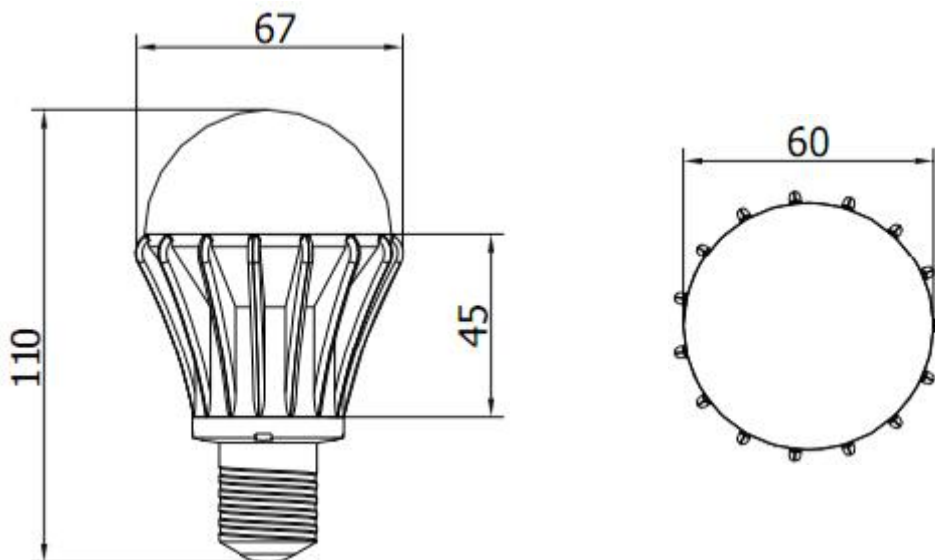
(1) 개요

- 가격 경쟁력 확보 : 성능 및 기능 대비 가격 경쟁력을 갖춰 농가 부담 경감
- 사용의 편의성 제공 : 기존 램프 E26, E27 베이스와 호환으로 설치 및 이전이 매우 용이하여 인건비 절감

(2) 시제품 제작 프로세스

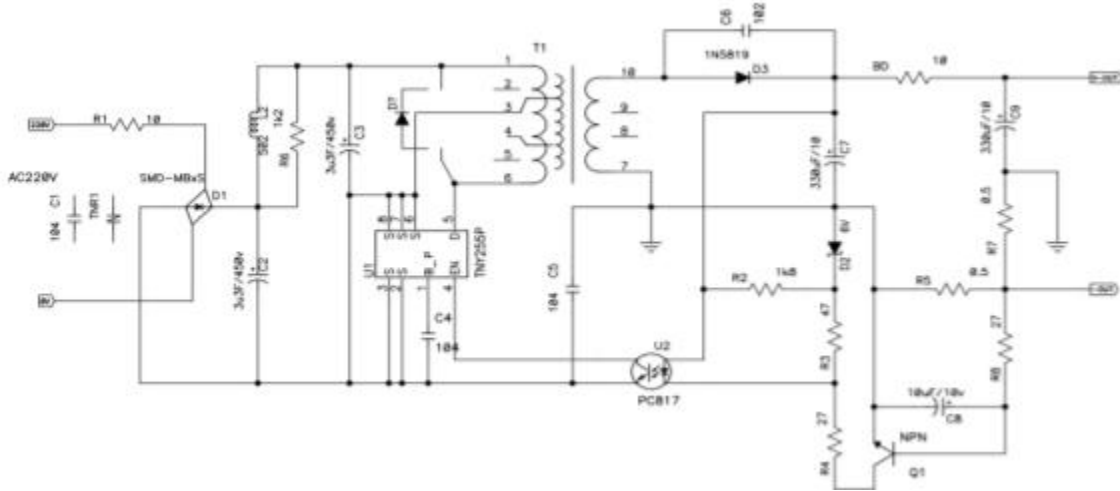


(3) 시제품 외관 도면



- 방 열 설 계 : 방열 설계가 고려되지 않은 제품은 LED 수명에 치명적인 영향을 줌
- 방 수 설 계 : 고온다습한 시설 하우스의 환경을 고려한 방수 설계
- 하우징 설계 : 제조원가에서 하우징 부분이 차지하는 영향이 크므로 여러 요소를 고려하여 설계

(4) 시제품 전원부 회로



(5) 시제품 부품 구성 및 완제품



<LED 패키지>

<하우징>

<PCB>

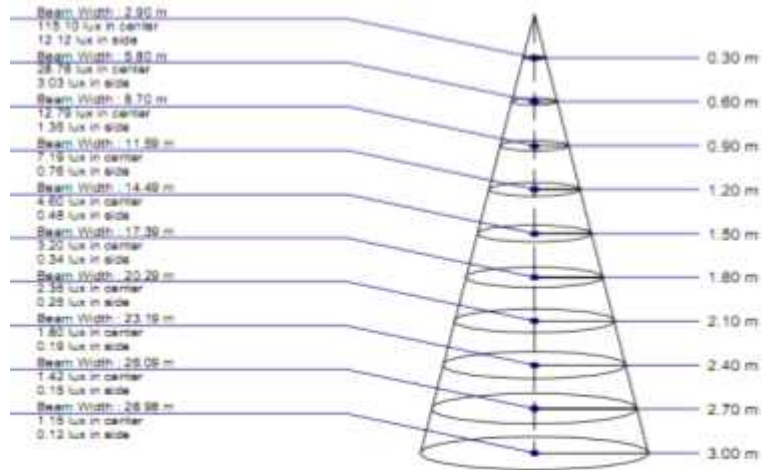
<전원드라이버>

<소켓부>

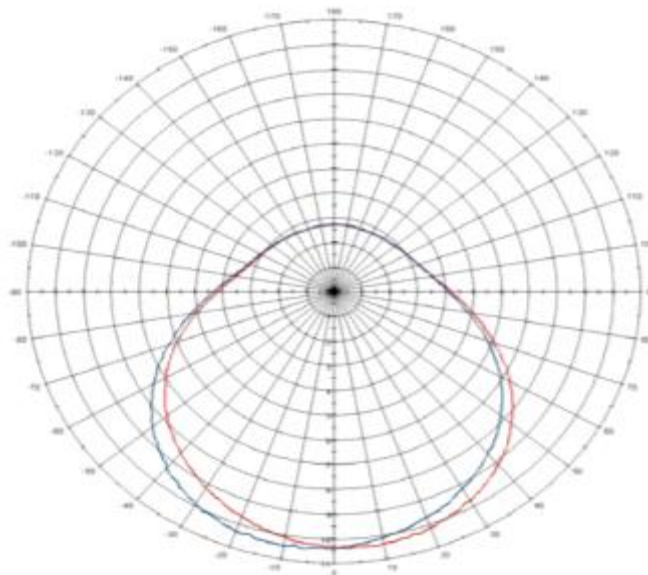
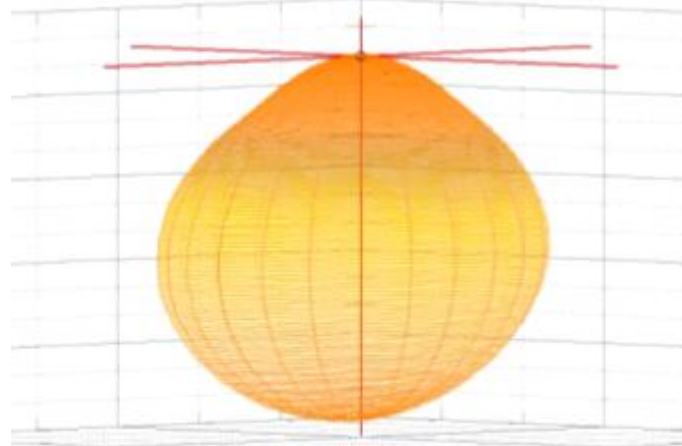


- 출력 7W급으로 정부의 녹색성장 및 에너지 절감 정책에 맞는 고효율 기자재
- 조사각 140° 이상으로 광범위하게 사각 없이 작물에 고르게 조사

(6) 성능시험 성적서



Average Beam Angle = 156.6°
 Max. Beam Angle = 157.4° at $\Phi 1 = 105^\circ - \Phi 2 = 285^\circ$
 Min. Beam Angle = 154.3° at $\Phi 1 = 45^\circ - \Phi 2 = 225^\circ$

