

보안 과제( ), 일반 과제( ) / 공개( ), 비공개( ),발간등록번호( )

116111-03

발간등록번호

11-1543000-003015-01

양자점을 이용한 넓은 적색 LED 조명을 갖는 고 식물생장용 100W급 LED 조명 개발

최종보고서

2020

농림축산식품부

농림식품기술기획평가원

# 양자점을 이용한 넓은 적색 스펙트럼을 갖는 고 식물생장용 100W급 LED 조명 개발 최종보고서

2020. 02. 25.

주관연구기관 / (재)철원플라즈마산업기술연구원  
협동연구기관 / 강원대학교 산학협력단  
참여기업 / (주)지엘비전

## 농림축산식품부

(전문기관) 농림식품기술기획평가원

제출문

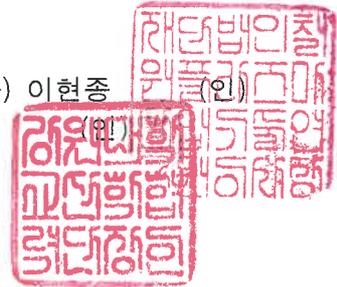
## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

'양자점을 이용한 넓은 적색 스펙트럼을 갖는 고 식물성장용 100W급 LED 조명 개발'(연구개발 기간 : 2016.11.29. ~ 2019.11.28.) 과제의 최종보고서 9부를 제출합니다.

2020. 02. 25.

주관연구기관명 : (재)철원플라즈마산업기술연구원 (대표자) 이현종  
협동연구기관명 : 강원대학교 산학협력단 (대표자) 윤경구  
참여기업명 : (주)지엘비전 (대표자) 이은미



주관연구기관책임자: 고영욱  
협동연구기관책임자: 이윤수  
참여기업책임자: 이우식

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 따라 최종보고서  
열람에 동의합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	116111-03	해 당 단 계 연 구 기 간	2016. 11. 29. ~ 2019. 11. 28.	단 계 구 분	-
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	침단생산기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세 부 과 제 명	양자점을 이용한 넓은 적색 스펙트럼을 갖는 고 식물성장용 100W급 LED 조명 개발			
연구책임자	고영욱	해당단계 참여연구원 수	총: 38명 내부: 38명 외부: 0명	해당단계 연구개발비	정부: 840,000천원 민간: 280,200천원 계: 1,120,200천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 38명 내부: 38명 외부: 0명	총 연구개발비	정부: 840,000천원 민간: 280,200천원 계: 1,120,200천원
연구기관명 및 소속부서명	주관: (재)철원플라즈마산업기술연구원 (광/디스플레이융합사업본부) 협동: 강원대학교, (주)지엘비전			참여기업명: 주식회사 지엘비전	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반과제
-------------------------	------

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 ·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

보고서 면수  
321 Page

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<p>▣ 신광원 QD LED 개발을 통한 작물 생산성 및 품질 향상</p> <p>1. 고 균일 PPFD 및 고 성장 기능의 10인치 100W 급 LED 원형 조명 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 광 균일도 90% 이상(110도 배광각 유지)의 등기구 구조 설계기술 확보</li> <li>- 등기구효율(고 PPFD유지) 80%이상의 초절전형 등기구 구조기술개발</li> <li>- 양자효율 70%이상의 비카드늄계 Red QD 개발 및 광합성 상승효과 등기구 개발</li> <li>- 고 방열 조명등기구 설계 / 개발</li> <li>- 태양전지모듈일체형 에너지 절약형 LED 조명 전력공급시스템 개발</li> <li>- 원격제어 시스템 결합형 ICT 제어 기술 개발</li> <li>- 시제품 제작 및 안전인증</li> </ul> <p>2. LED 조명 효과에 따른 식물생육 및 식물병원성 미생물 살균효과 확인</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- QD LED의 고 균일 PPFD 특성을 활용한 육묘 시스템 개발</li> <li>- QD LED의 에머슨상승효과에 의한 성장 촉진 및 내적 품질 향상 효과 구명</li> <li>- QD LED의 과채류 생산 시설의 보광 효과 구명</li> <li>- QD LED조명이 식물 엽권 및 근권에서의 미생물 군집에 미치는 영향 실내 조사</li> <li>- QD LED조명의 살균효과 기내 및 실내 검정</li> <li>- QD LED조명을 활용한 병해경감기술 개발 및 현장 활용</li> </ul>				
<p>연구개발성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 고안정 퀀텀닷 대량 생산 기술 개발</li> <li>- 경제적이고 묘 소질이 우수한 육묘용 인공광 시스템 개발</li> <li>- 시설하우스/식물공장용 고효율 인공 광 개발</li> <li>- 고효율 보광용 인공 광 개발 및 현장 적용 모델 제시</li> <li>- QD LED 조명을 이용한 살균효과 및 병해경감기술 개발</li> <li>- QD LED 조명을 이용한 친환경적 병해 방제 기술 개발</li> </ul>				
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 고성장/고효율 QD LED 개발</li> <li>- 고효율 인공 광 개발을 통한 국내 식물공장의 경쟁력 강화</li> <li>- 경제적인 보광 시스템 개발로 농가 소득 증대</li> <li>- 새로운 인공광을 이용한 작물 생산 시스템 개선</li> <li>- QD LED 조명을 이용한 효율적인 식물병해 방제 기술 개발</li> </ul>				
<p>국문핵심어</p>	<p>식물생장</p>	<p>퀀텀닷 LED조명</p>	<p>에머슨 상승효과</p>		
<p>영문핵심어</p>	<p>Plant Growth</p>	<p>Quantum Dot LED Lighting</p>	<p>Emerson Enhancement Effect</p>		

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

<본문목차>

< 목 차 >

<제출문> ..... 1  
<보고서 요약서> ..... 2  
<목차> ..... 4

1. 연구개발과제의 개요 ..... 6  
1-1. 연구개발 목적 및 범위 ..... 6  
1-2. 연구개발의 필요성 ..... 8

2. 연구수행 내용 및 결과 ..... 15  
2-1. 고양자효율 비카드뮴계 퀀텀닷 소재 기술 개발 ..... 15  
2-2. 고풍열 사출소재 기술 개발 ..... 50  
2-3. 퀀텀닷 조명 제조 기술 개발 ..... 62  
2-4. 퀀텀닷 조명 적용에 따른 생육 영향 연구 ..... 89  
2-5. 퀀텀닷 조명 적용에 따른 식물병원균 거동 ..... 173  
2-6. 광분포도(균일도) 및 단위면적당 광원 및 전력 소요량 비교 ..... 226  
2-7. 연구 개발 성과 ..... 240

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ..... 252  
3-1. 개발 목표 ..... 252  
3-2. 개발 목표 달성여부 ..... 253

4. 연구결과 활용 계획 ..... 280

[붙임] 참고 문헌 ..... 284  
[붙임] 시험성적서 ..... 289

[붙임 1] InP QD Colloid 양자효율 측정 - 한국광기술원 ..... 289  
[붙임 2] QD Film & Cap 안정성, 100W 식물성장조명 배광분포 및 배광각도, 광균일도, 등기구효율 - (재)철원플라즈마산업기술연구원 ..... 293  
[붙임 3] 100W 식물성장조명 등기구효율 - 한국조명ICT연구원 ..... 305  
[붙임 4] 방열사출소재 열전도도, 열확산도 - 한국고분자시험연구소 ..... 313

[붙임] 기술인증서 .....	318
[붙임 5] KC안전인증: LED등기구(매입형) 10W - 한국화학융합시험연구원 .....	318
[붙임 6] KC안전인증: LED등기구(매입형) 12W - 한국화학융합시험연구원 .....	319
[붙임 7] KC안전인증: LED등기구(고정형) 20W - 한국화학융합시험연구원 .....	320
[붙임 8] NET 신기술 인증: 반사형 등기구용 양자점 필름 제작 기술 - 산업통상자원부 .....	321

# 1장. 연구개발과제의 개요

## 1-1절. 연구개발 목적 및 범위

식물공장 및 그린하우스 등의 시설하우스에 적용이 가능한 고식물성장용 100W급 식물조명 개발 및 이를 이용한 식물의 생육 및 식물병원성 미생물 살균 효과 확인을 목적으로 함.

최근 각광을 받고 있는 첨단소재인 퀀텀닷 나노소재를, 식물이 필요로 하는 다양한 파장의 광을 효과적으로 조사하기 위한 광여기소재로 활용함으로써, 기존의 일반 LED 식물등과 비교하여 광 효율 개선, 생육·성장 촉진, 단가절감에 따른 경제성을 확보하고, 균일한 빛을 조사하여 균일한 식물성장이 가능하도록 함.

개발한 퀀텀닷 식물성장등을 이용하여, 엽채류 및 과채류에 대한 보광 특성과 식물병원성 미생물에 미치는 효과를 구명함을 목표로 함.

### ○ 고균일 PPFD 및 퀀텀닷 소재를 이용한 에머슨 상승효과의 고성장용 100W급 LED조명 개발

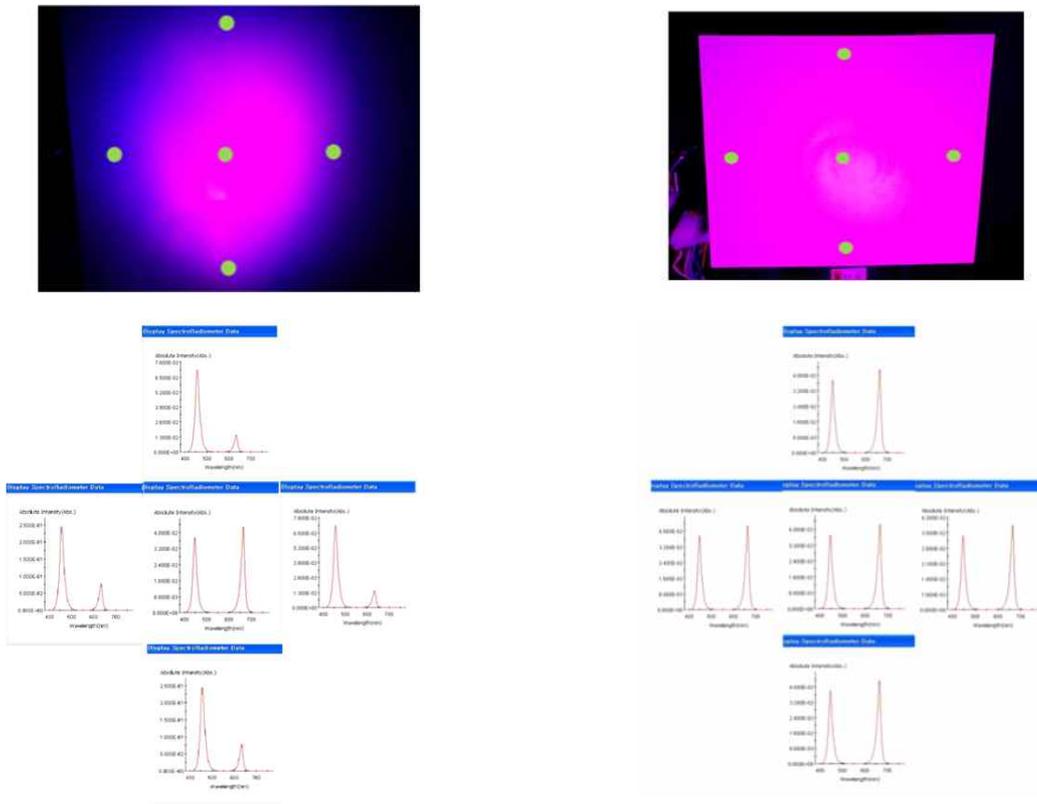
- 양자효율 70%이상의 비카드늄계 Red QD 개발 및 필름적용에 의한 광합성 상승효과 등기구 개발
- 광 균일도 90%이상(110도 배광각유지)의 등기구 구조 설계기술 개발
- 등기구효율 (고 PPFD유지) 80%이상의 초 절전형 등기구 구조기술개발
- 고 방열 조명등기구 설계 / 개발
- 태양전지모듈일체형 에너지 절약형 LED 조명등 전력공급시스템 개발  
(단위 면적당 전력 소모량 30% 절감)
- 원격제어 시스템 결합형 ICT 제어 기술 개발
- 시제품 제작 및 안전인증 획득

- 고생육성장용 퀀텀닷 소재를 적용한 100W급 식물 조명 기술



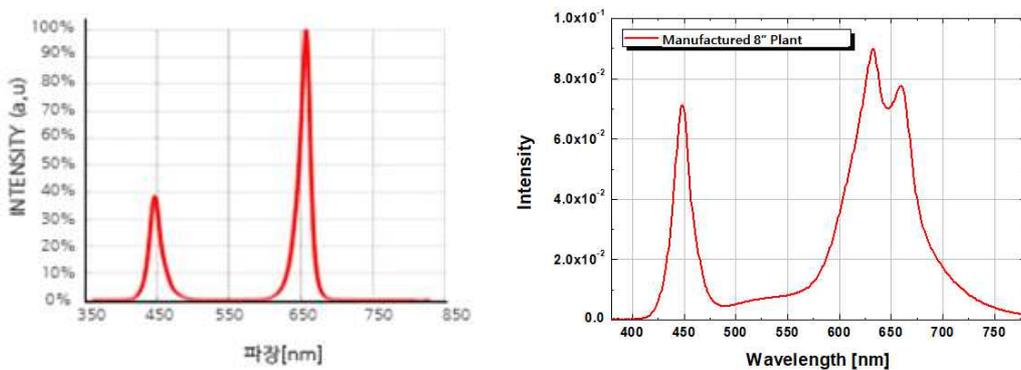
[그림 1] 100W급 직하형 투광등 퀀텀닷 식물조명 비점등(좌), 점등(우) 사진.

- 90%이상의 고균일 PPFD 및 고배광 특성을 갖는 균일한 조광의 식물성장용 LED 등기구



[그림 2] 기존 식물성장용 LED조명(좌)과 제안 반사형 구조의 LED 조명의 광 균일성 확보.

- 양자점 소재를 이용한 에머슨 상승효과를 적용한 고성장 LED 조명  
넓은 적색파장 스펙트럼을 갖는 식물성장용 조명으로 식물에 필요한 광량을 풍부하게 공급  
높은 광합성 효과를 얻을 수 있는 광파장 설계



[그림 3] 일반 식물성장등과 에머슨 상승효과를 얻기 위한 QD 여기필름 적용한 스펙트럼 분포(좌: 일반 LED식물등, 우: 성장촉진을 위한 퀀텀닷 식물등).

○ QD LED 인공광 효과에 따른 식물생육 및 식물병원성 미생물 살균 효과 확인

- 퀀텀닷을 이용한 Red 강화 LED 광원의 작물별(상추, 토마토) 폐쇄형 식물공장의 광조건 구명
- LED 광원의 과채류(토마토) 보광 조건 구명
- 균일 LED 광원에 의한, 엽채류(상추) 식물의 성장 균일도(기존 대비 20% 이내) 및 생육 속도(기존대비 20% 이상) 검정

- 생육일수 단축 및 항산화 물질등 내적 품질 향상 여부 검정
- 식물병원성 미생물 살균효과 및 미생물에 미치는 영향 조사
- 식물병원성 곰팡이, 균사 생장 모니터링 (과장대별)

## 1-2절. 연구개발의 필요성

### 1. 식물성장조명의 필요성

- 최근 산업생산기반 확대 및 도시화가 진행되면서 기후의 온난화 및 사막화 현상이 발생하여 식물성장 환경이 매우 열악해 지고 있음. 이러한 기후 및 환경 변화에 대응하여 안정적인 농산물 공급 및 식품의 안정성에 대한 관심이 증가하고 있음.
- 이러한 상황에서, 농업 인력의 감소 및 고령화에 따른 인력난, 생산 가능 토지의 부족, 교통을 고려한 도시인근의 농업 생산 시설 확보의 요구에 따라 식물공장을 통한 생명 생명공학 연구, 녹색도시 및 녹색기술과의 접목 및 식물공장 자체 플랜트 개발 및 수출 등 다양한 목적으로 개발이 시도되고 있음.
- 또한 식물재배를 농촌 환경이 아닌 도심 속에 구축함으로써 도심 속 환경 개선은 물론 농촌에서 도심으로의 식자재 물류비용을 줄여 온실가스 배출량을 최소화하려는 시도가 활발히 진행 중에 있음.

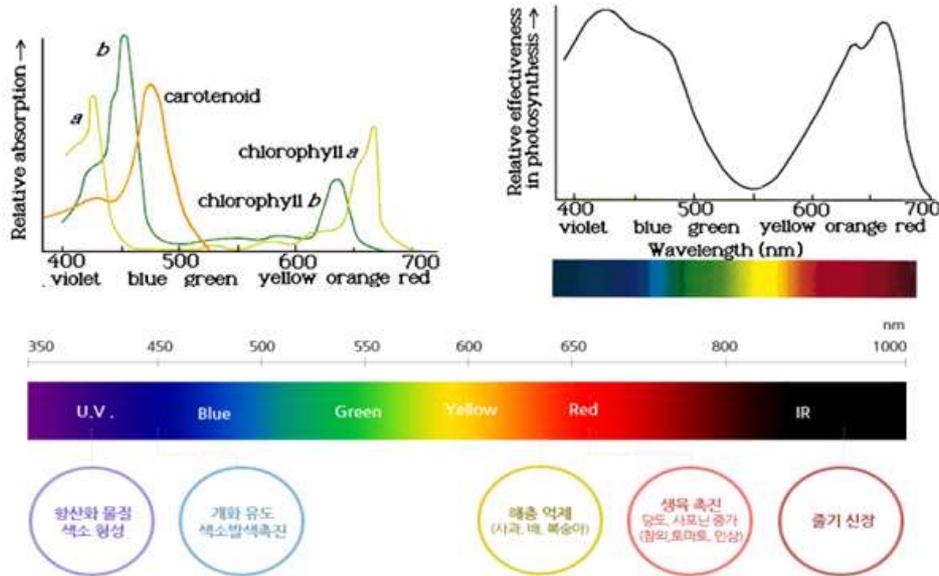


[그림 4] 조명을 사용하는 시설하우스(일반 백열등) 예시.



[그림 5] 식물성장용 LED 조명을 적용한 시설하우스(식물성장등) 예시.

- 특히, 식물성장용 LED 조명의 경우 식물의 흡수파장은 광합성 및 엽록소 작용을 위해 430~450nm 및 630~660nm 범위의 파장에 특화한 것으로, 작물에 따라 파장대의 적절한 선택을 통해 식물성장 활성화 및 고풍합성을 유도함(그림 6 참조).



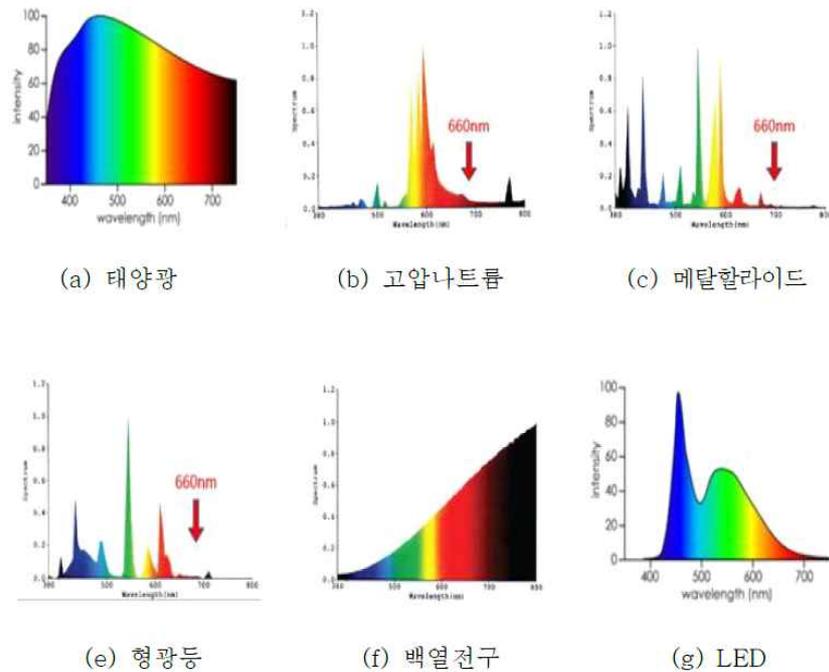
파장 (nm)		작용효과
적외선	IR-A	1400~1000 식물에 대해 특별한 작용은 없음. 열의 영향을 미침.
		780 식물에 특별한 신장 효과를 촉진 시키는 파장.
가시광선	적색	700 발아저지(730), 광합성 작용의 최대 (670)
	적황색	660 엽록소 작용 최대(655), 발아작용과 잎 배포 화아형성(660)
	적황색	610 광합성에 유익하지 않음. 해충방제(580~650)
	녹황색	510 노란 색소에 의한 일부 흡수, 어류 집어(485)
	청색	430~440 광합성작용의 최대(430), 엽록소 작용의 최대(440), 해충유인
자외선	UV-A	400 ~ 315 일반적으로 식물의 잎을 두껍게 하는 작용. 색소의 발색 촉진 작용. 해충 유인
	UV-B	280 많은 합성 과정에 중요한 작용(면역체 형성). 강하면 해가 됨.
	UV-C	100 식물을 급속하게 시들리게 하는 작용.

[그림 6] 빛 파장이 식물 성장에 미치는 영향.

## 2. 기존 식물성장용 LED 조명의 문제점

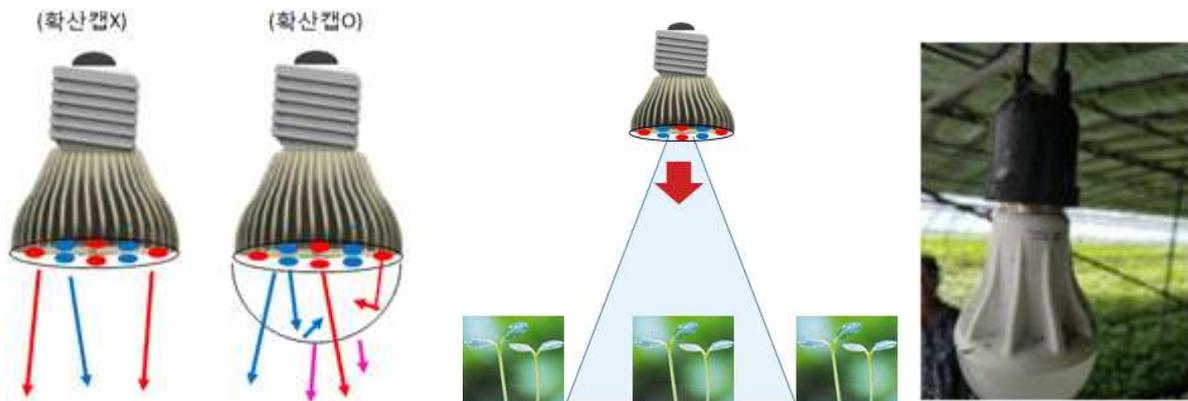
- 과거에 사용된 식물 성장용 인공광원인 형광등 및 백열등 등은 식물성장 및 광합성에 불필요한 파장범위의 빛이 포함되어 광 이용효율이 매우 낮으며 특히 고압나트륨, 메탈할라이드, 형광등은 광합성의 주요 파장대인 660nm의 파장이 아주 미미하게 나타남(그림 7 참조)
- LED 조명은 단파장, 저소비전력, 우수한 응답성, 장수명과 같은 특징을 가지며 집광기술을 잘 조합한다면 식물 재배용으로 기존 광원보다 경제적으로 매우 우수한 조명임.
- LED를 활용한 식물성장 조명은 현재 농촌의 비닐하우스에서 사용하고 있는 일반 백열전구나 나트륨 등을 대체하여 저소비 전력 및 높은 수명으로 생산 활동에 투입되는 고정 비용

절감효과를 가져옴.



[그림 7] 다양한 인공조명의 발광 스펙트럼 비교.

- 현재 시판중인 식물성장용 LED 조명은 불균일한 조광, 좁은 배광 특성을 갖는 것이 문제가 되고 있음. 현재 시판중인 원형 Bulb 타입의 LED조명 제품은 청색(BLUE)과 적색(RED) 광을 조사하기 위해, 단일파장의 BLUE, RED LED 패키지를 적절한 비율로 조합하여 쓰고 있음.
- 이는 직진성이 강한 LED의 특성 때문에 직하형 LED 전구로 제작된 경우(그림 8), 적색 및 청색 광이 피사체(식물)에 조사될 때 국지적으로 광 불균일 특성이 강하게 나타나고 좁은 배광각으로 인하여, 재배 식물의 성장에 있어서 같은 작물이라도 조사 위치에 따라 서로 다른 성장 속도 및 광합성을 유도하게 되는 단점이 있음.

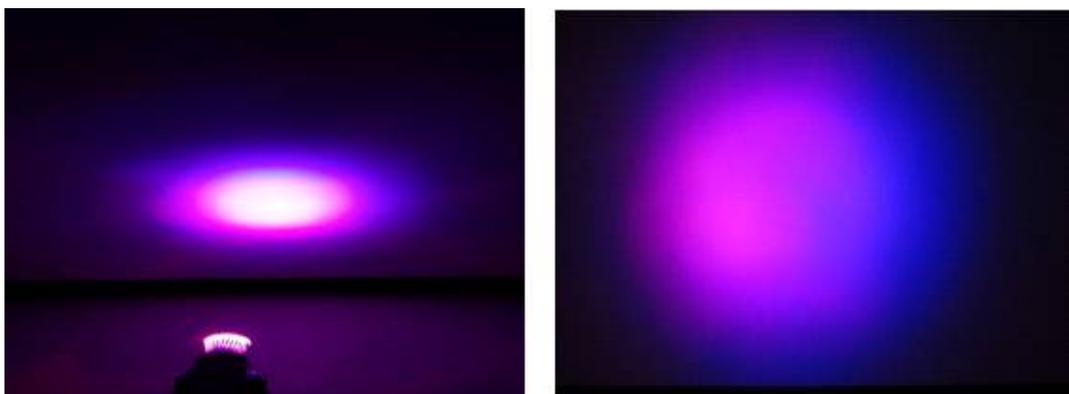


[그림 8] 일반 Bulb형 LED조명의 조광 특성(左), 조광 균일성(中), 실제 설치된 조명 사진(右).

- 이러한 조명이 시설하우스 및 식물공장에 설치되는 경우, 조명에서 가까운 곳에 위치하는 식물의 경우에는 빠른 성장이, 조명으로부터 먼 곳에 위치하는 경우에는 조광의 효과를 받지 못하게 됨. 또한 조명으로부터 비슷한 위치에 있다하여도 적색 및 청색 빛이 완전히 섞이지 않은 상태로 조사되어 성장 특성이 고르게 이루어지지 못하는 경우가 발생하고 있음.
- 식물성장은 일반적으로 태양광을 통해 성장하지만, 태양광 중에서 파장의 종류에 따라 성장에 미치는 영향은 다르며, 그 예로 660nm 파장대의 적색광에서는 광합성을 촉진하고, 450 nm 파장대의 청색광에서는 잎의 형태 형성 촉진이 이루어짐. 특히 불균일한 LED 조명 (Red 및 Blue)을 조사할 경우 식물 성장의 불균일을 유발함.
- [그림 9]는 시중에 판매되고 있는 식물성장용 LED 칩의 여러 가지 비율을 나타내며, [그림 10]은 이 광원을 실제로 조사하였을 때, 나타나는 피사체(식물)의 불균일성을 보여주는 단적으로 나타낸 사진으로, 적색 및 청색 2가지의 빛이 고르게 섞이지 않고 국부적으로 다른 색을 나타내고 있음을 보여 주고 있음. 이러한 불균일은 [그림 11]에서 나타내는 것과 같이 식물 성장의 차이를 나타내는 원인이 됨.



[그림 9] 판매중인 식물성장용 LED 칩의 Red, Blue의 다양한 비율.



[그림 10] 기존 일반 식물성장용 LED 조명의 광 불균일성.  
(조사 면적에 따라 불균일한 Red, Blue 편중 광원 형성).



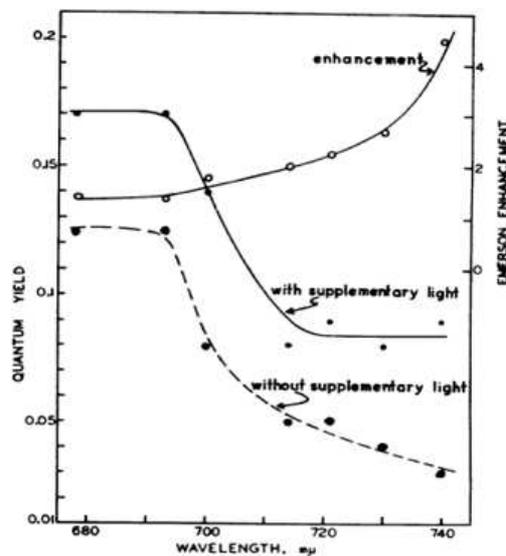
[그림 11] LED 파장별 비율에 따른 상추 식물성장 비교  
(파장의 차이가 가까운 위치의 다른 식물에서의 성장의 차이를 나타낼 수 있음).

- 이는 Red, Blue, White의 파장별 고른 조광이 중요하다는 것을 보여 주고 있음(그림 11). (실제 식물성장 LED Chip 파장별 조합에 따른 상추의 재배에서 적색 비율이 감소될수록 상추의 성장이 무뎌지며, 반대로 청색의 비율이 감소했을 때에는 잎의 색과 영양분이 감소하는 경향을 볼 수 있으며, 적색과 청색 LED 칩의 비율이 6 : 3 일 때, 광합성이 비율 높아져서 상추의 성장에 매우 효과적임을 알 수 있음). 이러한 식물생장의 파장별 배합 민감도를 고려한다면 균일한 파장의 빛을 적절히 조사하는 것 또한 매우 중요한 사항이라고 할 수 있음.

### 3. 기존 식물성장용 LED 조명의 광합성 개선을 위한 기술 개발의 필요성

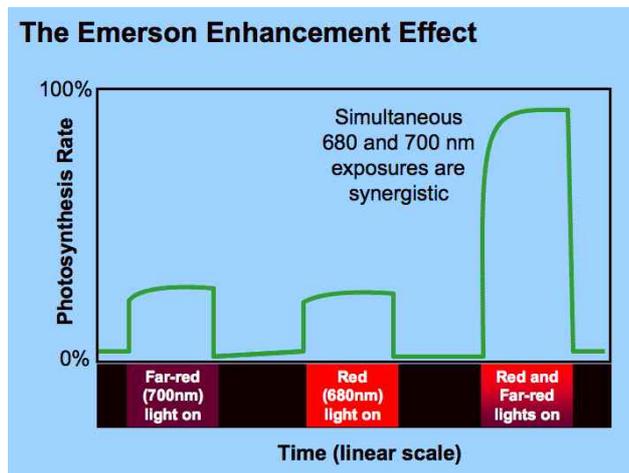
(에머슨 상승 효과(Emerson Enhancement Effect)와 식물 성장)

- 엽록소가 흡수하는 빛의 파장 범위내 광합성 효율은 거의 일정한 값을 얻는 데에 비해, 680nm이상의 적색 광에서 급격히 떨어지는 ‘적색저하현상’ 이 나타남(그림 12 참조).

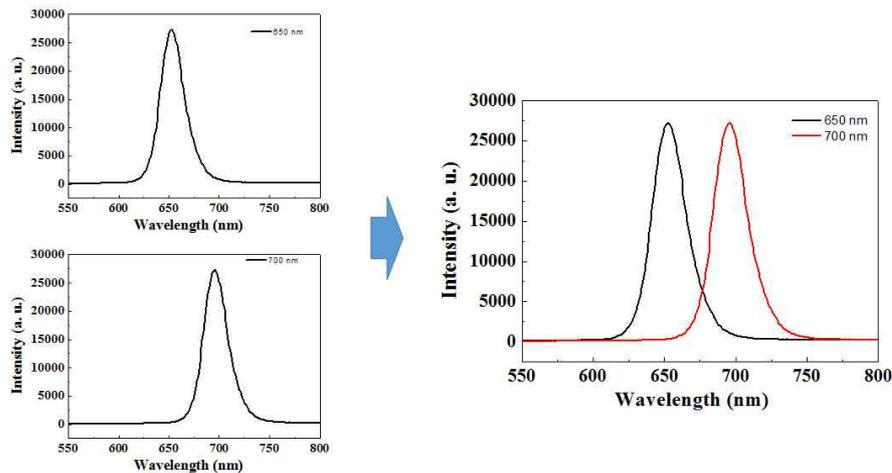


[그림 12] 적색저하현상 (참조: Govindjee, 1963).

