

완결과제 최종보고서

일반과제(○), 보안과제()

(과제번호 : PJ007408)

LED를 이용한 시설재배작물 주요 병해충 방제기술 개발

Development of phytopathogenic and agricultural insect pests control technique on green house by light emitting diode (LED)

그린테크주식회사

농촌진흥청

제 출 문

농촌진흥청 장 귀하

본 보고서를 “LED를 이용한 시설재배작물 주요 병해충 방제기술 개발 (PJ007408)”과제의 보고서로 제출합니다.

연구수행기간 : 2010. 01. 01. ~ 2012. 12. 31.

제1세부연구과제 : 시설지내 병해충 방제용 LED장치개발

제1협동연구과제 : LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발

제2협동연구과제 : LED를 이용한 시설지내 식물병원균 방제기술 개발

제3협동연구과제 : 농업해충 방제용 LED 장치의 농가실증실험

2013. 02. 28.

주관연구기관명	: 그린테크(주)
주관연구책임자	: 이 상 훈
연 구 원	: 윤 인 속
“	: 윤 혜 진
“	: 김 진 영
“	: 김 인 덕
“	: 양 윤 모
“	: 정 로 덕
“	: 이 영 수
“	: 김 원 중
“	: 김 주 섭
“	: 권 오 철
“	: 백 규 립

연구원 : 이 치 훈
 “ : 전 주 현
 “ : 김 민 기
 “ : 오 민 석
 “ : 양 지 연
 “ : 조 경 식
 “ : 고 정 윤
 “ : 소 병 율
 “ : 국 희 선
 “ : 이 건 응
 “ : 장 예 진
 “ : 김 혜 민
 “ : 주 재 은
 “ : 이 상 구
 “ : 염 기 홍
 “ : 김 양 표
 “ : 윤 미 순

제1세부연구기관명 : 그린테크(주)
 제1세부연구책임자 : 이 상 훈
 제1협동연구기관명 : 전북대학교
 제1협동연구책임자 : 이 회 선
 제2협동연구기관명 : 전북대학교
 제2협동연구책임자 : 이 귀 재
 제3협동연구기관명 : 국립농업과학원
 제3협동연구책임자 : 박 창 규

주관연구책임자 : 이 상 훈
 주관연구기관장 : 그린테크(주) 대표이사 이 상 훈



요 약 문

I. 제 목

- LED를 이용한 시설재배작물 주요 병해충 방제기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발 목적

본 연구는 병해충 제어에 효과적인 LED의 파장을 조사하고, 각 LED 단일파장과 혼합파장을 기존 인공광원과 비교하여 광 반응성을 평가하고, 이를 토대로 하여 LED가 농업해충 제어(기피/유인) 및 식물병원균에 미치는 영향을 조사하여 신기능성 병해충 제어광원으로서의 이용가능성 검토 및 시설재배에 응용할 수 있는 가능성 제시를 목적으로 한다.

2. 연구개발 필요성

21세기 초 고유가 현상과 기후변화협약의 온실가스 감축의무가 현실화 되면서 에너지 자원의 효율적 이용과 절약이 지속가능한 경제성을 결정짓는 주요한 변수가 되고 있다. 따라서 LED, 태양광 및 풍력 등을 활용한 새로운 미래성장동력 녹색산업에 대한 투자가 크게 확대되고 있으며, 2008년 정부의 정오정책안건으로 저탄소 녹색성장을 제시함에 따라 이산화탄소 감축과 에너지 대책을 국가적 목표로 발표함에 따라 다양한 분야에서 LED를 이용한 각종 연구들이 활발히 진행 중에 있다. 국내 LED시장은 2010년에 3조 7500억 원, 2015년에는 15조 7000억 원대의 시장규모를 형성할 것으로 전망하였으며, 세계기준으로는 2012년 12%, 2015년에는 15.3%로 꾸준히 성장할 것으로 전망되고 있다. LED는 인공광원으로 사용되던 기존의 형광등, 메탈할라이드 및 고압나트륨 등을 대체할 차세대 광원으로써 저전력/장수명/경제성뿐만 아니라 농업분야에서도 식물성장속도 조절/친환경적 병해충 방지/친환경농업의 구현 등 다양한 장점을 보유하고 있어 고품격, 친환경 농산물을 생산하기 위해 많은 연구들이 진행 되고 있다. 최근 시설재배지 증가로 인해 시설지내 병해충 피해도 함께 증가하고 있으며, 특히 시설지내 특수성으로 인해 연중 병해충이 발생하고 그 주기 또한 매우 짧아서 재배작물의 생육과 경제성에 악영향을 미치기 때문에 이들을 보다 효과적으로 안전하게 제어하기 위한 제어법을 개발하여 이들의 개체군을 조절함으로써 작물 재배농민들에게 경제적인 안정감을 제공해야할 필요성이 대두되고 있다. 시설재배지에서 문제를 야기하는 병원균에는 녹병, 탄저병, 잿빛곰팡이병, 역병 및 균핵병 등이 대표적이며, 이들 병원균은 전염성이 강하고 기주식물이 다양하여 병 발생시 많은 피해를 야기하고 있다. 지금까지

지 이들의 방제는 화학적인 방제가 주를 이루었지만, 이로 인한 약제저항성의 출현으로 방제가 어려울 뿐만 아니라 환경오염 문제를 야기함으로써 보다 안전하고 효율적인 제어법의 개발이 요구되고 있다. 해충의 경우 가루이류, 응애류, 나방류, 총채벌레류, 진딧물류, 뿌리혹선충류 등의 크기가 작고, 시설지내에서 일 년에 여러 세대를 경과하는 미소해충들의 피해가 늘어나고 있다. 특히 기주식물의 유통에 동반하여 시설지내 침입이 용이하기 때문에 이러한 농업해충들을 방제하기 위해 주로 화학적 방제를 이용하고 있으나 잔류독성의 문제, 약제 재처리의 문제, 약한 활성 및 짧은 지연성으로 인해 고농도의 약제 처리로 인한 저항성 개체 발생 등이 일어나고 있다. 저항성 품종 역시 시간적, 기술적, 경제적 제약과 빠른 적응을 할 수 있는 개체의 발생으로 효율적이지 않으며 이를 극복할 수 있는 새로운 형태의 친환경적 바이오 기능성 신소재를 통한 새로운 제어법의 개발이 요구되고 있다. 빛에 대한 해충 반응성 실험에서 해충이 좋아하는 빛인 수은색 등의 낮은 파장을 이용하여 해충을 유인, 포집하는 방법이 제시된 반면, 해충이 싫어하는 580~620nm 대역의 LED 조명을 조사할 경우 해충이 줄어들어 작황이 증진되는 효과를 보여 LED를 이용한 해충방제에 대한 가능성을 제시하고 있으며, 항균능력을 보유한 파장대의 UV-LED를 제작할 경우, 특히 UV-C 파장대역을 이용하면 박테리아나 바이러스를 죽이거나 무해하게 변화시켜 번식을 방지하는 것으로 보고되고 있어 이를 농업환경에 적용하기 위한 연구를 필요로 한다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

1. 시설지내 병해충 방제용 LED장치개발

- LED단색/혼합 광을 이용한 농업해충 및 식물병원균 제어를 위한 장치제작
 - LED를 이용한 농업해충 및 식물 병원균 실내 실험용 장치 개발
 - LED를 이용한 농업해충 및 식물 병원균 실험용 LED 모듈 제작
- 농업해충 제어를 위한 LED 시제품 및 자동화 시스템 개발
 - 시설지내 농업해충 제어를 위한 기피/유인장치 제작
 - LED를 이용한 농업해충 및 식물병원균 제어용 자동화 장치 및 시제품 개발

2. LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발

- LED를 이용한 소규모 시설지내 농업해충 방제 연구
 - 농업해충 선발 및 사육
 - 농업해충 제어를 위한 생물검정법 (기피/유인) 확립
 - LED 광원을 이용한 주광성 행동반응 평가
 - 소규모 시설지내 실증 실험
 - 기존광원과의 주광성 행동반응 비교

3. LED를 이용한 시설지내 식물병원균 방제기술 개발

- LED 단색/혼합 광을 이용한 시설지내 식물병원균 방제연구 및 농가 실증실험
 - 식물병원균 2종 선발 (잿빛곰팡이 병원균, 흰가루 곰팡이 병원균)
 - 기주식물 각 2종 선발 (토마토 2종, 상추 2종)
 - 선발된 식물병원균 제어에 효과적인 LED 단색/혼합광의 조사조건 선발
 - LED 단색/혼합광 조사에 따른 기주 식물의 반응성 평가
 - LED 단색/혼합광 조사에 따른 기주 식물에 대한 식물병원균 반응성 평가
 - 시설 재배지내 LED system의 식물병원균 방제 실증 실험

4. 농업해충 방제용 LED 장치의 농가실증실험

- 대규모 시설지내 LED 장치의 농업해충에 대한 농가실증실험 및 문제점 개선
 - 대규모 시설지내 피해를 일으키는 농업해충 및 식물병원균 사육 및 분양
 - 개발된 LED 기피/유인 장치의 대규모 시설재배지내 실증실험
 - 개발된 LED 해충방제장치의 대규모 시설재배지내 실증실험

IV. 연구개발결과

1. 시설지내 병해충 방제용 LED 장치 개발

- LED 단색/혼합광을 이용한 농업해충 및 식물병원균 제어를 위한 장치 제작
 - LED를 이용한 농업해충 및 식물병원균 실내 실험용 장치개발 완료
 - LED를 이용한 농업해충 및 식물병원균 실내 실험용 모듈개발 완료
- 농업해충 제어를 위한 LED 시제품 및 자동화 시스템 개발
 - 시설지내 농업해충 제어를 위한 기피/유인장치 개발 완료
 - LED를 이용한 농업해충 및 식물병원균 제어용 자동화 장치 및 시제품 개발 완료

2. LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발

- LED를 이용한 소규모 시설지내 농업해충 방제 연구
 - 농업해충관련 자료 조사 실시
 - 농업해충 선발 및 사육 (파밤나방, 담배거세미나방, 담배가루이, 꽃노랑총채벌레)
 - 농업해충 제어를 위한 생물검정법 (기피/유인)확립
 - LED 광원을 이용한 주광성 행동반응 평가 실시
 - 농업해충별 최적 조건 확립 (최적 조도, 파장, 조사시간 선정)
 - 소규모 시설지내 실증실험을 통한 개발된 해충 포획 장치의 효능 평가
 - 기존광원과의 주광성 행동반응 비교

3. LED를 이용한 시설지내 식물병원균 방제기술 개발

○ LED system을 이용한 광질 및 광조사 방법 제어에 따른 식물병원균 활성 비교 검정 결과 잿빛곰팡이병을 일으키는 *Botrytis cinerea*의 활성 제어에 blue LED 단색광 처리가 가장 효과적으로 나타났다.

○ LED system을 이용한 광질 제어에 따른 기주식물(작물)에 대한 식물병원균 반응성 평가는 토마토와 상추 식물에서 모두 blue LED광과 blue+red LED 혼합광을 처리해 주는 것이 *B. cinerea*의 발병을 억제에 가장 효과적임을 알 수 있었다.

○ LED system을 이용한 광질 제어에 따른 기주식물(작물)의 생리적 방어기작변화 비교 분석 결과, 토마토와 상추 식물에서 blue LED광과 blue+red LED 혼합광 처리에서 강화된 항산화효소 활성 능력이 식물병원균 반응성 평가에서 *B. cinerea* 병원균 공격에 대한 높은 저항성 유도에 큰 영향을 미쳤다고 판단된다.

○ LED system을 활용한 온실 시설 재배지내 식물병원균 방제 효율성 실증 분석 결과에서 온실 시설 재배지내 잿빛곰팡이병과 흰가루곰팡이병 방제 효율은 자연광 조건에서 보다 LED 광원을 활용했을 때 더 증진되어졌고, 온실 시설 재배지내 식물 병원균 방제에 효과적인 LED광원으로는 blue광 또는 blue+red 혼합광원을 활용하는 것이 효과적임을 확인하였다.

4. 농업해충 방제용 LED 장치의 농가실증실험

- 대규모 시설지내 LED 장치의 농업해충에 대한 농가실증실험 및 문제점 개선
 - 대규모 시설지내 피해를 일으키는 농업해충(파밤나방, 담배가루이)사육
 - 개발된 LED 기피/유인 장치를 이용 파밤나방에 대한 대규모 시설지내 실증 실험 완료
 - 개발된 LED 해충방제장치를 이용 담배가루이에 대한 대규모 시설지내 실증 실험 완료

V. 연구개발결과의 활용계획

1. 기존 병해충방제 시스템의 단점을 보완한 친환경 LED 광원 장치 개발

본 연구의 친환경 LED 병해충 방제기술은 기존 병해충방제 시스템에 의한 경제적 손실 및 환경적 피해를 방지할 뿐만 아니라, 일회성 제품인 끈끈이의 주기적인 교체의 번거로움 및 위생상의 문제점까지 해결하는데 활용될 수 있음. 더 나아가 시설재배작물의 성장속도 조절 및 고기능성화의 잠재능력과 친환경적 해충포획 및 방제 가능성을 갖춘 LED 광원을 융합함으로써 LED의 활용범위를 확대시키고, 관련 산업에 제품의 다양화를 유도함으로써 기술발전에 활용될 수 있음.

2. 학술적 분야 기초자료 제공

대상 병해충에 대한 다양한 과장영역 체계를 수립하고 선택적 제어활성을 규명하여 기피, 유인, 억제를 목적으로 하는 해충방제시스템을 농가에 성공적으로 보급. 또한 연구실내에서 이루어져 왔던 학술논문들과 아이디어를 제품 및 생산 공정에 접목하여 고

부가가치 기능성제품을 개발해 가는 훌륭한 로드맵으로써 적용가능.

3. 현장적용시험 실시

현재 LED를 활용한 해충방제 장치에 대한 특허는 있으나, 시설재배 작물을 기주식물로 한 병해충 반응연구는 전무한 실정이며, 농가현장에서 검증되어 실용화된 경우는 미비한 실정임. 따라서 농가보급을 위하여 시설재배지의 현장적용시험을 실시하고 애로사항 및 문제점 등을 파악하여 이를 개선한 후 기업체와의 연계를 통해 개발된 LED 장치의 대량 생산/개발로 관련 농가에 저렴하게 보급하고자 함.

4. 특허 출원 및 실용화

연구 성과를 통해 전략적인 기술개발을 도모하고 특허의 기술성 및 실용화 가능성 등의 평가를 통해 국내 특허를 출원함. 또한, 기술이전을 실시함으로써 기술상용화를 촉진하여 LED를 이용한 병해충 제어의 새로운 시장 개척 가능성 제시.

S U M M A R Y

- Title: Development of phytopathogenic and agricultural insect pests control technique on greenhouse by light emitting diode(LED)

1. Development of LED equipment for phytophthogenic and agricultural inset pests control technique on greenhouse

In this study, Greenteko(GT) developed LED pest control system(LPCS) for the purpose of controlling insect pest and plant disease.

Accordingly, GT developed LED pest control system using monochromatic and multichromatic light. This LED pest control system is designed that GT collaborate on a project with Chonbuk National University.

GT exploited LED system module and construct to control wavelength, amount of light and direct a beam time. GT designed LED multichromatic light lab equipment and executed to supplement or amend as long as experiment and test. As a result of this designing, GT developed five experimental chamber and repellent/attractant multichromatic light system.

In addition, GT manufactured repellent/attractant system to protect and spread LED light for various environment conditions. GT developed a controller to set-up output value of amount of light. Futhermore, GT made and installed this controller to select four fields.

Finally, GT developed LED pest control system automatically and trial manufactured goods. Designing monochromatic light system ⇒ Developing experimental chamber ⇒ Designing mono/multi chromatic light module ⇒ Light protection and spread LED light system ⇒ Developing automatic system and trial manufactured good.

2. Development of agricultural inset pests control technique on greenhouse by LED

Sustainable, ecologically-friendly management systems represent a key goal for agriicultural research. The advantages of light emittind diodes (LEDs) are adjustable light intensity and quality, compact size, low themal output, wavelength specificity, as well as high photoelectric conversion efficiency. These advantages suggest the possibility of using LEDs to control insects in managed environments such as greenhouses. In this study, the photo-responsed of *Spodoptera exigua*, *Spodoptera*

litura, *Bemisia tabaci*, and *Frankliniella occidentalis* to LEDs under laboratory conditions are reported.

The photo-response of the *Spodoptera exigua*, *Spodoptera litura*, *Bemisia tabaci*, and *Frankliniella occidentalis* to light emitting diodes of different wavelengths and various intensities was tested in test chamber and compared with the response to black light (BL), which is typically used in commercial traps.

The attraction rate of *S. exigua* was the highest to 450-620 nm (white) LED at 40 lx intensity and 60 min duration. When the attraction rate of *S. litura* was surveyed at the optimal conditions, the green LED (520 nm) exhibited the highest potential attraction rate at 40 lx intensity and 60 min exposure time. For *B. tabaci*, the attraction rate was the highest to 470 nm (blue) + 625 nm (red) LED at 20 lx and 90 min. The attraction rate of *F. occidentalis* was the highest to 590 nm (yellow) LED at 80 lx light intensity and 90 min light exposure time.

3. Development of phytopathogenic control technique on greenhouse by LED

Lights source is not only important for controlling plant growth, development, and nutritional quality, but also for induction of disease resistance. Recently, photo-physiological approaches using light-emitting diodes (LED)-based light sources have become more attractive in plant physiological research and pathogen biocontrol technology. The optimum quality and intensity of light for plant growth and development is species-specific and particularly important for plant cultivation in greenhouse and phytotron environments. However, the use of LEDs for light-induced resistance in plants is one of promising approach in disease management and the mechanism of light-induced resistance to phytopathogenic fungi is still unknown in tomato and lettuce plants.

Thus, in this study, we evaluated the effect of Light-Emitting Diode (LED) lights on the growth promotion and control of gray mold by *Botrytis cinerea* in tomato and lettuce plants. Moreover, plant defense responses to oxidative stress generated during pathogenesis were investigated by measuring proline, total polyphenolic compounds, 1,1 -diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity as well as antioxidant enzyme activities such as superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX), and glutathione reductase (GR). In addition, to clarify the potential of LED light sources for the control of plant pathogens of greenhouse crop, we determined the light-resistance effects of tomato and lettuce leaves in response to infections of gray mold and powdery mildew diseases in a greenhouse condition.

In LED chamber system condition, growth and development of *Botrytis cinerea* was significantly suppressed by blue LED light treatment. Light quality effects on growth and changes of antioxidant properties as well as biocontrol of gray mold by *B. cinerea* were studied in tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. 'Toy' and 'Miracle') and Lettuces (*Lactuca sativa* L. cv. 'Cheong Chi Ma' and 'Asia Yeoreum Jeok Chi Ma'). The broad-spectrum-white LED (BSWL, control), blue, blue+red (red light supplemented with 10% blue light), red, and green light-emitting diodes (LEDs) were used as lighting sources. Growth promotion of blue or blue+red LED light-treated tomato and lettuce plants was related to high leaf area, shoot and root biomass and increase in chlorophyll content at the whole plant level. The high level of antifungal activity under the blue or blue+red light treatments can be resulted from reactive oxygen species (ROS) production and also the change of cell morphology. In particular, The lettuces grown under the blue LED light had the darkest green leaves and the highest antioxidant activities. In addition, the control efficacy of gray mold by *Botrytis cinerea* in tomato and lettuce plants is closely associated with increase of antioxidant capacity as well as the development of compact morphology by blue or blue+red LED light treatments. Lastly, in greenhouse environment, the potential of LED light sources for the control of plant pathogens such as gray mold and powdery mildew also showed the highest control effects under the blue or blue+red LED light conditions.

4. Field test of LED equipment for agricultural insect pests control in the greenhouse

The attraction effects of light emitting diode (LED) trap to *Spodoptera exigua* adults were evaluated in greenhouse and compared with those of no light trap and black-light trap, which is typically used in commercial trap. 7 days later, white LED trap (83.0 ± 0.7) was 2.4 times more attractive than black-light trap (34.0 ± 2.6), whereas the no light trap was little attractive to *S. exigua*.

The attraction effects of LED insect attraction trap to *Bemisia tabaci* adults were evaluated in greenhouse and compared with those of no light trap. 7 days later, yellow LED trap (393.5 ± 1.5) and white LED trap (337.0 ± 1.0) were 2.5 and 2.1 times more attractive than no light trap (155.0 ± 1.5). These results suggest that white LED traps could be used for environmental insect control.

목 차

제 1 장 서 론	12
1절 연구개발 목적	12
2절 연구개발 필요성	12
3절 연구개발 범위	16
제 2 장 국내외 기술개발 현황	18
1절 국내 기술 현황	18
2절 국외 기술 현황	18
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	20
1절 시설지내 병해충 방제용 LED장치개발	20
2절 LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	62
3절 LED를 이용한 시설지내 식물병원균 방제기술 개발	97
4절 농업해충 방제용 LED 장치의 농가실증실험	127
제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도	141
1절 목표대비 대외 달성도	141
2절 정량적 성과	143
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	147
제 6 장 중요 변동사항	150
제 7 장 참고문헌	151
<참고 1>연차평가 지적사항 및 조치결과	152
<참고 2>주요연구 성과요약	153

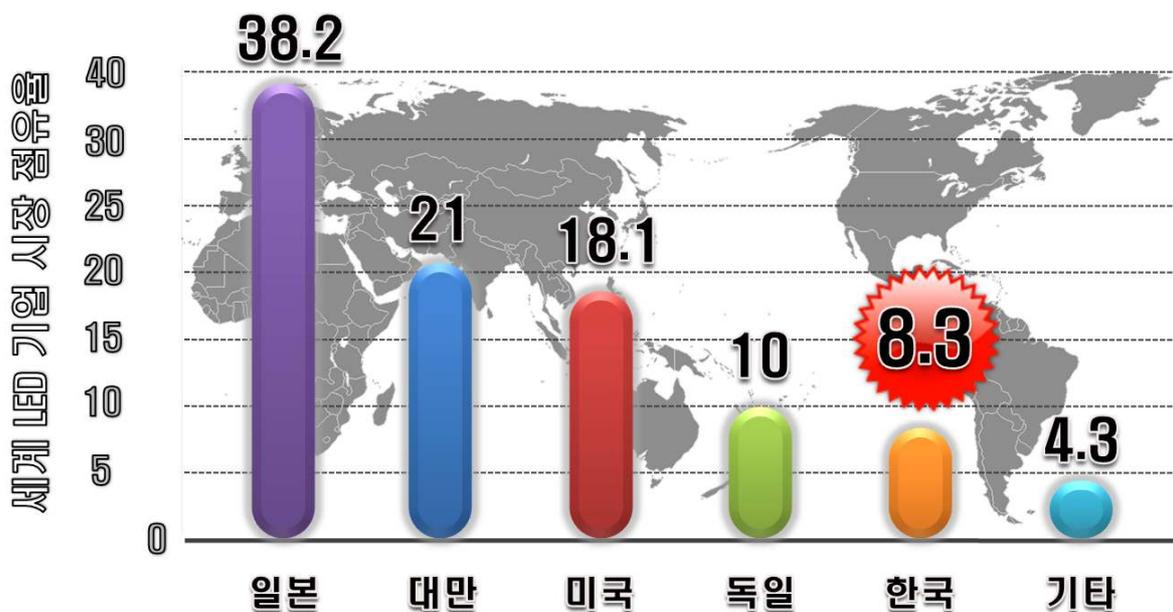
제1장 서론

제1절 연구개발 목적

본 연구는 병해충 제어에 효과적인 LED의 과장을 조사하고, 각 LED 단일과장과 혼합과장을 기존 인공광원과 비교하여 광 반응성을 평가하고, 이를 토대로 하여 LED가 농업해충 제어(기피/유인) 및 식물병원균에 미치는 영향을 조사하여 신기능성 병해충 제어광원으로서의 이용가능성 검토 및 시설재배에 응용할 수 있는 가능성 제시를 목적으로 한다.

제2절 연구개발 필요성

21세기 초 고유가 현상과 기후변화협약의 온실가스 감축의무가 현실화되면서 에너지 자원의 효율적 이용과 절약이 지속가능한 경제성장을 결정짓는 주요한 변수가 되고 있다. 따라서 LED, 태양광 및 풍력 등을 활용한 새로운 미래성장동력 녹색산업에 대한 투자가 크게 확대되고 있다. 2008년 정부는 주요정책 안건으로 저탄소 녹색성장을 제시하였으며, 이산화탄소 감축과 에너지 대책을 국가적 목표로 발표함에 따라 다양한 분야에서 LED를 이용한 각종 연구들이 활발히 진행 중에 있다. 국내 LED의 시장은 2010년에 3조 7500억원, 2015년에는 15조 7000억 원 가량의 시장규모를 형성할 것으로 전망되며, 세계기준으로는 2012년 12%, 2015년에는 15.3%로 꾸준히 성장할 것으로 전망된다.



< 세계 주요 LED 기업 시장 점유현황 >

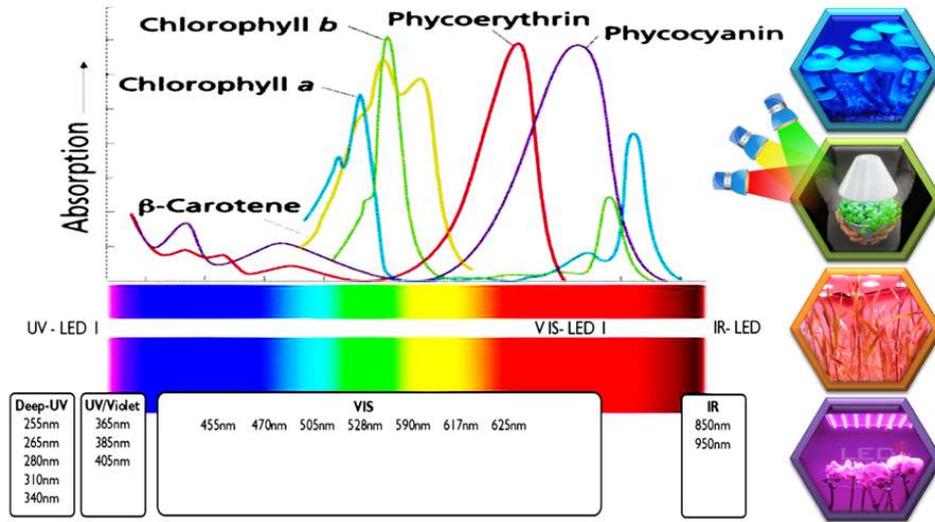
LED는 IT, 의료 및 농업 등에 복합적으로 적용 가능함으로 고부가가치성 융합기술로 그동안 시장 형성이 뚜렷하지 않았던 신규 응용분야 중에서 특히, 농수산업 분야는 2010년 약 100억 원, 2015년에는 1500억 원대의 시장을 형성할 것으로 전망된다. LED는 인공광원으로 사용되던 기존의 형광등, 메탈할라이드 및 고압나트륨 등을 대체할 새로운 차세대 광원으로써 저전력/장수명/경제성뿐만 아니라, 농업분야에서도 식물성장속도 조절/친환경적 병충해 방지/친환경농업의 구현 등 다양한 장점을 보유하고 있어서 고품격 친환경 농산물을 생산하기 위해 많은 연구들이 진행되고 있다. 현재 식물 재배용 광원으로 형광등, 메탈등, 수은등 및 백열등이 주로 사용되고 있으나, 이러한 광원들은 식물의 생장 및 광 형태 형성에 불필요한 파장대를 포함하고 있기 때문에 광이용 효율(광강도)이 낮고, 일정 공간 내에서 광원이 차지하는 비율이 높아 생산효율성이 낮으며, 광선 중에 열선을 포함하고 있어서 공조 설비에 들어가는 비용이 많이 소요된다. 특히, 전력비용 증가와 빠른 수명으로 인해서 장시간 이용 시에 비용이 크게 증가 되고 있다. 반면에 고휘도화 및 저가격화 등에 따라 일반화되고 있는 LED는 새로운 식물재배용 인공광원으로서 주목을 받고 있다. 최근 고광도 청색광 LED의 개발이 이루어지면서 식물재배 광 조사시스템에서 그 응용범위가 급속도로 확장되고 있어서 향후 기술개발 여부에 따라 농·산업에 파급효과가 매우 클 것으로 기대되고 있다.

항목	형광등	할로겐백열등	LED	장점
소비전력(Watt)	100W	100W	20~30W	약70%절감
램프수명(hr)	3,000hr	1,000hr	100,000hr	약 30배이상
광도(Cd)	100	30	100	고광도
연색성(Ra)	65	75	80	자연빛과 가깝음
점등속도	약 1~2초	순간점등	순간점등	지연시간없음

< 인공광원에 따른 에너지 효율 비교 >

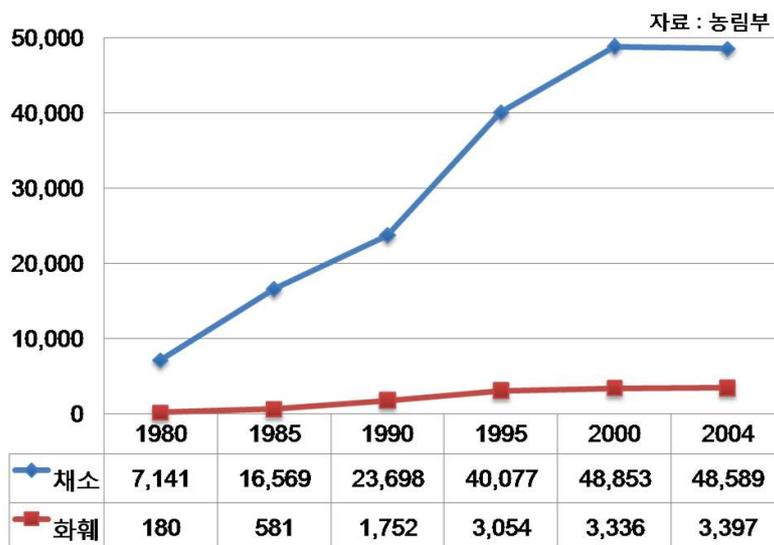
광과장에 대한 식물반응 원리는 식물의 광수용 색소가 적색광과 초적색광의 변화를 감지하게 되고, 광수용 색소는 세포내에서 불활성 형태로 존재하다가 적색광에 의해 활성형태로 전환되어 해 길이의 인식, 종자발아, 광합성산물의 체내 이동, 길이생장, 개화 및 색소발현 등 식물의 반응을 유도하게 된다. 이러한 반응을 통해 과실의 당도향상, 개화조절, 생육촉진 및 기능성 증진 등 농업적으로 유용한 작물특성도 이 광수용 색소의 발현유도로 조절이 가능하다. 이에 따라 LED를 이용한 식물반응 실험을 통해 식물 성장속도조절, 과실의 당도 향상, 개화조절, 기능성 증진 등 농업적으로 유용한

작물의 특성들을 식물의 광수용단백질인 파이토크롬 작용을 통해 조절할 수 있을 것으로 기대된다.



< LED 파장대별 식물내 생리활성물질 반응도 >

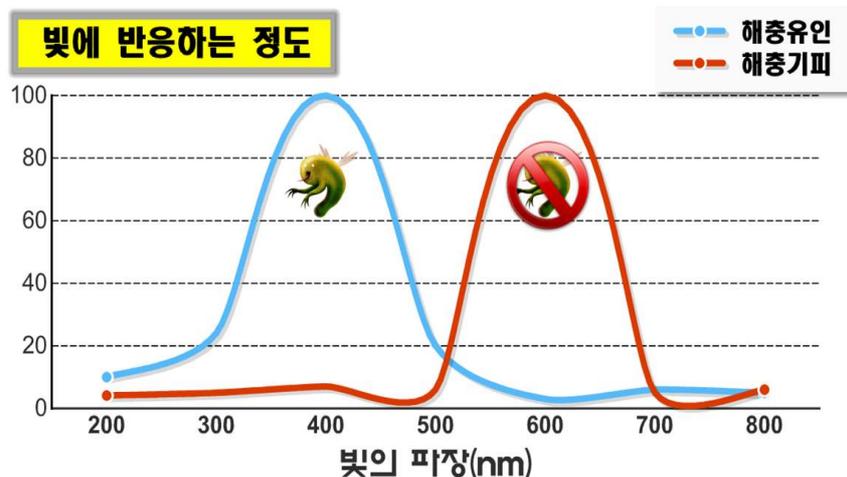
시설재배지의 과채류는 국민소득의 향상과 식생활 성향의 변화에 따라 소비량이 꾸준히 증가하고 소비형태도 계절소비에서 연중 소비로 변화함에 따라 시설재배지의 면적 및 생산량이 지속적으로 증가하고 있는 반면, 노지재배는 기후변화 및 재배환경 악화로 재배면적이 감소하는 경향을 보이고 있다.



< 시설재배지 채소 및 화훼 면적 변화 >

최근 시설재배지 증가로 인하여 시설지내 병해충 피해도 함께 증가하고 있으며, 특히

시설지내 특수성으로 인해 연중 병해충이 발생하고 그 주기 또한 매우 짧아서 재배작물의 생육과 경제성에 악영향을 미치기 때문에 이들을 보다 효과적으로 안전하게 제어하기 위한 제어법을 개발하여 이들의 개체군을 조절함으로써 작물 재배농민들에게 경제적인 안정감을 제공해야할 필요성이 대두되고 있다. 시설재배지에서 문제를 야기하는 병원균에는 녹병, 탄저병, 잿빛곰팡이병, 역병 및 균핵병 등이 대표적이며, 이들 병원균은 전염성이 강하고 기주식물이 다양하여 병 출현 시 많은 피해를 야기하고 있다. 지금까지 이들의 방제는 화학적인 방제가 주를 이루었지만, 이로 인한 약제저항성의 출현으로 방제가 어려울 뿐만 아니라 환경오염 문제를 야기함으로써 보다 안전하고 효율적인 제어법의 개발이 요구되고 있다. 또한 가루이류, 응애류, 나방류, 총채벌레류, 진딧물류, 뿌리혹선충류 등의 크기가 작고, 시설지내에서 일 년에 여러 세대를 경과하는 미소해충들의 피해가 늘어나고 있다. 특히 기주식물의 유통에 동반하여 시설지내 침입이 용이하기 때문에 이러한 위생 및 농업해충들을 방제하기 위해 주로 화학적 방제제들이 이용되고 있으나 잔류독성의 문제, 약제 재처리 문제, 약한 살비성 및 짧은 지연성 때문에 고농도로 약제를 처리함으로써 저항성 개체 발생 등이 일어나고 있다. 저항성 품종개발 역시 시간적·기술적·경제적 제약과 빠른 적응을 할 수 있는 개체의 발생으로 효율적이지 않으며 이를 극복할 수 있는 새로운 형태의 친환경적 바이오 기능성 신소재를 통한 새로운 제어법의 개발이 요구되고 있다. 보고에 의하면 빛에 대한 해충 반응성 실험에서 해충이 좋아하는 빛인 수은색 등의 낮은 파장을 이용하여 해충을 유인, 포집하는 방법이 제시된 반면, 해충이 싫어하는 580~620nm 대역의 LED 조명을 조사할 경우 해충이 줄어들어 작황이 증진되는 효과를 보여 LED를 이용한 해충방제에 대한 가능성을 제시하고 있다. 이밖에도 살균능력을 보유한 파장대의 UV-LED를 제작할 경우, 특히 UV-C 파장대역을 이용하면 박테리아나 바이러스를 죽이거나 무해하게 변화시켜 번식을 방지하는 것으로 보고되고 있다.



< LED 파장대별 해충의 기피 및 유인 반응성 >

현재 국내 LED 시장점유율은 반도체, 휴대전화기, 조명, 가전제품(냉장고, 노트북, 브라운관)등으로 적용처가 확대되어 산업기술 분야에서는 활발한 성장세를 보이고 있는 반면, 새로운 동력원으로 성장할 가능성이 높은 농업분야에서는 미래농업을 위한 LED 적용 기술개발 효과 규명이 시급한 실정이다. 또한 친환경농산물에 대한 사회적 욕구가 전 세계적으로 증가하고 있는 현실에서 깨끗하고 안전한 농산물을 지속적으로 생산하기 위해서는 저탄소 녹색기술이 적용된 새로운 형태의 해충방제 기술이 요구되고 있다.

제3절 연구개발 범위

1. 연구개발의 최종 목표

- 가. 농업해충 방제를 위한 LED 시제품 제작
- 나. 농업해충 방제를 위한 LED 자동화 시스템 개발
- 다. LED 광원을 이용한 농업해충 유인성 포획장치 개발
- 라. 식물병원균 방제를 위한 LED 시제품 제작
- 마. 식물병원균 방제를 위한 LED 자동화 시스템 개발

2. 연구개발 목표 및 내용

연구개발 목표	연구개발내용
□ 제1세부과제 : 시설지내 병해충 방제용 LED장치개발	
○ LED 단색/혼합광을 이용한 농업해충 및 식물병원균 제어를 위한 장치제작	- LED를 이용한 농업해충 및 식물병원균 실내 실험용 장치 개발 - LED를 이용한 농업해충 및 식물병원균 실험용 LED 모듈 제작
○ 농업해충 제어를 위한 LED 시제품 및 자동화 시스템 개발	- 시설지내 농업해충 제어를 위한 기피/유인장치 제작 - LED를 이용한 농업해충 및 식물병원균 제어용 자동화 장치 및 시제품 개발
□ 제1협동과제 : LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	
○ LED 단색광을 이용한 소규모 시설지내 농업해충 방제연구	- 농업해충 선발 및 사육 (과밤나방, 담배거세미나방, 담배가루이, 꽃노랑총채벌레)

	<ul style="list-style-type: none"> - 농업해충 제어를 위한 LED 생물검정법 (기피/유인) 확립 - LED 광원을 이용한 주광성 반응평가 - 소규모 시설지내 실증실험 - 기존광원과의 주광성 반응 비교
<p>□ 제2협동과제 : LED를 이용한 시설지내 식물병원균 방제기술 개발</p>	
<p>○ LED 단색/혼합광을 이용한 시설지내 식물병원균 방제연구 및 농가실증실험</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 식물병원균 2종 선발 (잿빛곰팡이병원균, 흰가루곰팡이병원균) - 기주식물 각 2종 선발 (토마토 2종, 상추 2종) - 선발된 식물병원균 제어에 효과적인 LED 단색/혼합광의 조사조건 선발 - LED 단색/혼합광 조사에 따른 기주식물의 반응성 평가 - LED 단색/혼합광 조사에 따른 기주식물에 대한 식물병원균 반응성 평가 - 시설 재배지내 LED system의 식물병원균 방제 실증 실험
<p>□ 제3협동과제 : 농업해충 방제용 LED 장치의 농가실증실험</p>	
<p>○ 대규모 시설지내 LED 장치의 농업해충에 대한 농가실증실험 및 문제점 개선</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 대규모 시설지내 피해를 일으키는 농업해충 및 식물병원균 사육 및 분양 - 개발된 LED 기피/유인 장치의 대규모 시설재배지내 실증실험 - 개발된 LED 해충방제장치의 대규모 시설재배지내 실증실험

제2장 국내외 기술개발 현황

제1절 국내 기술 현황

현대 농업의 발전은 첨단기술이나 IT 등 과학과 데이터에 근거한 과학농업으로 발전하는 형태이다. 그 중 농가보급형 LED 광원처리장치가 개발되어 특정 작물을 대상으로 한 적용시험을 완료한 상태이다. 그러나 LED 융합기술을 활용한 친환경기술의 경우 아직은 기술개발이 초기단계로 현장 실증시범사업이 필요한 실정이다. 우리나라의 식물재배에 관한 LED 이용을 위한 연구는 2003년 시작하였으며, 잇들개에 LED 적색광을 처리하였을 때 생장, 개화 및 광합성이 가장 효과적이었으며 엽수, 옆면적 및 잎의 생체중과 건물 중에서도 가장 우수한 결과를 보여주고 있다. 또한 LED plant radiation system을 BOD incubator 내에 설치하여 상추 종자 발아를 조사한 결과, 백색광과 적색광(660nm)에서는 85% 이상의 발아율을 보였으나 청색광에서는 발아세가 저하되었고, 초적색광(730nm)에서는 거의 모든 품종이 발아 되지 않아 광에 의한 발아 억제효과가 인정되고 있다. 2008년도에 전남 연구소에서 페로몬 유사물질과 단파장 LED를 혼합한 해충 방제용 친환경 해충유인시스템을 개발하였다. 최근 10년간 농·수산 분야에서의 LED 광원을 이용한 특허출원을 기술 분류별로 살펴보면, 낚시 어업기술과 관련한 특허출원이 273건, 화훼·채소 재배기술이 62건, 유해곤충을 포획하기 위한 장치 관련 기술이 60건 출원되어 있다. 따라서 기존의 시설재배 하우스 단지에 광 효율이 우수한 LED 융합기술을 적용함으로써 농작물의 연중재배가 가능해지고, 식물체내 물질대사에 변화를 초래하여 기능성을 보다 증강시키고, 재배면적당 생산량을 향상시키는데 크게 기여할 것으로 사료된다.

제2절 국외 기술 현황

1960년대 미국의 NASA에서 최초로 우주공간에서 식물을 재배할 목적으로 발명된 LED를 시작으로 현재 대량 생산에 의한 가격하락과 함께 다양한 분야로 활용이 전개되고 있다. 일본에서는 1980년대부터 시작된 식물공장이 1990년대에는 LED 응용으로 사시사철 무(無)농약 고품질 작물을 소비자에게 공급하고 있다. 또한 고품질 작물 모종을 생산자에게 안정적으로 공급하며 공업 재료용 식물, 수목 종묘의 대량생산, 약용식물, 의료용 식물 원료 등으로 대량 생산되고 있다. 최근 일본에서는 LED가 엽채류의 Vitamin C 증가에 유효하다는 연구가 보고되었으며, 냉장고의 냉장실에도 LED가 효과

적인 것으로 알려졌다. 또한, 각종 형광램프에 대한 해충방제를 비교한 연구가 발표되었으며, 이는 고압나트륨 등 조명을 이용했을 때 해충의 과실 흡즙, 산란, 교미 등을 억제하는 효과가 있고, 대부분 노지 재배된 과채류보다 시설 재배된 과채류에 행하여지는 농약살포횟수가 많기 때문에 LED 조명을 이용하여 해충을 쫓아내는 기술을 사용했을 때 먹이사슬을 끊지 않고도 활용 될 수 있어서 이 기술은 상업적 활용가치가 높다. 미국 농업연구청 소속 곤충학자 Jackie Blackmer와 미국 Arid-Land Agricultural Research Center의 John Byers 및 Rutgers 대학 Cesar Rodriguez-Saona 연구팀에 의하면 농업용 녹색 발광다이오드(LED)는 화학 살충제를 대신하여 해충들을 유인하거나 쫓아내어 작물의 생산성과 상품성을 높이는 동시에 고효율 재배를 가능하게 할 수 있다고 보고하였다. 또한 목화 재배에 있어 화학 살충체를 대체할 LED관련 연구를 지속적으로 진행한 결과 단독 LED를 사용하면 일부 암컷 해충들만 유인하는 반면, 천연 합성물과 LED를 병용한 경우 모든 숙성 단계에 있어 암컷과 수컷 모두가 유인되는 결과를 나타내었다. 최근 LED 해충방제 연구에 의하면 해충이 좋아하는 빛은 수은색 등의 낮은 파장이었으며, 싫어하는 빛은 580~620nm 대역의 파장으로 이를 이용하여 해충을 유인하여 포집하는 방법과 쫓아내는 방법으로 화학 농약을 사용하지 않은 또 다른 해충조절 및 제어 방법을 제시하고 있다. 따라서 LED를 통해 작물 성장속도를 증진시켜 고효율 재배를 실시하여 고품질의 상품을 생산 할 수 있음은 물론 식물체내 유용물질(기능성물질) 함량을 증가시킬 수 있다면, 이는 농산물의 품질 향상에도 크게 기여 할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 화학 합성물을 작물에 사용하지 않고도 해충을 제어함으로써 현대사회에서 지향하는 친환경농업을 실천할 수 있다.

제3장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 시설지내 병해충 방제용 LED장치개발

1. 연구수행 내용

가. LED 단색광 및 혼합광을 이용한 농업해충제어를 위한 장치 제작

1) LED 단색광 회로설계 및 기구설계

○ 본 연구는 빛을 이용한 시설재배해충의 친환경적 방제를 목적으로 하고 실험 목적에 부합된 실험장비 (LED 광원, 실험용 chamber)를 전북대학교 생물검정팀과 논의를 거쳐 설계하였으며, 실험을 진행하는 동안 발생한 문제점에 대한 수정 및 보완 작업을 지속적으로 실시하였다.

2) LED 혼합광 회로설계 및 기구설계

○ 단색광 연구 결과를 참고하여 혼합광을 이용한 시설재배해충의 친환경적 방제를 목적으로 하고 실험 목적에 부합된 실험장비 (LED 광원, 혼합광 실험용 chamber)를 설계하였으며, 실험을 진행하는 동안 발생한 문제점에 대한 수정 및 보완 작업을 지속적으로 실시하였다.

○ 총 5차례 수정작업을 거쳐 완성된 5개의 실험용 chamber를 제작하였으며 농업해충 기피/유인을 LED 혼합광 발생부와 몸체를 개발하였고 chamber에서 곤충 투입구의 경우 곤충을 실험용 chamber내로 투입한 후에 포충통을 빼낼 때 곤충이 쉽게 빠져나가는 문제를 해결하기 위해 곤충투입구의 위치를 이동하였고, 혼합광원부는 한쪽만이 열리는 구조로서 혼합광원을 교체하거나 광원에 문제가 발생하였을 경우 수리하는데 불편한 점을 개선하기 위해 광원을 탈부착식으로 개발하였다.

나. 농업해충 방제를 위한 LED 단색광 및 혼합광 모듈 및 몸체 제작

최저 0에서 최대 1W 전류 (1W LED의 경우 0.35 A)까지 조절이 가능한 회로를 개발하기 위해 정전류 회로와 정전류 제어용 Micro CPU로 제작하였으며, 이를 구동하기 위한 부가회로를 추가 개발하였다.

다. 농업해충 방제를 위한 LED 단색광 파장별, 광량별, 시간별 제어장치구축

전류의 조절이 가능한 회로를 바탕으로 전류변경에 따른 광량의 출력 값을 설정할 수 있는 controller를 개발하였고 5종류 LED의 동시 조절(시간 및 밝기)이 가능하도록 개발하였다.

라. 선발된 LED 광원을 보호, 확산 및 방수형 기피/유인장치 제작

혼합광 전류의 조절이 가능한 회로를 바탕으로 전류변경에 따른 광량의 출력 값을 설정할 수 있는 controller를 개발하였고 혼합용 LED를 동시에 조절(시간 및 밝기)할 수 있는 개발시설지내 4곳을 선정, 설치하여 해충을 유인토록 제작 설치하였다.

마. LED 혼합광을 이용한 농업해충 및 식물병원균 제어를 위한 자동화 장치 및 시제품 개발

1) 개발된 LED 단색광 몸체를 이용한 소규모 시설지내 장치구축

○ 실험용 chamber의 경우 협동 개발 (전북대, 농과원)팀과 협의하여 디자인한 도안을 바탕으로 제작하였으며, 실사용 후 발생하는 문제점이나 실험자의 편의 도모를 위해서 총 10차례 수정작업을 거쳐 완성된 4개의 실험용 chamber를 제작하였다. 농업해충 방제를 위한 LED 단색광 발생부와 몸체를 개발하였고 chamber에서 곤충투입구의 경우 곤충을 실험용 chamber내로 투입한 후에 포충통을 빼낼 때 곤충이 쉽게 빠져나가는 문제를 해결하기 위해 곤충투입구의 위치를 이동하였고 광원부는 한쪽만이 열리는 구조로서 파장별 광원을 교체하거나 광원에 문제가 발생하였을 경우 수리하는데 불편한 점을 개선하기 위해 광원을 탈부착식으로 개발하였다.

2) LED 혼합광을 이용한 농업해충 및 식물병원균 제어를 위한 자동화 장치 및 시제품 개발

○ 단색광 회로, 기구 설계 → 실험용chamber → 단색광, 혼합광 모듈제작 → 광원보호 및 확산 장치 → 소규모 규모 시설지 내 장치를 걸쳐 혼합광을 이용한 농업해충 및 식물 병원균 제어를 위한 자동화 장치 및 시제품을 개발하였다.

2. 연구수행 결과

가. LED 단색광/혼합광을 이용한 농업해충제어를 위한 장치 제작

1) LED 단색광 회로설계 및 기구설계

가) 회로설계

최저 0에서 최대 1W 전류 (1W LED의 경우 0.35 A)까지 조절이 가능한 회로를 개발하기 위해 정전류 회로와 정전류 제어용 Micro cpu로 제작하였으며, 이를 구동하기 위한 부가회로를 추가하였다.

① 전류전압모니터

LED광에 흐르는 전류와 전압을 모니터 하기 위한 회로로서 광에 필요한 소비 전력을 체크 하여 전체적인 소비전기량을 측정할 수 있다 (그림 1).

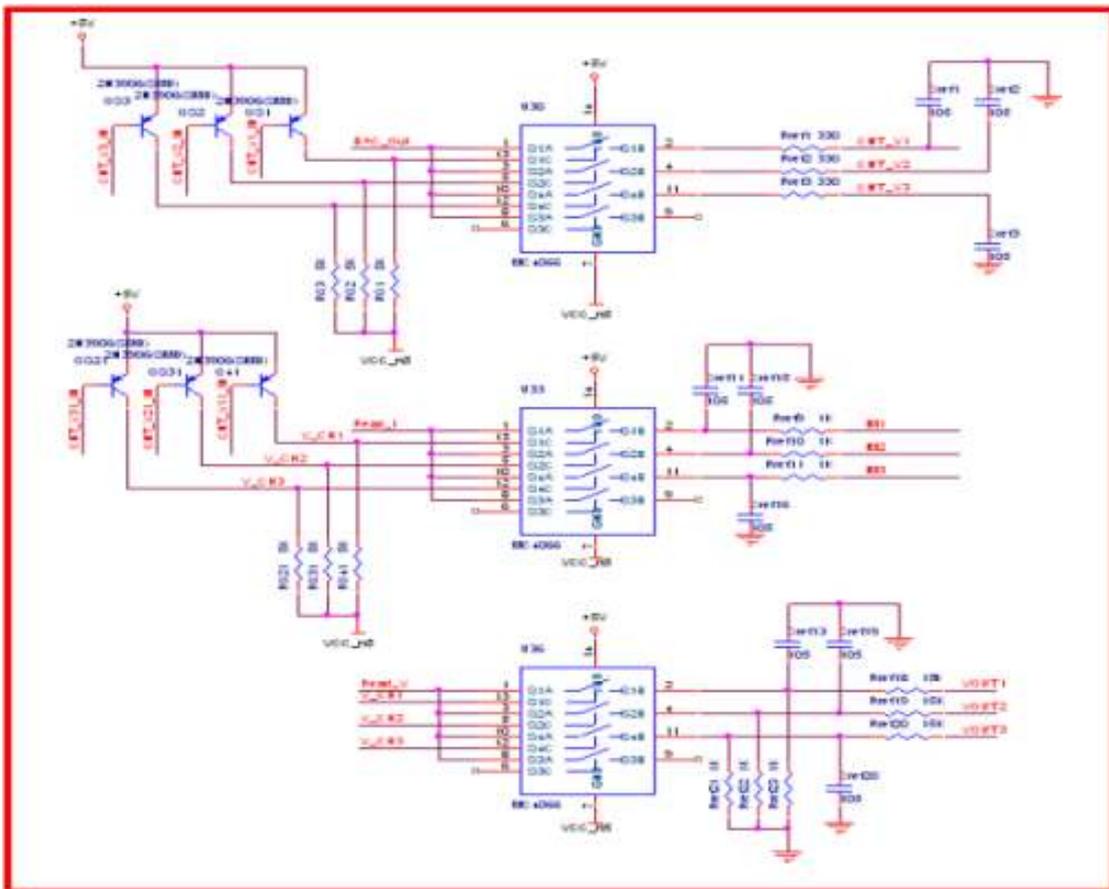


그림 1. 전류전압모니터

② 전원 및 제어부

LED의 전력을 설정하고 원하는 전력이 되도록 전압을 조절하여 항상 원하는 전력이 소비되도록 컨트롤함으로써 LED의 소비전력은 항상 일정하게 유지되고 전체적인 시스템을 관리 하였다 (그림 2).