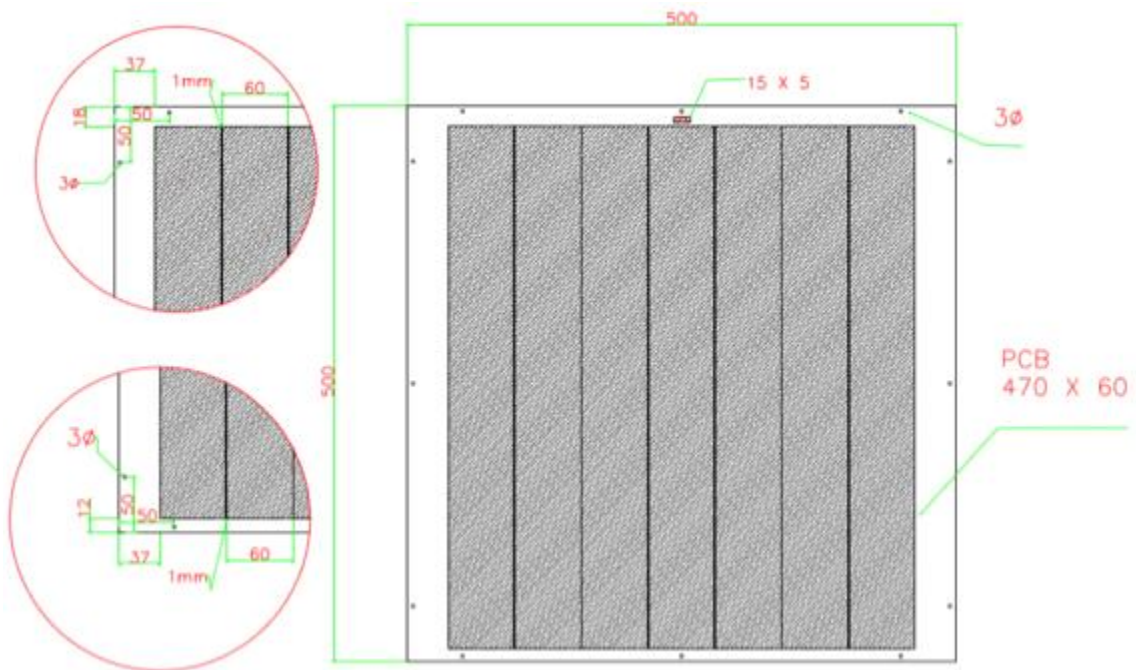


나. Panel형 LED

(1) 개요

최근 새로운 사업영역으로 부각되고 있는 식물공장의 LED등 수요와 미세조류 배양을 위한 LED등으로 개발

(2) 시제품 규격 및 사양

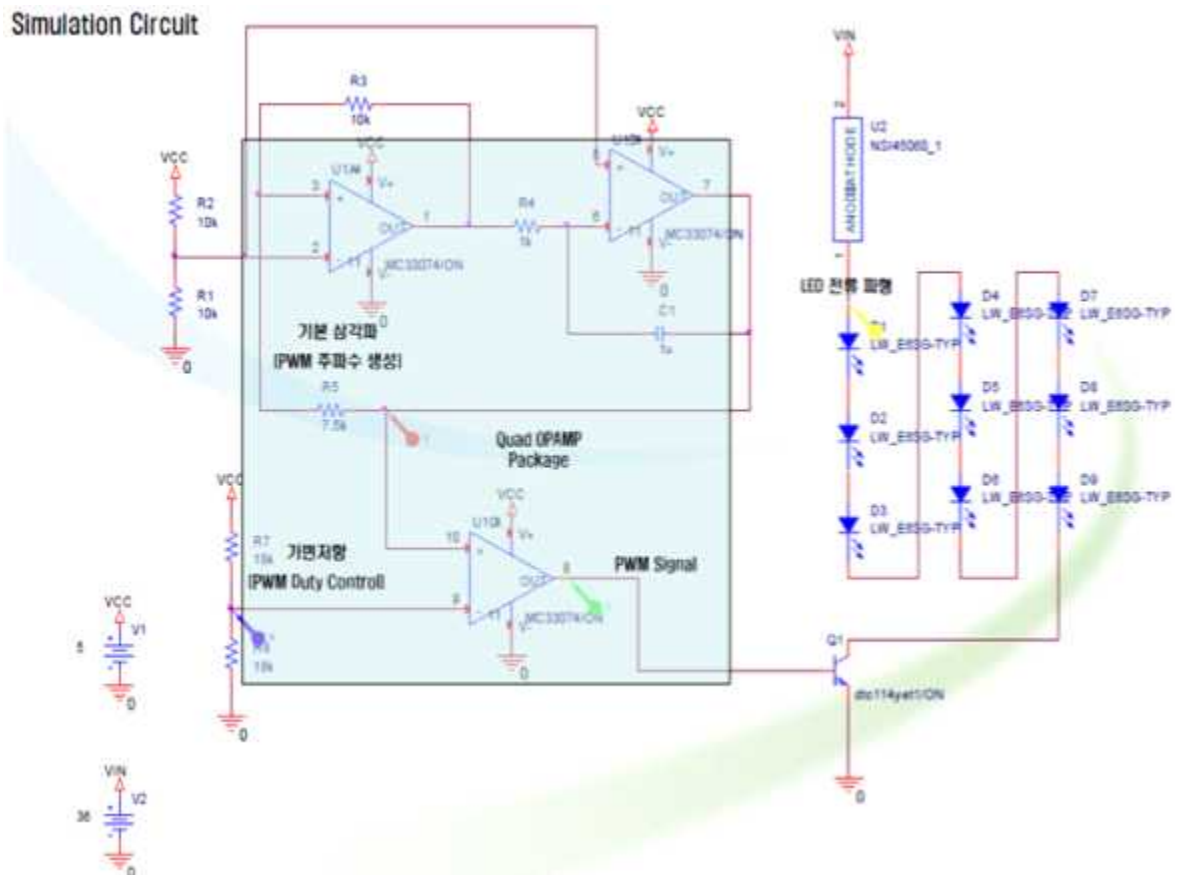


- Size(mm) : 500(L) x 500(W) x 100(H)
- 입력전압 : 220VAC
- 소비전력 : 100W
- 파 장 : Blue(430~450nm), Red(650~670nm)
- 파장구성 : Red + Blue mix(R/B 개별 Dimming 가능)
- 수 명 : 50,000 Hours
- P P F D : 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
- 조 사 각 : 140°



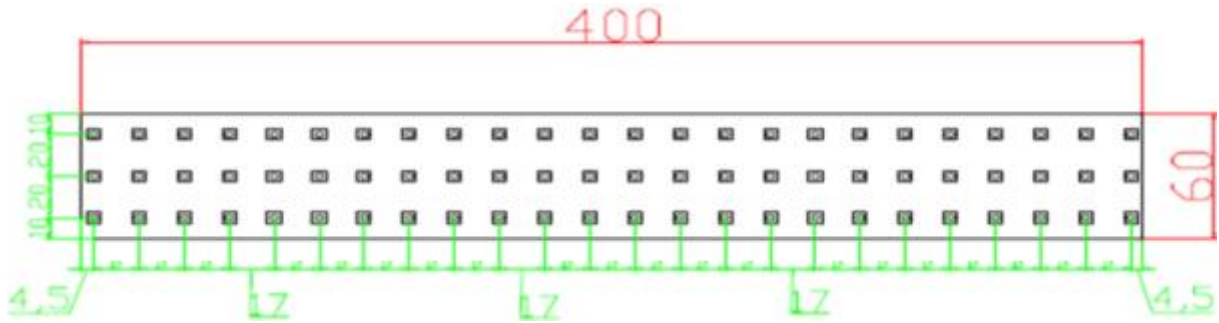
<시제품 사진>

(3) 시제품 전원부 회로도



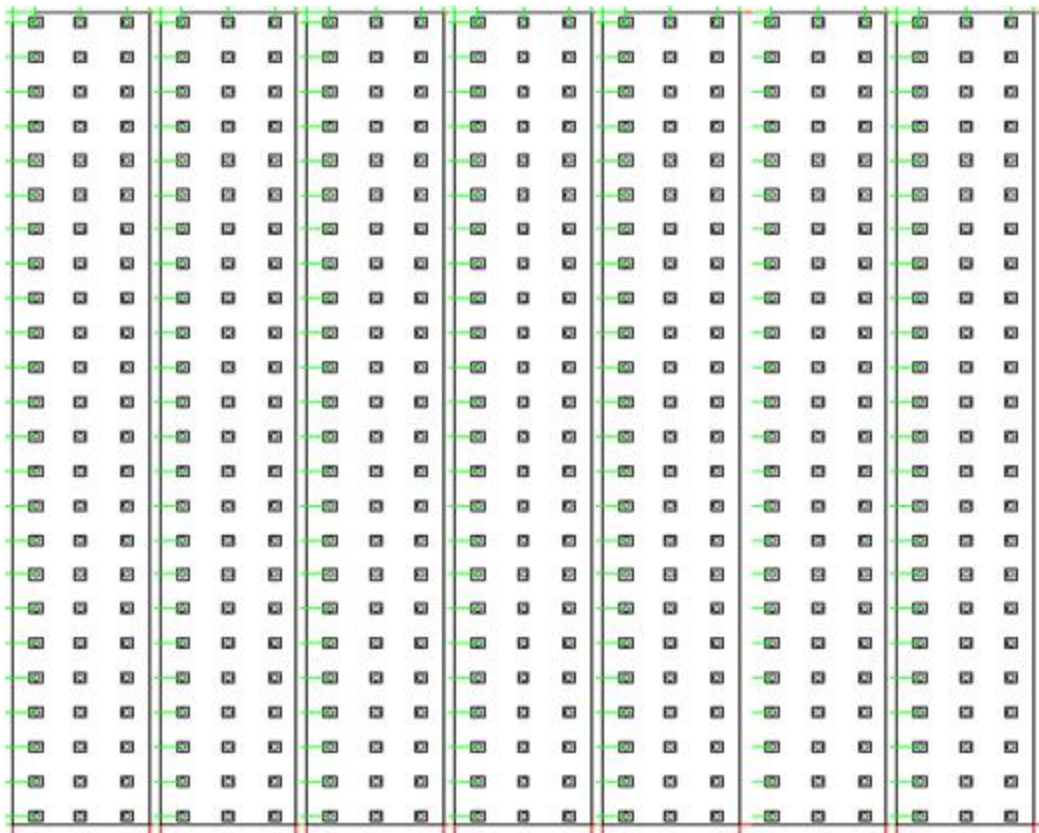
(4) PCB 및 LED PKG 규격과 사양

-단일 PCB 및 LED PKG



- 단일 PCB에 0.2W LED 총 72개 배치(Red/Blue 단파장 제품 1:1로 배치)
- PCB Size : 400mm x 60mm
- LED PKG : 0.2W(2lm)
- LED 간격 : 17mm x 20mm
- LED 수량 : 24ea x 3ea = 총 72ea

-전체 PCB 및 LED PKG

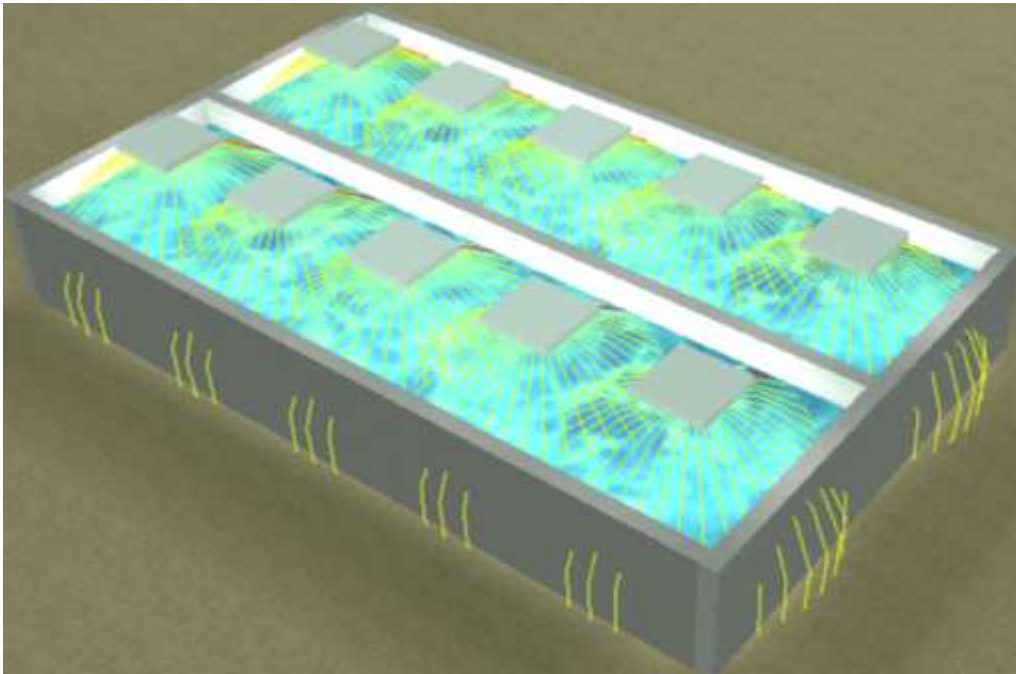


- 총 7개의 단일 PCB를 하나의 등기구 광원으로 사용
- PCB Size : 420mm x 400mm
- LED PKG : 0.2W(2lm)
- LED 수량 : 72ea x 7장 = 총 504ea 3) 시제품 전원부 회로도

(5) 시제품 시뮬레이션 및 적용 현황

(가) 미세조류 배양 수조 적용

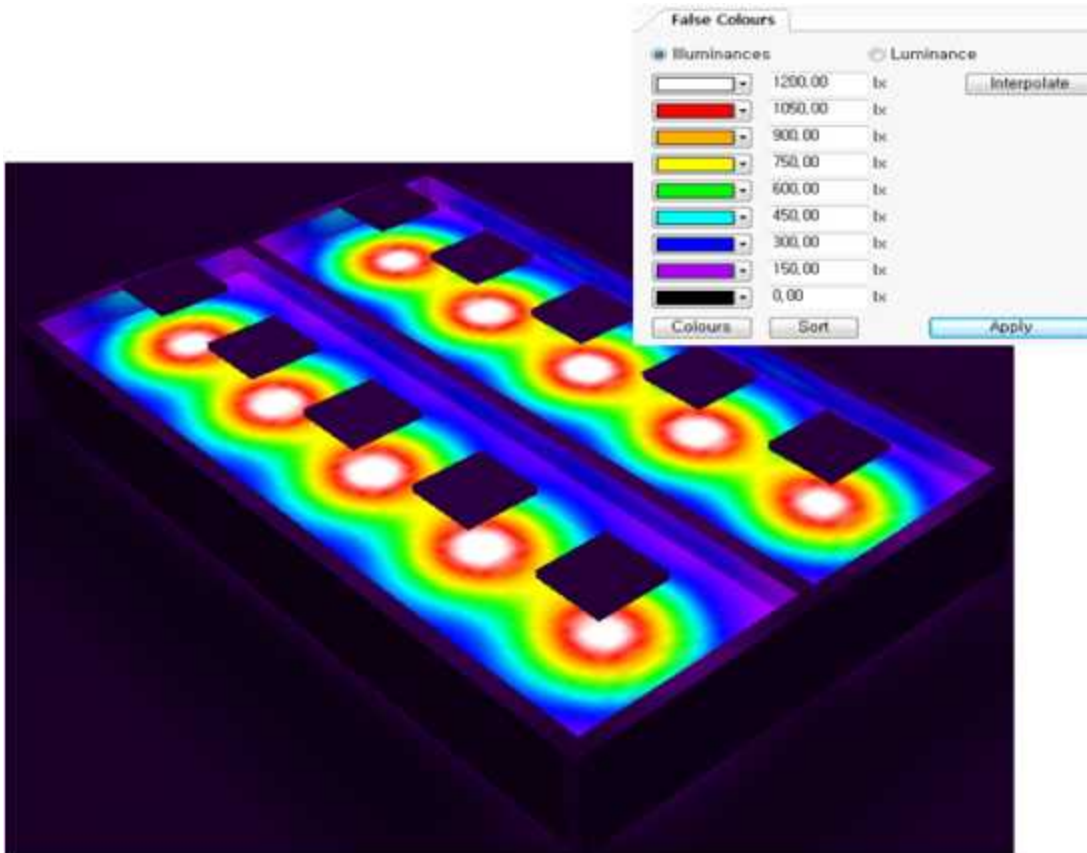
- 시뮬레이션 적용



- 수조의 규격 : 1.34m(가로) × 4.67m(세로) × 0.75m(높이)
- 수조의 수위 : 0.55m
- 등 설치높이 : 0.95m
- 등 설치 간격 : 0.95m
- 수변과의 간격 : 0.4m
- 등 설치수량 : 10EA
- 등 소비전력 : 10EA × 100W = 1000W