- 장파장인 700nm의 빛을 680nm의 빛과 함께 조사하면 ‘적색저하현상’이 사라지는 효과가 있으며, 이는 각 파장의 빛을 흡수하는 엽록소가 따로 존재하며, 680nm의 빛을 흡수하는 엽록소가 먼저 활동해야만 다음 엽록소가 활동할 수 있음을 의미함(Ref. Plant Physiology, 2002).
- 특히, 700nm의 빛을 줄 때 동시에 약간 단파장인 680nm의 빛을 함께 주면 적색저하를 극복할 수 있으며 더구나 두 파장을 독립적으로 주었을 때의 광합성률을 합한 것보다 광합성률이 더 높아지는 ‘에머슨 상승 효과’ (Emerson enhancement effect)를 보임(그림 13). 이처럼 엽록소는 상호 연계된 메커니즘을 갖고 있어 광반응을 보다 효율적이고 빠르게 일어나도록 하는 역할을 하고 있다고 볼 수 있음.



[그림 13] LED Chip(680, 700nm) 조합에 의한 Emerson enhancement effect.

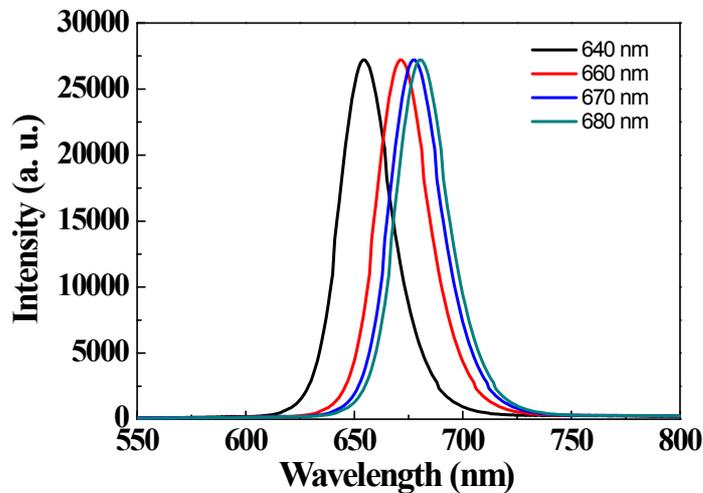


[그림 14] 광합성에 필요한 650, 700nm 파장의 발광 스펙트럼.

- 이러한 결과는 넓은 다파장의 적색 계열의 조광이 식물의 영양분 생성(광합성)에 매우 큰 영향을 준다는 것을 의미함. 즉, 태양광 아래의 식물의 경우, 풍부한 적색 파장을 가지나, 기존 식물생장등의 경우, 450nm급의 청색계열과 660nm급의 적색 2개의 파장만을 사용하고 있어, 식물생장에 효과적이지 못하다는 것을 의미하며, 지금까지의 식물생장등은 이러

한 효과를 간과하고 있었음. 이에 대한 가장 큰 이유는 적색 계열의 LED가 매우 비싸다 (일반 백색 LED의 10배 이상의 단가를 가짐)는 것이 가장 큰 이유임.

- 따라서, 값싸게 넓은 다파장의 적색 파장의 빛을 생산해 낼 수 있는 조명이 필요하며, 이는 식물 성장에 큰 혁명과도 같은 결과를 얻을 것으로 확신함.
- LED 소자를 이용한 다양한 파장의 구현은 원리적으로 가능하다 말할 수는 있으나, 현실적으로는 적색 LED소자의 10배나 높은 가격, 다양한 칩의 사용에 따른 구동상의 어려움 및 이에 따른 제조 단가의 상승, 특정 파장의 LED 소자의 수급한계, 장파장(특히 RED, NIR 계열)의 다양한 발광 파장대를 갖는 epi. 소재를 찾기는 현실적으로 매우 어려움이 있었음.
- 이에 따라서 새로운 방식의 다양하고 풍부한 스펙트럼을 갖는 조명소자 기술이 요구되고 있으며, 퀀텀닷 소재의 광여기 기술이 그 답이 될 수 있음.
- PL(Photo Luminescence)현상을 이용하는 퀀텀닷 소재는, 아래 그림처럼 합성 시간 및 조건에 따라 원하는 다양한 파장대를 갖는 소재를 제작할 수 있는 장점을 가지고 있음(그림 15 참조).



[그림 15] 다양한 파장대(같은 물질의 size 조절)의 발광 구현이 가능한 퀀텀닷 소재.

- 식물재배에 유용한 퀀텀닷 소재를 합성 및 필름화하여 반사형 LED조명에 적용하며, 궁극적으로 식물이 원하는 다양한 파장을 2차적으로 생성하여 효율적으로 식물성장 및 광합성에 높은 효과를 가짐.

## 2장. 연구수행 내용 및 결과

### 2-1절. 고효율 비카드뮴계 퀀텀닷 소재 기술 개발

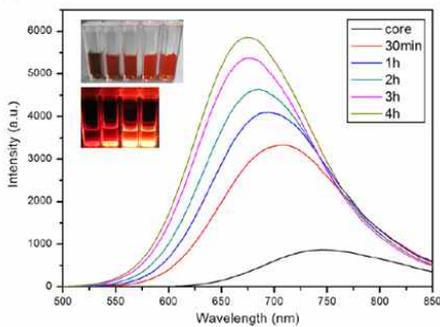
- 퀀텀닷의 대한 연구는 1990년대 MIT 대학의 Bawendi 그룹에서 카드뮴(Cadmium, Cd) 계열의 퀀텀닷을 합성한 이후 계속 발전해 왔으며, 현재는 카드뮴계뿐만 아니라 다양한 소재의 퀀텀닷이 합성되어 보고되고 있음. 카드뮴은 유해성 중금속으로 연구로만 이용되고 있으며, 상용화를 위해서는 저 Cd 기술(RoHS 규격 만족)이나, 카드뮴을 대체한 다른 소재(CIS(Copper Indium Sulfur), InP(Indium Phosphorus 등)를 이용한 친환경 퀀텀닷을 합성하는 연구가 주류를 이루고 있음. 특히, InP계 퀀텀닷은 색순도가 높고, 양자효율 또한 높은 것이 특징임. InP 퀀텀닷의 core인 InP만으로는 발광 특성이 높지 않아, shell 구조 및 alloy에 대한 연구가 활발히 진행되고 있음.

#### 1. 고효율의 비카드뮴계 퀀텀닷 소재 합성 기술 개발

##### 가. CIS계 퀀텀닷의 합성

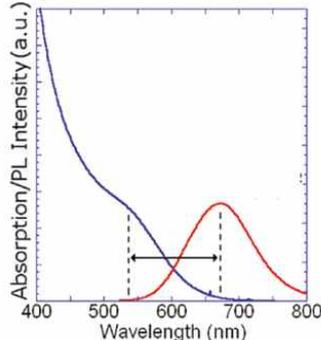
- CIS계 퀀텀닷은  $CuInS_2$ 의 조성을 가지는 물질이며 InP계 퀀텀닷과 마찬가지로 비카드뮴계 퀀텀닷의 대표 주자중의 하나로, 양자효율이 카드뮴계와 비교하여 높지는 않으나. 반치폭이 넓어 조명용으로 사용하기에 좋은 소재임. 이는 가시광영역에서 넓은 스펙트럼을 가질수록 태양광과 비슷해지며 연색지수(CRI, Color Rendering Index)가 높일 수 있음.
- Defect peak 으로 인해 Stokes shift가 다른 퀀텀닷에 비해 상당히 크며, 이는 퀀텀닷간 재흡수를 막을 수 있어 조명용으로 적용 시 보다 높은 효율의 소자의 가능성을 제시할 수 있음. [그림 16]에서도 볼 수 있듯이 CIS 계열의 퀀텀닷은 매우 넓은 반치폭을 가지며, 큰 Stokes shift를 가지는 것을 확인할 수 있음. 일반 카드뮴계는 Stokes shift가 30nm 이하이나 CIS 계열의 퀀텀닷은 100nm 이상임.

##### • 넓은 FWHM

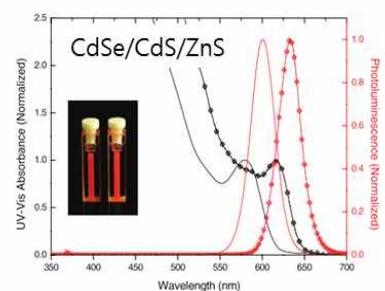


Journal of Crystal Growth 326 (2011) 90–93

##### • 큰 Stokes shift



J. Am. Chem. Soc. 2011, 133, 1176–1179



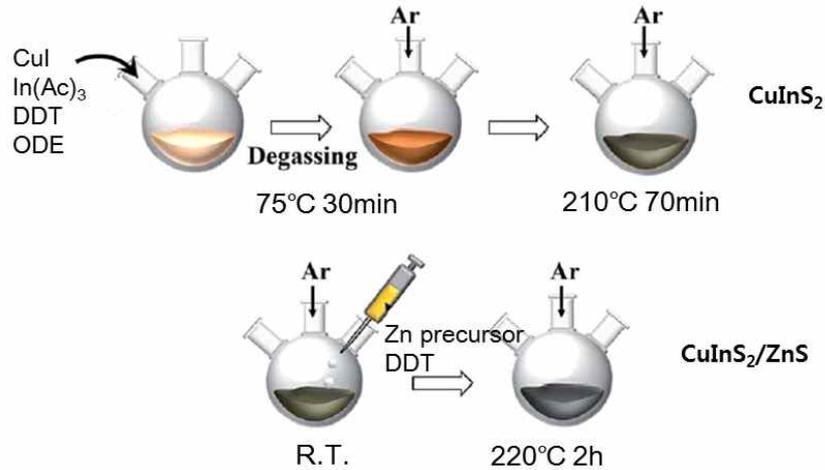
Adv. Mater. 2010, 22, 3076–3080

[그림 16] CIS계 퀀텀닷의 광학적 특징.

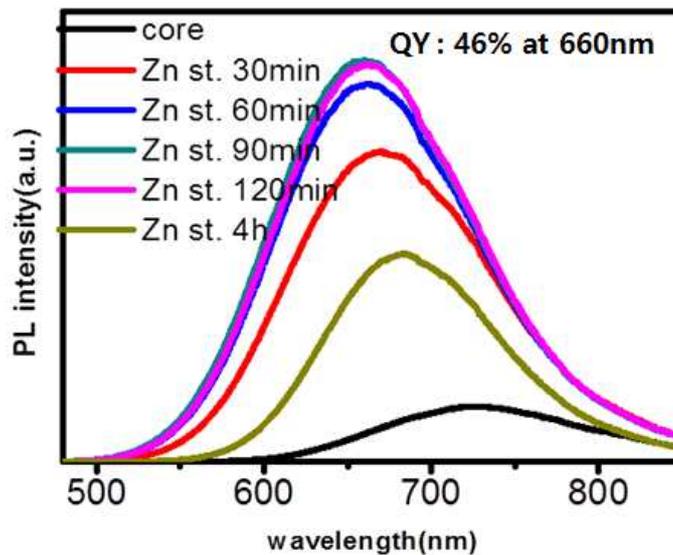
- CIS 퀀텀닷은 다양한 화학적 합성 방법이 있으나, 본 연구진은  $CuInS_2/ZnS$  조성을 가지는

퀀텀닷을 합성하였음. 합성 공정은 우선, 3구 플라스크 내에 CIS 각각 전구체 역할을 하는 CuI, In acetate, DDT를 넣고 용매로 1-octadecene(ODE)를 주입하고, 진공을 뽑아 수분과 산소를 제거하고 아르곤 상태에서 210°C로 가열하여 heat-up 방식으로 CIS 퀀텀닷을 합성하였음.

- Core 형성후 추가적으로 ZnS shell을 쌓기 위해 Zn 전구체로 Zn stearate와 DDT를 추가 주입하여 220°C에서 2시간 반응시켜 최종적으로 CIS/ZnS를 합성하였음.



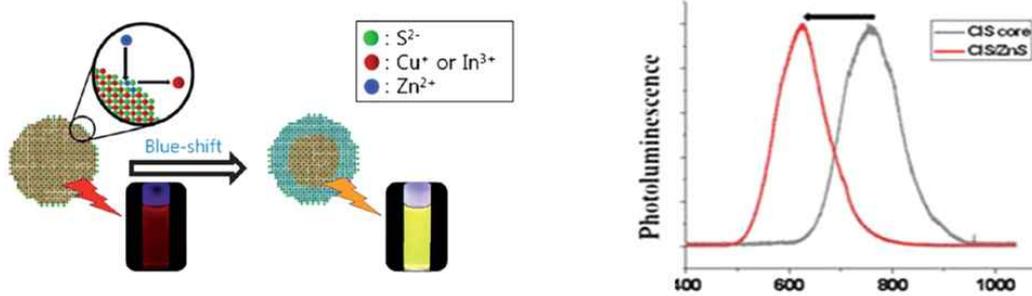
[그림 17] CIS/ZnS 합성 모식도.



[그림 18] CIS/ZnS의 PL 스펙트럼.

- CIS 퀀텀닷의 shell 합성 시간에 따른 결과를 보면, 합성 시간이 증가함에 따라서 PL intensity가 점점 증가한 후, 2시간을 기점으로 감소하는 것을 확인하였음. CIS/ZnS는 최고 광발광 효율이 46%로, CIS core 기준으로 725nm의 PL peak이 ZnS Shell을 구성함에 따라서 blue shift하여 660nm의 PL peak 특성을 보였음. 이는 CIS/ZnS 합성에서 ZnS shell을 쌓을 때  $Zn^{2+}$  이온들이 CIS core 내로 확산되면서 core의 실제적인 크기가 줄어들게 되고 양

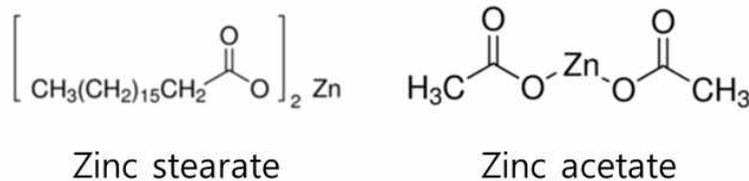
자 구속 효과로 인해 PL intensity의 peak이 blue-shift 하였음.



J. Park et al., J. Mater. Chem., 21, 3745-3750 (2011)

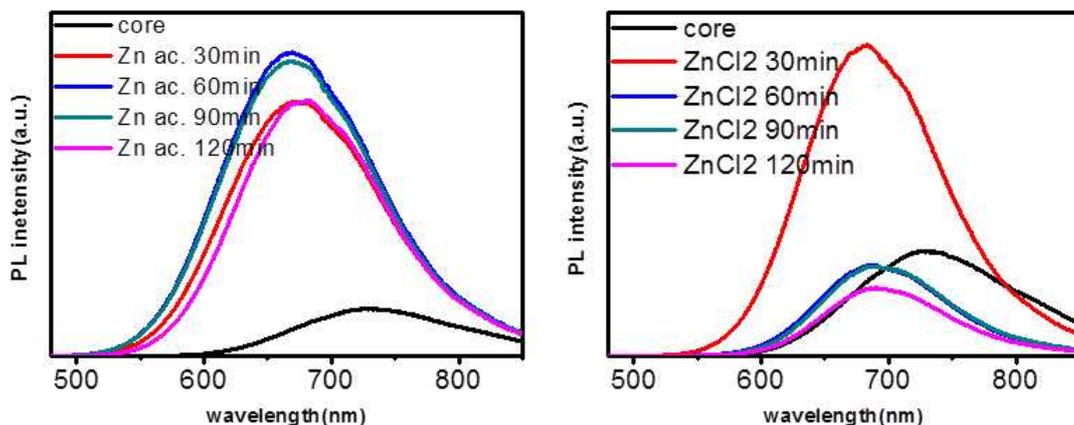
[그림 19] Shell 합성시 침투하는 Zn<sup>2+</sup>이온과 이에 따른 blue-shift 현상.

- CIS/ZnS의 ZnS shell을 형성할 때에, Zn 전구체 변화에 따른 양자효율의 변화를 확인하기 위해, Zn stearate를 대신하여 Zn acetate와 ZnCl<sub>2</sub>를 주입하여 ZnS shell을 형성하였음. 이들 소재는 Zn에 붙어있는 탄소사슬의 길이가 차이나는 것으로 Zn stearate가 가장 길고, Zn acetate는 짧으며, ZnCl<sub>2</sub>는 탄소사슬을 보유하고 있지 않음.



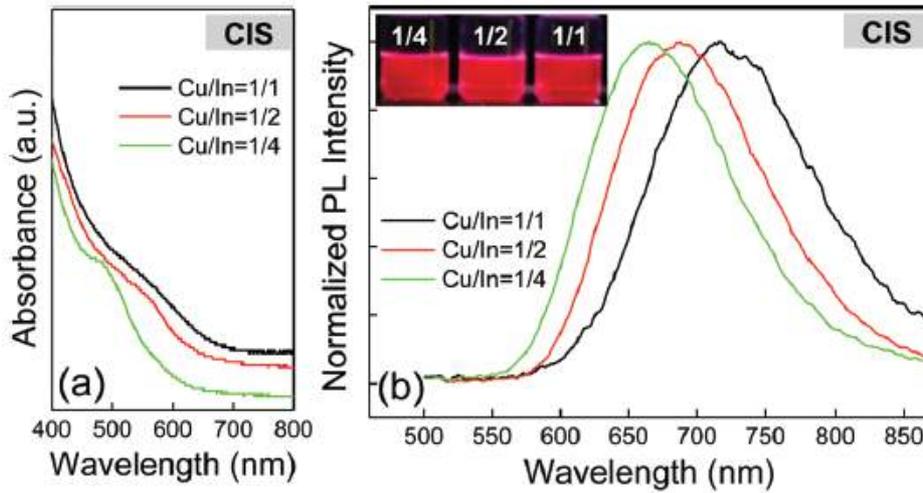
[그림 20] Zinc stearate와 Zinc acetate의 분자식.

- Zn acetate를 넣어 합성한 CIS/ZnS의 경우에, Zn stearate의 경우보다 짧은 shell 합성 시작 1시간만에 최고의 광발광 효율을 나타내었음. ZnCl<sub>2</sub>의 경우 Zn acetate보다 더 빠르게 30분에 최고 효율을 달성했으며, 이후 급격히 효율이 감소하였음. 광발광 효율은 Zn stearate를 이용하여 shell을 쌓았을 경우가 제일 높았으며, 36%의 효율을 나타냈음.



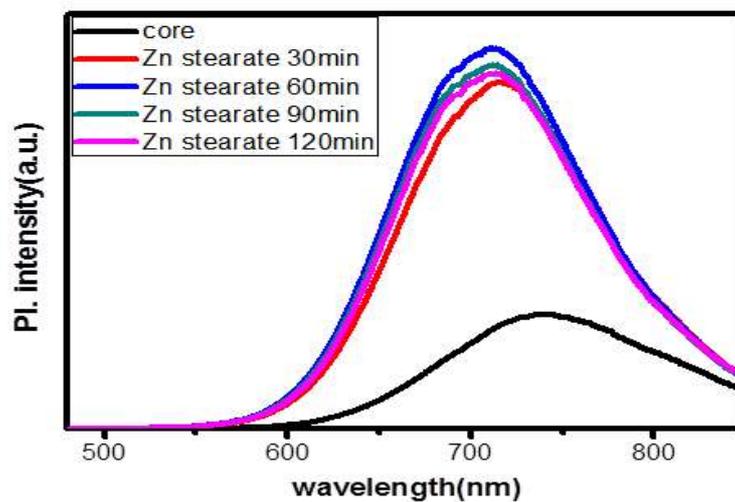
[그림 21] ZnS shell의 전구체(Zn acetate, ZnCl<sub>2</sub>)차이에 따른 PL intensity 변화.

- 반면 Zn acetate를 이용한 shell의 경우 50%, ZnCl<sub>2</sub>의 경우 42%로 매우 낮은 효율을 나타내었음. 탄소 사슬의 길이가 짧을수록 ZnS shell을 합성하기 위한 ZnS monomer의 합성 속도가 빨라지고 이에 따라 급격히 shell이 쌓여 빠른 시간 내에 최고 광발광 효율은 달성하나 불완전하게 쌓여 효율 자체는 낮은 것으로 판단됨.
- 620~630nm의 RED PL peak을 가지는 퀀텀닷은 CIS를 합성할 때 In전구체, S 전구체의 양을 일정하게 하되, Cu 전구체의 양을 줄임에 따라 PL peak이 단파장으로 blue shift하는 경향을 보임.



[그림 22] Cu, In 비율에 따른 PL intensity 변화.  
(Ref. Chem. Mater. 2012, 24, 1961–1967)

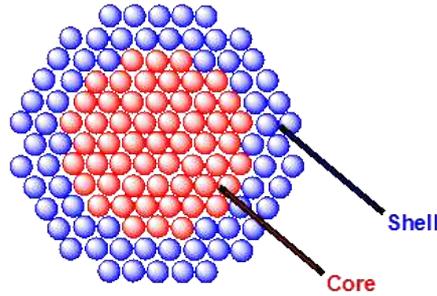
- CIS/ZnS의 합성에서, Cu 전구체와 In 전구체의 비율을 변화시켜 가면서(1:1 → 0.7:1) 변화를 두었으나, 양자효율(QY)이 36%로 높지 않았음. 특히, 퀀텀닷의 세척방식이나 합성 후, 필름 형성 시 안정성에 문제가 발생하여 추가 실험을 진행하지 않았음.



[그림 23] (Core) Cu:In=0.7:1비율에서의 Shell 성장시간에 따른 PL intensity 변화.

#### 나. InP계 퀀텀닷의 합성

- InP 퀀텀닷은 반치폭이 타 비카드뭇계 퀀텀닷 소재에 비하여 좁으나, 비교적 높은 양자효율을 갖는 것으로 보고되고 있으며, InP 퀀텀닷에서 core와 shell의 형성 구조에 따라서 다양한 형태로 합성되고 있음. 본 연구/개발에서는 일반적으로 많이 사용하고 있는 InP core에 ZnS shell 구조를 선정하였음.



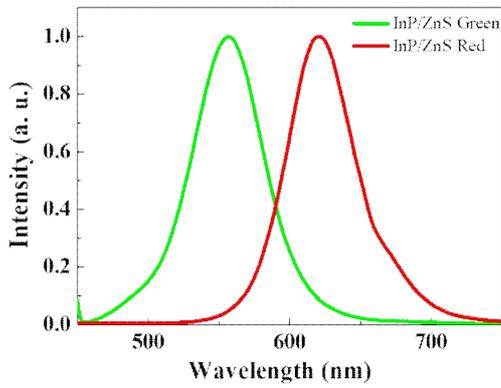
[그림 24] InP계 퀀텀닷의 Core / Shell 구조.

- InP/ZnS 퀀텀닷을 합성하기 위해 core 물질에는 In precursor로 Indium chloride를 사용하였고, P precursor로 tris(diethylamino)-phosphine을 사용하였음. Shell을 형성하기 위한 ZnS precursor로는 Zinc sulfide를 사용하였음. 각각의 precursor의 몰비(mol rate)를 변경하면서 InP 퀀텀닷을 합성함.
- Red와 Green InP/ZnS 퀀텀닷은 반응 시간 및 몰비를 변경하면서 제어하였으며, 각 퀀텀닷의 반치폭은 약 60nm을 나타내었음. 1차 Red InP 퀀텀닷을 기준으로 양자 효율을 자체적으로 측정한 결과 57.9%를 확인하였음(표 1 참조).

[표 1] 몰비에 따른 양자 효율의 변화(측정기관 CPRI)

InP/ZnS		wavelength [nm]	Quantum yield [%]
Phosphine: sulfur	(a) 1:10	579	36.2
	(b) 1:5	596	39.1
	(c) 3:5	606	57.9

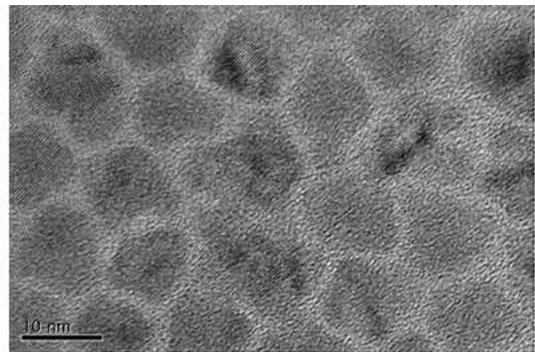
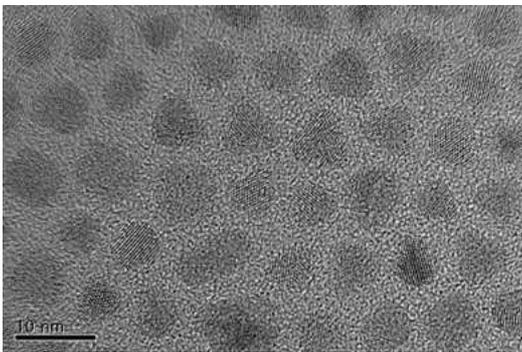
- [그림 25]는 합성된 Red, Green InP/ZnS 퀀텀닷의 PL 스펙트럼과 발광 사진 및 TEM 영상 측정결과임.



(a) 퀀텀닷 PL스펙트럼



(b) 퀀텀닷 발광 사진

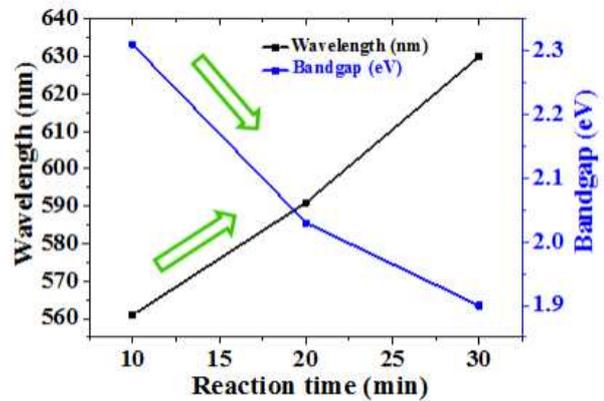
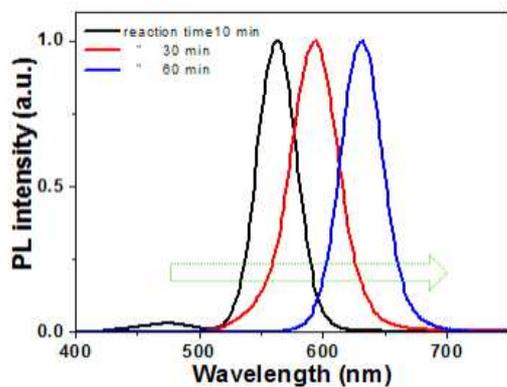


(c) 퀀텀닷 TEM 사진

[그림 25] 합성한 InP/ZnS(Green, Red) 퀀텀닷.

#### 다. InP/ZnS계 퀀텀닷 소재의 양자효율 향상

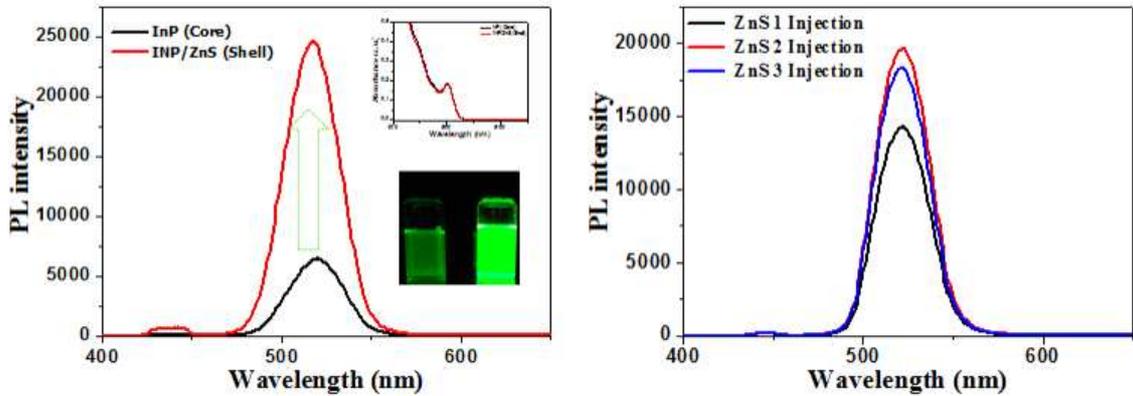
- 양자효율을 향상시키기 위해 InP/ZnS의 합성 시간에 따른 광학적-물리적 특성을 실험하였음. 합성시간이 증가함에 따라 Quantum size 효과에 의해 퀀텀닷의 PL peak가 red shift 하였으며, 또한 퀀텀닷의 파장변화에 따른 band gap 결과로부터 사이즈가 증가함에 따라 band gap이 감소함을 확인하였음.



[그림 26] 합성조건에 따른 발광파장 및 band gap 변화.

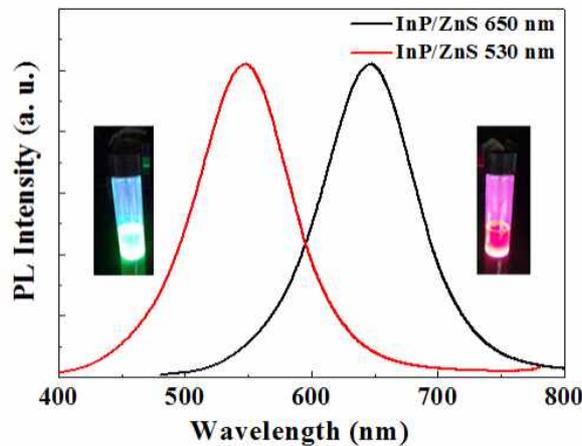
- 또한 합성된 InP 코어(core) 구조에 2층으로 ZnS-shell을 capping 하였을 경우, PL intensity

가 5배 이상 증가 하였으며, 3층 이상의 ZnS-shell 두께를 증가시켜도 더 이상 발광특성이 향상되지 않음을 확인하였음.



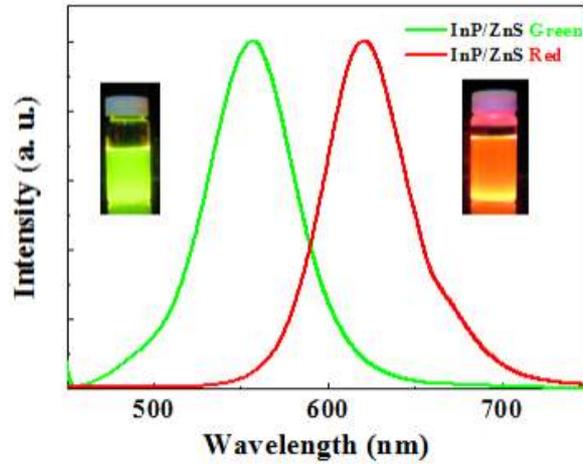
[그림 27] InP/ZnS 퀀텀닷 PL스펙트럼 및 Shell 두께 따른 발광특성.

- 각각의 조성비를 달리하여 최적 조건으로부터 합성된 퀀텀닷에서 가장 높은 62%의 양자효율 결과 값이 나왔음. 그리고 PL (photoluminescence) spectra 결과에서 각각 530nm, 650nm의 발광 피크를 관찰하였음 (그림 28 참조).



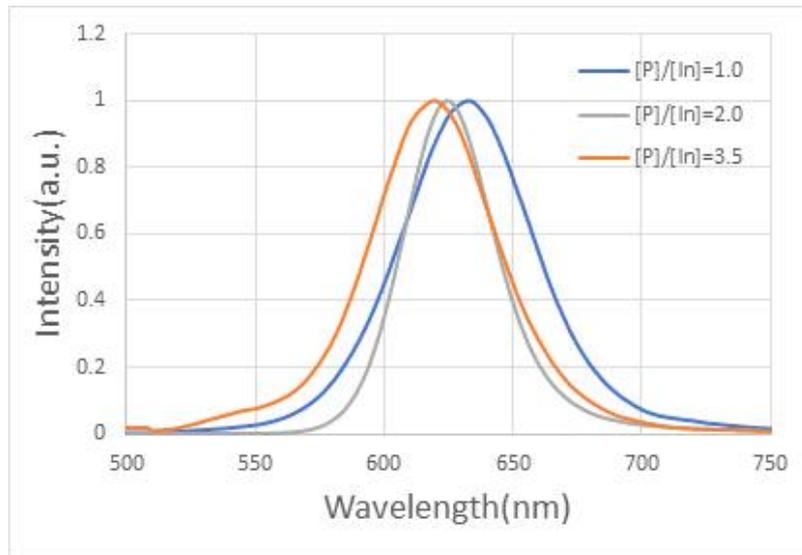
[그림 28] 합성된 InP/ZnS 퀀텀닷 PL 스펙트럼 및 발광 사진.