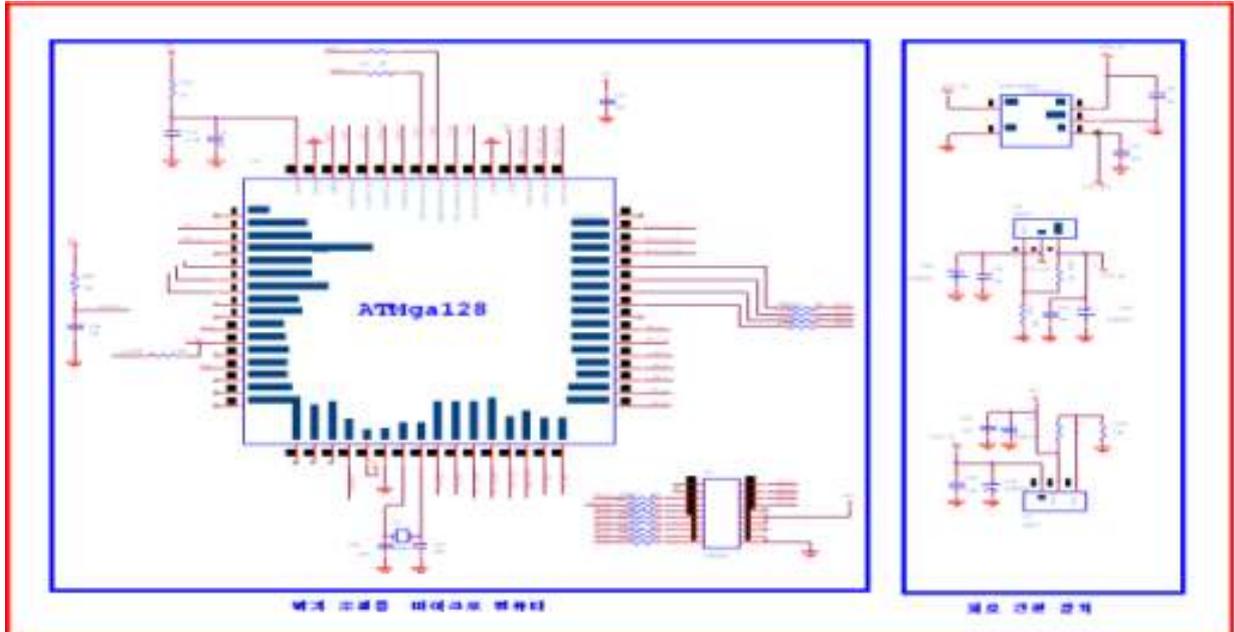


그림 2. 전원 및 제어부

③ 전류제어부

LED광은 원하는 정전류가 흐르므로 마이크로컨트롤러에서 설정한 전류는 전압 형태로 출력되는데 이 전압에 해당하는 전류가 흐르도록 하였다 (그림 3).

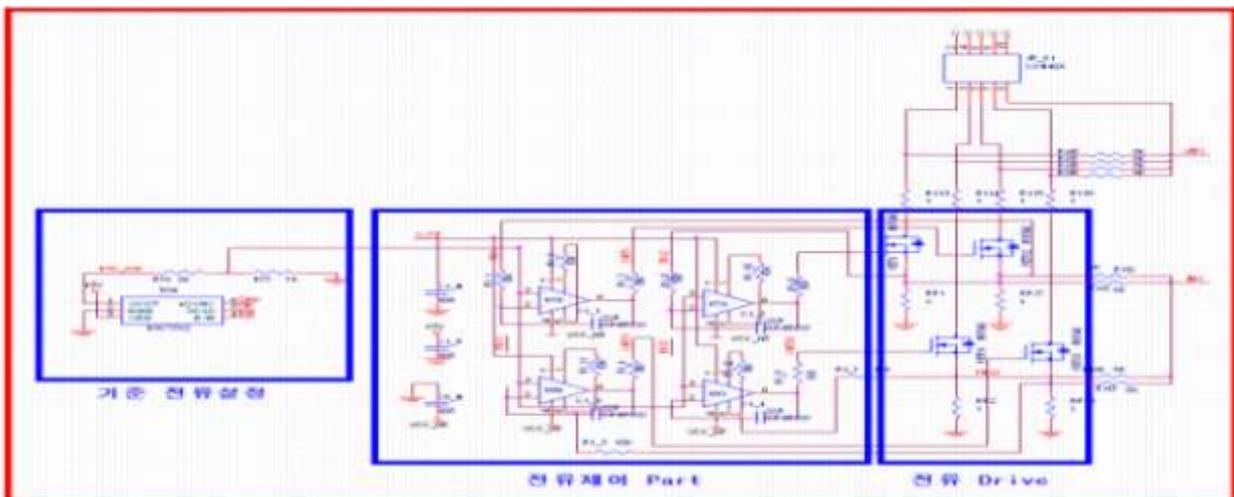


그림 3. 전류제어부

④ LED 모듈 및 LED Voltage

마이크로 컨트롤러에서 설정한 전류를 LED빛으로 변경하고 LED개당 전압이 2~2.7V정도 발생하는데 동일 전류를 흘리려면 직렬연결이 필요하게 된다. 이론적으로는 40개의 직렬연결도 가능하지만 전압 공급이 최대 2.7V x 4으로 110 V에 가깝게 되어 감전의 위험이 있어 이를 4개로 분산해서 처리 하였다 (그림 4).

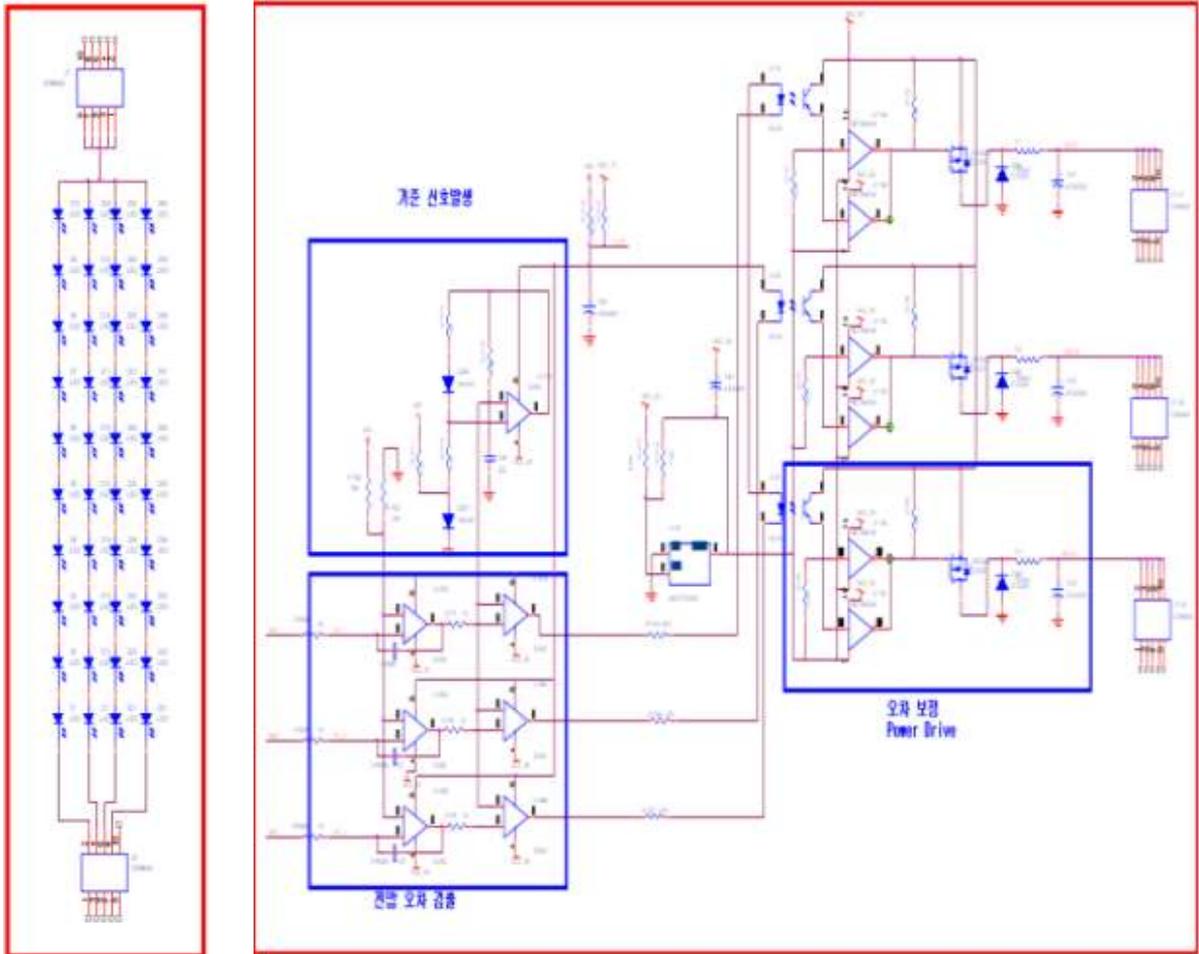


그림 4. LED 모듈 및 LED Voltage]

2) 혼합광 회로설계 및 기구설계

가) 회로설계

단색광 회로설계로 기초적인 연구 결과를 얻은 결과로 혼합광 이용하기 위해 최저 0에서 최대 1W 전류(1W LED의 경우 0.35 A)까지 조절이 가능한 회로를 개발하여 정전류회로와 정전류제어용 Micro cpu로 제작하였으며, 이를 구동하기 위한 부가회로를 추가하였다.

① 전원

전원장치는 단파장에서 사용했던 소모전력이 적고 효율이 높은 S.M.P.S방식을 채택하여 제작하였다. 20~수백 kHz 정주파수의 컨버터 작동은 소자의 집적된 1.5A 주스위치의 사용률에 변화를 줌으로써 V_{out}/V_{in} 의 큰 단계 비율을 제공한다.

싸이클이 시작되는 PMW controller 위치 작동은 인덕터 코일에서 전류를 일으킨다. 스위치 사용률을 알아내기 위해 PWM 콤퍼레이터에 사용되었고, 스위치가 끄라는 명령을 받게 되었을 때 다이오드는 피크 인덕터 전류의 재순환 패스를 허용하지만 부하 전류는 콘덴서에서 제공되었으며, 다음 사이클의 초기에서는 스위치가 되돌려 보내지며 프로세스가 내부 클록 주파수에서 반복되었다.

개방형 부하 조건에서 빛 또는 부하 조건 없이 내부 펄스 스킵 모드 때문에 통제 상태를 유지하게 된다. 정전류 회로의 효율성 평가로 사용될 수 있는 것은 출력 캐패시터인데 82% 이상의 중요한 부품이다. 벡 컨버터에서의 인풋 전류는 중단되거나 펄스되어 이 부품으로 흘러 들어가는 중요한 rms 전류를 일으키는 부하 조건에 영향을 주므로 캐패시터는 낮은 ESR에 선택되어야 하므로 패러스틱 ESR에 걸쳐 펄스된 전류는 인풋 전력 라인피드에서 리플 전압을 일으키게 된다. 전력 라인 테스트 전도 방출 등의 테스트 조건들은 Diode와 Diode사이에서 시리즈로 연결된 추가 인덕터/초크의 사용을 필요로 하게 되었다. 출력 전압은 5V로 프로그래밍 되어 있고 접지된 핀의 내부 1.270 Vref. A 0.1 μ F 세라믹 캐패시터는 보상을 단순화하였다.

이미 5V로 조절된 출력 전압은 LED 양극판에 정전류를 제공하였다. Op-Amp의 변환되지 않는 입력은 Resistor를 통해서 레퍼런스 전압을 아래로 나눔으로써 약 1V만으로도 충분하다. 변환 인풋은 5V의 서플라이에서 실행되는 정전류 싱크를 설정하기 위해 Resistor전체에 걸쳐 1V의 레퍼런스를 유지하였다 (그림 5).

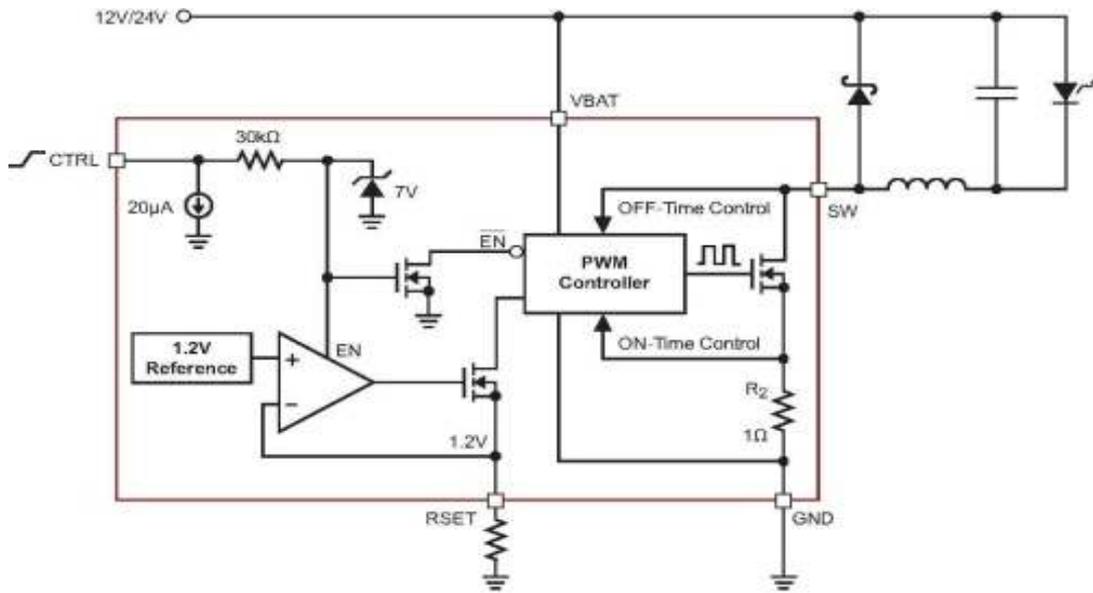


그림 5. 전력 트랜지스터 단계 요소를 지닌 싱글 LED 정전류 S.M.P.S

출력에 필요한 전류를 설정하기 위한 전압을 발생시키고 연산증폭기는 이 전압(D/A)을 입력 받아 전류 증폭기로 보낸다(그림 6).

전류 증폭기는 연산증폭기에서 발생된 전압을 받아 LED에 전류를 흘리며 전류(LED)는 저항 R1을 통해 흐르고, 이때 R1 양단에는 $V_{R1} = I_{LED} \times R1$ 식에 의해 전류가 전압으로 환산하였다. 연산 증폭기는 $V_{D/A} = V_{R1}$ 의 동작이 되도록 설계 되어 있고 V_{R1} 은 I_{LED} 에 의해 발생 되므로 $V_{D/A} = I_{LED} \times R1$ 이 되고 R1이 일정한 값을 가진다면 I_{LED} 는 $V_{D/A}$ 에 의해 결정되는 결과를 얻었다.

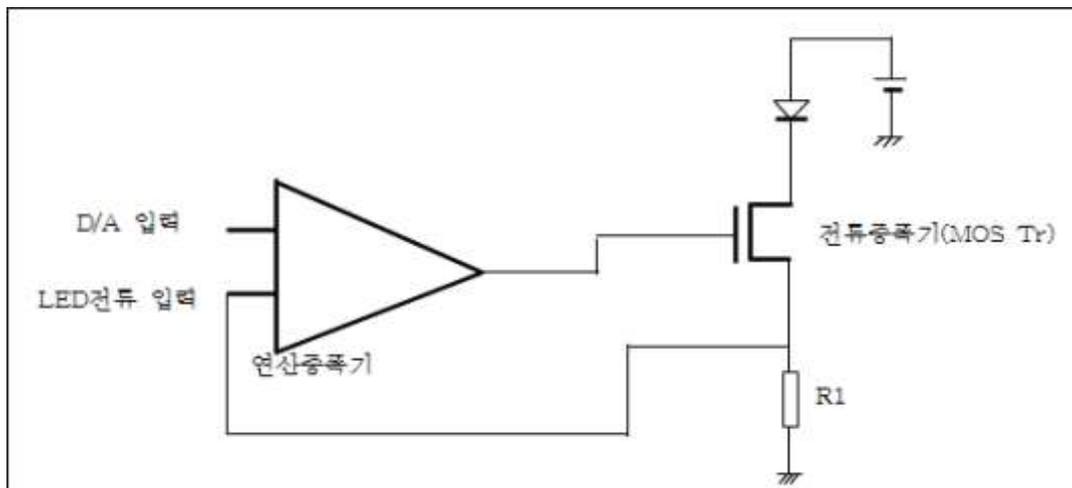


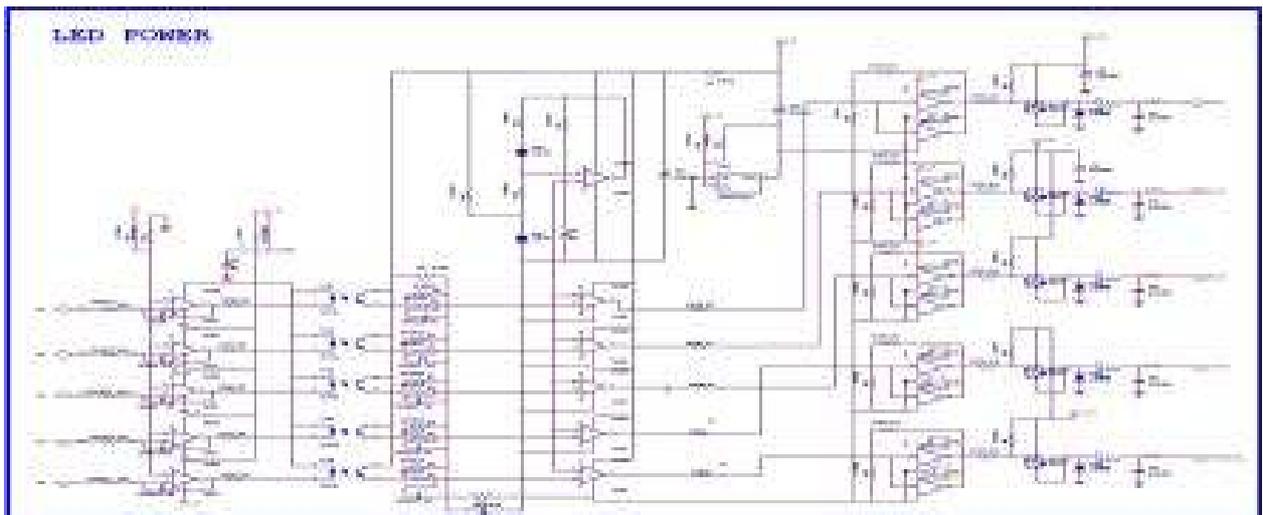
그림 6. 동작 개념도

② LED POWER

LED 특성은 양단 전압은 1.7~2.7 V로 색상 및 제조사별 전압 차이가 있어 LED에 전류가 흐르는 경우 각각의 LED마다 전압이 발생하고 각 Color별로 10개씩 제어되게 되어 있으므로 LED에 발생하는 총 전압은 17~27 V가 발생한다. 전체 전원을 사용하는 경우 $V_{power} = V_{led} + V_{ctl_tr}$ 의 조건이므로 LED 전압이 17 V인 경우 36 V (V_{power}) = 17 (VLED) + V_{ctl_tr} 이 된다. 이 경우 $V_{ctl_tr} = 36 - 17 = 19$ V가 되고 V_{ctl_tr} 의 소비전류 $W_{ctl_tr} = I_{ctl_tr} \times V_{ctl_tr}$ 가 되므로 $19 \times I_{LED}$ 가 되고 100 mA의 전류가 흐르는 경우 1.9 W의 소비전류가 발생해 상당한 열을 발생해서 회로가 파괴될 위험성이 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 도면 1과 같이 회로를 설계하여 LED양단의 전압을 흐르는 전류에서 발생하는 LED전압보다 약간 큰 전압 (회로 동작 시 필요한 최소 전압)을 넣어 줌으로써 회로가 파괴되거나 발열 하는 문제를 최소화 하였다. 그렇다면 전원 공급 회로에서 대신 열이 발생 하진 않을까 하는 의문이 생기겠지만 Switching 을 이용해서 전압을 발생시키므로 발열 문제에서 벗어 날 수 있다.

전압은 $V_{led_power} = V_{power}(36V) \times Pwm \text{ Duty}(\%)$ 이며 스위칭의 경우 ON/OFF만 존재 하므로 전류가 많이 흘러도 $W = I(\text{회로전류}) \times 0(\text{ON시 전압}) = 0$, 또는 $W = V_{off}(\text{상기에서는 } 19V \text{로 설명}) \times 0(\text{회로 전류}) = 0$ 이므로 소비 전력이 없어 열이 발생 하지 않는다.

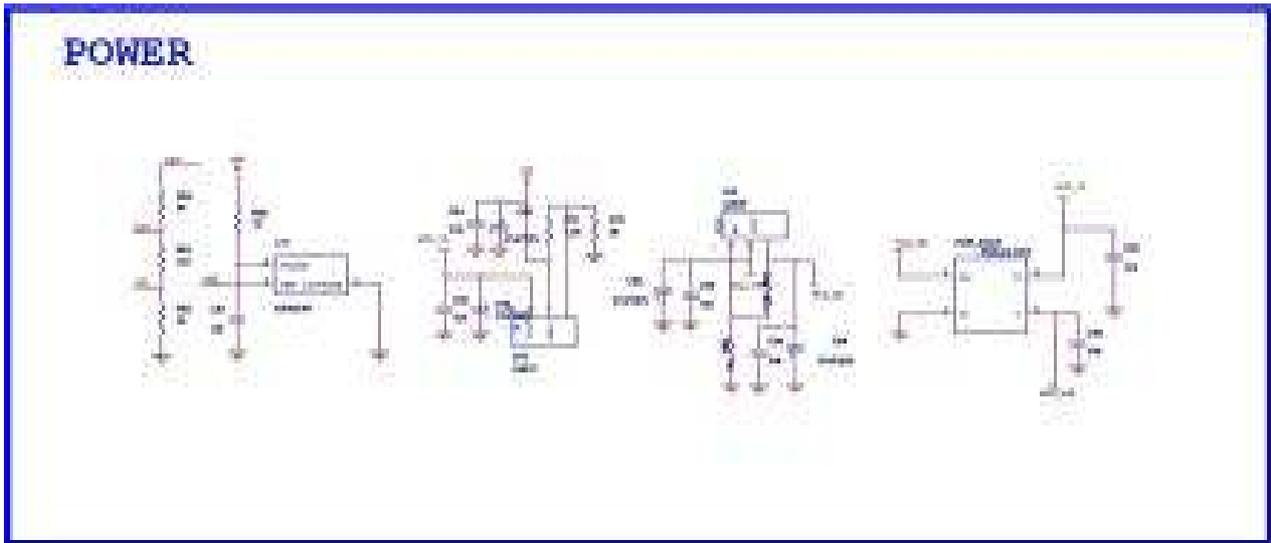


도면 1.

LED Power 및 LED 전류 Control을 하기 위해 CPU, DA, Switch...의 회로가

필요하고 이들의 전원을 공급 하기위하여 도면 2와 같이 회로를 설계 하였다.

36V 전원전압에서 5V로 바로 전압을 낮추는 경우 약 29V의 전압 차이가 발생 하게 되고 이는 LED Power와 같은 발열 문제를 야기 시키게 되므로 DC-DC를 사용하여 발열 문제를 해결하고, 회로에는 양 전원이 필요하므로 양 전원(+, -)가 나오는 DC-DC를 사용하였다.

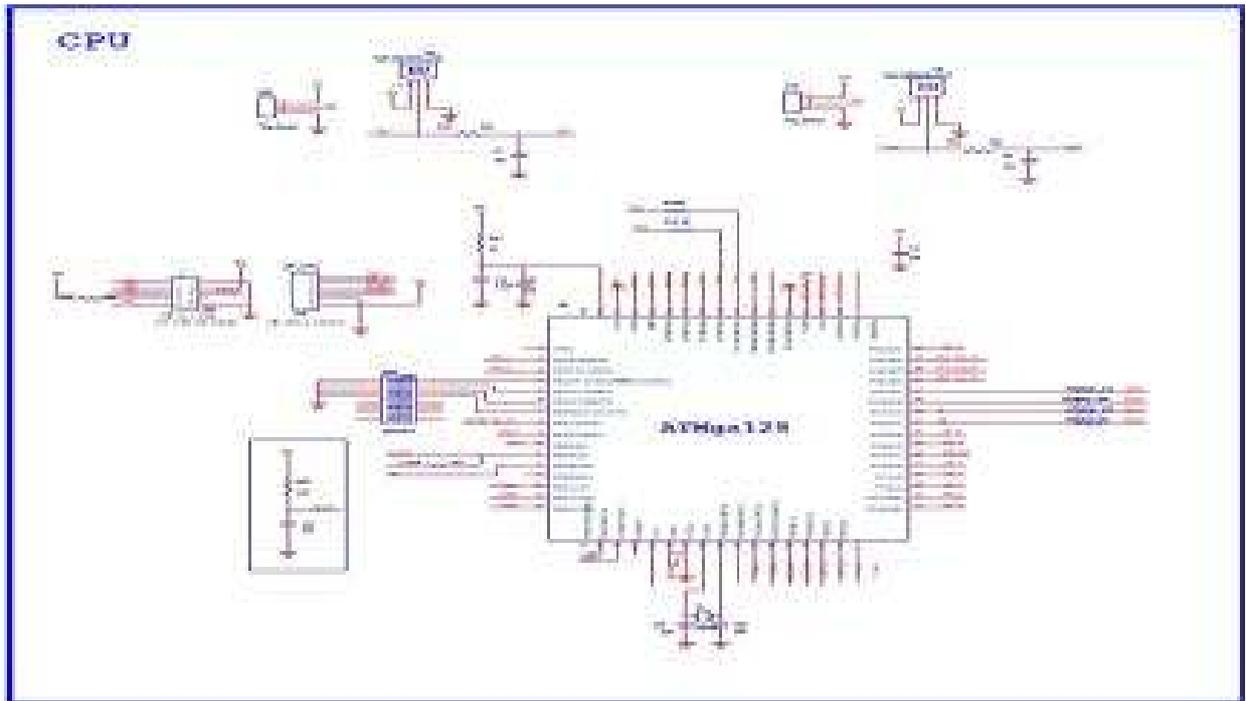


도면 2.

④ CPU부

도면 3은 시스템 내부에 있는 프로세서 (CPU)는 다양한 센서들로부터 출력되는 전기 신호들을 그대로 받아들여 사용할 수가 없으므로 센서에서 출력되는 정보들은 전기적인 아날로그 (Analog) 신호들이나 프로세서 (CPU)는 디지털 (Digital) 신호들을 제어하기 때문에 센서로부터의 신호들을 제어하려면 아날로그 전기 신호를 디지털 전기 신호로 변환과정이 필요하였다.

ADC (Analog to Digital Converter)는 연속적인 값을 표현하는 아날로그 형태로 구성된 신호를 입력 받아서 이산적인 (binary) 양의 값을 표현하는 디지털 형태의 신호로 환해주는 장치로서 프로세서가 센서를 제어하기 위해선 반드시 필요하다.



도면 3.

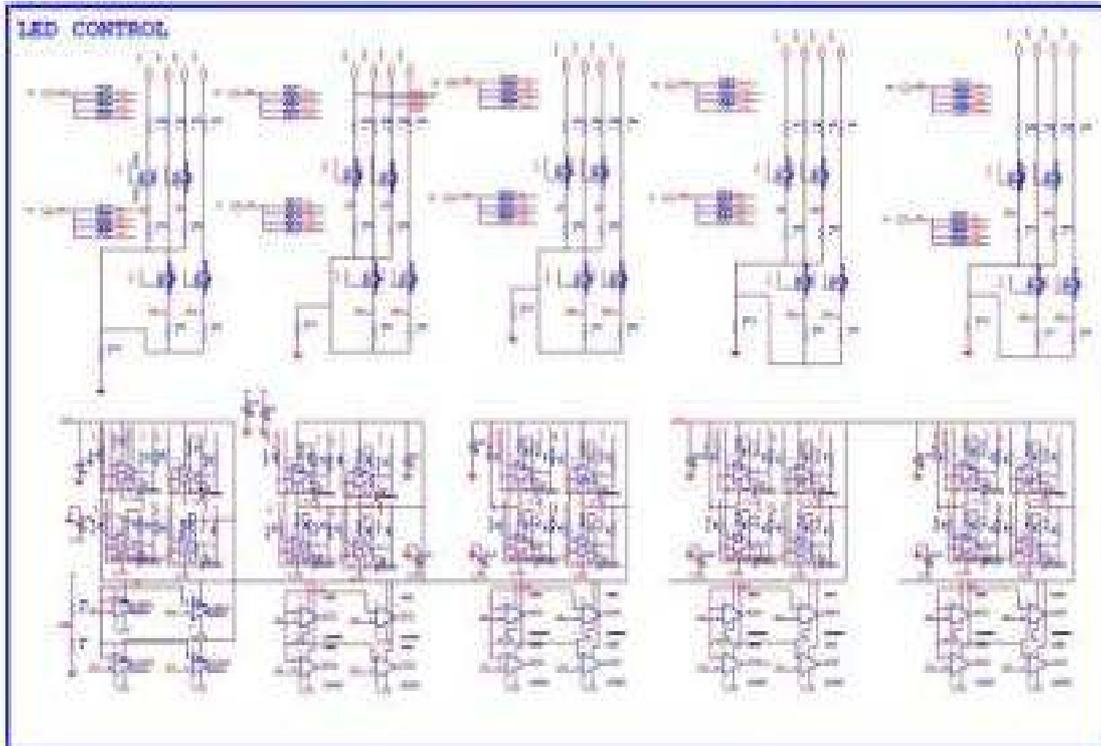
입력으로 들어오는 전압을 얼마나 잘게 쪼갤 수 있는가에 대한 분해능은 10bit이므로 210, 즉 입력된 전압을 1024 단계로 쪼갤 수 있음을 의미하고 1개의 ADC를 멀티플렉서를 사용하여 마치 8개의 ADC가 있는 것처럼 사용할 수 있도록 하였다. 7개의 아날로그 입력 채널이 공통 음극성 채널 ADC1을 공유하며, 나머지 입력채널은 양극성 입력단자로 사용하였다. Key와 LCD를 통해 입력받은 Data를 D/A변환기를 통해 출력하고 이 출력에 의해 나타나는 전압 전류를 측정해 소비전력을 계산하고 사용자 설정 값에 도달 하는지 여부를 판단하고 일치 되도록 연속적으로 제어 하고 표시해주었다.

- LED CONTROL

설정된 밝기를 발생시키기 위해 LED 소비전력을 일정하게 조절하여야 한다. CPU에서 전류를 흘리면서 LED양단의 전압을 Monitoring 하면서 $W = I_{LED} \times V_{LED}$ 의 수식을 적용해 원하는 전력을 항상 유지하여야 된다. 전류는 저항 양단의 전압을 측정하여 $I = V/R$ 수식을 이용하여 환산하며 측정된 LED양단 전압을 이용하여 계산이 된다.

도면 4는 LED에 흐르는 전류만 일정하면 될 것 같지만 반도체는 열이 발생되

면 양단 전압이 감소하는 특성을 가지고 있어 일정 전류만 공급해서는 언제나 동일한 소비 전력을 얻을 수 없으므로 control 회로를 설계하였다.

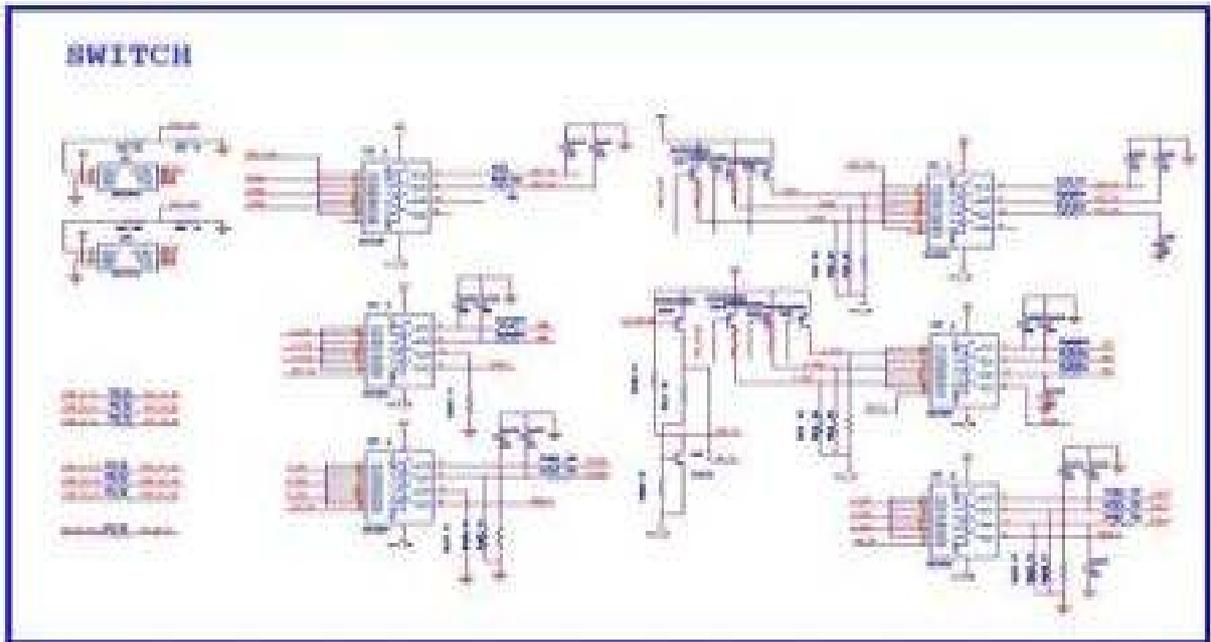


도면 4.

⑤ SWITCH

5 Color 혼합 광원을 사용하므로 각각의 Color별로 전압과 전류를 측정하고 전류를 Control하기 위해 전자 스위치가 필요하다.

그러므로 각각의 Color별로 전류를 설정하고 전압을 확인 하려면 CPU D/A Converter가 Color 수량만큼 필요하게 되므로 CPU D/A Converter를 최소화하기 위해 전자 스위치 (도면1-5)를 이용하여 빠른 속도로 각각의 LED를 제어함으로써 여러 개의 CPU를 사용하는 효과를 낸다.



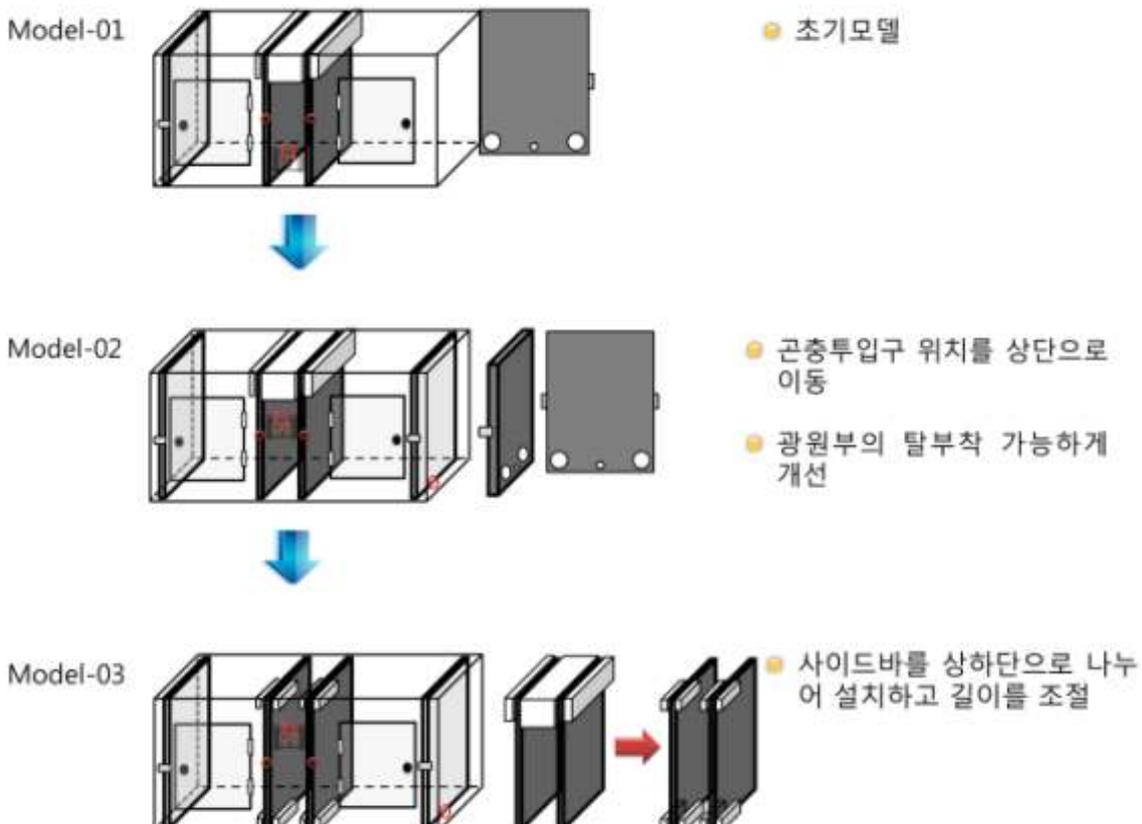
도면 5.

나) 기구설계

- 1차 LED 단색광 장치의 설계는 전북대학교 생물검정팀과 실험에 대한 전반적인 논의를 통해 기본적으로 온도 및 습도가 일정하고 외부로부터의 빛 간섭을 배제하는 한편 광원에서 발생하는 열을 제거하기 위하여 광원과 실험용 chamber 본체를 적당한 거리를 두고 이격시키도록 설계되었다. 실험용 chamber는 가벼운 검은색 폼스재질을 이용하여 실험용 chamber를 경량화하고 외부로부터의 빛을 차단하였다. 다만, 이격된 광원으로부터 빛을 받아들이는 실험용 chamber의 양끝 부분과 실험을 전체적으로 관찰할 수 있는 실험용 chamber 윗부분은 투명한 아크릴재질로 제작하였다. 상기 투명아크릴 재질부분으로 빛이 새어드는 문제를 해결하기 위하여 실험용 chamber의 상단부에는 검은색 폼스재질의 뚜껑을 설치하여 실험이 진행되는 동안은 암조건을 유지하도록 하였으며, 양쪽끝부분은 광원이 설치된 광원부로 밀착시켰으며 재질은 뚜껑과 같은 검은색 폼스 재질을 선택하였다.

- 그림 7의 model-01과 같이 설계된 실험용 chamber를 바탕으로 전북대학교 생물검정팀이 실험을 진행한 결과 사용상 불편하거나 비효율적인 부분이 발생하여 이에 대한 1차 수정을 실시하였다. 수정된 사항으로는 전면부에 위치한 곤충 투입구를 위쪽으로 이동하고, 양측면의 광원부가 분리되도록 수정하였다. 곤충 투

입구의 경우 곤충을 실험용 chamber내로 투입한 후에 포충통을 빼낼 때 곤충이 쉽게 빠져나가는 문제를 해결하기 위해 곤충투입구의 위치를 이동하였고, 광원부는 한쪽만이 열리는 구조로서 광원을 교체하거나 광원에 문제가 발생하였을 경우 수리하는데 불편한 점을 개선하기 위해 광원을 탈부착식으로 수정하였다. 1차 수정 이후 실험을 통해 제기된 또 다른 문제점들은 2차, 3차, 4차, 5차 수정을 거쳐 실험용 chamber를 완성시켰다. 이후 수정된 부분을 살펴보면 실험용 chamber의 뒷부분에 내부 환경을 일정하게 유지시켜줄 철망형태의 구멍이 설치되었고, 나방류들이 내부가림막을 잡아주는 사이드바 사이에 끼이는 문제점을 해결하기 위하여 사이드바를 기존의 상단부에만 설치하였던 것을 상단과 하단에 나누어 설치하고 사이드바의 길이를 대폭 간소화함으로써 문제를 해결하였다. 또한 곤충투입구는 위치를 상단으로 조정할 후에도 해충의 탈출문제가 발생하여 이중막을 설치하였으며, 마지막으로 실험용 chamber의 전체적인 크기를 실험여건에 맞추어 조정하였다.



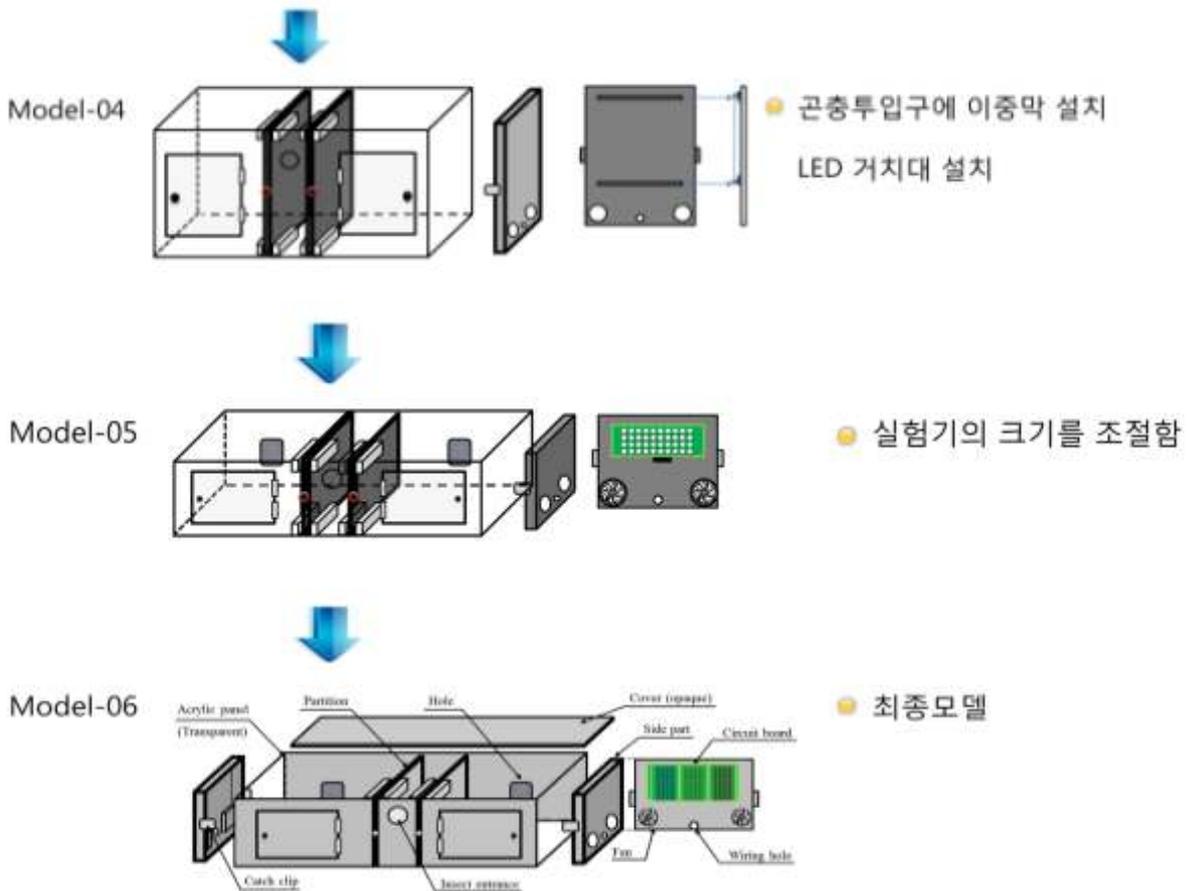
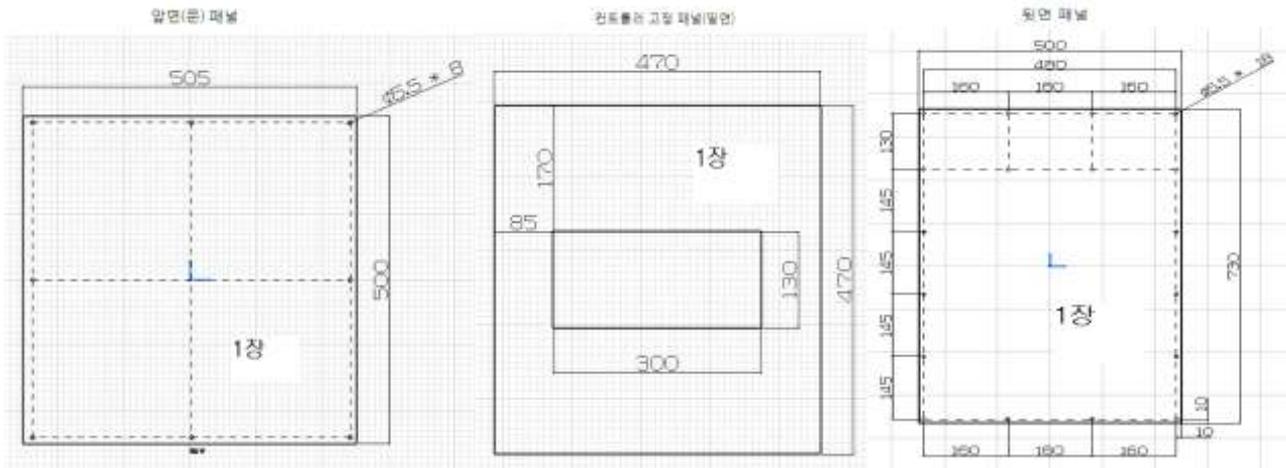


그림 7. 수정과정에 따른 실험용 chamber의 모식도 변화

- LED 혼합광 장치의 설계 등 협동과제 (전북대학교, 농생부)팀과 실험에 대한 전반적인 논의를 통해 기본적으로 온도 및 습도가 일정하고 외부로부터의 빛 간섭을 배제하는 한편 광원에서 발생하는 열을 제거하기 위하여 광원과 실험용 chamber 본체를 적당한 거리를 두고 이격시키도록 설계되었다. 실험용 chamber는 가벼운 검은색 폼맥스재질을 이용하여 실험용 chamber를 경량화하고 외부로부터의 빛을 차단하였다. 다만, 이격된 광원으로부터 빛을 받아들이는 실험용 chamber의 양끝부분과 실험을 전체적으로 관찰할 수 있는 실험용 chamber 윗부분은 투명한 아크릴재질로 제작하였다. 상기 투명아크릴 재질부분으로 빛이 새어드는 문제를 해결하기 위하여 실험용 chamber의 상단부에는 검은색 폼맥스재질의 뚜껑을 설치하여 실험이 진행되는 동안은 암조건을 유지하도록 하였으며, 양쪽끝부분은 광원이 설치된 광원부로 밀착시켰으며 재질은 뚜껑과 같은 검은색 폼맥스재질을 선택하였다 (그림 8).



품목	규격	수량	비고
프로파일	20*20	55M	
동근머리볼트	M5-8	120EA	
동근머리볼트	M5-10	60EA	
사각너트	M5	180EA	아크릴 5mm 고정
앤드캡	20*20	40EA	프로파일 고정
핸들	SAHD-01	5EA	2 Hole
브라켓	20*20	60EA	
힌지	20*20	15EA	
아크릴	1520*1000	2EA	
T볼트	M5	120EA	
T너트	M5	120EA	
먼지커버	20*20	55M	
스핀지시트	1*0.5*3t	55M	
스위치	220V	5EA	
팬(大)	220V	10EA	
팬(小)	220V	5EA	
팬 커버		10EA	
광차단시트지	1000*30	20M	

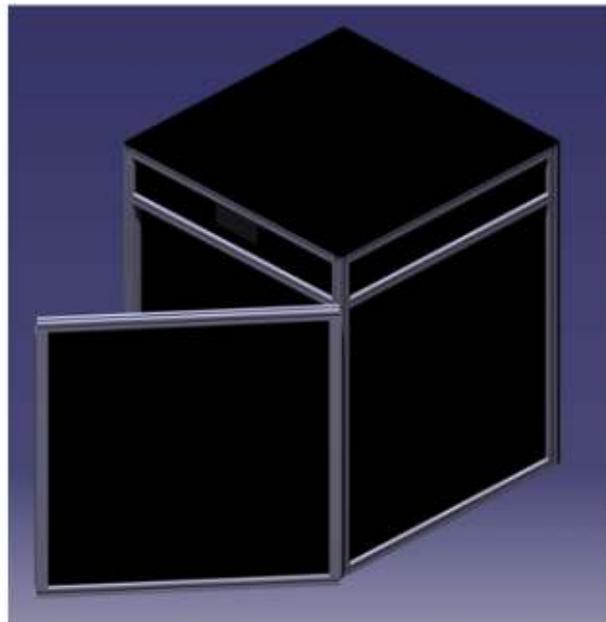
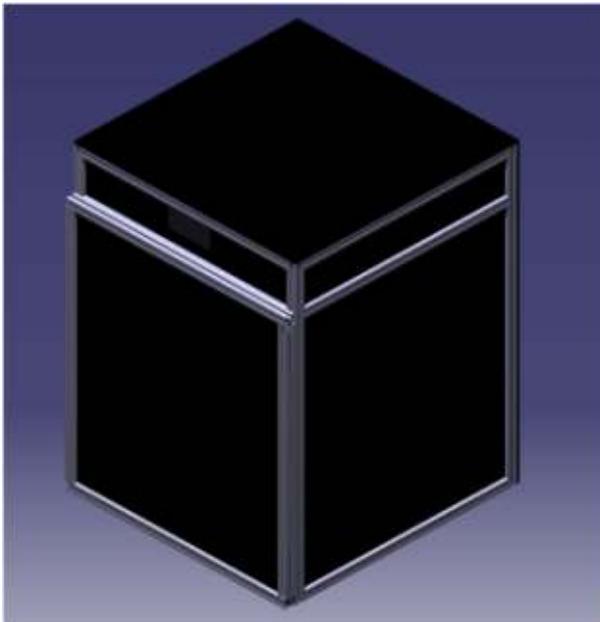


그림 8. 수정과정에 따른 실험용 chamber의 모식도 변화

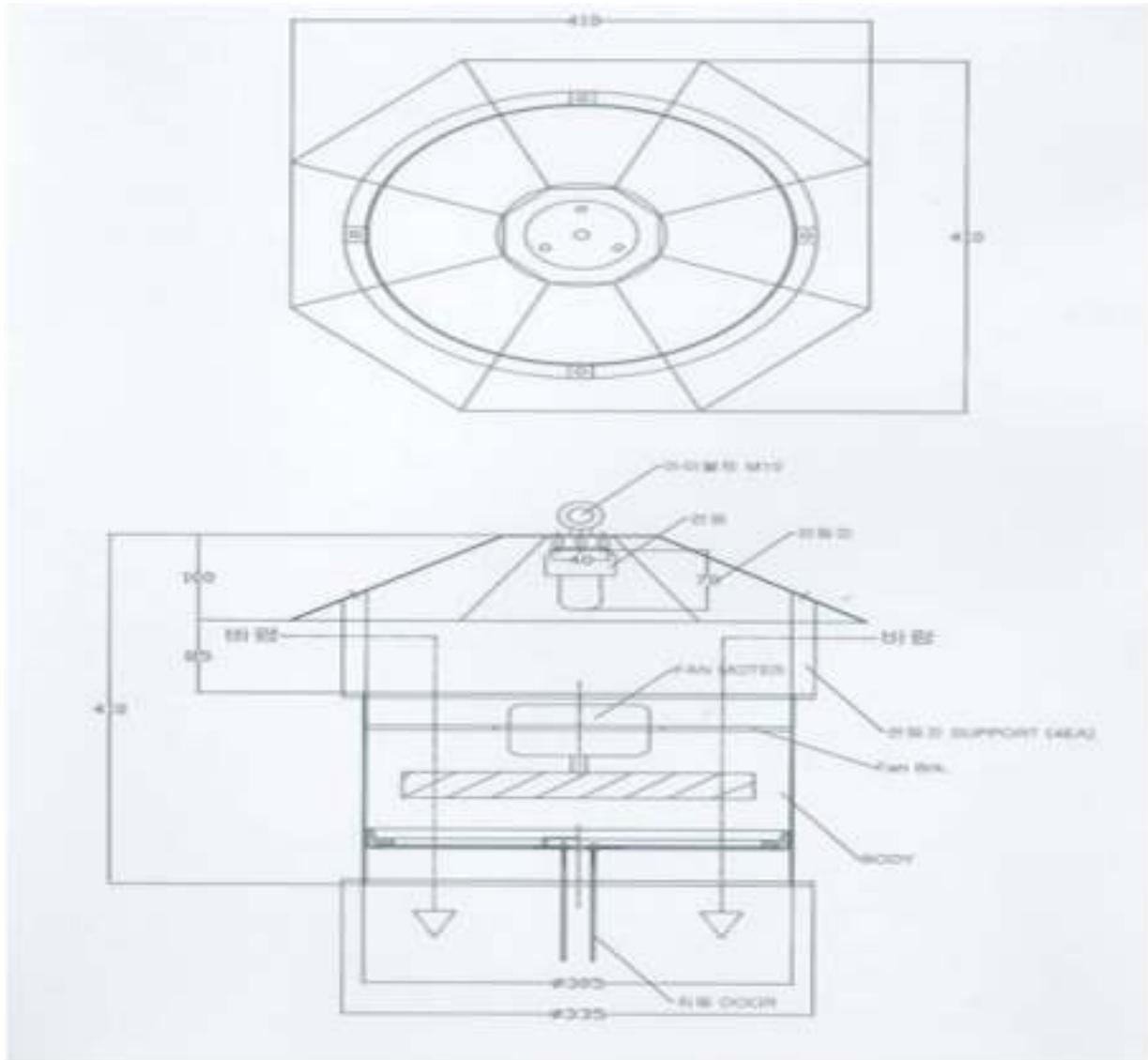


그림 10. 자동화 시제품

나. 농업해충 방제를 위한 LED 단색광/혼합광 모듈 및 몸체 제작

1) 농업해충 및 식물 병원균 방제를 위한 단색/혼합광 LED모듈 및 몸체제작을 공동개발 협동기관과 chamber에서 얻어진 결과를 바탕으로 협의한 디자인 및 도안으로 설계 제작하였으며, 실사용 후 발생하는 문제점이나 실험자의 편의 도모를 위해서 총 5차례 수정작업을 거쳐 완성된 4개의 단색광 및 혼합광 모듈 및 몸체 제작된 제품을 시설지내 설치하였다.