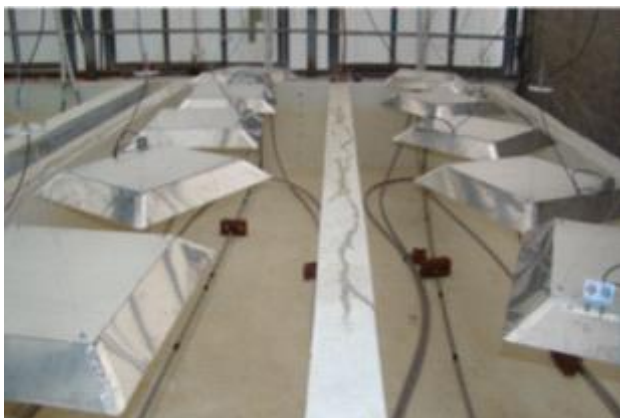
단일 LED 개당 2lm으로 설정하여 광원 모듈당 504개의 LED를 사용하므로, 설정된 단일면 광원의 광량은 1,008lm이며, 등기수의 총 개수는 10개이므로 총광량은 10,080lm임

- 시뮬레이션 분석



- 광량 : 수조 전체에 $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이상의 일정광량 유지
- 조도 : 700Lux 이상의 Red/Blue혼합 LED조명 필요

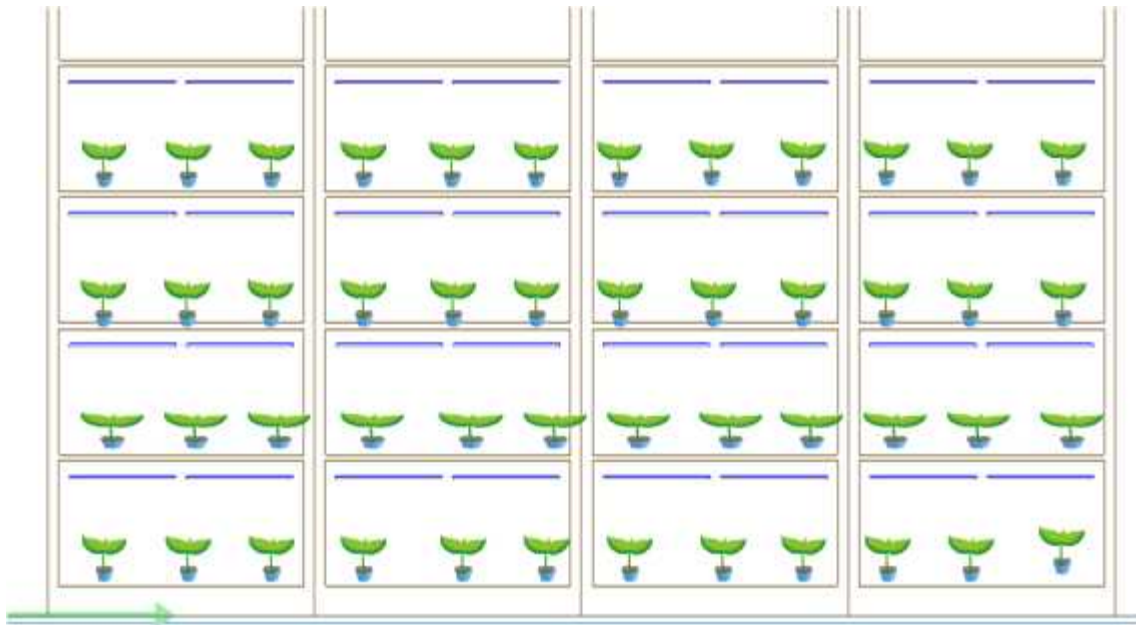
- 설치사진



<거제도 미세조류 배양시설>

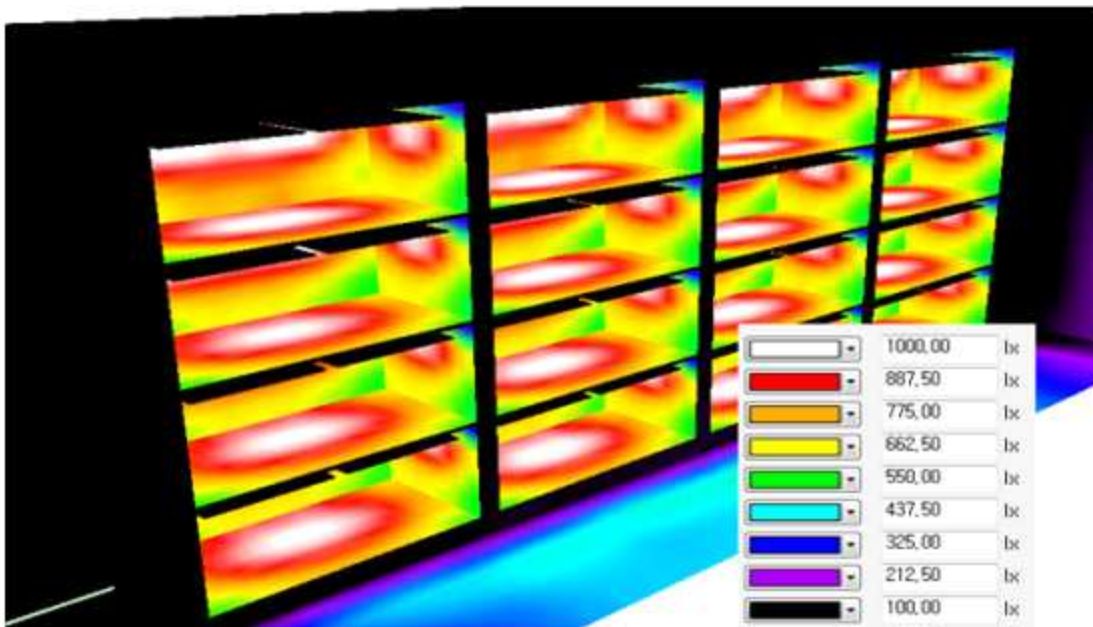
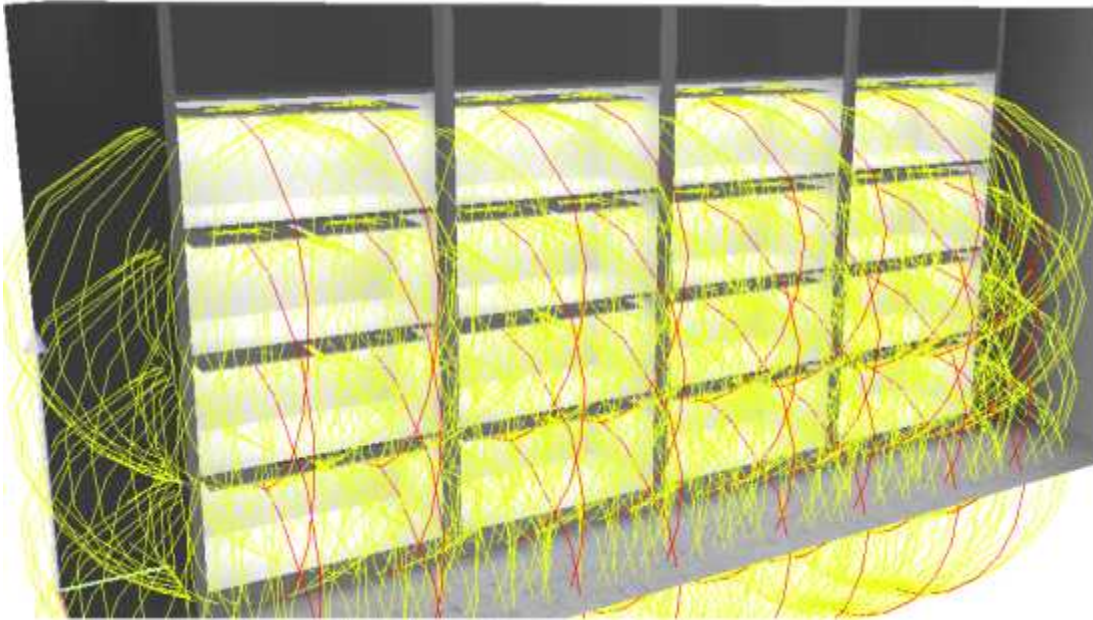
(나) 식물공장 적용 시뮬레이션

- 재배선반 및 식물배치도



- 형 태 : 컨테이너형 식물공장
- 규 격 : 1.4m(L) x 6m(W) x 2.3m(H)
- 단높이 : 0.5m
- 형 식 : 4 × 4단 선반형
- 등 설치수량 : 32EA
- 등 소비전력 : 32EA × 100W = 3200W

- 시뮬레이션 분석
: 선반의 바닥면(500mm) 기준 조도 분포



- 광량 : 재배상 전체에 $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이상의 일정광량 유지
- 조도 : 700Lux 이상의 Red/Blue혼합 LED조명 필요

- 식물공장 입체 모형도

: 재배베드, 클린룸, 공조시설 등 식물공장 요소와 결합 가능



7. 재배환경의 변화에 용이한 렌즈교환식 LED 식물재배등기구 개발
(렌즈교환식 식물 재배용 LED 조명장치, 특허출원 2건)

가. 특허출원 내용

- 식물 재배용 조명 장치(출원번호 : 제 10-2010-0082622 호, 제 10-2011-0083441 호)

(1) 연구배경

(가) 재배환경에 따른 균제도를 높이는 것이 필요

: 식물을 재배하면서 해당 식물의 재배 환경(식물의 생육기, 작형, 재배 시설 등)에 따라 요구되는 배광 특성(예를 들어 조사되는 광량 등)이 달라지므로 그에 맞는 최적의 배광이 필요한데, 특히 식물이 재배되는 재배 관의 전 영역에 걸쳐 조사되는 광량을 동일하게 하는 것 즉, 균제도를 높이는 것이(동일 광량을 유지하는 것이) 배광에 있어 가장 중요한 요소로 지적되고 있음.

(나) 단일 광원으로 균제도 저하 문제 해결

: 이러한 사실에 근거하여 재배 식물의 배광을 위한 다양한 방안들이 제안되거나 재배 현장에서 활용되고 있는데, 대부분의 기존 방안들은 상기한 균제도를 높이기 위해 많은 개수의 광원을 사용하여야 함. 즉, 단일 광원으로 인하여 발생할 수밖에 없는 균제도의 저하 문제를 다수의 광원을 사용하는 것으로 해결하고 있음.