- 고효율 친환경 퀀텀닷을 합성하기 위해 Indium(III) chloride, tris(diethylamino)-Phosphine을 이용하여 core(In, P) 전구체를 합성하였으며, 이 후 ZnS shell을 형성하여 높은 양자효율을 갖는 InP/ZnS 퀀텀닷 나노입자를 합성하였음.
- [그림 29]는 합성된 InP/ZnS 퀀텀닷은 In(III)의 molar ratio 변화를 통해 약 60nm의 반치폭을 갖는 Green과 Red 퀀텀닷을 합성할 수 있었으며, 몰비 변화를 통하여 하여 66.2%이상 (한국광기술원 시험성적서 기준)의 고효율 퀀텀닷을 합성하였음(2차년도).



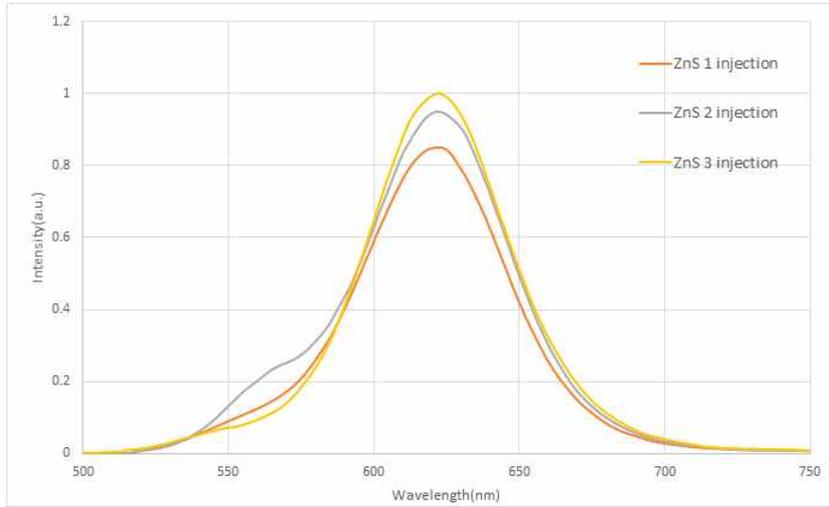
[그림 29] InP/ZnS(Green, Red) 퀀텀닷 PL스펙트럼.

- 고효율의 퀀텀닷을 합성하기 위하여 In precursor로 Indium acetate를 사용하였으며, P precursor로 Tris(diethylamino)phosphine을 사용하여 양자 효율을 높이고자 하였음.
- P precursor의 농도를 높임에 따라 InP 퀀텀닷의 효율 변화 및 파장, 반치폭의 변화를 확인하였음.



[그림 30] 몰비에 따른 퀀텀닷 PL 스펙트럼.

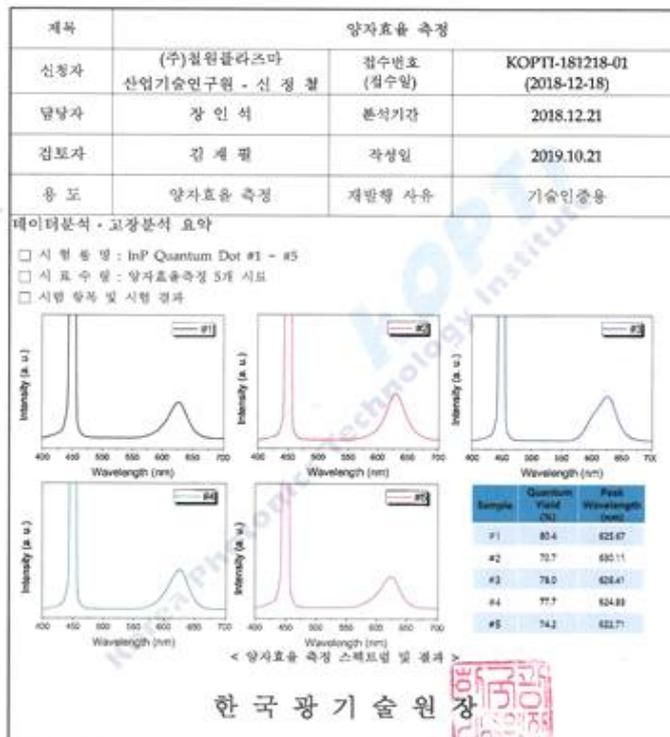
- P precursor의 몰비가 In precursor의 몰비에 비하여 증가함에 따라 파장은 단파장으로 shift 하는 것을 확인하였음. 또한 특정 몰비일 때 반치폭이 감소하는 경향을 확인하였음.
- 합성 precursor 변경을 진행 하였을 때, 기존 시약인 Indium chloride(65%)에 비하여 indium acetate(170%)에서 더 높은 양자 효율을 확인하였음. 이후 양자 효율의 최적화를 위하여 ZnS shell의 두께를 조절하였음. 2차년도에서 진행한 injection 횟수 조절을 통하여 최적의 양자 효율을 구현하고자 하였음.



[그림 31] Shell 두께에 따른 퀀텀닷 PL 스펙트럼.

- 특히, ZnS precursor의 injection 횟수를 조정하면서 shell의 두께를 조절 하였을 때, 두께가 증가할수록 효율이 증가함을 확인하였음. 이를 통해 precursor 조절 및 shell의 두께 조절을 통하여 양자효율 70.7%(한국광기술원 측정 결과)의 연구 결과를 달성하였음.

### 데이터분석 · 고장분석 보고서

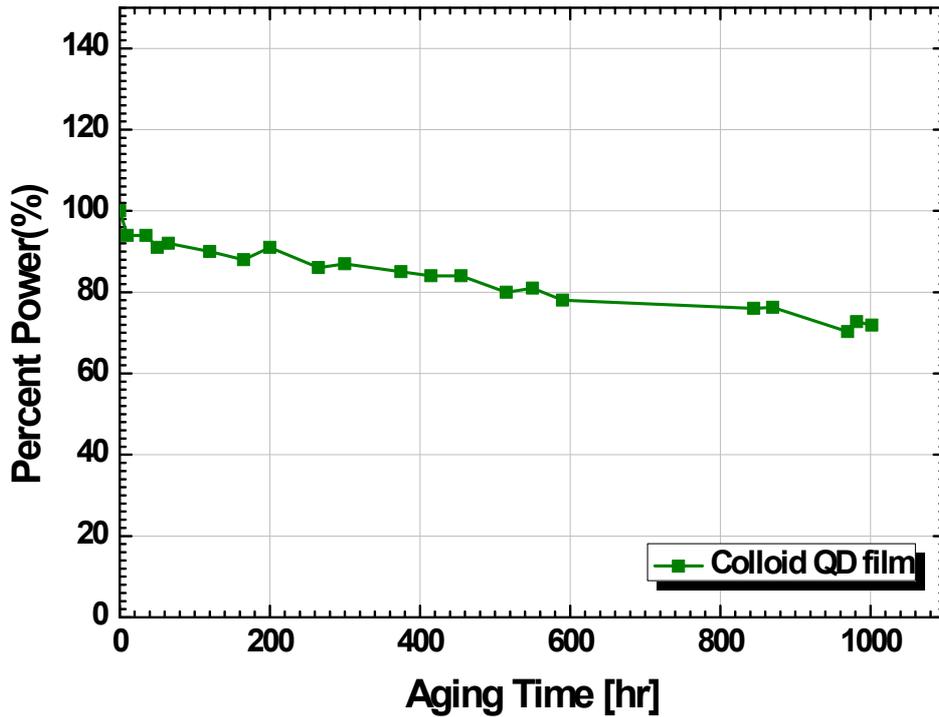


- ※ 작성된 데이터분석 · 고장분석 상세 내용을 첨부하였습니다.
- ※ 단, 이 보고서는 신청서류에 대한 측정 및 분석을 시행한 것으로 이 보고서의 보금 및 효력은 본도에 한정함을 알려드립니다.
- ※ 이 보고서는 시험성적서가 아니므로 공도 이외의 사용을 금하며, 의뢰자가 원으로 사용하여 발생하는 문제에 대해서 한국광기술원은 책임지지 않습니다.

[그림 32] 양자효율 시험평가 결과(한국광기술원).

## 라. 퀀텀닷 Colloid의 내환경적 문제점

- 퀀텀닷 colloid는 온도와 수분 및 산소에 취약한 소재임. 퀀텀닷 colloid는 solvent의 영향으로 냉장 보관이 요구되며, 농도가 변하고, 상온에서의 안정성이 떨어짐. 이러한 이유로 일정한 온도와 습도하의 안정성 실험에서 시간이 지날수록 양자효율이 서서히 감소하는 경향을 보임. 조명으로 오랜동안 일정한 빛의 특성을 유지하기 위해서는 퀀텀닷 소재의 안정성이 매우 중요한 이슈임.



[그림 33] 용액으로 제작한 QD 필름의 60°C 90%RH test.

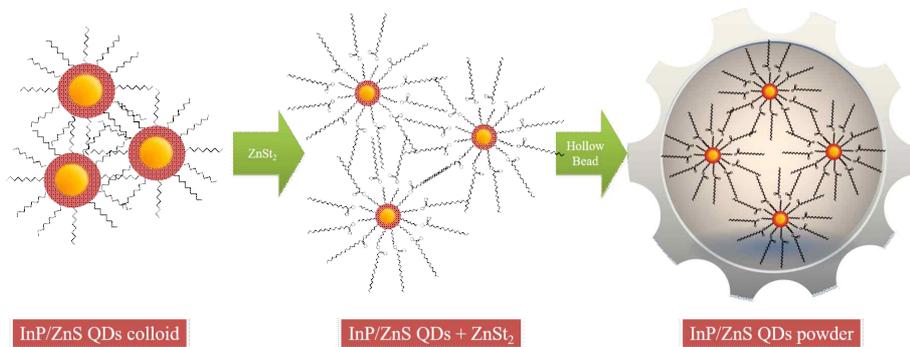
- 퀀텀닷 용액은 산소와 수분에 취약한 특성으로 기존의 퀀텀닷 필름에 양쪽에 배리어 필름을 사용함으로써 산화를 억제하고 있음. 그림 33에서 확인해 보면 배리어 필름이 없는 퀀텀닷 필름은 빠른 속도로 효율 감소가 이루어지고 있으며  $t_{90}=120\text{hr}$  으로 고온 다습한 환경뿐만 아니라 일반 환경에서도 사용이 어려운 정도임.
- 저온의 보관과 solvent 내 보관은 수분과 산소에 영향을 감소시킬 수 있지만, 외부로 노출되면 퀀텀닷 외부 shell의 defect 부분에서 산화가 발생하기 시작하므로 한번 산화가 발생한 퀀텀닷은 다시 복원 될 수 없음. 이에 퀀텀닷을 수분, 산소에 의하여 산화를 방지하기 위하여 본 연구원에서는 분말화를 고안하였음.

## 2. 퀀텀닷 소재 적용 고안정 필름 기술 개발

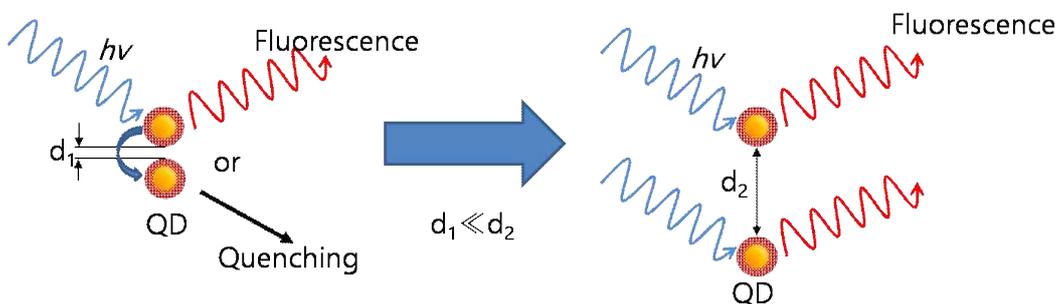
### 가. 퀀텀닷 소재의 분말화 기술

#### 1) 퀀텀닷 소재의 분말화

- 제작한 퀀텀닷 소재를 사용하여 퀀텀닷 필름을 제작할 때, Colloid 상태일 때는 solvent로 인하여 많은 제약이 있음. 필름으로 제작하기 위해서는 resin이 필요하나, solvent와 resin의 화학적인 차이에 인해, 고형화의 어려움 및 분산의 어려움이 존재함.
- 이에 따라, 본 사업에서는 이러한 solvent 물질에 의한 다양한 문제를 해결하고자 solvent를 제거한 퀀텀닷 분말을 제작하였음. 퀀텀닷 분말은 보관성, 혼합 및 후속 공정에서 소재의 선택 및 안정적 특성에 유연한 이점을 가질 수 있음.
- 퀀텀닷 분말은 앞서 설명한 InP/ZnS 퀀텀닷을 이용하였으며, 퀀텀닷 분말을 제작하기 위해서 다양한 방법을 시도하였으나, 결론적으로 퀀텀닷 분말은 Zinc Stearate( $ZnSt_2$ )와 특수 bead 등을 사용한 것이 가장 좋은 효과를 나타내었음.  $ZnSt_2$ 는 퀀텀닷 리간드(Ligand)와 결합하여 퀀텀닷의 FRET(Fluorescence Resonance Energy Transfer) 효과 억제를 기대할 수 있고, 특수 bead는 퀀텀닷과 결합하여 FRET 억제, 퀀텀닷에의 수분 흡착 방지 및 퀀텀닷 보호피로 사용될 수 있음. FRET는 나노 크기의 퀀텀닷 소재가 외부로부터 받은 강한 빛 에너지(짧은 파장의 빛)를 받아 여기광을 내어 놓은 후, 가까이 있는 다른 퀀텀닷이 이 빛을 다시 받아 새로운 여기광을 내어 놓거나, 원자내 위치에너지 및 열에너지 등의 다른 에너지로 소모되면서 양자 효율을 저하시키는 요인이 되므로 최소화할 필요가 있음.



(a) 퀀텀닷 분말의 제조 과정



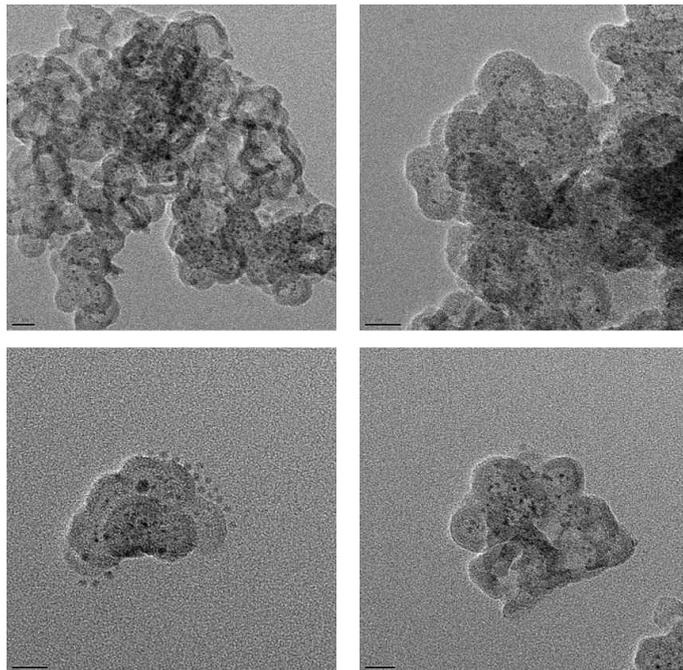
(b) FRET 원리

[그림 34] 퀀텀닷 나노분말의 제조와 FRET(Fluorescence Resonance Energy Transfer) 효과.

- InP/ZnS 퀀텀닷 분말은 기 제작된 InP/ZnS 퀀텀닷 colloid(용액)를 클로로포름, 에탄올, 아세톤 등의 solvent를 이용하여 Conical Tube 안에서 일정한 비율로 혼합한 후, 원심분리기로 정제하여 solvent에 포함되어 있는 불순물을 제거하는 공정으로 진행하였음. 퀀텀닷 제조 시, 첨가된 용매인 Octadecene 계열의 잔여 유기물질 및 기름 성분이 열경화 특성에서 발생하는 치환 반응을 억제하여 경화를 방해하기 때문에 1-5회 가량의 정제 작업을 거칠 필요가 있음. 퀀텀닷 용액을 클로로포름에 분산시킨 후, ZnSt<sub>2</sub>와 특수 bead를 첨가하고, 건조시키는 과정으로 최종 퀀텀닷 분말을 제작함(그림 35 참조).



[그림 35] InP/ZnS 퀀텀닷 분말의 발광 사진.

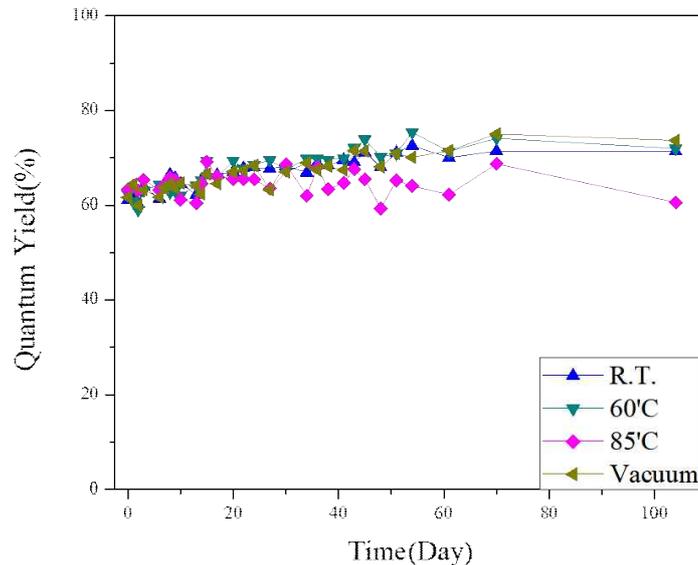


[그림 36] 퀀텀닷 분말의 TEM 사진.

- [그림 36]은 퀀텀닷 분말의 TEM 사진으로, 퀀텀닷간의 거리가 일정 거리 이상 떨어져 있는 것을 확인할 수 있음. 퀀텀닷 용액의 TEM 사진(그림 25)과 비교하여, 퀀텀닷 간의 거리

가 2배 ~ 5배까지 떨어져 있는 것이 확인됨. 이와 같이 퀀텀닷 사이의 거리가 멀어지면 퀀텀닷간의 전자 재결합을 막아주게 되어 FRET 현상을 줄이는 효과가 있음.

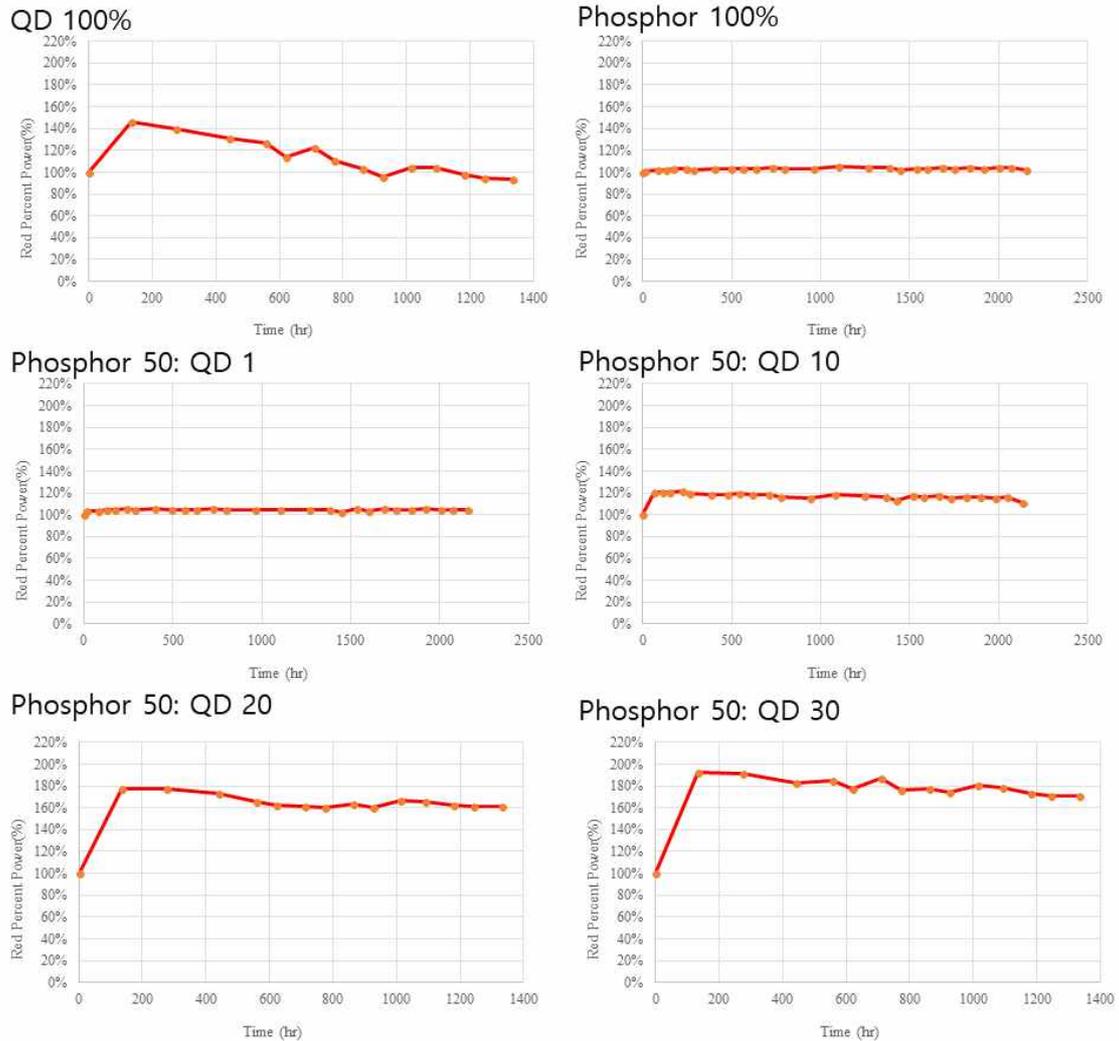
- 제작한 퀀텀닷 분말의 안정성을 실험하기 위해, 먼저 일정 온도(60°C, 85°C)에 따른 특성을 퀀텀닷 소재의 양자효율 변화를 확인하는 방법으로 안정성을 확인하였음. [그림 37]은 제작한 InP/ZnS계 퀀텀닷이 85°C의 높은 온도 및 진공상태에서도 약 100일 이상 양자효율이 유지되는 것을 확인하였음.



[그림 37] 온도에 따른 퀀텀닷 분말의 양자 효율 변화량 측정(안정성 시험) 결과.

## 2) 퀀텀닷 소재와 형광소재의 하이브리드(hybrid)화 test

- 퀀텀닷 분말의 안정성 향상을 위하여 기존 형광체에 퀀텀닷 분말은 일정 비율로 교반하여 안정성을 높이는 실험을 하였음.
- 퀀텀닷과 무기물 형광체의 비율에 따라 안정성을 확인하였음. 각 비율에 맞는 퀀텀닷 무기물 형광체 분말을 이용하여 필름을 제작 하여 확인하였음. 안정성 확인은 Blue LED와 열을 가하여 가속수명측정을 하였고 각 Factor는 다음과 같음. 온도 80°C 2.8배, Blue LED flux 125mW/cm<sup>2</sup> 16배 = 총 가속계수(acceleration factor) 44.8배를 사용하였음.
- 퀀텀닷 분말만 사용한 필름은 상대적인 감소비율이 큰 것을 확인할 수 있음. 무기물 형광체를 사용한 필름은 매우 안정한 결과를 얻었음. 무기물 형광체와 퀀텀닷 분말은 퀀텀닷 분말만 사용한 필름에 비하여 매우 안정적인 것을 확인할 수 있음.
- 퀀텀닷 분말과 무기형광체 결합으로 제작함으로써 퀀텀닷을 이용하여 다양한 분야에 적용할 수 있음. 일례로 퀀텀닷 필름을 제작하게 되면, 퀀텀닷 용액으로 제작한 필름은 양자효율이 매우 낮고(30%대), 열안정성이 낮은 결과를 얻었으나, 퀀텀닷 분말과 형광체 혼합물을 이용하여 제작한 필름은 양자효율이 상대적으로 높고(60%대), 열안정성도 매우 높은 결과를 확인하였음.



[그림 38] 퀀텀닷분말과 형광체분말 비율에 따른 안정성 측정 결과.

## 나. 퀀텀닷 필름의 제조

### 1) InP계 QD의 필름 제작

- 앞서 제작한 퀀텀닷 분말로 퀀텀닷 식물 조명의 광여기 소재로 사용할 필름을 제작하였음. 필름의 제작을 위해 resin을 기본 소재로 사용하고 미량의 퀀텀닷을 잘 분산시켜 열경화 혹은 UV 광경화 방법으로 고형화 공정을 함으로써 제작함. 이때 resin은 퀀텀닷 분말의 특징 및 외부 리간드의 소재, 퀀텀닷의 열안정성, 수분 안정성 등을 고려하여 선정할 필요가 있음. 본 연구에서는 연성 및 투과도가 우수하고 비교적 낮은 온도에서도 경화가 가능한 실리콘 탄성 중합체(Polydimethylsiloxane, 이하 PDMS)류와 아크릴계 resin 등을 이용하여 퀀텀닷 필름을 제작하였음.
- PDMS는 가장 널리 사용되는 실리콘 계열의 열 경화제로, 인체에 무해하고 높은 표면 접착력과 광학적 특성을 가지는 소수성 소재로 유기용매와의 교반시 분산상태가 양호하다는 장점이 있음.
- 아크릴계 resin은 수분 투과도가 좋으며, 낮은 온도에서도 경화가 되는 특성을 가지고 있음.

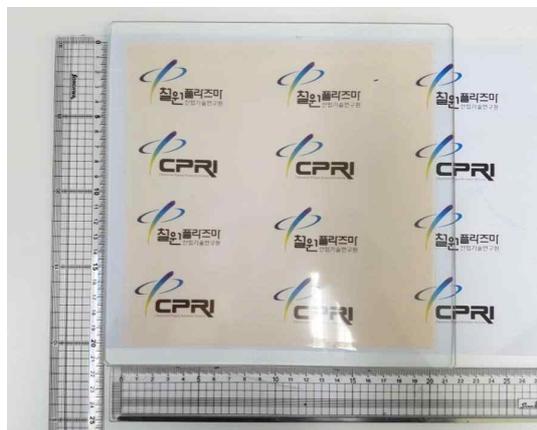
며, 광학적 특성이 우수하며 다양한 substrate에 접착이 되는 장점이 있어, 필요에 따라서 2가지 소재를 적절히 선정하여 사용할 수 있음.

- 기 제작된 InP 퀀텀닷 분말과 PDMS base material을 일정비율로 혼합하고 PDMS curing agent을 혼합하여 교반하였음. 교반시 퀀텀닷 분말이 서로 뭉치지 않고 고르게 분산이 되는 것이 중요함. 교반 후, 퀀텀닷 분말과 PDMS 혼합물은 Bar coating, Spin coating 또는 Screen Printing, role-to-role 방식 등으로 퀀텀닷 필름 제작이 가능함.



[그림 39] 퀀텀닷 필름 제조 공정 순서(screen printing).

- CPRI는 1차년도에 스크린프린팅 공정으로 퀀텀닷 필름을 제작하였으며, 사용된 Metal Mesh는  $200 \times 200\text{mm}^2$ 의 개방 면적을 가지고 215 망사(215 holes/inch<sup>2</sup>) 규격품을 사용하였으며, 필름의 두께는 프린팅 및 열처리의 다회 반복공정을 통하여 조절이 가능하며, 소재의 특성 및 제품의 목표 사양에 따라서 다르게 제어함. 기판 위의 Mesh를 올리고, 경화 용액을 프린팅한 후, 60°C 환경에서 일정시간동안 열처리 공정을 적용하였으며, 제작한 필름은 [그림 40]에 제시하였음.



[그림 40]  $200 \times 200\text{mm}^2$  퀀텀닷 필름.

- 퀀텀닷 소재를 조명제품에 적용하기 위해서는 필름의 안정성을 확인할 필요가 있음. 가장 중요한 특성은 필름의 수명이며, 수명은 환경적 요인에 의한 필름의 특성 변화로부터 퀀텀닷 소재가 얼마나 잘 견딜 수 있는지로 평가할 수 있음.
- 퀀텀닷 소재 및 필름의 수명을 개선하기 위해, 퀀텀닷 colloid 상태에서의 리간드 치환기술, SiO<sub>2</sub> 등의 내열성 나노 세라믹소재 구조 적용 등의 합성공정 개선으로 접근하는 방법이 일반적임. 그러나 우리 연구에서는 퀀텀닷 분말이 열적 안정성이 매우 우수한 것을 확인하였음. Zinc Stearate(ZnSt<sub>2</sub>)와 특수 bead 등을 사용하여 제작한 퀀텀닷 분말이 resin과의 완전한 고형화에 의해 매우 안정적인 특성을 나타내는 결과를 제시하였음. 이로서 필름의 안정성/신뢰성을 확보하였음.
- 특히, 필름 제조 공정에 사용한 resin의 화학적 물리적 특성은 퀀텀닷에 수분 및 산소의 침투를 방지함으로써 퀀텀닷 필름의 수명 신뢰성을 개선하였음. 결론적으로 본 연구에서는 퀀텀닷 파우더를 사용함과 동시에 resin 변경을 통하여 수분 및 산소 침투성을 개선하여 안정성을 더욱 높였음. 아크릴계 화합물을 사용한 resin은 일반적으로 사용되는 barrier sheet 특성에는 미치지 못하는 못하였으나, barrier sheet를 사용하지 않아도 되는 장점을 가지고 있고, 수분 및 산소의 침투를 PDMS보다 차단하는 특성을 가지고 있음. 일반적인 barrier sheet의 특성은 [표 2]와 같음.

[표 2] Barrier Sheet에 요구되는 광학적/물리적 특성

항목	사양
WVTR	$<10^{-2} \text{ g/m}^2/\text{day}$
Haze	$40\% \pm 5\%$
대전방지	$<10^{-2} \text{ } \Omega/\square$
투과율	$>90\%$

- 수분 및 산소의 침투를 막아서 barrier sheet의 특성을 가지는 것도 필요하며, 퀀텀닷 필름에서의 광학적 특성도 필함. 우리가 제작하는 식물용 조명은 450nm 파장을 가지는 빛이 조사되어 특정 파장의 빛이 발생하게 퀀텀닷 필름을 사용하게 되는데, 광학적 특성이 낮다면 조사되는 빛과 발생하는 빛의 대부분을 재흡수할 수 있음. 이처럼 낮은 광학적 특성을 가지게 되면 퀀텀닷 필름이 제 역할을 하지 못할 수 있음.

## 2) InP계 QD의 필름의 안정성 평가

### 가) 퀀텀닷 필름의 열적 안정성 평가

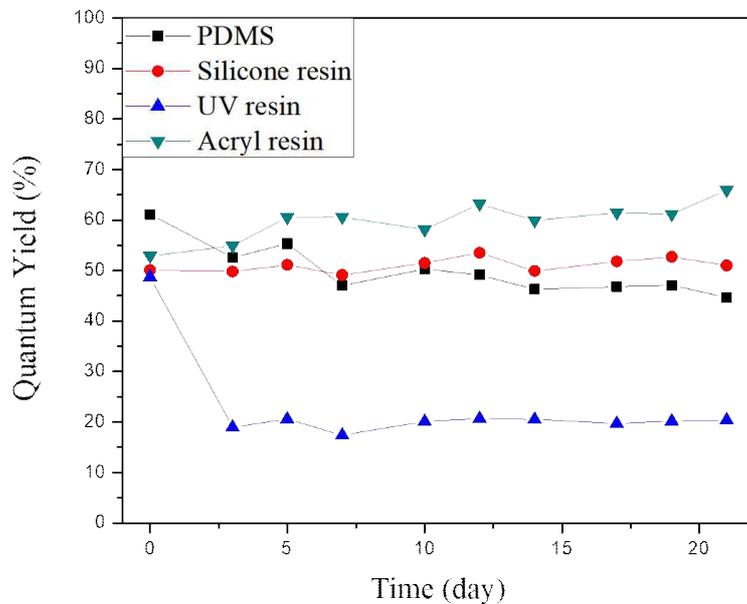
- 1차년도에, 용액 퀀텀닷 소재와 분말 퀀텀닷을 이용하여 PDMS 기저 소재에 분산하여 퀀텀닷 필름을 제작한 후, 양자효율을 비교한 결과, [표 3]과 같이 약 2배의 차이를 나타냄을 확인하였음. 이 결과는 퀀텀닷을 분말로 제작한 것이 일반 colloid 퀀텀닷 소재와 비교하여 매우 광학적으로 안정적이며, 광여기 효율이 매우 뛰어난 것을 알 수 있으며, 분말 제작이

유효함을 대변하고 있음.