○ LED SPECIFICATIONS

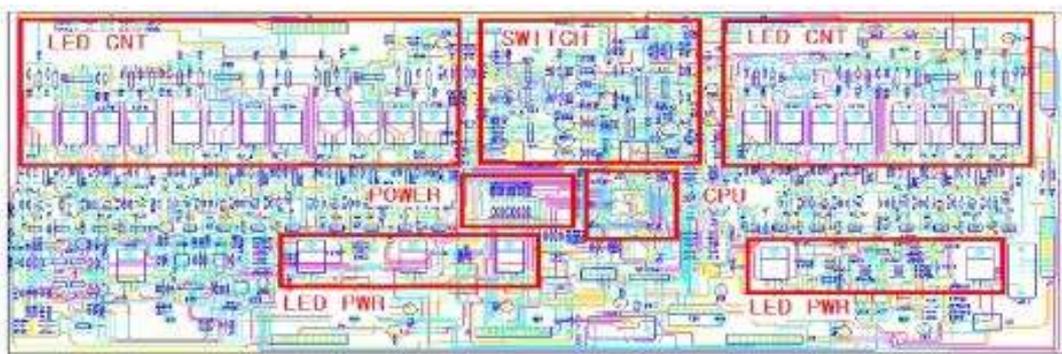
- Absolute maximum ratings (Ta = 25°C)

Parameter	Symbol	Ratings	Unit
Forward current	I_F	350	mA
Pulse Forward Current *1	I _{FP}	1000	mA
Reverse voltage	V_R	5	V
Power dissipation(blue, green, white)	P _D	1.40	w
Power dissipation(red, yellow)	P _D	1.12	w
LED junction Temperature(blue, green, white)	T _j	127	°C
LED junction Temperature(red, yellow)	T _j	126	°C
Viewing angle(Lamdertan Lens)	θ _{1/2}	125	deg
Operation temperature	Topr.	-30~+85	°C
Storage temperature	Tstg.	-40~+100	°C
Manual Soldering Time at 260°C(MAX.)	Tsol.	5	seconds

- Dominant Wavelength or Color Temperature Characteristics at 350 mA, Ta = 25

Color	Item	Symbol	Luminous Flux			Unit
			MIN	TYP	MAX	
Red	Dominant Wavelength	λ d	615		645	nm
Amber	Dominant Wavelength	λ d	582		598	nm
Green	Dominant Wavelength	λ d	520		530	nm
Blue	Dominant Wavelength	λ d	460		470	nm
white	Correlated Color Temperature	CCT	4500		10000	K

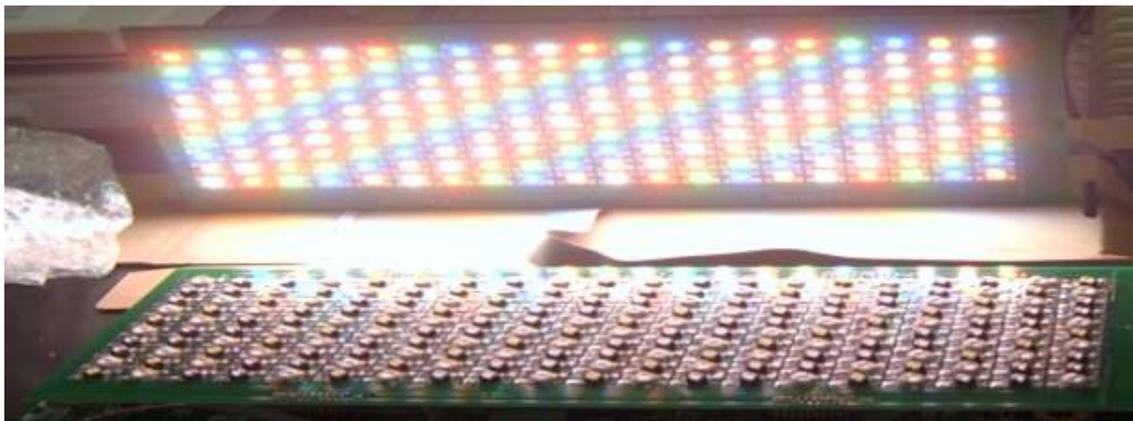
- 정리된 부품도



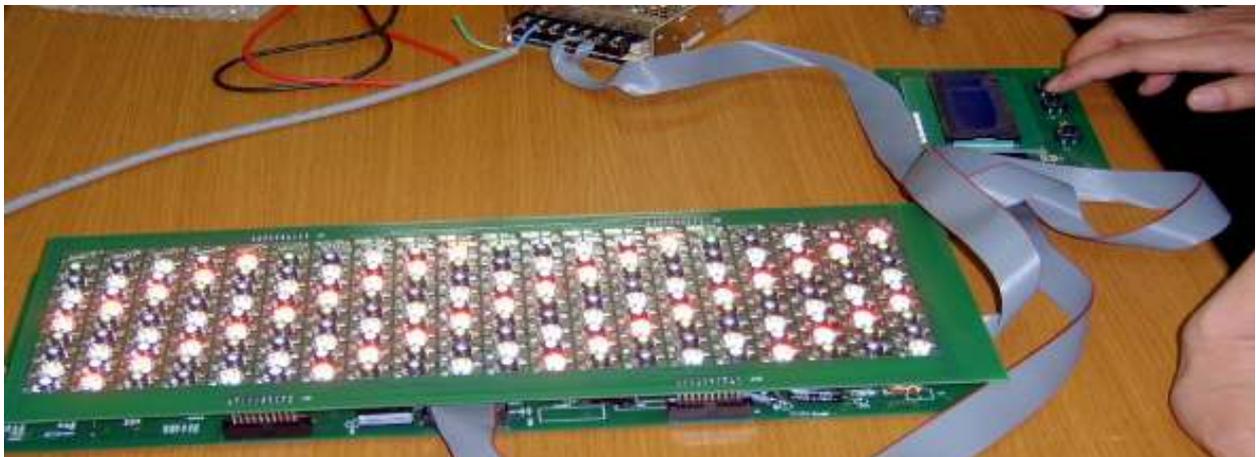
회로 설계된 제품구성을 LED CNT부, SWITCH부, LED CNT부, LED PWRQN 등으로 구성하여 P.C.B와 같이 제작하였다.



전원공급 장치ED 및 LED Control회로의 동작에 필요한 주 전원장치이다.



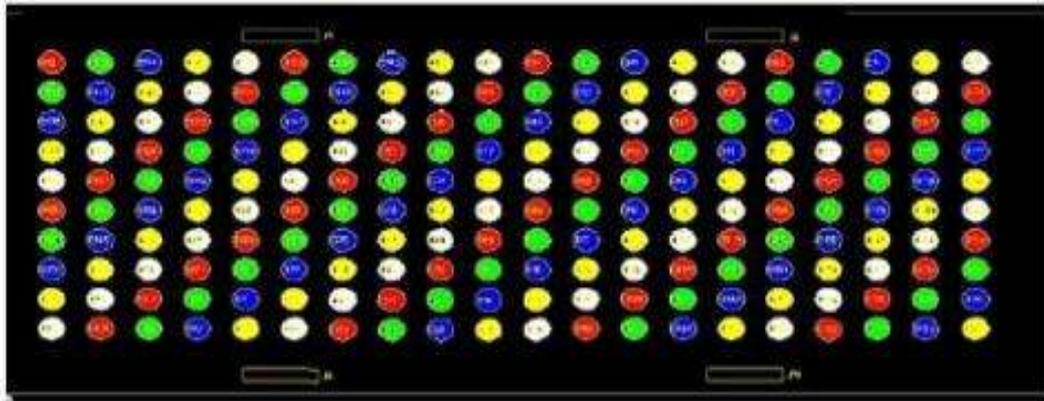
회로를 동작시켜 LED의 동작을 확인하는 과정



각각의 LED 밝기 및 ON/OFF 기능이 정상적인지 확인 하는 과정



Color Board를 이용한 LED 동작을 확인 하는 과정



여러 색상의 Color 배치도는 같은 Color의 LED가 밀집 하는 경우 밝기 및 색상의 치우침이 발생 할 수 있어 분산 배치를 하여 제작했다.



Board제작 후 완성 Test 과정

다. 농업해충 방제를 위한 LED 단색광 파장별/광량별/시간별 제어장치 구축

1) LED 를 이용한 시설 재배 작물 주요 방제기술 개발에 있어 반드시 필요한 광의 파장, 광량 또는 광의 조사시간에 따라 곤충을 판별할 수 있는 장치 및 방법에 관한 것으로, 이를 위해 본 개발은 곤충이 투입되는 투입구와; 상기 투입구의 양쪽에 설치된 가림막과; 외부의 광을 수용할 수 있는 적어도 하나 이상의 투명체로 이루어진 벽을 포함한 본체와; 상기 본체에 광을 조사하는 적어도 하나 이상의 광원부와 그리고 상기 광원부로부터 조사되는 광의 특성을 조절하는 컨트롤러를 포함하여 구성되어 있다.

2) 전류의 조절이 가능한 회로를 바탕으로 전류변경에 따른 광량의 출력 값을 설정할 수 있는 controller를 개발하였고 5종류의 LED가 동시에 조절 (시간 및 밝기) 가능하게 개발하였다.

○ LED SPECIFICATIONS

- Absolute maximum ratings.

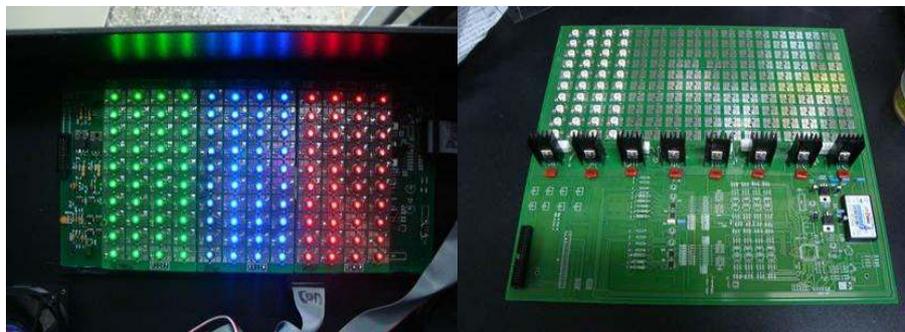
(Ta = 25°C)

Parameter	Symbol	Ratings	Unit
Forward current	I _F	350	mA
Pulse Forward Current *1	I _{FP}	1000	mA
Reverse voltage	V _R	5	V
Power dissipation(blue, green, white)	P _D	1.40	w
Power dissipation(red, yellow)	P _D	1.12	w
LED junction Temperature(blue, green, white)	T _j	127	°C
LED junction Temperature(red, yellow)	T _j	126	°C
Viewing angle(Lamdertan Lens)	θ _{1/2}	125	deg
Operation temperature	Topr.	-30~+85	°C
Storage temperature	Tstg.	-40~+100	°C
Manual Soldering Time at 260°C (MAX.)	Tsol.	5	seconds

- Dominant Wavelength or Color Temperature Characteristics at 350mA, Ta = 25°C

Color	Item	Symbol	Luminous Flux			Unit
			MIN	TYP	MAX	
Red	Dominant Wavelength	λd	615		645	nm
Amber	Dominant Wavelength	λd	582		598	nm
Green	Dominant Wavelength	λd	520		530	nm
Blue	Dominant Wavelength	λd	460		470	nm
white	Correlated Color Temperature	CCT	4500		10000	K

회로설계로 PCB 설계를 하여 4가지 파장별 LED광을 개발 제작하였다. 파장별 회로는 공통적으로 사용 가능하다. 원하는 광 (파장)LED가 필요시 LED만 교체하면 가능하도록 설계되어 다양한 실험을 할 수 있다.



아래 그림은 광량 및 시간 제어를 할 수 있도록 개발 제작 되었고 파장별 제어가 가능하도록 설계되었다.



○ 곤충이 투입되는 투입구와 상기 투입구의 양쪽에 설치된 가림막과 외부의 광을 수용할 수 있는 적어도 하나 이상의 투명체로 이루어진 벽을 포함한 본체와 상기 본체에 광을 조사하는 적어도 하나 이상의 광원부와 그리고 상기 광원부로부터 조사되는 광의 특성을 조절하는 컨트롤러를 포함하여 구성되어 광의 광량, 파장 또는 조사시간을 제어하고 하나 이상의 LED 또는 형광등을 포함한다.

○ 하나 이상의 LED는 모듈별로 상기 광원부에 탈부착이 가능하고 광원부로부터 발생하는 열을 제어하는 적어도 하나 이상의 냉각팬과, 소비전력표시, 내부의 온도와 습도를 조절하는 온습도 조절구가 설치되어 있다.

○ 광량 또는 조사시간에 따라 파장을 바꾸면서 광을 조사하는 단계와 광이 차단된 상태로 곤충을 투입하는 단계와 상기 투입된 곤충에게 상기 광의 광량 및 조사 시간을 변경하면서 조사하는 단계와 상기 조사된 광에 따라 상기 투입된 곤충의 이동경로를 파악하는 단계와 상기 파악된 곤충의 이동경로를 근거로 상기 곤충의 특성을 판별하는 단계를 포함한다.

- 그림 11은 곤충의 특성 판별장치의 구성을 나타낸 블록도이다. 그림 11에 도시된 바와 같이, 곤충의 특성 판별장치는, 외부의 광을 수용할 수 있는 적어도 하나 이상의 투명체로 이루어진 벽을 포함한 본체 (도시하지 않음)와 상기 본체 (도시하지 않음)에 광을 조사하는 적어도 하나 이상의 광원부 (20)와 이로부터 조사되는 광의 특성을 조절하는 컨트롤러 (60)와 광원부 (20)로부터 발생하는 열을 제어하는 적어도 하나 이상의 냉각팬 (25)과 본체 (10) 내부의 온도와 습도를 조절하는 온습도 조절구 (도시하지 않음)와 소비전력을 표시하는 표시장치 (50)와 그리고 전원을 공급하는 전원공급부 (40)를 포함하여 구성되었다.

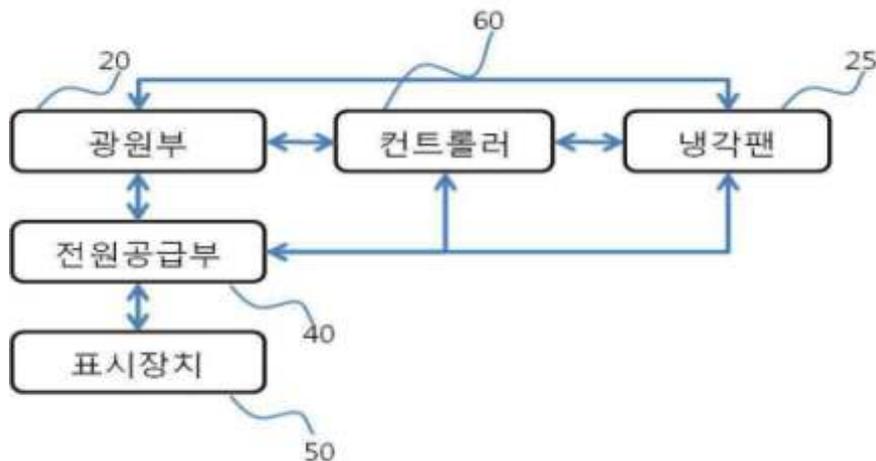


그림 11. 곤충의 특성 판별장치

- 그림 12는 곤충의 특성 판별장치의 실시예의 사시도이고, 그림 13은 본 개발에 따른 곤충의 특성 판별장치의 실시예의 평단면도이다, 그림 14는 본 개발에 따른 곤충의 특성 판별장치의 실시예의 정단면도이다.

도시된 바와 같이, 본체 (10)는 외부의 광을 수용할 수 있는 부분과 외부의 광을 차단하는 검은색 포맥스 재질로 이루어져 외부의 광이 없는 상태에서 본체의 내부 (11)가 암 조건인 chamber로서, 이를 위해 본체 (10)의 양측면부 (15)는 투명 아크릴로 이루어졌으며 이를 제외한 덮개 (14)를 포함한 나머지 부분은 검은색 포맥스 재질로 이루어져 있다.

- 또한 상기 본체 (10)에 곤충을 투입시키기 위하여 형성된 곤충투입구 (16)는 상기 본체 (10)의 안쪽에 설치된 자석식 곤충 투입구막 (17)을 포함하고 있어 곤충의 탈출을 방지하였다.

- 그리고 가림막 (12)은 양측면부 (15)를 통해서 조사되는 광원의 노출정도를 조절하기 위한 것으로, 본체 (10)의 내부에는 곤충투입구 (16)를 기준으로 양측에 2개가 형성되어 있다. 이때, 가림막 (12)이 전후 운동을 하기 위해서 가림막 (12)을 지지하는 사이드바 (18)가 구성되어 있다.

- 모든 실험이 끝난 후 본체 (10)의 내부에 있는 곤충을 제거하기 위해서 도어 (19)가 본체 (10)의 중앙부분에 형성되어 있다.

- 광원부 (20)는 본체 (10)의 양측면부 (15)에 탈부착이 가능하도록 각각 매미경첩 (22)을 통해 설계되어, 본체 (100)의 투명한 부분을 통해 본체 (10) 내부에 광을 조사하는 것으로 적어도 하나 이상으로 이루어진다. 컨트롤러 (60)는, 광원부(20)로부터 상기 본체(10)의 내부에 조사되는 광의 광량, 파장 또는 조사시간을 제어한다.

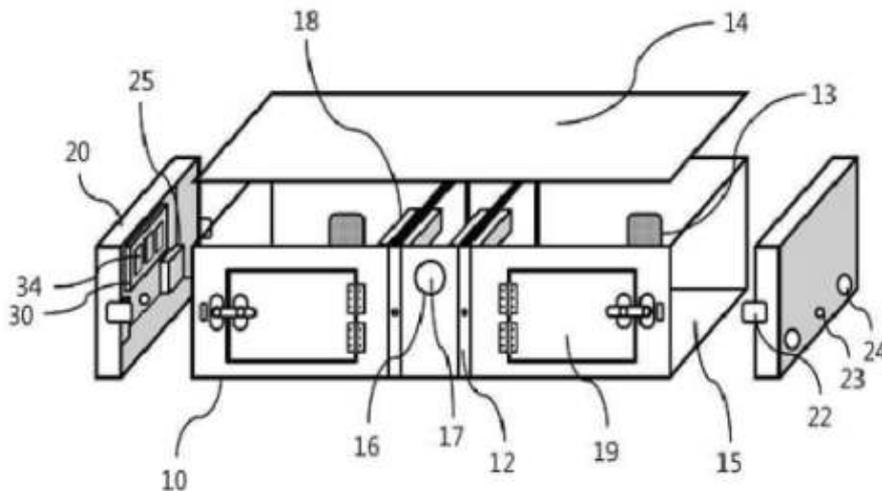


그림 12. 곤충의 특성 판별장치

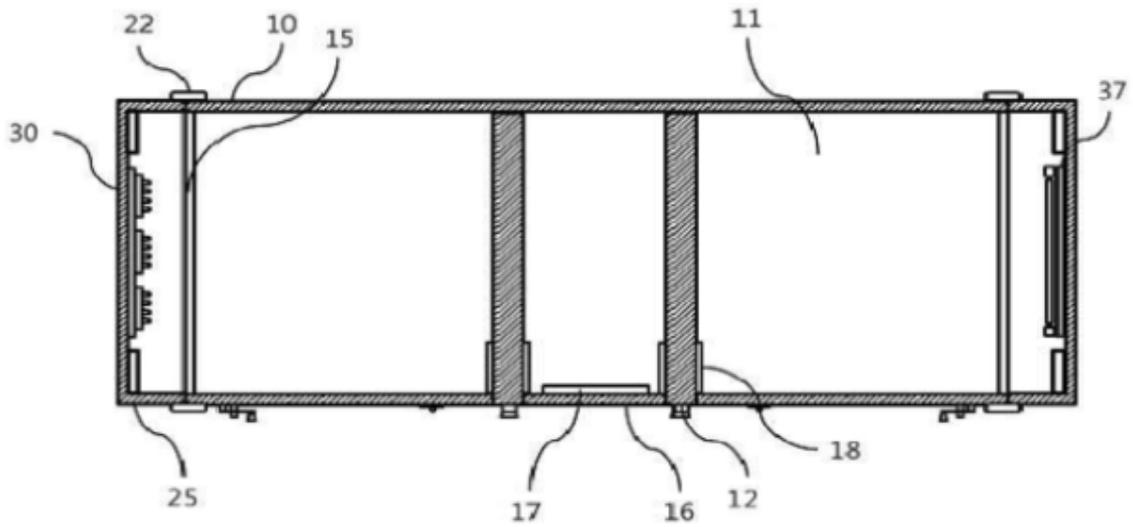


그림 13. 곤충의 특성 판별장치 (평단면도)

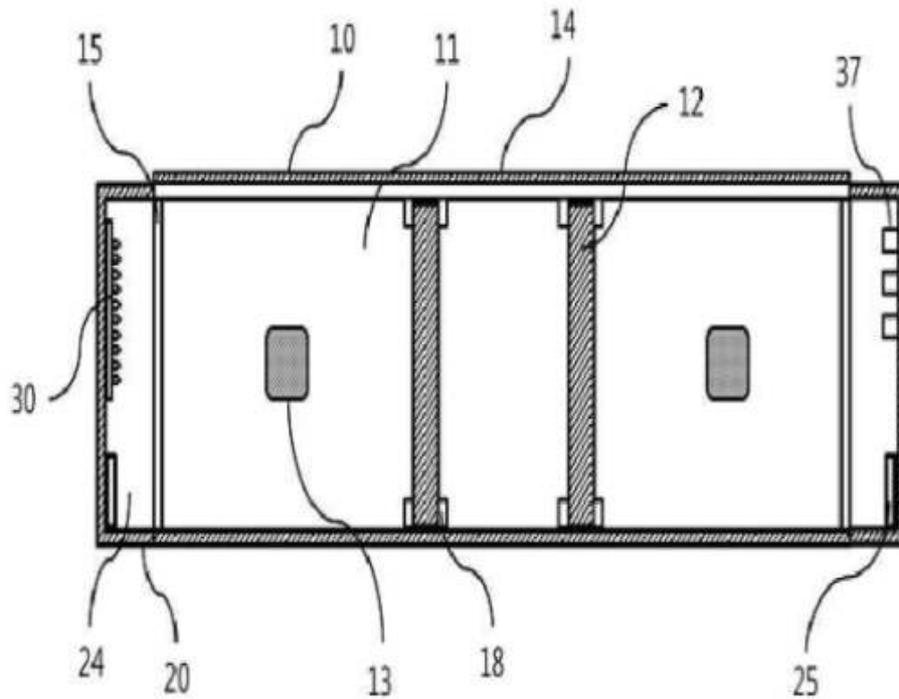


그림 14. 곤충의 특성 판별장치 (정단면도)

- 광원부 (20)와 컨트롤러 (60)를 첨부된 그림 15 ~ 그림 17을 참조하여 상세히 설명하면 다음과 같다. 여기서 광원부 (20)는 LED 또는 형광등 등의 조명기구를 통해서 광을 조사할 수도 있는데 여기서는 LED와 형광등을사용한 경우에 대해서 각각 설명한다.

- 그림 15는 곤충의 특성 판별장치에서 LED가 설치된 광원부의 정면도이고, 그림 16은 곤충의 특성판별장치에서 LED모듈회로판과 컨트롤 회로판에 대한 사시도이다.
- 그림 15와 그림 16에 도시된 바와 같이, 광원부 (20)는 각각의 파장마다 광량이 조절되는 LED (35)로 구성된 LED모듈 회로판 (34)과 LED모듈 회로판 (34)이 부착되는 컨트롤 회로판 (30)으로 구성된다.
- LED모듈 회로판 (34)은 각각의 파장마다 광량이 조절되는 40개의 고휘도 LED로 구성된다. LED의 개수는 사용 조건에 따라 그 개수가 다양하게 변경 가능함은 당연하다.
- LED모듈회로판 (34)은 전류가 제어되는 컨트롤 회로판 (30)의 컨트롤-LED 연결포트 (33)를 통해 탈부착 가능하도록 3개가 설치된다. 마찬가지로 여기에 설치되는 LED모듈 회로판 (34)의 개수는 사용조건에 따라 다양하게 변경될 수 있다. 여기서 LED는 그 종류에 따라 각각 다른 파장을 갖고 있으므로, LED모듈 회로판 (34)에 설치되는 LED의 종류를 다르게 하면, 광원부 (20)는 단일파장 또는 혼합파장을 만들어 낼 수 있다. 컨트롤 회로판 (30)의 일측에는 컨트롤회로과워포트 (31)가 형성되어 있어, 외부로부터 전원이 유입된다.
- 상기 컨트롤러 (60)는 컨트롤러연결포트 (32)를 통해 상기 유입된 전원의 전류를 제어하면서 컨트롤 회로판 (30)에 부착되어 있는 각각의 LED모듈 회로판 (34)을 On/Off 하거나 광량을 조절한다. 또한 컨트롤러 (60)는 LED모듈 회로판 (34)에 종류가 다른 LED가 설치된 경우, 광원부 (20)를 통해 단일파장 또는 혼합파장을 만들어 낼 수 있다.
- 여기서 컨트롤러 (60)는 버튼식으로 구성되고 작은 LCD 디스플레이를 통해 작동되고 있는 각 LED모듈 회로판 (34)의 전류, 전압을 실시간으로 확인하고 상황에 맞게 조절한다.
- 한편, 컨트롤 회로판 (30)은 고정판 (26)으로 고정되면서, 일정부분 광원부 (20) 벽면과 이격되어 발생하는 열의 신속한 배출을 돕는다.
- 이와 같이 LED가 설치된 광원부가 구현됨에 따라, 사용자는 추가적인 장비의 사용 없이 다양한 파장을 갖는 LED를 손쉽게 교체하면서 다양한 파장에 따라 곤충의 반응을 실험할 수 있다.
- 컨트롤 회로판 (30)에서 발생하는 열의 신속한 배출을 돕기 위해서 냉각팬 (25)을 포함하고 있고, 특히 냉각팬 (25)은 광원부 (20)의 하단에 2개가 위치하여, 광원부 (20)의 내부 (21)의 공기를 광원부 (20)의 외부로 배출하므로 본체 (10)의 내부의 온도를 일정하게 유지한다. 따라서 실험대상인 곤충이 실험 도중에 온도에 영향을 받지 않는다.

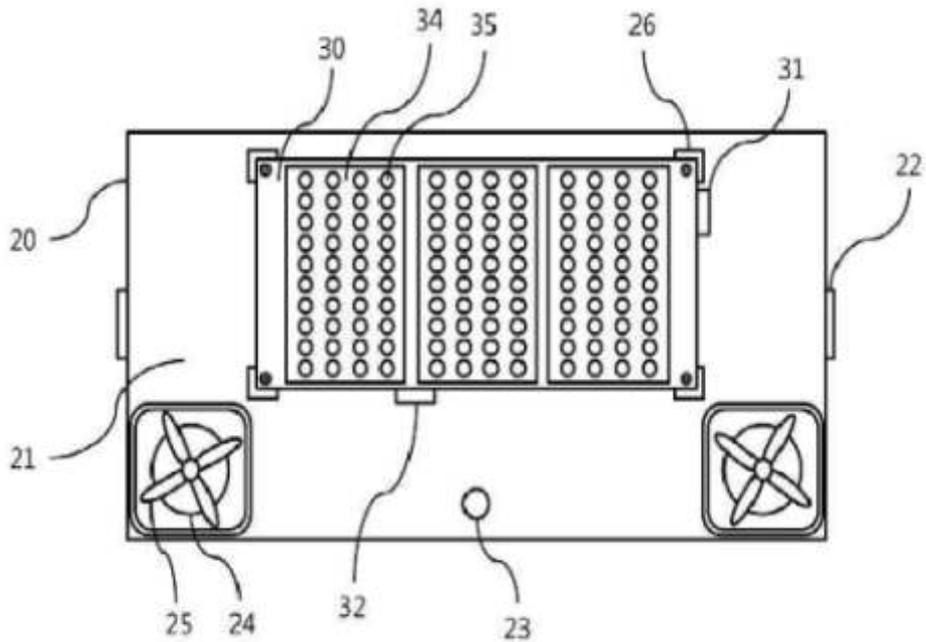


그림 15. 곤충의 특성 판별장치에서 LED가 설치된 광원부의 정면도

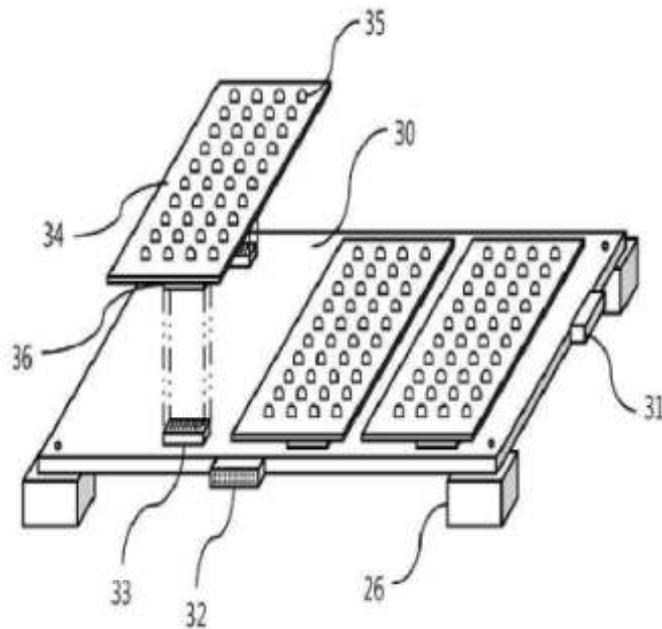


그림 16. 곤충의 특성 판별장치에서 LED모듈회로판과 컨트롤 회로판에 대한 사시도

- 그림 17은 곤충의 특성 판별장치에서 형광등이 설치된 광원부의 정면도이다.
- 그림 17과 같이, 광원부 (20)는 적어도 하나 이상의 형광등 (37)으로 구현된다. 여기서 광원부 (20)는 발생하는 열의 신속한 배출을 돕기 위해서 냉각팬 (25)을 포함하고

있고, 특히 냉각팬 (25)은 광원부 (20)의 하단에 2개가 위치하여 광원부 (20)의 내부 (21)의 공기를 광원부 (20)의 외부로 배출한다.

- 한편, 광원부 (20)는 전기 배선 등의 삽입이 용이하도록 배선구멍 (23)이 형성되어 있다.

- 위와 같이 광원부 (20)에 LED 또는 형광등이 선택적으로 복수 개 설치될 수 있으므로, LED모듈 회로판 (34)에 설치되는 LED의 종류를 다르게 하면 광원부 (20)는 단일 파장 또는 혼합파장을 만들어 낼 수 있고 형광등을 활용하면 LED와 기존광원과의 비교반응 실험을 할 수도 있다.

- 그리고 본체 (10) 내부의 온도와 습도를 유지하기 위해서 본체 (10)의 후면부에 철망으로 덮인 2개의 온습도 조절구 (13)를 포함하고 있다.

- 본 장치를 이용한 실험은 항온 항습실에서 이루어지므로 온습도 조절구 (13)가 본체 (10)에 형성되어 있음으로써, 온도와 습도가 일정하게 유지되는 외부의 환경이 본체 (10) 내부에도 영향을 미쳐 본체 (10)의 내부의 온도와 습도도 일정하게 유지된다.

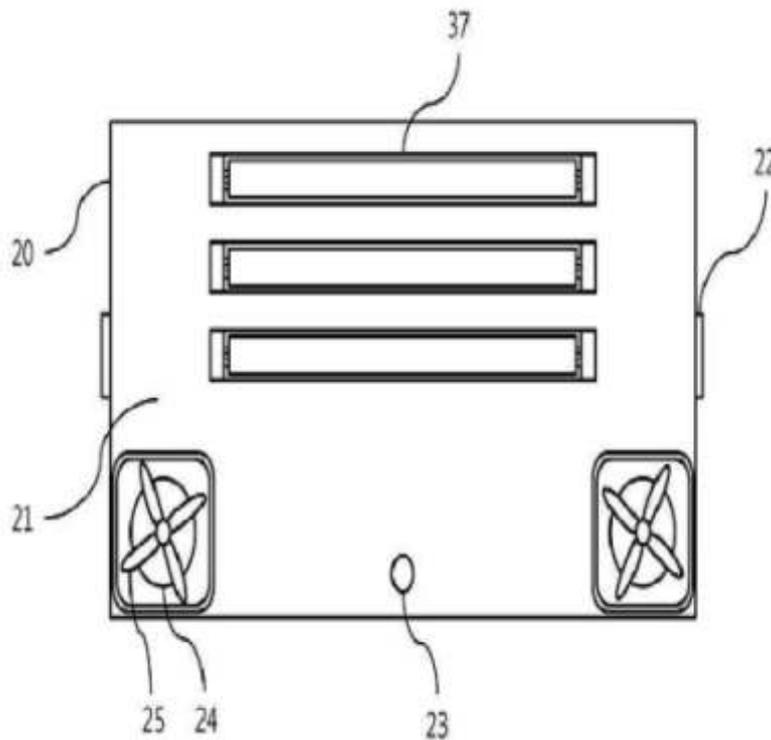


그림 17. 곤충의 특성 판별장치에서 형광등이 설치된 광원부의 정면도

- 그림 18에 도시된 바와 같이, 실시 예에 따른 곤충의 특성 판별방법은 광량 또는 조사시간에 따른 광조사 단계 (S810)와 광이 차단된 상태로 곤충을 투입하는 단계

(S820)와 투입된 곤충에게 광의 광량 및 조사시간을 변경하면서 조사하는 단계 (S830)와 조사된 광에 따라 투입된 곤충의 이동경로를 근거로 곤충의 특성을 판별하는 단계 (S840)와 그리고 조사된 광원의 파장을 바꾸기 위해서, 광원을 교체하는 단계 (S850)를 포함하여 이루어진다.

- 먼저 사용자는 광의 파장, 광량 그리고 조사시간에 따른 특성을 파악하고자 하는 곤충을 선별한 후, 원하는 파장을 갖는 LED 또는 형광등을 적어도 한 곳 이상에 광원부에 설치한다.

- 이후 설치된 광원부 (20)를 통해서 본체 내부에 광을 조사한다(S810).

- 조사된 광을 차단된 상태에서 곤충을 상기 본체 (10)에 투입한다(S820).

- 조사된 광의 광량을 조절하면서 가림막 (12)을 사용자가 원하는 만큼 본체 (10)로부터 인출함으로써 투입된 곤충에게 조사한다(S830). 이때, 사용자는 광원부 (20)의 LED를 제어함으로써 광의 광량, 조사시간을 변경한다.

- 조사된 광에 의해서 이동하는 곤충의 경로를 통해 투입된 곤충의 광에 대한 특성을 판별한다(S840). 즉, 광의 파장, 광량 그리고 조사시간에 대한 곤충의 특성을 파악하고 판별한다.

- 위와 같이 실험 한 후, 다른 종류의 파장에 의해서도 곤충의 특성을 파악하고자 한다면 설치된 LED를 다른 파장을 갖는 LED로 교체하여 (S850) 위와 같은 실험을 반복한다.

- 또한 여러 종류의 LED를 활용하면 단일파장 또는 혼합파장을 만들어 낼 수 있다. 뿐만 아니라 광원부에 서로 다른 LED를 사용하면 파장에 따른 곤충의 특성을 파악할 수 있고, LED와 형광등을 사용하면 LED와 기존광원과의 비교반응 실험을 할 수도 있다.

- 곤충들이 특정파장을 인지하고 그 특정파장의 기호성에 따라서 유인 또는 기피되는 특성을 파악할 수 있어 향후 친환경 해충제어시스템의 개발에 큰 효과를 미치리라 생각된다.

- 나아가 다양한 파장뿐만 아니라 광량 및 조사시간 등 폭 넓은 행동반응 연구를 할 수 있다.

- 따라서 암조건에서 모든 환경조건 (습도, 온도)이 일정하다는 전제하에 오직 광 조사를 통한 곤충의 행동반응을 관찰할 수 있다.

- 또한 중앙에 위치한 가림막 (12)을 통해 광 조사에 대한 노출의 정도를 조절하고, 고휘도 LED (34)를 통해서 단일파장 또는 혼합파장을 만들어 낼 수 있어 파장에 따른 곤충의 특성을 알 수 있고 나아가 형광등을 활용하여 LED와 기존광원과의 비교반응 실험을 할 수 있다.

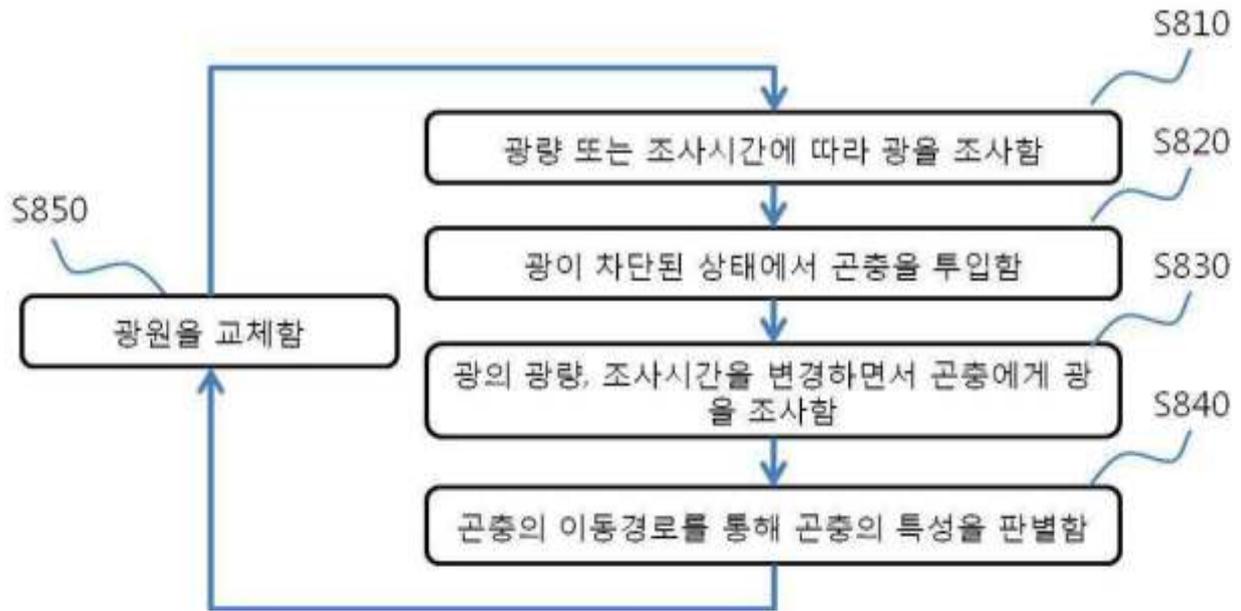


그림 18. 곤충의 특성 판별방법을 나타낸 순서도

라. 선발된 LED 광원을 보호/확산 및 방수형 기피/유인장치 제작

1) 회로 설계 후 PCB를 제작하여 부품을 조립 후 혼합과 몸체를 5 sets를 제작하여 전복대에서 실험 할 수 있도록 공급하였다. 내부에는 열이 발생하는 것을 막기 위해 2개의 팬을 장착하여 회로가 안정되게 설계되었다.



그림 19. 과장별 내부사진

마. LED 혼합광을 이용한 농업해충/식물병원균 제어를 위한 자동화 장치 및 시제품 개발

1) 개발된 LED 단색광 몸체를 이용한 소규모 시설지내 장치구축

○ 회로 설계 후 PCB를 제작하여 부품을 조립 후 파장별 몸체를 만들었다. 내부에는 열이 발생하는 것을 막기 위해 2개의 팬을 장착하여 회로가 안정되게 설계되었다 (그림 20-21).

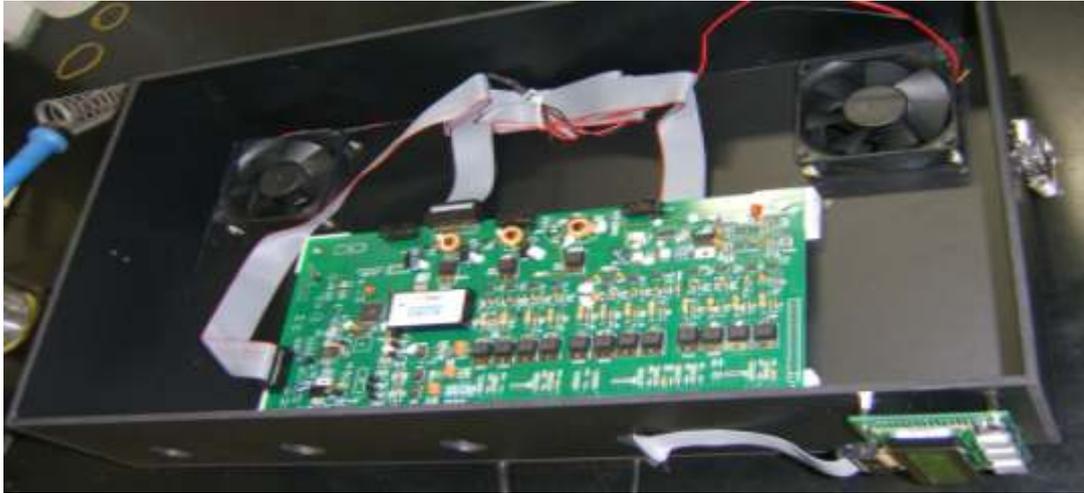


그림 20. 파장별 내부 사진



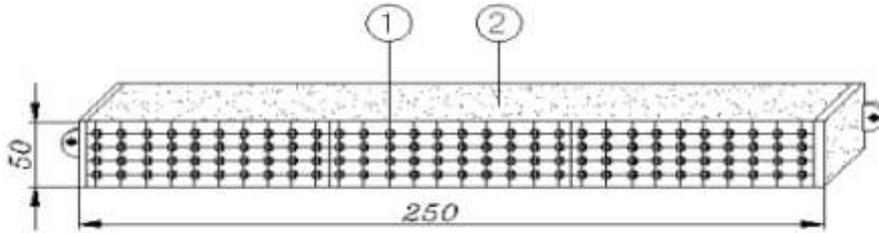
그림 21. 파장별 완성된 사진

○ 파장별 모듈을 완성한 것으로 정정류, 제어, 콘트롤러, LED드라이버 등 LED 광을 발생할 수 있고 제어할 수 있는 시스템을 개발 제작하였다.

○ 소규모 시설 내에 장치구축 도면 단파장으로 설계되었으나 2차년 후 복합파장과 겸용으로 현장에서 사용 할 수 있도록 설계가 진행 되었다 (그림 22-23).

※ LED 실증시험 모듈

구분	내역	단위	수량	비고
1	LED	개	100	
2	LED실증시험모듈	개	1	



NOTES

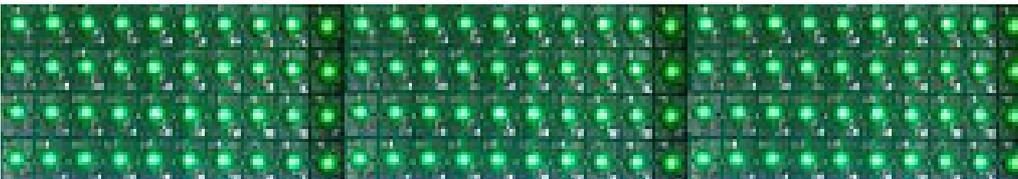
- ※ 제품에서 불량되는 제품은 제거할 수 있다.
- ※ 제품 수 수납하는 용기의 도가 불완전히 입력하지 못하다.
- ※ 구조도 및 입체 사진은 실 제품과 다를 수 있다.

구분	내역	단위	수량	비고
1	LED	개	100	
2	LED실증시험모듈	개	1	

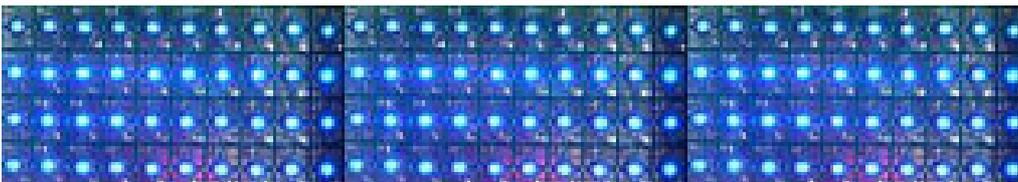
그림 22. 단색광 설계도



Red color



Green color



Blue color

그림 23. 단색광

○ 시설 내에 장치구축 도면

- 복합과장과 겸용으로 현장에서 사용 할 수 있도록 설계가 진행 되어 혼합과 LED광을 개발 제작하였다. 혼합과 회로는 공통적으로 사용 가능하도록 설계 하였다. 원하는 광 (과장)LED가 필요시 LED만 교체하면 가능하도록 설계되어 다양한 실험을 할 수 있다 (그림 24-26).

- 설계 제작된 4sets는 시설지내에서 실험 사용할 수 있도록 설치하였다.

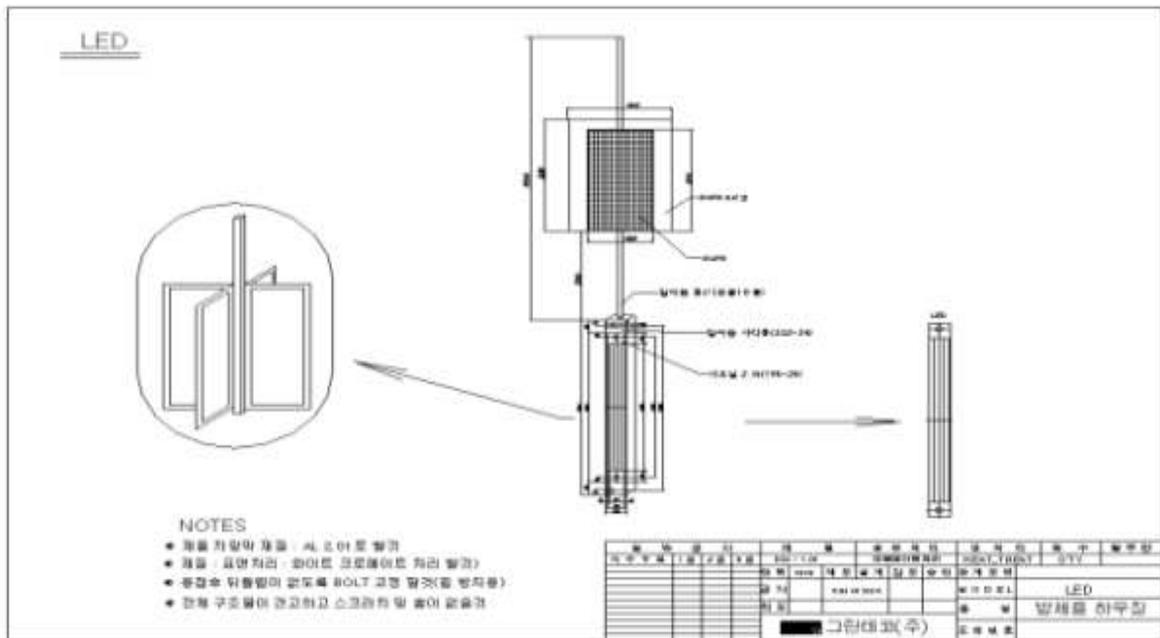


그림 24. 혼합과 도면



그림 25. 시설지내 혼합과 설치 중



그림 26. 시설지내 혼합과 설치 완료

2) LED 혼합광을 이용한 농업해충/식물병원균 제어를 위한 자동화 장치 및 시제품 개발

○ LED 혼합광을 이용한 농업해충 및 식물 병원균 제어를 위한 자동화 장치 및 시제품개발에 혼합광을 이용한 시설재배해충의 친환경적 방제를 목적으로 하고 실험 목적에 부합된 실험장비 (LED 광원, 혼합광 실험용 chamber)를 설계하였으며, 실험을 진행하고 발생한 문제점에 대한 수정 및 보완 작업을 지속적으로 실시하였다.

○ 또한 특정과장을 갖는 LED를 통해 과장별로 특정 해충의 유인반응을 관찰하고 이를 토대로 향후 유인장치의 개발에 기초자료를 제공하였으며, 특히, 농업해충 및 식물 병원균 제어를 위한 자동화 장치를 개발하여 특정 해충만을 선택적으로 유인한다. 유인된 해충은 Fan으로 흡수하게 되어 퇴출시킨다(그림 27).



그림 27. 시제품 제작

○ 제1 광 및 제2 광 중 어느 하나 이상의 광을 방출하여 나는 곤충을 유인하는 LED 램프, LED 램프를 제어하여 제1 광의 제1 점등 시간 및 제2 광의 제2 점등 시간을 제어하는 램프 제어부 (여기서, 제1 점등 시간과 제2 점등 시간은 시작 시간 및 종료 시간이 개별적으로 설정됨), 공기의 흐름을 제어하여 상기 LED 램프에 의해 유인된

곤충을 흡입하는 곤충 흡입 수단, 곤충 흡입 수단에 의해 흡입된 곤충을 내부에 수용하는 곤충 포획 수단 및 LED 램프 및 곤충 흡입 수단에 전원을 공급하는 전원 공급부를 포함하는 LED를 이용한 해충 유인 장치

○ 광은 625 ± 10 nm의 파장을 가진 광이며, 제2 광은 590 ± 10 nm의 파장을 가진 광과 곤충 흡입 수단은 전원 공급부에서 공급된 전원에 의해 회전하는 팬인 것으로 곤충 포획 수단의 입구에 결합하여 곤충 흡입 수단의 동작 시 곤충 포획 수단의 입구를 개방하고, 곤충 흡입 수단의 미동작시 곤충 포획 수단의 입구를 폐쇄하는 개폐 수단을 포함한다.