(다) LED 광원을 이용한 식물재배

: 다수의 광원을 사용하는 것은 필연적으로 소모 전력의 상승을 가져올 수밖에 없는데, 최근에는 소모 전력을 줄이고자 식물 재배 광원으로 LED(Light Emitted Diode)를 주로 사용하고 있음. LED는 에너지(소모 전력) 절약의 차원에서 차세대 발광 물질로 많은 주목을 받고 있음.

(라) LED광원의 제작비용의 과다

: 식물 재배 광원으로 LED를 사용하는 경우에 있어서도, 소모 전력의 절약은 피할 수 있을지는 모르나, 균제도를 높이기 위해서는 여전히 광원을 추가적으로 이용하여야 하고 LED 조명 장치의 구현에는 특수한 모양의 방열판 등의 채용으로 인해 제작비용이 여전히 높아 이는 고스란히 식물 재배 비용의 비약적인 상승으로 연결되기 때문에 아직까지도 대부분의 식물 재배에서는 구현 및 배치가 상대적으로 용이한 백열등 내지 형광등을 이용하고 있으나, 백열등 내지 형광등의 경우에도 LED와 대비할 때 소모 전력이 현저히 높아 비용 우월적인 측면이 결과적으로는 없음.

(마) LED광원의 조사방향 및 광량의 비효율성

: 기존의 방안들은, 광원으로 LED를 채용하건 다른 것을 채용하는가에 관계없이, 광원에서 조사되는 빛의 사방 퍼짐 속성으로 인해 소모 전력 대비 식물에 조사되는 빛의 광량이 현저히 낮아 전력 효율성 측면에서도 문제가 있음. 이는 빛의 진행 경로 조절

메커니즘이 부재하기 때문이며, 아울러 광원의 수직 하방에 위치한 식물에의 광량이 다른 부분에 위치한 식물에의 광량보다 현저히 높아 비정상 생육이 발생할 수 있는 문제도 내포하고 있음.

(바) 재배환경 변화에 따른 배광 변경이 어려움

: 상기 언급한 해당 식물 재배 환경이 변화되는 경우가 식물 재배에 있어서 대부분 발생하는데, 기존의 방안들에 의하면 식물 재배 환경의 변화에 따른 배광의 변경이 매우 곤란한 문제점도 내포하고 있음. 즉, 조명 장치를 더 구비해야 하거나 조명 장치의 배치 자체를 바꾸어야 하는 등 배광의 변경에 요구되는 작업이 매우 번잡스러움.

(2) 연구 개요 및 목적

식물 재배에 있어서 작물종류, 생육기, 작형, 재배시설에 따라 다양한 형태의 배광이 필요함. 특히 작물을 재배하면서 해당 작물의 생육기에 따라 필요한 배광특성이 달라 지므로 이에 대응하여 최적의 광원을 제공하기 위해서 등기구의 위치를 바꾸거나 등기구 자체를 교환해야 하는 경우까지 발생할 수 있음.

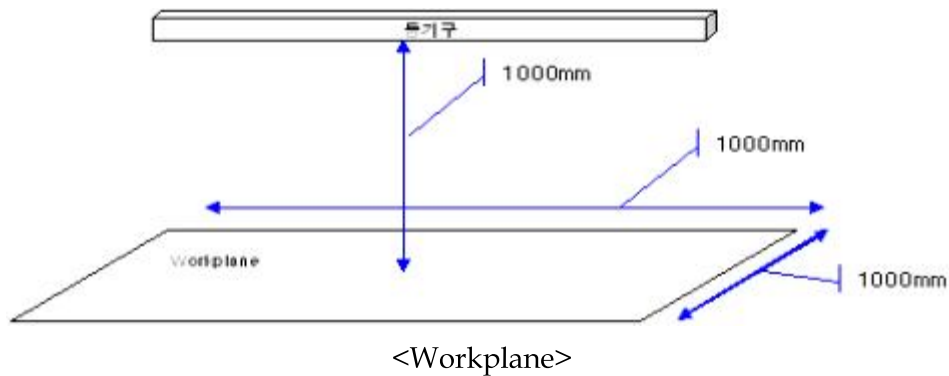
작물 (작형)	생육기	하우스 높이 (cm)	조명 설치 높이 (cm)	작물 재배 고랑폭 (cm)	작물생 장높이 최대 (cm)	Workplane 가로x세로x높이(cm m)	적용 LED등기구	적용렌즈 제원 확산-가로x세로 초점거리-조명과의거리 (cm)	
참외	정식기	200	180	150	20	170x100x10	UG-B1035 (Bar Type)	170x100 170	
	수확기				60	170x100x40		170x100 140	
오이	정식기	300	280	100	80	80x100x50		80x100 230	
	수확기				200	120x100x150		120x100 130	
국화 (전조재배)		500	180	350	100	400x400x50		UG-P3825 (PAR Type)	400x400 130
딸기 (전조재배)		200		200	60	250x250x40			250x250 140

<작물, 생육기, 작형별로 요구되는 배광>

이에 하나의 등기구에 다양한 제원의 렌즈를 손쉽게 탈부착 가능하도록 함으로써 작물의 생육기별로 요구되는 다양한 형태의 배광특성을 제공할 수 있으며 동일한 제품의 등기구를 여러 다른 작물에도 적용할 수 있는 장점을 가짐.

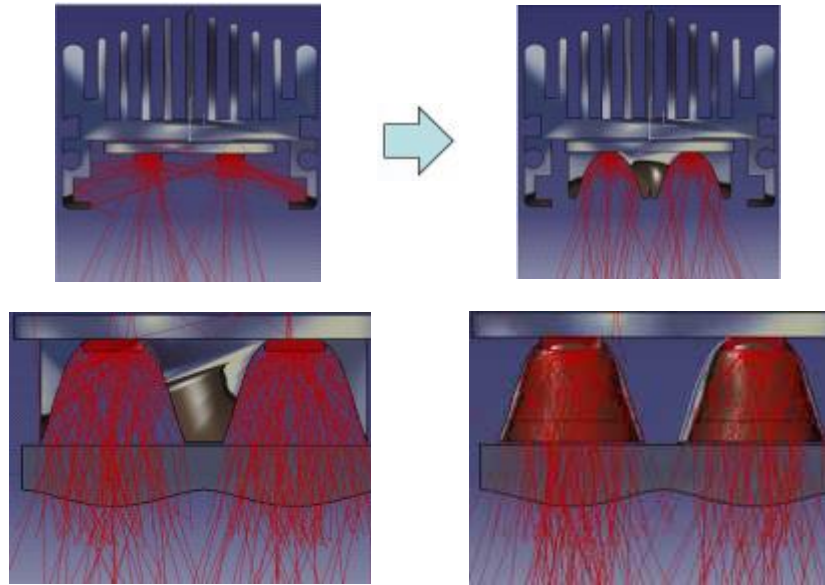
또한 상황에 맞는 적절한 렌즈를 적용하여 작물이외에 작업 통로 등 불필요한 공간까지 광이 확산되어 낭비되는 것을 최소화 하고 균제도를 향상시켜 식물의 특정부위에만 광이 집약되는 것을 방지함으로써 식물재배조명으로써의 효율을 극대화 할 수 있음.

식물 재배용 조명 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 식물이 재배(생육)되는 재배판(cultivation plane)의 전 영역에 광원(light source)으로부터의 빛이 균일하게 조사(배광)되도록 하고 아울러 식물 재배 환경이 바뀌더라도 배광의 변경이 용이하게 이루어지도록 하는 식물 재배용 조명 장치에 관한 것임.



(3) 연구방향 및 전략

- (가) 식물 재배용 조명 장치는 광원을 둘러싸는 하우징; 상기 하우징의 일 측면에 형성되는 홀(hole); 및 상기 홀에 체결되고, 상기 광원으로부터 방사되는 광을 재배 대상 식물로 가이드(guiding)하는 광 가이드를 포함하여 본 연구의 내용을 수행함.
- (나) 상기 광 가이드에는 상기 가이드 되는 광이 상기 재배 대상 식물로 조사되는 면적, 상기 재배 대상 식물에 조사되는 광량 및 상기 가이드 되는 광의 진행 경로를 제어하기 위한 렌즈가 체결되는 것임.
- (다) 상기 렌즈는 하나의 렌즈 또는 둘 이상의 렌즈 단위로 개별 모듈의 형태로 구현되어야 함.
- (라) 아울러 상기 개별 모듈은 상기 광 가이드에서/에 탈/부착이 가능하도록 하고, 상기 개별 모듈에 장착되는 렌즈는 광학적 특성이 다른 렌즈로 교환 가능하도록 함.
- (마) 식물 재배용 조명 장치는 광원에서 조사되는 빛을 반사시키는 리플렉터; 및 상기 리플렉터의 하부에 구현되며, 상기 광원에서 방사되는(상기 리플렉터에서 반사되는) 빛을 재배 대상 식물에 요구되는 배광 특성에 따라 조사시키기 위한 렌즈가 체결되는 렌즈 체결단을 포함하여 본 연구를 수행함.



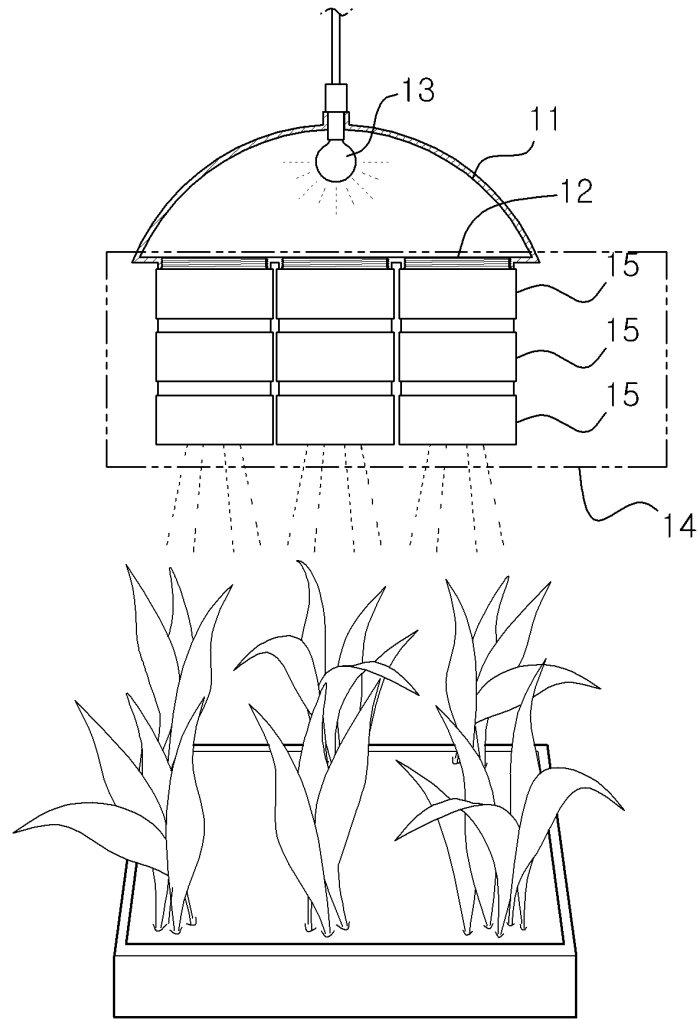
<리플렉트와 렌즈 적용 시뮬레이션>

(4) 기대효과

- (가) 식물 재배용 조명 장치는 렌즈의 탈/부착 또는 렌즈의 교체만을 통해 광원에 대해 어떠한 변경을 가하지 않더라도 재배 식물에 조사되는 빛의 광량, 빛이 조사되는 면적 및 빛의 진행 경로를 다양한 식물 재배 환경에 맞게 매우 용이하게 조절할 수 있게 함.
- (나) 조명 기구의 교체 내지는 추가가 없이도 작물이나 작형의 변화(식물 재배 환경의 변화)에 유연하게 대응할 수 있고 식물 재배 조명을 위한 전력의 효율성을 극대화할 수 있는 장점을 제공함.