[표 3] Colloid 퀀텀닷과 분말 퀀텀닷으로 제작한 필름의 양자효율 비교

필름의 양자 효율 비교	퀀텀닷 colloid	퀀텀닷 powder
양자 효율(Quantum Yield)	32.3%	61%

- 퀀텀닷 필름의 안정성, 가장 좋은 특성의 소재를 확인하기 위해 다양한 resin 소재를 이용하여 퀀텀닷 필름을 제작하고, 고온 환경하에서 안정성을 비교 실험하였음. 동일 조건으로 제작된 퀀텀닷 분말과, PDMS, silicone 계의 열경화성 resin, UV 경화성 resin, 아크릴계의 resin등의 소재로 퀀텀닷 필름을 제작하고, 고온 환경하에서 일정기간 방치한 후, 양자효율을 비교하는 방법으로 실험하였으며, 그 결과를 [그림 41]에 제시하였음. 필름의 기판은 PEN(Polyethylene Naphthalate)의 평탄면을 이용하였음.



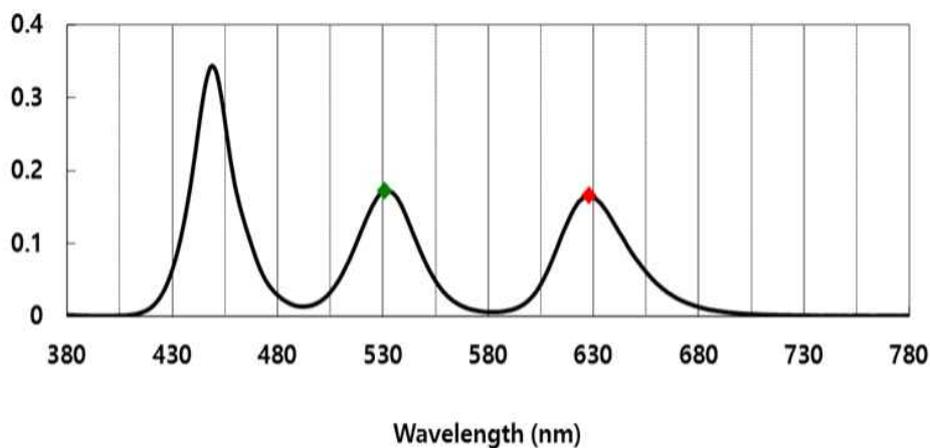
[그림 41] 레진의 종류에 따른 양자 효율 변화.

#### 나) 퀀텀닷 필름의 광변환 특성 평가

- 퀀텀닷 분말, 고투과 분산 폴리머(PDMS) 혹은 아크릴계 계열의 resin을 사용하여 bar-coating 공정을 통해 퀀텀닷 필름을 제작하고, 제작된 퀀텀닷 필름을 PL spectrometer를 이용하여 상대적인 광 효율을 비교하였음. 이는 퀀텀닷 필름이 입사광량에 대하여 얼마나 많은 양의 빛을 여기광으로 조사할 수 있는지를 확인하는 방식임.
- 여기파장은 기본 LED 파장인 450nm의 blue를 이용하였으며, 개발 목표인 Red 퀀텀닷 필름을 제작하여 사용하였음. 각 필름의 여기 파장 intensity를 상대 비교하여 퀀텀닷 필름의 특성을 비교하였으며, 퀀텀닷 필름의 열적 안정성, 내습성을 비교하기 위해 온도 60°C, 상

대습도 90%RH 조건에서 각 시간별 PL intensity의 상대값 변화를 통하여 확인하였음.

- 일반적인 온도 및 수분에 의한 안정성 실험은 8585 TEST(85°C/85%RH 환경 下)를 하나, 퀀텀닷 필름 온도 특성보다는 수분 특성이 더 민감한 조건이며, 앞서의 고온환경하에서 퀀텀닷 필름의 안정성을 확인하였기 때문에 수분이 더 많은 고습조건을 선택하였으며, 이는 특히 가장 고난위도(0.1%의 변화도 허용하지 않는)의 디스플레이용 퀀텀닷 필름의 신뢰성 시험평가 환경 조건으로 사용되고 있어 본 사업으로 제작된 퀀텀닷 필름의 안정성을 가장 혹한 조건으로 신뢰성을 확인하고자 함에 있음.
- 퀀텀닷 필름의 안정성의 개관적 데이터를 확보하기 위해서, 디스플레이용 퀀텀닷 필름의 안정성 비교시에 활용하는 power drop 방법을 이용하여 계산하였음. Power drop 방법은 조사광대비 여기광의 비율로 표시되며, Power drop 방법과 계산식은 [그림 42]에 나타내었음.



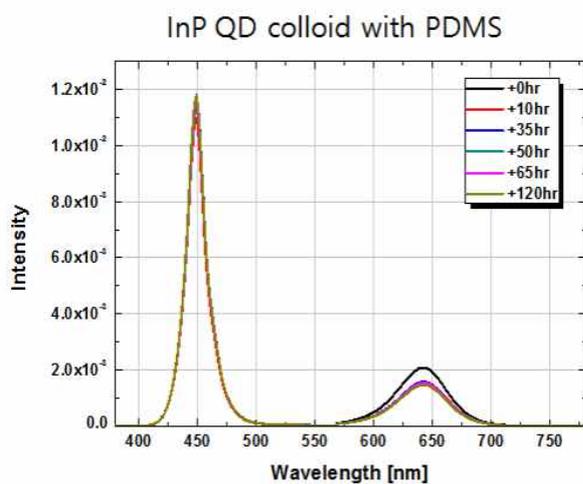
$$Power\ drop(Red) = \frac{\int_{570nm}^{699nm} f(x)dx}{\int_{400nm}^{499nm} f(x)dx}$$

[그림 42] Power drop의 계산 방법.

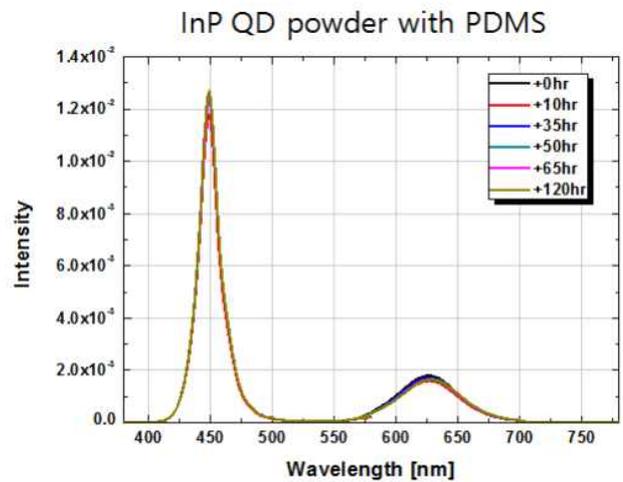
- 본 열화 특성 확인 및 검증을 위해 3종류(InP QD colloid와 PDMS resin을 사용한 모델, InP QD powder와 PDMS resin을 사용한 모델 및 InP QD Powder와 아크릴계 resin을 사용한 모델)의 퀀텀닷 필름을 제작하여 실험하였음. 사용한 퀀텀닷은 Red 635nm의 InP계이며, 각 모델의 퀀텀닷과 resin의 비율은 동일하게 함.
- [그림 43]은 제작된 3종 퀀텀닷 필름의 6090 TEST(60°C/90%RH 환경 下)로서 120시간 동안 실험한 결과를 나타내었음. 이 결과, QD colloid를 이용한 퀀텀닷은 열화 시험 시작과 동시에 급격히 효율이 떨어지는 것을 보이고 이후에는 천천히 감소되고 있으며, 이는 이전에 실험하였던 고온 특성시험에서 안정성이 낮았던 결과와 유사하였음.
- 반면, QD 분말과 PDMS resin을 사용한 경우에는 보다 안정된 그래프 특성을 보이고 있음.

며, 특별히 QD 분말을 아크릴계 resin을 이용해 필름으로 제작한 경우에는 초기에 증가한 후 서서히 감소하는 경향을 보이고 있음. QD 분말을 제작할 때 남아 있던 solvent가 증발하면서 나타나는 일시적인 효율 증가현상과 유사한 결과로 보임.

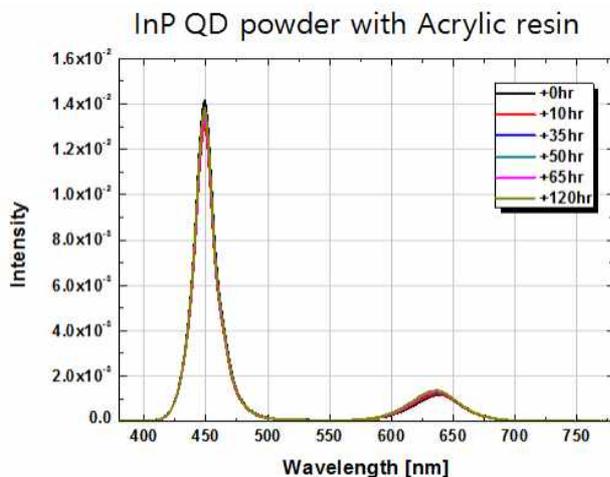
- 이 실험 결과로부터, QD 분말은 colloid에 비하여 안정성이 우수한 것을 확인할 수 있으며, QD 분말의 경우에도 resin의 종류에 따라 다른 결과를 얻을 수 있음을 확인하였음. Resin 소재가 낮은 수분 및 산소 투습도를 가진다면 QD의 열적, 수분 안정성을 보다 더 확보할 수 있음. PDMS는 일반적으로 투습도가  $10^5 \text{cc/m}^2\text{-day}$  정도이며, 아크릴계 고분자물질은  $10 \text{cc/m}^2\text{-day}$  정도로 상대적으로 우수하며, 과자봉지의 투습도는  $10^{-1} \text{cc/m}^2\text{-day}$  정도이므로 아크릴계 resin이 매우 좋은 투습요건을 갖는 것은 아니므로, 보다 우수한 소재를 사용하면 지금보다도 더 좋은 특성을 확보할 수 있을 것으로 사료됨.



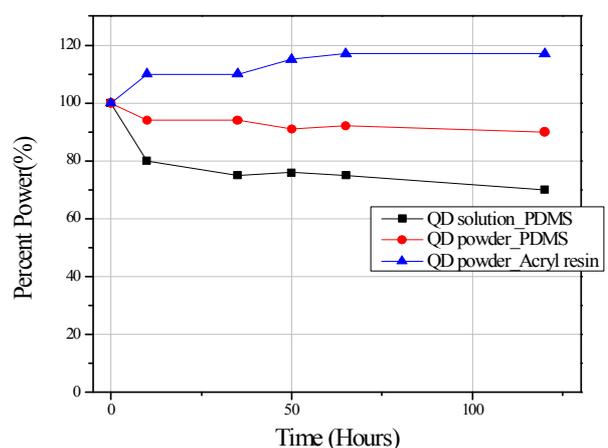
(a) InP QD colloid with PDMS



(b) InP QD powder with PDMS



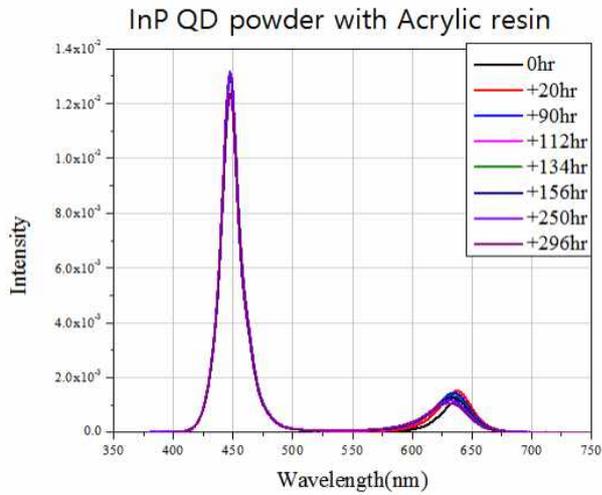
(c) InP QD powder with Acrylic resin



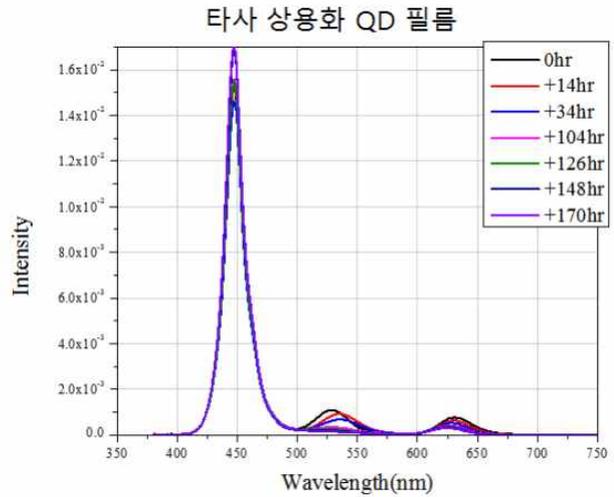
(d) Power Drop rest result

[그림 43] 60°C/90%RH 열화 Test 결과 비교.

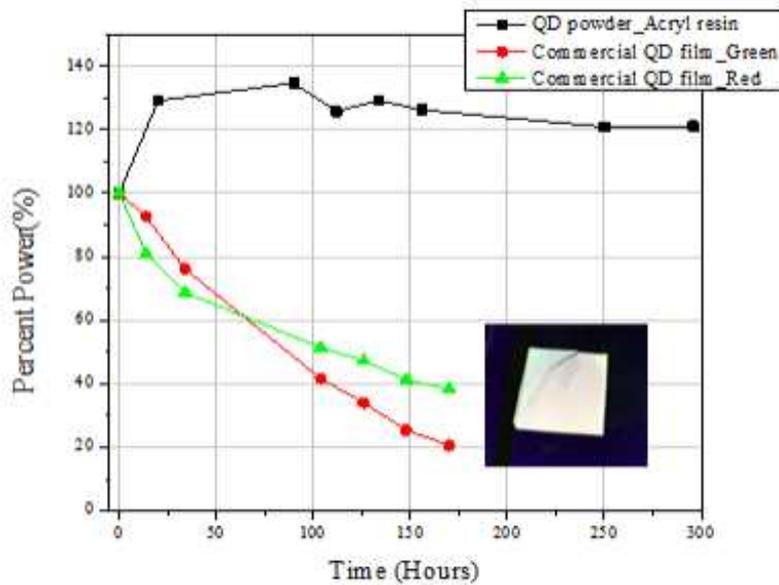
- 또한, 120시간이라는 짧은 시간에 감소하는 power drop(-10%), 양자효율의 감소가 있었음.



(a) 제작한 InP QD power를 적용한 퀀텀닷 필름



(b) 타사 QD 필름 특성



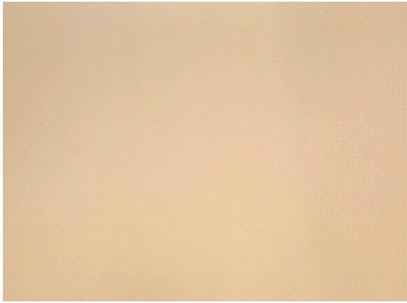
(c) Power drop 비교

[그림 44] 80°C Blue LED flux 열화 Test PL Degradation graph.

- [그림 44]는 동일한 방법으로 타사의 상용화 제품인 퀀텀닷 필름의 안정성을 power drop 방식으로 비교 측정된 결과(조사광 450nm Blue, 시험환경 80°C), 본 연구에서 제작한 아크릴계 resin 필름의 경우는 초기값 대비 약 20% 증가한 수준에서 시간이 지날수록 점점 감소하는 경향으로 유지되고 있으나, L사의 상용화 제품은 처음부터 매우 급속한 속도로 효율이 감소한 후, 약 170시간이 지난 후에 퀀텀닷 필름이 파손되는 경지에 이르는 등, 다소 충격적인 안정성 시험 결과를 얻었음.

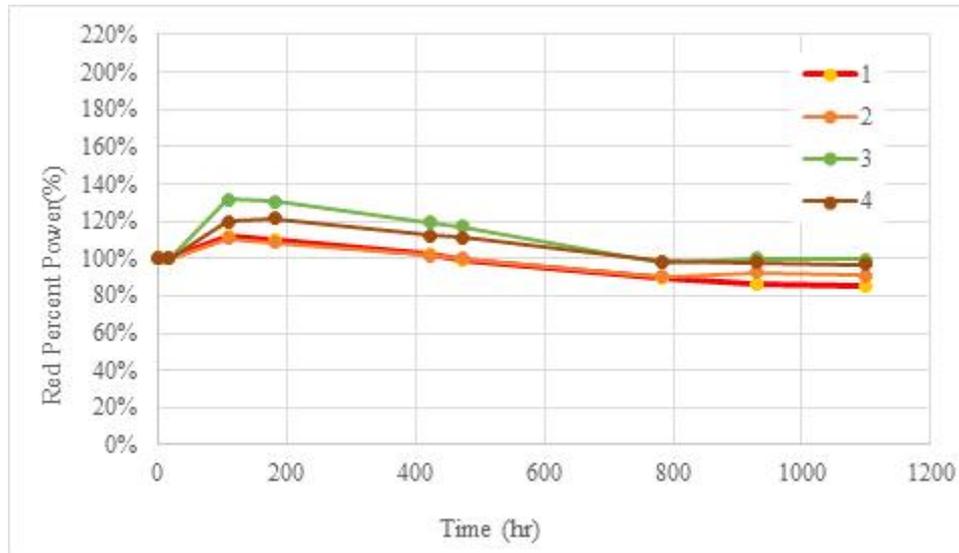
#### 다) 레진의 성능 향상을 통한 퀀텀닷 필름의 안정성 개선 test

- 레진의 안정성을 높이기 위하여 추가 연구를 진행하였음. Resin 소재는 실록산 계열의 열경화제로, 인체에 무해하고 높은 표면 접착력과 광학적 특성을 가지는 소수성 소재로 유기용매와의 교반시 분산상태가 양호하다는 장점이 있음.
- 2차년도에 사용하였던 퀴텀닷용 열경화 레진은 점도가 낮아( $\approx 30\text{cPs}$ ) slot-die roll to roll 코팅시 레진이 흘러내리는 문제점이 있음. 이에 퀴텀닷용 열경화 레진의 점도를 높여 생산성을 향상하고자 함.
- 3차년도에는 열경화 레진의 비율을 조정하여 레진의 안정성 향상과 함께 점도 향상 및 경화를 촉진시키고자 하였음.
- 열경화 레진은 무기물, 유기물, 트리아진, 솔벤트로 구성되어 있으며, 유기물은 에폭시 구조로 되어 있어 고정비로 조절 하지 않고 무기물의 함량과 트리아진의 함량을 조절 하였으며, 빠른 건조를 위하여 수분 함량을 감소시켰음. 비교를 위하여 기존에 사용하던 열경화 레진의 조성 비율도 함께 실험을 진행하였음.
- 퀴텀닷 분말 5wt%를 열경화 레진에 투입한 후 ball mill을 이용하여 약 20시간 동안 교반을 하였으며, ball mill 교반이 끝난 후 반사필름에 blade coater를 이용하여 약 30um 두께로 코팅을 진행하였음.
- [그림 45]는 각 필름이 건조 된 후 상태를 기록한 것이며, 모든 필름은 균일하게 코팅 된 것을 확인 할 수 있음.
- 열경화 레진의 특성을 확인하기 위하여 고온, 광조사 안정성 테스트를 진행 하였음. 일반적인 온도 및 수분에 의한 안정성 실험은 8585 TEST (85°C/85%RH 환경 下)를 하나, 퀴텀닷 필름의 경우 필름이 사용되기 위해서는 온도 특성보다는 수분 특성이 더 민감한 조건이며, 앞서의 고온 환경하에서 퀴텀닷 필름의 안정성과 단파장(450nm)High Flux를 확인하였음.
- Excitation wavelength는 기본 LED 파장인 450nm의 blue를 이용하였으며, 기존에 개발된 Red 퀴텀닷 필름을 제작하여 이 실험에 사용하였음.
- 각 필름의 여기 파장 intensity를 상대 비교하여 퀴텀닷 필름의 특성을 비교하는 방법으로 실험을 하였으며, 퀴텀닷 필름의 열적 안정성, 내습성을 비교하기 위해 첫 번째 실험은 온도 80°C에서 LED 파장인 450nm 높은 Flux를 주어 각 시간별 PL intensity의 상대값 변화를 확인 하였으며 두 번째 실험은 온도 60°C, 상대습도 90%RH 하의 aging 조건에서 필름의 안정성을 확인하였음.

	
#1 기존 열경화 레진과 동일	#2 트리아진 함량 증대
	
#3 함수율 감소	#4 무기물 함량 증대

[그림 45] 각 필름 건조 후 사진.

- 각각의 쿼텀닷 필름은 동일한 크기로 재단하여 광여기 스펙트럼의 변화량을 확인하여 쿼텀닷 필름의 안정성을 확인하였음. 그 결과, #1의 기존 열경화 레진은 변화량의 폭은 매우 작지만, aging이 계속 될수록 더 많은 감소율을 확인할 수 있음. 약 1,000시간 aging 후에 초기 대비 85.7%의 효율을 나타내고 있음. #2의 트리아진 함량 증대 샘플은 타 샘플과 비교하여 가장 안정성 있는 결과를 나타내었음. 약 1,000시간 aging 후 초기 대비 91%의 효율을 확인할 수 있음.
- #3의 함수율 감소 샘플은 장기적인 안정성 측면에서 우수한 특성을 나타내고 있으나, 샘플 aging 초기에 변화 폭이 큰 것을 확인할 수 있음. 약 100시간 후 초기 대비 130%의 여기 효율을 나타내고, 약 1,000시간 후 99.2% 효율을 확인할 수 있음.
- #4의 무기물 함량 증대 샘플은 우수한 특성을 가지고 있으나, 초기 샘플 변화폭이 180시간에서 약 120% 증가하였으며, 1,000시간 이후에 96.9% 효율을 나타내고 있음.
- 각 샘플은 큰 차이를 보인다고는 보지 않으나, #3, #4의 경우에는 초기의 효율 증가하는 특성을 나타내고, #1, #2는 초기에는 안정적인 특성을 보이거나 aging이 계속 될수록 효율이 감소하는 경향은 보였음.
- 본 측정 결과는 가속 수명 테스트이므로 실제 사용시간으로 환산하면 1,000시간일 때, 약 40,000시간의 사용시간이 되므로 매우 안정적인 특성을 보인다고 할 수 있었으며, 이 중에서 #2의 트리아진 비율 증가 샘플이 가장 우수한 특성을 보인다고 판단됨.



[그림 46] 80°C Blue High Flux 안정성 측정 결과.

#### 라) 퀀텀닷 분말에의 Bead 사용을 통한 필름의 안정성 개선

- 퀀텀닷 필름의 안정성 및 성능 개선을 위해, 우선 가장 중요한 소재인 퀀텀닷 분말의 안정성 향상을 위한 실험을 진행하였음.
- 퀀텀닷 분말을 제작한 후 퀀텀닷 분말의 최적화하기 위해 ZnSt<sub>2</sub>와 bead의 양을 조절하여 양자 효율이 최대화 되는 조건을 확인하였음. 퀀텀닷 용액 10ml에 ZnSt<sub>2</sub>와 bead를 각각 최소 0.2g부터 최대 1g까지 변화시키면서 양자 효율을 확인하였음.

[표 4] ZnSt<sub>2</sub>와 bead의 양에 따른 양자 효율

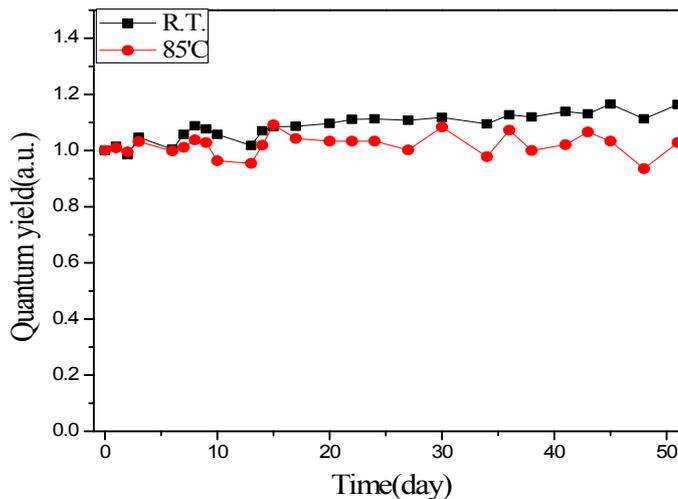
Quantum Yield		Hollow bead				
		0.2g	0.4g	0.6g	0.8g	1g
ZnSt <sub>2</sub>	0.2g	51.75%		55.2%		59.84%
	0.4g		54.92%		56.42%	
	0.6g	46.12%		56.71%		60.32%
	0.8g		58.23%		55.16%	
	1g	55.62%		57.16%		59.01%

- 양자 효율은 bead의 양이 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며, ZnSt<sub>2</sub>의 양이 증가 할수록 양자 효율도 증가 하는 것을 확인하였음. 이후 퀀텀닷 분말을 제작할 때에는 ZnSt<sub>2</sub> 1g, bead 0.8g을 주입하여 제작하였음.
- Bead와 ZnSt<sub>2</sub>의 주입 양별 최적의 양자 효율을 확인한 후, 퀀텀닷의 농도에 따른 양자 효율을 비교하였음. 퀀텀닷의 농도는 solvent와 퀀텀닷 원액의 비율 조절로 제작하였고, ZnSt<sub>2</sub> 1g과 bead 0.8g을 주입하였음.

[표 5] 퀀텀닷 농도에 따른 양자 효율 비교.

QD (CPR)	Solvent	ZnSt <sub>2</sub>	Bead	QY(powder)
5mL	CHCl <sub>3</sub> (5mL)	1g	0.8g	-
4mL	CHCl <sub>3</sub> (6mL)	1g	0.8g	-
3mL	CHCl <sub>3</sub> (7mL)	1g	0.8g	53.9%
2mL	CHCl <sub>3</sub> (8mL)	1g	0.8g	59.7%
1mL	CHCl <sub>3</sub> (9mL)	1g	0.8g	66.5%

- 퀀텀닷의 온도 및 수분 안정성을 확인하기 위하여, 상온과 85°C 에 퀀텀닷을 보관한 후, 양자 효율 비교를 통하여 퀀텀닷의 안정성을 비교하였음.
- [그림 47]에서 확인할 수 있듯이 퀀텀닷이 상온과 85°C 에서 양자 효율이 약 50일 동안 감소되지 않는 것을 확인할 수 있음. 오히려 양자 효율이 증가하는 것은 퀀텀닷 분말을 제작할 때 solvent로 사용한 chloroform이 시간이 지남에 따라 증발하면서 양자 효율이 증가한 것으로 생각됨. 일반적으로 분말을 제작할 때 solvent가 소량이라도 존재하게 되면 양자 효율이 감소하였다가 모두 증발하게 되면 양자 효율이 증가하는 것으로 알려져 있으며, 우리 연구에서도 이와 유사한 특성을 보였음.



[그림 47] 온도에 따른 퀀텀닷 양자 효율의 변화.

- 퀀텀닷 분말의 안정화를 위하여 다양한 퀀텀닷 간의 거리 조절 물질(이하 bead)을 변경하여 최적의 안정화된 물질을 찾고자 하였음. Bead는 기존의 구형의 SiO<sub>2</sub>와 비교하여 크기가 더 큰 물질로 선정을 하였으며, 이때 퀀텀닷의 발광을 흡수할 수 있는 물질은 제외함.
- 선정된 bead는 SiO<sub>2</sub>, ZnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, halloysite tube 및 Hollow bead 임. ZnO는 5 μm 내외의 크기를 가지고 있으며, Wurtzite 구조를 가지고 있음. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 10 μm 내외의 크기를 가지고 있으며 Trigonal의 구조를 가지고 있음. Halloysite tube는 지름이 30-70nm, 길이가 1-3

$\mu\text{m}$ 의 크기를 가지고 있으며, 내부가 비어 있음. Hollow bead 는 40nm 내외의 크기와 400~500 $\text{m}^2/\text{g}$ 의 비표면적을 가지고 있음.

- Bead에 따른 퀀텀닷 분말의 양자효율을 측정하였음. 양자 효율 측정시 기존의 퀀텀닷 분말의 제조 방법과 동일한 조건으로 측정하였음. 단, halloysite tube는 내부가 비어 있으므로 내부에 퀀텀닷을 넣기 위하여 건조 전 진공상태에서 5분씩, 3회 진공 분위기를 만들어 tube 내부에 퀀텀닷이 삽입 될 수 있도록 하였음.

[표 6] Bead 별 퀀텀닷 분말 양자 효율

적용 Bead	SiO <sub>2</sub>	ZnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	halloysite tube	Hollow bead
양자효율(%)	38.1	38.6	36.9	57.7	66.5

- 기존 연구에서 사용했던 SiO<sub>2</sub>와 다른 종류의 SiO<sub>2</sub>를 사용하였을 때, 양자 효율이 매우 감소하였음. SiO<sub>2</sub>, ZnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 모두 양자 효율이 낮아 기존 물질을 대체하기 어려운 수준임.
- Halloysite tube와 hollow bead는 비교적 높은 수준의 양자 효율을 보이는 것을 확인 할 수 있었음. 비교적 높은 수준의 두 물질을 최적화하기 위하여 퀀텀닷 대비 bead의 비율을 조정하여 최적 비율을 확인해 보았음.

[표 7] 퀀텀닷과 bead의 비율에 따른 양자효율

퀀텀닷(기준)	Bead	Halloysite tube 양자효율(%)	Hallow bead 양자효율(%)
1	0.8	57.7	64.5
1	1.6	40.4	59.7
1	2.4	39.8	53.9

- 퀀텀닷에 비하여 bead의 양이 많아질수록, 두 물질 모두 양자 효율은 감소하는 것을 확인 할 수 있음. bead의 양이 0.8 이하가 될 경우에는 퀀텀닷 분말이 제대로 형성 되지 않아 본 실험결과에서는 제외하였음.
- Hallow bead의 양을 최적화 하였음에도 불구하고 양자효율은 64.5% 정도임. 이에 hallow bead를 이용하여 퀀텀닷 분말을 제작 할 때, 크기가 더욱 큰 bead를 추가로 삽입해 보았음. 추가로 투입된 물질은 MgO으로 크기가 12 $\mu\text{m}$  정도임. 퀀텀닷의 비율은 동일하게 한 상태에서 hallow bead와 MgO의 비율은 1:1 으로 하였을 때 퀀텀닷 분말의 양자 효율은 71.6%로 측정되었음.

#### 마) 퀀텀닷 필름 제조 공정 기술 개선

- 1차년도 퀀텀닷 필름의 안정성 특성 평가 결과를 바탕으로, 보다 안정적이며 대형 사이즈의 필름 개발이 요구되었음. 또한 식물생장등 적용의 결과 보다 넓은 면적의 필름이 요구 되었으며 이에 맞추어 퀀텀닷 필름의 개선 연구를 진행하였음.
- 일반적으로 필름화 공정은 그 용도에 맞게 필요한 특성을 가진 재료와 막을 형성시키기

위한 경화제의 교반 후, 일정한 두께로 기저기판에 코팅이 이루어지고 경화공정을 거치는 순서로 제작됨. 이때 균일한 필름의 제작을 위해서는 기능화 소재와 경화제의 분산 및 코팅공정에서의 섬세한 공정조건의 제어가 필요함.