○ LED 램프가 미리 설정된 시간만큼 동작하도록 시간을 설정하는 LED 동작 타이머를 더 포함하는 LED를 이용한 해충 유인 및 LED 동작 타이머는 상기 LED 램프를 90분 내지 120분 동안 연속으로 동작시키는 것으로 곤충 흡입 수단이 미리 설정된 시간만큼 동작하도록 시간을 설정하는 흡입 동작 타이머를 포함한다.

○ LED가 계속 점등되는 동안 소정의 주기에 따라 상기 곤충 흡입 수단의 동작과 미동작을 반복되고 곤충 흡입 수단이 미리 설정된 주기에 따라 동작과 미동작을 반복하는 자동 모드와 관리자에 의해 LED 램프 또는 곤충 흡입 수단의 동작 여부가 설정되는 수동 모드를 선택하는 모드 선택부를 포함한다.

- 특정 파장의 광을 방출하는 LED를 이용하여 해충을 유인하고 이를 포획하여 해충을 구제하는 특징이 있다.

- 그림 28은 LED를 이용한 해충 유인 장치의 블록 구성도이다. 그림 28을 참조하면, 해충 유인 장치 (100)는 LED 램프 (110), 곤충 흡입 수단 (120), 곤충 포획 수단 (130), 전원 공급부 (140), 개폐 수단 (150), 동작 타이머 (160), 제어 유닛 (170)을 포함할 수 있다.

- LED 램프 (110)는 곤충을 유인하는데 효과적인 광을 방출하는 LED 램프가 될 수 있다. 곤충 유인에 효과적인 광은 이하의 실험에서 자세히 기술하며, 예를 들면, 파장이 625 ± 10 nm인 빨간색의 광 또는 590 ± 10 nm인 황색의 광이 될 수 있다. 각 파장의 광은 개별적으로 설정된 점등 주기에 따라 점등 및 소등 시간이 결정될 수 있다. 이 경우 LED 램프 (110)는 서로 다른 색상의 광을 방출하는 복수의 LED를 포함할 수 있다.

- 또한, 각 광의 점등 주기 설정을 위한 램프 제어부를 더 포함할 수 있다. 램프 제어부는 특정 시간, 예를 들면, 외부가 어두울 때에만 각 광을 점등할 수 있다. 또한, 램프 제어부는 각 광을 함께 점등하거나 또는 서로 다른 시간에 점등 할 수도 있다.

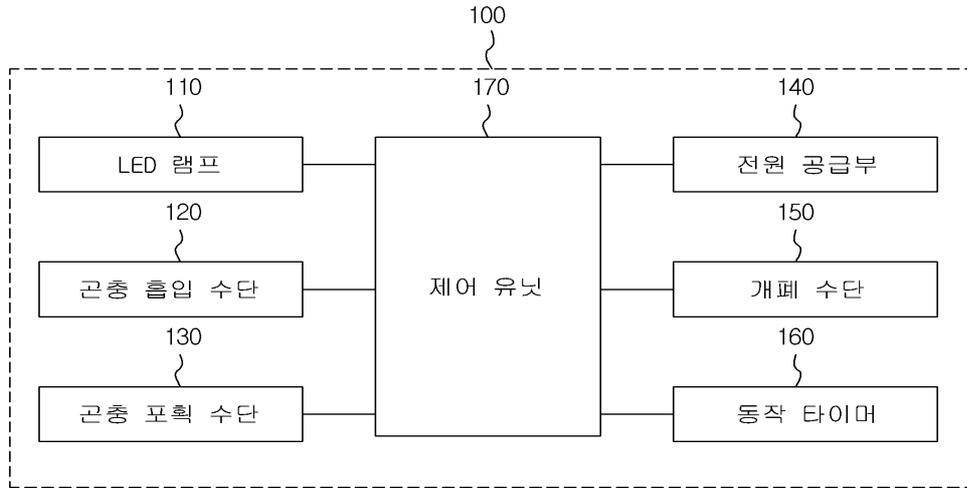


그림 28. LED를 이용한 해충 유인 장치의 블록 구성도

- 그림 29는 LED를 이용한 해충 유인 장치의 회로의 블록 구성도이다. 도 2를 참조하면, LED (111), SMPS (141), 주기 조정타이머 (161), 자동 차단기 (210), 조도 센서 (220), 모터 (230), LED 컬러 설정부 (240)가 된다.

- 자동 차단기 (210)는 유입되는 전류 (AC)가 쇼트 등에 의해 과도하게 흐르는 경우 회로를 차단한다. 조도 센서 (220)는 외부 환경의 조도를 측정하여 미리 설정된 조건을 만족할 때 본 실시예의 장치를 작동할 수 있다. 예를 들면, 측정된 조도가 미리 설정된 조도보다 낮은 경우, 즉, 외부 환경이 어두울 때 본 실시예의 장치를 작동할 수 있다. 이 경우 전류는 SMPS (141)를 경유하여 LED 컬러 설정부 (240)에 유입되며, LED 컬러 설정부 (240)는 전류를 각 컬러의 LED(111)에 제공하여 각 LED (111)를 점등시킬 수 있다. 여기서, LED (111)는 빨간색 (R), 녹색 (G), 파란색 (B), 화이트 (W), 노란색 (Y) 등의 LED가 될 수 있다.

- 여기서, 주기 조정타이머 (161)는 각 LED (111)의 점등 주기를 조절할 수 있다. 각 LED (111)의 점등 주기는 서로 같거나 다를 수 있으며, 각 LED (111)의 점등 시간이 서로 겹치거나 겹치지 않을 수 있다. 모터 (230)는 회전력에 의해 후술할 곤충 흡입 수단 (120)을 작동할 수 있다.

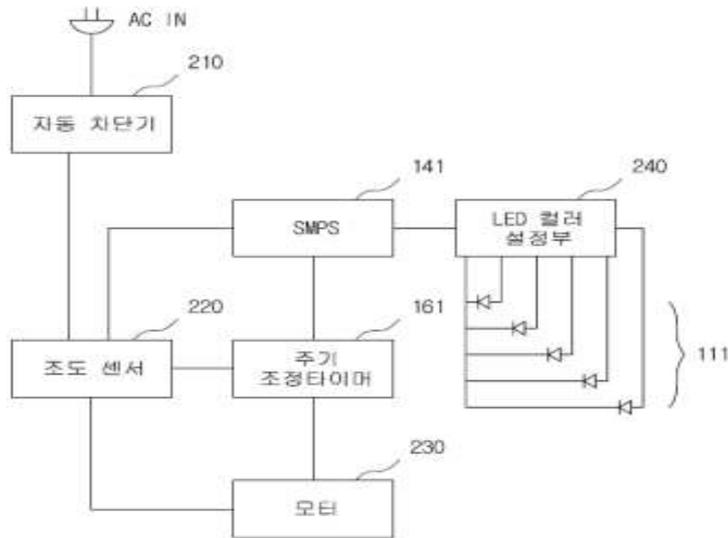


그림 29. LED를 이용한 해충 유인 장치의 회로의 블록 구성도

- 그림 30을 참조하면, 점등 램프 (310), 점등 버튼 (320), 타이머 (330)가 포함된 제어 화면이 도시된다. 사용자는 점등 버튼 (320)을 클릭하여 각 LED (111)를 점등하거나 소등할 수 있으며, 특정 LED (111)가 점등되는 경우 해당 LED (111)에 상응하는 점등 램프 (310)가 점등된다. 각 점등 버튼 (320)은 각 점등 램프 (310)에 대응될 수 있다. 또한, 사용자는 타이머 (330)를 이용하여 각 LED (111)의 점등 주기 및 점등 시간을 조절할 수 있다. 예를 들면, 사용자가 특정 점등 버튼 (320)을 클릭하고 타이머 (330)를 조절하면, 특정 LED (111)의 점등 주기 및 점등 시간이 설정될 수 있다.

- 곤충 흡입 수단 (120)은 LED 램프 (110)에 의해 유인된 곤충을 흡입하는 장치이다. 예를 들면, 곤충 흡입 수단 (120)은 전원 공급부 (140)에서 공급된 전원에 의해 회전하여 공기의 흐름을 제어함으로써 곤충을 흡입하는 팬 (fan)이 될 수 있다. 곤충 포획 수단(130)은 곤충 흡입 수단(120)에 의해 흡입된 곤충을 내부에 수용하는 기구물이다. 곤충 포획 수단(130)은 예를 들면, 그물망이 될 수 있다. 전원 공급부 (140)는 LED 램프 (110) 및 곤충 흡입 수단 (120)에 전원을 공급한다. 전원 공급부 (140)는 해충 유인 장치 (100)에 별도로 내장된 배터리이거나 또는 외부 AC 전원을 공급 받아 내부에 필요한 전압으로 변환하여 공급하는 컨버터가 될 수 있다.

- 개폐 수단 (150)은 곤충 포획 수단 (130)의 입구에 결합하여 곤충 흡입 수단 (120)의 작동 시 곤충 포획 수단 (130)의 입구를 개방하고, 곤충 흡입 수단 (120) 미작동시 곤충 포획 수단(130)의 입구를 폐쇄하는 수단이다.

- 개폐 수단 (150)은 다양한 방식으로 구현될 수 있다. 예를 들면, 곤충 포획 수단 (130)의 입구를 형성하는 개방면에 일부가 부착된 판형 부재, 예를 들면, 플렉서블한

판형 부재인 고무판을 구비하여 평소에는 고무판이 곤충 포획 수단 (130)의 입구를 막고, 곤충 흡입 수단 (120)이 동작하는 경우에는 공기의 흐름에 의해 고무판이 곤충 포획 수단 (130)의 입구를 개방하도록 할 수 있다.

- 이 경우 곤충 포획 수단 (130)의 입구를 형성하는 개방면은 지면과 수직하거나 경사질 수 있다. 후자의 경우 곤충 흡입 수단 (120)이 동작하지 않는 경우 개폐 수단은 중력에 의하여 경사진 개방면의 상면을 효과적으로 덮고, 곤충 흡입 수단 (120)이 동작하는 경우 바람에 의하여 개방면을 개방할 수 있다. 이 경우 개폐 수단은 개방면의 상단에 회동 가능하도록 결합하는 판형 부재가 될 수도 있다.

- 동작 타이머 (160)는 LED 램프 (110) 또는 곤충 흡입 수단 (120)이 미리 설정된 시간만큼 동작하도록 시간을 설정한다. 전자의 동작 타이머는 LED 동작 타이머, 후자의 동작 타이머는 흡입 동작 타이머로 지칭될 수 있다. LED 동작 타이머가 LED 램프 (110)를 동작시키는 시간은 후술할 실험에 의하여 해충 유인에 효과적인 시간으로 파악된 시간이 될 수 있으며, 예를 들면, LED 동작 타이머는 LED 램프 (110)를 90분 내지 120분 동안 연속으로 동작시킬 수 있다.

- 또한, 흡입 동작 타이머는 LED 램프 (110)가 계속 점등되는 동안 소정의 주기에 따라 곤충 흡입 수단 (120)의 동작과 미동작을 반복할 수 있다. 곤충 흡입 수단 (120)이 계속 동작하는 경우에는 전력 소비가 커지는 문제점이 있으므로, 곤충이 많이 활동하는 시간대에 소정의 주기, 예를 들면, 30분, 1시간, 2시간 등 특정 시간을 주기로 곤충 흡입 수단 (120)의 동작과 미동작을 반복할 수 있다.

- 또한, LED 램프 (110) 또는 곤충 흡입 수단 (120)이 미리 설정된 주기에 따라 동작과 미동작을 반복하는 자동 모드와, 관리자에 의해 LED 램프(110) 또는 곤충 흡입 수단 (120)의 동작 여부가 설정되는 수동 모드를 선택하는 모드 선택부(미도시)를 더 포함할 수 있다. 자동 모드에서는 LED 램프 (110)가 켜져 있는 상태에서 곤충 흡입 수단 (120)이 미리 설정된 주기에 따라 동작과 미동작을 반복하거나 또는 LED 램프 (110)와 곤충 흡입 수단 (120)이 동시에 미리 설정된 주기에 따라 동작과 미동작을 반복할 수 있다. 모드 선택부는 소정의 스위치 형상 또는 버튼 형상으로 구현될 수 있다. 수동 모드에서는 관리자가 직접 LED 램프 (110) 및/또는 곤충 흡입 수단 (120)을 켜거나 끈다.

- 제어 유닛(170)은 상술한 LED 램프 (110), 곤충 흡입 수단 (120), 곤충 포획 수단 (130), 전원 공급부 (140), 개폐 수단 (150), 동작 타이머 (160)가 서로 연동하면서 자신의 고유한 기능을 수행하도록 각 기능부를 제어한다.

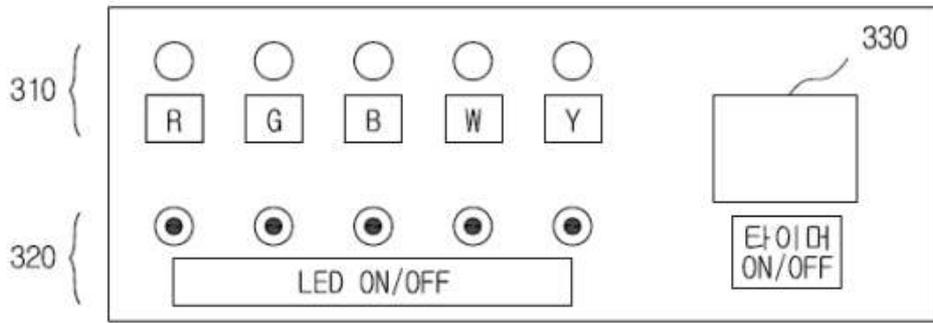


그림 30. LED를 이용한 해충 유인 장치의 제어 화면

- 그림 31는 LED를 이용한 해충 유인 장치의 평면도이고, 그림 32는 측면도이며, 그림 33은 저면도이다. 그림 31 내지 그림 33을 참조하면, 전등갓 (410), 지지수단 (420), LED 램프 (430), 모터 (440), 팬 (450), 개폐 수단 (460), 걸림턱 (470), 탄성 힌지 (480), 곤충 포획 수단 (490)이 된다.

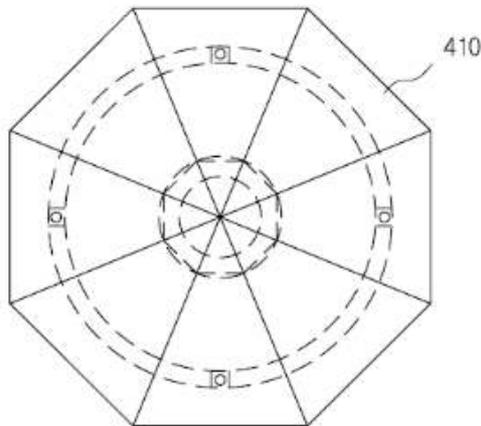


그림 31. LED를 이용한 해충 유인 장치의 평면도

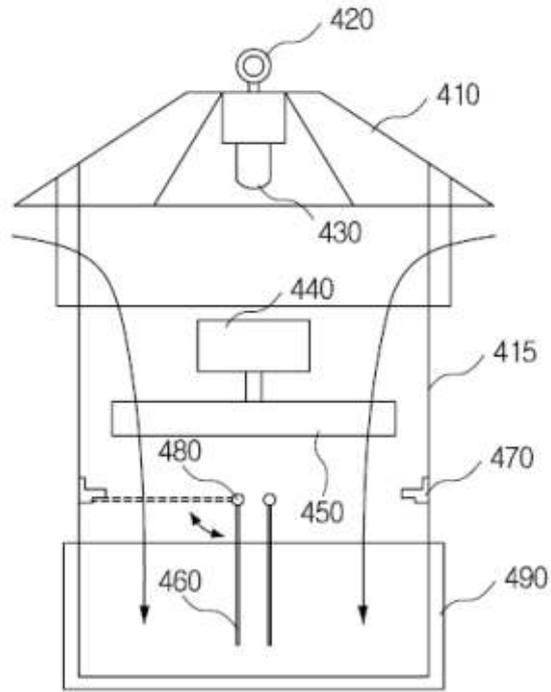


그림 32. LED를 이용한 해충 유인 장치의 측면도

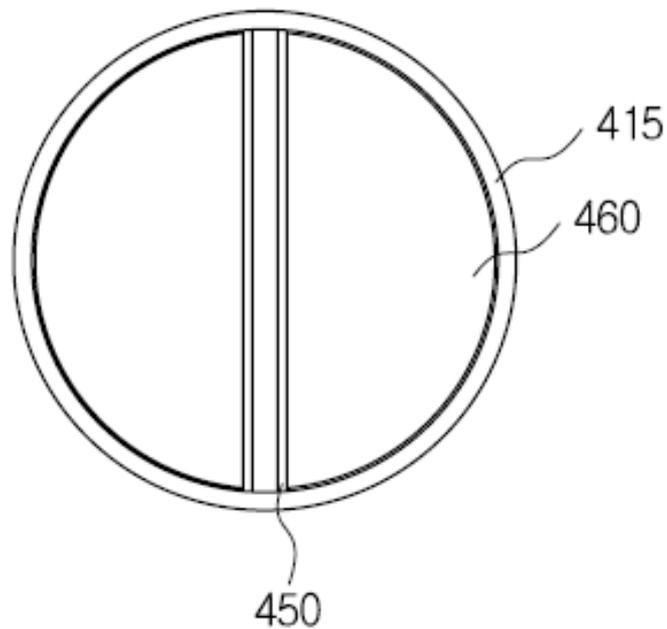


그림 33. LED를 이용한 해충 유인 장치의 저면도

- 전등갓 (410)은 LED를 이용한 해충 유인 장치의 등갓이다. 전등갓 (410)의 상부에는 특정 위치에 걸 수 있는 지지수단 (420)이 마련된다. LED 램프 (430)는 전등갓

(410)의 하부에 위치하여 상술한 바와 같이 다양한 색상의 광을 방출한다. 모터 (440)는 팬 (450)을 동작시켜서 화살표 방향으로 공기를 유입시켜서 해충을 곤충 포획 수단 (490)으로 유도한다.

- 개폐 수단 (460)은 그림 33에 도시된 바와 같이 반원 형상이 될 수 있으며, 탄성 힌지 (480)에 의해 모터 (440)가 작동하지 않는 경우 걸림턱 (470)에 일단이 걸린 상태에서 수평으로 위치 (점선)하며, 모터 (440)가 작동하는 경우 유입되는 공기의 힘으로 수직으로 위치 (실선)할 수 있다. 개폐 수단 (460)이 수평일 때에는 곤충 포획 수단 (490) 내부의 해충이 외부로 나오지 못하며, 개폐 수단 (460)이 수직인 경우에는 공기에 의해 유도되는 해충이 곤충 포획 수단 (490) 내부로 유입될 수 있다.

- 여기서, 탄성 힌지 (480)는 개폐 수단 (460)의 일측에 결합하여 개폐 수단 (460)이 수평으로 위치하도록 탄성력을 인가하는 수단이다. 예를 들면, 탄성 힌지 (480)는 개폐 수단 (460)의 일측에 결합한 힌지이며, 선스프링, 판스프링, 코일스프링 등 다양한 종류의 스프링과 같은 탄성 수단이 추가로 더 결합할 수 있다. 이 경우 탄성 수단의 탄성력이 없으면, 개폐 수단 (460)은 중력에 의해 곤충 포획 수단 (490)을 개방할 수 있으므로, 탄성 수단의 탄성력은 개폐 수단(460)이 도면의 수평으로 유지되도록 하는 힘이상이 될 수 있으며, 유입되는 공기의 미는 힘과 중력을 더한 힘보다는 작을 수 있다.

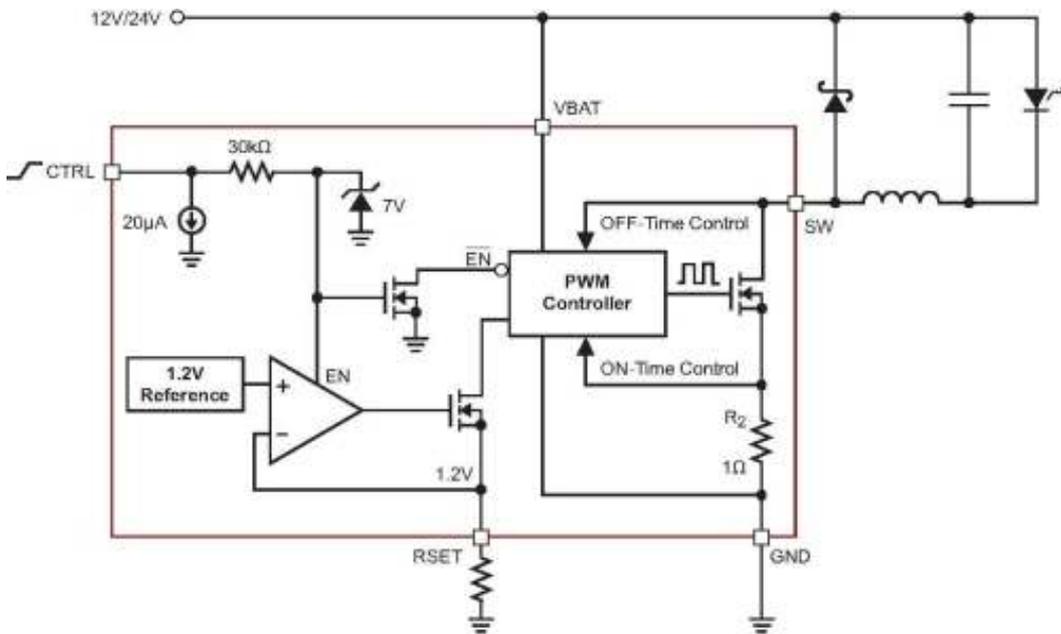


그림 34. LED를 이용한 해충 유인 장치의 전원 회로도

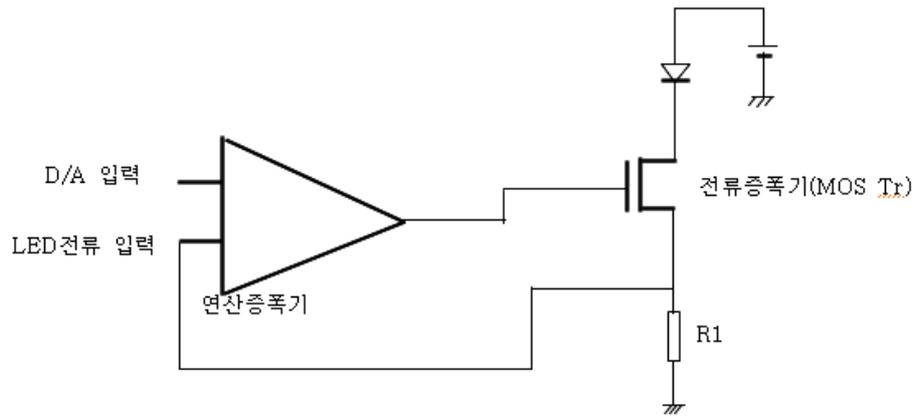


그림 35. LED를 이용한 해충 유인 장치의 전류 흐름도

제2절 LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발

□ 연구수행 내용

1. 문헌조사

시설재배지에서 큰 피해를 야기하는 농업해충의 종류와 이들의 생활사, 피해유형, 발생생태 및 기존 방제방법 등에 관련된 정보 수집을 위하여 다양한 문헌과 국·내외 학술전용 D/B를 이용하여 Applied Entomology and Zoology, Asian-Pacific Entomology, Environmental Entomology, Experimental and Applied Acarology, Florida Entomologist, Journal of Economic Entomology, Journal of Insect Behavior, Journal of Insect Physiology, Journal of Medical Entomology, Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, Journal of Vector Ecology 및 The Korean Journal of Pesticide Science와 같은 학술저널을 통해 농업해충 관련 정보를 탐색하였다. 또한 LED 관련 최근 연구경향에 대한 전반적인 연구논문을 수집하고, 각 대학교와 농촌진흥청에 보유된 온라인 논문 및 연구동향을 참고하여, 본 연구에 필요한 자료를 수집하였다. 검색한 정보를 바탕으로 시설재배지에서 큰 문제를 발생시키는 주요 해충들 중에 가루이류, 나방류, 딱정벌레류, 뿌리혹선충류, 응애류, 진딧물류, 및 총채벌레류 등의 농업해충들을 후보 해충군으로 선발하였으며, 이들에 대한 생활사, 생리적 특성, 발생통계 및 다양한 방제법 등을 조사하여 LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발의 기초 자료로 활용하였다 (Antignus Y 2000).

2. 실험곤충 선발 및 사육

문헌 및 통계자료를 통해 시설재배지 및 곡물저장소내 주요해충 6종, 과밤나방 (*Spodoptera exigua*), 담배거세미나방 (*Spodoptera litura*), 담배가루이 (*Bemisia tabaci*) 및 꽃노랑총채벌레 (*Frankliniella occidentalis*)를 본 연구의 공시충으로 선발하였으며, 다음과 같은 조건에서 계대 사육하여 본 연구에 사용하였다.

1) 과밤나방 (*S. exigua*)

- 과밤나방은 2009년 국립농업과학원 농업생물부로부터 분양받아 어떠한 살충제의 노출 없이 전북대학교 응용식물생화학실험실에서 인공사료 (표 1)를 먹이로 공급하여

계대 사육한 것을 사용하였다. 사육환경은 온도 $27 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $60 \pm 5\%$, 광주기 16L:8D 조건하의 항온항습실에서 사육하였다. 파밤나방의 계대 사육을 위하여 1령 충부터 번데기 기간 동안은 Insect breeding dish ($10 \times 4 \text{ cm}$)의 바닥에 키친타월을 깔아 주고 그 위에 적당한 크기로 절단된 인공사료와 함께 약 30마리 정도를 사육하였으며, 2~3일 간격으로 키친타월과 인공사료를 교체하였다. 번데기가 되면 암·수 성비율 (1:2)을 맞춰 곤충사육케이지 ($35 \times 45 \times 35 \text{ cm}$)에 넣어주었으며, 우화된 성충이 섭취할 수 있게 인공사료와 3% 설탕물을 추가로 제공하여 사육하였다. 채란은 곤충사육케이지 안쪽에 산란용 종이 (유산지)를 거꾸로 세워놓고, 성충이 산란한 난괴를 종이에 붙은 채로 잘라서 petri dish에 보관하였다.

표 1. 파밤나방의 인공사료 조성표

성분	량
콩가루	113 g
밀맥아(엿기름)	113 g
건조효모	60 g
Agar powder	27 g
MPH(p-Hydroxybenzoic acid methyl ester)	4.5 g
L-Ascorbic acid	15 g
Sorbic acid	2.3 g
포르말린(10%)	2.3 mL
소금(Wesson's salt mixture)	5 g
원비산(Vitamin)	15 g
Distilled Water	900 mL



그림 1. 파밤나방 (*S. exigua*)의 사육단계별 방법

2) 담배거세미나방 (*S. litura*)

- 담배거세미나방은 2009년 국립농업과학원 농업생물부로부터 분양받은 감수성 계통으로서, 전북대학교 응용식물생화학실험실에서 인공사료 (표 2)를 먹이로 공급하여 계대 사육한 것을 사용하였다. 공시충의 사육은 온도 $27 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $60 \pm 5\%$, 광주기 16L:8D의 조건하의 항온항습실에서 사육하였다. 부화 후 2령까지는 집단 사육하였으며, 3령부터 번데기 직전까지는 petri dish(10 × 4 cm)에 개체 사육하였다. 먹이로 공급된 인공사료 (1.5 × 3 cm)는 먹는 양에 맞추어서 적절히 증가시켜 보충하였으며, 또한 유충 발육에 적당한 습도 공급을 위해 먹이가 마르기 전에 교체해 주었다. 담배거세미나방의 번데기는 현미경을 통해 암, 수를 구분하고 비율 (1:2)을 맞추어 곤충사육케이지 (35 × 35 × 35 cm)에서 우화시켰으며, 우화된 성충이 섭취할 수 있게 인공사료와 3% 설탕물을 추가로 제공하였다. 담배거세미나방의 채란은 곤충사육케이지 안쪽에 산란용 종이 (유산지)를 거꾸로 세워놓고, 성충이 산란한 난괴를 종이에 붙은 채로 잘라서 petri dish에 보관하여 사육하였다.

표 2. 담배거세미나방의 인공사료 조성표

성분	량
콩가루	113 g
밀맥아(엿기름)	113 g
건조효모	60 g
Agar powder	27 g
MPH(p-Hydroxybenzoic acid methyl ester)	4.5 g
L-Ascorbic acid	15 g
Sorbic acid	2.3 g
포르말린(10%)	2.25 mL
소금(Wesson's salt mixture)	7.5 g
비타민(월비산)	15 g
Distilled Water	1,000 mL

3) 담배가루이 (*B. tabaci*)

- 담배가루이는 2010년 국립농업과학원 농업생물부로부터 b-type을 분양받아 어

떠한 살충제의 노출 없이 전북대학교 응용식물생화학실험실에서 가지를 기주식물로 하여 계대 사육한 것을 사용하였다. 담배가루이의 계대사육을 위해 식재한지 4~5주 정도의 가지 모종을 기주식물로 공급하였으며, 공급 3주째를 전후하여 기주식물을 교체하여 사육하였다 (그림 2).



그림 2. 항온항습실내 담배가루이의 계대배양

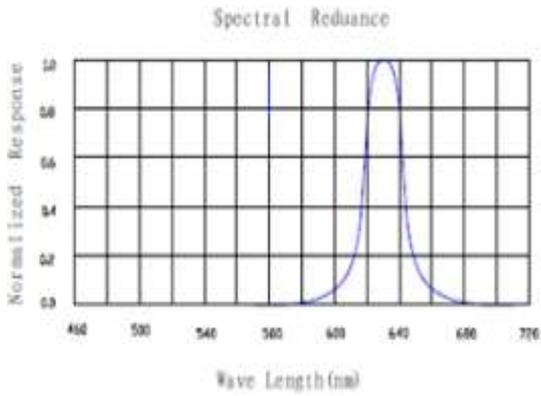
4) 꽃노랑총채벌레 (*F. occidentalis*)

- 꽃노랑총채벌레는 2012년 국립농업과학원 농업생물부로부터 분양받아 어떠한 살충제의 노출없이 전북대학교 응용식물생화학실험실에서 강낭콩을 기주식물로 하여 계대 사육한 것을 사용하였다. 사육환경은 온도 $27 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 상대습도 60 ± 5 , 광주기 16L:8D 조건하의 항온항습실에서 사육하였다. 꽃노랑총채벌레의 계대사육을 위해 짝을 틔운 강낭콩의 떡잎을 기주로 공급하였으며, 사용한 기주는 매일 교체하며 사육하였다.

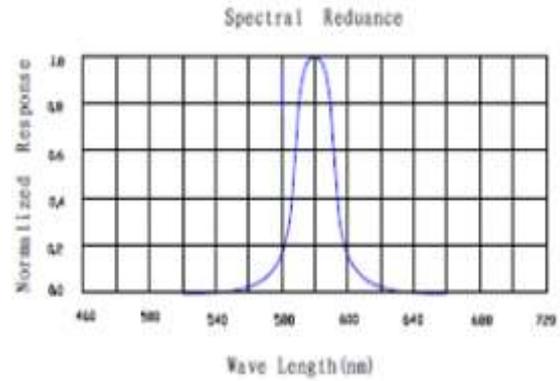
3. 실험에 사용된 광원 및 장치

1) LED 광원

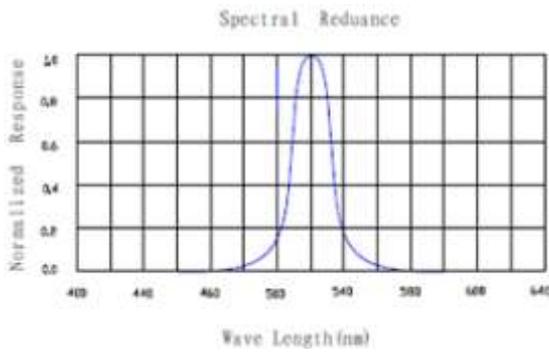
- 다양한 파장에 따른 공시충의 행동제어 활성을 검증하기 위해 사용된 광원은 470nm (blue), 520nm (green), 590nm (yellow), 625nm (red) 및 450~620nm (white)의 단일 또는 혼합파장을 갖는 LED이며, 이는 1세부과제 (주)그린테크에서 공급받아 본 연구에 사용하였다. 각각의 파장에 대한 스펙트럼은 그림 3에 나타내었다.



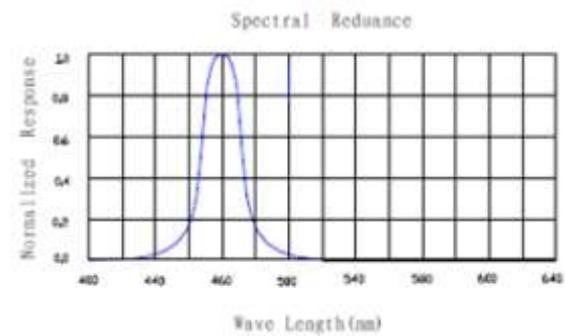
625 nm (Red)



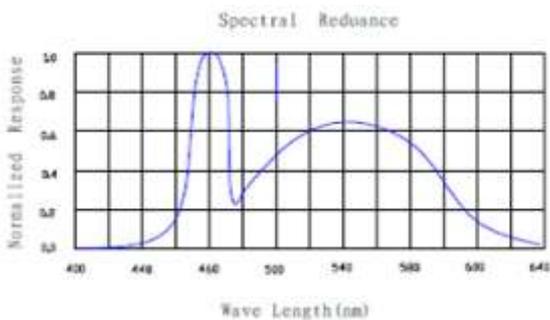
590 nm (Yellow)



520 nm (Green)



470 nm (Blue)



450-620 nm (White)

그림 3. 연구에 사용된 LED 스펙트럼

2) 실험장비

○ 나방류 해충

- 나방류 해충인 파밤나방과 담배거세미나방의 행동 제어활성을 측정하기 위해 (주)그린테크와 논의하여 본 실험의 취지에 알맞은 광원에 따른 실험용 chamber를 제작하였다 (그림 4). 제작된 실험용 chamber는 제 1세부과제 (주)그린테크와 본 연구팀 간에

협조아래 몇 차례 수정작업을 거쳐 완성하였고, LED 광원 또한 몇 차례 수정작업을 거쳐 완성품을 양도받아 공시층의 기피/유인 활성에 따른 행동 양식을 측정하기 위해 본 연구에 사용하였다.

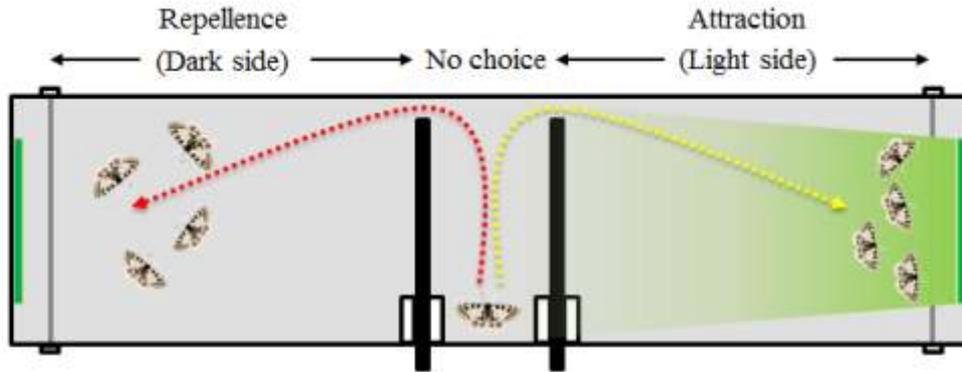


그림 4. 해충의 기피/유인 활성 측정을 위한 실험용 chamber

- 그림 5와 같이 제작된 chambersms 가운데 곤충투입구를 기준으로 양쪽에 가림막이 설치되어있고, 가림막을 기준으로 Light side, No choice 및 Dark side로 구분된다. 기피/유인 활성의 측정은 본 chamber내에서 중앙의 곤충투입구에 곤충을 투입하고 투입된 곤충이 특정 파장의 빛에 따라 나타내는 행동반응을 관찰하는 방식으로 진행되었다. 특정 파장의 빛에 노출된 해충이 Light side로 이동하면 유인으로 간주하고, Dark side로 이동하면 기피로 간주하였다. 때때로 투입된 위치에서 이동하지 않는 개체도 존재하였는데 이는 무반응으로 처리하여 행동반응을 평가하였다.

○ 미소해충

- 선발된 해충들 중 1 cm이하의 크기를 가지는 미소해충 (담배가루이, 꽃노랑총채벌레)에 대한 행동 제어활성을 측정하기 위해 (주)그린테코와 논의하여 본 실험의 취지에 알맞게 Y-maze를 변형시킨 실험 장비를 완성하였다 (그림 5). 제작된 실험장비는 (주)그린테코와 본 연구팀간의 협조아래 몇 차례 수정작업을 거쳐 완성품을 양도받았으며, 이를 이용하여 선발된 미소해충의 빛에 대한 행동반응을 측정하기 위한 장비로 사용하였다.

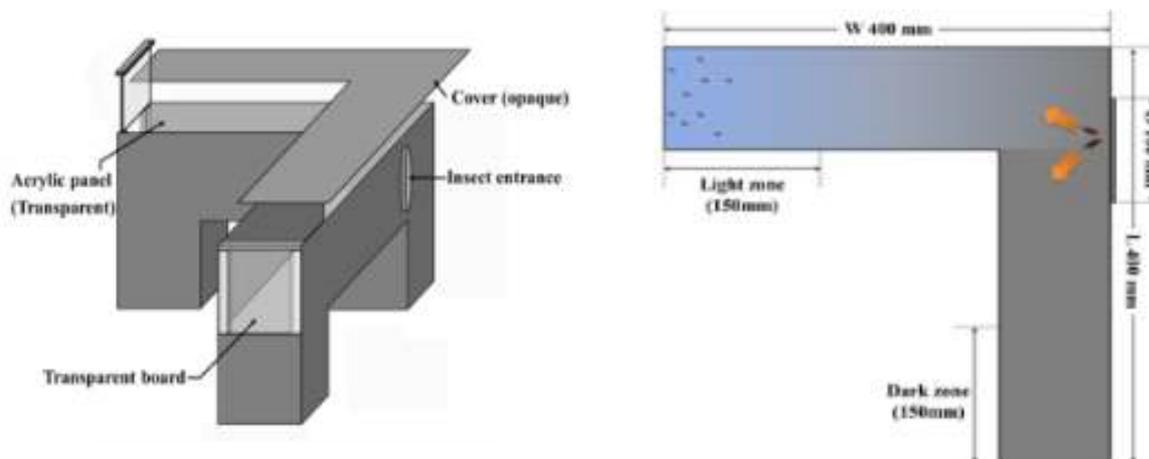


그림 5. 미소해충 유인/기피 활성 측정을 위한 Y-maze

4. 선발된 농업해충의 LED 생물검정법 확립

1) 기피/유인 활성 측정법의 확립

- 공시충의 행동반응 평가는 곤충투입구를 통해 유입된 해충이 빛이 들어오는 light zone으로 이동하면 유인반응으로 간주하였고, 암조건 dark zone으로 이동한 개체는 기피반응으로 간주하였다. 또한 미소해충용 Y-maze에서 각각의 light zone 또는 dark zone의 15 cm 이내의 범위에 위치하지 않은 개체는 무반응으로 판단하였다.

2) 조건별 (파장, 광량 및 조사시간) 행동반응에 대한 측정법 확립

- 곤충의 시각적 자극은 빛의 파장, 광량 및 조사시간의 3가지 주요 조건에 의해 행동반응 양상이 크게 좌우된다는 선행연구 결과를 바탕으로 각각의 파장별 다양한 조사조건을 설정하여 공시충의 행동반응을 관찰하였다.

2-1) 파밤나방

- 조사조건에 따른 파밤나방의 행동반응을 평가하기 위하여 파장 (470, 520, 590 및 625 nm), 조도 (20, 40, 60, 80 및 100 lx) 및 조사시간 (20, 40, 60, 80 및 100 min)을 변화시키며 다양한 환경조건에서의 나방류의 행동반응을 측정하였다. 각각의 조건하에서 나방류의 유인/기피반응을 측정하였으며, 각 반응이 최대치일 때의 조도 및 조사시간을 선발하고 선발된 최적의 조도와 조사시간을 조합하여 최적의 환경조건하에서의 해충의 행동반응을 측정하였다.

2-2) 담배거세미나방

- 담배거세미나방의 조사조건에 따른 행동반응을 평가하기 위하여 파장 (470, 520, 590 및 625 nm), 조도 (20, 40, 60, 80 및 100 lx) 및 조사시간 (20, 40, 60, 80 및 100 min)을 변화시키며 다양한 환경조건에서의 나방류의 행동반응을 측정하였다. 각각의 조건하에서 나방류의 유인반응을 측정하였으며, 각 반응이 최대치일 때의 조도 및 조사시간을 선발하고 선발된 최적의 조도와 조사시간을 조합하여 최적의 환경조건하에서의 해충의 행동반응을 측정하였다.

2-3) 담배가루이

- 담배가루이의 조사조건에 따른 행동반응을 평가하기 위해 4종류의 단일파장 (470, 520, 590 및 625 nm)와 1가지의 혼합파장 (450-620 nm)을 대상으로 5단계의 조도 (20, 40, 60, 80 및 100 lx)과 조사시간 (30, 60, 90, 120, 150 및 180 min)을 조사조건으로 설정하여 주광성반응을 관찰하였다. 각각의 조건에서 유인 또는 기피반응이 최대치일 때의 각 파장별 조사조건을 선발하였으며, 선발된 최적의 조건하에서 파장별 해충의 행동반응을 측정하였다.

2-4) 꽃노랑총채벌레

- 꽃노랑총채벌레의 조사조건에 따른 행동반응을 평가하기 위해 4종류 단일파장 (470, 520, 590 및 625 nm)과 1종류의 혼합파장 (450-620 nm)을 대상으로 5단계의 조도 (20, 40, 60, 80 및 100 lx) 와 6단계의 조사시간 (30, 60, 90, 120, 150 및 180 min)을 조사조건으로 설정하여 주광성반응을 관찰하였다. 각각의 조건에서 유인 또는 기피반응이 최대치일 때의 각 파장별 조사조건을 선발하였으며, 선발된 최적의 조건하에서 파장별 해충의 행동반응을 측정하였다.

3) 통계분석

- 모든 실험은 외부 빛에 대한 간섭효과를 최소화하기 위해 암실에서 진행되었으며 각각의 실험은 6회 반복 실험을 기본으로 하여 얻어진 결과를 통계프로그램 (SPSS)을 이용하여 평균±표준오차 또는 백분율(%)로 결과 값을 나타내었다.

□ 주요 결과

○ LED와 기존광원과의 비교

1) 시설해충 제어에 효과적인 LED 단색광 확산범위 설정

- 시설재배지와 같이 넓은 공간 안에서 LED 광원을 설치하였을 때 실제 해당 기주식물체 또는 시설해충에 어느 정도의 조도로 도달하는지를 가늠하고 이를 보정하기 위해 LED 단색광의 확산범위를 측정하였다. 조도조절이 불가능한 형광등을 대조구로 사용하였으며, 형광등으로부터 10 cm 떨어진 곳에서 조도는 측정한 결과 860 lx가 측정되었다. 따라서 이를 기준으로 조도조절이 가능한 LED 단색 광원을 같은 조건인 860 lx로 고정하고 10 cm씩 뒤로 이동시켜 각각의 거리에 따른 조도를 측정하였다.

표 3. LED 단색광과 형광등의 확산범위 측정 (기준 10 cm)

Wavelength	Intensity of radiation (lx)						
	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm	70 cm
470 nm (파란색)	860	488	290	187	136	101	85
520 nm (녹색)	860	505	300	188	136	101	85
590 nm (노란색)	860	475	280	180	130	96	75
625 nm (빨간색)	860	512	301	189	137	102	86
Fluorescent (control)	860	382	200	122	87	62	50

- 실험결과 대조구로 사용된 형광등의 경우 처음 측정 지점에서 10 cm떨어진 지점에서 조도를 측정하였을 때 860 lx에서 382 lx로 줄어들었으며, 거리가 멀어질수록 조도가 점차 줄어들어 곤충투입구인 70 cm 부분에서는 50 lx의 조도를 나타내었다. 위와 동일한 조건에서 LED 단색광원인 470 nm (파란색), 520 nm (녹색), 590 nm (노란색) 및 625 nm (빨간색)의 경우 70 cm 부분에서 각각 85 lx, 85 lx, 75 lx 및 86 lx의 조도를 나타내어 대조구로 사용된 형광등에 비해 우수한 확산 능력이 관찰되었다(표 3.) 또한, 설치 높이에 따라서 50 cm 이상을 벗어날 경우 형광등의 경우 최소 10배 이상의 조도가 필요함을 알 수 있었다. 이와 같은 결과를 바탕으로 형광등은 LED 단색광에 비해 광의 확산범위가 짧고, 광효율성이 낮다고 판단된다.

2) LED 단색광과 기존광원의 효율성 비교분석

- 광효율은 지정된 조도에 도달할 때의 전력량을 측정하여 조도를 전력량으로 나누어 산출하였으며, 이 값들을 형광등과 비교하기 위해 40 lx를 기준으로 상대적인 효율성을 비교하였다. 형광등 (380~800 nm)을 기준으로 470 nm (파란색)는 약 8.71배, 520 nm (녹색)는 약 4.78배, 590 nm (노란색)는 3.20배 그리고 625 nm (빨간색)는 10.34배 광효율이 뛰어났으며, 그 중 625 nm (빨간색) 파장을 갖는 LED가 가장 효율성이 뛰어났고 그 다음으로 470 nm (파란색), 520 nm (녹색), 590 nm (노란색) 순으로 나타났다. 따라서 본 연구에 사용된 4종의 LED 단색 광원이 기존 광원인 형광등보다 모두 광효율이 뛰어나 농업해충 방제를 위한 대체 광원으로서의 이용 가능성을 제시하였다 (표 4).

표 4. 실험용 chamber에 설치된 4개의 LED와 형광등의 광효율성 비교^a

Wavelength (nm) (Color)	Illuminance efficiency (lx/W) ^b					RE ^c
	20 lx	40 lx	60 lx	80 lx	100 lx	
470 ± 10 nm (파란색)	43.48	52.78	51.42	51.05	50.63	8.71
520 ± 5 nm (녹색)	27.40	28.97	28.71	28.37	27.93	4.78
590 ± 5 nm (노란색)	18.52	19.42	19.05	18.56	17.67	3.20
625 ± 10 nm (빨간색)	55.56	62.70	61.08	60.85	60.61	10.34
380-800 nm (Fluorescent)	5.56	6.06	5.94	5.88	5.73	1.00

^aEach value is the average of 3 determinations after exposed for 30 min.

^bIlluminance efficiency (lx/W) = illuminance per watt of LED.

^cRelative efficiency (based on the 40 lx results)=illuminance efficiency value of LED/illuminance efficiency value of fluorescent

1. 해충행동반응 실험 결과

1) 파밤나방 (*S. exigua*)

(가) 파밤나방 제어에 효과적인 LED 단색광 파장대 선발

- 파밤나방의 제어에 효과적인 파장을 선발하기 위해 470 nm (파란색), 520 nm (녹

색), 590 nm (노란색) 및 625 nm (빨간색)의 파장을 갖는 LED를 임의의 조건인 100 lx의 조도와 30분의 조사시간에서 초기 생물검정을 실시하였다(Oh MS et al 2011). 그 결과, 파밤나방에 대한 단색광 LED 파장의 유인율을 470 nm에서 55%, 520 nm에서 60%, 590 nm(노란색)에서 35% 및 625 nm에서 25%로 나타나 실험에 사용한 4가지의 단색광 LED중에서 520 nm가 가장 높은 유인 효과를 나타냄을 확인할 수 있었다 (표 5).

표 5. 파밤나방에 대한 파장별 행동반응 비교^a

Species	Attraction rate (%) ^b			
	470 nm (파란색)	520 nm (녹색)	590 nm (노란색)	625 nm (빨간색)
파밤나방 (<i>S. exigua</i>)	55%	63%	35%	25%

^aEach value is the average of 3 determinations after 30 min and 100 lx exposure, with 30 adult insects per replication.

^bAttraction rate (%) is the average percentage of the 30 *S. exigua* adults.

(나) 파밤나방 제어에 효과적인 LED 단색광 조도 선발

- 파밤나방의 유인활성을 검정하기 위해 470 nm (파란색), 520 nm (녹색), 590 nm (노란색) 및 625 nm (빨간색)의 파장을 갖는 LED를 다양한 조도별로 노출시킨 결과 470 nm (파란색)의 경우 20 lx에서 63%, 40 lx에서 73%, 60 lx에서 70%, 80 lx에서 63% 그리고 100 lx에서 50%의 유인율을 나타냈으며, 40 lx의 조도에서 가장 높은 유인활성을 나타내었다. 520 nm (녹색)의 경우 20 lx에서 75%, 40 lx에서 82%, 60 lx에서 77%, 80 lx에서 72% 및 100 lx에서 65%의 유인율을 보였고, 실험에 사용된 다른 광원보다 비교적 높은 유인활성을 나타내었다. 590 nm (노란색)의 경우 20 lx에서 57%, 40 lx에서 63%, 60 lx에서 53%, 80 lx에서 33% 및 100 lx에서 30%의 유인활성을 나타내어 470 nm (파란색)과 520 nm (녹색)에 비해 유인율이 다소 낮은 것이 관찰되었다. 마지막으로 625 nm (빨간색)는 20 lx에서 43%, 40 lx에서 53%, 60 lx에서 47%, 80 lx에서 33% 및 100 lx에서 23%의 유인활성을 나타내었으며, 40 lx에서 가장 높은 유인활성을 나타내었으나 다른 광원에 비해 가장 낮은 유인율을 나타내었다. 파밤나방에 대해 각 파장별 가장 효과적인 조도를 선발하기위한 실험을 진행한 결과 유인활성에 대한 파장

별 차이는 있었지만 4가지 단색광 파장 모두 40 lx의 조도에서 가장 높은 유인활성을 나타내었고, 이 결과를 토대로 40 lx의 조도가 LED를 파밤나방에 대한 유인인자로 작용하게 할 때 가장 효과적인 조도인 것을 확인할 수 있었다 (표 6).

표 6. 파밤나방에 대한 4종류 LED 파장의 다양한 조도별 유인활성 비교^a

Species	Wavelength (nm) (Color)	Attraction rate (%) ^b				
		Intensity of radiation (lx)				
		20 lx	40 lx	60 lx	80 lx	100 lx
파밤나방 (<i>S. exigua</i>)	470 ± 10 nm (파란색)	63%	73%	70%	63%	50%
	520 ± 5.0 nm (녹색)	75%	82%	77%	72%	65%
	590 ± 5.0 nm (노란색)	57%	63%	53%	33%	30%
	625 ± 10 nm (빨간색)	43%	53%	47%	33%	23%

^aEach value is the average of 3 determinations after 30 min exposure, with 30 adult insects per replication. ^bAttraction rate (%) is the average percentage of the 30 *S. exigua* adults that were attracted to various illuminance intensities.

(다) 파밤나방 제어에 효과적인 조사시간 선발

- 상기 실험에서 선발된 파밤나방 제어에 가장 효과적인 조도인 40 lx를 각각의 단색광 파장에 설정하고 조사시간을 20분 간격으로 100분 동안 파밤나방의 유인활성을 검정하여 최적의 조사시간을 선발하였다. 각 파장별로 조사시간별 유인율을 검정한 결과, 470 nm (파란색)의 경우 20분에서 60%, 40분에서 74%, 60분에서 80%, 80분에서 81% 및 100분에서 81%의 유인율을 나타내었으며, 60분을 기점으로 높은 유인활성을 나타내

었다. 520 nm (녹색)에서는 20분에서 64%, 40분에서 83%, 60분에서 88%, 80분에서 88% 및 100분에서 89%의 순으로 유인율을 나타내었다. 또한 590 nm (노란색)는 20분에서 33%, 40분에서 63%, 60분에서 63%, 80분에서 64% 및 100분에서 64%의 유인율이 관찰되었으며, 625 nm (빨간색)의 경우 20분에서 37%, 40분에서 54%, 60분에서 55%, 80분에서 56% 그리고 100분에서 56%의 유인율을 나타내었다 (표 7).