(5) 세부 연구 내용

<그림 1>은 본 연구에 의한 식물 재배용 조명 장치의 일 실시 예를 설명하기 위해 제시한 도면임.

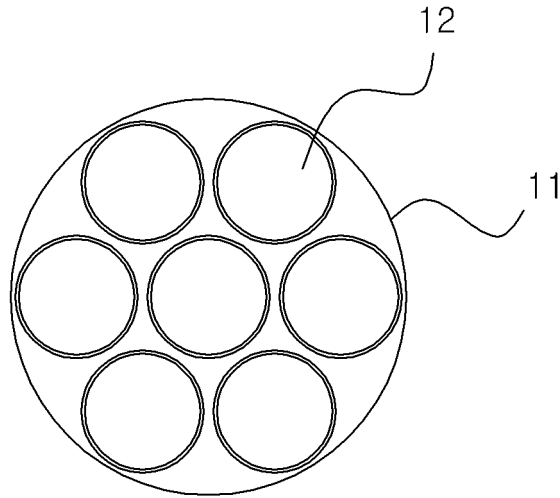


<그림 1> 식물 재배용 조명 장치의 일 실시예

하우징(11)은 광원(13)을 둘러싸고 불투명체이며, 그 내부는 전반사 거울 등으로 구현되어 소모 전력 대비 재배 대상 식물에 조사되는 빛의 광량을 높이고 전력 효율성을 높이도록 함. 이는 결국 빛의 사방 퍼짐 속성으로 인해 발생할 수 있는 전력 비효율을 최소화하기 위해 광원에서 조사되는 빛을 최대한 재배 대상 식물(재배 판)에 집광시키기 위함임.

한편 광원(13)은 본 연구의 목적을 달성하기에 어느 것을 사용해도 무방하나, 에너지 절약 측면 및 식물의 생육에 적당한 다양한 파장의 빛을 발광할 수 있는 LED를 사용함이 바람직함.

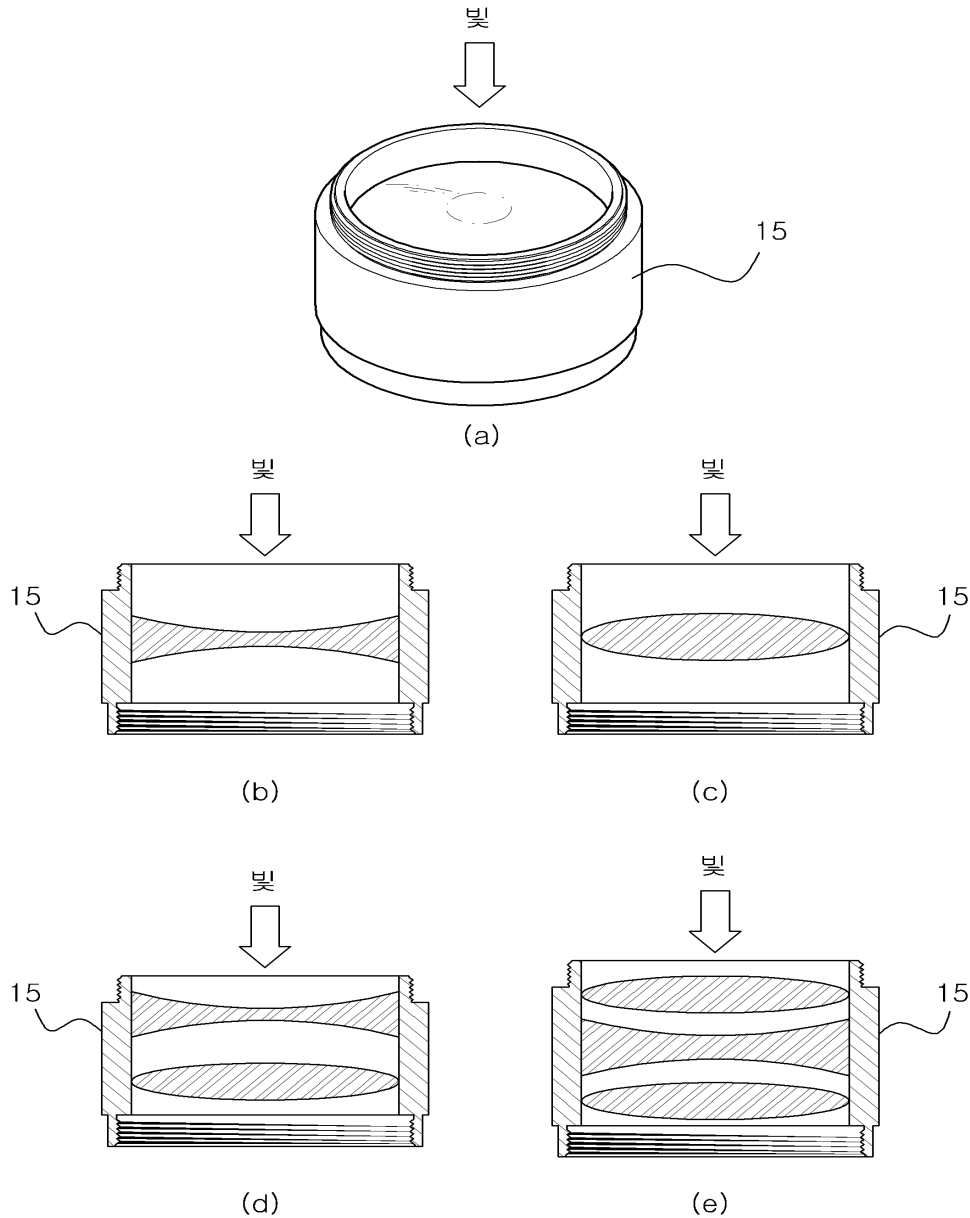
하우징(11)의 일 측면에는 홀(hole, 12)이 형성되며, 단일로 또는 다수로 형성될 수 있다(<그림 2>에는 그 예로 하우징의 저면에 다수의 홀이 형성됨을 보였음). 이 홀(12)에 광원(13)으로부터 방사되는 광을 재배 대상 식물의 재배 판(cultivation plate)으로 가이드(guiding)하는 광 가이드(14)가 연결됨. 광 가이드(14)는 광원에서 조사되는 빛의 집광성을 제고시키기 위한 또 다른 일환임.



<그림 2> 하우징의 일 측면에 다수의 홀(12)이 형성된 일례

광 가이드(14)에는 가이드 되는 광이 상기 재배 대상 식물로(재배 판에) 조사되는 면적, 상기 재배 대상 식물에 조사되는 광량 및 가이드 되는 광의 진행 경로를 제어하기 위한 렌즈가 단수 또는 복수로 체결될 수 있음(<그림 1> 및 <그림 2>에는 그 예로 복수로 체결된 예를 보였음). 이때 렌즈는 하나의 렌즈 또는 둘 이상의 렌즈 단위로 개별 모듈(15)의 형태(DSLR 카메라의 대물통 렌즈의 형태와 유사한 형태)로 구현할 수 있음.

<그림 3>에 개별 모듈(15)의 몇 가지 구현 예를 제시하였는데, (a)는 개별 모듈(15)의 외관 사시도를 나타내며, (b)는 하나의 오목 렌즈가 개별 모듈(15)로, (c)는 하나의 오목 렌즈와 하나의 볼록 렌즈가 조합되어 개별 모듈(15)로, (d)는 하나의 볼록 렌즈가 개별 모듈(15)로, (e)는 두 개의 볼록 렌즈와 하나의 오목 렌즈가 조합되어 개별 모듈(15)로 구현된 예를 보인 것임. 여기서 (b) 내지 (e)는 (a)의 측면에서 본 단면도를 제시한 것임. 이 경우 광가이드(14)는, <그림 1>에 제시된 바와 같이, 복수의 개별 모듈의 각 개별 모듈(15)이 상호 연결되어 구현될 수 있음. 아울러 각 개별 모듈(15)은 상호간에서/에 탈/부착이 가능하게 구현됨.



<그림 3> 개별 모듈(15)의 사시도 및 각 개별 모듈(15)에 렌즈가 장착된 일례

렌즈의 개별 모듈(15) 형태로의 구현은 각 개별 모듈(15) 단위로 상기한 면적, 광량 제어 가능하게 함. 예를 들어 어느 모듈에는 전혀 렌즈를 끼우지 아니하던가 어느 모듈에는 볼록 렌즈를 어느 모듈에는 오목 렌즈를 어느 모듈에는 두 개의 렌즈를 끼우는 등 다양한 렌즈 조합을 가능하게 함.

한편 개별 모듈(15)에 구비되는 렌즈는 광학적 특성이 다른 렌즈로 교환 가능하도록 구현될 수 있음. 광학적 특성의 예로는 초점 거리, 렌즈의 두께, 굴절률 등을 들 수 있음.

개별 모듈(15)이 복수 개 상호 연결되어 광 가이드(14)가 구현되는 점, 각 개별 모듈(15)이 상호간에서/에 탈/부착이 가능하게 구현되는 점 및 각 개별 모듈(15)에 구비되는 렌즈를 광학적 특성이 다른 렌즈로 교환 가능한 점은 동일 재배 식물이더라도 식

물 재배 환경이 바뀌어 배광의 변경이 필요한 경우, 배광의 변경을 위한 작업을 매우 용이하게 이루어지도록 할 수 있음.

위에서 언급한 바와 같이 기존에는 식물 재배 환경의 변화에 따른 배광의 변경이 필요한 경우, 조명 장치를 더 구비해야 하거나 조명 장치의 배치 자체를 바꾸어야 하는 등 배광의 변경에 요구되는 작업이 매우 번잡하고 대규모적으로 이루어지고 상당한 추가 비용이 발생하기 때문에 변화되는 식물 재배 환경에 제대로 부응하지 못하여 결국 식물의 비정상 생육이 발생하는 경우가 빈번하였음.

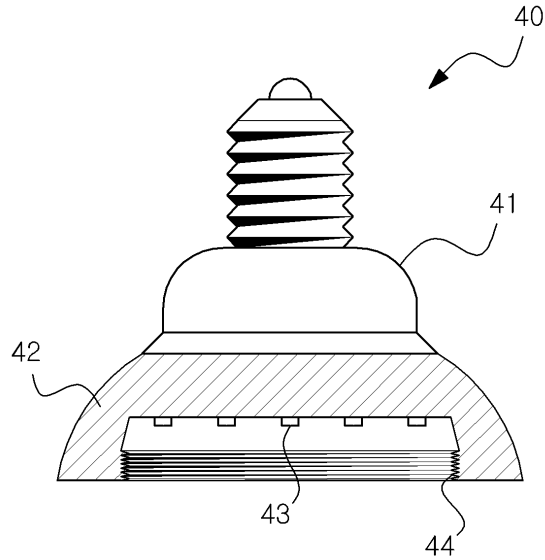
본 연구에 의한 상기한 세 가지 점은 개별 모듈(15)의 탈/부착만으로 또는 개별 모듈(15)에 장착된 렌즈의 교체만을 통해 광원을 동일한 조건으로 유지하여도(광원에 대한 어떠한 변경 조치가 없이도) 재배 식물에 조사되는 빛의 광량, 빛이 조사되는 면적 및 식물에 조사되는 빛의 진행 경로 등을 다양한 식물 재배 환경(재배 대상 식물에 요구되는 배광 특성)에 맞게 용이하게 조절(제어)할 수 있게 함. 아울러 조명 기구의 교체 내지는 추가가 없이도 작물이나 작형의 변화에 유연하게 대응하고 식물 재배 광원으로 효율을 극대화할 수 있는 장점을 제공함.