- 기존 연구에서는 필름용 레진 소재로 고분자소재, 아크릴계, 실리콘계를 다루어 왔으며, 1차년도에서 가장 좋은 결과를 얻었던 아크릴계 레진을 사용하여 필름을 제작하였음.
- 아크릴계 레진은 PDMS에 비해 경화 후 경도가 높으며, 초기 황색이었던 경화용액이 열처리 및 Aging 공정에 따라 투명색으로 변화하며 광여기 효과와 광효율 효과를 증가시키는 특성이 있음. 실제로 Aging Test 후, 기존 쿼텟닷 필름들에서 시간이 경과함에 따라 양자효율과 PL Spectrum이 감소되는 경향을 보였으나, 아크릴계 레진을 적용한 경우, 시간 경과함에 따라 오히려 양자효율과 PL Spectrum의 Intensity가 증가되는 경향이 보여 짐.
- 쿼텟닷 분말 제조과정에서 Bead를 적용하였기 때문에 추가적인 Acryl Bead는 적용하지 않았으며, Acryl Bead가 적용되지 않은 상태에서도 여기필름에 Haze 특성이 부여되고 조명에서의 발광 균일도를 높여줌과 동시에 Scattering 구조를 통한 균일한 광 분포 형성에 도움이 됨.
- 1차년도에서는 주로 스핀코터나 스크린프린팅 필름제조 방식을 적용하여 대면적 필름을 제작하였음. 그러나 스핀코터의 경우, 원심력 회전에 의해 기판의 크기가 제한되며 원심력에 의한 용액손실이 크게 발생된다는 단점이 있으며, 스크린 프린터는 경화용액의 점도에 의존하여 코팅이 불가능한 상황이 발생할 수 있음. 또한 스크린프린팅의 핵심이 되는 Mesh 세척공정에 대한 소요시간이 발생되기 때문에 경화용액을 사용하는 필름공정의 경우 대량생산 적용시에 어려움이 있었음.



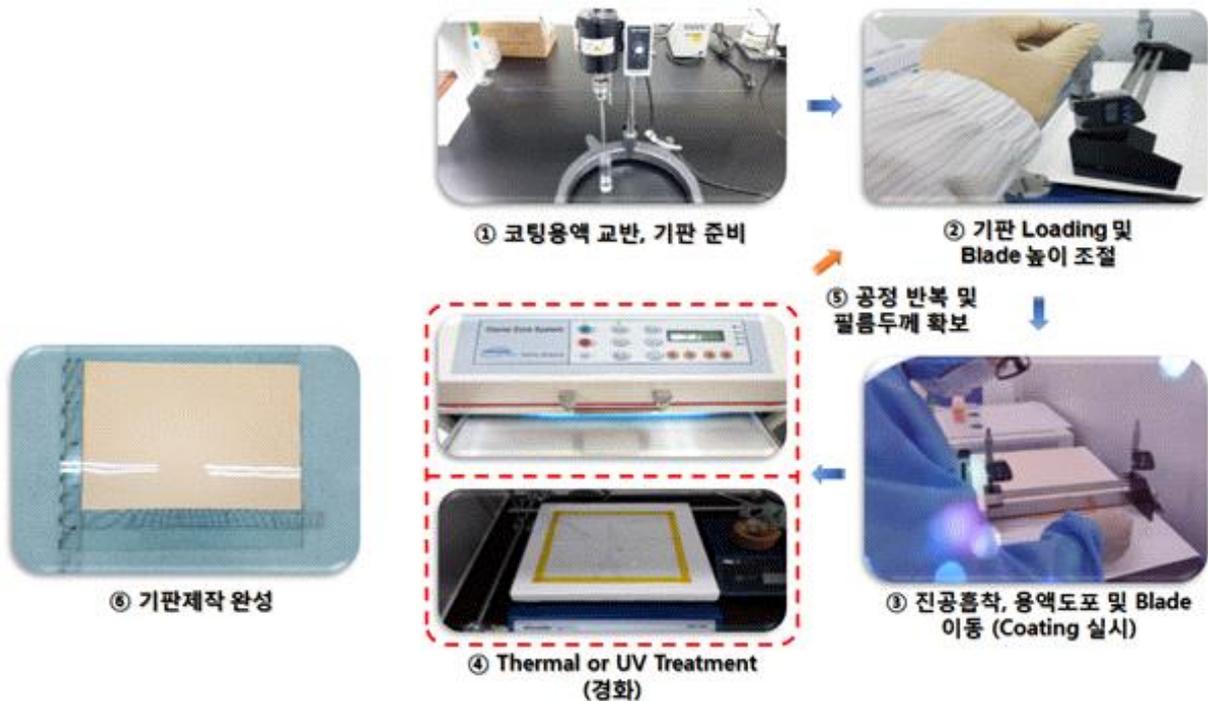
[그림 48] 필름제조장비 (좌:Spin Coater, 중:Screen Printer, 우:Blade Coater).

- 이를 해결하기 위해 Blade Coating 기술을 적용하였음. Blade Coater를 이용한 필름은 코팅막이 균일하고 공정시간이 적게 소요되며 경화용액의 소모가 적다는 큰 장점을 가지고 있으며, 또한 공정 후 장비 세척도 스크린프린터보다 훨씬 간단하기 때문에 필름 제작시간이 절감되는 장점이 있음.

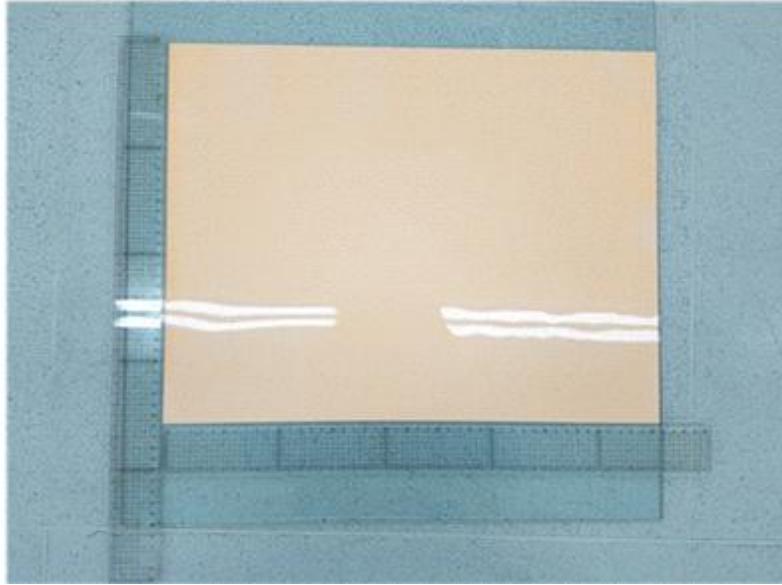
[표 8] 코팅장비의 종류에 따라 발생하는 필름공정의 특성표

장비명	Spin Coater	Screen Printer	Blade Coater
장점	필름 막 고균일도 특성	필름 막 고균일도 특성	필름 막 고균일도
	구축비용 저렴	용액 소모 적음	용액 소모 적음 간단한 세척공정
단점	용액낭비가 심함	두께조절 한계	고가의 장비 구축비용
	기저기판의 표면처리 필요	코팅용액의 점도에 의존	
	원심력에 의한 크기 제한	세척공정이 복잡	

- Blade Coater에는 코팅 두께를 조절할 수 있는 마이크로미터가 Blader 양단에 장착되어 있으며, 높이 조절에 따라 Spring의 인력으로 인하여 Blade의 높이가 변화되어 통과시키는 용액의 두께 높이에 대한 조절이 가능함. 일반적으로 아크릴계 레진을 기반한 필름을 제작하기 위해서 400 × 460mm<sup>2</sup>의 기저기판(Glass / 반사필름 또는 PET Film)을 준비한 후, Micro meter 높이를 150 μm로 설정, 용액을 Blade 날 끝에 도포한 후 20mm/s의 속도로 코팅을 하였음. 코팅이 완료된 후, 필름을 Oven에 넣고 60℃에서 10분간 열처리 후 기판의 휘어짐을 방지하기 위하여 Glass를 위에 합지를 하고 다시 60℃에서 85℃로 10분, 85℃에서 110℃로 10분간 열처리를 실시한 후 최종적으로 110℃에서 135℃로 50분 열처리를 실시하게 되면 필름 제작이 완료됨.



[그림 49] 퀀텀닷 필름 단위 공정 순서.



[그림 50] 제작한 365×465mm<sup>2</sup> 퀀텀닷 필름.

- 또한 필름의 안정성 개선을 위해, 아크릴계 레진의 조성 비율 변화를 통한 퀀텀닷 필름의 안정성 확보를 위한 연구를 하였음. 퀀텀닷 비율은 발광 효율과 유관하며, 레진의 조성 비율에 따른 안정성 확보를 위한 다양한 실험도 진행하였으며, 최종적으로는 아크릴계 레진의 무기질 함량을 늘리는 방법으로 안정성을 높였음.

### 3) RTR(Roll-to-Roll) 장비를 이용한 퀀텀닷 필름의 대량 생산 기술

#### 가) RTR 기반 퀀텀닷 필름 대량 생산 기술

- 기존 퀀텀닷 필름을 제작 할 때에는 blade coater 혹은 Screen printer를 이용하여 제작하였음. 한 장씩 제작함으로써 퀀텀닷 소재의 소모량이 많았으며, 각 필름 간 편차가 생기는 문제가 있었음.
- 3차년도에 CPRI에 구축된 Roll-to-Roll Slotdie Coating 시스템 장비를 이용한 준양산급 퀀텀닷 필름 Roll을 제작하였음.

[표 9] 퀀텀닷 필름 코팅용 RTR System 주요사양

항목	주요 사양
RTR 코팅장비	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 코팅 속도 : Max. 10m/min</li> <li>• 코팅 필름 폭 : Max. 350mm</li> <li>• 유효 코팅 필름 폭 : Max. 310mm</li> <li>• 와인더 크기(직경) : Max. 500mm</li> <li>• 장력 : Max 30kgf/cm<sup>2</sup></li> <li>• IR 건조기 제어 온도: Max. 150°C</li> </ul>



[그림 51] 퀴텀닷 필름 제작용 롤투롤 코팅 시스템.

- 본 롤투롤 슬롯다이 코팅 시스템은 슬롯다이의 내부 심 간격, 각도, 좌우 높이, 슬롯다이와 필름의 높이차를 이용하여 공정을 제어 할 수 있으며, 슬롯다이에 코팅액의 주입량을 조절하여 코팅 필름의 두께 또한 조절이 가능함.
- 코팅 필름의 좌우 편차를 줄이기 위하여 슬롯다이의 좌우 높이를 조절하였음. 본 시스템은 좌우 높이를 제어 하는 각각의 센서가 슬롯다이 하단부에 위치하고 있음. 구동 모터를 이용하여 슬롯다이의 높이를 조절이 가능함.
- 필름제작 전, 623nm 대역의 QD Powder(89.79g)를 Siloxane계 열경화제(4.4kg)와 2wt%의 농도로 소분한 후, Ceramic Bead(직경 10mm) 1kg을 테프론 용기에 같이 넣은 후 50rpm의 속도로 Ball Mill 장비에 72시간 교반하여 안정적인 분산상태의 경화제 혼합용액을 제작하였음.

[표 10] 코팅장비의 종류에 따라 발생하는 필름공정의 특성표

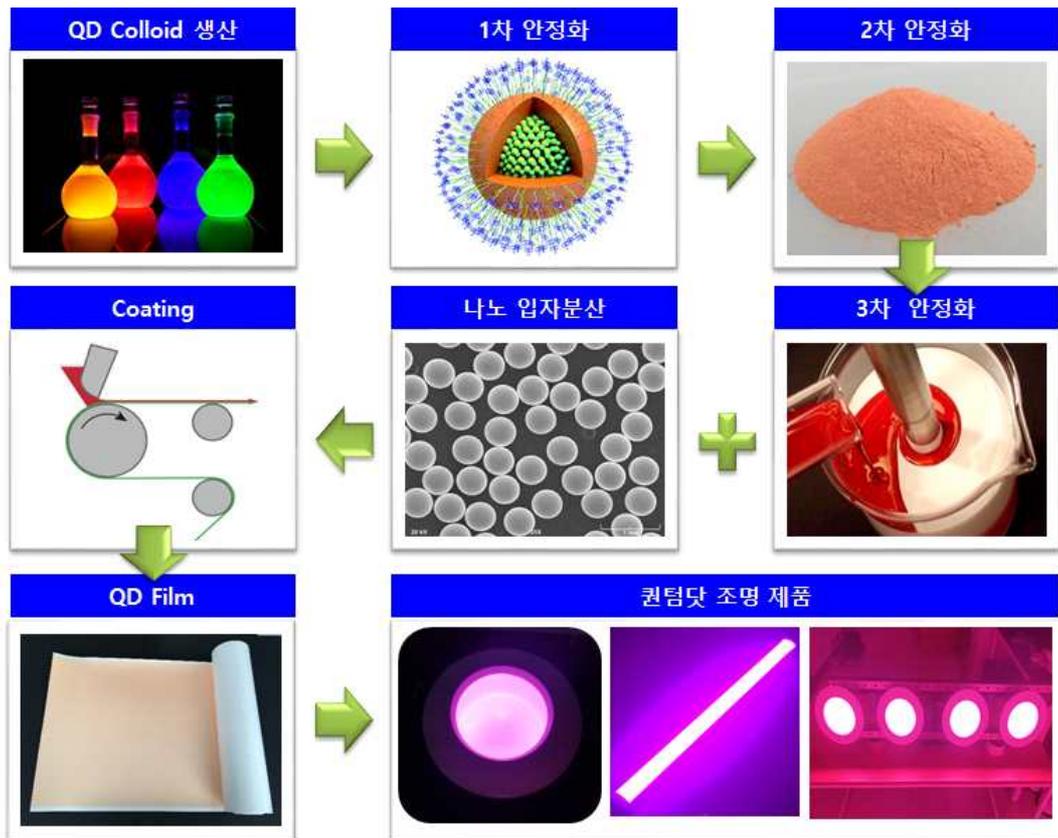
Material	QD Powder	Siloxane 열경화제		Ceramic Bead
		Base material	Curing Agent	
투입량 (g)	89.79	4,000	400	1,000

- 제작된 경화제는 Roll-to-Roll Slotdie Coating System 장비에 장착된 폭 350mm의 반사필름 위에 Slotdie를 통하여 188um의 높이에서 15ml/min의 속도로 일정하게 주입되었으며, 반사 필름 이송속도는 0.3m/min의 속도로 열풍온도, IR Heater 온도 80도 노출상태로 약 100m 정도 길이, 120um의 두께로 필름이 제작되었음.
- 코팅액의 주입속도, 슬롯다이 높이, 코팅 속도는 코팅 필름의 두께와 밀접한 상관관계가 있으므로, 상당한 조정이 필요하였음. 본 연구에서는 코팅액의 주입속도 15mL/min, 슬롯다이 높이 130um, 코팅 속도 0.3m/min에서 40um 두께(두께편차 1um이내) 코팅필름을 제작하였음.



[그림 52] RTR 시스템을 이용한 퀀텀닷 필름 제조 공정.

- 최종적으로 퀀텀닷 소재의 합성으로부터, ligand 제어, 분말안정화 및 레진 개발을 통한 RTR기반의 QD 필름을 제작하고, 이를 퀀텀닷 식물조명에 적용하는 공정을 완성하였음.



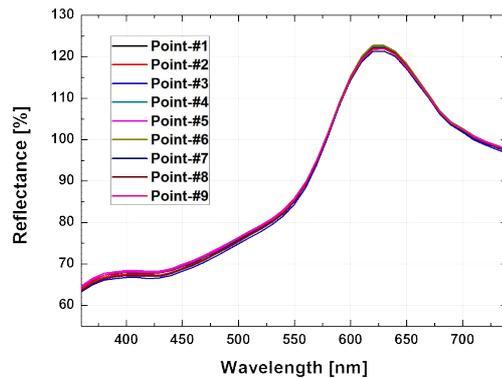
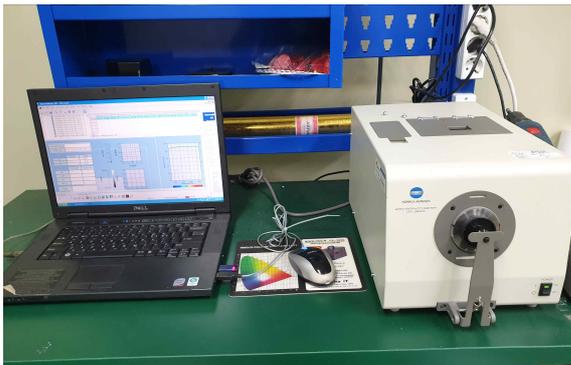
[그림 53] 개발한 공정 순서도.

## 나) 필름의 코팅 균일성 시험평가

- 제작된 필름에 대한 퀀텀닷 경화용액 분산상태와 두께편차의 데이터를 분석하기 위하여 필름의 폭 350mm에서 0m, 15m, 30m 길이에 해당되는 지점에 대한 총 9개의 Point를 지정하여 Spectrophotometer (Konica Minolta, CM-3600d) 장비를 통한 360~740nm의 가시광선 대역에 대한 반사도를 측정, 550nm 파장대역에서의 균일도 편차를 계산하여 필름균일도 특성을 확인하였음.



[그림 54] Roll-to-Roll 공정으로 제작된 퀀텀닷 필름과 필름균일도 특성평가를 위한 9-Point 선정.



[그림 55] 퀀텀닷 필름의 분산상태, 균일도 특성 시험.

(좌: Spectrophotometer (Konica Minolta CM-3600d), 우: 가시광 영역에서의 퀀텀닷 필름 9-Point에 대한 반사율 시험 결과)

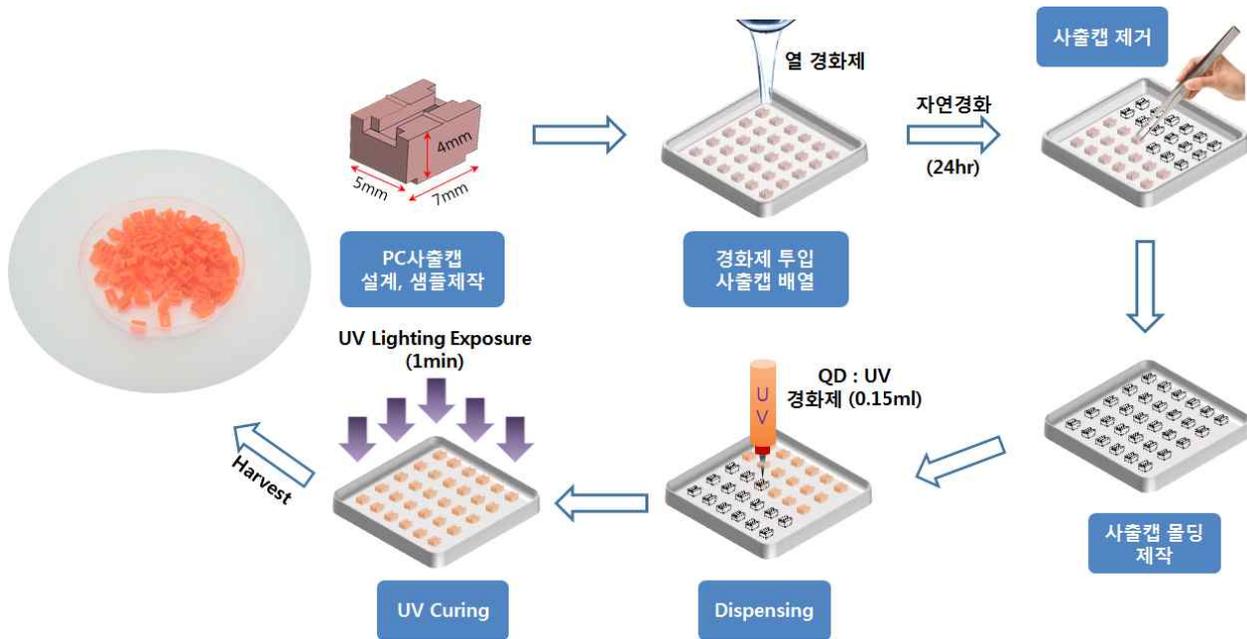
- Roll-to-Roll 공정으로 제작된 퀀텀닷 필름의 9-Point 지점에서의 550nm 반사도 측정값을 기반으로 한 균일도 산출 결과, 99.14%의 매우 우수한 필름균일도 특성을 확인할 수 있었음. 이는 조명제품 적용 시, 분산상태나 필름두께에 따른 광변환 특성이 매우 고르다는 것을 의미하며, 제품적용 단계에서 안정되고 균일한 특성을 나타낼 것으로 기대됨.

[표 11] 퀀텀닷 필름의 9-Point 지점에서의 반사도 측정 및 균일도 산출결과

Point #	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Data @550nm	85.17	85.17	84.44	85.61	85.9	85.07	85.36	85.11	85.68
Min.	84.44		Max.		85.9		Avg.		85.23
Uniformity(%) $U = 100 - \frac{Max. - Min.}{2 \times Avg} \times 100$							99.14		

### 3. QD 광여기 사출소재 기술 개발

- 지금까지 개발된 퀀텀닷 소재기술을 바탕으로, LED PKG에 손쉽게 부착이 가능한 광여기 사출캡을 제작하였음. 퀀텀닷 필름의 경우, 반사형 구조에서는 광여기 특성과 우수한 균일성을 가지고 있으나, 반사필름을 기재로 사용하기 때문에 직하형 조명에서는 광경로상에 적용이 어렵기 때문에 사용이 제한적이라는 문제를 가지고 있음. 이를 보완하기 위하여, 어떠한 형태의 조명에서든 적용이 가능한 퀀텀닷 소재기반의 광여기 사출캡 공정을 개발하였음.



[그림 56] 퀀텀닷 사출캡 제작 공정도

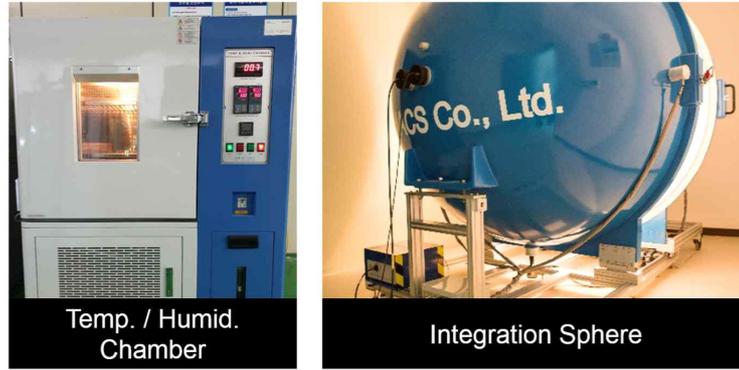
- 우선 적용하고자 하는 조명제품의 LED PKG Size를 기반으로, 사출캡의 크기를 설계한 후, 소량의 샘플을 제작하였음. 실험자가 원하는 농도조건의 사출캡을 제작하기 위해서는 열경화제 기반의 사출캡 몰드가 필요한데, 현재 본 과제에서 제작하고자 하는 식물성장 조명에서는 5730 size의 LED PKG를 주로 사용하였으며, 이에 따라 LED PKG Size에 적용가능한

규격에 맞추기 위하여 7mm x 5mm x 4mm의 크기로 시제품 크기를 설계하였음.

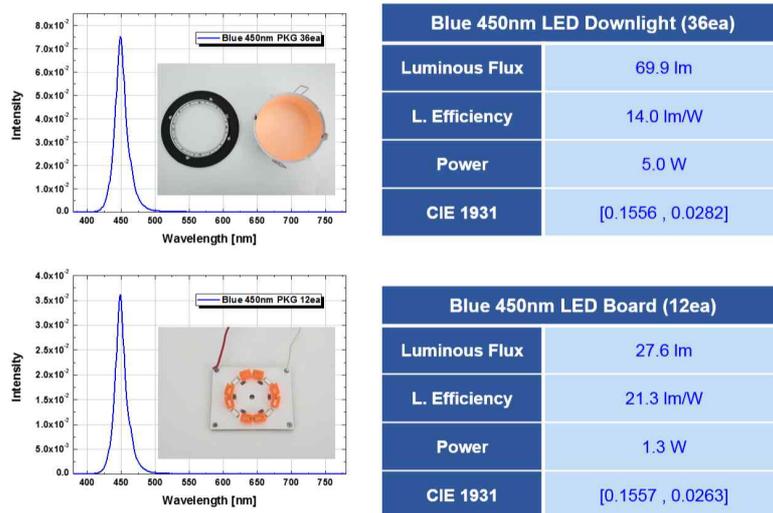
- 사출캡 샘플이 준비된 후, 100mm x 100mm 크기의 Petridish에 Base material과 Curing Agent가 10:1로 교반된 PDMS 경화제를 투입하고, 샘플제작된 사출캡을 일정한 간격으로 배열하였음. 이 때 상온조건에서 24시간 자연경화를 통해 사출캡 몰드의 틀을 제작하게 되며, 경사에 따라 사출캡 몰드의 높이가 달라질 수 있기 때문에 평평한 높이에서 작업과 경화를 실시하였음.
- 사출캡 샘플이 박혀있는 상태의 사출캡 몰드에서 핀셋, 트위저를 이용하여 사출캡 샘플을 제거하여 최종적으로 사출캡 몰드를 완성하였음. 그리고 UV 경화제와 InP계 623nm 파장의 QD Powder를 3wt%로 섞은 후, Dispensing 장비를 이용하여 0.15ml의 일정한 정량을 사출캡 샘플이 제거된 공간 안에 채워넣은 후, UV경화기를 이용하여  $50 \text{ mW/cm}^2 \times 60\text{sec} = 3,000\text{mJ/cm}^2$ 의 에너지를 조사함으로써 QD : UV 경화제를 이용한 사출캡 형태를 완성하였음.
- 사출캡 제작에 사용된 UV 경화제는 Miracle Resin 제품으로, 기존에는 공예용으로 널리 사용되는 제품으로서, 광학용 레진으로 사용이 가능할 정도의 우수한 가시광 투과도를 가지고 있으며, 경화 후 내구성이 강하고, 상대적으로 다른 UV 경화제보다 저렴하다는 장점을 가지고 있기 때문에 최종 시제품 제작에 적용되었음.
- 그리고 사출캡 몰드의 기반소재인 Siloxane계 열경화제인 PDMS와 Urethane Acrylate 계열의 UV 경화제는 각각 다른 기능을 가지고 있어, QD : UV 경화제 Dispensing, Curing 공정 후에도 서로 붙지 않고 쉽게 떼어지는 특성을 지니고 있음.

#### 4. 최종 필름 및 사출소재의 내환경 안정성 시험평가

- 사업수행 기간동안 개발된 InP계 퀀텀닷 소재의 안정성 확보실험을 앞서 언급한 것과 같이 진행하였으며, 이러한 소재를 필름과 사출캡구조에 적용하였을 때의 안정성에 대한 특성을 평가하였음.
- 안정성 평가에 사용된 퀀텀닷 필름과 사출캡 시편은 항온항습기 조건에서 섭씨 60℃ 습도 90% 조건에 1,000시간 노출시켰으며, 약 150~200시간 간격으로 Blue 450nm 여기광을 통해 여기된 빛의 Spectrum 정보에 따른 Intensity 감소율 및 Power Drop 계산을 통해 초기부터 1,000시간이 지났을 때의 Data 값을 비교하여 퀀텀닷 필름의 특성저하 결과를 자체적으로 확인하였음.
- 안정성 평가 실험은 2019년도 8월 26일부터 10월11일까지 약 1.5개월 기간에 걸쳐 진행되었음. 퀀텀닷 필름은 6인치 반사형 LED Downlight의 엔진부에 설치된 Blue 450nm 36개의 LED를 여기광으로 사용하였으며, 광여기 사출캡의 경우, PCB위에 450nm LED 12개를 수납하여 여기광으로 사용하였음.

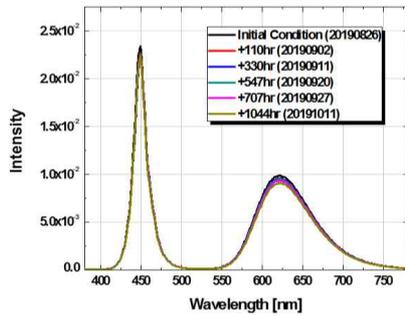


[그림 57] 퀀텀닷 필름, 사출캡의 안정성 평가에 사용된 항온항습기(좌), 적분구(우) 장비.



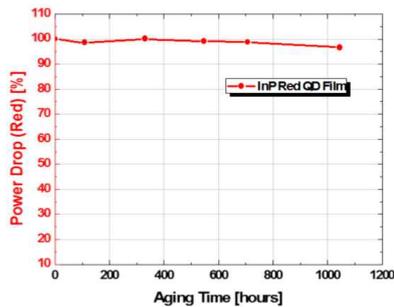
[그림 58] 퀀텀닷 필름, 퀀텀닷 사출캡 샘플의 Blue 450nm 여기광 특성.

- InP QD Film의 RT60°C & RH90% 열 / 수분 Aging Test결과에 따르면, 1,000시간 이상 경과 후에 초기 측정 Data와 비교하였을 때, Blue LED PKG 449nm의 Intensity 값은 4.62% 감소되었으며, QD필름에 의해 발생하는 Red 623nm 파장의 Intensity 값은 8.02% 감소된 것으로 확인되었음.
- 또한 동일한 열 / 수분 Aging Test 결과, Power Drop(Red)의 경우 다음의 수식을 통하여 Data가 도출되었으며, 초기 측정값 대비 1,000시간 경과 후 Data에서 약 3.37% 감소를 확인하였음.



Aging Time	Test Date	$\lambda_{\text{Blue Max.}}$	$\lambda_{\text{Red Max.}}$
+0hr	2019.08.26.	0.02339	0.00985
+110hr	2019.09.02.	0.02272	0.00957
+330hr	2019.09.11.	0.02211	0.00955
+547hr	2019.09.20.	0.02251	0.00949
+707hr	2019.09.27.	0.02228	0.00932
+1044hr	2019.10.11.	0.02231	0.00906
<b>Degradation Rate</b>		<b>4.62%</b>	<b>8.02%</b>

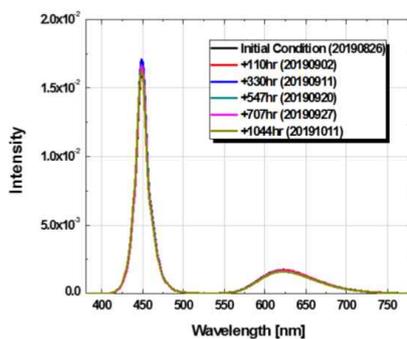
[그림 59] 퀀텀닷 필름의 RT60°C & RH90% Spectrum 비교 Data.



Aging Time	Blue Area	Red Area	Power Drop (Red)
+0hr	0.5254	0.7981	1.5190
+110hr	0.5177	0.7750	1.4970
+330hr	0.5084	0.7726	1.5197
+547hr	0.5091	0.7665	1.5056
+707hr	0.5027	0.7538	1.4995
+1044hr	0.4983	0.7314	1.4678
<b>Degradation Rate</b>			<b>3.37%</b>

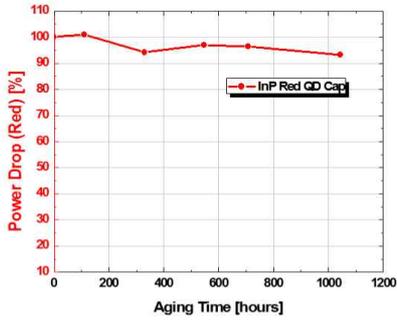
[그림 60] 퀀텀닷 필름의 RT60°C & RH90% Power Drop (Red) Data.

- InP QD 사출캡의 RT60°C & RH90% 열 / 수분 Aging Test결과에 따르면, 1,000시간 이상 경과 후에 초기 측정 Data와 비교하였을 때, Blue LED PKG 449nm 파장의 Intensity 값은 0.91% 증가된 것으로 확인되었으며, QD필름에 의해 발생하는 Red 623nm 파장의 Intensity 값은 6.86% 감소된 것으로 나타남.
- 역시 동일한 열 / 수분 Aging Test 결과, 초기 측정값 대비 1,000시간 경과 후 Data에서 약 6.79% 감소를 확인하였음.