표 7. 파밤나방에 대한 4종류 LED 파장의 다양한 조사시간별 유인활성 비교^a

Species	Wavelength (nm) (Color)	Attraction rate (%) ^b				
		20 min	40 min	60 min	80 min	100 min
파밤나방 (<i>S. exigua</i>)	470 ± 10 nm (파란색)	60%	74%	80%	81%	81%
	520 ± 5 nm (녹색)	64%	83%	88%	88%	89%
	590 ± 5 nm (노란색)	33%	63%	63%	64%	64%
	625 ± 10 nm (빨간색)	37%	54%	55%	56%	56%

^aEach value is the average of 3 determinations per each light-exposure time, at 40 lx, using 30 adult insects per replication.

^bAttraction rate (%) is the average percentage of the 30 *S. exigua* adults attracted by the end of each light-exposure time.

(라) 최적의 조건하에서 파밤나방의 행동반응성 평가

- 파밤나방의 유인 반응성을 평가하기 위해 4가지 LED 광원을 이용하여 조도는 40 lx, 조사시간은 60분으로 설정하고 실험용 chamber에 파밤나방 성충 30마리를 방사한 후 반응성을 검정하였다. 그 결과 470 nm (파란색)와 520 nm (녹색)에서 평균 25마리 이상의 공시충이 광원이 있는 밝은 쪽으로 유인되는 것이 관찰되었다. 또한 590 nm (노란색)와 625 nm (빨간색)에서도 약 16마리 정도의 개체가 광원이 있는 쪽으로

유인되는 경향을 나타냈지만, 470 nm (파란색) 및 520 nm (녹색)에 비해 낮은 유인 활성을 가지는 것을 알 수 있었다. 상기 결과를 종합하여보면 파밤나방의 단색광 LED에 대한 반응은 파장에 따라 차이는 있지만 유인활성을 나타내었고, 실험에 사용된 4가지의 단색광 파장 중 단파장 계열인 470 nm (파란색)와 520 nm (녹색)이 장파장 계열의 파장보다 파밤나방을 제어하는데 효과적인 파장이라고 판단된다(표 9).

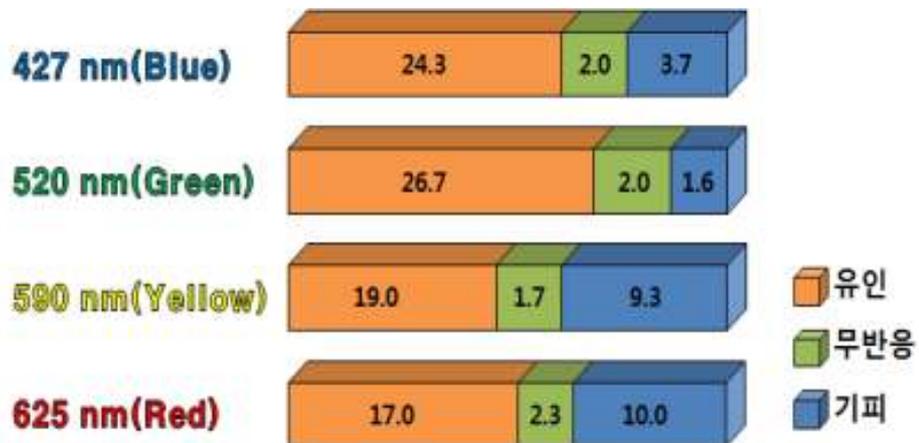
표 9. 최적 조건하에서 4종류 LED 파장에 따른 파밤나방의 행동반응 결과 비교^a

Species	Wavelength (nm) (Color)	Number of insect		
		Light side (Mean ± SE)	No choice (Mean ± SE)	Dark side (Mean ± SE)
파밤나방 (<i>S. exigua</i>)	470 ± 10 nm (파란색)	24.3 ± 0.3	2.0 ± 0.6	3.7 ± 0.9
	520 ± 5 nm (녹색)	26.7 ± 0.9	2.0 ± 0.6	1.6 ± 0.9
	590 ± 5 nm (노란색)	19.0 ± 1.7	1.7 ± 0.3	9.3 ± 1.5
	625 ± 10 nm (빨간색)	17.0 ± 1.0	2.3 ± 0.3	10.0 ± 1.0

^aEach value is the average of 3 determinations using the optimal light-exposure time at 40 lx, with 30 adult insects per replication.



파밤나방(*S. exigua*)



(마) 파밤나방 (*S. exigua*)의 형광등과 LED 단색광과의 제어활성 비교

- 파밤나방에 대한 LED 단색광원과 형광등의 제어활성을 비교해본 결과 LED 단색 광원인 470 nm (파란색)의 경우 81.1%, 520 nm (녹색)은 88.9%의 유인활성을 나타냈다. 또한 590 nm (노란색)의 유인활성은 63.3%, 625 nm (빨간색)의 경우 56.7%로 관찰되었다. 대조구로 사용된 형광등의 경우 80% 정도의 유인활성을 나타내었으며, 형광등과 비교해 본 결과 모든 파장에서 유의한 결과 값을 얻을 수 없었지만, 520 nm (녹색)에서 상대적으로 강한 유인활성이 관찰되었다. 반면 파밤나방에 대한 기피율을 살펴보면, 470 nm (파란색)는 12.2%의 기피활성을 나타내었고, 유인활성이 가장 높았던 520 nm (녹색)은 5.6%로 가장 낮은 기피율을 나타내었다. 또한 590 nm (노란색) 및 625 nm (빨간색)는 파밤나방에 대해 각각 31.1%와 33.3%의 기피활성을 나타내어 형광등 (12.2%) 보다 높은 기피활성을 나타내었다. 대조구인 형광등과 통계적으로 비교하였을 때 625 nm (빨간색)에서 유의한 결과를 나타내었지만 각 광원의 유인활성과 기피활성을 비교하였을 때 유인활성에 비해 기피활성이 매우 떨어지는 것을 알 수 있었다. 따라서 단색광 파장을 이용한 파밤나방의 제어는 단파장의 유인활성을 이용하는 것이 효과적이라 사료된다.

표 10. 최적 조건하에서 4종류 LED 파장과 형광등간의 유인율 및 기피율의 통계학적인 비교^a

Species	Wavelength (nm)	Light side (Mean ± SE) ^b	No choice (Mean ± SE)	Dark side (Mean ± SE)	Attraction rate (%) ^c
파밤나방 (<i>S. exigua</i>)	470 ± 10 nm (파란색)	24.3 ± 0.3a	2.0 ± 0.6	3.7 ± 0.9a	81.1
	520 ± 5 nm (녹색)	26.7 ± 0.9a	2.0 ± 0.6	1.6 ± 0.9a	88.9
	590 ± 5 nm (노란색)	19.0 ± 1.7a	1.7 ± 0.3	9.3 ± 1.5a	63.3
	625 ± 10 nm (빨간색)	17.0 ± 1.0b	2.3 ± 0.3	10.0 ± 1.0b	56.7
	380 ~ 800 nm (Fluorescent)	24.0 ± 0.6a	2.3 ± 0.6	3.7 ± 0.3a	80.0

^aEach value is the average of 3 determinations using the optimal light-exposure time at 40 lx, with 30 adult insects per replication.

^bMeans followed by the same letter had no significant difference (t-test, P < 0.05).

^cAttraction rate (%) is the average percentage of the 30 *S. exigua* adults that were attracted toward the light side.

(바) 파밤나방 (*S. exigua*)의 LED 단색광과 혼합광의 제어활성 비교

- 파밤나방이 LED 단색광원 (470, 520, 590, 및 625 nm)에 대해 뛰어난 유인활성을 보인 것을 바탕으로 혼합과장인 white LED (450-620 nm)광원을 이용하여 이들의 주광성 행동반응을 관찰한 결과, 가장 뛰어난 유인활성을 나타낸 520 nm (green)광원보다 더 높은 유인활성 (91.1%)을 확인할 수 있었으며, 대조구로 사용된 BL보다 약 1.14배 더 높은 유인활성을 나타내었다 (표 11). 따라서 white LED 광원을 파밤나방 제어를 위한 실증실험에 가장 적합한 기능성 광원으로 선발하였으며, 이를 제 3협동과제 (농업해충 방제용 LED 장치의 실증실험)의 실증실험 진행에 필요한 지식정보로 제공하였다.

표. 11. LED에 의한 파밤나방의 유인활성 비교^a

Wavelength (color)	Number of adults (Mean ± SE)	Attraction rate (%)
--------------------	------------------------------	---------------------

	Light side	No choice	Dark side	
470 nm (blue)	24.3 ± 0.3ab	2.0 ± 0.6	3.7 ± 0.9	81.1
520 nm (green)	26.7 ± 0.9ab	2.0 ± 0.6	1.6 ± 0.9	88.9
590 nm (yellow)	19.0 ± 1.7c	1.7 ± 0.3	9.3 ± 1.5	63.3
625 nm (red)	17.0 ± 1.0c	2.3 ± 0.3	10.0 ± 1.0	56.7
450~620 nm (white)	27.3 ± 0.9b	1.7 ± 0.7	1.0 ± 0.6	91.1
BL	24.0 ± 0.6a	2.3 ± 0.6	3.7 ± 0.3	80.0

^aEach value is the average of 3 determinations per each light-exposure time, using insects per replication.

2) 담배거세미나방 (*S. litura*)

(가) 담배거세미나방 제어에 효과적인 LED 단색광 파장대 선발

- 담배거세미나방의 효과적인 제어 활성을 검증하기 위해 470 nm (파란색), 520 nm (녹색), 590 nm (노란색) 및 625 nm (빨간색)의 파장을 갖는 LED를 임의의 조건인 100 lx의 조도와 30분의 조사시간에서 초기 생물검정을 실시하였다. 그 결과 담배거세미나방의 유인율을 470 nm (파란색)에서 32%, 520 nm (녹색)에서 30%, 590 nm(노란색)에서 25%, 625 nm (빨간색)에서 21%의 유인활성을 보였으며, 연구에 사용된 4가지 LED 단색광 파장 중 470 nm (파란색)에서 가장 높은 유인 활성을 나타내었다 (표 12).

표 12. 담배거세미나방에 대한 LED 파장별 행동반응 비교^a

Species	Attraction rate (%) ^b			
	470 nm (파란색)	520 nm (녹색)	590 nm (노란색)	625 nm (빨간색)
담배거세미나방 (<i>S. litura</i>)	42%	30%	25%	21%

^aEach value is the average of 3 determinations after 30 min and 100 lx exposure, with 30 adult insects per replication.

^bAttraction rate (%) is the average percentage of the 30 *S. litura* adults.

(나) 담배거세미나방 제어에 효과적인 LED 단색광 조도 선발

- 담배거세미나방의 유인활성을 검정하기 위해 4가지의 단색광 LED 파장의 조도별 유인활성을 평가하였다. 470 nm (파란색)의 경우 20 lx에서 34%, 40 lx에서 52%, 60 lx에서 44%, 80 lx에서 39% 및 100 lx에서 35%의 유인반응을 나타내었으며, 520 nm (녹색)는 20 lx에서 42%, 40 lx에서 64%, 60 lx에서 51%, 80 lx에서 46% 및 100 lx에서 32%로 담배거세미나방에 대해서 가장 높은 유인율을 나타내었다. 590 nm(노란색)는 20 lx에서 29%, 40 lx에서 41%, 60 lx에서 36%, 80 lx에서 24%, 100 lx에서 21%의 유인활성을 나타내었으며, 625 nm (빨간색)은 20 lx에서 25%, 40 lx에서 33%, 60 lx에서 28%, 80 lx에서 22% 및 100 lx에서 19%의 유인활성을 나타내었다. 상기 결과를 바탕으로 담배거세미나방에 대해 실험에 사용된 모든 파장의 빛으로부터 40 lx의 조도로 검정했을 때 가장 높은 유인활성을 나타낸다는 것을 알 수 있었으며, 장파장 영역보다는 단파장의 영역에서 유인활성이 더 높은 것을 알 수 있었다 (표 13).

표 13. 담배거세미나방에 대한 4종류 LED 파장의 다양한 조도별 유인활성 비교^a

Species	Wavelength (nm) (Color)	Attraction rate (%) ^b				
		Intensity of radiation (lx)				
		20 lx	40 lx	60 lx	80 lx	100 lx
담배거세미나방 (<i>S. litura</i>)	470 ± 10 nm (파란색)	34%	52%	44%	39%	35%
	520 ± 5.0 nm (녹색)	42%	64%	51%	46%	32%
	590 ± 5.0 nm (노란색)	29%	41%	36%	24%	21%
	625 ± 10 nm (빨간색)	25%	33%	28%	22%	19%

^aEach value is the average of 3 determinations after 30 min exposure, with 30 adult insects per replication.

^bAttraction rate (%) is the average percentage of the 30 *S. litura* adults that were attracted to various illuminance intensities.

- 상기 담배거세미나방에 대한 다양한 조도별 유인활성을 평가한 결과를 보았을 때 담배거세미나방은 40 lx에서 최고의 유인율을 나타내었으며 최적 조도인 40 lx를 넘어설 경우 오히려 유인율이 감소하는 현상이 관찰되었다. 따라서 담배거세미나방에 대해 최고의 유인활성을 나타내는 40 lx를 담배거세미나방을 제어하는데 최적의 조도로 선정하였으며, 이러한 결과는 담배거세미나방에 대한 유인·포획장치의 개발과 시설재배지 내 LED 방제시스템을 도입 시에 LED 광원의 최적 조도 설정에 기초자료가 될 것으로 사료된다.

(다) 담배거세미나방 제어에 효과적인 조사시간 선발

- 담배거세미나방에 대한 조사시간별 유인반응의 경우 470 nm (파란색)는 20분에서 38%, 40분에서 47%, 60분에서 51%, 80분에서 48% 그리고 100분에서 49%의 유인활성을 나타냈으며, 60분을 기점으로 높은 유인활성이 유지되는 행동반응을 보였다. 520 nm(녹색)는 20분에서 44%, 40분에서 50%를 나타냈으며 60분부터 100분까지는 63%의 비교적 높은 유인활성을 유지했다. 반면 590 nm (노란색)는 20분에서 27%, 40분에서 30%, 60분에서 41%, 80분에서 34% 그리고 100분에서 33%로 낮은 유인활성을 나타내

었고, 또한 625 nm (빨간색)는 20분에서 21%, 40분에서 25%, 60분에서 33%, 80분에서 27% 및 100분에서 26%의 유인율을 나타내었다. 상기 결과를 토대로 담배거세미나방의 유인활성을 검정하기 위한 최적의 조사시간은 60분으로 선발하였다.

표 14. 담배거세미나방에 대한 4종류 LED 파장의 다양한 조사시간별 유인활성 비교^a

Species	Wavelength (nm)	Attraction rate (%) ^b				
		20 min	40 min	60 min	80 min	100 min
담배거세미나방 (<i>S. litura</i>)	470 ± 10 nm (파란색)	38%	47%	51%	48%	49%
	520 ± 5 nm (녹색)	44%	50%	63%	63%	63%
	590 ± 5 nm (노란색)	27%	30%	41%	34%	33%
	625 ± 10 nm (빨간색)	21%	25%	33%	27%	26%

^aEach value is the average of 3 determinations per each light-exposure time, at 40 lx, using 30 adult insects per replication.

^bAttraction rate (%) is the average percentage of the 30 *S. litura* adults attracted by the end of each light-exposure time.

(라) 담배거세미나방의 유인반응성 평가

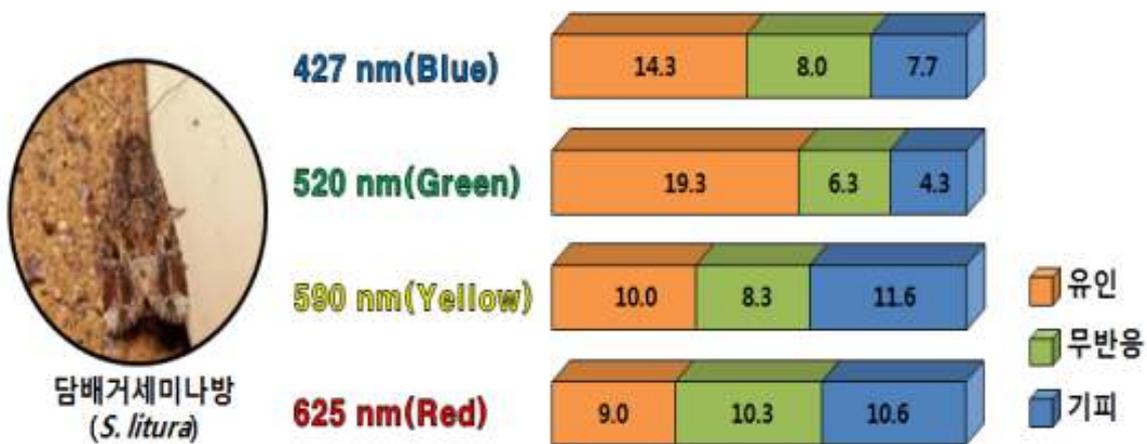
- 상기 실험을 통해 도출된 결과를 바탕으로 담배거세미나방에 대한 4종 LED의 최적의 조사조건을 조도 40 lx, 조사시간 60분으로 설정하였다. 이와 같은 조건으로 담배거세미나방의 행동반응을 평가하였다. 그 결과 470 nm (파란색)과 520 nm (녹색)에서는 약 47~67%의 공시충이 광원 쪽으로 유인되는 경향을 나타냈으나, 590 nm (노란색)과 625 nm (빨간색)에서는 약 30~33% 정도만이 광원 쪽으로 유인되는 것을 관찰할 수 있었다. 실험의 결과 앞에서 실험한 파밤나방과 유사한 반응을 나타내며 520 nm (녹색)에서 가장 높은 유인활성을 나타내었고 기피활성을 뚜렷하게 나타나지 않아 담배거세미나방을 제어하기 위해서는 유인활성을 이용해야 할 것으로 보인다. 하지만 결과적으로 무반응의 비율이 훨씬 더 높은 것으로 관찰되는데, 그 이유는 실제 담배거세미나방은 일몰 후와 새벽에 활동이 가장 활발하다고 알려져 있으므로 이는 해충별 빛에 대한

감수성의 차이 때문이라고 사료된다.

표 15. 최적 조건하에서 4종류 LED 파장에 따른 담배거세미나방의 행동반응 결과 비교^a

Species	Wavelength (nm) (Color)	Number of insect		
		Light side (Mean ± SE)	No choice (Mean ± SE)	Dark side (Mean ± SE)
담배거세미나방 (<i>S. litura</i>)	470 ± 10 nm (파란색)	14.3 ± 0.9	8.0 ± 0.6	7.7 ± 0.3
	520 ± 5 nm (녹색)	19.3 ± 0.7	6.3 ± 0.3	4.3 ± 0.3
	590 ± 5 nm (노란색)	10.0 ± 1.2	8.3 ± 0.9	11.6 ± 0.9
	625 ± 10 nm (빨간색)	9.0 ± 0.6	10.3 ± 0.3	10.6 ± 0.9

^aEach value is the average of 3 determinations using the optimal light-exposure time at 40 lx, with 30 adult insects per replication.



(마) 담배거세미나방 (*S. litura*)의 형광등과 LED 단색광과의 제어활성 비교

- 담배거세미나방의 경우에는 470 nm (파란색)은 47.7%, 520 nm (녹색)은 64.3%의 유인활성을 나타냈다. 또한 625 nm (빨간색)은 30.0%로 나타났고 590 nm (노란색)은 33.3%의 유인율을 나타내었다. 대조구로 사용된 형광등 (50.0%)과 비교해 본 결과 통계적으로 유의한 결과를 갖는 광원은 없었다. 또한, LED 광원과 형광등에 대한 담배거세미나방의 기피활성은 470 nm (파란색)는 25.7%, 520 nm (녹색)은 14.3%의 기피활성을 나타냈으며, 625 nm (빨간색)은 35.7%로 나타났고 590 nm (노란색)은 39.0%의 기피

율을 나타내었다. 상기 동일한 방법을 적용하여 형광등 (24.3%)과 비교해 본 결과 통계적으로 유의한 결과를 갖는 광원은 없었다 (표 16).

표 16. 최적 조건하에서 4종류 LED 파장과 형광등간의 유인율의 통계학적인 비교^a

Species	Wavelength (nm)	Light side (Mean ± SE) ^b	No choice (Mean ± SE)	Dark side (Mean ± SE)	Attraction rate (%) ^c
담배거세미나방 (<i>S. litura</i>)	470 ± 10 nm (파란색)	14.3 ± 0.9a	8.0 ± 0.6	7.7 ± 0.3a	47.7
	520 ± 5 nm (녹색)	19.3 ± 0.7a	6.3 ± 0.3	4.3 ± 0.3a	64.3
	590 ± 5 nm (노란색)	10.0 ± 1.2a	8.3 ± 0.9	11.6 ± 0.9a	33.3
	625 ± 10 nm (빨간색)	9.0 ± 0.6a	10.3 ± 0.3	10.6 ± 0.9a	30.0
	380 ~ 800 nm (Fluorescent)	15.0 ± 1.2a	8.3 ± 1.5	7.3 ± 0.3a	50.0

^aEach value is the average of 3 determinations using the optimal light-exposure time at 40 lx, with 30 adult insects per replication.

^bMeans followed by the same letter had no significant difference (t-test, P < 0.05).

^cAttraction rate (%) is the average percentage of the 30 *S. litura* adults that were attracted toward the light side.

^dRepellent rate (%) is the average percentage of the 30 *S. litura* adults that were repelled toward the dark side.

3) 담배가루이 (*B. tabaci*)

(가) 담배가루이 제어에 효과적인 LED 단색광 조도 선발

- 담배가루이의 활성 측정에 필요한 LED 단색광의 최적 조도 선발을 위해 상기 실험에서 사용된 470 nm (파란색), 520 nm (녹색), 590 nm (노란색) 및 625 nm (빨간색)의 단색광 LED를 이용하여 조도 조건에 대한 행동반응 실험을 실시하였다. 담배가루이의 반응성의 정도를 알아보기 위한 선행실험에서 빛에 대한 반응성이 매우 민감한 것으로 나타났기 때문에 조사할 수 있는 최대 조도인 100 lx를 기준으로 20 lx 간격으로 총 5단계 (20, 40, 60, 80 및 100 lx)의 조도에 대하여 실험을 진행하였고, 광 조사 시간은 30분으로 한정하였다. 상기 검정조건으로 5단계 조도에 노출시킨 결과 470 nm (파란

색)의 경우 20 lx에서 66.7%, 40 lx에서 74.0%, 60 lx에서 70.0%, 80 lx에서 66.7% 및 100 lx에서 50.0%를 나타내어 40 lx에서 가장 높은 유인활성을 나타내었다. 520 nm (녹색)의 경우 20 lx에서 68.1%, 40 lx에서 73.3%, 60 lx에서 70.0%, 80 lx에서 73.3% 및 100 lx에서 70.0%의 유인활성을 나타내어 40 lx에서 높은 유인활성을 나타내었다. 590 nm (노란색)의 경우에는 20 lx에서 70.0%, 40 lx에서 70.0%, 60 lx에서 76.7%, 80 lx에서 73.3% 및 100 lx에서 66.7%의 유인활성을 나타내었으며, 625 nm (빨간색)의 파장에 서는 20 lx에서 60.0%, 40 lx에서 46.7%, 60 lx에서 20.0%, 80 lx에서 40.0% 및 100 lx에서 56.7%의 유인활성을 나타내어 20 lx에서 높은 유인활성이 관찰되었다 (표 17).

표 17. 단색광 LED의 조도에 따른 담배가루이의 유인 활성 평가¹⁾

Wavelength (color)	Attraction rate (%)				
	Luminance intensity (lx)				
	20	40	60	80	100
470 nm (파란색)	66.7	74.0	70.0	66.7	50.0
520 nm (녹색)	68.1	73.3	70.0	73.3	70.0
590 nm (노란색)	70.0	70.0	76.7	73.3	66.7
625 nm (빨간색)	60.0	46.7	20.0	40.0	56.7

¹⁾Each value is the average of 3 determinations after 30 min, with 30 adult insects per replication.

- 이상의 결과를 종합하여 볼 때, 470 nm (파란색) 와 520 nm (녹색)의 경우 40 lx의 조도조건에서 가장 높은 유인활성을 나타내었으며, 590 nm (노란색) LED의 경우 20 lx부터 유인활성이 증가하였지만, 반복실험을 통한 통계적 유의성을 고려했을 때 20, 40, 60 및 80 lx 활성은 통계적으로 유의하지 않았으므로 전력소비가 가장 적은 20 lx가 최적의 조도로 선발되었다. 또한 625 nm (빨간색)의 단색광 LED 역시 낮은 조도인 20 lx에서 가장 우수한 활성을 나타내었다.

(나) 담배가루이 제어에 효과적인 LED 단색광 조사시간 선발

- 최적의 조도 선발 실험을 통해 담배가루이의 유인활성을 조사한 결과 470 nm (파

란색)와 520 nm (녹색)는 40 lx, 590 nm (노란색)와 625 nm (빨간색)는 20 lx에서 각각 가장 높은 유인활성을 확인하였다. 이 결과를 토대로 최적의 조도조건 하에서 조사시간에 따른 담배가루이의 행동반응을 관찰하였다. 선행연구결과 담배가루이의 빛에 대한 반응성이 매우 민감한 것으로 판단되어 30분 단위로 관찰시간을 설정하고 최대 180분까지 행동반응을 확인하였다 (표 18).

표 18. 단색광 LED의 조사시간에 따른 담배가루이의 유인 활성 평가¹⁾

Wavelength (color)	Luminance intensity (lx)	Attraction rate (%)					
		Time (min)					
		30	60	90	120	150	180
470 nm (파란색)	40	73.3	79.0	89.0	89.0	89.0	90.0
520 nm (녹색)	40	74.3	78.3	81.0	84.3	85.3	84.3
590 nm (노란색)	20	71.0	79.0	87.7	87.0	88.7	87.0
625 nm (빨간색)	20	61.0	80.0	84.3	84.3	85.7	84.3

¹⁾Each value is the average of 3 determinations per each light-exposure time, using 30 adult insects per replication.

- 상기 검정조건으로 담배가루이의 조사시간별 유인율을 검정한 결과, 470 nm (파란색)의 경우 30분에서 73.3%, 60분에서 79.0%, 90분에서 89.0%, 120분에서 89.0%, 150분에서 89.0% 및 180분에서 90.0%의 유인 활성을 나타내었으며, 90분까지 유인율이 점진적으로 증가하다 90분 이후부터는 유의할 만한 변화가 나타나지 않았다. 520 nm (녹색)의 경우에는 30분에서 74.3%, 60분에서는 78.3%, 90분에서는 81.0%, 120분에서는 84.3%, 150분에서는 85.3% 및 180분에서는 84.3%의 활성을 나타내었으며, 90분까지 활성이 증가하다가 그 이후부터는 유의할 만한 변화가 나타나지 않았다. 590 nm (노란색) 경우 30분에서 71.0%, 60분에서 79.0%, 90분에서 87.7%, 120분에서 87.0%, 150분에서 88.7% 및 180분에서 87.0%의 유인활성을 나타내었으며, 90분 이후부터는 유의할 만

한 변화가 없었다. 마지막으로 625 nm (빨간색)의 경우에는 30분에서 61.0%, 60분에서 80.0%, 90분에서 84.3%, 120분에서 84.3%, 150분에서 85.7% 및 180분에서 84.3%의 유인 활성을 나타내었으며, 90분 이후부터는 유의할 만한 변화가 나타나지 않았다. 이상의 결과를 정리하여 보면 4가지 단색광 LED 470 nm (파란색), 520 nm(녹색), 590 nm (노란색) 및 625 nm(빨간색) 모두 90분 까지 점진적으로 유인율이 증가했으나 그 이후부터는 유의할 만한 변화가 나타나지 않았으므로 90분을 최적의 조사시간으로 선발하였다.

(다) 확립된 최적의 조건에서 담배가루이의 반응성 평가

- 상기 조사결과를 바탕으로 담배가루이에 대한 단색광 LED의 각각의 최적 조사조건을 설정하였다. 470 nm (파란색)와 520 nm (녹색)는 조도 40 lx, 조사시간 90분으로 설정하였고, 590 nm (노란색)와 625 nm (빨간색)의 경우에는 조도 20 lx, 조사시간 90분으로 설정하였다. 이와 같은 조건을 바탕으로 각각의 실험 장치에 공시충 30마리를 도입하여 실험을 진행한 결과 470 nm (파란색)에서 89.0%의 담배가루이가 광원 쪽으로 이동하는 것이 관찰되었다. 또한 520 nm (녹색)에서도 약 84.3%의 유인활성이 나타났고, 590 nm (노란색)은 87.7%, 625 nm (빨간색)은 84.3%의 유인활성을 나타내었다 (표 19).

- 각각의 LED 단색광에 대한 유인율을 SPSS를 이용하여 분산분석 (ANOVA)법으로 각 데이터에 대한 유의성을 검정한 결과 단색광 LED 간의 유인활성은 유사한 것으로 나타났다. 하지만 각 LED 단색광의 조사조건을 고려하여 비교한 결과 625 nm (빨간색)이 다른 단색광 파장에 비해 가장 낮은 전력소모량을 나타내었기 때문에 에너지 효율대비 가장 우수한 파장이라 판단하였다.

표 19. 선발한 최적 조건에서 담배가루이의 유인활성 평가¹⁾

Wavelength (color)	Luminance intensity (lx)	Time (min)	Number of adults (Mean±SE)		Attraction rate (%)	Power Consumption (W)
			Attraction	No choice		
470 nm (파란색)	40	90	26.7±1.5	3.3±0.9	89.0	2.4
520 nm (녹색)			25.3±0.3	4.7±0.3	84.3	4.20
590 nm (노란색)	20		26.3±0.7	3.7±0.7	87.7	3.60
625 nm (빨간색)			25.3±2.0	4.7±2.0	84.3	1.28

¹⁾Each value is the average of 3 determinations using the optimal lighting condition, with 30 adult insects per replication.

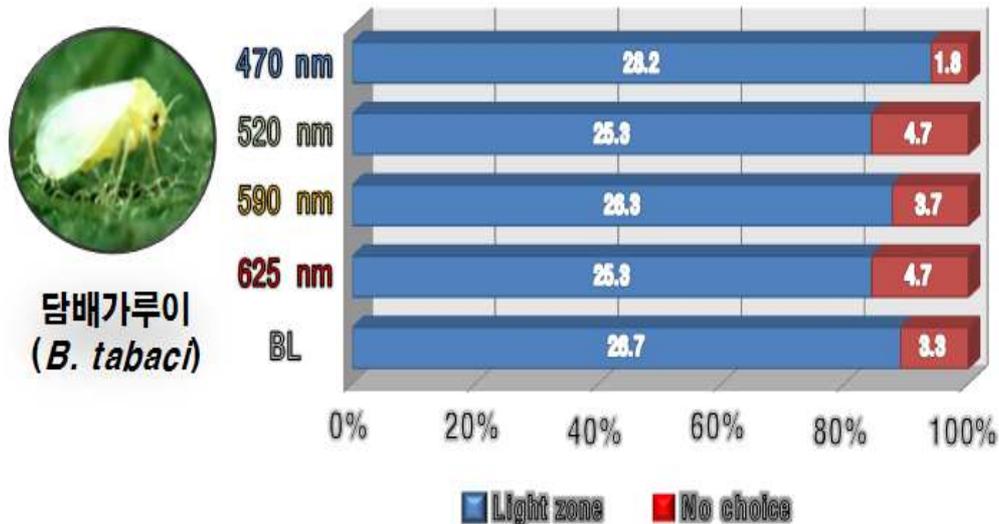
(라) 기존광원 (Black light)과 LED 단색광과의 제어활성 비교 검정

- 상기 조사결과를 바탕으로 담배가루이에 대한 단색광 LED와 기존광원과의 해충제어활성을 비교하였다. 실험에 사용된 기존광원은 해충제어트랩에 일반적으로 사용되는 Black light (BL)를 대조구로 사용하였다. Black light와 단색광 LED간의 담배가루이에 대한 유인활성을 비교한 결과 black light에서 90.3%의 유인활성을 나타내어 상대적으로 단색광 LED 보다 높은 유인활성이 관찰되었다. 하지만 통계적으로 유의성을 비교하였을 때 black light와 LED 단색광의 유인활성은 유의적인 차이를 보이지 않았다. 따라서 단색광 광원과 black light 간의 담배가루이 제어에 관한 효율을 비교하기 위해 black light의 소비전력을 1.00로 기준하여 LED 단색광의 상대적인 소비전력을 비교한 결과, 625 nm (빨간색)이 0.16배로 가장 낮은 전력을 필요로 하였고, 470 nm (파란색)은 0.30배, 590 nm (노란색)은 0.45배 및 520 nm (녹색)은 0.52배의 소비전력을 요구하였다. 따라서 실험에 사용된 4개의 단색광 LED과장은 black light에 비하여 0.16~0.52 배의 낮은 소비전력을 소모하는 것을 확인 하였다. 이상의 결과를 종합하였을 때 기존 해충제어트랩에 널리 이용되는 black light와 실험에 사용된 LED 단색광원의 해충제어활성은 유사하게 나타났으나, 경제적 측면을 고려했을 때 470 nm (파란색), 520 nm (녹색), 590 nm (노란색) 및 625 nm (빨간색) 단색광원이 높은 경제성을 가지는 것으로 판단하였다. 또한 625 nm (빨간색)은 실험에 사용된 단색광 LED와 비교해서도 매우 적은 소비전력을 필요로 하기 때문에 가장 경제적인 농업해충 제어용 광원으로서의 가능성을 확인하였다 (표 20).

표 20. 담배가루이에 대한 단색광 LED와 Black light (BL)의 유인활성 평가¹⁾

Wavelength (color)	Luminance intensity (lx)	Time (min)	Number of adults(Mean±SE)		Attraction rate (%)	Relative Power Consumption
			Attraction	No choice		
470 nm (파란색)	40	90	26.7±1.5a	3.3±0.9	89.0a	0.30
520 nm (녹색)			25.3±0.3a	4.7±0.3	84.3a	0.52
590 nm (노란색)	20		26.3±0.7a	3.7±0.7	87.7a	0.45
625 nm (빨간색)			25.3±2.0a	4.7±2.0	84.3a	0.16
BL	-		27.1±0.6a	2.9±0.2	90.3a	1.00

¹⁾Each value is the average of 3 determinations using the optimal lighting condition, with 30 adult insects per replication.



(마) 혼합과장에 의한 담배가루이의 반응성 평가

- 혼합과장에 대한 담배가루이의 반응성을 평가하기 위해 단색광 실험에서 가장 뛰어난 유인활성을 나타낸 625 nm (빨간색)과 그 다음으로 뛰어난 활성을 나타낸 470 nm (파란색) 광원을 혼합하였다. 이들 광원은 담배가루이의 유인활성이 뛰어난 뿐만 아니라 식물체의 엽록소의 작용 및 광합성이 최대일 때의 파장대 (그림 6)와 일치하기 때문에 본 연구의 혼합과장으로 선발하여 담배가루이의 행동반응을 평가하였다. 또한

다양한 파장을 포함하는 흰색 LED (450~620 nm)를 또 다른 혼합파장으로 선발하였으며, 이들은 기존의 해충트랩의 광원으로 사용되는 black light (BL)와 활성을 비교하였다.

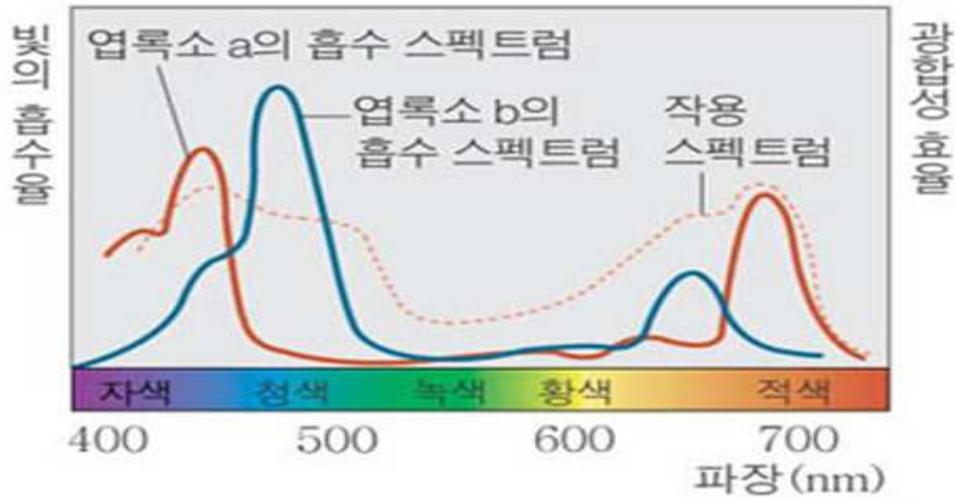


그림 6. 식물체의 최대 흡수 파장

- 담배가루이의 유인활성의 측정에 사용된 혼합광원의 조도는 625 nm (빨간색) + 470 nm (파란색) LED의 경우 각각의 단일파장일 때 최적조도인 20 및 40 lx를 적용하였고, 흰색 LED (450~620 nm)의 최적 조도는 실험을 통하여 살펴본 결과 20 lx에서 가장 뛰어난 유인활성을 나타내어 최적의 조도로 선발하였다 (표 21).

표 21. 선발된 LED 혼합파장의 조도에 따른 담배가루이의 유인 활성 평가¹⁾

Wavelength (nm)	Attraction rate (%)				
	Luminance intensity (lx)				
	20	40	60	80	100
470 nm (파란색)	66.7	74.0	70.0	66.7	50.0
625 nm (빨간색)	60.0	46.7	20.0	40.0	56.7
450~620 nm (흰색)	76.7	73.3	63.3	66.7	56.7

¹⁾Each value is the average of 3 determinations per each luminant intensity at 30 min, using 30 adult insects per replication.

- 선발된 최적의 조도를 기준으로 조사시간에 따른 담배가루이의 행동반응을 관찰한 결과, 625 nm (빨간색) + 470 nm (파란색) 혼합광의 경우 30분에 81.0%, 60분에 92.0%, 90분에 86.0%, 120분에 82.3%, 150분에 80.7% 및 180분에 81.0%의 유인활성을 나타내었으며, 60분일 때 가장 높은 활성을 나타내고 그 이후부터는 시간이 경과할수록 유인활성이 감소하는 경향을 보였다. 흰색 LED (450~620 nm)의 경우에는 30분에 76.7%, 60분에 79.0%, 90분에 82.3%, 120분에 81.0%, 150분에 81.0% 및 180분에 81.0%의 유인활성을 나타내었으며, 90분까지 유인활성이 증가하다가 90분 이후에는 유의할 만한 변화가 나타나지 않았다. 위의 결과를 바탕으로 625 nm (빨간색) + 470 nm (파란색) 혼합광의 최적 조사시간은 60분, 흰색 LED (450~620 nm)는 90분을 최적 조사시간으로 선발하였다 (표 22).

표 22. 혼합파장 LED의 조사시간에 따른 담배가루이의 유인 활성 평가¹⁾

Wavelength (color)	Attraction rate (%)					
	Time (min)					
	30	60	90	120	150	180
625+470 (빨간색+파란색)	81.0	92.0	86.0	82.3	80.7	81.0
450~620 (흰색)	76.7	79.0	82.3	81.0	81.0	81.0

¹⁾Each value is the average of 3 determinations per each exposure time, using 30 adult insects per replication.

(바) 기존광원과 LED 혼합광원과의 제어활성 비교 검정

- 상기 실험을 통해 얻은 혼합광원들의 최적의 조사조건을 바탕으로 담배가루이의 유인활성을 검정하고 기존의 해충 포집용 광원으로 사용되고 있는 black light (BL)를 대조구로 설정하여 유인활성을 비교하였다. 625 nm (빨간색) + 470 nm (파란색) 혼합광의 최적의 조도 및 조사시간은 20, 40 lx 및 60분, 흰색 LED (450~620 nm)는 20 lx 및 90분, 그리고 대조구로 사용된 black light (BL)의 경우 특정 조도를 설정할 수 없기 때문에 최적 조사시간인 60분에서 담배가루이의 유인활성을 비교 하였다 (표 23).

표 23. LED 혼합광원과 black light (BL)에 대한 담배가루이의 유인활성 비교¹⁾

Wavelength (color)	Luminance intensity (lx)	Time (min)	Number of adults (Mean±SE)		Attraction rate (%)	Relative Power Consumption
			Attraction	No choice		
470 (파란색)	40	90	26.7±1.5a	3.3±0.9	89.0a	0.30
625 (빨간색)	20	90	25.3±2.0a	4.7±2.0	84.3a	0.16
625+470 (빨간색+ 파란색)	20, 40	60	27.6±0.7a	2.4±0.7	92.0a	0.46
450~620 흰색	20	90	24.7±0.7a	5.3±0.7	82.3a	0.17
BL	-	90	27.1±0.6a	2.9±0.2	90.3a	1.00

¹⁾Each value is the average of 3 determinations using the optimal lighting condition, with 30 adult insects per replication.

- 혼합광 LED와 black light의 담배가루이에 대한 유인활성을 비교한 결과 625 nm (빨간색) + 470 nm(파란색)이 92.0%의 유인활성을 나타내 가장 높은 유인율을 나타내었다. 그 다음으로는 대조구인 black light가 90.3%의 유인활성을 나타내었으며, 흰색 LED의 경우 82.3%의 유인율을 나타내었다. 상기 결과 값을 통계프로그램인 SPSS를 이용하여 평균±표준오차 값을 나타내었으며, 분산분석 (ANOVA)으로 통계적인 유의성을 검정한 결과 각 광원간의 유인활성에 대한 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 이러한 통계적인 결과를 기준으로 각각의 광원의 유인활성의 차이는 없다고 했을 때 혼합광 LED와 black light (BL)간의 소비전력량의 차이를 보면 혼합광 LED로 사용된 625 nm (빨간색) + 470 nm (파란색) 혼합광원 및 흰색 LED (450~620 nm)는 대조구로 사용된 black light (BL)에 비해 약 2~5배의 에너지 효율이 높은 것을 확인하였다. 담배가루이 유인활성에 효율적인 광원으로 선발된 이들 파장은 일반적으로 식물이 광합성에 이용하는 400~500 nm 및 600~700 nm 파장대의 범위와 유사하기 때문에 시설지내 작물에 문제를 일으키는 담배가루이를 제어할 수 있을 뿐만 아니라 작물의 생육을 증진시키는 부가적인 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 이러한 결과를 종합하였을 때 실험에 사용된 단일파장 및 혼합파장 LED는 담배가루이의 제어와 새로운 형태의 기능성 광원으로서의 가능성을 충분히 보여주었다.

4) 꽃노랑총채벌레 (*Frankliniella occidentalis*)

- 꽃노랑총채벌레의 주광성 반응에 대한 기초 데이터를 얻기 위하여 선행실험을 진행한 결과 꽃노랑총채벌레의 주광성 반응은 양성 주광성을 나타내는 것으로 판단되어 유인활성에 대한 실험을 진행하였다.

(가) 꽃노랑총채벌레 제어에 효과적인 LED 조도 선발

- 꽃노랑총채벌레에 대한 효과적인 제어 활성을 검정하기 위해 상기 실험에 사용한 470 nm (파란색), 520 nm (녹색), 590 nm (노란색), 625 nm (빨간색) 및 혼합광인 450~620 nm (흰색) LED를 사용하여 각각의 조도 조건에 따른 행동반응 변화를 관찰하였다. 문헌조사를 통해 꽃노랑총채벌레가 yellow sticky trap에 대한 반응성이 뛰어나다는 연구결과를 토대로 조도의 변화에 따른 주광성 행동반응을 파악하기 위한 조건으로 최소조도인 20 lx부터 20 lx 간격으로 최대조도인 100 lx까지 5 단계로 (20 lx, 40 lx, 60 lx, 80 lx 및 100 lx) 조도를 설정하였으며, 각각의 빛에 대한 노출시간은 90분으로 한정하여 실험을 진행하였다.

- 위의 검정조건으로 LED에 꽃노랑총채벌레를 노출시킨 결과 470 nm(파란색)의 경우 20 lx에서 19.5%, 40 lx에서 27.9%, 60 lx에서 23.3%, 80 lx에서 16.3% 및 100 lx에서 30.0%의 유인활성을 나타내었다. 520 nm(녹색)의 경우 20 lx에서 39.4%, 40 lx에서 13.3%, 60 lx에서 10.0%, 80 lx에서 16.7% 및 100 lx에서 6.7%의 유인활성을 나타내었으며, 590 nm(노란색)의 경우에는 20 lx에서 15.8%, 40 lx에서 11.8%, 60 lx에서 19.5%, 80 lx에서 40.0% 및 100 lx에서 33.3%의 유인활성을 나타내었다. 625 nm (빨간색)의 경우에는 20 lx에서 13.3%, 40 lx에서 23.3%, 60 lx에서 21.4%, 80 lx에서 20.0% 및 100 lx에서 16.7%의 유인활성을 나타내었다. 혼합파장을 가지는 450~620 nm는 20 lx에서 7.8%, 40 lx에서 10.0%, 60 lx에서 7.8%, 80 lx에서 13.3% 및 100 lx에서 23.3%의 유인활성을 나타내어, 각 파장의 최적 조도를 470 nm (파랑색) 에서는 40 lx, 520 nm (녹색)은 20 lx, 590 nm (노란색)은 80 lx, 625 nm (빨간색)은 40 lx로 설정 하였고, 혼합 파장인 450~620 nm (흰색)은 100 lx를 최적파장으로 설정하였다 (표 24).

표 24. 단색광/혼합광 LED의 조도변화에 따른 꽃노랑총채벌레의 유인활성 평가¹⁾

Species	Wavelength (nm) (Color)	Attraction rate (%)				
		Intensity of radiation (lx)				
		20 lx	40 lx	60 lx	80 lx	100 lx
꽃노랑총채벌레 (<i>F. occidentalis</i>)	470 nm (파란색)	19.5	27.9	23.3	16.7	30.0
	520 nm (녹색)	39.4	13.3	10.0	16.7	6.7
	590 nm (노란색)	15.8	11.8	19.5	40.0	33.3
	625 nm (빨간색)	13.3	23.3	21.4	20.0	16.7
	450-620 nm (하얀색)	7.8	10.0	7.8	13.3	23.3

¹⁾Each value is the average of 3 determinations after 90 min with 30 adult insects per replication.

(나) 꽃노랑총채벌레 제어에 효과적인 LED 단색광 조사시간 선발

- 꽃노랑총채벌레의 조사시간에 따른 제어 활성을 검정하기 위해 상기 실험에서 도출된 조도 조건에 따른 유인활성 검정 결과를 바탕으로 각각의 LED 단색광 파장에 대한 조사시간별 유인활성을 검정하였다. 470 nm(파란색)의 경우에는 30 min에서 36.7%, 60 min에서 36.7%, 90 min에서 30.0%, 120 min에서 33.3%, 150 min에서 36.7% 및 180 min에서 33.3%의 유인활성을 나타내었다. 520 nm(녹색)의 경우에는 30 min에서 42.4%, 60 min에서 36.4%, 90 min에서 39.4%, 120 min에서 36.4%, 150 min에서 36.4% 및 180 min에서 36.4%의 유인활성을 나타내었으며, 590 nm(노란색)의 경우에는 30 min에서 26.7%, 60 min에서 36.7%, 90 min에서 40.0%, 120 min에서 36.7%, 150 min에서 43.3% 및 180 min에서 43.3%의 유인활성을 나타내었다. 마지막으로 625 nm(빨간색)의 경우에는 30 min에서 25.0%, 60 min에서 21.4%, 90 min에서 21.4%, 120 min에서 25.0%, 150 min에서 25.0% 및 180 min에서 25.0%의 유인활성을 나타내었다. 대조구로 사용된 BL (black-light)는 30 min에서 23.3%, 60 min에서 30.0%, 90 min에서 40.0%, 120 min에서 40.0%, 150 min에서 36.4% 및 180 min에서 40.0%의 유인활성을 나타내었다 (표 25).

표 25. 단색광/혼합광 LED의 시간변화에 따른 꽃노랑총채벌레의 유인활성 평가¹⁾

Species	Wavelength (nm) (Color)	Attraction rate (%)					
		30 min	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min
꽃노랑총채벌레 (<i>F. occidentalis</i>)	470 nm (파란색)	36.7	36.7	30.0	33.3	36.7	33.3
	520 nm (녹색)	40.0	36.4	39.4	36.4	36.4	36.4
	590 nm (노란색)	26.7	36.7	42.4	36.7	43.3	43.3
	625 nm (빨간색)	25.0	21.4	21.4	25.0	25.0	25.0
	450-620 nm (하얀색)	13.3	23.3	23.3	20.0	20.0	20.0
	BL	23.3	30.0	40.0	36.4	36.4	40.0

¹⁾Each value is the average of 3 determinations per each light-exposure time, using 30 adult insects per replication.

(다) 최적 조사조건에서 꽃노랑총채벌레의 행동반응 평가

- 상기 실험에서 도출된 최적의 조도 및 조사시간 실험의 결과를 바탕으로 최적의 조사조건에서 꽃노랑총채벌레의 행동반응을 검정하였다. 각 파장별 최적의 조사조건은 470 nm (파란색)는 조도 40 lx 및 조사시간 30 min, 520 nm (녹색)는 조도 20 lx 및 조사시간 30 min, 590 nm (노란색)는 조도 80 lx 및 조사시간 90 min, 및 625 nm (빨간색)는 조도 40 lx 및 조사시간 30 min이며, 대조구로 사용된 BL은 90 min으로 설정하였다. 최적 조사조건 아래 꽃노랑총채벌레의 주광성 반응은 590 nm (노란색)에서 42.3%로 가장 높은 활성을 나타내었고, 다음으로 520 nm (녹색)과 BL에서 40.0%, 470 nm (파란색)에서 39.0% 마지막으로 625 nm (빨간색)에서 26.7%의 유인활성을 나타내었다 (표 26).

- 이상의 결과를 종합하여 볼 때 꽃노랑총채벌레가 yellow sticky trap에 유인활성을 보인다는 연구결과와 유사하게 590 nm 파장을 가지는 노란색 LED에서 최대의 유인활성을 나타내었으며, 이와 유사한 파장을 가지는 520 nm에서도 이와 유사한

활성을 나타내었다. 또한 대조구로 사용된 BL보다도 약간 뛰어난 활성을 나타낸 것을 확인하여 총채벌레 제어를 위한 해충트랩 광원으로서의 가능성을 보여주었다.

표 26. 단색광/혼합광 LED의 최적조건에서의 꽃노랑총채벌레의 유인활성 평가¹⁾

Species	Wavelength (nm) (Color)	Number of insect			Attraction rate (%)
		Light side (Mean ± SE)	No choice (Mean ± SE)	Dark side (Mean ± SE)	
꽃노랑총채벌레 (<i>F. occidentalis</i>)	470 nm (파란색)	11.7 ± 1.7b	14.6 ± 0.3a	3.7 ± 1.5a	39.0
	520 nm (녹색)	12.0 ± 0.9b	16.4 ± 0.6a	1.6 ± 0.9a	40.0
	590 nm (노란색)	12.7 ± 1.0b	16.3 ± 0.3a	1.0 ± 0.0a	42.3
	625 nm (빨간색)	8.0 ± 0.3a	19.3 ± 0.6a	2.7 ± 0.9a	26.7
	450-620 nm (하얀색)	5.0 ± 1.4a	22.6 ± 1.8b	2.4 ± 0.8a	16.7
	BL	12.0 ± 1.0b	14.6 ± 0.6a	3.4 ± 0.9a	40.0

¹⁾Each value is the average of 3 determinations using the optimal lighting condition, with 30 adult insects per replication.