광량의 조절은 예를 들어 개별 일 모듈(15)에 이미 구비된 렌즈를 굴절률이 다른 렌즈로 교체하거나 초점 거리가 다른 렌즈로 교체하거나 오목 렌즈와 볼록 렌즈의 조합으로 렌즈를 구현하되 두 렌즈 사이의 거리를 조절하거나 개별 모듈(15)을 탈/부착하는 것 등으로 이루어질 수 있음.

그리고 조사 면적의 조절은 예를 들어 이미 구비된 렌즈의 앞단에 오목 렌즈를 추가 부착하여 조사 면적을 넓히거나 반대로 볼록 렌즈를 추가 부착하여 조사 면적을 좁히거나 하는 등으로 이루어질 수 있음.

아울러 식물에 조사되는 빛의 진행 경로의 조절은, 이 조절은 특히 균제도를 제고시키기 위한 것인데, 균제도의 제고는 재배 판의 전 영역에 동일 광량을 미치게 하는 것이므로 개별 모듈(15) 모두를 <그림 3>의 (c)에 제시된 렌즈의 조합을 이용하여 구현하면 개별 모듈(15)을 통과한 빛의 퍼짐성이 없어지고 직진성만 남으므로 재배 판의 전 영역에 동일 광량을 미치게 하는 것을 그 예로 들 수 있음.

<그림 4>는 본 연구에 의한 식물 재배용 조명 장치의 또 다른 일 실시예를 제시한 도면임.

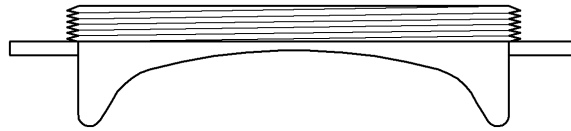


<그림 4> 식물 재배용 조명 장치의 또 다른 일 실시예

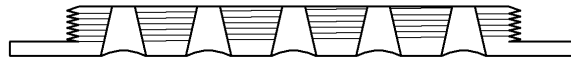
<그림 4>에 제시된 조명 장치의 실시예는 하우징(41)의 하부에 체결된 리플렉터(42), 리플렉터(42)에 의해 둘러싸인 광원(43) 및 렌즈 체결단(44)으로 형성되어 있음.

리플렉터(42)는 <그림 1>에 제시된 하우징(11)의 내부에 구현될 수 있는 전반사 거울 등과 같은 기능을 수행하는 것으로 소모 전력 대비 재배 대상 식물에 조사되는 빛의 광량을 높이고 전력 효율성을 높이도록 함. 이는 결국 빛의 사방 퍼짐 속성으로 인해 발생할 수 있는 전력 비효율을 최소화하기 위해 광원에서 조사되는 빛을 최대한 재배 대상 식물(재배 판)에 집광시키기 위함임.

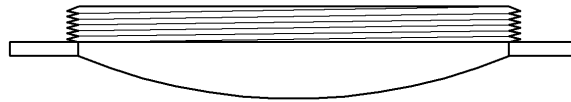
렌즈 체결단(44)은 렌즈가 탈/부착되는 되는 곳으로 <그림 4>에는 렌즈의 체결 방식이 스크류 방식으로 구현된 예를 보이고 있음. 물론 스크류 방식이 아닌 끼움식, 착탈식 등 등 렌즈가 자유롭게 탈/부착이 가능하도록 하는 체결 방식이면 어떠한 방식의 체결 방식도 가능gka. 한편 광원(43)은 복수(<그림 4>에 제시됨)일 수도 아니면 단수일 수도 있으며, 상기에서 언급한 이유와 동일한 이유로 LED를 채용하는 것이 바람직함.



(a)

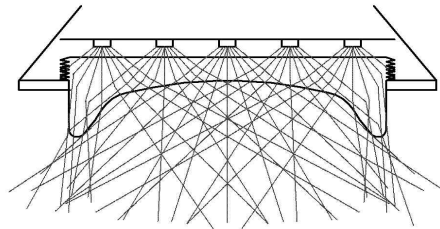


(b)

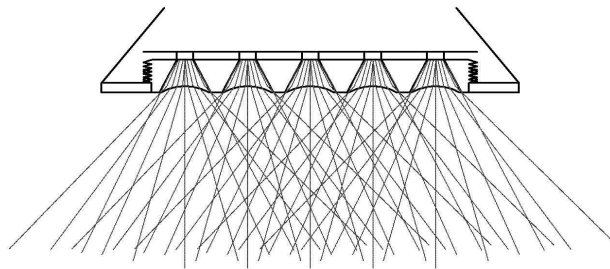


(c)

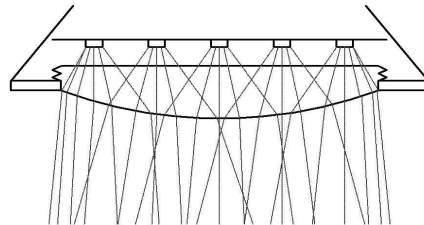
<그림 5> <그림 4>의 렌즈 체결단(44)에 체결될 수 있는 렌즈의 일부 예



(a)



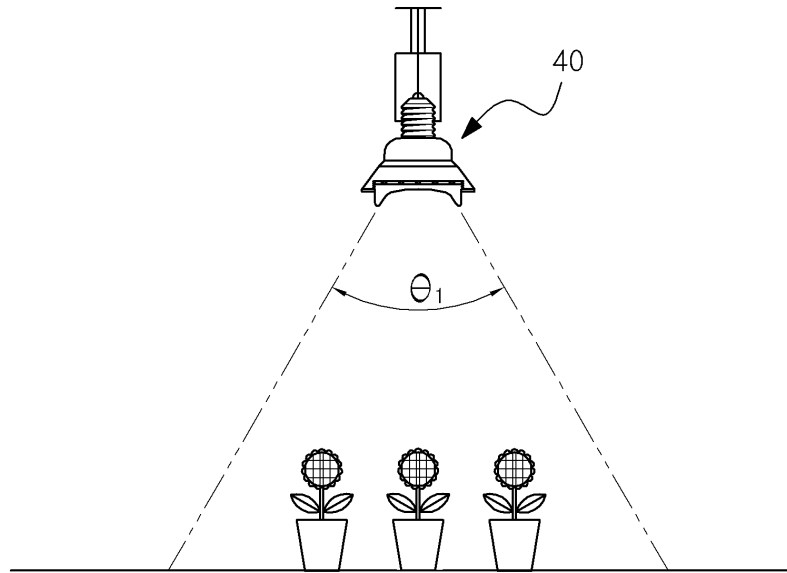
(b)



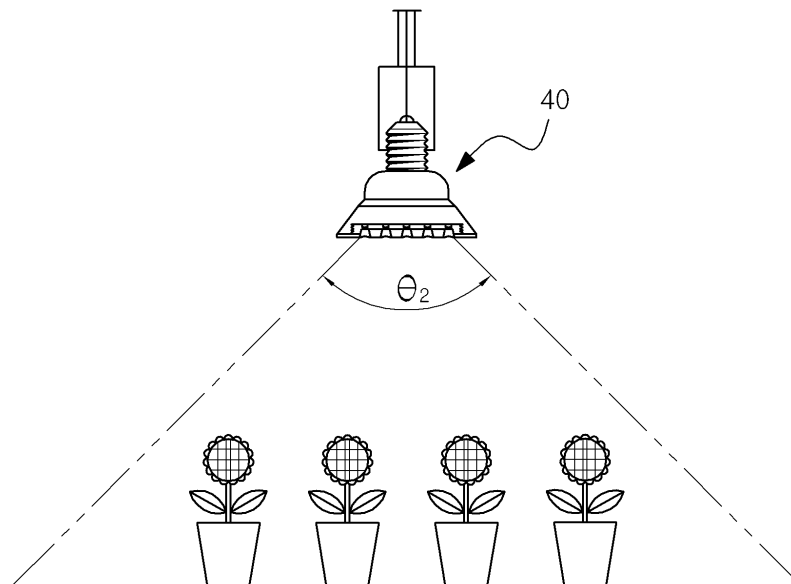
(c)

<그림 6> 빛의 <그림 5>에 제시된 각 렌즈에 의한 광로를 제시한 도면
 <그림 5>는 <그림 4>의 렌즈 체결단(44)에 체결될 수 있는 렌즈의 일부 예를 제시한

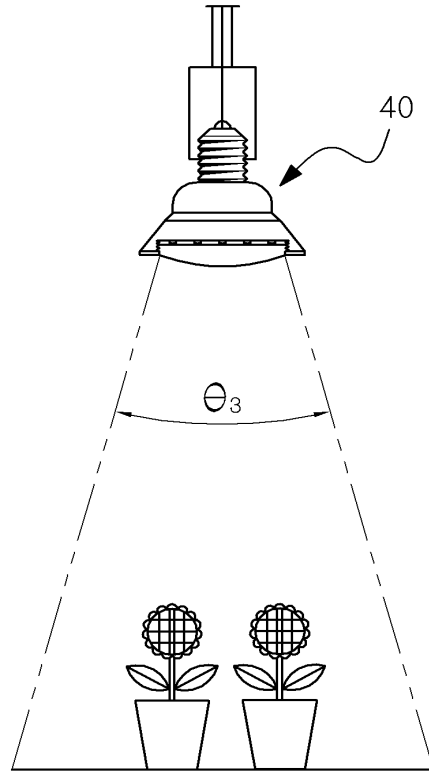
도면이며, <그림 6>은 광원(43)에서 조사되는 빛의 <그림 5>에 제시된 각 렌즈에 의한 광로를 제시한 도면임. 아울러 <그림 7> 내지 <그림 9>는 각각 <그림 5>에 제시된 각 렌즈가 렌즈 체결단(44)에 체결된 경우의 적용 예를 제시한 도면임. <그림 7>은 <그림 5>와 <그림 6>의 (a)의 경우, <그림 8>은 <그림 5>와 <그림 6>의 (b)의 경우, <그림 9>는 <그림 5>와 <그림 6>의 (c)의 경우임.



<그림 7> <그림 5>에 제시된 각 렌즈가 렌즈 체결단(44)에 체결된 경우의 적용 예



<그림 8> <그림 5>에 제시된 각 렌즈가 렌즈 체결단(44)에 체결된 경우의 적용 예



<그림 9> <그림 >에 제시된 각 렌즈가 렌즈 체결단(44)에 체결된 경우의 적용 예

한편 <그림 4> 내지 <그림 9>의 실시예에 의한 렌즈도, <그림 1> 내지 <그림 3>에 제시된 실시예와 마찬가지로, 하나의 렌즈 또는 둘 이상의 렌즈 단위로 개별 모듈의 형태로 구현할 수 있으며, 배광 특성의 일례로 들 수 있는 재배 대상 식물로 조사되는 면적, 상기 재배 대상 식물에 조사되는 광량 및 상기 가이딩 되는 광의 진행 경로를 제어하기 위함임.

<그림 5>(a)에 제시된 렌즈는 중간 부분의 오목 렌즈와 외곽 부분의 볼록 렌즈로 결합된 렌즈로서, <그림 6>(a)에 제시된 광로를 참조해보면, 광원(43)에서 조사된 빛이 중간 부분을 통과하면 오목 렌즈의 특성에 의해 빛의 경로가 퍼지게 되며 외곽 부분을 통과하면 볼록 렌즈의 특성에 의해 빛의 경로가 좁혀지는 것을 알 수 있음.

이러한 특성은 '집광'과 '조사 영역의 확산'이라는 두 가지 현상을 발생시킬 수 있으므로 재배 면적이 비교적 넓고 균제도의 확보가 어느 정도 필요한 식물(예를 들어 국화)의 경우에 적용될 수 있는 렌즈라고 할 수 있음. <그림 7>에는 <그림 5>(a)에 제시된 렌즈를 체결한 조명 기구를 통해 재배 대상 식물에 빛을 조사한 경우를 나타내는데 θ_1 은 대략 60도 안팎이며 재배 판의 길이는 3미터 내외 정도임.