Aging Time	Test Date	$\lambda_{\text{Blue Max.}}$	$\lambda_{\text{Red Max.}}$
+0hr	2019.08.26.	0.01641	0.00175
+110hr	2019.09.02.	0.01667	0.00175
+330hr	2019.09.11.	0.01712	0.00170
+547hr	2019.09.20.	0.01667	0.00170
+707hr	2019.09.27.	0.01661	0.00169
+1044hr	2019.10.11.	0.01626	0.00163
<b>Degradation Rate</b>		<b>-0.91%</b>	<b>6.86%</b>

[그림 61] 퀀텀닷 사출캡의 RT60°C & RH90% Spectrum 비교 Data.



Aging Time	Blue Area	Red Area	Power Drop (Red)
+0hr	0.3504	0.1421	0.4055
+110hr	0.3451	0.1414	0.4097
+330hr	0.3601	0.1375	0.3818
+547hr	0.3497	0.1375	0.3932
+707hr	0.3485	0.1362	0.3908
+1044hr	0.3500	0.1323	0.3780
<b>Degradation Rate</b>			<b>6.79%</b>

[그림 62] 퀀텀닷 사출캡의 RT60°C & RH90% Power Drop (Red) Data.

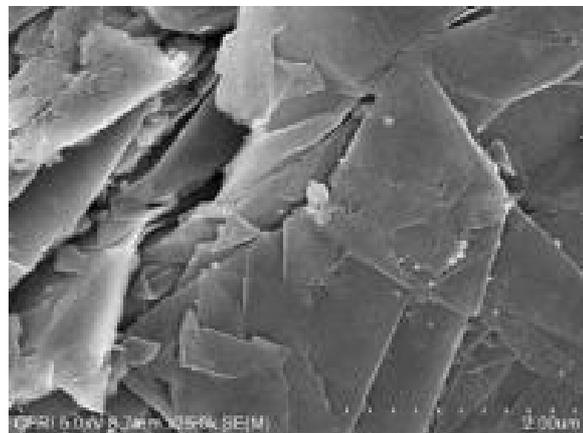
- 이로써, InP 퀀텀닷 필름 및 사출캡의 안정성 특성을 확인한 결과, 주어진 조건에서의 열 / 수분 Aging 환경에서도 1,000시간 경과 후 특성저하가 10% 미만인 우수한 안정성을 확인 하였음.

## 2-2절. 고방열 사출소재 기술 개발

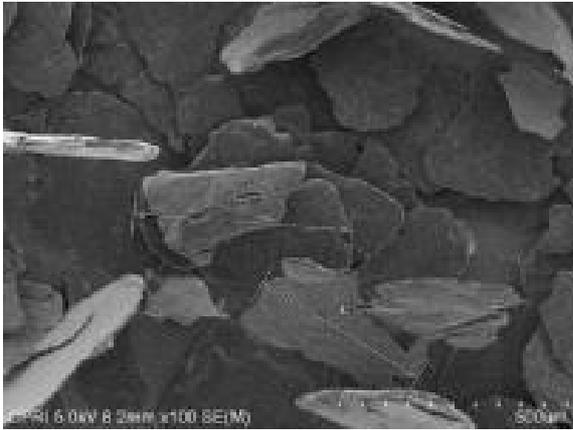
### 1. 열전도성 소재 그래파이트

#### 가. 그래파이트의 종류

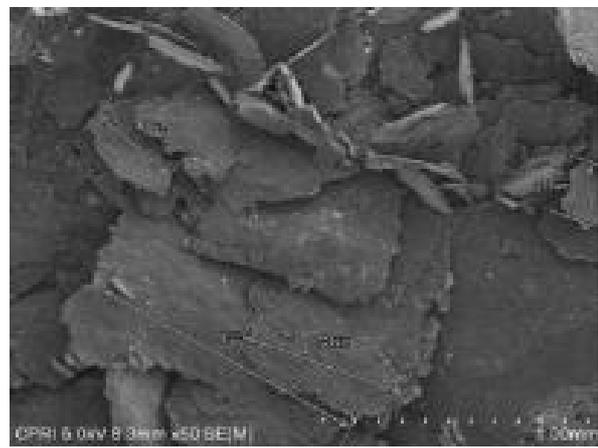
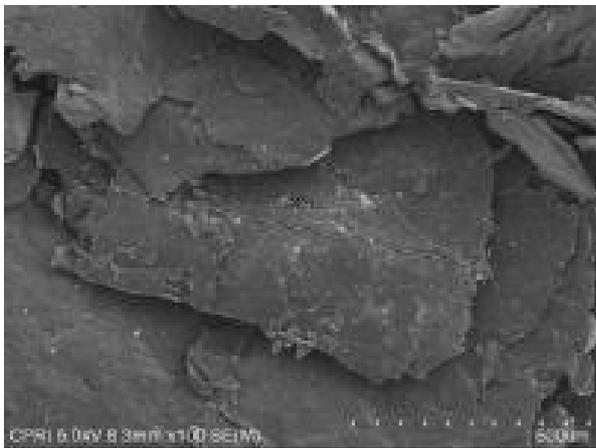
- 고열전도성 컴파운드 개발을 위해 우선 검토 되어야 할 사항이 고순도 원료 즉, 고품질의 graphite를 선정해야 함. 또한 높은 열전도성을 갖기 위해서는 graphite의 입자 사이즈가 크고, 두께가 얇으며, 카본 함량이 높고, 카본 중 결정성 카본의 함량이 높을수록 열전도성 및 전기전도성이 높게 나타남.
- 본 기술개발에서는 3종류의 graphite를 우선 선정하여 고열전도성 소재로 적용성을 평가하였음. 입자 사이즈가 300  $\mu\text{m}$  이상이고, Expandable, Expanded Graphite를 선정하였으며, 원료 가격은 \$10/Kg 이하의 원료로 선정함(고가의 Thin graphite(graphene)는 높은 원료 가격으로 인한 경제성 및 사업성의 결여로 분석 대상에서 제외하였음).



(a) Expanded Graphite (S1 grade, Size: 350um)



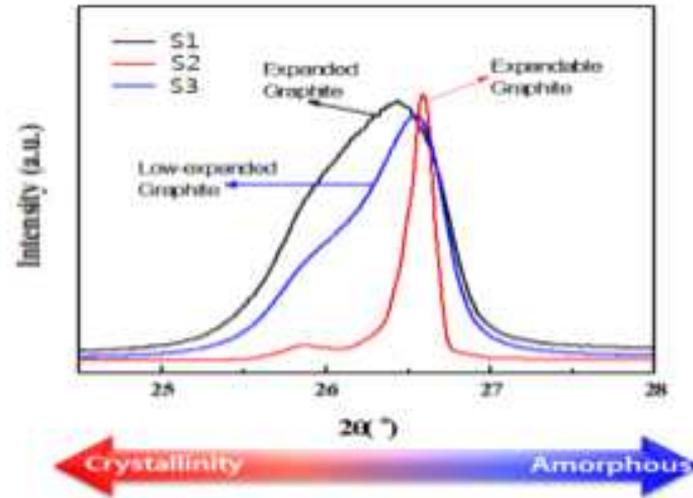
(b) Expandable Graphite(S2 grade, Size: 420um, Expansion Ratio: 250%)



(c) Expanded Graphite (S3 grade, Size 700 um급)

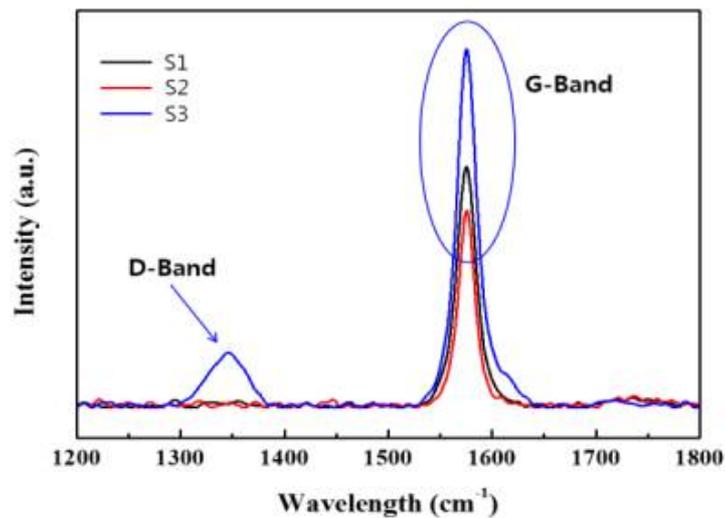
[그림 63] 그래파이트 원료 종류별 특성 분석 결과.

- Graphite 원료의 품질 평가를 위하여 XRD를 이용하여 결정성을 분석하였으며, 그 결과를 아래에 나타내었음. 분석결과 3개의 graphite가 모두  $2\theta$  값이 26.5도 근처에서 높은 peak가 나타나며, 이는 그래파이트 고유의 특성으로 그 특성이 나타남을 확인할 수 있었음. 다만, peak의 위치가 S1 < S3 < S2 순으로 높게 나타났으며, 반치폭에서는 반대의 경향을 나타내었음. 이러한 결과는 S1은 Expanded Graphite로 팽창율이 매우 높음을 알 수 있고, S2는 expandable graphite 임이 확인되었음. 고방열 컴파운드를 제조를 위해서는 그래파이트의 단위부피당 입자수가 많기 때문에, 열 또는 전기가 이동할 수 있는 path way 형성에 유리하므로, expanded graphite를 선정함.

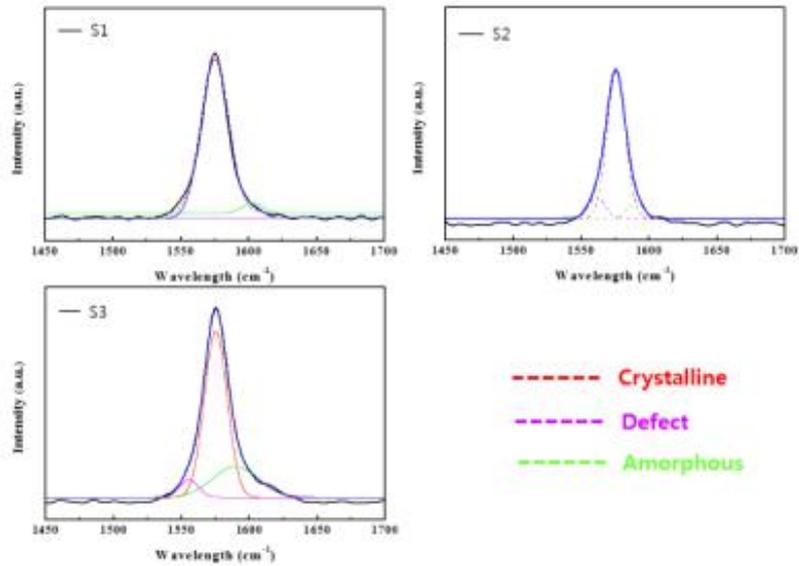


[그림 64] Graphite 원료의 결정성 분석(XRD).

- Graphite의 순도 분석을 위하여 Raman 분석을 통하여 graphite peak와 defect peak를 각각 분석하였음. 분석결과 S1, S2의 경우 G-band peak가 매우 강하게 나오고, D-Band peak는 전혀 나타나지 않음을 확인할 수 있음. S2의 경우 G-band에서 비정질 카본(amorphous carbon) 영역의 peak가 관찰되었음. S3의 경우는 1,350 영역에서 D-Band peak가 매우 강하게 나타남으로, 그래파이트 원료의 defect의 존재를 확인함.



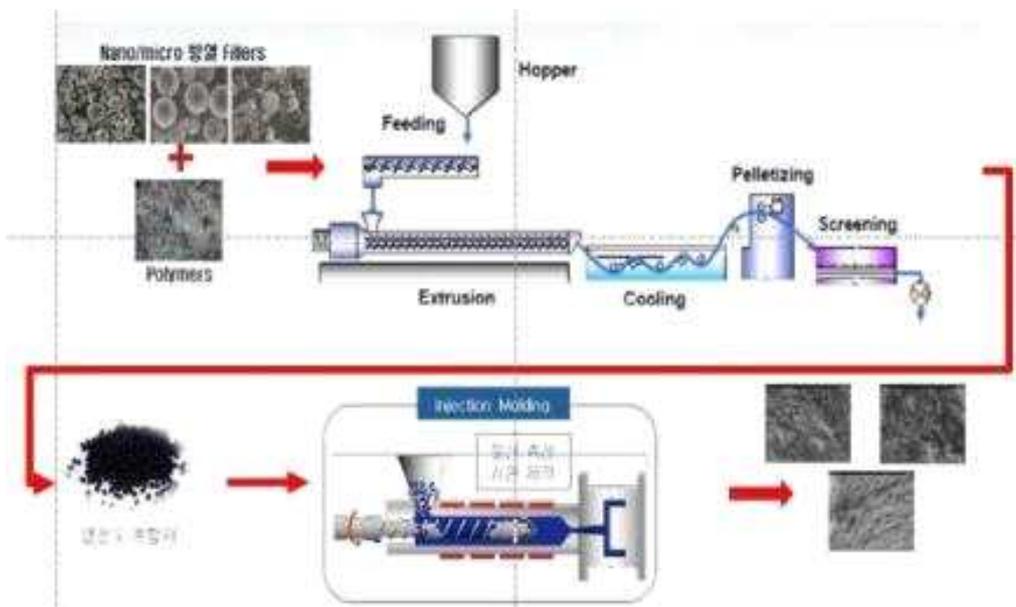
[그림 65] Graphite 순도 분석을 위한 Raman 결과.



[그림 66] Raman 분석 결과의 peak 분리 결과.

- Graphite 원료의 분석을 위해 Raman 결과에서 복합 peak를 분리하여 Crystalline, Defect, Amorphous 영역을 각각 분리하여 아래 그림에 나타냄. 분석 결과 S1의 경우 대부분이 crystalline 영역의 peak만 나타남을 확인할 수 있고, S2, S3의 경우 defect 및 amorphous 영역의 peak가 존재함을 확인함으로써, 고열전도성 소재로의 적용성이 어려움을 확인함.

나. 방열 복합소재 개발에 필요한 요소 기술



[그림 67] 컴파운딩 Plastics의 생산 공정.

- 본 제품은 나노융합체의 생산, Compounding 공정, 사출 공정의 Process를 거쳐 제품화됨. [그림 67]은 고열전도성 Plastics의 생산 공정도임. 생산된 나노소자를 Melting된 Plastics에 고르게 분산하여 Pellet 형태로 만드는 공정과 생산된 Pellet을 사출 성형하는 공정으로 이루어져 있음.
- 고열전도성 고분자의 개발을 위해서는 Filler의 고함량 충전이 필수적이며, 공정 중에 Plastics의 성질 변화와 Filler의 성질 변화가 없어야 함. Plastics화에 필요한 요소들은 아래의 [표 12]와 같으며, 각 요소들은 기능별 역할을 충분히 수행 할 수 있어야 하며, 각 기능을 안배하여 Plastics이 설계 되어야 함.

[표 12] Plastics 컴파운드당시 첨가되는 Materials

Materials	종류	기능
Plastics	PP, PA-6, PA-66, PPS 등	Plastics내에서의 Binder 역할
Filler	나노 융합체, Graphite 등	열전도성 확보를 위한 Heat Channel
첨가제	산화방지제	압출 공정 중 고분자의 열화 억제
	2차 공정 산화방지제	2차 공정중의 열 안정제
	Halogen Detector	축매 잔사에 의한 열화 억제
	UV 흡수제	태양광에 대한 내성 확보
	강성 보강제	강도 보완을 위한 첨가제
	분산제	Filler의 분산성 확보 등

- Plastic의 경우 고분자의 열화로 인한 점탄성이 유지 되어 Binder로써의 역할을 하며, Filler의 경우는 Heat flow의 Channel의 역할을 위하여 균일한 분산이 이루어 져야 하며, 첨가제는 각각의 역할을 수행하여야 함.

#### 다. 고함량/고분산 컴파운드용 Screw 조합 설계 개발

- 고열전도성 고분자의 개발을 위해 나노 융합체의 고함량 Loading이 필요하며, 구조체로써의 기능을 수행하기 위해 고분자(Plastics)의 고유의 성질을 보유하고 있어야 함. 또한, 나노융합체의 분산을 원활하게 하여 열전달 효율을 극대화 할 필요가 있으나, 이는 상호 Trade Off 관계에 있음, 고함량을 첨가하면 압출기 내에서의 Shear가 증가하여 압출기 내부 온도가 상승하며, 상승된 온도로 인하여 고분자가 열화되는 현상이 발생함. 고분자가 열화 되면 고분자 고유의 물성이 상실되어 융합체를 Binding해 주는 역할을 수행하지 못하며, 구조체로써의 역할을 수행하지 못한다. 적정 함량의 융합체와 적정 Shear의 조합을 통하여 분산과 고함량의 균형을 맞추어야 하는 문제에 직면하게 되므로 유의하여야 함.
- 열전도성 특성을 극대화하기 위해서는 고농도의 융합체 함량이 필요하며, 원활한 분산과 Binder로써의 역할을 수행하는 고분자와의 상용성이 균형을 이루어야 함. 적정 고분자와 융합체의 함량은 각 고분자 및 융합체의 비중에 의하여 결정되는 것으로 판단되며, 중량 비율이 아닌 부피 비율에 의하여 함량을 결정할 수 있음. 일반적으로 Compounding 고분자의 경우 중량 비율에 의하여 제품이 표기되나, Filler의 최대 투입은 부피 비율에 의하여

투입량이 제한됨. 5차에 걸친 Test 결과 각 고분자 및 용합체의 적정 최대 첨가량은 50 vol% 수준이 최대의 함량으로 판단되며, 압출 및 사출 공정의 가공성을 평가하면 [표 13]에서 볼 수 있음.

[표 13] Compounding 공정 안정성 결과

회차	고분자	융합화 Stage																	
		Stage 1						Stage 2			Stage 3			Stage 4					
		10%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	30%	40%	70%	40%	70%	80%	10%	30%	40%	50%	70%
1차	PP							○		×				○	○		○	○	
2차	PP			○					○		○						○		
3차	PP											○	○						○
4차	PA-6	○	○		○		×	×						○	○		○	×	×
5차	PA-6				○	○	△	×											
	PA-66				○														
	PPS				○	○	×	×											

라. 사출성형용 고함량/고분산 열전도성 컴파운드 개발

1) 열전도성 컴파운드 개발 결과

- Compounding의 경우 고함량의 용합체를 첨가하는 데에는 한계가 존재하며, PP의 경우 70wt%의 경우 공정 조건에 따라 가능여부가 결정되었으며, PA-6, PA-66의 경우 60wt%, PPS의 경우 70wt% 이상의 고함량 Loading 작업이 불가함을 확인하였음.
- 양산성을 고려할 때 Compounding 공정으로 제한하여 판단해 보면 PP의 경우 70wt%, PA-6, PA-66의 경우 60wt%, PPS의 경우 60wt% 이하로 Loading량을 낮추는 것이 안정적인 것으로 판단 됨.

2) 열전도성 컴파운드 사출 Test 결과

- Compounding된 Pellet으로 ASTM 사출 시편의 성형을 진행하였으며, 각 시료의 상황에 따라 성형, 미성형, 사출 불가의 Test 결과를 얻었음.
- 사출 조건은 각 시료의 Polymer, 용합체 함량에 따라 다르게 작업하였으며, 추후 Recipe 확정 후 사출 Test 조건을 확정함. 컴파운드 사출 Test 결과는 [표 14]에 제시한 것과 같음.

[표 14] 고열전도성 컴파운드 사출 Test 결과

회차	고분자	융합화 Stage																		
		Stage 1						Stage 2			Stage 3			Stage 4						
		10%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	30%	40%	70%	40%	70%	80%	10%	30%	40%	50%	70%	80%
1차	PP		○				X								○	○		○	○	
2차	PP			○						○		○					○			
3차	PP												△	△					X	△
4차	PA-6	○	○		○		X	X							○	○		○	X	X
5차	PA-6				○	△	X													
	PA-66				○	△	X													
	PPS				○	△	X													



[그림 68] 일반 PC사출소재와 제작한 방열사출소재(도면 및 구조는 다음 장에 설명).

- 사출 성형 공정의 전 공정인 Compounding 공정에서의 결과물(Pellet)을 가지고 사출 성형을 진행하였으나, 70wt% 이상의 제품에서는 모두 Fail(미성형)의 결과를 보였으며, 고분자에 따라 부분적으로 성공한 결과를 보임.

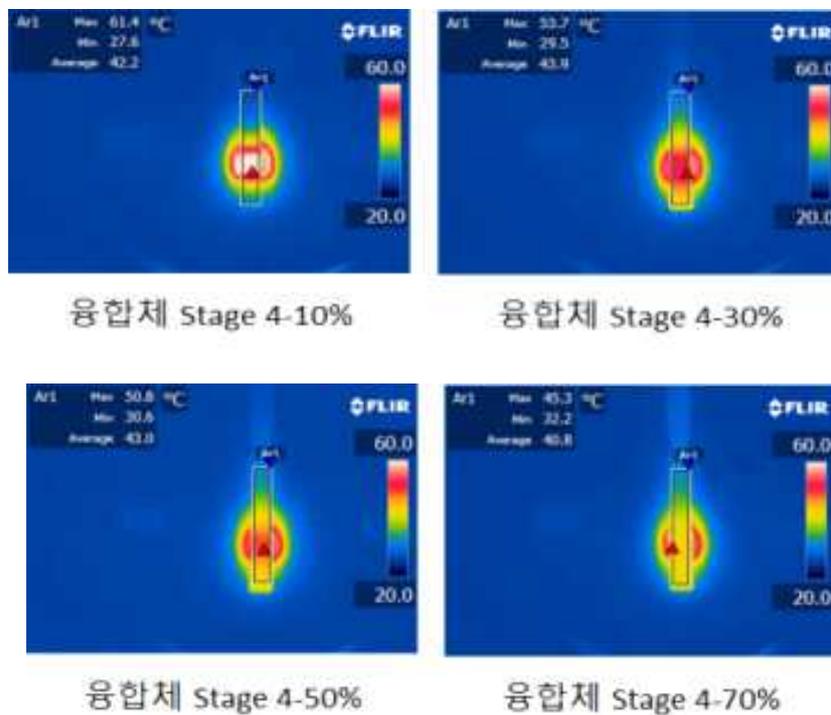
### 3) 열전도도 특성 평가 결과

- 열전도도는 Test 방법에 따라 상이한 결과를 나타내고 있으나, 과제의 공정성을 기하기 위하여 LSM(Laser Flash Method) 방법을 통하여 Test한 결과 Stage 4 (Graphite 50%)에서 약 12.3W/mK를 얻었음. 70%이상 혼합한 경우, 소재의 강도가 낮아 활용할 수 없는 수준으로 추후 평가에서 제외하였음.

[표 15] 고열전도성 컴파운드 열전도도

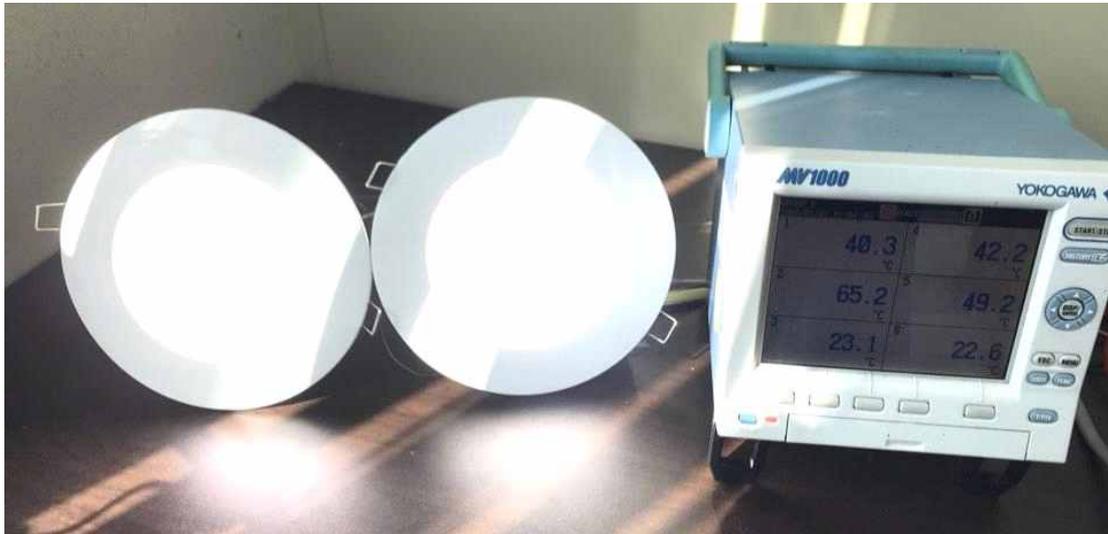
	융합체 CODE	열전도도(W/m · K)
1차 Test	Stage 4-10%	0.77
	Stage 4-30%	5.77
	Stage 4-50%	12.29
	Stage 4-70%	17.10
2차 Test	Stage 4-0%	0.48
	Stage 4-10%	1.02
	Stage 4-30%	6.39
	Stage 4-50%	12.40

- 열전도도 분포 실험한 결과, 고함량 제품에서 온도의 균일도가 더 좋아지는 당연한 결과를 얻었음.

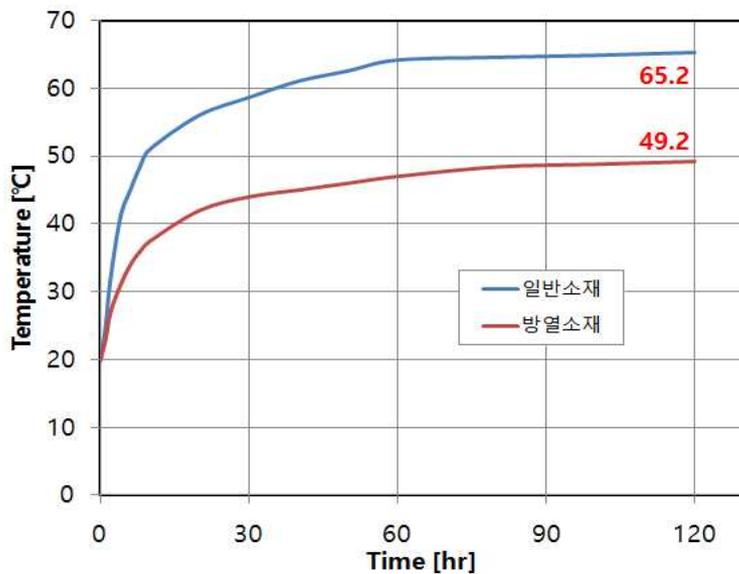


[그림 69] 고열전도성 컴파운드의 열전도 특성.

- 개발한 융합소재 Stage4-70% 모델을 사출성형하고, 설계한 등기구 구조에 적용하여, LED PCB 상의 온도를 측정하여 비교한 결과를 [그림 70]에 제시하였음. 실험결과는 일반 LED 조명(식물성장등과 동일한 구조로 설계하였으며, LED만 조명용 LED로 설계한 것으로 식물등보다 소비전력이 높은 가혹 조건임) 제품에 적용하여 2시간 동안(일반적으로 1시간이면 온도 포화됨) 측정한 것으로, 방열사출소재를 적용하지 않은 경우 65.2°C 까지 상승하나, 소재를 적용한 후 49.2°C 를 나타내고 있음. 이 결과로부터 개발한 소재가 매우 유용한 제품임을 실제적으로 확인하였음.



(a) 방열소재 미적용 모델(좌), 적용모델(중) 및 온도측정장치(YOKOGAWA MV1000, K-type Thermocouple) (우)



(b) 온도 특성 그래프

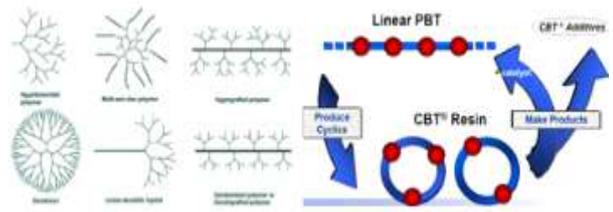
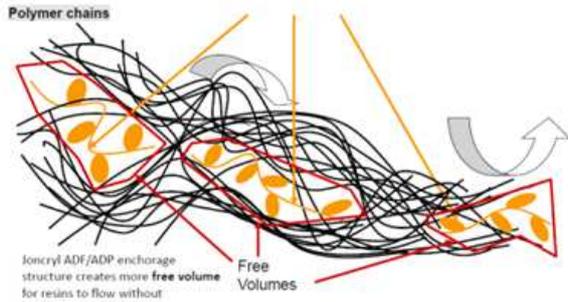
[그림 70] 12W급 조명등의 방열소재에 따른 온도 특성 시험 결과.

#### 마. 열전도성 컴파운드의 사출성형성 개선

##### 1) 고유동성 고분자 소재

- 방열소재용 고분자 컴파운드는 방열특성을 구현하기 위하여 다량의 방열 입자를 투입할 수밖에 없고, 이러한 컴파운드 특성은 압출기내에서 shear의 증가에 따른 압출량의 저하 및 압출기내 압력의 증가로 인한 문제점을 야기함. 따라서 방열소재용 고분자 컴파운드의 유동성을 향상시키기 위하여 첨가제등 상대적으로 분자량이 낮은 물질이 고분자사슬사이에 침투하여 free volume의 증가에 따른 chain slip효과를 일으켜 점도 저하효과를 기대할

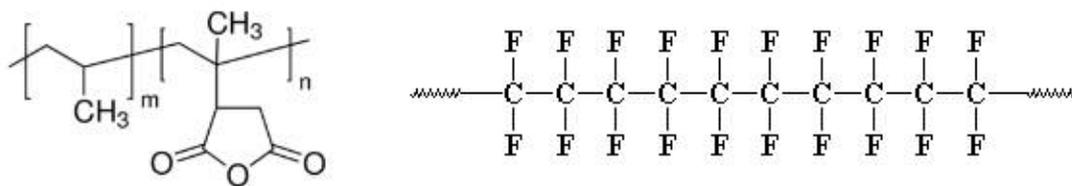
수 있는 재료를 적용함.



[그림 71] 첨가제에 의한 고분자 사슬내 점도 변화.

[그림 72] 점도조절용 첨가제, Dendrimer계, Cyclic계.

- 고분자 컴파운드의 고유동화를 위하여 dendrimer 구조, cyclic 구조의 첨가제 및 MAH grafted polymer를 입수하여 컴파운딩 후 특성을 확인하고, 각각의 구조는 상기 그림과 같음.



[그림 73] MAH functionalized PP, Polytetrafluoroethylene(PTFE).

- 상용화제를 이용한 ternary 블렌드에서 고분자와 필러간 계면에서의 adhesion 및 compatibility를 증가시키는 rheological hybrid effect를 유도하여 가공온도와 shear rate를 감소시키는 효과를 기대할 수 있고, 불소계 수지는 hydrophobicity가 강한 fluoride의 존재로 인한 고분자와의 계면에서의 slip효과를 유도할 수 있다고 보고되고 있기 때문에 유동성을 높이는 효과가 있음.

## 2) 복합소재의 고유동화(PP-g-MAH적용 고분자 컴파운드)

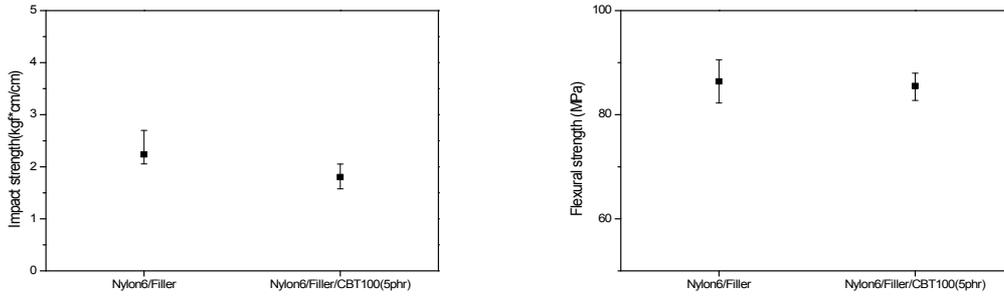
- 기계적 물성 평가 : MI가 40, 70, 162의 각각의 PP-g-MAH(MAH함량 1~1.5%, homo PP base)를 nylon6에 각각 10phr씩 첨가하여 기계적 물성을 확인한 결과, 인장강도, 신율 및 굴곡강도는 pure nylon66대비 동등수준을 유지하고, 충격강도가 4.4~9.4배로 월등하게 증가한 결과를 얻을 수 있었다. 이는 PP-g-MAH의 MAH group과 nylon66의 amide group간의 화학적 결합으로 인한 것으로 판단됨.