5) 개발된 LED 해충 유인 트랩의 소규모온실 실증실험

- 본 연구팀은 1, 2차년도 연구를 통해 LED광원의 담배가루이 유인 활성을 검정하였고, 뛰어난 광효율, 높은 유인활성 및 식물의 광합성에 도움을 주는 blue + red LED 혼합광원을 선발하였다. 선발된 blue + red LED 혼합광원의 실제 기주 조건하에서 담배가루이에 대한 유인활성을 검정하기 위하여 소규모 온실실험을 진행하였다.

- LED 해충 유인 트랩의 개발을 위해 (주)그린테코와 본 연구팀은 해충유인트랩에 대한 특허 및 시중에 출시된 제품에 대한 분석을 실시하였고, 이를 바탕으로 (주)그린테코에서 LED 해충 유인 트랩을 개발 및 제작하였다. 제작된 LED 해충 유인 트랩의 소규모 온실 실증실험을 위해 유리온실 내부에 방충시설 (3 × 3 × 2.5 m) 3동을 설치하였으며, 각 방충시설 사이에 차광막을 씌워 빛의 간섭을 최대한 억제하였다 (그림 7). 개

발된 LED 해충 유인 트랩은 LED광을 통해 해충을 유인하는 유인부, 팬을 통해 해충을 빨아들이는 흡입부, 그리고 해충 포집망을 통해 포획된 해충을 포집하는 포집부로 나누어져 있기 때문에 이를 고려하여 실험을 설계하였다. 실험 광원 선발은 실험실내 해충 행동반응 chamber를 이용한 실험 결과를 바탕으로 blue (470 nm)와 red (625 nm) 광원을 혼합하여 동시에 노출시켰다. 음성대조구로는 흡입부인 팬 (fan)의 영향을 판단하기 위해 장치에 설치된 팬만 가동하였고 (no light), 양성대조구로는 현재 해충유인트랩에 주로 사용되고 있는 BL (black-light)을 부착하여 실험에 사용하였다. 실험은 '12년 8월 6일 (1차 실험)을 기점으로 8월 20일 (2차 실험), 9월 3일 (3차 실험), 9월 17일 (4차 실험), 및 10월 8일 (5차 실험)에 진행하였으며, 시험시작 후 5일간 장치의 해충 유인·포집능을 확인하였다. 실험 기주로는 가지를 각 실험구마다 20주씩 정식하였고 매 실험에 새로운 기주를 공급하였으며, 담배가루이는 각 실험구마다 약 300 마리를 실험 시작 5시간 이전에 방사하였다. 기기의 작동은 LED 해충 유인 트랩에 부착된 조도반응센서를 기준으로 일몰 후 작동하여 일출 후 작동을 멈추도록 하였고, 유인활성의 확인은 09시를 기준으로 포집망에 포획된 담배가루이 개체를 확인 하였다.

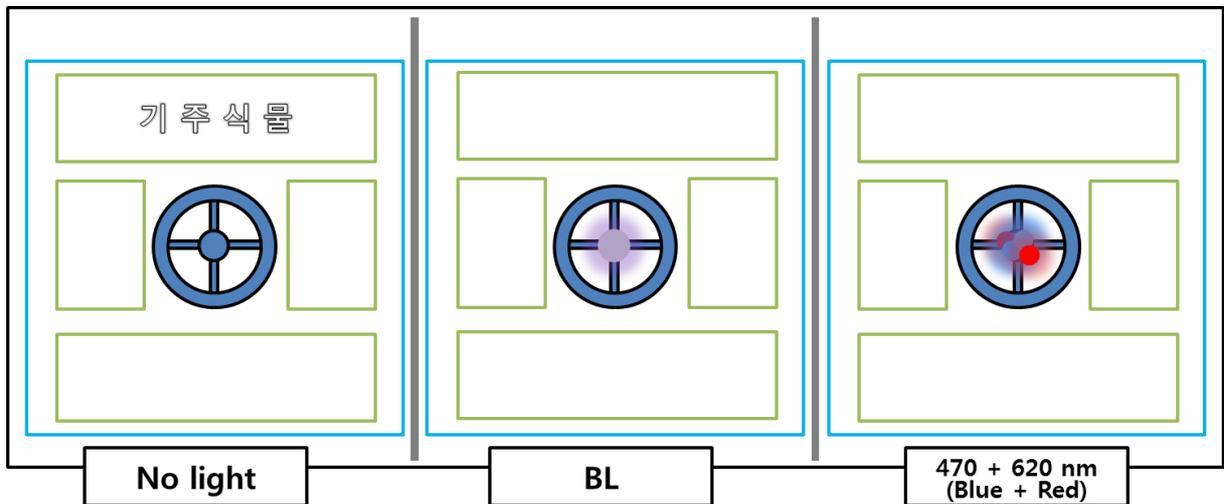


그림 7. 소규모 온실 배치도

표 27. 담배가루이에 대한 소규모 온실 내 LED 해충 유인 트랩의 유인활성 평가

Day	Number of adults (Mean \pm SE) ¹⁾		
	No light	BL	470 + 625 nm (Blue + Red)
1	21.2 \pm 2.5	77.8 \pm 6.4	81.0 \pm 5.7
2	19.0 \pm 3.8	63.4 \pm 5.1	64.6 \pm 4.4
3	25.2 \pm 2.8	51.2 \pm 4.2	42.2 \pm 3.2
4	22.8 \pm 1.9	38.2 \pm 4.7	35.0 \pm 2.5
5	15.2 \pm 2.4	25.6 \pm 2.7	29.0 \pm 3.1
Attraction rate (%)	34.5 \pm 1.9a	85.4 \pm 1.9b	83.9 \pm 2.5b

¹⁾Each value is the average of 5 determinations in the small green house

- 소규모 온실 내 담배가루이에 대한 해충 유인 트랩의 광원별 유인활성 실험결과는 표 27과 같다. 5 반복에 걸친 실험결과 광원을 설치하지 않은 음성대조구 (no light)는 실험을 진행한 5일 동안 일일 약 15~25 마리의 개체가 포획되어 약 34.5%의 유인활성을 나타내었다. 음성대조구에 포획된 개체는 담배가루이의 비산 활동 중 장치에 설치된 펜의 영향에 의해 발생 한 것으로 사료된다. 반면 양성대조구 (black-light)와 blue + red LED는 일일 약 25~81 마리의 개체가 포획되었고 양성대조구(black-light) 와 실험구(blue + red LED) 모두에서 유사하게 뛰어난 유인활성을 나타냈으며, 양성대조구에서 더 뛰어난 유인활성을 나타냈으나 통계적으로는 유의한 차이가 없었다. 실험이 진행된 3가지 장치 모두에서 시간이 지남에 따라 유인·포획되는 개체수가 줄어들었는데 이는 포획으로 인한 담배가루이 개체 수 감소와 생활사에 의한 자연사멸로 인한 것으로 판단된다.

- 소규모 시설지 실증실험을 통하여 개발된 LED 해충 유인 트랩이 실험실 내의 실험에서와 유사하게 뛰어난 유인활성을 나타내었다. 광원이 설치되지 않은 트랩과 광원이 존재하는 트랩에서 통계적으로 유의한 활성을 나타내어 담배가루이의 주광성 행동반응을 확인 할 수 있었으며, 기존 광원과 비교하였을 때 유사한 활성을 나타낸 LED 해충 유인 트랩의 설치로 인해 해충의 예찰 및 방제가 가능할 것으로 사료되며, 높은 에너지효율, 긴 수명, 저 발열 등의 특성을 가진 LED가 기존광원을 대체할 수 있을 것으로 사료된다.

제3절 LED를 이용한 시설지내 식물병원균 방제기술 개발

1. LED system을 이용한 광질 및 광조사 방법 제어가 식물병원균의 활성화에 미치는 영향 가. 재료 및 방법

(1) 식물병원균 선발

○ 본 연구과제는 LED를 이용한 시설지내 식물병원균 방제기술을 개발하고자 수행하였다. 실험에 사용된 식물병원균으로는 시설재배지내에서 가장 심각하게 발병하는 병원균 중에서 기주범위가 넓어 토마토, 상추, 오이, 가지, 고추 등 채소 및 과수류 등에 침입하는 다범성 병원균인 잿빛곰팡이병원균을 선발하였다. 잿빛곰팡이병원균은 수원 농촌진흥청 국립농업과학원 농업유전자원정보센터 한국농업미생물자원센터 (KACC)로부터 *Botrytis cinerea* (No. 40574)를 분양 받아 이용하였다.

(2) LED chamber system

○ 2011년 (주)그린테크에서 개발한 식물병원균 방제를 위한 LED 자동화 시스템이 설치된 LED chamber는 총 5개의 case로 설계되어 있으며 각 case마다 단일 및 혼합광질 조합이 가능하도록 청색 (460 nm), 적색 (635 nm) 및 녹색 (520 nm)의 3파장 LED를 주광원으로 채택하고 있다 (Fig. 1). 본 시스템의 광강도는 0 ~ 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 범위에서 제어 가능하며, 광조사 시간은 타이머를 연결하여 임의적으로 제어하였다.



Fig. 1. Outside and inside of light-emitting diode (LED) chamber including blue LED (B, 460 nm), red LED (R, 635 nm) and green LED (G, 520 nm).

(3) 식물병원균 제어에 효과적인 LED 단색/혼합광 파장대, 광량대 및 조사시간 선발

○ 본 실험에서는 LED Chamber System을 이용하여 식물병원균 제어에 효과적인 LED 단색/혼합광 파장대, 광량대 및 조사시간을 선발하였다.

○ 잣빛곰팡이병원균인 *Botrytis cinerea*의 생장 제어에 효과적인 LED 단색/혼합광 파장대, 광량대 및 조사시간을 선발하기 위하여 *B. cinerea*는 Cork Border 6호 (0.7 mm)를 이용하여 PDA agar 배지(4% Potato starch, 20% Dextrose, 15% agar)에 계대 한 후 24℃에서 48시간 동안 암배양 하였다. 48시간 후 각각 암조건(대조구), broad-spectrum-white LED (BSWL, 420-680 nm), blue (460 nm), red (635 nm), 그리고 green (520 nm)의 파장대와 2000 lux의 광량대에서 8일 동안 연속 조사하였다. 각각의 광질 처리에 따른 *B. cinerea*의 생장 차이를 비교하기 위하여 mycelium의 길이를 Alam 등(2001)의 방법에 따라 A, B, C등 3가지 방향으로 측정한 후 평균값으로 환산하여 이용하였다.

○ *B. cinerea*의 생장 제어에 가장 효과적이었던 blue광의 광질에 따른 생장 제어 효과를 조사하기 위하여 *B. cinerea*는 Cork Border 6호 (0.7 mm)를 이용하여 PDA agar 배지 (4% Potato starch, 20% Dextrose, 15% agar)에 계대 한 후 암조건 (대조구)과 함께 1000, 2000, 3000, 4000 lux의 광량대에서 7일 동안 배양하였다. 또한, 배양 3일째에 현미경 (Eclipse E200, Nikon, Japan)을 이용하여 각 광량대에 따른 *B. cinerea*의 mycelium 생장 및 형태적 차이를 비교 관찰하였다.

(4) 광질 및 광조사 방법 제어에 따른 식물병원균 활성 비교 검정

○ 잣빛곰팡이병원균인 *Botrytis cinerea*의 활성 제어 비교 검정을 실시하기 위하여 *B. cinerea*는 Cork Border 6호 (0.7 mm)를 이용하여 PDA agar 배지(4% Potato starch, 20% Dextrose, 15% agar)에 계대하였다. 광질은 암조건(대조구1), Fluorescent lamp (FL, 대조구2), blue (460 nm), red (635 nm), green (520 nm)의 단일 광질과 broad-spectrum-white LED (BSWL, 420-680 nm), blue+red (red light supplemented with 10% blue light)의 혼합광질을 이용하였고 광조사는 연속 조사하였다. 광질별 광강도는 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 로 설정하였고, 온도 24℃에서 3, 5, 7, 10, 그리고 14 일 동안 배양 하였다. 각각의 처리에 따른 *B. cinerea*의 생장 차이를 비교하기 위하여 mycelium의 길이를 Alam 등(2001)의 방법에 따라 측정한 후 평균값으로 환산하여 이용하였다.

○ 각 광질에 따른 *B. cinerea*의 mycelium 생장 및 형태적 차이를 비교 관찰하기 위하여, 14일 동안 배양된 각 균사체의 일부를 채취하여 현미경(Eclipse E200, Nikon, Japan)으로 관찰하였다.

나. 결과 및 고찰

(1) 식물병원균 제어에 효과적인 LED 단색/혼합광 파장대, 광량대 및 조사시간 선발

○ 각 LED 단색/혼합광 처리에 대한 *B. cinerea*의 생장 제어 효과는 broad-spectrum-white LED (BSWL), red, green광 처리 조건에서는 대조구(dark condition)와 유사한 생장율을 보였다. 반면에, blue광 처리 조건에서는 대조구 보다 약 1.3배(75.0%)까지 *B. cinerea*의 생장이 억제되는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 2). 따라서 잿빛곰팡이병 제어를 위한 가장 효과적인 LED광원으로써 blue광원을 선발하였다.

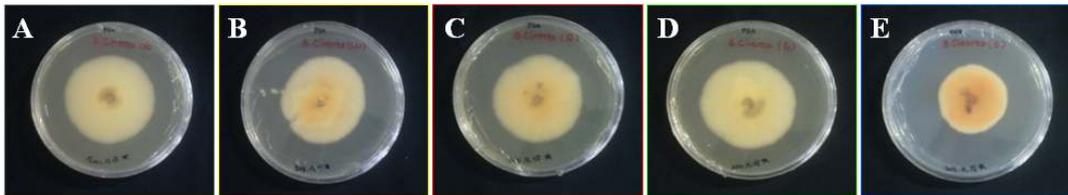


Fig. 2. Effect of LED lights on growth of *B. cinerea* on PDA medium after 8 days of incubation in 2000 lux condition. Respective LED lights treated with dark condition (A) as control and broad-spectrum-white (B), red (C), green (D), and blue (E) lights.

○ 선발된 Blue광질 조건에서 1000, 2000, 3000, 4000 lux의 각 서로 다른 광량 처리에 대한 *B. cinerea*의 생장률이 대조구(dark condition) 보다 약 93.9 ~ 32.5%까지 감소하였다. 특히, 3000 lux 이상의 광량대에서 *B. cinerea*의 생장이 현저하게 억제 되었으며, 4000 lux의 blue광 처리 조건에서는 대조구 보다 약 3.1배 더 높은 생장률 제어 효과를 보였다 (Fig. 3).

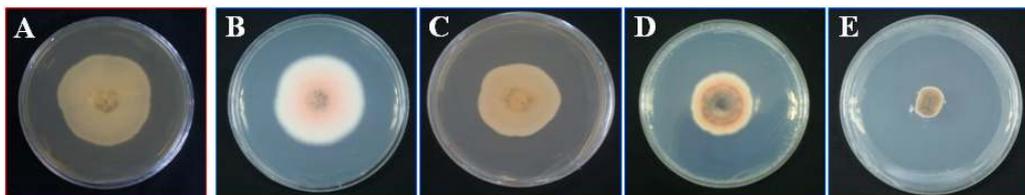


Fig. 3. Effect of blue light on growth of *B. cinerea* on PDA medium after 7 days of incubation in the dark condition (A) as control and blue light conditions of 1000 lux (B), 2000 lux (C), 3000 lux (D), and 4000 lux (E), respectively.

○ 대조구(dark condition)와 비교하여 blue광 처리 조건에서의 mycelium 생장 길이와 밀도 분석은 1000 ~ 3000 lux의 광량을 처리해 주었을 경우에는 대조구와 유사한 경향을 보였다. 반면에 4000 lux의 blue광 조건에서는 *B. cinerea*의 mycelium 생장율이

대조구 보다 크게 감소하였고, 밀도 또한 현저하게 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 4).

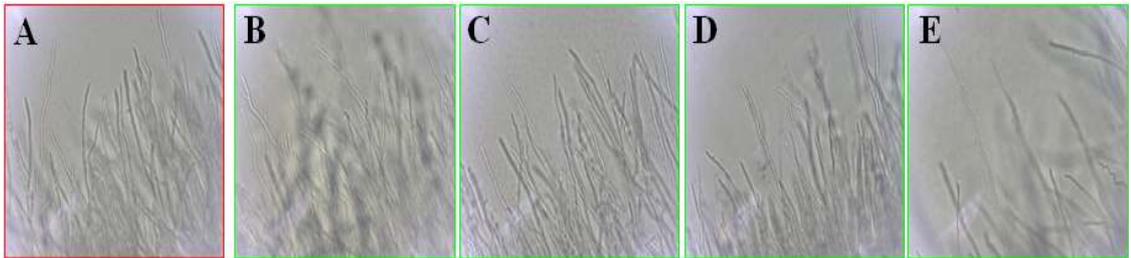


Fig. 4. Morphological analysis of *B. cinerea* mycelium on PDA medium after 3 days of incubation in the dark condition (A) as control and blue light conditions of 1000 lux (B), 2000 lux (C), 3000 lux (D), and 4000 lux (E), respectively.

(2) 광질 및 광조사 방법 제어에 따른 식물병원균 활성 비교 검토

○ LED Chamber System을 이용한 blue, red, green의 단일광 및 3파장의 혼합광인 broad-spectrum-white LED (BSWL)와 blue+red 혼합광 처리에 의한 광질과 연속 광조사 방법 제어는 *Botrytis cinerea*의 성장에 큰 차이를 나타내었다(Fig. 5).

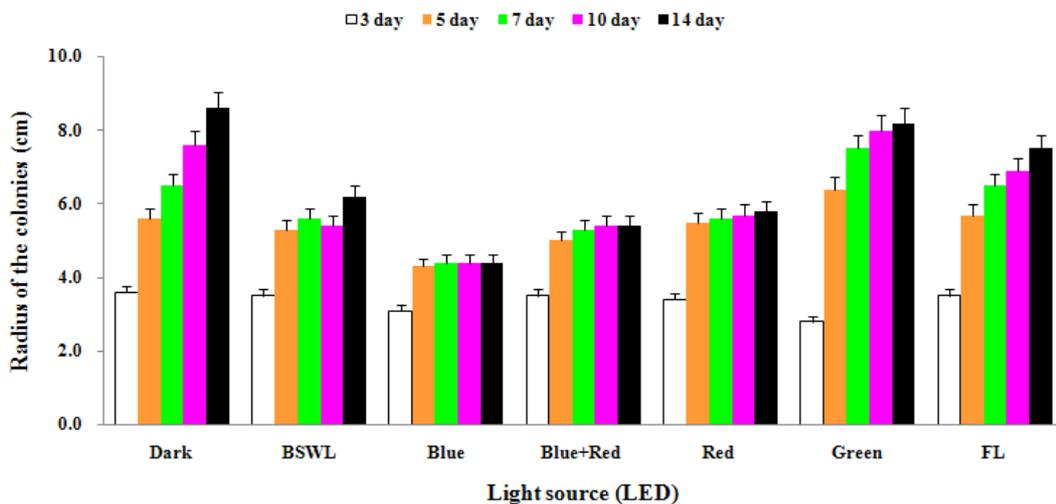


Fig. 5. Radial mycelial growth of *Botrytis cinerea* on PDA media for 3, 5, 7, and 14 days.

○ 각 LED 단색/혼합광 처리에 대한 *B. cinerea*의 성장 제어 효과는 3 days까지는 광질 간에 큰 차이를 보이지 않았으나, 5 days부터 14 days까지 배양시간이 길어질수

록 차이가 컸다. 대조구인 dark와 FL구 조건에서 가장 큰 생장을 보였고, LED에서는 green광 조건에서 대조구와 비슷한 수준의 높은 생장을 보였다. 반면에, blue광 조건에서는 대조구에 비해 약 1.7~2.0배까지, 그리고 다른 LED 단색/혼합광 처리 조건에 비해 약 1.2 ~ 1.9배까지 *B. cinerea*의 생장이 억제되었다.

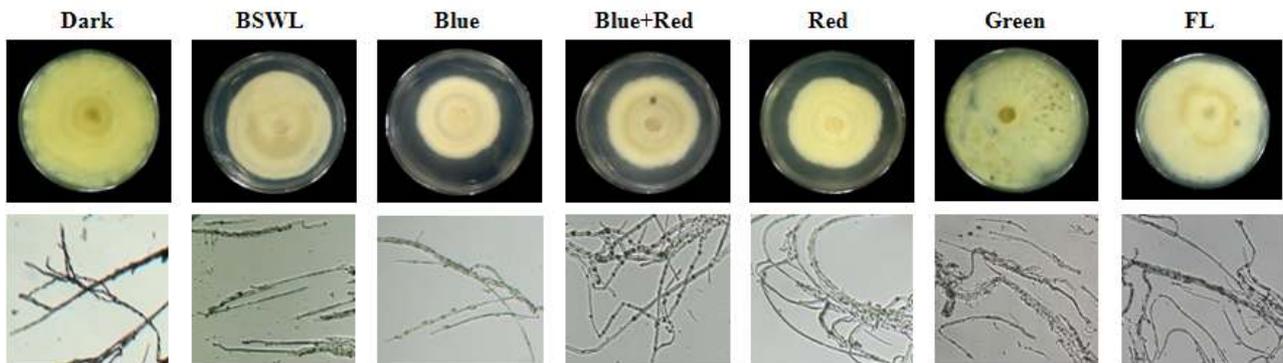


Fig. 6. The morphological characteristics of conidial development of *Botrytis cinerea* on PDA media after 14 days.

○ 14일 동안 배양된 각 광질에 따른 *B. cinerea*의 conidia의 발달 및 형태적 차이를 비교 관찰하였다(Fig. 6). 대조구인 dark 조건이 광을 처리한 다른 조건들에서 보다 conidia의 발달이 가장 왕성하고, 생장 밀도도 높았다. 특히, blue 단색광 처리구의 conidia는 핵이 없는 균사체들이 관찰되는 것을 확인할 수 있었다. Tan (1974, 1976)의 연구결과에 의하면, blue광원은 *B. cinerea*의 포자형성을 억제하며, blue광 조건에서 배양할 경우 불임의 균사체가 생산되고 conidia의 억제를 또한 가장 높게 나타났다고 보고하였다.

○ 따라서, 본 연구에서는 잿빛곰팡이병을 일으키는 *Botrytis cinerea*의 활성 제어를 위한 LED 광원으로써 blue 단색광 처리가 가장 효과적인 것으로 나타났다.

2 LED system을 이용한 광질 제어가 토마토와 상추 실생묘의 성장 변화에 미치는 영향

가. 재료 및 방법

(1) 식물재료 및 실험조건

○ 식물재료는 '토이'와 '미라클' 두 개 품종의 방울토마토 (*Lycopersicon esculentum*

Mill.) 신태묘를 이용하였다. 각 토마토 종자는 70% 에탄올에 1분 동안 표면소독한 후 2% sodium hypochloride에 20분 동안 종자 소독을 한 뒤, 수돗물과 증류수로 각각 10회 이상 세척하였다. 세척된 종자를 150 x 20 mm petri dish에 여지를 2장씩 깔고, 수분을 충분히 공급한 후 종자를 치상하여 22°C 암 상태로 3일 동안 최아시켰다. 정상적으로 균일하게 최아된 종자를 멸균된 상토가 담긴 pot에 파종하고 본엽이 2매 전개한 신태묘를 플러그 트레이(25 x 50 x 5 cm)에 이식한 후 1달 동안 Fluorescent lamp (2000 lux)와 18 h(광조건)/6 h(암조건)의 광주기 조건의 식물 배양실에서 성장하였다. 본 가지가 2개정도 분화된 토마토 유묘들은 각각 pot (10 x 9 cm)에 이식한 후 토이방울토마토는 20일, 미라클 방울토마토는 4주 동안 LED 성장상 조건에서 재배하였다 (Fig. 7). 양액은 1/2 Hoagland solution을 사용하였고, pH 5.8이었다. LED 성장상 조건은 온도와 습도를 각각 22±1°C과 60~65%로 유지해 주었다.



Fig. 7. Light-emitting diode (LED) chamber including broad-spectrum-white LED (BSWL, 420-680 nm), blue (460 nm), blue+red (red light supplemented with 10% blue light), Red (635 nm), and green (520 nm).

○ 상추 식물재료는 ‘칭치마’와 ‘아시아 여름 적치마’ 두 개 품종의 상추(*Lactuca sativa* L.) 신태묘를 이용하였다. 각 상추 종자는 70% 에탄올에 1분 동안 표면소독한 후 2% sodium hypochloride에 20분 동안 종자 소독을 한 뒤, 수돗물과 증류수로 각각 10회 이상 세척하였다. 세척된 종자를 150 x 20 mm petri dish에 여지를 2장씩 깔고, 수분을 충분히 공급한 후 종자를 치상하여 22°C 암 상태로 3일 동안 최아시켰다. 정상적으로 균일하게 최아된 종자를 멸균된 상토가 담긴 pot에 파종하고 본엽이 2매 전개한 신태묘를 플러그 트레이(25 x 50 x 5 cm)에 이식한 후 4주간 LED 성장상에서 재배하였다 (Fig. 8). 양액은 1/2 Hoagland solution을 사용하였고, pH 5.8이었다. LED 성장상 조건은 온도와 습도를 각각 22±1°C과 60~65%로 유지해 주었다.



Fig. 8. Light-emitting diode (LED) chamber including broad-spectrum-white LED (BSWL, 420-680 nm), blue (460 nm), blue+red (red light supplemented with 10% blue light), Red (635 nm), and green (520 nm).

(2) 광 처리 조건

○ ‘토이’ 토마토의 광원과 광과장대는 대조구로서 broad-spectrum-white LED (BSWL, 420-680 nm), blue (460nm), red (635nm), green (520nm)의 단일 광질을 이용하였다. 각 실험구의 광량은 $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 의 photosynthetic photon flux density (PPFD) 조건이었다. 광조사시간은 15 h(광조건)/9 h(암조건)의 광주기 상태에서 생장을 진행하였다.

○ ‘미라클’ 토마토와 상추 재배를 위한 광처리 조건은 다음과 같이 동일하였다. 광원과 광과장대는 blue (460nm), red (635nm), green (520nm)의 단일 광질과 대조구로서 broad-spectrum-white LED (BSWL, 420-680 nm), 그리고 blue+red (red light supplemented with 10% blue light)의 혼합광질을 이용하였다. 각 실험구의 광량은 $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 의 photosynthetic photon flux density (PPFD) 조건이었다(Fig. 9). 광조사시간은 18 h(광조건)/6 h(암조건)의 광주기 상태에서 생장을 진행하였다. 생육조사 중 chlorophyll 함량은 SPAD-502 Plus chlorophyll meter (Konica Minolta Sensing, INC., Japan)를 사용하였고, 광도 측정은 Testo545 (Testo, Germany) 조도계를 사용하였다.

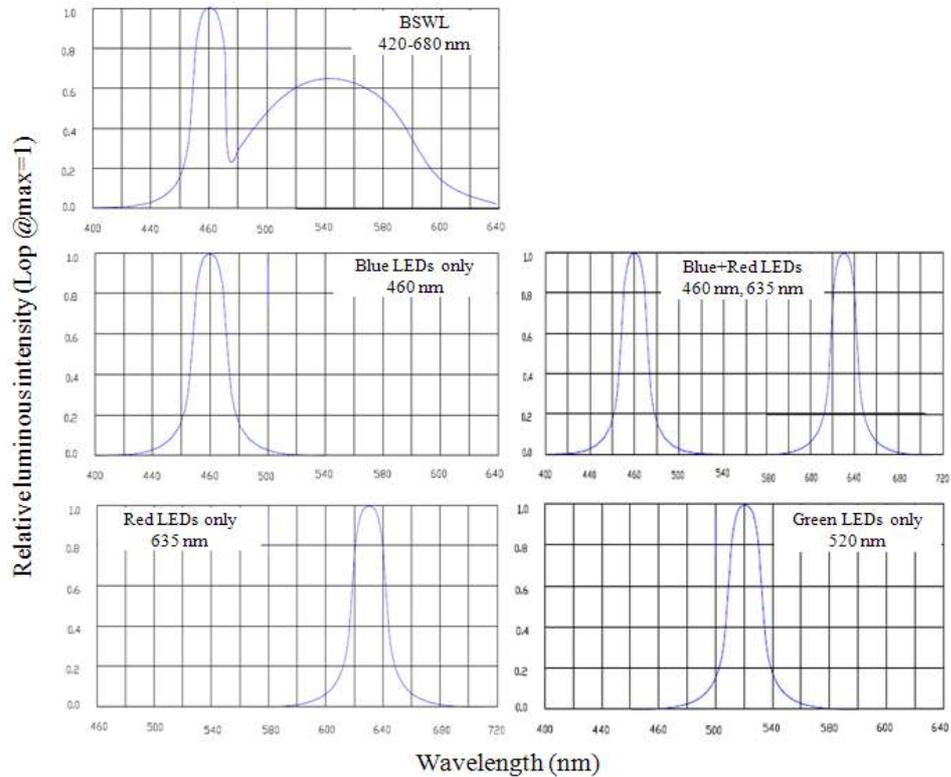


Fig. 9. Spectral distribution of relative luminous intensity of the LEDs. Treatments included broad-spectrum-white LED (BSWL), blue, blue+red, red, and green LEDs. The photosynthetic photon flux integrations for each light treatment were equal to $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$.

(3) LED 처리에 의한 토마토 줄기 유관속 조직의 형태 비교 분석

○ ‘토이’ 토마토 식물을 각각의 LED 성장상 조건에서 20일 동안 생육시킨 후 가장 큰 형태적 특성을 보인 줄기 조직을 sampling하였다. 각 줄기 조직의 횡/종단면 표본을 가지고 아세트산카민 염색약을 이용하여 세포를 염색한 뒤, microscope (Eclipse E200, Nikon, Japan)을 이용하여 줄기 유관속 조직의 형태적 변화를 관찰하였다.

나. 결과 및 고찰

(1) 토마토 식물에 대한 LED 성장 특성 비교 검정

○ ‘토이’ 방울토마토는 각각의 LED 단색광 조건에서 20일 동안 생육시킨 뒤 형태적으로 크게 차이를 보인 초장, 가지 길이, 가지 수, 가지 당 잎 수, 엽면적 등 5종의 주요 형태학적 특성들을 비교 분석하였다 (Table 1).

○ 각각의 LED 단색광 처리에 대한 ‘토이’ 토마토 식물의 생장은 대조구와 비교해 blue광은 1.0배, red광은 1.6배, 그리고 green광 처리에서는 2.0배로 가장 큰 길이 성장

을 보였다. 또한, 가지 길이에서 red광과 green광처리가 대조구(white광)와 blue광 처리보다 1.4 ~ 1.6배 더 높았던 반면에 가지 수, 가지 당 잎 수는 모든 광에서 유사한 경향을 보였다. 한편, 광질에 따른 잎의 엽장/엽폭 비율에 의한 엽면적은 대조구에 비해 모든 LED 광 처리구에서 증가하였는데, 특히 green광 처리구에서 약 1.5배로 가장 높았다.

Table 1. The effect of different light-emitting diode-based sources (LEDs) on morphological characteristics of 'Toy' tomato plants after 20 days of culture

Light Source	Flowering stem length (cm)	Branche length (cm)	Number of branche (ea)	Leaf number per branche (ea)	Leaf area (cm ² /plant)
Control (BSWL ^x)	30.6±6.9	18.3±1.2	7±1.0	10±3.1	8.7±1.7
Blue LED	30.0±4.1	16.8±0.6	7±1.0	12±1.7	9.2±3.1
Red LED	50.1±13.6	25.2±2.4	8±4.4	11±3.1	11.2±1.1
Green LED	62.6±6.7	25.0±3.2	9±1.0	11±1.5	13.3±2.7

^xBroad-spectrum-white LED, 420-680 nm.

○ LED 단색광별로 가장 큰 형태적 특성을 보인 '토이' 토마토 줄기 부분을 잘라 유관속 조직의 형태를 현미경을 이용하여 비교 관찰하였다(Fig. 10). 대조구와 blue광 조건에서는 유관속 형성층의 경계가 뚜렷하고, 세포 모양과 배열이 균일하였다. 반면에 red와 green광 조건에서는 유관속 세포 모양과 배열상태가 불규칙하였다. 특히, green광 조건에서는 유관속 세포가 매우 불규칙 적으로 분포할 뿐만 아니라 군데군데 세포가 비어 있는 것을 관찰할 수 있었다.

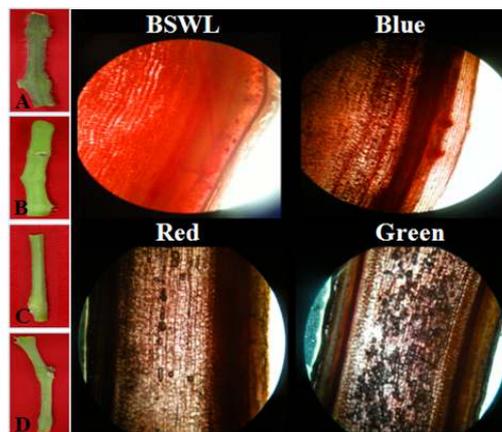


Fig. 10. Analysis of vascular cambium in the stem of 'Toy' tomato seedlings treated with respective 4 LED lights including broad-spectrum-white LED (BSWL, A), blue (B), Red (C), and green (D).

○ 이와 같이 LED에 의한 각 광질에 대한 '토이' 토마토의 생장 반응은 대조구와 비교하여 red와 green광 처리구에서는 길이 생장이 약 2배 정도 증가된 반면, 줄기 조직이 가늘고 불규칙한 세포분포를 나타내었다. 반면에 blue광 처리구에서 생장한 토마토는 줄기 조직이 매우 견고하고 단단하였으며 대조구와 유사한 세포 분포를 나타내었다.

○ 한편, '미라클' 토마토는 각각의 LED 단색/혼합광 조건에서 4주 동안 생육시킨 뒤 형태적으로 크게 차이를 보인 초장, 가지 길이, 가지 수, 가지 당 잎 수, 엽면적, chlorophyll 함량 등 6종의 주요 형태학적 특성들을 비교 분석하였다 (Table 2).

Table 2. The effect of different light-emitting diode-based sources (LEDs) on morphological characteristics of 'Miracle' tomato plants after 4 weeks of culture.

Light Source	Flowering stem length (cm)	Branch length (cm)	Number of branch (ea)	Leaf number per branch (ea)	Leaf area (cm ² /plant)	Chlorophyll Contents (SPAD)
Control (BSWL ³)	25.6±0.6	11.5±0.1	9.3±0.6	10.3±1.2	8.0±0.7	36.1±1.0
Blue LED	26.9±0.6	12.7±2.0	8.3±0.6	10.7±0.6	15.2±2.6	27.1±0.9
Blue+Red LED ²	51.4±1.0	17.8±0.9	10.7±0.6	12.3±0.6	15.8±1.4	45.5±0.5
Red LED	35.0±2.6	15.9±0.3	10.3±1.5	10.3±1.2	6.0±0.3	44.1±1.1
Green LED	60.8±4.0	16.2±0.9	14.0±0.0	11.7±1.2	18.4±1.4	44.8±1.1

¹Broad-spectrum-white LED, 420–680 nm; ²Red light supplemented with 10% blue light.

○ 각각의 LED 광질 처리에 대한 토마토 식물의 생장은 대조구와 비교해 red광과 green광에서 각각 약 1.4배와 2.4배가 높은 길이 생장을 하였다. 한편, 대조구와 유사한 수준의 blue광 처리에 비해, blue+red 혼합광을 처리한 경우에는 대조구 보다 약 2배가 더 길이 생장이 증가되는 것을 확인하였다. 또한, 가지 신장과 가지 당 엽수 또한 blue+red 혼합광을 처리한 경우 다른 광질과 비교해 가장 높게 나타났다.

○ 토마토 잎의 광질에 따른 잎의 엽장/엽폭 비율에 의한 엽면적은 대조구에 비해 green광 처리구에서 약 2.3배로 가장 높았고, blue광 또는 blue+red 혼합광 처리의 경우에는 약 2배 정도 증가하였다. 반면에 잎의 엽면적은 red광 처리구에서 가장 낮게 나타났다. 이것은 red광이 처리된 토마토의 줄기나 가지의 신장은 대조구에 비해 촉진된 반면, 잎의 엽폭과 엽형의 신장은 생장이 진행될수록 억제되어 잎이 좁고 뾰족한 형태로 전개되는 형태형성을 나타내었다. 한편, 토마토 잎의 chlorophyll 함량은 대조구와 비교

해 blue광 처리구에서 가장 낮았고, blue+red광 처리구에서 약 1.3배로 가장 증가되었다. red광 처리와 green광 처리구는 유사한 수준을 보였으며, 대조구 보다 약 1.2배 증가하였다.

(2) 상추 식물에 대한 LED 성장 특성 비교 검토

○ ‘청치마’와 ‘적치마’ 상추는 각각의 LED 단색/혼합광 조건에서 4주 동안 생육시킨 뒤 형태적으로 크게 차이를 보인 shoot 길이, root 길이, 잎 수, 엽면적, chlorophyll 함량, 그리고 Shoot와 root의 생체중 및 건물중 등 9종의 주요 형태학적 특성들을 비교 분석하였다 (Table 3 and 4).

○ ‘청치마’와 ‘적치마’ 두 품종 모두 광질에 따른 지상부 길이 생장은 blue+red 혼합광 처리구에서 가장 높았다. 반면, 지하부의 길이 생장은 두 품종 모두 blue광 처리구에서 가장 높게 나타났다.

Table 3. The effect of different light-emitting diode-based sources (LEDs) on morphological characteristics of blue-lettuce plants after 4 weeks of culture

Light Source	Shoot length (cm)	Root length (cm)	Leaf number (ea)	Leaf area (cm ² /plant)	Chlorophyll content (SPAD)	Shoot		Root	
						FW (mg)	DW (mg)	FW (mg)	DW (mg)
Control (BSWL ^a)	16.7±1.5	2.4±0.5	6.0±1.0	30.5±3.4	13.8±0.9	486.7±0.1	22.3±0.0	1.4±0.0	ND
Blue LED	16.1±0.9	10.7±1.3	9.3±0.6	55.4±5.9	16.2±0.2	4690.3±0.6	159.3±0.1	41.0±0.0	5.7±0.0
Blue+Red LED ^b	20.9±1.0	8.6±1.2	9.3±1.2	43.1±2.6	23.5±2.3	2682.3±0.5	47.7±0.0	64.3±0.0	6.3±0.0
Red LED	15.6±0.6	2.0±0.3	4.7±0.6	2.0±0.3	7.6±1.4	248.7±0.1	15.7±0.0	0.3±0.0	ND
Green LED	20.9±1.4	4.8±2.3	5.3±1.15	21.4±7.4	10.7±1.3	1667.7±0.9	38.7±0.0	10.0±0.0	0.3±0.0

^aBroad-spectrum-white LED, 420-680 nm; ^bRed light supplemented with 10% blue light; ND, Not determined.

○ ‘청치마’와 ‘적치마’ 상추의 전개엽수 증가는 blue광 처리구와 blue+red 혼합광 처리구에서 다른 광에 비해 3~4배 이상 증가하였다. 대조구와 green광 처리구는 유사한 수준을 보였고, red광 처리구에서 가장 낮은 전개엽수를 보였다.

Table 4. The effect of different light-emitting diode-based sources (LEDs) on morphological characteristics of red-lettuce plants after 4 weeks of culture

Light Source	Shoot length (cm)	Root length (cm)	Leaf number (ea)	Leaf area (cm ² /plant)	Chlorophyll content (SPAD)	Shoot		Root	
						FW (mg)	DW (mg)	FW (mg)	DW (mg)
Control (BSWL ^x)	11.5±1.2	2.6±0.8	5.3±0.6	13.5±1.8	6.9±0.5	294.3±0.1	19.0±0.0	16.0±0.0	1.0±0.0
Blue LED	17.9±0.3	8.3±0.3	8.7±0.6	60.0±7.0	17.2±0.9	1932.0±0.1	49.7±0.0	63.0±0.0	5.3±0.0
Blue+Red LED ^z	24.2±1.6	6.5±0.8	8.3±0.6	71.5±9.0	12.8±0.3	3177.0±0.3	74.7±0.0	67.3±0.0	6.3±0.0
Red LED	20.8±0.3	3.3±0.3	4.7±0.6	4.9±0.5	7.7±1.6	186.7±0.0	10.3±0.0	0.3±0.0	ND
Green LED	20.4±2.5	1.4±0.7	5.7±1.5	40.3±15.2	10.0±2.2	1595.0±0.1	35.3±0.0	11.3±0.0	ND

^xBroad-spectrum-white LED, 420-680 nm; ^zRed light supplemented with 10% blue light; ND, Not determined.

○ ‘청치마’와 ‘적치마’ 잎의 광질에 따른 잎의 엽장/엽폭 비율에 의한 엽면적을 조사한 결과, ‘청치마’의 경우 blue광 처리구에서 가장 높았고, ‘적치마’의 경우에는 blue+red광 처리구에서 가장 높았다. 반면에 두 품종 모두 red광 처리구에서 엽면적이 가장 낮았다. 이것은 red광이 처리된 상추의 잎은 발아 후 초기에는 잎의 길이 신장이 촉진된 반면, 생장이 진행될수록 엽폭과 엽형의 신장이 억제되어 전체적으로 잎이 작고 좁은 형태로 전개되는 형태형성을 나타내었다. 대조구와 비교해 ‘청치마’ 상추는 blue광이 보광된 blue+red 혼합광 처리구가 약 1.4배 더 증가되었고, ‘적치마’ 상추의 경우 blue광과 green광을 처리했을 때, 각각 엽면적이 약 4.4배와 3.0배 더 증가되는 것으로 나타났다.

○ 한편, ‘청치마’ 품종에서 blue+red 혼합광 처리구에서 chlorophyll 함량이 다른 광질에 비하여 약 1.5 ~ 3.1배 까지 증가되었고, ‘적치마’ 품종에서는 blue광 처리구가 다른 광질에 비하여 약 1.3 ~ 2.5배 까지 chlorophyll 함량이 증가하였다.

○ 실험기간 동안 ‘청상추’와 ‘적상추’의 생체중이나 건물중 증가와 같은 양적생장은 blue광 또는 blue+red 혼합광 처리구에서 가장 높은 증가를 나타내었다. 이와 같이 ‘청상추’와 ‘적상추’ 두 품종의 상추에서 광질의 영향은 잎의 형태형성에 큰 영향을 주었고, 잎의 신장 반응, 엽면적, chlorophyll 함량, 그리고 biomass의 증가량이 blue광질의 단일 처리나 보광에 의한 혼합 처리에 의해 촉진되어진다는 것을 확인하였다.

3. LED system을 이용한 광질 제어에 따른 기주 식물(작물)에 대한 식물병원균 반응성 평가

가. 재료 및 방법

(1) 식물재료 및 광 처리 조건

○ 토마토 식물 재료는 '토이'와 '미라클' 품종에 따라 다르게 진행되었다. 먼저, '토이' 토마토 식물 재료는 상기 2-가-(1)의 실험 방법에 따라 종자 소독 후 정상적으로 균일하게 최아 된 종자를 멸균된 상토가 담긴 pot에 파종하고, 4주 동안 broad-spectrum-white LED (BSWL)조건 하에서 성장 된 토마토 잎을 이용하였다. 실험 구의 광량은 $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 의 photosynthetic photon flux density (PPFD) 조건이었다. 광조사시간은 15 h(광조건)/9 h(암조건)의 광주기 상태에서 성장을 진행하였다.

○ '미라클' 토마토 식물 재료는 상기 2-가-(1)의 실험 방법에서 4주 동안 성장 된 토마토 식물을 이용하였으며, 광 처리는 2-가-(2)의 실험 방법과 동일한 조건 하에서 진행하였다.

○ 상추 식물 재료는 상기 2-가-(1)의 실험 방법에서 4주 동안 성장 된 '청상추'와 '적상추' 두 상추 품종을 이용하였으며, 광 처리는 2-가-(2)의 실험 방법과 동일한 조건 하에서 진행하였다.

(2) LED 광질 제어에 따른 기주 식물(작물)에 대한 식물병원균 반응성 평가

○ *Botrytis cinerea* (N0. 40574)균은 PDA agar 배지(4% Potato starch, 20% Dextrose, 15% Agar, Difco, USA)에 2주 동안 24°C, 암 배양한 뒤, distilled water (DW)를 2 ml 떨어뜨려 도말하였다. 포자 현탁액을 50 ml Falcon tube에 옮긴 뒤, Hemocytometer (0.100 mm Tiefe. Depth profondeur, Marienfeld, Germany)와 Microscope (Eclipse E200, Nikon, Japan)을 이용하여 5.7×10^5 spore/ml 또는 5.0×10^5 spore/ml가 되도록 포자수를 측정하였다.

○ 4주 동안 서로 다른 LED 광질 조건에서 성장된 토마토와 상추 유묘들이 식물 병원균 반응성 평가를 위한 기주식물(작물)로써 사용되어졌다. 먼저, '토이' 토마토는 일정한 크기로 자란 건전한 잎을 선별 분리하여 흡습지를 깐 plate위에 올려놓고, 잎 중앙에 지름 50 mm의 원형 흡습지를 올린 뒤, 5.7×10^5 spore/ml로 현탁 된 *B. cinerea*균액을 10 μl 씩 접종하였다. 각각 접종된 plate는 대조구(BSWL)와 blue (460nm) 광질 조건에서 10일 동안 처리하였다.

○ 한편, '미라클' 토마토와 '청상추'와 '적상추' 식물은 모든 잎의 중앙에 바늘침으로 상처를 낸 후, 5.0×10^5 spore/ml로 현탁된 *B. cinerea* 균액을 10 μ l씩 접종하였다. 각각 접종된 처리구는 비접종된 대조구와 함께 blue (460nm), red (635nm), green (520nm)의 단일 광질과 broad-spectrum-white LED (BSWL, 420-680 nm), 그리고 blue+red (red light supplemented with 10% blue light)의 혼합광 조건에서 7일 동안 처리하였다.

○ 각각 접종 10일과 7일 후 각 처리구의 토마토와 상추 잎의 gray mold 병반 크기의 평가 기준을 Rajkumar 등 (2005)의 방법에 따라 0 (no symptoms) ~ 4 (51 ~ 100%)의 등급에 대한 지표값으로 계량화하여 기주식물(작물)에 대한 *B. cinerea* 병원균의 발병 억제 효율을 평가하였다.

나. 결과 및 고찰

(1) LED 광질 제어에 따른 토마토 식물(작물)에 대한 식물 병원균 반응성 평가

○ 본 연구는 '토이'와 '미라클' 두 토마토 품종의 식물(작물)에서 잿빛곰팡이병을 일으키는 *Botrytis cinerea* 식물병원균에 대한 서로 다른 LED 광질 제어에 의한 방제 능력을 조사하기 위해 실시되었다.

○ '토이' 토마토 잎의 광질에 따른 *B. cinerea* 균의 반응성 평가는 blue광 처리구에서 높은 방제효과를 나타내었다(Fig. 11). 잎 표면의 *B. cinerea* 균에 의한 잿빛곰팡이병 발병율은 대조구(BSWL)에서는 50% 이상 잎 표면에 황갈색의 발병 증상을 보인 반면에, blue광 처리구에서는 병반이 거의 나타나지 않았고, 발병율 또한 10%이하로 현저하게 억제 되는 것을 확인할 수 있었다.

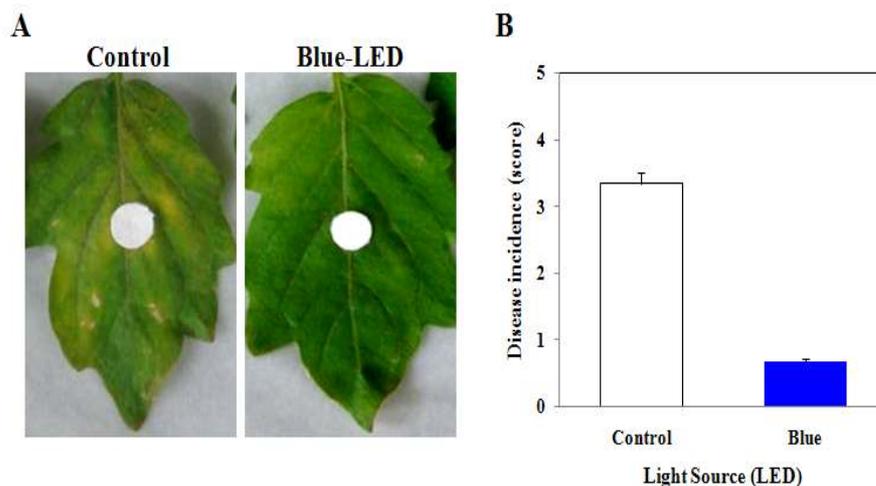


Fig. 11. In vivo brown lesion development by *B. cinerea* in 'Toy' tomato plants under different LED treatment. A, Tomato leaves were inoculated with *B. cinerea* spores and then kept under broad-spectrum-white LED (control) and blue LED light for 10 days. B, Incidence of disease was quantitatively assessed by the following indices, 0, no symptoms, 1, 1-12% lesion, 2, 13-25%, 3, 26-50%, and 4, 51-100%.

○ '미라클' 토마토 잎의 광질에 따른 *B. cinerea*균의 반응성 평가 또한 blue광 처리구에서 가장 높은 방제 효과를 나타내었다(Fig. 12). 반면에, 대조구인 BSWL처리구와 red와 green광 처리구에서는 잎의 50%이상이 잿빛곰팡이 발병 증상을 나타내었다. 한편, blue+red 혼합광을 처리한 경우에는 8.3%의 낮은 발병율을 보였다.

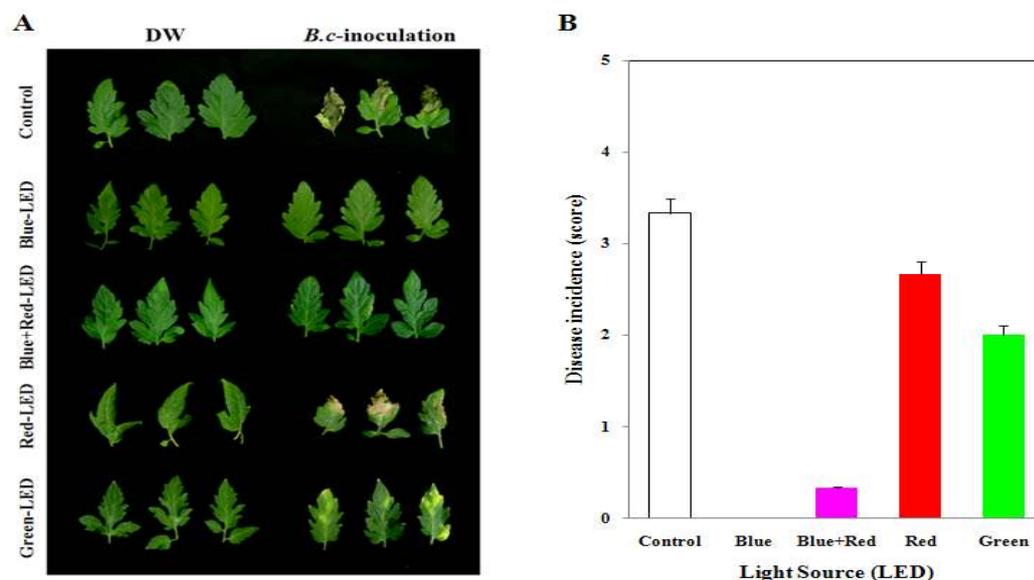


Fig. 12. In vivo brown lesion development by *B. cinerea* in 'Miracle' tomato plants under different LED treatment. A, 'miracle' tomato seedlings were inoculated with distilled water or spore suspension of *B. cinerea* (*Bc*-inoculation) spores and kept under broad-spectrum-white LED (control), blue LED, blue+red LED, red LED, and green LED lights for 7 days. B, Incidence of disease was quantitatively assessed by the following indices, 0, no symptoms, 1, 1-12% lesion, 2, 13-25%, 3, 26-50%, and 4, 51-100%.