<그림 5>(b)에 제시된 렌즈는 오목 렌즈로 광원(43)의 개별 단위마다 오목 렌즈가 체결되어 있음. <그림 6>(b)에 제시된 광로를 참조해보면, 광원(43)의 개별 단위에서 조

사된 빛이 오목 렌즈의 특성에 의해 빛의 경로가 퍼지게 되는 것을 알 수 있음.

이러한 특성은 '조사 영역의 광범위한 확산(개별 렌즈를 통한 확산형 배광 효과)'이라는 현상을 발생시킬 수 있으므로 재배 면적이 매우 넓은 식물(예를 들어 참외, 딸기 등)의 경우에 적용될 수 있는 렌즈라고 할 수 있음. <그림 8>에는 <그림 5>(b)에 제시된 렌즈를 체결한 조명 기구를 통해 재배 대상 식물에 빛을 조사한 경우를 나타내는데 θ_2 는 대략 90도 안팎으로 조사 영역이 매우 넓으며 재배 판의 길이는 4.5미터 내외 정도임.

<그림 5>(c)에 제시된 렌즈는 볼록 렌즈로서, <그림 6>(c)에 제시된 광로를 참조해보면, 광원(43)에서 조사된 빛이 볼록 렌즈의 특성에 의해 빛의 경로가 좁혀지게 되는 것을 알 수 있음.

이러한 특성은 '집광도(집광 효과)의 제고'이라는 현상을 발생시킬 수 있으므로 재배 면적이 좁고 집중적으로 배광을 받아야 하는 식물(예를 들어 육묘 등)의 경우에 적용될 수 있는 렌즈라고 할 수 있음. <그림 9>에는 <그림 5>(c)에 제시된 렌즈를 체결한 조명 기구를 통해 재배 대상 식물에 빛을 조사한 경우를 나타내는데 θ_3 는 대략 30도 안팎으로 조사 영역이 매우 좁은 대신 집광의 효과가 매우 높은 것을 알 수 있음. 재배 판의 길이는 1.5미터 내외 정도임.

이처럼 <그림 4> 내지 <그림 9>에 제시된 실시예도 렌즈의 교체만을 통해 광원을 동일한 조건으로 유지하여도(광원에 대한 어떠한 변경 조치가 없이도) 재배 식물에 조사되는 빛의 광량, 빛이 조사되는 면적 및 식물에 조사되는 빛의 진행 경로를 다양한 식물 재배 환경(재배 대상 식물에 요구되는 배광 특성)에 맞게 용이하게 조절(제어)할 수 있게 함. 아울러 조명 기구의 교체 내지는 추가가 없이도 작물이나 작형의 변화에 유연하게 대응하고 식물 재배 광원으로 효율을 극대화할 수 있는 장점을 제공함.

이제까지 본 연구에 대하여 그 바람직한 실시예를 중심으로 살펴보았음. 본 연구에 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 연구가 본 연구의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이 임.

그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 함. 본 연구의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 균등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 연구에 포함된 것으로 해석되어야 할 것임.

(6) 연구내용 요약

본 연구는 식물이 재배(생육)되는 재배 판의 전 영역에 광원으로부터의 빛이 균일하게 조사(배광)되도록 하고 아울러 식물 재배 환경이 바뀌더라도 배광의 변경이 용이하게 이루어지도록 하는 식물 재배용 조명 장치에 관한 것임.

본 보고서에서 개시하는 식물 재배용 조명 장치는 광원을 둘러싸는 하우징; 상기 하우징의 일 측면에 형성되는 홀(hole); 및 상기 홀에 체결되고, 상기 광원으로부터 방사되는 광을 재배 대상 식물로 가이드(guiding)하는 광 가이드를 포함하며, 상기 광 가이드에는 상기 가이드 되는 광이 상기 재배 대상 식물로 조사되는 면적, 상기 재배 대상 식물에 조사되는 광량 및 상기 가이드 되는 광의 진행 경로를 제어하기 위한 렌즈를 구비하여 본 연구의 과제를 해결함.

본 연구에 의한 식물 재배용 조명 장치는 렌즈의 탈/부착 또는 렌즈의 교체만을 통해 광원에 대해 어떠한 변경을 가하지 않더라도 재배 식물에 조사되는 빛의 광량, 빛이 조사되는 면적 및 빛의 진행 경로를 다양한 식물 재배 환경에 맞게 매우 용이하게 조절할 수 있게 함.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 연구목표 달성도

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)
1차 연도 (2009)	참외 재배를 위한 LED 참외 재배 조명 장치 개발 및 실증 연구	○참외 재배에 적합한 LED 재배 등기구 의 효과 연구 개발	100%
		○참외재배용 LED 등기구 시제품 제작	100%
	참외 안정생산을 위한 LED 이용 기술개발	○LED를 이용한 참외 공정묘 생산 기술개발	100%
		○참외 동계재배시 LED를 이용한 착과 증진 기술개발	100%
	참외 재배용 지능형 광환경 제어 시스템의 개발	○참외 재배의 광환경제어시스템 구축을 위한 시스템 설계	100%
		○참외재배용 LED 재배 등기구의 제작	100%

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)
2차 연도 (2010)	참외 재배를 위한 LED 참외 재배 조명 장치 개발 및 실증 연구	○참외 재배용 등기구 재배 실증적용 연구	100%
		○참외재배에 적합한 LED 재배 등기구 의 제작	100%
	참외 안정생산을 위한 LED 이용 기술개발	○참외 육묘기 암꽃개화 촉진을 위한 LED 이용기술 확립	100%
		○참외 동계재배시 생장 및 품질향상을 위한 LED를 이용기술개발	100%
	참외 재배용 지능형 광환경 제어 시스템의 개발	○외부 환경변화(날씨, 계절) 등에 지능 적으로 동작하는 광환경 제어시스템의 개발	100%
		○LED를 이용한 통합 광환경 제어 시 스템의 시제품 개발	100%

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)
3차 연도 (2011)	참외 재배를 위한 LED 참외 재배 조명 장치 기능 개선 및 실증 연구	○ 참외재배용 등기구의 실용적 기능 개선	100%
		○ 참외 재배용 등기구 재배 실증적용 연구	100%
	참외 안정생산을 위한 LED 이용 기술개발	○ 참외 안정생산을 위한 LED 이용기술 농가 실증시험	100%
		○ LED를 이용한 친환경 재배법 개발	100%
	참외 및 기타 작물 재배용 LED 등기구 개발	○ 참외 재배 농가 보급용 실용형(저가 형) LED 등기구 시제품 제작	100%
		○ 식물공장용 LED 재배 등기구 개발	100%

2. 관련 분야 기여도

가. 참외의 광합성 및 생장에 필요한 LED 파장영역의 연구와 단색광 또는 혼합광을 이용한 생장촉진 및 생리조절 연구로 LED를 이용한 참외 재배의 표준을 마련하고 농가 확산 가능성 제시

- 참외 재배를 위한 최적의 광환경 조건

- LED 광원 : 적색LED, 적+청색LED
- 적정 광량 : 육묘 $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 본포 $100\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이상
- 보광 시간 : 매일 4시간(일출 전 2시간, 일몰 후 2시간), 흐린 날 주간
- LED광을 보광하였을 때 무처리보다 광합성률이 높아 생육이 촉진되고, 적색LED와 적색+청색LED에서 상품과수량이 10%와 19% 증가하여 생육 촉진 효과 있었음

나. LED제조 원천기술 확보를 바탕으로 기존 LED 재배등의 성능을 보완하여 최적화를 구현 하였으며, 여러 형태의 시제품 개발 결과로 상용화 가능한 저가형 Bulb Type 재배등을 개발하고, 미래성장 산업인 미세조류 분야와 식물공장 시스템에 적용이 가능한 시제품 개발

다. 기상이변에 따른 시설하우스의 광환경 제어 연구를 시작으로 온·습도, 탄산가스, 배양 등 시설하우스 전체의 환경을 제어하는 기술과 식물공장 시스템으로 확장 적용하는 기술적 가능성을 마련

라. 농사법+IT+BT산업과의 융복합을 통해 새로운 시장을 창출하고 기술을 적용한 제품 및 농가의 상품 이미지 제고에 기여

마. 고효율에너지 소재산업, 환경 및 공정 제어산업, 식품바이오 산업 등의 발전에도 일부 영향을 미칠 것이며, 단순히 생산량을 증대하기 위한 것이 아니라 재배하는 작물에서 영양성분, 기능성 성분이 발현되는 재배기술 개발에도 기여를 하여 향후 농업발전과 더불어 전후방 산업 발달에 긍정적인 기여를 할 것임

3. 경제성 분석

가. 추정수익 분석

손실적 요소(A)	이익적 요소(B)
○ 증가되는 비용: - LED등 설치 : 112개×100,000원/10년 =1,120,000원 - 전기요금 : 32W×112개×4시간×100일 =64,198원 - 자본용역비 : 11,200,000원/2×0.05 =280,000원 - 계(A) : 1,464,198원	○ 증가되는 이익 - 수량 증가 적색LED : 123kg×2,165원=265,773원 적+청색LED : 218kg×2,165원=472,619원 - 계(B) 적색LED : 265,773원, 적+청색LED : 472,619원
○ 추정수익액(B-A) = 적색LED : -1,198,426원 = 적+청색LED : -991,580원	

※ 3년간(2008~2010년) 전국 참외평균단가 : 2,165원/kg

나. 제품비교 분석

구분	개발제품	D社	E社	N社	I社	B社	
외형	규격(mm) (L×W×H)	1000×28×25	450×75×45	-	1200×80×50	600×75×60	-
	형수외계	○ (전원부 IP67대응)	생할방수	×	×	생할방수	생할방수
	방열외계	○ (AI제형, 판타임생열구조)	△	×	○	△	△
전기	입력전압	220VAC	220VAC	220VAC	220VAC	24VDC	24VDC
성능	광량 (광下10cm)	170 μmol	210 μmol	- μmol	1 μmol (광下30cm)	67 μmol	20 μmol
	광속	434.3lm	137 lm	-	-	-	-
	광효율	12.4lm/w	9lm/w	-	-	-	-
	출력	35W	15W	14W	24W	10W	12W
	지향각	120°	120°	120°	120°	120°	30° (특종LED Lamp Type, 지향각-30°, 0.1W)
가격	적용면적 (최소10lux기준 약1.35 μmol)	25㎡(7.6평)	12㎡(3.6평)	10㎡(3평)	20㎡(6평)	-	-
	LED단가	25만원	25만원	18만원	24만원	-	-
제품사진	설치비포함	25만원	25만원	20만원	30만원	-	-
	LED 사진						

※ 타사제품의 사양은 설치 농가를 방문하여 확인한 사항으로 업체의 실제 사양과 차이가 날 수 있음

- 최고 성능 목표 달성

- 개발 제품의 적용면적은 25㎡/EA로 조사 대상 타제품 비교 성능 최우수
- 설치 수량의 최소화로 전체 설치비 감소 가능 함

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

본 연구개발 계획에서 개발하고자 했던 내용은 식물 재배용 등기구와 광환경 제어 시스템으로 여러 연구와 기술개발을 통해 모든 식물에 보편적으로 적용할 수 있는 제품개발을 위해 노력을 하였음.

1. 다양한 농업용 LED 조명 등기구의 개발

식물재배에 적합한 특정과장을 발생하는 LED 등기구 개발 계획을 보다 세분화하여, Bar형 LED, Growth Chamber, 반구형 아크릴 LED 등기구, Bulb형, Panel형 등 다양한 농업용 LED 등기구를 개발하였으며 식물재배를 위한 전용 LED Array 제작, 전원 공급 장치의 시제품 제작, 방열, 방습 등 식물재배를 위한 시설에 적합한 등기구의 하우징 개발 등을 수행하여 농업에 LED 적용을 위한 원천 기술을 확보하였다고 판단되며 농가 적용한 성과는 다음과 같음.