## 3) 사출성형용 고분자 컴파운드 고유동화 복합소재 기술

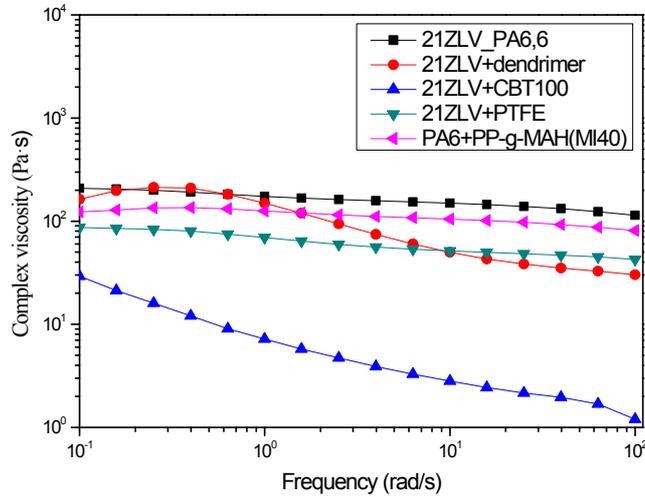
- 고유동성을 위한 첨가제 검토 결과 가장 큰 폭의 점도 저하 효과를 나타낸 PBT

(polybutylene terephthalate) 첨가제를 가장 우수한 열전도도를 보인 filler 조합 컴파운드에 적용하여 컴파운딩 후 물성, 열전도도, 용융지수 변화 및 모폴로지를 분석하였음.

- 유동성 강화 첨가제 적용 후 고분자/방열필러 컴파운드의 기계적 물성



[그림 74] 유동성 강화 첨가제 적용 후 고분자/방열필러 컴파운드의 점도 변화.



[그림 75] 고유동화 고분자 컴파운드의 점도 변화.

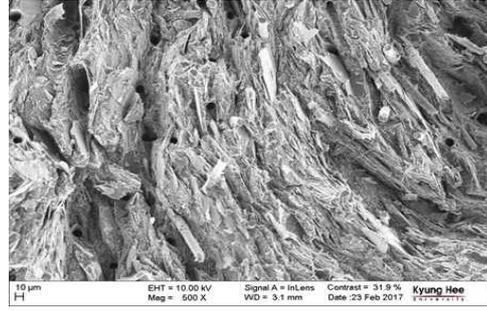
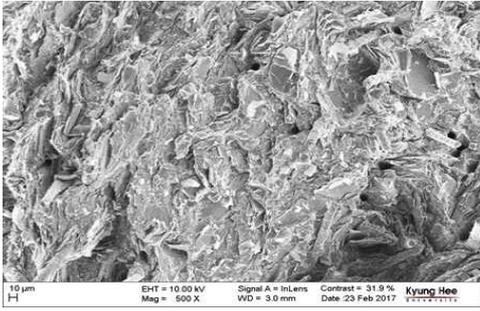
#### 4) 유동성 강화 첨가제 적용 후 고분자/방열필러 컴파운드의 열전도도

- 유동성 강화 첨가제 첨가후 수평방향의 열전도도는 약 15% 감소한 결과를 얻었음.

[표 16] 유동성 강화 첨가제 첨가전후 열전도도 비교(내부시험평가 결과)

No	비열 [J/gK]	열확산도 [mm <sup>2</sup> /s]	열전도도 [W/(m · K)]
첨가제 첨가전	1.089	9.608	16.888
첨가제 첨가후	1.174	7.612	14.281

- 아래의 사진은 수평 방향의 경우 GF의 배향성이 첨가제 첨가후 flow 방향으로의 orientation이 관찰한 결과를 보여줌.



[그림 76] 유동성 강화 첨가제 첨가 전/후 고분자/방열필러 컴파운드의 단면 사진.

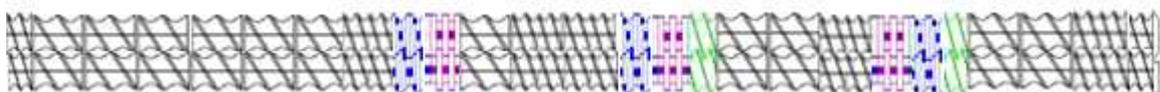
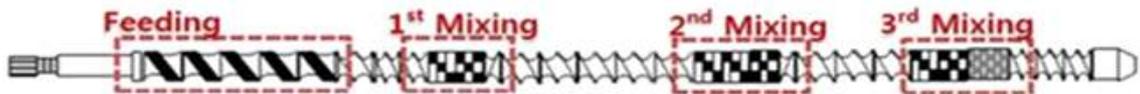
- 외부시험인증기관(한국고분자시험연구소)을 통해 시편 시험한 결과는 아래와 같이 수평열 전도도 19.5W/mk의 최종 데이터를 확보하였음.

[표 17] 개발한 제품의 시험평가 결과(한국고분자시험연구소)

No.	비열 [J/gK]	열확산도 [mm <sup>2</sup> /s]	열전도도 [W/(m · K)]
Sample#1	0.945	12.038	19.517

#### 바. 나노융합체와 고분자의 컴파운딩용 Screw 조합 설계기술 개발

- 압출기 Shear에 의한 고분자 소재의 물성 하락을 최소화할 수 있는 Screw 최적 조합 및 공정 조건 확립하고, 고함량, 고분산 및 내식성이 향상된 압출기 Screw 개발하였음.



[그림 77] 고함량/고분산용 압출기 Screw Kneading Block 및 조합도.

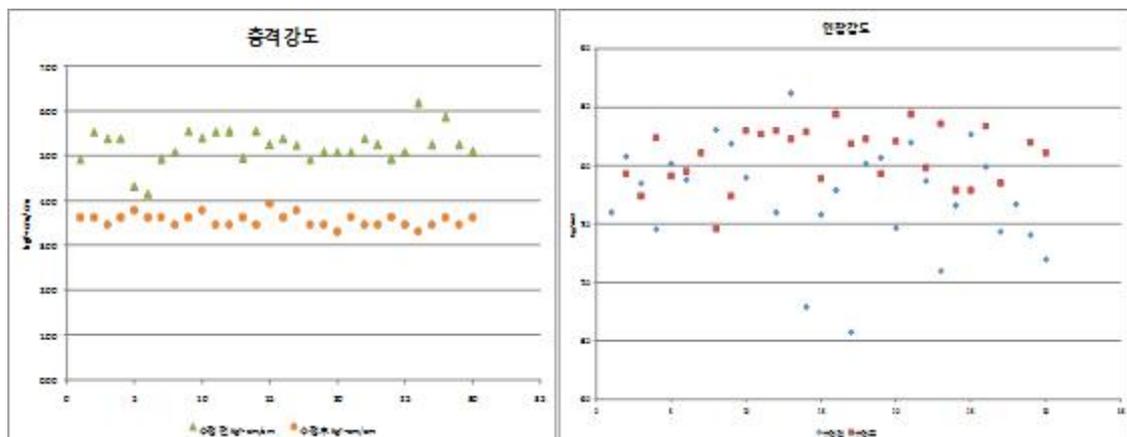
- 고분자별 최적 Screw L/D, Kneading Block 플라이트 각도 등 Screw 조합, 필러 함량별, 필

러 종류별 Screw 조합 최적화를 통하여, 고분자별 양산 공정, 공정안정성 확보를 위한 최적 공정 조건 확립하였음.

- 분산성 확보를 위해 다양한 Screw element configuration의 실험이 진행됨. Soft ware simulation을 통한 조합의 경우 압출기 내 거동은 simulation이 가능하나, 시편의 물성에 대한 분산 및 distribution에 대한 예측이 어려운 관계로, 실제 Screw configuration 변경을 통한 시험을 진행함.

#### 사. 열전도 필러 고배향 기술

- 몰드플로우(Mold flow)를 이용한 시편 금형 수정하였음. Family 금형의 경우 각 cavity의 형태와 용적의 차이로 인하여 사출 성형시 최적의 시편 사출이 다소 어려우며, 몰드 플로우를 이용하여 금형 최적화하였음.
- Family 금형의 경우 각 cavity의 형태와 용적의 차이로 인하여 사출 성형시 최적의 시편 사출이 다소 힘든 상황 이며, 몰드플로우를 이용하여 금형 최적화하였음.
- 최종적으로 제작한 금형 설계에서 충격 및 인장강도 실험을 한 결과 안정적인 특성을 보이는 것을 확인하였음.



[그림 78] 금형 수정 후 물성변화 측정 데이터.

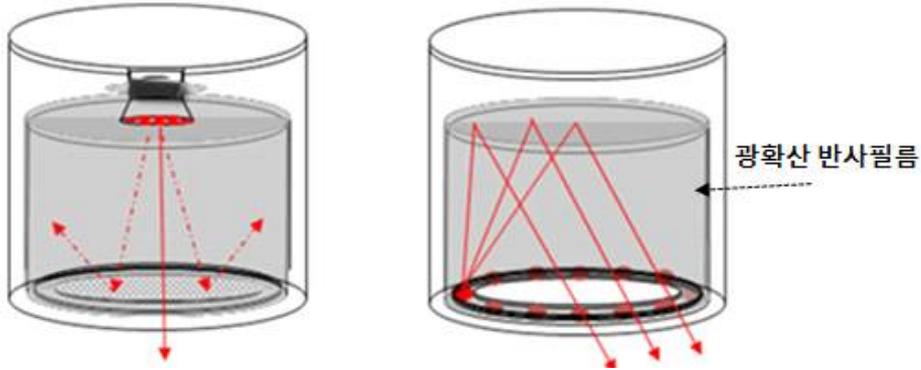
## 2-3절. 쿼텀닷 조명 제조 기술 개발

### 1. 광균일도 및 등기구 효율 향상을 위한 조명구조 설계 및 제작

- 본 연구개발과제의 식물성장용 조명의 기본 목표는 높은 광균일도와 등기구 효율을 갖는 식물성장등에 있으며, 이를 위해 (주)지엘비전의 넓은 배광각 기술을 바탕으로 반사형, 직하형 등기구 구조를 적용하여 설계하였음.
- 기본 설계 / 개발 방향에 따라, 10~100W급의 식물성장등을 설계 제작하고, 각각의 등기구 형태에 따른 조명의 균일도, 등기구효율의 특성을 확인하였음.

#### 가. 반사형 등기구 구조가 적용된 광균일도 및 배광각 향상 개념

- 반사형 등기구는 타사의 조명등이 LED의 조사방향이 아래로 향하는 직하형 구조와 대비되는 기술로 1차로 LED에서 발생된 빛이 상(UP)방향의 확산반사부로 향하고 확산 반사된 빛이 2차적으로 하향(DOWN)으로 조사되는 구조를 갖고 있음. 이러한 구조의 경우, 1차 반사되면서 점광원 LED의 강한 빛이 부드러워지며 다양한 파장의 빛이 잘 혼합되는 효과를 가지게 되면서 빛의 균일성이 크게 향상되는 구조임.

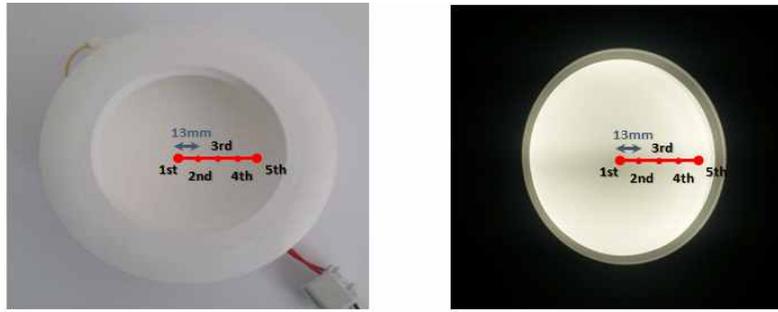


[그림 79] 일반 직하형 LED(좌)와 반사형 LED(우) 조명 기술.

- 또한 등기구 구조의 내부 반사체의 높이에 따라서, 1차 반사된 빛의 균일성이 차이가 나타나며, 배광각도를 제어할 수 있어서 매우 넓고 눈부심이 전혀 없는 빛을 조사할 수 있는 장점이 있음. 특히, 확산 반사필름은 98%의 반사도를 갖는 소재를 사용하기 때문에 높은 등기구 효율을 가지는 특징이 있음.
- 일반적으로 사용하는 형태가 아닌 원통형 구조를 최초로 제시하였음. 원뿔형 및 돔구조는 반사광의 내부 Scattering 횟수가 높은 구조로 외부로 광투출량이 적어 등기구 효율이 급격히 낮아지는 단점이 있는 반면에 원기둥형은 1회 반사후 토출되는 광량이 매우 높고 내부 반사광의 Scattering 횟수가 상대적으로 적은 구조로 인해 광효율이 상대적으로 높음. 또한 원통형 높이 및 크기 조절을 통한 LED 효율감소가 최소화되며, 원뿔형과 비교하여 조립성이 용이한 장점이 있음.

#### 나. 반사형 등기구의 설계 및 제작

- 다양한 구조로 설계된 반사갓 중, 돔 구조나 사다리꼴 구조는 반사갓 또한 내부 scattering 회수가 상대적으로 많아 등기구 효율은 70%를 넘지 않는 결과를 보였음.
- 등기구의 광 균일도는 광 토출구에서 얼마나 일정한(균일한) 빛이 외부로 조사되는지를 확인하기 위한 실험으로 CS-1000 시스템을 이용하여 비교하였음. 반사갓 높이 변화에 따른 발광 균일도는 조명등기구의 광토출구의 일정한 빛을 측정된 결과 반사갓의 높이가 높을수록 발광 균일도가 향상이 되었으나 광효율 측면에서는 다소 낮아지는 경향을 보였음. 이러한 결과를 토대로 가장 효과적인 반사갓 구조는 높이가 50~60mm정도에서 형성됨을 알 수 있었음.

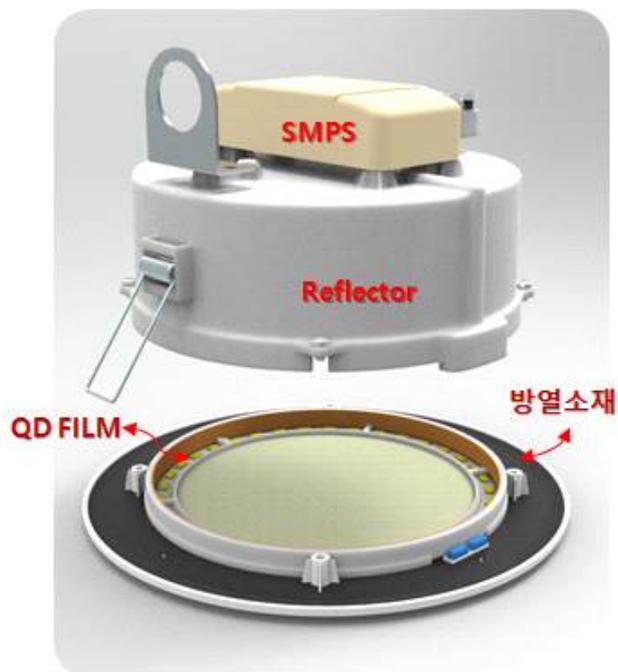


[Dimension: nit (cd/m<sup>2</sup>)]

Height	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	4 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>	Uniformity [%]
50mm	20815	23189	27121	31806	40203	66.13
53mm	24008	24896	27808	32520	39992	73.22
55mm	25325	25715	28294	32273	40635	74.85
57mm	26984	26554	28872	32517	40351	77.78
60mm	28308	27471	29014	32308	39292	81.10
70mm	31236	30979	31370	33697	39279	87.54

[그림 80] 반사각 높이에 따른 발광 균일도 측정결과.

- 이러한 실험 결과에 맞추어, 설계한 등기구 구조는 다음 그림에서 제시하는 것과 같이, 하부에 LED PCB가 존재하며, RED광 spectrum을 풍부하게 하기 위한 퀀텀닷 필름이 LED PCB 기판과 가까이 배치되고, LED PCB 하부에 개발한 12W/mK급 방열소재를 이용하여 사출성형한 방열구조체를 배치하며, LED광이 QD 필름에 입사 및 재여기된 광이 반사체 (Reflector)에서 반사되어 하향하도록 하는 구조임.



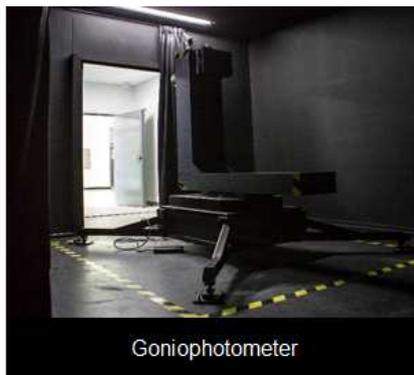
[그림 81] 설계된 반사형 구조.

- 적용한 구조체의 소재는 PC계열로 난연소재를 채용하여 안전성을 강화하였으며, 기본적으로

로 반사된 빛은 반사구조체(reflector) 내에서 적게는 1회 많게는 2-3회정도 반사되면서 내부에서 혼합되어 균일하게 섞이는 구조로, Blue LED광과 Red spectrum 강화용 여기필름에 의한 Red 광이 잘 혼합된 형태로서 외부(하향)로 토출되는 구조임.

#### 다. 식물성장조명의 특성평가 및 보유장비

- 제작한 식물성장등의 광학적 특징을 분석하기 위해, CPRI가 보유하고 있는 적분구와 배광기 시스템, 휴대용 스펙트로미터기를 사용하였음.
- 적분구 장비는 내부벽면에 99.8%의 높은 반사율을 지닌 Ba<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 도료가 부착된 구 형태의 장비로, 내부에서 반사되어 측정되는 전광속 스펙트럼을 통한 분석장비로, 일반조명에서는 주로 광속 및 광효율, 연색지수, 색온도 등의 Data를 분석할 수 있는 장비임. 본 과제에서 개발중인 식물조명에서는 상대적으로 적색, 청색, 자색 파장이 주로 발생되기 때문에 등기구 형태 및 쿼텀닷 소재 적용에 따른 상대적인 Spectrum을 변화를 파악하기 위해 주로 사용되었음.
- 배광기는 지그를 통해 고정된 조명을 장비에 체결하여 주어진 각도의 변화에 따라 측정되는 절대광속의 세기 정보를 분석하여 실질적으로 조명제품의 적용 시 중요한 특성이 되는 배광분포를 계산해주는 장비로 기본적인 Spectrum 측정 기능은 적분구와 동일함.
- 마지막으로 식물성장조명에서 중요한 특성으로 평가되는 PPF를 측정하기 위하여 휴대용 스펙트로미터기를 사용하였음. 장비 상단의 센서에서 입사되는 빛의 가시광 영역에 대한 스펙트럼 정보를 분석하여 PPF를 측정할 수 있으며, 휴대용 장비이기 때문에 거리에 따른 PPF 측정 및 고정된 샘플의 광균일도 측정에 사용되었음.



[그림 82] 식물성장조명의 특성평가 보유장비 - 적분구(좌), 배광기(중), 휴대용 스펙트로미터(우).

## 2. 쿼텀닷 소재가 적용된 식물성장조명 제작 및 특성 평가

### 가. 10W급 식물성장조명

- 식물성장등은 SMPS 또한 고전압방지회로, 고전류방지회로 및 무부하출력제한회로 등이 적용되어 있어 전기적으로 안전한 제품을 선택하였으며, LED PCB는 Metal PCB로 LED 소자의 비율을 조정할 수 있도록 설계하여, 대상 식물에 따라서 동일 PCB기판으로만 대응이

가능하도록 하였음. Blue LED의 경우, 광스펙트럼이 400~500nm(450nm급) 범위에 있기 때문에 반사필름의 반사율이 낮아질 수 있으므로, 파장의 분포 배열을 잘 계산해야 함.

- 제작한 식물성장등은 광합성증강효과(Emerson Enhancement Effect)를 고려하여 높은 광합성으로, 식물의 성장을 촉진하고자 하는 개념으로 제작된 것으로, 특히, 광합성에 유리한 RED spectrum을 강화한 모델로 설계/제작하였음.
- 또한 특정 파장에서 육모 특성 및 육모 균일도를 시험평가 하고, 식물성 세균과 곰팡이 등이 특정 파장에서 어떠한 거동을 하는지를 분석하기 위해서, 다양한 파장의 식물성장등을 제작하였으며, 공동연구기관인 강원대에 공급하였음.

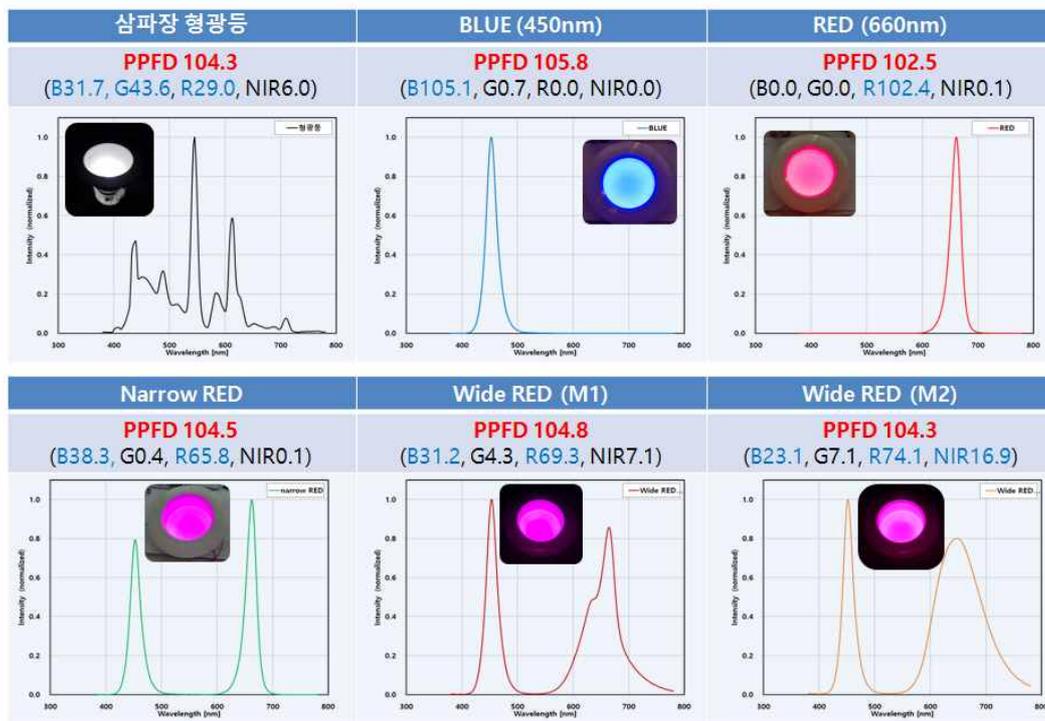


[그림 83] 퀀텀닷 필름이 적용된 10W급 식물성장조명(점등).

- 제작한 6종의 제품은 기본적으로 PPFd 값을 동일하게 함으로서 식물성장 및 균류 실험에서 식물이 받는 광량의 차이를 없애고자 특별히 조정하여 제작하였음. (1) 삼파장형광등 (18W)급, (2) Blue LED (450nm), (3) Red LED (660nm), (4) Blue (450nm) 및 Red (660nm)으로 기존의 식물성장등의 파장형태이며, (5)번과 (6)번의 Wide Red 식물성장등은 QD 필름을 적용하여 Red 파장을 강화하였음. (5)는 넓은 Red 파장을 갖는 2 peak (620nm, 660nm) 구조이며 (6)은 넓은 Red 파장을 갖는 1 peak (640nm) 구조의 식물성장등임.
- (1)번의 삼파장형광등 모델을 비교(reference)군으로 하였으며, 일정한 거리 150mm에서 동일한 PPFd  $105 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 제작함. (4)번의 기존 식물성장등 파장은 본 연구개발사업의 1차년도 성과로 제작된 (5) 및 (6)의 spectrum을 갖는 조명과 비교하여 장점 및 단점 확인을 위해서 제작된 모델로 개발 제작되었음. 신규 제작된 (5) 및 (6)의 경우, 기존 PPFd 값은 동일하나, NIR 계의 빛이 강하게 나오는 것으로 식물성장 및 광합성에 유리할 것으로 보여짐(다음의 표 참조).

[표 18] 조명별 PPFD 값의 비교 (삼파장 18W급 기준, 150mm 거리)

조명등	PPFD	PPF-B	PPF-G	PPF-R	PPF-NIR
1. 삼파장형광등(18W)	104.3	31.7	43.6	29.0	6.0
2. BLUE	105.8	105.1	0.7	-	-
3. RED	102.5	-	-	102.4	0.1
4. BLUE + Narrow RED	104.5	38.3	0.4	65.8	0.1
5. BLUE + Wide RED 2p	104.8	31.2	4.3	69.3	7.1
6. BLUE + Wide RED 1p	104.3	23.1	7.1	74.1	16.9



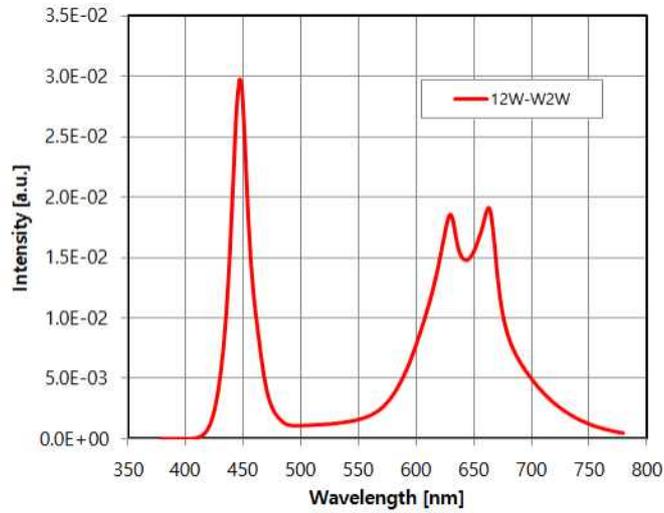
[그림 84] 제작한 6종의 식물성장 실험용 조명등의 광학적 특성(Spectrum, PPFD).

#### 나. 12W급 식물성장조명

- 12W급 식물성장등은, 쿼텟등을 사용한 10W급 조명에서 PPFD를 높이기 위하여, 공급전력을 높였으며, Green 스펙트럼을 추가하기 위하여 White LED를 10% 비율로 추가하였음. 제작한 12W급 시제품의 스펙트럼 및 PPFD 측정값은 아래와 같음.

[표 19] 12W급 식물성장등의 전기적/광학적 특징 (PPFD - 150mm 거리 측정)

	PPFD	PPF-B	PPF-G	PPF-R	PPF-NIR
PPFD 측정 [ $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ]	149.7	36.8	16.1	96.8	15.5
	소비전력	공급전압	공급전류	PF	
전기적 특성 측정	11.9W	220V	59mA	0.91	



[그림 85] 제작한 12W급 식물성장 조명등의 광학적 특성.

#### 다. 70W급 식물성장조명

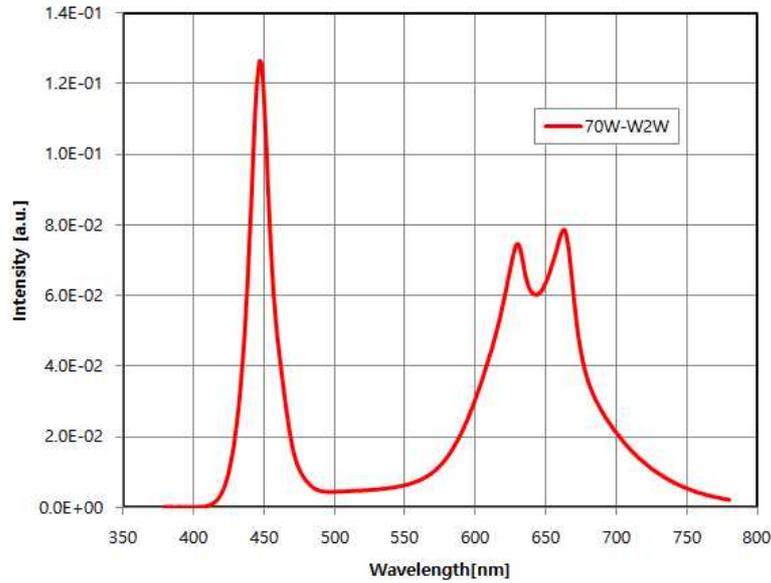


[그림 86] 70W급 식물성장조명 모듈사진(비점등).

- 70W급 모듈은 12W급 식물성장등 6개를 일렬배열한 형태로 제작하였으며, 일렬 형태는 시설하우스 및 식물공장의 형태가 폭 대비 길이 방향으로 길게 나와 있음에 착안한 것으로, 제작한 70W급 시제품의 스펙트럼 과장은 다음과 같이 확인되었음.

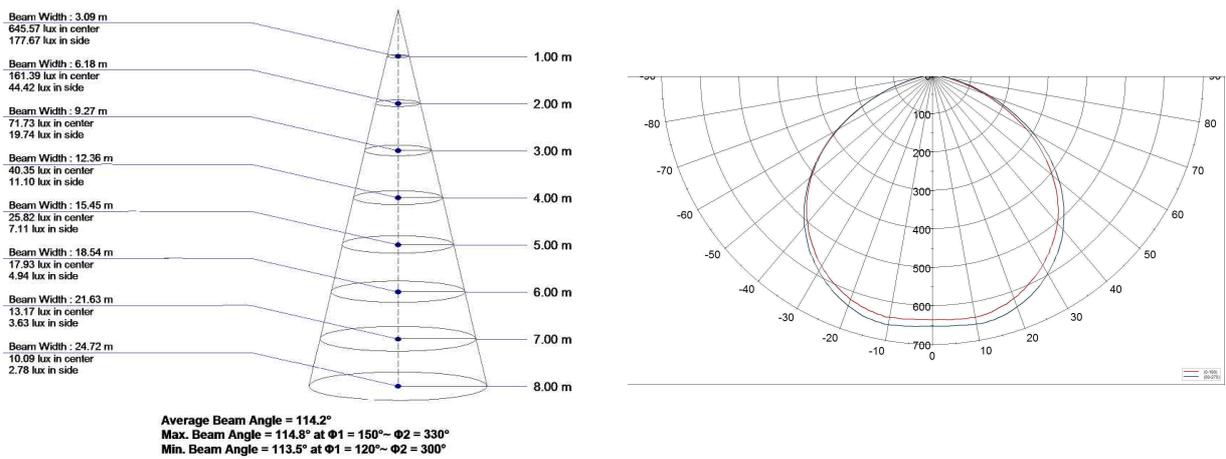
[표 20] 70W급 식물성장등의 전기적 특징

	소비전력	공급전압	공급전류	PF
전기적 특성 측정	<b>69.4W</b>	220V	350mA	0.91



[그림 87] 제작한 70W급 식물성장 조명등의 광학적 특성.

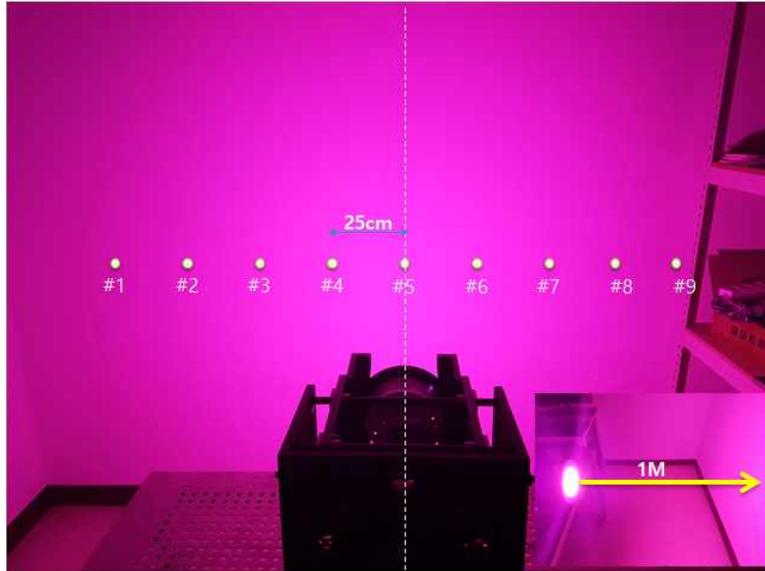
- 70W급 식물성장조명의 배광분포에 대한 특성을 주관기관에 구축된 배광기 장비를 이용하여 측정하였음. 이는 조명의 빛이 얼마나 멀리 고르게 분포되는지를 알 수 있는 정보로, 식물성장등의 경우, 하나의 조명으로 넓은 면적의 식물에 조사할 수 있는지를 알 수 있는 척도가 되는 매우 중요한 요소임. 측정결과, 배광각은 114.2° 로, 고배광을 위한 설계 방향과 일치함을 확인하였음.