(2) LED 광질 제어에 따른 상추 식물(작물)에 대한 식물 병원균 반응성 평가

○ 본 연구는 '청상추'와 '적상추' 두 상추 품종의 식물(작물)에서 잿빛곰팡이병을 일으키는 *Botrytis cinerea* 식물병원균에 대한 서로 다른 LED 광질 제어에 의한 방제 능력을 조사하기위해 실시되었다.

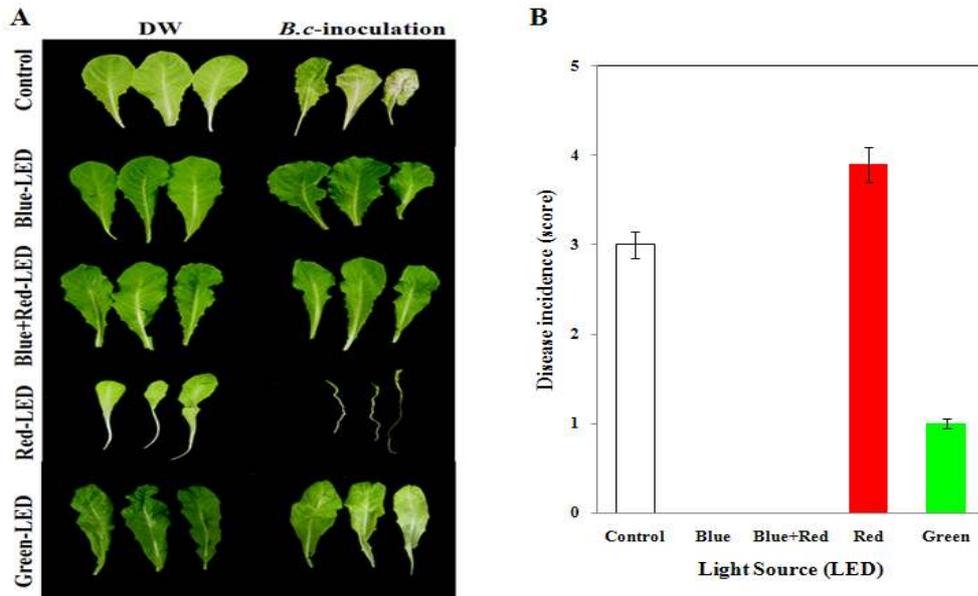


Fig. 13. In vivo brown lesion development by *B. cinerea* in blue-lettuce plants under different LED treatment. A, Blue-lettuce seedlings were inoculated with distilled water or spore suspension of *B. cinerea* (*Bc*-inoculation) spores and kept under broad-spectrum-white LED (control), blue LED, blue+red LED, red LED, and green LED lights for 7 days. B, Incidence of disease was quantitatively assessed by the following indices, 0, no symptoms, 1, 1-12% lesion, 2, 13-25%, 3, 26-50%, and 4, 51-100%.

○ '청상추'와 '적상추' 두 품종 모두, 비처리군에 대한 *B. cinerea* 병원균 처리군 간의 비교에서 잿빛곰팡이 병원균의 발병율이 blue광과 blue+red 혼합광 처리에 의해 가장 높은 방제 효과를 나타내었다 (Fig. 13 and 14). 반면에, 대조구인 BSWL과 red광이 처리된 상추 잎에서는 각각 75-100%와 91.8-97.5%까지 *B. cinerea*의 높은 감염율을 나타내었다. 한편, green광 처리구의 경우, '청상추'에서는 25% 그리고 '적상추'에서는 41.8%의 잿빛곰팡이 병징이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

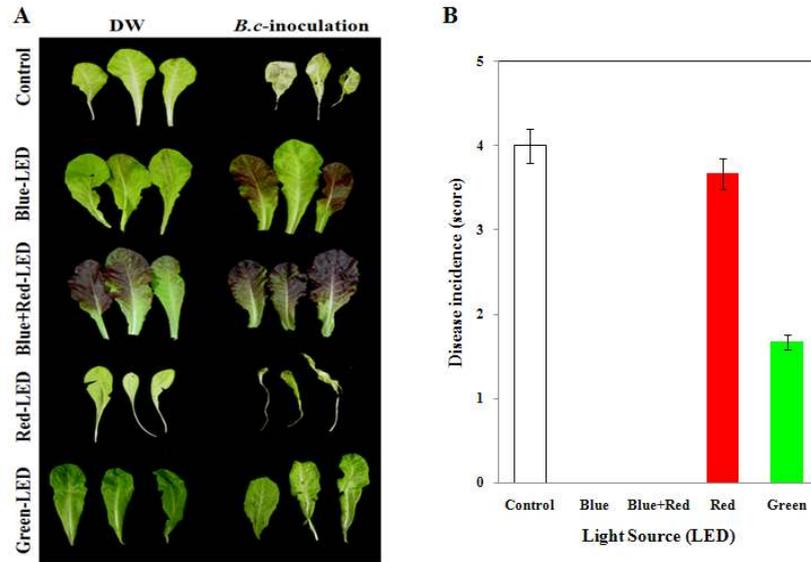


Fig. 14. In vivo brown lesion development by *B. cinerea* in red-lettuce plants under different LED treatment. A, Red-lettuce seedlings were inoculated with distilled water or spore suspension of *B. cinerea* (*Bc*-inoculation) spores and kept under broad-spectrum-white LED (control), blue LED, blue+red LED, red LED, and green LED lights for 7 days. B, Incidence of disease was quantitatively assessed by the following indices, 0, no symptoms, 1, 1-12% lesion, 2, 13-25%, 3, 26-50%, and 4, 51-100%.

○ 이와 같이 토마토와 상추 식물에서 광질의 영향은 식물병원균의 발병을 억제에서 다른 효과들을 나타내었으며, 특히 blue광과 blue+red 혼합광을 처리 해주는 것이 가장 효과적인 것임을 알 수 있었다. 이 결과는 또한, blue광-유도 저항성이 토마토와 상추 식물의 앞에서 *B. cinerea* 병원균의 공격에 대항하는 하나의 잠재적인 방어 메커니즘이 될 수도 있다는 것을 의미한다.

4. LED system을 이용한 광질 제어에 따른 기주식물(작물)의 생리적 방어기작변화 비교 분석

가. 재료 및 방법

(1) 식물재료

○ 토마토 식물 재료는 '토이'와 '미라클' 품종에 따라 다르게 진행되었다. 먼저, '토이' 방울 토마토 식물 재료는 상기 2-가-(1)과 (2)의 실험 방법에서 20일 후 각 광 처리구 별로 sampling 된 토마토의 잎과 줄기를 가지고 이용하였다.

○ '미라클' 방울 토마토와 두 상추 식물 재료는 상기 3-가-(2)의 실험 방법에서

*Botrytis cinerea*균 접종 후 7일 째에 각 광 처리구별로 sampling 된 병원균 비처리구와 처리구의 '청상추'와 '적상추' 두 상추 품종과 '미라클' 토마토 식물의 잎을 가지고 이용하였다.

(2) proline 함량 비교 분석

○ Proline 함량 분석은 Bates 등(1973)의 방법으로 추출하여 분석하였다. 각 시료 0.5g을 취해 10 ml MCW (methanol : chloroform : water = 12 : 5 : 1, v/v/v)액을 첨가한 뒤 균질화 시키고, 상온에서 12,000 rpm으로 10분간 원심분리 한다. 상정액 2 ml을 2 ml acid-ninhydrin and 2 ml glacial acetic acid가 혼합된 용액과 혼합하여 1시간 동안 100°C에서 끓인 뒤, 즉시 5 ~ 10분 동안 ice-bath로 옮겨 반응을 중지시킨다. 반응이 중지된 혼합액에 4 ml toluene을 첨가하여 20초 동안 vortexing 하여 잘 혼합하고, 상온에서 30분간 정치 한 뒤 UV-spectrophotometer (UV-1800, Shimadzu Corp., Japan)을 이용하여 520nm에서 흡광도를 측정하여 proline 함량을 분석하였다.

(3) Total polyphenolic compound 함량 비교 분석

○ Total polyphenolic compound 함량의 분석은 Singleton and Rossi (1965)의 방법에 따라 Folin-Ciocalteu reagent (F-C 시약)가 알칼리 조건에서 추출물의 polyphenol성 화합물에 의해 환원된 결과 노란색에서 몰리브덴 청색으로 발색되는 원리로 UV-spectrophotometer (UV-1800, Shimadzu Corp., Japan)을 이용하여 740nm에서 총 폴리페놀의 양을 측정하여 비교분석하였다. Tannic acid를 이용한 표준곡선은 gallic acid의 최종농도가 0, 100, 150, 250, 500 ug/ml이 되도록 하여 740nm에서 흡광도를 측정하여 작성하였다.

(4) DPPH free radical 소거 능력 비교 분석

○ DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)를 기질로 이용하여 radical scavenging 활성을 측정하는 Blois (1958)의 방법에 따라 0.2 mM DPPH methanol 용액을 흡광도가 2.0이 되도록 조절하여 분획시료 150 ul와 DPPH methanol 750 ul를 혼합하여 25°C에서 30분간 반응시킨 다음 UV-spectrophotometer (UV-1800, Shimadzu Corp., Japan)을 이용하여 517nm에서 흡광도를 측정하였다. 측정된 흡광도는 다음 식에 의해 DPPH free radical 소거 활성 값으로 환산하였다.

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = \frac{(\text{대조구의 흡광도} - \text{실험구의 흡광도})}{\text{대조구의 흡광도}} \times 100$$

(5) Antioxidant enzymes 활성 비교 분석

○ 전체 Superoxide dismutase (SOD) 활성은 Oberley와 Spitz (1984)의 방법에 따라 nitro blue tetrazolium (NBT) 의존적 O₂의 환원 억제 정도를 560nm에서 측정하여 검정하였다. Catalase (CAT)활성 분석은 Beers와 Sizer의 방법(1952)에 따라 H₂O₂의 이화작용을 240nm에서 측정하여 검정하였다. Guaiacol peroxidase (POX)활성 분석은 Chance와 Maehly (1955)의 방법에 따라 H₂O₂가 존재하는 가운데 470nm에서 guaiacol이 tetraguaiacol을 형성하는 반응을 측정하여 검정하였다. Ascorbate peroxidase (APX) 활성 분석은 Nakano and Asada (1981)의 방법에 따라 ascorbate가 산화되어 감소되는 양을 290nm에서 측정하여 검정하였다. Glutathione reductase (GR)활성 분석은 O'kane et al. (1996)방법에 따라 NADPH의 산화반응을 340nm에서 측정하여 검정하였다.

나. 결과 및 고찰

(1) proline 함량 비교 분석

○ 많은 식물 중에서 proline의 축적은 stress-조절 유전자의 발현을 자극하는 대표적인 삼투제로서 스트레스 내성과 관련되어 있으며, stress 조건에서 sub-cellular 구조 (막과 단백질)를 안정화시키고 free-radicals를 소거하며, 세포질의 산화 환원을 완충해주는 기능을 가지고 있다.

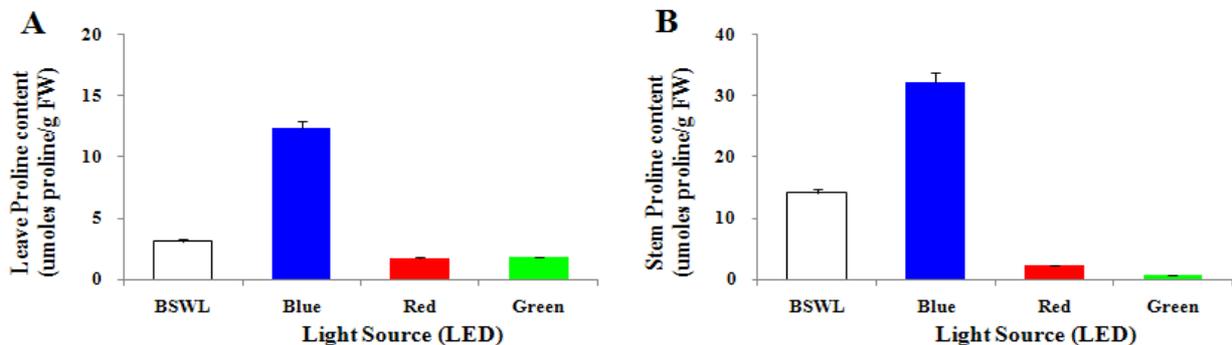


Fig. 15. The proline content in the leaf (A) and stem (B) of 'Toy' tomato seedlings under different LED treatment.

○ 각각의 LED 단색광 처리에 대한 '토이' 토마토 식물의 proline 함량은 대조구

(BSWL)와 비교해 잎과 줄기 모두 blue광 처리구에서 현저하게 높은 경향을 보였다 (Fig. 15). 각 잎에서의 proline 함량은 대조구와 비교해 red광과 green광 처리구에서는 약 0.6배로 감소하였지만, blue광 처리구에서는 약 4.0배까지 proline 함량이 증가하였다. 한편, 줄기에서의 proline 함량은 대조구와 비교해 red광과 green광 처리구들은 각각 약 16.0%와 5.0% 수준으로 현저하게 감소하였지만, blue광 처리구의 proline 함량은 약 2.3배까지 증가하였다. 특히, 줄기의 proline 함량은 blue광 처리구가 red광과 green광 처리구들 보다 각각 약 14.0배와 45.8배 더 높았다.

(2) Total polyphenolic compound 함량 비교 분석

○ 식물체내의 페놀성 화합물은 2차 대사산물로서 항산화, 항균 등 다양한 생리활성을 나타내며, 특히 항산화 활성은 페놀성 화합물의 작용과 밀접하게 관련되어져 있다.

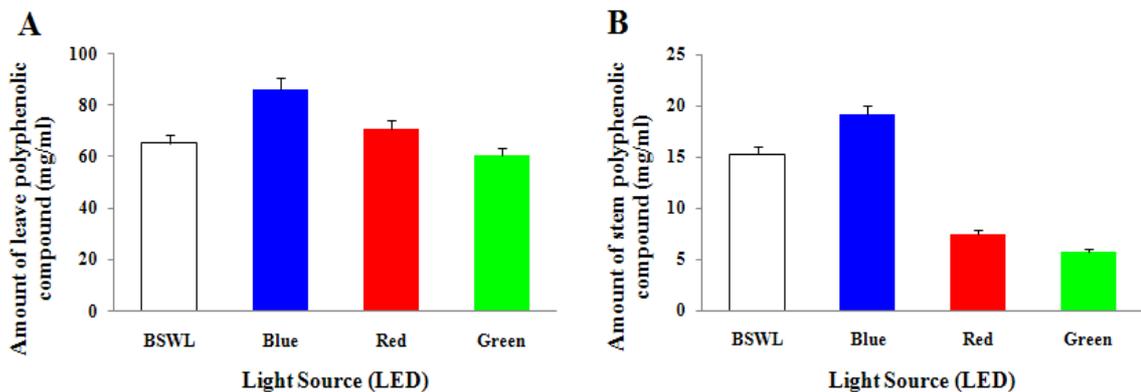


Fig. 16. The total polyphenolic compound content in the leaf (A) and stem (B) of 'Toy' tomato seedlings under different LED treatment.

○ '토이' 토마토 잎에서의 총 폴리페놀 화합물 함량은 red광과 green광 처리구에서는 대조구(BSWL)와 유사한 수준이었으나, blue광 처리구에서는 약 1.3배까지 증가하는 경향을 보였다. 한편, 줄기에서의 총 폴리페놀 화합물 함량은 대조구와 비교해 red광과 green광 처리구에서 각각 약 49.3%와 37.3% 수준으로 현저하게 감소하였지만, blue광 처리구에서는 약 1.3배(125.4%)까지 증가하였다(Fig. 16). 특히, 줄기의 총 폴리페놀 화합물 함량은 blue광 처리구가 red광과 green광 처리구들 보다 각각 약 2.5배와 3.4배 더 높았다.

(3) DPPH free radical 소거 능력 비교 분석

○ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH)는 화학적으로 안정성을 띠는 자유라디칼을 가지고 있으며, 항산화 활성이 있는 물질과 만나면 전자를 내주면서 라디칼이 소멸되어 517nm에서 특징적인 광흡수를 나타내는 보라색 화합물이다.

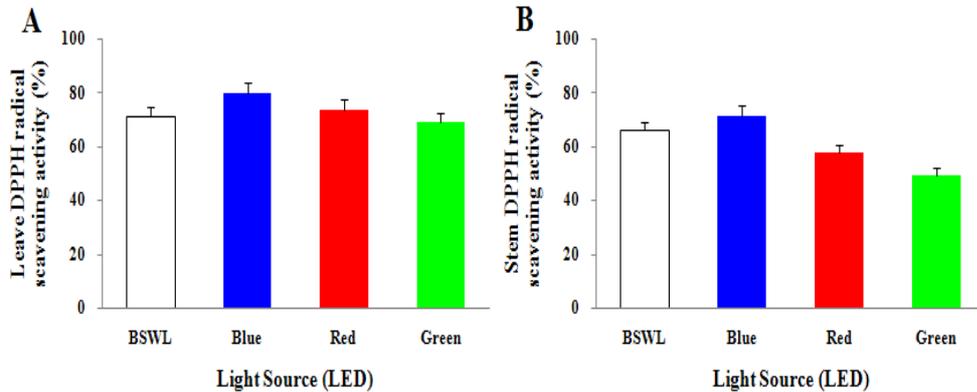


Fig. 17. The total polyphenolic compound content in the leaf (A) and stem (B) of 'Toy' tomato seedlings under different LED treatment.

○ '토이' 토마토 잎에서의 DPPH free radical 소거 능력은 대조구(BSWL)와 비교해 모두 유사한 수준이었고, blue광 처리구에서 약 1.1배(112.4%)까지 약간 증가하였다. 반면에 줄기에서는 대조구와 비교해 red광과 green광 처리구가 각각 약 87.5%와 74.9% 수준으로 DPPH free radical 소거 능력이 감소한 반면 blue광 처리구는 잎에서와 마찬가지로 약 1.1배 증가하였다 (Fig. 17).

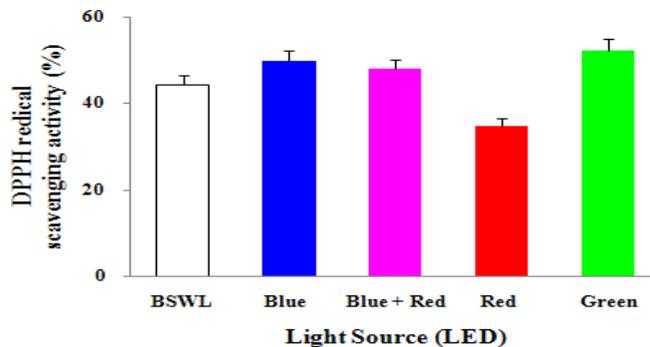


Fig. 18. The DPPH free radical scavenging activity in leaves of 'Miracle' tomato plants under different LED treatment.

○ 한편, '미라클' 토마토 품종에서 DPPH free radical 소거 활성 능력은 대조구인 BSWL광 처리구와 비교해 blue광, blue+red 혼합광, 그리고 green광 처리구에서 유사한 수준으로 활성이 증가되었다(Fig. 18). 반면에 red광 처리구는 가장 낮은 활성 능력을 나타내었다.

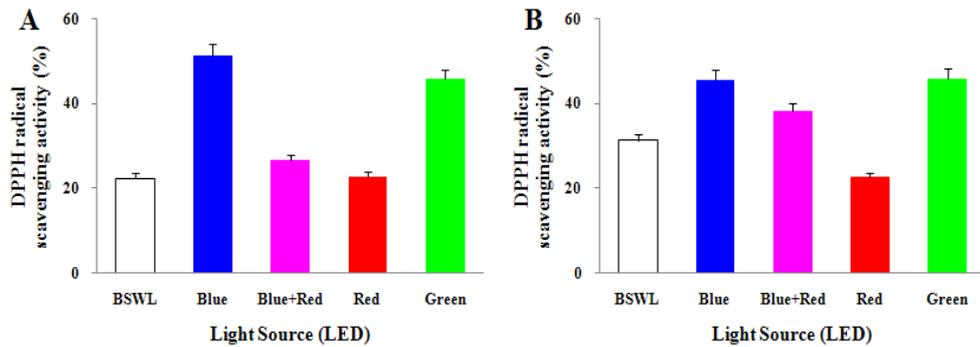


Fig. 19. The DPPH free radical scavenging activity in shoots of blue-lettuce (A) and red-lettuce (B) under different LED treatment.

○ '칭상추'와 '적상추' 두 품종 모두, blue광과 green광 처리구의 DPPH free radical 소거 활성 능력이 다른 실험구에 비해 높게 증가하였다(Fig. 19). 특히 '적상추'의 경우에는 대조구에 비하여 blue+red 혼합광이 약 1.2배 증가하였다. 반면에 red광 처리구는 두 품종 모두 가장 낮은 활성 능력을 나타내었다.

(4) Antioxidant enzymes 활성 비교 분석

○ 식물은 식물병원균의 공격과 같은 외부의 불리한 환경적 stress로부터 세포를 보호하기 위해 비효소적 또는 효소적 방어 시스템으로써 항산화적 기능들을 발달시켜 왔다(Sharma et al. 2012). 본 실험에서는 토마토와 상추 식물에 대한 LED 광질 제어에 따른 superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POX), ascorbate peroxidase (APX), glutathione reductase (GR) 등의 대표적인 항산화 효소들의 활성 양상을 비교 분석하였다.

○ '토이' 토마토 식물의 SOD 활성은 대조구(BSWL)와 비교해 잎에서는 유사한 수준이었으나 잎과 줄기 모두 blue광 처리구에서 가장 높게 증가되었다(Fig. 20A). 특히, 줄기에서 SOD 활성은 대조구 보다 약 1.3배 증가하였다. 광질에 따른 CAT, APX, GR 효소들의 활성은 줄기보다는 잎에서 더 촉진되어졌다(Fig. 20). 대조구인 BSWL과 비교해 red광과 green광은 활성이 감소된 반면에 blue광 처리구의 잎에서는 평균 약 1.2배

활성이 높았다.

○ 한편, POX 활성은 잎과 줄기에서 서로 다른 경향을 나타내었다(Fig. 20C). 잎의 POX 활성은 red광과 green광 처리에 의해 촉진되었고, 함량의 증가량도 blue광질이나 대조구에 비해 높았다. 반면에 줄기의 POX 활성은 blue광질에서 가장 높게 증가하였고, red광과 green광 처리구에서는 오히려 활성이 감소하는 경향을 보였다. 이와 같이 식물의 antioxidant property는 특이적인 광 공급에 의해 식물 종 또는 조직 특이적으로 더해지거나 강화 될 수 있다.

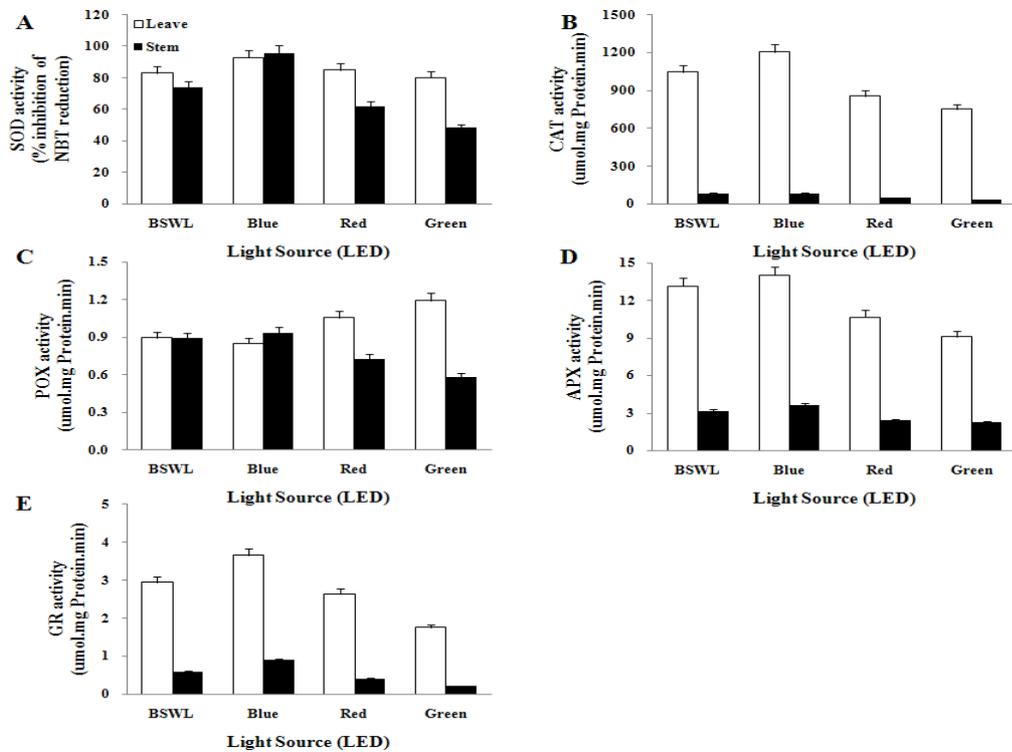


Fig. 20. The activities for antioxidant enzymes in leaves and stems of 'Toy' tomato plants under different LED treatment. **A**, superoxide dismutase (SOD); **B**, catalase (CAT); **C**, peroxidase (POX); **D**, ascorbate peroxidase (APX); and **E**, glutathione reductase (GR).

○ '미라클' 토마토 품종에서는 괴사성 식물병원균 *B. cinerea*의 처리에 의한 각 광질 처리별 잎의 항산화 효소 활성 변화를 조사하였다(Fig. 21). SOD 효소 활성은 모든 광 처리구에서 유사한 수준을 보였고, *B. cinerea* 처리에 의해 잎의 활성이 모두 약간 감소하는 경향을 나타내었다. 반대로 POX 활성은 green광을 제외하고, 모든 광 처리구에서 *B. cinerea* 처리에 의해 활성이 증가하는 경향을 나타내었다.

○ 한편, CAT, APX, 그리고 GR의 효소 활성은 *B. cinerea* 처리에 의해 blue광과 blue+red 혼합광 처리구에서 높게 증가되었다. 특히, 다른 처리구에 비해 blue+red 혼합광 처리에서 활성이 약 1.2-2.9배까지 증가하였다. 반면에 red광 처리구는 가장 낮은 효소 활성 증가를 나타내었고, green광은 식물병원균 처리에 의해 활성이 오히려 감소하거나 비처리구와 유사한 수준을 나타내었다.

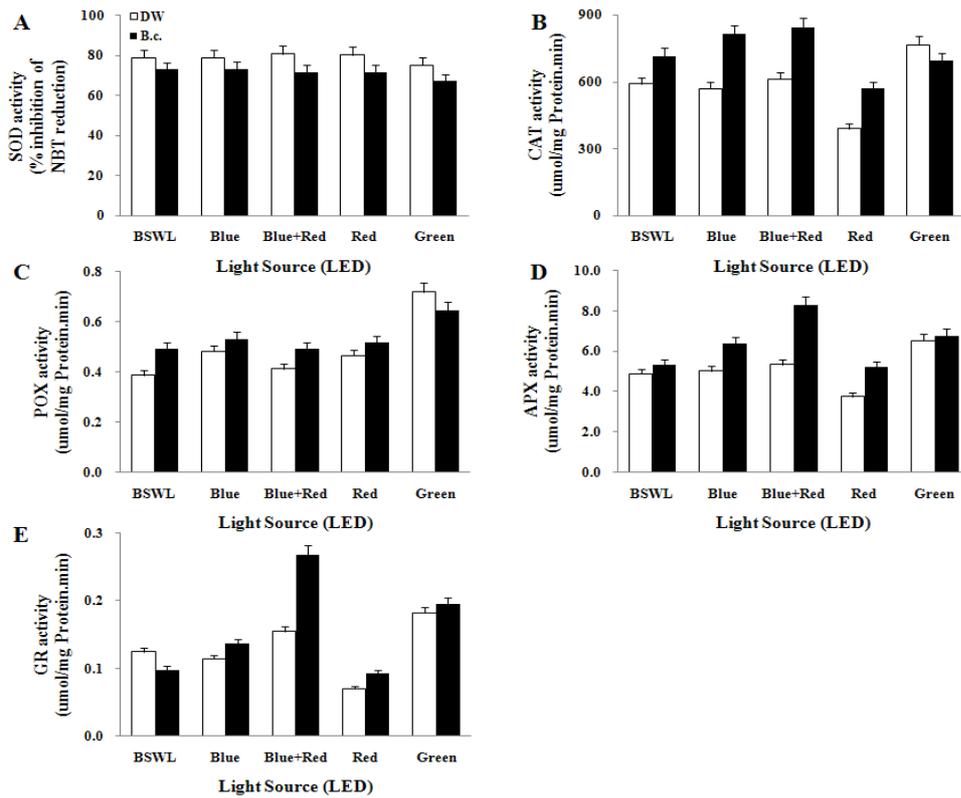


Fig. 21. The activities for antioxidant enzymes in leaves of 'Miracle' tomato plants under different LED treatment. **A**, superoxide dismutase (SOD); **B**, catalase (CAT); **C**, peroxidase (POX); **D**, ascorbate peroxidase (APX); and **E**, glutathione reductase (GR).

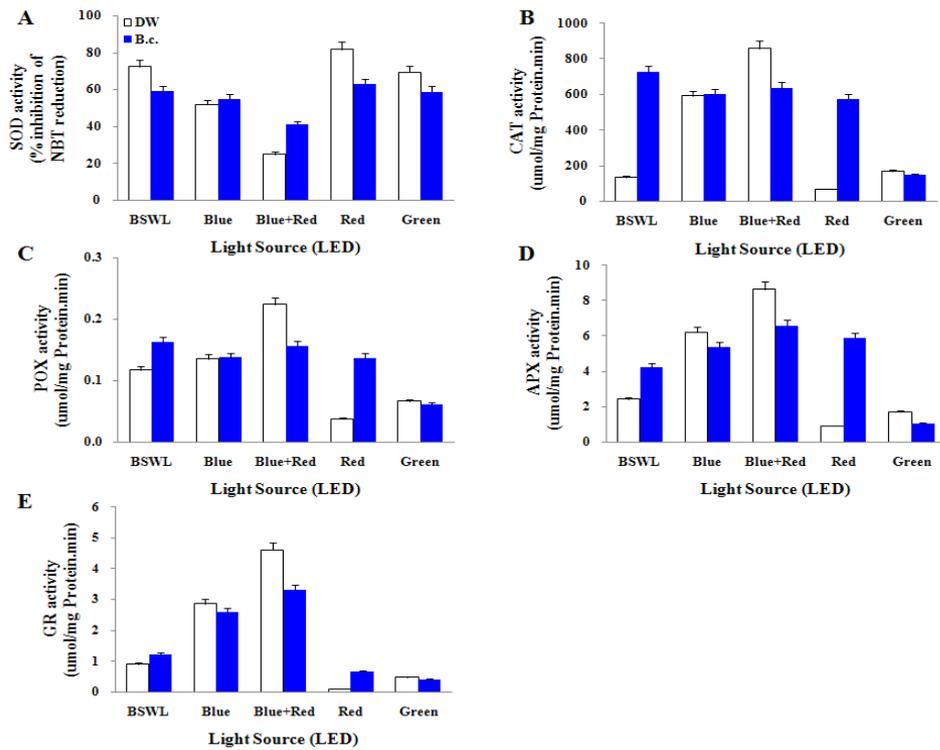


Fig. 22. The activities for antioxidant enzymes in shoots of blue-lettuce under different LED treatment. **A**, superoxide dismutase (SOD); **B**, catalase (CAT); **C**, peroxidase (POX); **D**, ascorbate peroxidase (APX); and **E**, glutathione reductase (GR).

○ ‘청상추’와 ‘적상추’ 두 상추 품종에서 *B. cinerea*의 처리에 의한 각 광질 처리별 항산화 효소 활성 변화를 분석하였다(Fig. 22 and 23). 먼저, SOD의 활성은 병원균 처리를 하지 않은 경우, 대조구인 BSWL과 비교해 blue광과 blue+red 혼합광은 감소된 반면에 red광과 green광은 유사하거나 약간 증가하였다. 그러나 식물병원균을 처리한 경우 blue광과 blue+red 혼합광은 활성이 증가된 반면, red광과 green광은 오히려 감소하는 경향을 나타내었다.

○ H_2O_2 의 비독성화에 중요한 역할을 수행하는 CAT, POX, APX, 그리고 GR 효소들의 활성은 대조구인 BSWL과 비교해 blue광과 blue+red 혼합광 처리의 경우 식물병원균을 처리하지 않은 경우에는 활성이 4.4-6.4배까지 증가한 반면에 red광과 green광 처리구들은 활성이 감소하였다. 한편, *B. cinerea* 병원균을 처리한 경우 blue광과 green광 그리고 blue+red 혼합광은 비처리구와 유사하거나 감소하는 활성 경향을 보였다. 반면에 red광은 비처리구에 비해 병원균 처리구에서 활성이 증가하는 경향을 나타내었다.

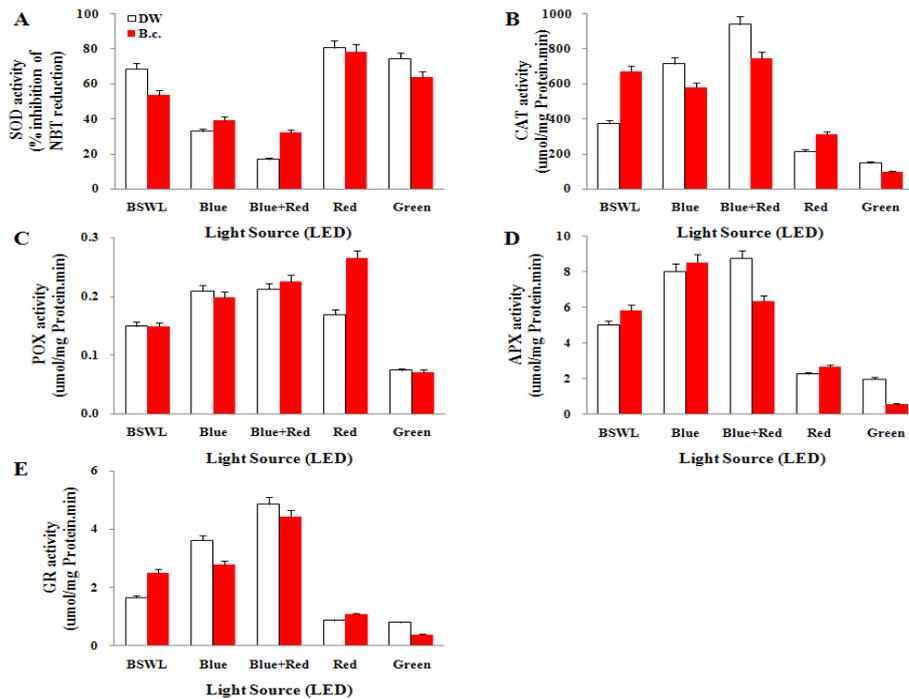


Fig. 23. The activities for antioxidant enzymes in shoots of red-lettuce under different LED treatment. **A**, superoxide dismutase (SOD); **B**, catalase (CAT); **C**, peroxidase (POX); **D**, ascorbate peroxidase (APX); and **E**, glutathione reductase (GR).

○ 그러나 두 상추 품종 모두 CAT, POX, APX, GR 효소들의 전체 항산화 활성은 blue광과 blue+red 혼합광 처리구에서 높게 증가되는 것을 확인 할 수 있었고, 이와 같이 강화된 활성 능력은 식물병원균 반응성 평가에서 잎의 병원균 공격에 대한 높은 저항성 유도에 큰 영향을 미쳤다고 생각된다.

5. LED system을 활용한 시설 재배지내 식물병원균 방제 실증 실험 및 효율성 비교 분석 가. 재료 및 방법

(1) 식물병원균 및 식물재료

○ 실험에 사용된 식물병원균으로는 시설재배지내에서 가장 심각하게 발병하는 병원균 중에서 기주범위가 넓어 채소류, 화훼류, 과수류 등에 침입하는 다범성 병원균인 잿빛곰팡이병원균과 흰가루곰팡이병원균을 선발하였다. 잿빛곰팡이병원균은 수원 농촌진흥청 국립농업과학원 농업유전자원정보센터 한국농업미생물자원센터(KACC)로부터 *Botrytis cinerea* (No. 40574)를 분양 받았으며, 흰가루곰팡이병원균 (*Podosphaera*속)은 익산 농업기술센터 약용작물 시험단지 내 구기자 잎에 발병한 흰가루곰팡이병원균을 채

취하여 온실 시설재배지 내 식물병원균 방제 실증실험에 이용하였다.

○ 식물재료는 본 실험에서 사용되어진 ‘토이’ 품종의 방울토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill.)와 ‘청치마’ 품종의 상추 (*Lactuca sativa* L.) 싹묘를 이용하였다.

(2) 시설 재배지내 광 처리 조건

○ 전북 대학교 소재 (익산 캠퍼스) 비닐하우스 시설 재배지내에 (주)그린테코에서 개발한 식물병원균 방제용등을 설치한 총 12개의 실험구역을 제작하였다(Fig. 24). 각 실험구는 192 x 203 x 145 cm의 면적으로 나뉘어 각 구역마다 암막을 설치하여 빛의 간섭을 최소화하였다. 실험에 사용된 LED 광원으로는 blue (460nm), red (635nm), green (520nm)의 단일 광질과 broad-spectrum-white LED (BSWL, 420-680 nm), 그리고 blue+red (red light supplemented with 50% blue light)의 혼합광을 사용하였으며, 대조구로는 자연광(natural light, NL구) 처리구를 이용하였다. 본 시스템의 광 강도는 120 ~ 1300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 범위에서 제어 가능하며, 각 실험구의 광량은 평균 700 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 의 photosynthetic photon flux density (PPFD) 조건이었다. 광 조사 시간은 타이머를 연결하여 임의적으로 제어하였고, 자연광의 간섭 효과를 최소화하기 위하여 일몰 후 LED 광을 12 시간씩 매일 처리하였다.



Fig. 24. The experiment area for phytopathogen test in a greenhouse.

(3) 식물병원균 처리

○ 시설 재배지내 잿빛곰팡이병(gray mold) 실증 실험을 실시하기 위하여, ‘토이’ 토마토 종자를 4월 한 달 동안 플러그 트레이(25 x 50 x 5 cm)에 파종하여 생장 시킨 뒤, 5월 초에 온실 시설 재배지내에 이식하였다. 각 LED 광원이 설치된 실험구에 토마토 유묘를 30 cm 간격으로 6 개체씩 이식한 후 7월 말에 *Botrytis cinerea* (NO. 40574)균 포자 현탁액(5.0×10^5 spore/ml)을 모든 잎에 바늘침으로 상처를 낸 후 100 μl 씩 접종하여 약 2주 동안 처리한 후 각 LED광원 처리에 의한 방

제 효율성을 조사하였다. 상추 품종은 '청상추'를 이용하였으며, 7월 초에 파종하여 한 달 동안 플러그 트레이(25 x 50 x 5 cm)에서 생장 시킨 뒤 8월 중순에 온실 시설 재배지에 옮겨주었다. 9월 초에 각 처리구마다 6개체씩 pot에 이식하여 배치한 후 토마토와 동일하게 *Botrytis cinerea* (N0. 40574)균 포자 현탁액(5.0×10^5 spore/ml)을 모든 잎에 바늘침으로 상처를 낸 후 100 u1씩 접종하여 약 3주 동안 처리한 후 각 LED광원 처리에 의한 방제 효율성을 조사하였다. 발병율(%)은 총 조사잎 수에 대한 발병잎 수의 백분비로 산출하여 구하였다.

○ 시설 재배지내 흰가루곰팡이병(powdery mildew) 실증 실험을 실시하기 위하여, '토이' 토마토 종자를 4월 한 달 동안 플러그 트레이(25 x 50 x 5 cm)에 파종하여 생장 시킨 뒤, 5월 초에 온실 시설 재배지내에 이식하였다. 6월 중순에 접종원인 이병과실을 얻기 위하여 비실험구에서 건전하게 생장한 토마토 식물체의 잎에 상처를 내어 구기자 잎에서 발병한 흰가루곰팡이 병원균을 접종하였다. 한편, 각 LED 광원이 설치된 실험구에 토마토 유묘를 30 cm 간격으로 6 개체씩 이식한 후 6월 말부터 약 50일 동안 흰가루곰팡이병이 발병된 토마토 이병과실과 함께 생장시킨 뒤 8월 초에 각 LED광원 처리에 의한 방제 효율성을 조사하였다. 상추 품종은 '청상추'를 이용하였으며, 7월 초에 파종하여 한 달 동안 플러그 트레이(25 x 50 x 5 cm)에서 생장 시킨 뒤 8월 중순에 온실 시설 재배지에 옮겨주었다. 9월 초에 토마토에 발병된 흰가루곰팡이병을 채취하여 각 처리구마다 6개체씩 상추 잎에 상처를 내어 접종해 주었다. 약 30일 후 각 LED광원 처리에 의한 방제 효율성을 조사하였다. 발병율(%)은 병반면적을 5%이상을 발병 기준으로 하여 총 조사잎 수에 대한 발병잎 수의 백분비로 산출하여 구하였다.

나. 결과 및 고찰

○ 본 실험에서는 LED system을 활용한 온실 시설 재배지내 대표적인 식물 병원균인 잿빛곰팡이병과 흰가루곰팡이병 방제 효율에 대한 토마토와 상추 식물(작물)의 실증 실험을 수행하였다(Fig. 25).

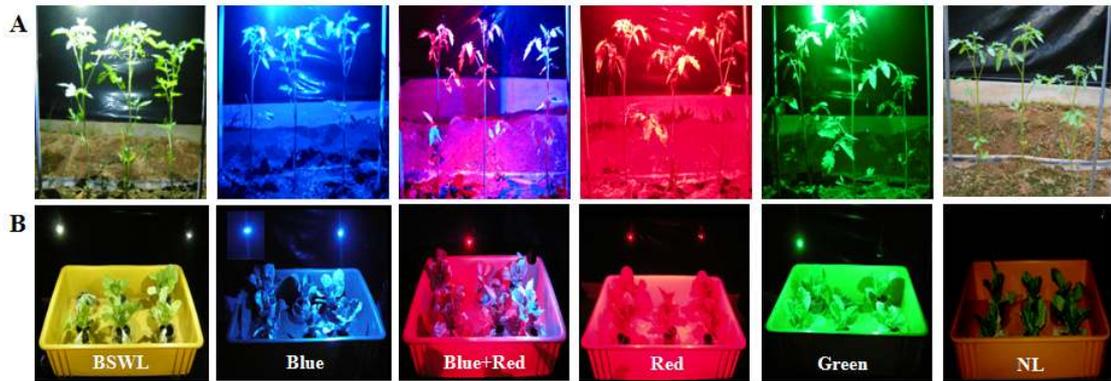


Fig. 25. The phytopathogen treatment in tomato (A) and lettuce (B) plants under broad-spectrum-white LED (BSWL), blue LED, blue+red LED, red LED, green LED lights or natural light (NL, control).

○ 토마토 식물에서 잿빛곰팡이병과 흰가루곰팡이병 모두 자연광조건에서 가장 높은 발병률이 관찰되어졌다 (Fig. 26). 즉, 대조구인 자연광(NL구)에 비하여 LED광 처리 조건에서 식물 병원균 감염 방제 효율이 더 높았다. 특히 잿빛곰팡이병 방제율은 LED광원 처리 시 흰가루곰팡이병 방제율 보다 1.6-2.4배 더 증진되었다.

○ LED광원 처리구간에 방제 효율은 잿빛곰팡이병 처리의 경우 blue광과 blue+red 혼합광 처리구에서 가장 높았다. 한편, 흰가루곰팡이병 처리의 경우에는 red 광과 blue+red 혼합광에서 방제 효율이 가장 높았다.

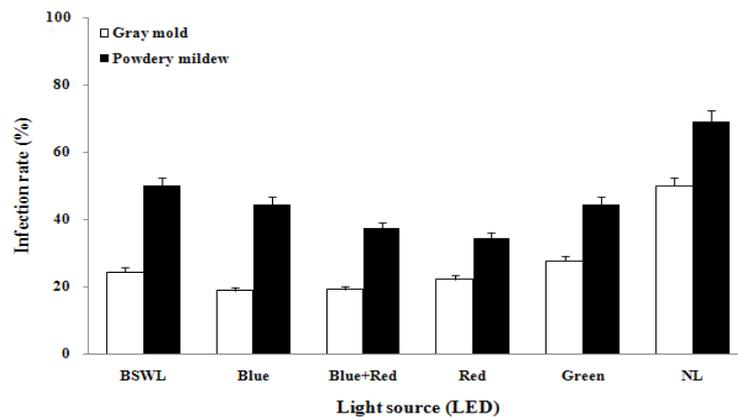


Fig. 26. Infection rate of tomato leaves after gray mold and powdery mildew diseases inoculation in a greenhouse.

○ 상추 식물에서 잿빛곰팡이병과 흰가루곰팡이병 방제 효율은 광원별로 서로 다

른 경향을 나타내었다(Fig. 27). 먼저 잿빛곰팡이병 방제율은 blue광과 blue+red 혼합광에서 가장 높은 방제 효율을 나타낸 반면에 대조구(NL구)와 비교하여 broad-spectrum-white LED (BSWL)광과 red광, 그리고 green광 처리구에서는 유사하거나 더 낮은 효율을 나타내었다. 한편, 흰가루곰팡이병 방제율은 대조구인 자연광에 비하여 LED광 처리구에서 방제 효율이 더 높았다. 특히, blue+red 혼합광에서 다른 광 처리구에 비하여 약 1.7-2.3배까지 흰가루곰팡이병 방제 효율이 증진되어졌다.

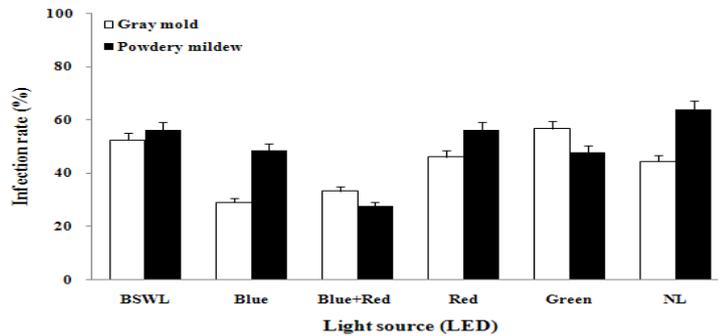


Fig. 27. Infection rate of lettuce leaves after gray mold and powdery mildew diseases inoculation in a greenhouse.

○ 이와 같이 LED system을 활용한 온실 시설 재배지내 잿빛곰팡이병과 흰가루곰팡이병 방제 효율에 대한 결과는 자연광조건에서 보다 LED 광원을 활용했을 경우 더 증진되어질 수 있다는 가능성을 제시하였다. 또한, 식물 병원균 방제에 효과적인 LED 광원으로는 blue광 또는 blue+red 혼합광원을 활용하는 것이 효과적임을 확인할 수 있었고, 그 효율성은 재배 식물(작물)의 종류에 따라 특이적인 광 효율을 나타낼 수 있다는 가능성을 제시하였다.

○ 따라서, 더욱 다양한 시설재배지내 재배 식물(작물)들을 대상으로 LED광원 system을 활용한 식물 병원균 방제 실증 실험을 통하여 LED 광질의 영향에 대한 방제 효율성 평가 연구가 진행되어야 한다.

제4절 농업해충 방제용 LED 장치의 농가실증실험

□ LED 장치를 이용한 파밤나방 유인효과 검정

○ 서론

현재 광원을 적용한 농업해충 실증실험의 경우 다양한 방법들이 적용되고 있어, 본 실험에 적합한 실증실험 방법 및 장치 등에 관한 정보를 얻고자 Journal of Asia-Pacific Entomology, Korean Journal of Applied Entomology, Korean Journal of Environmental Agriculture, Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, Journal of Vector Ecology, Florida Entomologist, Journal of Economic Entomology, Applied Entomology and Zoology, Environmental Entomology, Journal of Insect Physiology, Journal of Medical Entomology 및 Journal of Insect Behavior 등을 통해 정보를 탐색하였다. 광원을 이용한 해충방제 실증실험은 해충을 유인·포집하는 방법이 주로 연구되고 있으며, 포집법은 크게 끈끈이 트랩 (sticky trap) 또는 흡기팬을 이용한 포집이 주를 이루고 있었다. 또한, 담배가루이 [*Bemisia tabaci* (Gennadius)], 고구마바구미 [*Euscepes postfasciatus* (Fairmaire)], 파리류 및 모기류와 같은 다양한 해충에서 광원 또는 파장별 선호 정도에 대한 정보도 확인할 수 있었다. 따라서 본 실험에서는 상기 정보를 실험장치 개발 및 실험설계를 위한 기초 자료로 활용하였다.

파밤나방(*Spodoptera exigua* (Hübner))은 열대, 아열대, 온대지방에 널리 분포하고 있을 뿐만 아니라, 기주 범위가 광범위하여 채소, 화훼, 과수, 전작물, 특용작물 등 거의 모든 식물을 가해하는 광식성 해충으로 보고되어 있으며, 국내에서만 기주식물이 52종에 달하고 세계적으로는 40과 200여종을 가해하는 것으로 알려져 있다. 무분별한 화학농약의 살포는 약제에 대한 감수성 저하 및 연중 다세대 발생을 일으키는 파밤나방의 생태적 특성 때문에 방제가 어려운 난방제 해충으로 알려져 있다. 화학적 방제를 대체할 수 있는 여러 가지 방법 중 물리적인 방법으로 저온/고온처리, 감마선, 극초단파, 자외선, X-선, 전자빔, 환경조절열처리 등을 이용한 다양한 방법이 연구되었다.

본 연구는 지속적이며 친환경적으로 파밤나방을 방제하기 위해 제 1협동과제에서 1차 년도에 진행한 「파밤나방에 대한 LED 파장별 선호도 조사」를 통해 우수한 유인활성이 확인된 White LED를 이용하여 유인·포집할 수 있는 방법으로 개발된 LED 장치의 농가 실증 효과를 검정하기 위해 실행하였다.

○ 재료 및 방법

- 나방류 유인 LED 장치 제작

시설재배지내에서 파밤나방의 LED 해충 유인트랩을 제작하기 위해 몇 가지 트랩장치를 고안하였고 (주) 그린테코와 논의를 거쳐 끈끈이 트랩형 장치를 개발하는 것으로 결정하였다. 그 후 몇 차례의 수정·보완 작업을 거쳐 3개의 실증실험 장치를 양도받아 사용하였다 (그림 1). 상기 LED 끈끈이 트랩의 구성을 살펴보면, 트랩의 몸체역할을 하는 partition부분은 끈끈이를 탈부착하기 위한 부벽(扶壁)으로 사용되고 이음새(joint)는 트랩과 트랩을 매다는 줄(wire rope)을 상호간 연결하는 역할을 한다. 광원의 경우 LED 끈끈이 트랩은 White LED(450-620nm)를 partition과 partition의 이음새 부분에 부착시켜 사방(四方)으로 빛이 전달될 수 있도록 설계하였으며, 양성대조구(positive control)트랩은 광원으로 유아등에 많이 사용되는 Black light(352 nm)를 이용하였다. 음성대조구(negative control)트랩의 경우는 LED 끈끈이 트랩과 같은 조건의 장치에서 광원을 제거한 것을 사용하였다.