- 참외 육묘기에 기 개발한 농업용 LED 등기구를 밤 7시부터 하루에 30분 정도 비추어주면 비추어 주지 않는 것보다 암꽃이 두 배 정도 많이 생기며, 수량도 20% 정도 증가함.

※야간에 적용한 이유 : 자연광이 충분한 환경에서는 인공적 장치 없이도 작물이 잘 자라지만, 자연광만으로 광량이 부족할 때는 부족한 광량을 보충하기 위해 보광용 LED등을 인공광원으로 이용하고 있음. 보광은 광합성 또는 성장촉진을 목적으로 일출 전과 일몰 후 일정 시간동안 조명하여 일조시간을 연장하는 방법과 흐린 날 주간에 조명하는 방법이 이용되고 있으며, 본 연구에서는 타이머를 통해 일정 시간동안 LED를 이용해 보광을 하는 일조시간 연장의 방법을 이용하였음.

- 참외 및 딸기에 청색, 적색, 적외선을 비추어주면 생육이 촉진되고 암꽃 발생이 많아져 수량이 20% 정도 증가함.

- 청색, 황색 및 자외선을 비추어주면 진딧물, 청벌레, 총채벌레, 노균병 등 병해충 발생이 감소함.

이러한 성과를 바탕으로 관련 등기구의 광학설계와 기능 개선을 통해 관련 연구를 계속 추진 중에 있음.

2. 통합형 LED 성장 환경 제어 시스템의 개발

최적의 광환경을 제공하기 위한 광환경 제어 시스템뿐만 아니라, 일반적으로 식물에 필요한 성장환경요소까지 모니터링하고 제어하기 위한 시스템을 개발을 수행하였음.

식물의 재배 및 성장 환경의 체계적 관리를 위한 시스템 설계, 식물의 재배를 위한 광환경 및 성장 환경 데이터의 표준화, 센서 네트워크 설계, 광환경 검출 센서 및 성장환경센서 개발, 센서노드 및 제어기기 개발, 통합 광환경 제어시스템 응용 소프트웨어 개발을 수행하여,

향후 고품질의 농작물 생산과 노동력 절감을 통해 생산비 절감을 이룰 수 있음.

또한 현장에 바로 적용하여 활용이 가능하도록 기능을 구현하여, 농업분야의 LED 등기구 확산과 USN기반의 성장환경감시제어 분야의 기술 향상 및 보급에 기여할 것으로 예상됨.

3. 지적재산권 취득 및 획득 계획

가. 논문 게재 성과

게재연도	논문명	저자			학술지명	국내외 구분	SCI 구분
		주저자	교신 저자	공동저자			
2009	LED광원처리가 참외의 생육 및 개화에 미치는 영향	신용습	신용습	신용습, 이지은, 연일 권, 정종도, 도한우, 최 성용, 김종삼, 안은기	한국생물 환경조절 학회	국내	비SCI

나. 특허 출원 및 등록 계획

(1) 특허 출원

출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호
2010	식물재배용 조명 장치	(주)유비엔	대한민국	10-2010-0082622
2011	식물재배용 조명 장치	(주)유비엔	대한민국	10-2011-0083441

(2) 특허 등록 계획

LED를 이용하여 식물을 재배하는 시스템은 이미 일반에 공지된 기술이나, 참외의 재배과정에서 날짜별로 수집한 데이터를 데이터베이스에 저장한 후 그 저장된 데이터에 기초하여 LED를 제어한다면 특허의 문언침해에서 벗어날 수 있을 것이라 판단됨.

분석대상기술에 대해 특허권을 획득하기 위해서는 배경기술 및 제시된 선행기술들을 참조하여 이들 배경기술 및 선행기술을 이용 개량하여 기존에 전혀 기대할 수 없었던 이질적/현저한 효과를 나타내는 기술을 개발하거나, 선행기술에 개시되어 있지 않은 기술요소를 개발하는 것이 바람직하다고 사료됨. 특히, 참외 생장에 관련한 데이터베이스를 조도센서 및 분광센서를 이용하는 과정에 관련한 구성요소를 더 부가하거나 강조하면 효과적일 것이라 판단됨. 또한, 이용 개량된 발명에 대해 특허권을 획득한 후 향후 선행특허를 침해하는 부분에 있어서는 크로스 라이선싱 전략을 구사하는 것이 바람직할 것으로 판단됨.

4. 연구성과 활용계획

식물공장 산업과 미세조류를 이용한 식품 제조, 바이오디젤 생산 분야의 발전은 LED 등과

광환경 제어 시스템의 향후 발전 가능성을 보여주고 있음.

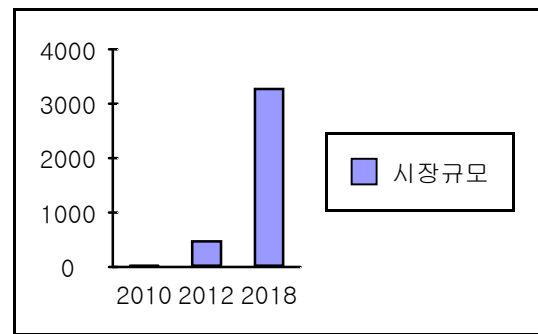
LED 재배기술 활발히 전개되는 현 상황에서 본 연구개발을 통해 얻은 기술은 미세조류 배양 및 식물공장 시스템 연구에 적용한다면 이들 분야의 실용화가 더욱 앞 당겨질 것임.

또한 이미 개발된 LED 등기구를 농가에 보급하는 사업을 꾸준히 진행하여 고품질 농산물 생산을 도모하고자 함.

5. 시장규모 및 사업화 계획

가. 시장규모

한국광기술원에 따르면 농수산업 LED응용시장은 2010년 50억원에서 2012년 500억원으로 10배 이상 성장할 것으로 내다봤다. 2018년에는 무려 3300억원의 시장을 형성, 연평균 68.8%의 성장률을 보일 것으로 예상했다. [참고자료 : 디지털타임스 2009.04.20]



(단위 : 억원)

나. 사업화를 위한 참여기업 협력계획

참여기업	주요역할	사업계획
도흥리정보화 영농조합법인	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농가실증시험 ○ 설치사례 홍보 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 실증농가를 지속적으로 관리하여 성과를 꾸준히 향상시키고 타농가 및 시군에 우수사례 소개
(주)유비엔	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구기관 연계 R&D 및 사업화 추진 ○ 보급 및 판매사업 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 농촌진흥청, 농업기술원, 농업기술센터 및 지역 대학과 산학연 공동연구를 통한 신규 R&D사업 발굴 ▶ 보급형 LED를 위주로 농가 보급 및 판매사업 진행 - 시군 LED보급사업 참여
경북농업기술원 성주과채류시험장	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술 적용 작물 확대 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 참외를 비롯한 여러 작물에 연구기술을 적용한 결과 정보 제공, 사업화 가능작물 (분야) 발굴의 기반 마련

제 6 장 참고문헌

- 강승원 외, 식물공장, 월드사이언스, 2008.
- 後藤英司, Agri-Photonics : Advances in Plant Factories with LED Lighting, 2008.
- 허성범 외, 유용 미세조류의 배양과 응용, 라이프사이언스, 2006.
- 참외재배(영농교본-105), 농촌진흥청, 2001.
- 딸기(표준영농교본-40), 농촌진흥청, 2009.
- 이명원, 국화 조직배양시 LED광의 종류가 생장에 미치는 영향, 공주대학교 원예학과, 2006
- 최영하 외, 광환경 개선에 따른 성주참외 고품질 생산 연구, 원예연구소 시설원예시험장, 2007.
- 백기엽 외, 원예식물의 생장 및 광형태 형성에 미치는 LED의 효과, 충북대학교 첨단원예기술 개발연구센터, 2003.
- 김용현, 박현수, 수박접목묘의 활착특성에 미치는 청색·적색 및 원적색 LED의 영향, 2003.
- 문홍규 외, 기내배양된 덩굴용담의 LED(Light-emitting Diode) 처리하의 생장비교, 한국육종학회지 36권 1s호, 한국육종학회, 2004.
- 박신영 외, 냉장고의 LED 부착이 양배추의 선도 영장에 미치는 영향, 한국식품연구원, 2007.
- 염미란 외, 기내 나리 소인경 배양시 발광 다이오드가 광형태형성 및 생장에 미치는 영향, 충북대학교 첨단원예기술개발연구센터, 2003.
- Jong Seok Park and Kazuhiro Fujiwara, Morphology and Leaf Color Change of Grafted Tomato Plug Seedlings Irradiated by Different Wavelengths of Photosynthetically Active Radiation during Low Light Irradiation Storage, The University of Tokyo, 2008.
- 그린 네트워크(Green Network)를 이용한 도시환경에 적합한 식물재배 및 생장 시스템 개발, 2010년도 서울전략산업 지원사업 융복합 기술개발 기획보고서, 2010.
- 정재훈 외, 가시오갈피 기내 소식물체의 생장 및 형태형성에 미치는 발광다이오드의 효과, 한국작물학회지 제51권 별책1호 pp 674~675, 한국작물학회, 2006.
- 최영환 외, 밀양지역에서 고품질 잎들깨 생산을 위한 노력절감형 및 환경친화형 재배기술 개발, 밀양대학교, 2002.
- 길경석 외, 식물성 플랑크톤에 대한 UV LED의 살균성능 분석, 한국마린엔지니어링학회지 제 33권 제 6호, 2009.
- 안종길 외, 적색광(R)/원적색광(FR)비가 다른 피복자재 및 생장조절제의 처리가 토마토 plug tray묘의 생육억제 및 수량에 미치는 영향, 밀양대학교 원예학과, 2003.
- 김용현 외, 인공광을 이용한 접목묘의 활착촉진장치 개발 및 광형태형성제어에 관한 연구, 전북대학교, 2001.
- 최영환 외, 밀양지역에서 고품질 잎들깨 생산을 위한 노력절감형 및 환경친화적 재배기술 개발, 밀양대학교, 2002.
- 남윤일 외, 최신시설원예 환경제어기술, 농촌진흥청 원예연구소, 2003.
- 윤철구 외, 식물공장 각종광원의 방사조건과 LED조명의 활용에 관한 연구, 한국조명전기설

비학회, 2011

- 김재훈, 식물공장 시스템의 동향과 발전 방향, 한국식물생명공학회, 2010
- Jeong Wook Hea, Chun Woo Lee and Kee Yoeup Paek, Influence of Mixed LED Radiation on the Growth of Annual Plants, Journal of Plant Biology 49(4), 2006.
- 유영문 외, LED조명 부품소재 기술혁신 연구, 한국산업기술진흥원, 2010.
- 이채운 외, 고부가가치 원예작물 생산을 위한 식물생장용 인공광원 및 등기구 개발, (주)금오전기, 2010.
- 김용현 외, 인공광하에서 접목묘의 증발산소속도에 미치는 상대습도와 광합성유효광량자속의 효과, 한국농업기술학회지 제 26권 제 4호, 2001
- 노현숙 외, LED : 디스플레이/조명용 반도체광원의 상업화를 위한 선결과제, 한국과학기술정보연구원, 2005.
- IT-LED 기반 미래형 식물공장 융합기술 및 사업전망전략, 한국미래기술교육연구원, 2011.
- 한국생물환경조절학회 학술발표논문집(19권 2호), 2010
- 지면을 통하여 본 식물공장, 농촌진흥청, 2010.
- 청정인삼 주년 고속생산 기술이전 교육, 농촌진흥청 국립원예특작과학원, 2008.

주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 농림수산식품 연구개발사업의 연구 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 농림수산식품 연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.