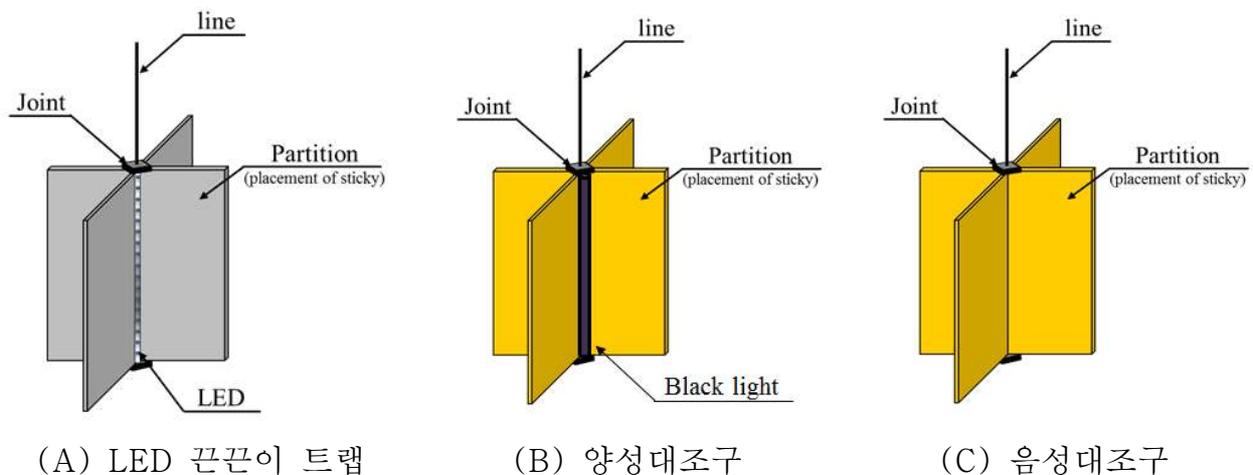


그림 1. LED 끈끈이 트랩(Mobile형)

- 실험 곤충의 사육

실험에 사용된 파밤나방 (*S. exigua*)은 국립농업과학원 농업생물부 곤충사육실로부터 어떠한 살충제의 노출 없이 인공사료 (표 1)를 먹이로 공급하며, 온도 $25\pm 1.0^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $50\pm 5\%$, 광주기 16L:8D 조건하의 항온항습실에서 누대사육하였다. 파밤나방의 누대사육을 위하여 1령충부터 번데기 기간 동안은 Insect breeding dish (지름 10cm, 높이 4cm)의 바닥에 키친타월을 깔아주고 그 위에 적당한 크기로 절단된 인공사료와 함께

약 30마리 정도를 사육하였으며, 2~3일 간격으로 키친타월과 인공사료를 교체하였다. 번데기가 되면 암·수 성비율 (1:1)을 맞춰 곤충사육케이지 (35×35×35cm)에 넣어주었으며, 우화된 성충이 섭취할 수 있게 인공사료와 3% 설탕물을 추가로 제공하여 사육하였다. 채란은 곤충사육케이지 안쪽에 산란용 종이(유산지)를 거꾸로 세워놓고, 성충이 산란한 난피를 종이에 붙은 채로 잘라서 petri dish에 보관하였다.

표 1. 파밤나방의 인공사료 조성

성 분	용 량
콩가루	113 g
밀백아(엿기름)	113 g
건조효모	60 g
Agar powder	27 g
MPH(p-Hydroxybenzoic acid methyl ester)	4.5 g
L-Ascorbic acid	15 g
Sorbic acid	2.3 g
포르말린(10%)	2.3 mL
소금(Wesson's salt mixture)	5 g
원비산(Vitamin)	15 g
Distilled Water	900 mL

- 실험 포장 조성 및 유인 LED 트랩의 설치

본 연구는 2011년 경기도 수원시 권선구에 위치한 농촌진흥청 국립농업과학원 소재 비닐하우스(위도 37.257, 경도 126.988) 3동에서 진행되었다 (그림 2). 기주식물로 사용된 잎고추는 수원 소재 육묘장에서 약제를 처리하지 않은 모종을 공급받아 2011년 4월에 하우스 당 120주씩 정식하였고 관행 방법으로 재배하였다. 유인 LED 트랩은 비닐하우스 3동을 음성대조구, Black light 설치동 및 White LED 설치동으로 나누어 각각의 비닐하우스에 2개씩 설치하였으며 (그림 3) 트랩의 높이는 일반적으로 예찰에 이용되는 작물높이에 위치시켰다. 트랩에 사용된 황색 끈끈이는 20×30cm의 직사각형으로 트랩 당 8개를 부착시켰다.



그림 2. 농업과학원 소재 비닐하우스 위치

- 파밤나방의 방사 및 유인 수 조사

실험에 사용된 파밤나방은 우화한지 3일이 경과하지 않은 성충을 사용하였으며 하우스 당 각각 200마리씩 방사하였다. 2011년 7월 10일부터 일주일간, 9월 11일부터 일주일간 2회에 걸쳐 노란색 점착 트랩에 포획된 파밤나방 성충수를 매일 일정한 시간에 조사하였다.

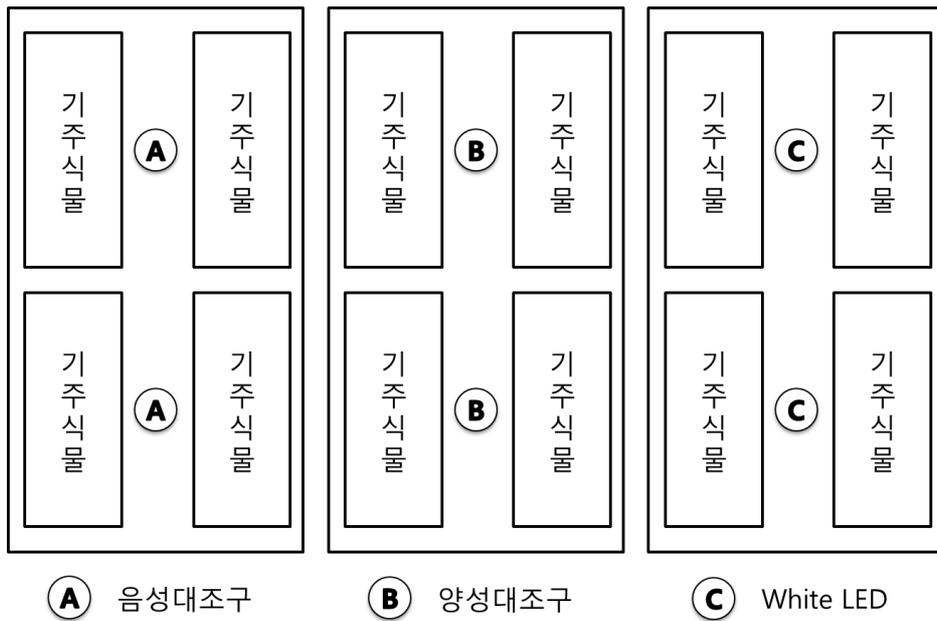


그림 3. 비닐하우스내의 구역 배치도

- 조사 자료의 분석

실험은 7월과 9월에 진행되었으며 각각의 실험은 동시에 2반복으로 진행하여 얻은 결과를 SPSS(ver. 12, SPSS Inc., Chicago, IL)를 이용하여 평균±표준오차로 결과값을 나타내었다. 또한 분산분석(ANOVA)을 이용하여 결과값의 유의성을 검정하였으며, 사후검정으로는 Tukey's HSD test을 사용하였다.

○ 결과 및 고찰

7월에 실시한 파밤나방의 광원별 포획수는 표 2와 같다. No light 조건에서의 1주일 간 포획된 파밤나방의 수는 거의 변화를 보이지 않는 반면, 양성대조구와 White LED에서 1주일간 유인된 파밤나방의 수는 꾸준히 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 광원에 따른 일일 변화량을 살펴보면, 음성대조구를 기준으로 트랩을 설치한 1일째는 White LED와 유의한 차이가 인정되지만 양성대조구와 비교하면 유의한 차이가 인정되지 않음을 알 수 있다. 설치 후 2일째부터 음성대조구, 양성대조구 및 White LED는 통계적으로 뚜렷한 차이를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 양성대조구보다 White LED에서의 파밤나방 성충의 포획수가 꾸준히 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

표 2. 비닐하우스에 설치된 Mobile형 끈끈이 트랩에 포획된 파밤나방 성충수(7월)

Day	No. adults / trap / day		
	No light	Black light	White LED
1 day	0±0.0a	16.0±0.1b	8.5±3.5ab
2 day	0.5±0.5a	17.0±0.0b	26.5±2.5c
3 day	0.5±0.5a	20.5±1.5b	42.0±1.0c
4 day	1.5±0.5a	22.5±0.5b	51.5±3.5c
5 day	1.5±0.5a	25.5±1.5b	66.5±1.5c
6 day	1.5±0.5a	31.5±6.5b	78.0±5.0c
7 day	2.0±0.0a	34.0±5.0b	83.0±2.0c

Means followed by the same letter in same row are not significantly different (P=0.05)

9월에 실시한 파밤나방의 광원별 포획수는 표 3과 같으며, 7월에 실시한 실험과 전체적으로 유사 결과를 보였다. 음성대조구(No light)의 경우 실험기간동안 유의적인 변화를 보이지 않았고, 양성대조구는 설치 1일째 White LED보다 통계적으로 유의하게 높은 활성이 관찰되었으며, 2일째는 비슷한 활성을 나타내고 이후로 White LED가 유의하게 높은 활성을 유지하는 것을 확인할 수 있었다.

광원이 설치되지 않은 음성대조구는 파밤나방의 유인에 미치는 영향이 거의 없는 것이 확인되었다. 다만, 황색 끈끈이에 파밤나방이 부착된 이유는 이들이 야간 비산(飛散) 활동 중 우연히 발생한 것으로 사료된다. 따라서 트랩에 공통적으로 적용된 황색 끈끈이는 파밤나방의 유인활성에 고려요인이 아님을 알 수 있다. 자외선 영역의 파장을 방출하는 양성대조구는 설치 초기에 파밤나방에 시각적으로 강한 자극을 유발하는 것으로 보이나 지속적인 자극은 파밤나방의 시각적 반응을 둔감하게 하는 것으로 사료된다. 반면, 가시광선 영역의 파장을 방출하는 White LED는 설치 초기부터 종료일까지 일주일간 지속적인 자극을 받았음에도 불구하고 끈끈이에 부착된 파밤나방의 수가 증가하는 것으로 미루어보아 지속적으로 민감한 반응을 유발할 수 있는 것으로 보인다.

표 3. 비닐하우스에 설치된 Mobile형 끈끈이 트랩에 포획된 파밤나방 성충수(9월)

Day	No. adults / trap / day		
	No light	Black light	White LED
1 day	0±0.0a	17.0±1.0c	10.5±0.5b
2 day	0.5±0.5a	17.5±1.5b	23.5±1.5b
3 day	1.0±0.0a	20.5±0.5b	32.0±1.0c
4 day	1.5±0.5a	24.0±1.0b	41.5±3.5c
5 day	1.5±0.5a	25.0±2.0b	57.0±1.0c
6 day	1.5±0.5a	29.5±4.5b	65.0±1.0c
7 day	1.5±0.5a	33.5±4.5b	74.5±3.0c

Means followed by the same letter in same row are not significantly different (P=0.05)

개발된 mobile형 끈끈이 트랩은 실증실험을 통해 우수한 유인·포획능력을 확인할 수 있었으며, 앞으로 시설재배지에서 발생하는 파밤나방의 조기 예찰 및 친환경적 해충방제를 위한 종합적 해충 관리(IPM: Intergrated Pest Management)의 일환으로서 적

용될 수 있을 것으로 기대된다.

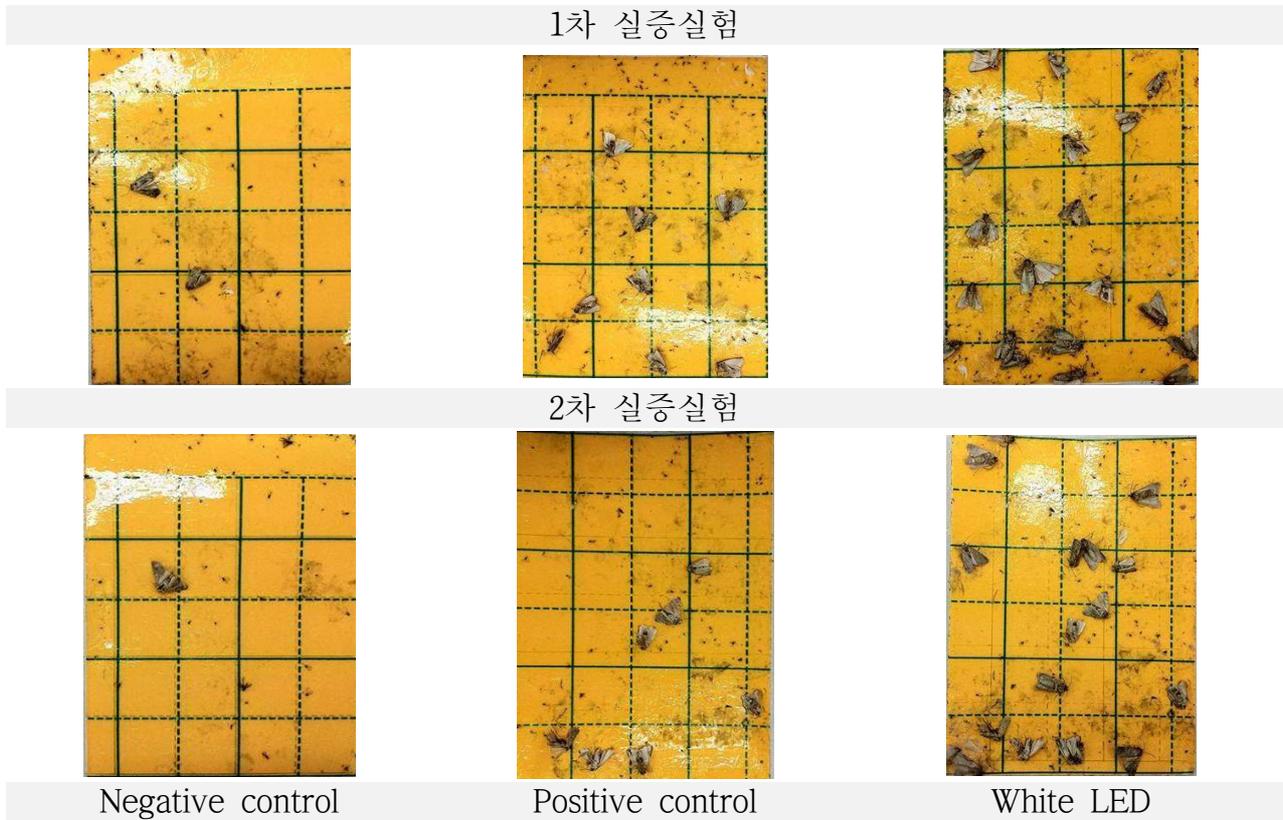


그림 4. 실증실험에 따른 트랩 조건별 포획수 비교

□ LED 장치를 이용한 대규모 온실내 담배가루이 밀도 억제 효과 검정

○ 서론

담배가루이 (*B. tabaci*)는 노린재목 가루이과에 속하는 해충으로 열대, 아열대지방에서 발생하는 해충이나 현재는 전 세계적으로 문제가 되는 해충으로 우리나라에서는 1998년 충북 진천군에서 처음 발견되었다. 약 600여종의 기주 식물이 보고될 정도로 광범위한 기주범위를 가지는 주요 흡즙성 해충이다. 특히, 시설과채류를 중심으로 큰 피해를 주고 있으며, 밀도가 높아지면 작물체가 고사하거나 생육이 부진하게 되어 작기 단축이 불가피하여 토마토 등 일부 작물에서 착색불량과의 비율이 높아진다. 특히 담배가루이는 토마토황화잎말림바이러스 (TYLCV: Tomato Yellow Leaf Curl Virus)를 비롯한 100종 이상의 바이러스를 매개할 수 있는 것으로 알려져 있으므로 각별한 주의가 필요하다. 방제 방법으로 전용 약제에 의한 화학적 방제, 발생 감염된 기주를 제거하고 외부로 부터의 유입 차단, 정식 초기 황색 끈끈이 트랩을 이용한 발생예찰, 황온증별과 지중해이리응애 등의 천적을 이용하는 방법 등이 있다. 화학적 방제가 일반적이지만 농약에 대한 저항성 발현이 빠르며 이미 다수의 약제에 저항성을 보이는 것으로 보고

되고 있다. 본 연구는 지속적이며 친환경적으로 담배가루이를 방제하기 위해 LED를 이용하여 유인·포집할 수 있는 방법으로 개발된 LED장치의 농가 실증 효과를 검증하기 위해 실행하였다.

○ 재료 및 방법

- LED 장치 제작 및 광원 선발

대규모 시설재배지내에서 담배가루이의 유인·포집을 위한 장치 개발을 위해 (주)그린테크와 몇 차례에 걸친 논의를 하였다. 전년도에 사용한 mobile형 끈끈이 트랩의 수정·보완 작업을 거쳐 LED 해충 유인트랩 장치를 개발하였고, 이를 양도받아 사용하였다. 개발된 LED 장치 구성은 그림 5에 나타난 바와 같이 샷갓모양 중앙에 LED 조명을 설치하고, 아래에는 흡입팬을 설치하여 포집망에 해충을 포집할 수 있게 만들었다. 옆면에 부착된 제어장치를 이용하여 중앙의 LED가 여러 가지 색의 광원을 조절할 수 있도록 만들었으며, 조도 센서를 부착하여 암조건에서만 LED 해충 트랩이 작동할 수 있도록 하였다. 따라서 본 연구에서는 제 1협동과제에서 전년도에 진행한 「담배가루이에 대한 LED 파장별 선호도 조사」를 통해 우수한 유인활성이 확인된 white LED를 선택하였으며, 추가적으로 황색 점착트랩에 유인활성을 나타낸다는 문헌조사 결과를 반영하여 yellow LED를 선택하여 실험에 임하였다.



그림 5. LED 해충 유인 트랩

- 실험 곤충의 사육

실험에 사용된 담배가루이는 국립농업과학원 작물보호과 곤충사육실에서 사육하였으며, 사육환경은 온도 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $50\pm 5\%$, 광주기 16L:8D 조건하의 항온항습실에서 가지(*Solanum melongena* L.)를 기주로 이용하여 누대 사육하였다.

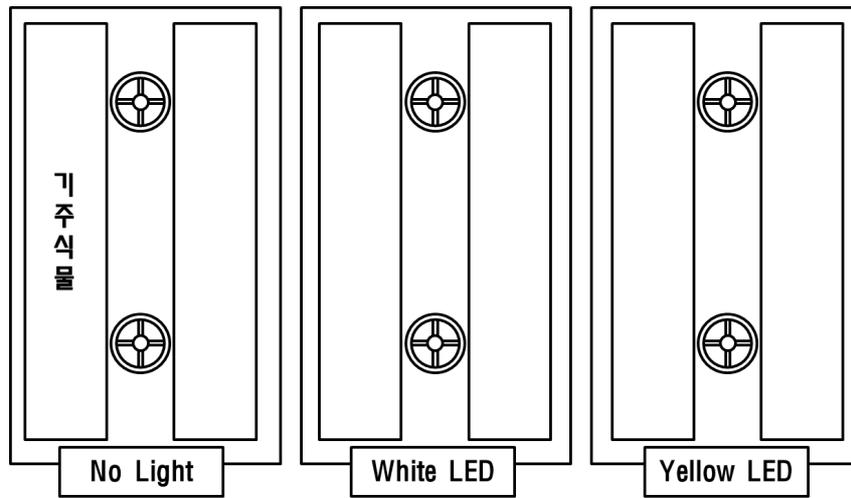
- 대규모 실험 포장 조성 및 유인 LED 트랩의 설치

2012년 실증 실험은 전년도와 같은 경기도 수원시 권선구에 위치한 농촌진흥청 국립 농업과학원 소재 비닐하우스에서 진행되었다 (그림 2). 기주식물로 사용된 토마토(품종 : 로꾸산마루)는 수원 소재 육묘장에서 약제를 처리하지 않은 모종을 공급받아 1차는 2012년 7월에, 2차는 9월 하순에 각각의 비닐하우스 당 54주씩을 정식하였고 관행 방법으로 재배하였다. (주)그린테크에서 제작한 LED 해충 유인 트랩을 분양받아 비닐하우스에 각각 2개의 해충 유인 트랩을 설치하였다. 실험구로 사용된 비닐하우스에는 white LED 및 yellow LED를 각각 작동시켰으며, 대조구로 사용된 비닐하우스는 LED를 작동시키지 않은 채 흡입 팬만 작동시켰다. LED 해충 유인 트랩은 빛의 확산 범위 및 간섭효과를 고려하여 설치하였으며, 높이는 일반적으로 예찰에 이용되는 작물높이에 위치시켰다 (그림 6).

- 실험방법

실험은 2차에 걸쳐 진행되었으며 실험을 위해 1차 실증실험은 2012년 8월 14일, 2차는 10월 2일에 약 1,000마리의 담배가루이 성충을 각각 방사하여 기주에 정착할 수 있도록 하였다. 담배가루이 성충 방사 이틀 후부터 일주일간 LED 해충 유인트랩을 작동하였으며, 포획된 개체수를 파악하여 개발된 LED 해충 유인 트랩의 유인효과를 검증하였다. LED 해충 유인트랩의 가동시간은 부착된 조도센서에 따라 일몰이후부터 다음날 일출 이전까지 가동되었고, 타이머를 부착하여 30분 조명 후 30분 점멸을 반복하였다. 실험의 확인은 트랩을 설치한 후 다음날 오전 9시에 장치를 수거하여 LED 해충 유인트랩의 포충망에 포획된 개체수를 조사하였다.

- 기주식물에서의 담배가루이 증식을 조사하기 위해 각각의 비닐하우스에서 기주 5주를 구역별로 설정하여 1주당 2개의 잎에 부착된 약충 개체수를 육안 조사하였다. 1차 조사 기간은 2012년 8월 22일부터 1주일 간격으로 9월 19일까지 5주간 조사하였고, 2차는 2012년 10월 10일부터 1주일 간격으로 11월 07일까지 5주간 조사하였다.



무설치동

White LED

Yellow LED

그림 6. 대규모 비닐하우스내의 구역 배치도



그림 7. 대규모 비닐하우스 LED 해충 유인 트랩 설치와 야간 조명 모습

- 실험 결과의 분석

각각의 LED 해충 유인 트랩에 얻어진 결과를 SPSS (ver. 12, SPSS Inc., Chicago, IL)를

이용하여 평균±표준오차로 결과 값을 나타내었다. 또한 분산분석(ANOVA)을 이용하여 결과 값의 유의성을 검정하였으며, 사후검정으로는 Tukey's HSD test를 사용하였다.

○ 결과 및 고찰

- 8월에 실시한 1차 담배가루이 성충의 광원별 일일 포획 밀도 변화에 관련된 결과는 표 4와 같다. 결과에 나타난 바와 같이 담배가루이 유인은 yellow LED에서 가장 높은 활성을 나타내었으며, white LED 또한 유사한 개체수가 포획되었다. 그러나 광원이 설치되지 않은 대조구의 경우 광원이 설치된 처리구 보다 적은 개체수가 포획되어 본 연구에 사용된 LED 광원이 담배가루이에 유인 활성을 나타냄을 확인할 수 있었다. 또한 시간이 경과함에 따라 각 LED가 장착된 유인 트랩에 포획되는 담배가루이 개체수가 점차 감소하는 것을 관찰할 수 있었으며, 이는 광원이 장착되지 않은 트랩과 유사한 밀도 감소 양상을 나타내어 담배가루이 성충의 생활사에 의한 자연 감소임을 알 수 있었다. 따라서 본 결과는 광원에 의해 담배가루이 개체 밀도가 감소하였음을 증명할 수 있었으며, yellow LED 광원과 white LED 광원에 대한 활성은 통계적으로 유의한 차이가 인정되지 않음을 알 수 있었다.

표 4. 대규모 비닐하우스에 설치된 해충 유인 트랩에 포획된 담배가루이 성충수(8월)

Day	No. adults / trap / day		
	No LED	White LED	Yellow LED
1 day	42.0±1.0a	74.0±2.0b	84.0±3.0b
2 day	32.0±1.0a	71.5±1.5b	77.5±1.5b
3 day	31.5±0.5a	59.5±1.5b	73.5±1.5c
4 day	24.0±1.0a	54.0±2.0b	59.5±1.5b
5 day	17.5±0.5a	44.0±1.0b	51.5±0.5b
6 day	5.5±0.5a	26.0±2.0b	34.0±3.0b
7 day	2.5±0.5a	8.0±1.0b	13.5±0.5b

Means followed by the same letter in same row are not significantly different(P=0.05)

- 기주식물에서 증식하는 담배가루이 약충수를 1주일 간격으로 육안조사 한 결과는 그림 8과 같다. 8월 22일 조사에서 LED 무설치동, white LED 설치동 및 yellow LED 설치동에서 각각 2.6마리, 0.9마리, 0.6마리가 관찰되었으며, 그 후 조사에서는 white LED와 yellow LED 설치동보다 LED 무설치동에서 담배가루이 약충 수 증가가 빠르게

증가하는 것을 알 수 있다. LED 해충 유인 트랩 설치동은 빛에 의해 담배가루이 성충이 유인·포획되어 성충수가 적었기 때문에 무설치동보다 약충의 발생밀도 또한 억제되는 것으로 생각할 수 있다. 약충의 수는 조사 후 3주째 각각 18.5마리, 7.2마리, 5.1마리로 가장 많은 수가 관찰되었다가 4주째 각각 15.9마리, 4.6마리, 3.5마리로 약간 감소한 후 다시 증가하였는데 이는 처음 산란된 알이 성충으로 우화하는 시기이기 때문으로 판단된다.

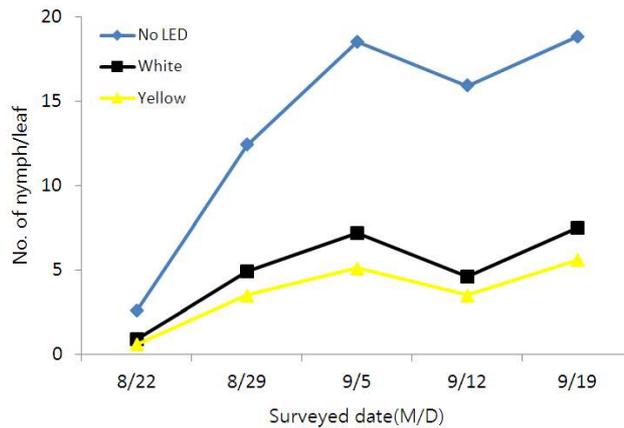


그림 8. 대규모 비닐하우스 토마토 기주에 부착된 담배가루이 약충수(1차)

- 10월에 실시한 2차 담배가루이 성충의 광원별 일일 포획 밀도 변화 결과는 표 5와 같다. 1차 실증실험에서 나타난 바와 같이 담배가루이 유인은 광원이 설치되지 않은 대조구에 비해 yellow LED와 white LED가 설치된 실험구가 약 2배 높은 유인활성을 나타내어 본 연구에 사용된 LED 광원이 담배가루이에 유인 활성을 나타냄을 확인할 수 있었다. 2차 실증실험에서도 1차 실험에서와 유사하게 시간 경과에 따라 각 LED가 장착된 유인 트랩에 포획되는 담배가루이 개체수가 점차 감소하는 것을 관찰할 수 있었으며, 이도 광원이 장착되지 않은 트랩과 유사한 밀도 감소 양상을 나타내어 담배가루이 성충의 생활사에 의한 자연 감소로 판단하였다. 또한, 2차 실증실험에서는 전체적으로 1차 실증실험에서보다 포획된 개체수가 적었는데 이는 LED 해충 유인 트랩이 조명되는 밤 시간의 기온하락으로 개체의 이동성과 성충의 생존율 감소로 인한 것으로 사료된다.

표 5. 대규모 비닐하우스에 설치된 끈끈이 트랩에 포획된 담배가루이 성충수(10월)

Day	No. adults / trap / day		
	No LED	White LED	Yellow LED
1 day	30.5±1.5a	52.0±2.0b	64.0±3.0b
2 day	26.0±1.0a	51.5±1.5b	56.5±1.5b
3 day	22.0±1.0a	36.0±2.0b	52.5±1.5c
4 day	12.5±0.5a	38.0±0.0b	40.5±0.5b
5 day	6.5±0.5a	30.5±1.5b	32.0±1.0b
6 day	0.0±0.0a	22.5±0.5b	26.5±0.5b
7 day	1.5±0.5a	6.0±0.0b	8.0±1.0b

Means followed by the same letter in same row are not significantly different (P=0.05)

- 기주식물에서 증식하는 담배가루이 약충수를 1주일 간격으로 육안조사 한 결과는 그림 9과 같으며, 성충 방사 후 8일째인 10월 10일 조사에서 무설치동, white LED 설치동, yellow LED 설치동에서 각각 2.2마리, 0.7마리, 0.5마리가 관찰되었고, 그 후 조사에서는 white LED와 yellow LED 설치동보다 LED 무설치동에서 담배가루이 약충 수가 증가하는 양상을 보였으나, 1차 실증실험에서보다 큰 차이가 나타나지 않았다. 이는 저온에 인한 전체적인 성충수의 감소와 약충의 발육속도의 저하 때문인 것으로 생각된다.

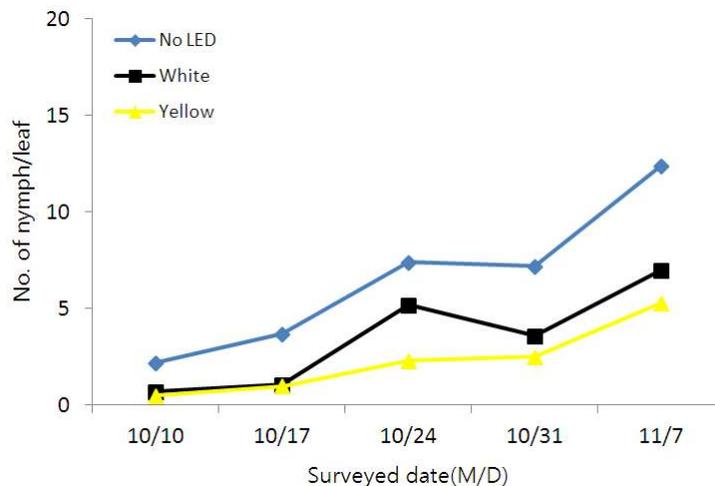


그림 9. 대규모 비닐하우스 토마토 기주에 부착된 담배가루이 약충 수(2차).

- LED는 기존 조명에 비해 긴 수명을 가지며, 전력소모량이 적고, 부피가 작으며, 방출 파장을 조절할 수 있다는 장점을 가진다. 따라서 본 연구에서는 LED의 이러한 장점을 이용하여 (주)그린테크와 협력하여 LED 해충 유인 트랩을 개발 하였고 이에 대한 실증 실험을 진행하였다. 실증실험 결과 개발된 LED 해충 유인 트랩은 대상해충인 담배가루이에 대해 뛰어난 유인·포획 활성을 나타냈을 뿐만 아니라 해충 발생밀도를 작물의 경제적 피해 허용수준 이하로 유지할 수 있는 가능성을 충분히 보여주었다. 따라서 시설재배지에서 발생하는 해충의 조기 예찰 및 지속적이고 친환경적 해충방제를 위한 종합적 해충 관리 (IPM: intergrated pest management)의 일환으로서 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

제4장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

제1절 목표대비 달성도

연구개발 목표	연구개발내용	달성도 (%)
□ 제1세부과제 : 시설지내 병해충 방제용 LED장치개발 (1, 2, 3차년도)		100
○ LED 단색/혼합광을 이용한 농업해충 및 식물병원균 제어를 위한 장치제작	- LED를 이용한 농업해충 및 식물병원균 실내 실험용 장치 개발	100
	- LED를 이용한 농업해충 및 식물병원균 실험용 LED 모듈 제작	100
○ 농업해충 제어를 위한 LED 시제품 및 자동화 시스템 개발	- 시설지내 농업해충 제어를 위한 기피/유인장치 제작	100
	- LED를 이용한 농업해충 및 식물병원균 제어용 자동화 장치 및 시제품 개발	100
□ 제1협동과제 : LED를 이용한 시설재내 농업해충 방제기술 개발 (1, 2, 3차년도)		100
○ LED 단색광을 이용한 소규모 시설지내 농업해충 방제연구	- 농업해충 선발 및 사육 (과밤나방, 담배거세미나방, 담배가루이, 꽃노랑총채벌레)	100
	- 농업해충 제어를 위한 LED 생물검정법 (기피/유인) 확립	100
	- LED 광원을 이용한 주광성 반응평가	100
	- 소규모 시설지내 실증실험	100
	- 기존광원과의 주광성 반응 비교	100

□ 제2협동과제 : LED를 이용한 시설지내 식물병원균 방제기술 개발 (2, 3차년도)		100
○ LED 단색/혼합광을 이용한 시설지내 식물병원균 방제연구 및 농가실증실험	- 식물병원균 2종 선발 (갯빛곰팡이병원균, 흰가루곰팡이병원균)	100
	- 기주식물 각 2종 선발 (토마토 2종, 상추 2종)	100
	- 선발된 식물병원균 제어에 효과적인 LED 단색/혼합광의 조사조건 선발	100
	- LED 단색/혼합광 조사에 따른 기주식물의 반응성 평가	100
	- LED 단색/혼합광 조사에 따른 기주식물에 대한 식물병원균 반응성 평가	100
	- 시설 재배지내 LED system의 식물병원균 방제 실증 실험	100
□ 제3협동과제 : 농업해충 방제용 LED 장치의 농가실증실험 (2, 3차년도)		100
○ 대규모 시설지내 LED 장치의 농업해충에 대한 농가실증실험 및 문제점 개선	- 대규모 시설지내 피해를 일으키는 농업해충 및 식물병원균 사육 및 분양	100
	- 개발된 LED 기피/유인 장치의 대규모 시설재배지내 실증실험	100
	- 개발된 LED 해충방제장치의 대규모 시설재배지내 실증실험	100

제2절 정량적 성과

1. 논문

세부(협동)과제명	과제책임자	성과물유형	성과물명	성과물주담당자	적용년월	승인여부
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	논문게재(SCI)	Evaluation of High Power Light Emitting Diodes (HPLEDs) as Potential Attractants for Adults <i>Spodoptera exigua</i> (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae)	오민석	2011.06	승인
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	논문게재(SCI)	Volatile Constituents of Essential Oils Extracted from Two Varieties of <i>Chamaecyparis pisifera</i> in Korea	김민기	2011.11	승인
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	논문게재(SCI)	Acaricidal Activities of Materials Derived from <i>Pyrus ussuriensis</i> Fruits against Stored Food Mites	전주현	2012.11	승인
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	논문게재(SCI)	Photo-Response of Tobacco Whitefly, <i>Bemisia tabaci</i> Gennadius (Hemiptera: Aleyrodiadae), to Light-emitting Diodes	김민기	2012.11	승인
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	논문게재(SCI)	Phototactic behavior: Attractive Effects of <i>Spodoptera litura</i> (Lepidoptera: Noctuidae), Tobacco Cutworm, to High-Power Light-emitting Diodes	양지연	2012.11	승인
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	논문게재(비SCI)	LED광원에 대한 해충 행동반응 monitoring을 위한 주광성 실험장치 개발	오민석	2010.12	승인
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	논문게재(비SCI)	시설재배지에서 LED 트랩을 이용한 파밤나방 (<i>Spodoptera exigua</i>) 성충의 유인효과	김민기	2012.11	승인

2. 학술발표

세부(협동)과제명	과제책임자	성과물유형	성과물명	성과물주담당자	적용년월	승인여부
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	학술발표 (국제)	Light-induced Behavioral Responses of Beet Armyworm (<i>Spodoptera exigua</i>) to Light Emitting Diodes (LEDs) in Laboratory	오민석	2010	승인
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	학술발표 (국제)	Visual Preference of <i>Bemisia tabaci</i> (Gennadius) Adults to Light-Emitting Diodes (LEDs)	정은영	2011.10	승인
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	학술발표 (국제)	Light Preference of High Power Light Emitting Diodes to <i>Spodoptera exigua</i> (Hubner)	김민기	2011.12	승인
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	학술발표 (국제)	Effectiveness of a Light-emitting Diode Lamp for Trapping the <i>Bemisia tabaci</i> (Hemiptera: Aleyrodidae)	이회선	2012.11	승인
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	학술발표 (국제)	Response of Tobacco Cutworm, <i>Spodoptera litura</i> (Lepidoptera: Noctuidae), to High Power Light-Emitting Diodes	이회선	2012.11	승인
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	학술발표 (국내)	Development of Phototactic Test Chamber Equipped with Light Source for Monitoring Pests	오민석	2010.10	승인
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	학술발표 (국내)	Evaluation of High Power Light Emitting Diodes (HPLEDs) as Potential Attractants for Adult <i>Spodoptera exigua</i> (Hubner)	오민석	2010.10	승인
LED를 이용한 시설지내 식물병원균 방제기술 개발	이귀재	학술발표 (국내)	Effects of Interaction between Antioxidant Capacity and Plant Pathogen Control (<i>Botrytis cinerea</i>) in Tomato Plant under Light Emitting Diodes (LEDs) Conditions	국희선	2011.11	승인
LED를 이용한 시설지내 식물병원균 방제기술 개발	이귀재	학술발표 (국내)	Control of Plant Pathogen (<i>Botrytis cinerea</i>) using LED (Light Emitting Diode) an eco-friendly Approach	국희선	2011.11	승인
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	학술발표 (국내)	Phototactic Response of <i>Spodoptera exigua</i> (Hubner) to High Power Light Emitting Diodes in the Test Chamber	조경식	2011.06	승인

LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	학술발표 (국내)	Phototactic Responses of Various Wavelengths and Light Conditions toward <i>Spodoptera exigua</i> (Hubner)	오민석	2011.06	승인
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	학술발표 (국내)	Phototaxis Test of Sweet Potato Whitefly (<i>Bemisia tabaci</i>) in Test Chamber Equipped with High Power Light Emitting Diodes	조경식	2011.06	승인
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	학술발표 (국내)	Visual Preference of High Power Light Emitting Diodes (HPLEDs) to <i>Bemisia tabaci</i> (Hemiptera: Aleyrodidae)	정은영	2011.10	승인
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	학술발표 (국내)	Visual Preference of <i>Spodoptera exigua</i> to Various Wavelengths of Light Emitting Diodes	이회선	2011.10	승인
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	학술발표 (국내)	LEDs, a New Light Source with Control Activity against Beet Armyworm	이회선	2012.04	승인
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	학술발표 (국내)	Phototactic Behaviour of <i>Bemisia tabaci</i> (Hemiptera: Aleyrodidae) to Light-Emitting Diodes	조경식	2012.11	승인
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	학술발표 (국내)	Visual Preference of Beet Armyworm to Light-emitting Diodes	이회선	2012.11	승인
LED를 이용한 시설지내 식물병원균 방제기술 개발	이귀재	학술발표 (국내)	Antioxidative Responses and Biocontrol of <i>Botrytis cinerea</i> in Tomato under Blue Light Radiation	국희선	2012.11	승인
LED를 이용한 시설지내 식물병원균 방제기술 개발	이귀재	학술발표 (국내)	A Blue Light Radiation Improves the Growth of Plant and Antioxidant Activities in Lettuce Seedlings	장예진	2012.11	승인
LED를 이용한 시설지내 식물병원균 방제기술 개발	이귀재	학술발표 (국내)	청색광을 활용한 토마토의 성장증대 및 항산화 활성 조사	장예진	2012.11	승인
LED를 이용한 시설지내 식물병원균 방제기술 개발	이귀재	학술발표 (국내)	Blue LED (light emitting diodes)-Mediated Growth Promotion and Control of <i>Botrytis</i> Disease in Lettuce	국희선	2012.11	승인

3. 산업재산권 (특허, 프로그램등록, DB저작권 등록)

세부(협동)과제명	과제책임자	성과물유형	성과물명	성과물주담당자	적용년월	승인여부
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	산업재산권(출원)	곤충의 특성 판별장치 및 방법	이회선	2010.09	승인
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	산업재산권(출원)	파밤나방을 유인하는 LED 파장	이회선	2011.10	승인
LED를 이용한 시설지내 식물병원균 방제기술 개발	이귀재	산업재산권(출원)	LED 광을 이용한 식물 성장 조절방법 및 향산화효소 증대 방법	이귀재	2011.11	승인
LED를 이용한 시설지내 식물병원균 방제기술 개발	이귀재	산업재산권(출원)	발광다이오드의 청색광을 활용한 식물 병원균 방제방법	이귀재	2011.11	승인
시설지내 병해충 방제용 LED 장치 개발	이상훈	산업재산권(출원)	LED를 이용한 해충 유인 장치	이상훈	2012.11	승인

4. 자료발간

세부(협동)과제명	과제책임자	성과물유형	성과물명	성과물주담당자	적용년월	승인여부
LED를 이용한 시설지내 농업해충 방제기술 개발	이회선	간행물(논문형식)	High-resolution morphological features <i>in vivo</i> using optical coherence tomography based on super luminescent diode	이회선	2010.11	승인

5. 기타 (정책건의, 제도개선, 영농활용)

세부(협동)과제명	과제책임자	성과물유형	성과물명	성과물주담당자	적용년월	승인여부
농업해충 방제용 LED 장치의 농가실증시험	박창규	정책제안(기관제출)	LED 장치를 이용한 시설재배지 토마토 해충의 밀도억제 기술	박창규	2012.11	승인

제5장 연구개발결과의 활용계획

가. 연구개발결과의 활용방안

- 기존 병해충방제 시스템의 단점을 보완한 친환경 LED 광원 장치 개발
본 연구의 친환경 LED 병해충 방제기술은 기존 병해충방제 시스템에 의한 경제적 손실 및 환경적 피해를 방지할 뿐만 아니라, 일회성 제품인 끈끈이의 주기적인 교체의 번거로움 및 위생상의 문제점까지 해결하는데 활용될 수 있음. 더 나아가 시설재배작물의 성장속도 조절 및 고기능성화의 잠재능력과 친환경적 해충포획 및 방제 가능성을 갖춘 LED 광원을 융합함으로써 LED의 활용범위를 확대시키고, 관련 산업에 제품의 다양화를 유도함으로써 기술발전에 활용될 수 있음.
- 학술적 분야 기초자료 제공
대상 병해충에 대한 다양한 파장영역 체계를 수립하고 선택적 제어활성을 규명하여 기피, 유인, 억제 목적을 하는 해충방제시스템을 농가에 성공적으로 보급. 또한 연구실내에서 이루어져 왔던 학술논문들과 아이디어를 제품 및 생산 공정에 접목하여 고부가가치 기능성제품을 개발해 가는 훌륭한 로드맵으로써 적용가능.
- 현장적용시험 실시
현재 LED를 활용한 해충방제 장치에 대한 특허는 있으나, 시설재배 작물을 기주식물로 한 병해충 반응연구는 전무한 실정이며, 농가현장에서 검증되어 실용화된 경우는 미비한 실정임. 따라서 농가보급을 위하여 시설재배지의 현장적용시험을 실시하고 애로사항 및 문제점 등을 파악하여 이를 개선한 후 기업체와의 연계를 통해 개발된 LED 장치의 대량 생산/개발로 관련 농가에 저렴하게 보급하고자 함.
- 특허 출원 및 실용화
연구 성과를 통해 전략적인 기술개발을 도모하고 특허의 기술성 및 실용화 가능성 등의 평가를 통해 국내 특허를 출원함. 또한, 기술이전을 실시함으로써

기술상용화를 촉진하여 LED를 이용한 병해충 제어의 새로운 시장 개척 가능성 제시.

나. 기대성과

(1) 기술적 측면

- 최근 농업해충의 피해는 나날이 증가하고 있으며, 따라서 이들을 제어하기 위한 다양한 방법(저항성 품종 개량, 화학합성농약 사용, 천적의 이용 등)들이 개발되고 있지만 많은 부작용 및 환경적인 이유로 최상의 방법이 될 수 없음. 이러한 측면을 보완하기 위하여 친환경적이고 경제적인 광원인 LED를 식물성장에 이용함과 동시에 농업 병해충을 제어함으로써 다기능성 LED 병해충 방제기술을 구축할 수 있을 것으로 기대
- 식물체의 대량 생산, 식물 생육촉진, 개화조절 및 식물 기능성 물질증진에 이용되어지고 있는 기존의 천정 부착식, 독립기둥 부착식 LED 광처리 장치 등의 LED 기반시설을 개조 또는 장비 증설을 통해 보다 쉽고 저렴한 농업 병해충 제어 가능성 기대.
- 상기 LED 병해충 방제기술의 개발은 동시다발적이고 피해양상이 심한 시설재배지의 농업 병해충을 친환경적으로 제어하기 위한 새로운 형태의 고부가가치 제품으로 개발이 가능할 것으로 기대되며 국가핵심전략사업의 일환으로 에너지 절감형 녹색기술의 발전에 크게 기여할 것임.

(2) 경제적 · 산업적 측면(경제적면에서는 기대 성과물의 가치를 돈으로 표시)

- 에너지 환경측면에서 차세대 인공광원인 LED는 저소비 전력으로 기존 광원에 비해 약 60%정도의 에너지 절감 효과를 갖으며, 이산화탄소 배출을 최소화시켜 탄소배출권을 획득함으로써 저탄소 녹색성장 정책의 선도 기술로서 발전 가능.
- 친환경적 농산물을 선호하는 사회적인 트렌드에 알맞은 농작물을 생산하기 위해서는 친환경적 병해충 제어가 필수적이기 때문에 개발된 LED 병해충 방제

기술의 수요는 시장에서 앞으로 크게 성장할 것으로 예상되며 향후 매출액 증대, 고용창출 및 스타기업 육성 등의 산업구조 고도화를 촉진시키는 촉매 역할.

- 기존의 LED광원에 친환경적 병해충 제어기술을 접목할 경우 보다 다양한 제품을 개발함으로써 국내외 LED 시장 확대 및 LED 기술 발달을 촉진하여 결과적으로 기업의 수입증대 뿐만 아니라 시설재배지 농가의 소득 증대에 기여하며 부가적으로 화학합성농약 사용의 감소를 통한 친환경 농산물 시장이 확대되는 효과.
- 방제기술 개발에 관한 노하우를 지식기반화, 산업화 및 기술협력을 통해 전략산업과 고부가가치 신산업구조로서 활용할 수 있는 방안을 모색하고 자원절약적, 환경친화적인 생산기술의 연계성 강화 등이 부가되어 경제적·산업적 상호 시너지 효과 창출.

제6장 중요 변동사항

해당사항 없음

제 7 장 참 고 문 헌

Alam, M.S., Begum, M.F., Sarkar, M.A., Islam, M.R. and Alam, M.S. 2001. Effect of temperature, light and media on growth, sporulation, formation of pigments and pycnidia of *Botryodiplodia theobromae* Pat. *Pakistan journal of Biological Science*, 4: 1224-1227.

Antignus Y (2000) Manipulation of wavelength-dependent behavior of insects: an IPM tool to impede insects and restrict epidemics of insectborne viruses. *Varus Research* 71, 213-220.

Bates, L.E., Waldren, R.P. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39: 205-207.

Beers, R.F. and Sizer, I.W. 1952. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *Biological Chemistry*, 195: 133-140.

Blois, M.S. 1958. Antioxidant determination by the use of stable free radical. *Nature*, 26: 1198-1199.

Chance, B. and Maehly, A.C. 1955. Assay of catalase and peroxidases. *Methods Enzymology*, 2: 764-775.

Nakano, Y. and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology*, 22: 867-880.

Obeley, L.W. and Spitz, D.R. 1984. Assay of superoxide dismutase activity in tumor tissue. *Methods enzymology*, 105: 457-467.

Oh MS, Lee CH, Lee SG, and Lee HS (2011) Evaluation of high power light emitting diodes (HPLEDs) and potential attractants for adult *Spodeptera exigua*. *J Korean Soc App Biol Chem* 54: 416-422.

O'kane, D., Gill, V., Boyd, P. and Burdon, R.H. 1996. Chilling, oxidative stress and antioxidant responses in *Arabidopsis thaliana* callus. *Planta*, 198: 366-370.

Rajkumar, M., Lee, W.H. and Lee, K.J. 2005. Screening of bacterial antagonists for biological control of *phytophthora* blight of pepper. *Basic Microbiology*, 45: 55-63.

Sharma, P., Jha, A.B., Dubey, R.S. and Pessarakli, M. 2012. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *J. of Botany*, Article ID 217037, (pp. 1-26).

Singleton, V.L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventos, R.M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods Enzymol*, 299: 152-178.

Tan, K.K. 1974. Blue-light inhibition of sporulation in *Botrytis cinerea*. *J. General Microbiology*, 82: 191-200.

Tan, K.K. 1976. Light-induced synchronous conidiation in the fungus *Botrytis cinerea*. *J. General Microbiology*, 93: 278-282.

<참고 1> 연차평가 지적사항 및 조치결과

해당사항 없음

<참고 2> 주요연구 성과 요약

LED를 이용한 시설재배작물 주요 병해충 방제기술 개발

□ 과제명 : LED를 이용한 시설재배작물 주요 병해충 방제기술 개발

□ 연구 배경

○ LED를 이용한 미래의 농업의 필요성

- 환경기후 변화와 산업화로 인한 농작물 수확량 감소로 인하여 식량위기 직면
- 에너지 절감은 전 세계적인 추세이며 농업 분야도 예외가 아님
- 화학비료나 농약 사용이 아닌 인체에 해가 없고 환경 문제를 생각하는 새로운 재배 방법이 필요한 시점

○ 친환경농산물에 대한 사회적 욕구 증가와 새로운 형태의 병해충 방제 기술 요구

- 최근 화학적 방제법을 대신할 새로운 병해충 방제 도구로서 LED를 이용한 식물 병원균 제어에 대한 기초연구들의 필요성이 더욱 높아짐
- 새로운 차세대 인공광원으로써 저전력, 장수명, 경제성이라는 장점을 지니고 있는 LED 광원 system을 활용한 식물병해충 제어 기술을 확립하고자 식물 병해충 제어에 효과적인 LED 반응성을 평가

□ 주요 연구성과

○ 병해충 방제를 위한 실험장치 및 시제품개발

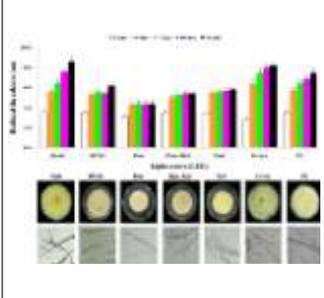
- 실험실내 해충의 주관성 반응을 판별할 장치 개발
- 식물병원균 제어를 위한 특화된 장치 개발
- LED해충트랩 시제품제작 (특허출원)

○ 병해충 방제를 위한 생리활성법 개발

- LED를 이용한 해충의 주광성반응 판별법 개발 (논문개제/특허출원)
- LED를 이용한 식물병원균 억제활성 측정방법 개발 (특허출원)

○ 병해충 방제 실증실험

- 개발된 LED트랩을 활용한 온실 시설 재배지내 해충방제 실증실험
- LED를 활용한 온실 시설 재배지내 식물병원균 방제 효율성 실증 분석

	<p>해충별 주광성 자료</p> <p>427 nm (Blue): 유인 14.3, 무반응 8.0, 기피 7.7</p> <p>520 nm (Green): 유인 18.3, 무반응 8.3, 기피 4.3</p> <p>600 nm (Yellow): 유인 15.0, 무반응 8.3, 기피 11.6</p> <p>625 nm (Red): 유인 9.0, 무반응 10.3, 기피 10.6</p> <p>470 nm: 유인 36.2, 무반응 1.8</p> <p>520 nm: 유인 35.9, 무반응 4.7</p> <p>590 nm: 유인 26.3, 무반응 9.7</p> <p>625 nm: 유인 35.5, 무반응 4.7</p> <p>BL: 유인 36.7, 무반응 9.3</p>	 <p>식물병원균 억제</p>	
해충트랩 시제품제작	해충별 주광성 자료	식물병원균 억제	실증실험

□ 파급효과

- LED 광원 활용에 의해 농가에서 손쉽게 병해충 제어 가능
- 화학합성 농약의 사용 감소 또는 대체 방안으로 LED 광원을 활용함으로써 경제적, 사회적 및 환경오염 문제 극복
- 친환경 병해충방제 시스템개발을 통한 경제적 이익을 획득하고 학문적 진보를 이룩할 수 있을 것으로 기대

주 의

1. 이 보고서는 농촌진흥청에서 시행한 「LED를 이용한 시설재배 작물 주요 병해충 방제기술 개발사업」의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용·발표할 때는 반드시 농촌진흥청에서 시행한 「LED를 이용한 시설재배작물 주요 병해충 방제기술 개발사업」의 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개해서는 안됩니다.