[그림 88] 70W급 식물성장조명 모듈 배광각(Beam Angle: 114.2°), 배광분포곡선.

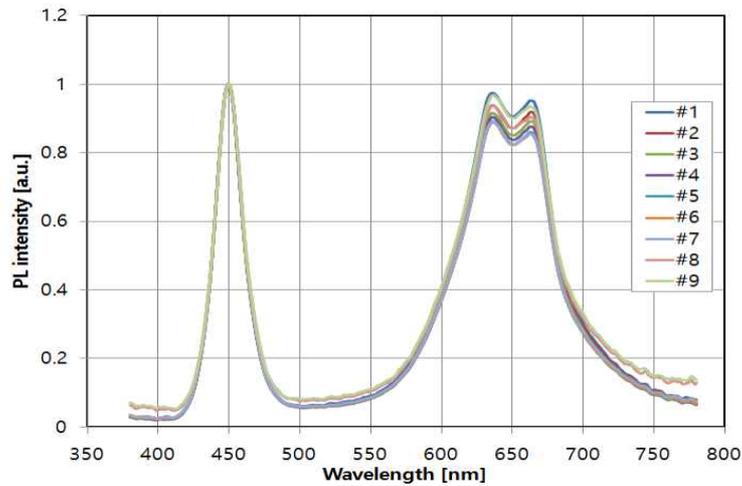
- 식물성장조명이 갖추어야 하는 또 다른 중요한 특성은, 넓은 영역에 심겨있는 식물이 얼마나 고른 광 spectrum 분포로 조사되는가 이며, 개념적으로 특정 파장의 빛이 특정 식물묘목에 집중되는 것은 해당 식물이 불균일한 성장을 초래할 수 있기 때문에 지양해야 함. 이러한 관점으로 광균일도는 식물성장조명의 사업화 추진을 위해 매우 중요한 특성으로, 해당 특성의 확인을 위한 자체시험을 진행하였음.

- 우선 제작한 식물생장등의 광분포 특성을 확인하기 위하여, 일정한 거리(1M로 설정함)에 조명을 설치하고, 중앙으로부터 일정한 간격(25cm로 설정함)으로 배광 영역내에서의 Blue 파장과 Red 파장의 intensity를 비교하였음. 실험하는 방법을 제시하고 있음. 특정 파장(예를 들어, Blue 또는 Red)의 크기의 비율 변화를 관찰하였음.



[그림 89] 식물생장등의 조사광 균일도 시험 방법.

- 크기 비율의 계산은 Blue 파장의 intensity의 크기를 1로 정의하고 Red 파장의 빛의 intensity의 크기로 정의하였으며, 그 결과를 다음의 그림과 표로 제시하였음.



[그림 90] Blue 파장 대비, RED 파장의 크기 비교.

[표 21] Blue 파장 대비 Red 파장 크기 비율표

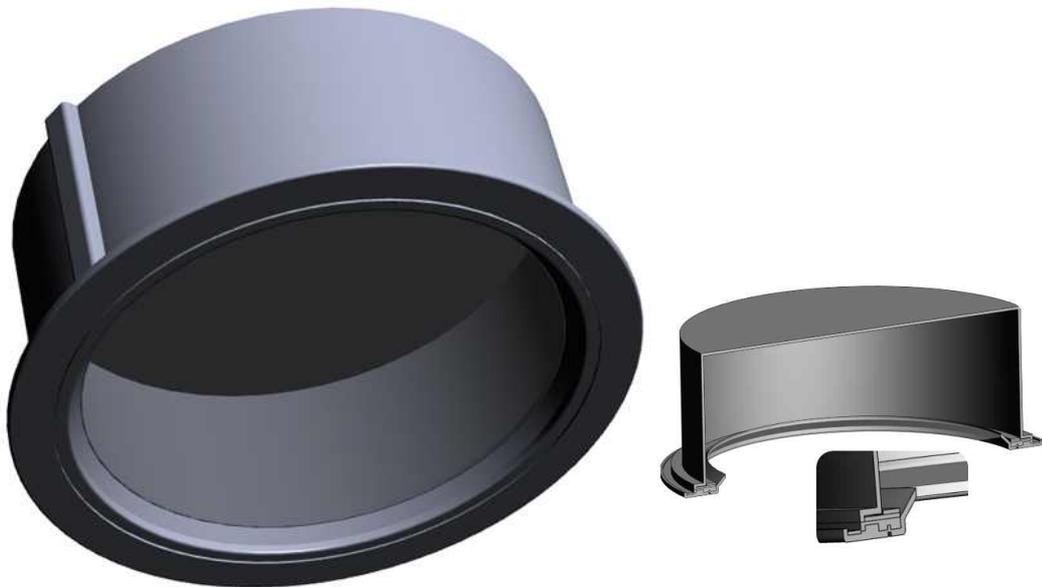
	균일도	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9
Red / Blue	<b>88.9%</b>	0.973	0.937	0.915	0.893	0.871	0.888	0.890	0.936	0.967

- 마지막으로 식물성장조명에 필요한 중요한 특성인 등기구 효율은 등기구의 반사구조체를 사용하지 않은 것을 기준으로, 확산반사구조체를 사용하였을 때를 비교한 것으로, 2개의 시료를 이용하여 비교하였으며, 다음의 표에 그 측정값을 제시하였음. 이 결과를 분석하면, 등기구 효율은 BARE 대비 식물등의 휘도 비교로 계산되며 76.2%(212/278)의 등기구 효율을 얻었음.

[표 22] 광효율 측정 비교표(등기구효율 측정)

항목	lm	lm/W
LED 식물등	212	24.09
LED-BARE	278	29.36

#### 라. 40W급 고전력 식물성장조명 설계 및 제작

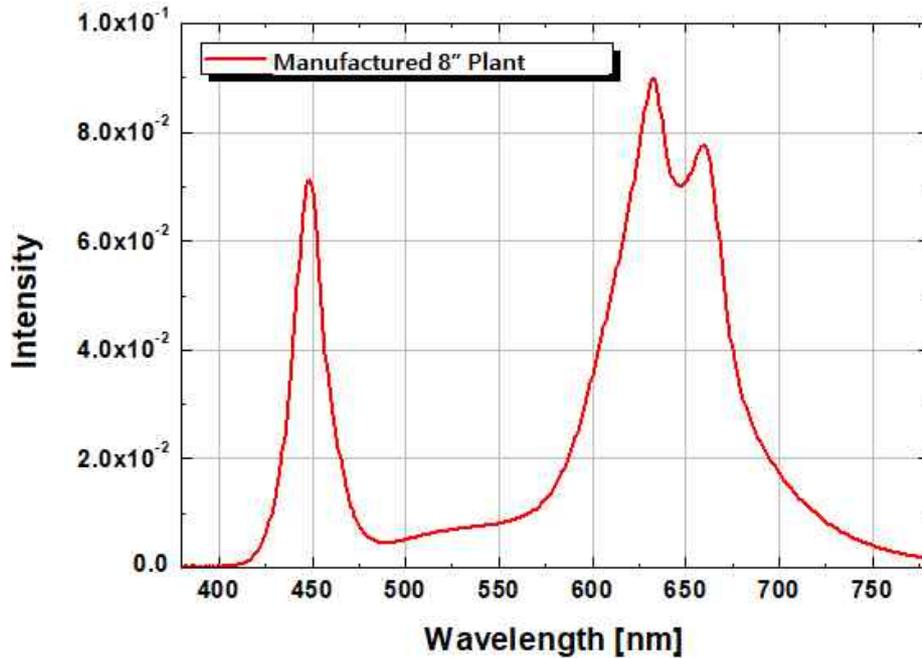


[그림 91] 40W급 QD 반사형 구조의 식물성장등.

- 위의 그림은 1차년도에 설계한 고배광특성을 갖는 반사형 구조의 8 “급 식물성장등용 housing 구조로, 시험 평가용으로 설계되었음. 내구경이 8” 의 크기로, 기존 10W급에 비하여 2배 이상의 광량을 갖는 구조임.
- 반사형 구조의 특성상 높이 등은 1차년도에서 시험평가 및 측정에 사용한 값을 비례적으로 적용하여 최적화하였음.
- 식물성장등의 스펙트럼은 기존에 제작하였던 10~12W와 유사한 파형을 형성하였으며, 현재 강원대학교에서 시험하는 식물생육 및 균류 억제 시험에 광량을 보다 강하게 하기 위한 설계를 대응하였음. 주어진 작물군의 결정에 따라, 쿼텀닷 소재의 다양한 파장 생성 특성을 이용하여, 보다 다양한 파장의 식물성장등을 제작할 수 있음.
- PPFd의 측정값은 10W급 시제품에 비하여 약 4.5배로 매우 높게 측정되었으며, 설계에서

예측한 것과 같이 NIR 계의 값이 높게 형성되었으며, 이를 이용한 실험을 강원대학교에서 별도로 진행하였음.

- 전기적 특성은 220V 입력을 기준으로, 40.7W (369mA)를 나타내었음.



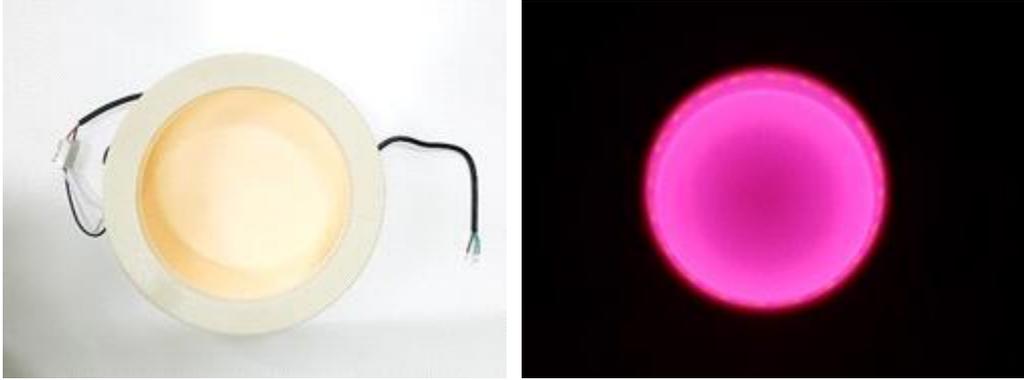
[그림 92] 8 “-40W급 식물생장용 퀀텀닷 조명의 파장.

[표 23] 8 “ 40W 식물생장등의 PPFD 측정값

Model	PPFD	PPF-UV	PPF-B	PPF-G	PPF_R	PPF-NIR
15cm 이격	456.2	0.5	77.1	58.5	320.6	38.3
30cm 이격	160.2	0.2	27.6	20.8	111.8	13.7

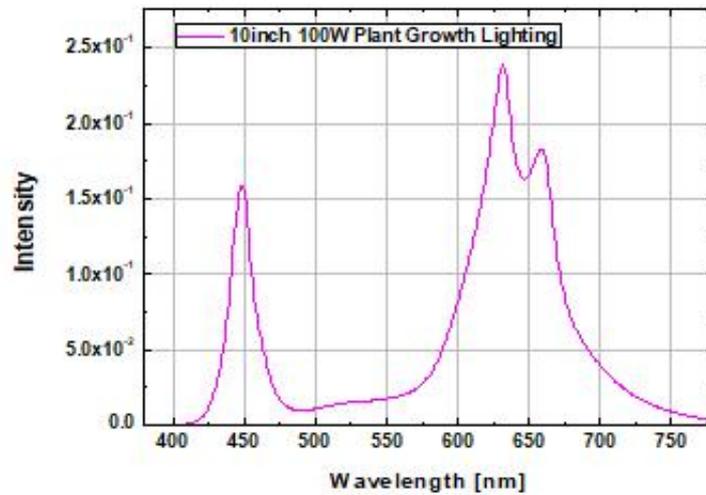
#### 마. 100W급 고전력 식물생장조명 설계 및 제작

- 10 “급의 100W 식물생장등의 구조 또한 8” 와 동일한 형상의 유사한 구조로 제작하였음. 초도 제품은 제품의 특성을 분석 비교하기 위해서 8 “급과 마찬가지로 3D 프린팅법으로 제작하였음.



[그림 93] 10" 100W급 식물성장등 시제품.

- 또한 퀀텀닷 필름을 반사필름 전면부에 부착함으로써 Red 광량을 풍부하게 할 수 있도록 설계되었음. 이에 따른 스펙트럼과 PPFD 값을 다음의 그림과 표로 나타내었음.
- PPFD의 측정값은 8" 40W급에 비하여, 약 1.9배 수준으로, 전력이 높아진 것에 비하여 크게 상승하지 않았음. 이는 광 투출구가 커지면서 넓은 면적으로 광이 분산되어 방출됨에 따른 광 집중 정도가 약해지면서 나타난 것으로 분석되며, 크기가 커짐에 따른 당연한 결과로 보임.



[그림 94] 10" 100W급 식물성장등 시제품의 스펙트럼 분포.

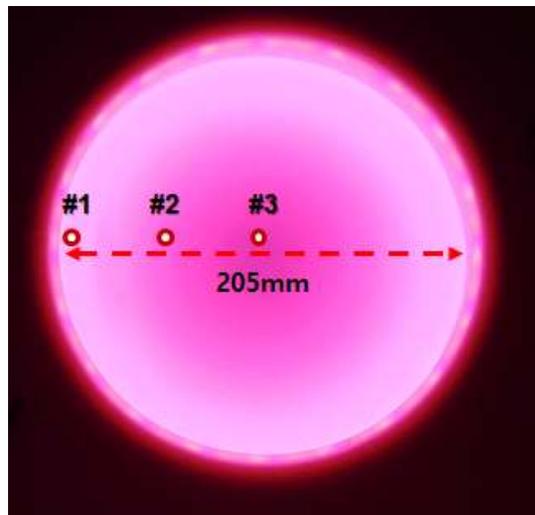
[표 24] 100W급 식물성장등의 PPFD 측정값

Model	PPFD	PPF-UV	PPF-B	PPF-G	PPF-R	PPF-NIR
15cm	868	1	136	105	627	70
30cm	321	0	50	39	232	26
50cm	116	0	18	14	83	9

- 다음의 표는 100W급 식물성장등의 광 토출구가 커짐에 따른 광 균일도를 측정된 결과로, 넓은 면적을 균일하게 조광하여 고른 식물성장을 위해 필요한 요소임. 아래의 그림은 이를 측정하기 위한 위치를 표시한 것으로, 중앙을 기점으로 매우 균일한 특성을 보임.

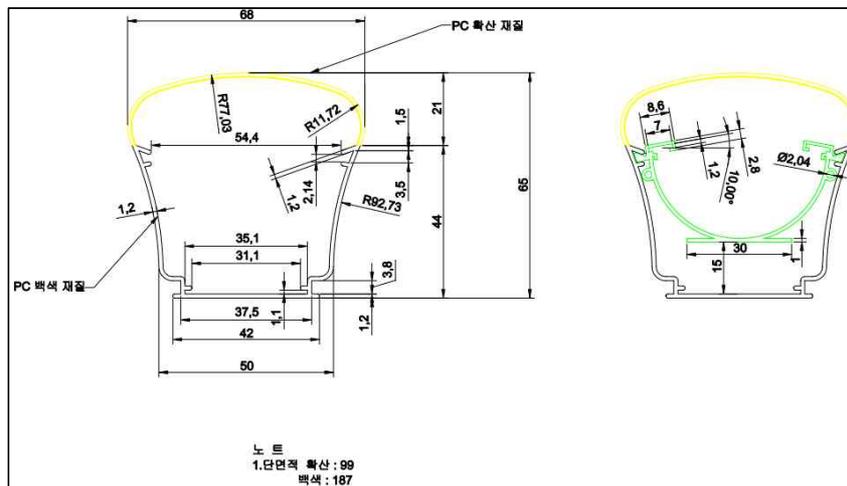
[표 25] 100W급 식물성장등의 PPFD 균일성 측정

Model	PPFD	PPF-UV	PPF-B	PPF-G	PPF-R	PPF-NIR
15cm #1	871	1	138	106	628	71
15cm #2	872	1	137	106	629	71
15cm #3	868	1	136	105	627	70



[그림 95] 균일성 측정 위치 표시.

바. 20~80W급 반사형 Linear 식물성장조명



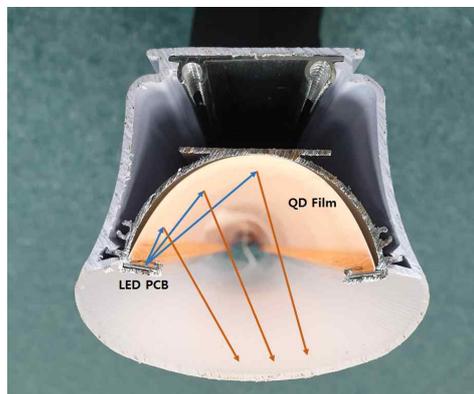
[그림 96] 쿼텀닷 Linear 식물성장조명 설계 도면.

- 고균일, 고배광 식물성장 특성을 확보하기 위한 확산투광부 구조의 반사형 Linear 조명제품을 설계하였음. 조명제품의 외관 등기구는, 아치형의 PC확산 재질로 이루어진 투광부와, PC백색 재질로 이루어진 몸체 부분으로 나뉘어지며, 외관 등기구 내에 LED PCB와 QD Film의 위치를 고정하는 메인프레임이 부착될 수 있는 구조임. 그리고 제품의 마감처리를 위해 나사탭 처리가 된 나사고정 Rail 홈이 있으며, 이는 Side Cap과 볼트를 통해 고정이 가능함.

[표 26] 퀴텀닷 Linear 식물성장조명 부품목록

목록	역할	사진
나사고정 Rail	확산형 등기구 하단에 위치, Side Cap과 나사 고정	
LED PCB	식물생장에 필요한 Blue, Red LED PKG의 회로 Board	
직류안정화 전원장치 (SMPS)	220V 교류전원을 직류전원으로 변환시켜주는 회로소자 부품	
Side Cap	조명제품의 마감처리, 나사고정 Rail과의 고정을 위한 부품	
메인 프레임	확산형 등기구 내부에 부착, LED PCB와 QD Film을 고정하기 위한 Jig 역할	
QD Film	반사필름위에 QD Layer가 코팅된 필름으로, LED PKG에서 나오는 빛을 여기시키기 위한 핵심부품	
확산형 등기구	확산형 투광부와 PC백색 소재로 제작된 조명몸체	

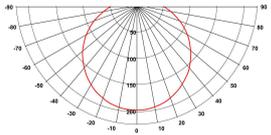
- LED PCB는 메인프레임에 고정하는 구조로, LED PKG의 발광방향은 투광부의 반대방향인 메인프레임의 아치 중심을 향하게 되어있음. 이 때, 메인프레임의 아치 영역에 폭 70mm의 반사필름 기재위에 코팅된 QD Film이 부착되게 되며, LED PKG에서 발광되는 빛은 QD Layer를 통해 여기광을 발생시킨 후 반사필름에 의해 반사되어 투광부에서 확산되어 눈부심 없는, 고균일, 고배광 특성을 가진 빛으로 나타나게 됨.



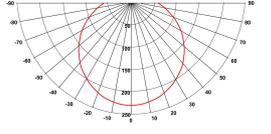
[그림 97] 퀴텀닷 Linear 식물성장조명 내부 발광 경로, 광여기 매커니즘.

- 또한 확산형 등기구 구조 하부 홈 구조로 천장에 부착된 브라켓을 통해 손쉽게 고정이 가능하며, 균일하고 넓은 광분포를 통하여 작물의 성장을 빠르고 균일하게 촉진시킬 수 있는 장점을 가지게 됨. 이렇게 제작된 조명은 천장에 부착된 브라켓을 통해 손쉽게 고정이 가능하며, 균일하고 넓은 광분포를 통하여 작물의 성장을 빠르고 균일하게 촉진시킬 수 있는 장점을 가짐.
- Linear 식물성장조명의 경우, 적용하고자 하는 Test Bed의 크기에 따라 600mm, 1,200mm의 2가지 형태의 제품적용이 가능하며, 또한 식물생장에 필요한 광량에 따라 각각 20W, 40W, 60W, 80W로 소비전력에 따른 출력 조절이 가능함.

[표 27] 퀀텀닷 필름이 적용된 Linear 식물성장조명 600mm 시제품 사양

<ul style="list-style-type: none"> <li>- L600 x W72 x H 68</li> <li>- Voltage: 220V</li> <li>- Power: 20W / 40W</li> <li>- PPF: 220umol/m<sup>2</sup>/s, 440umol/m<sup>2</sup>/s</li> <li>- Avg. Beam Angle: 128.5°</li> <li>- 발광균일도: 98.6%</li> </ul>  	
--	---

[표 28] 퀀텀닷 필름이 적용된 Linear 식물성장조명 1,200mm 시제품 사양

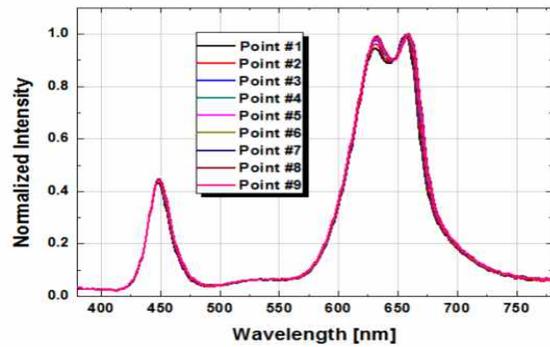
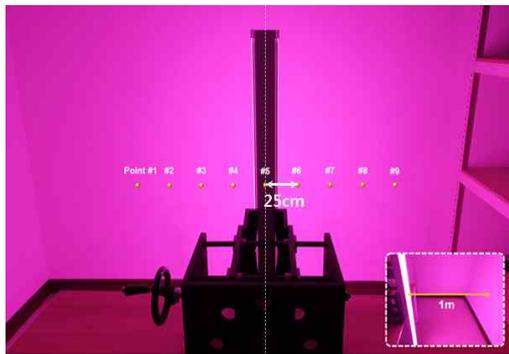
<ul style="list-style-type: none"> <li>- L1,200 x W72 x H 68</li> <li>- Voltage: 220V</li> <li>- Power: 40W / 80W</li> <li>- PPF: 440umol/m<sup>2</sup>/s, 800umol/m<sup>2</sup>/s</li> <li>- Avg. Beam Angle: 128.2°</li> <li>- 발광균일도: 98.6%</li> </ul>  	
--	--

- 앞서 개발된 Linear 식물조명의 등기구 형태 최적화 조건확보를 통해, 최종 선정된 조명구조의 광균일도 및 배광기 측정을 통한 배광분포 특성을 확인하였음.
- 균일도 확보의 경우, 40W급 퀀텀닷 Linear 반사형 식물성장조명을 1m 떨어진 벽면에 수평하게 조사시킨 후, 25cm 거리 별 간격으로 9-Point의 벽면에 조사된 빛의 Spectrum을 측정하여 비교하였음. 그 후, 측정된 9-Point의 Spectrum에 대한 Blue와 Red 파장대역의

Integrated Area 값을 계산하여 Blue / Red 비율의 균일도를 계산하였음. (측정장비: MK350S)

[표 29] 식물성장조명의 균일도 측정을 위한 Spectrum 파장 별 면적 및 균일도 산출공식

Blue Integrated Area	$\int_{400nm}^{499nm} f(x)dx$
Red Integrated Area	$\int_{570nm}^{699nm} f(x)dx$
Uniformity	$100 - \frac{(Max. - Min.)}{2 \times Avg.} \times 100$



[그림 98] 퀀텀닷 Linear 식물성장조명 Point 지점 별 조사광 Spectrum Graph.

[표 30] 퀀텀닷 Linear 식물조명의 Blue / Red 영역 면적비율에 따른 균일도 측정 결과

QD Linear	Point #1	Point #2	Point #3	Point #4	Point #5	Point #6	Point #7	Point #8	Point #9
Blue Area	12.75	13.15	13.44	13.51	13.55	13.74	13.64	13.81	13.62
Red Area	69.64	71.06	72.45	72.84	73.19	73.52	73.81	73.95	73.48
Blue/Red	0.18	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18	0.19	0.19

Maximum	Minimum	Average	Uniformity [%]
0.1869 (Point. 6)	0.1830 (Point. 1)	0.1853	98.6

- 벽면에 조사된 광의 스펙트럼에서, Blue 400~499nm, Red 570nm~699nm 영역에 대한 면적을 산출하고 Blue/Red 비율을 측정한 결과, 조명에 대한 광균일도는 약 98.6%로 매우 우수한 특성을 확인하였음.

- 배광기 장비를 이용하여 조명의 Average Beam Angle에 따른 배광분포 특성을 확인하였음.

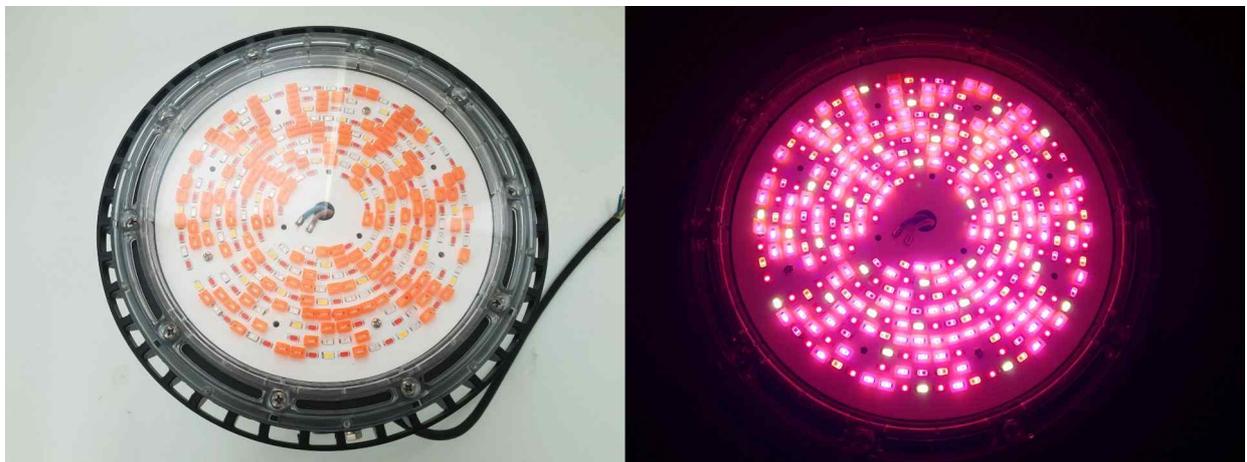


[그림 99] QD Linear 식물성장 조명의 배광분포(좌) 및 Conical Illuminance(우).

- 길이 1,200mm의 40W급 퀀텀닷 Linear 식물성장등 조명의 배광특성은 128.2도로 확인되었으며, 이는 시중의 식물성장 조명이 100~110도 정도의 배광분포곡선을 가지고 있음을 감안할 때, 다소 증가된 수치로 확인되었음. 이는 등기구형태에서 발생하는 확산 반사형의 균일한 발광에 기인한 것으로, 기존의 식물성장조명의 기술을 대체할만한 우수한 특성인 것으로 평가됨.
- 이렇게 제작된 조명은 천장에 부착된 브라켓을 통해 손쉽게 고정이 가능하며, 균일하고 넓은 광분포를 통하여 작물의 성장을 빠르고 균일하게 촉진시킬 수 있는 장점을 가짐.

#### 사. 100W급 고출력 투광형 식물성장조명 설계 및 제작

- 기존의 연구결과에서 제시된 반사형 조명이 가진 등기구 형태의 특성보다 높은 배광각도와 등기구효율의 한계를 극복하기 위해서 직하형 구조의 조명형태에 대한 설계를 진행하였으며, 식물의 성장에 필요한 Red 파장을 보강하기 위한 방안으로, 반사필름을 기저기판으로 사용하여 직하형 조명에 적용이 어려운 퀀텀닷 필름 대신, 앞서 언급된 퀀텀닷 소재가 적용된 광여기 사출캡을 적용한 새로운 형태의 조명을 설계, 제작하였음.



[그림 100] 퀀텀닷 사출캡이 적용된 100W급 투광형 식물성장조명 사진.

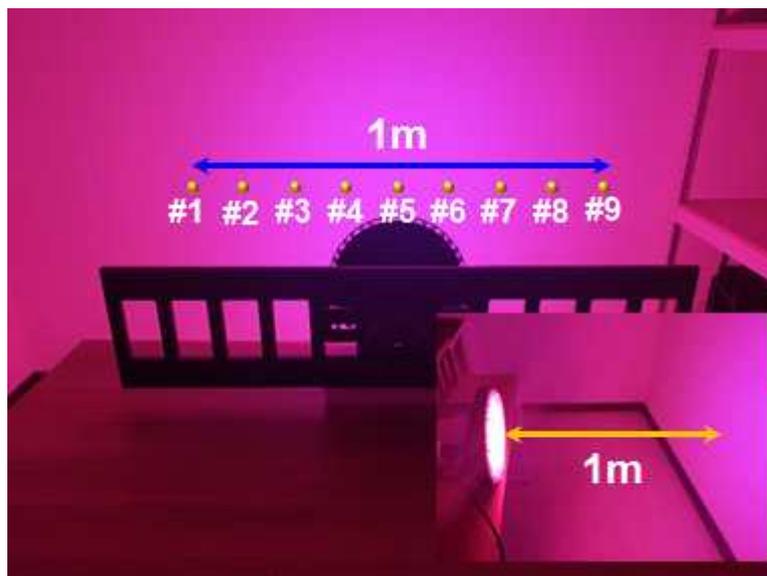
- 고출력 조명의 경우, 높은 PPF/D를 바탕으로 엽채류 작물 뿐 아닌 높은 광보상점이 요구되는 화훼류 및 과일작물에도 적용이 가능하다는 장점을 가지고 있으며 이에 본 사업의 최종목표에 부합하는 100W급 쿼터닷 소재를 적용한 식물성장용 LED 조명 시제품을 제작하고, 식물성장조명에 필요한 광균일도, 배광분포 및 등기구효율, PPF/D Data를 측정하여 그 특성을 평가하였음.
- 100W급 고출력 조명의 특성에 따라 PCB 위에 329개의 LED PKG가 발광하는 구조로, LED PKG는 사출캡이 적용된 Blue 450nm, White, 3가지 파장을 가지는 Red LED PKG의 구성으로 이루어져 있으며, 하부는 브라켓 설치를 통해 천장에 고정 가능하기 때문에 Test Bed System에서도 적용이 가능한 구조로 제작되었음.

[표 31] 100W급 식물성장조명의 전기적/광학적 특징 (PPFD - 100mm 거리 측정)

	PPFD	PPF-B	PPF-G	PPF-R	PPF-NIR
PPFD 측정 [ $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ]	<b>1,430</b>	299	171	960	241
	소비전력	공급전압	공급전류	PF	
전기적 특성 측정	<b>100.8W</b>	220V	463mA	0.989	

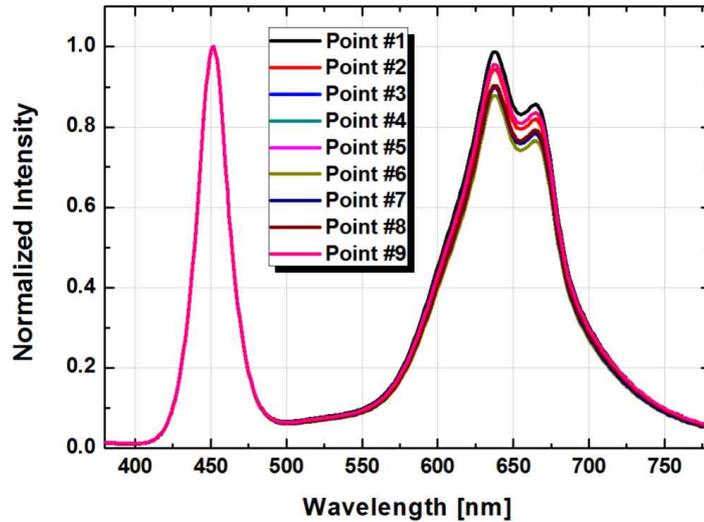
### 1) 광 균일도 특성 평가

- 본 사업의 당초계획에 명시된 것과 같이, 1m 떨어진 벽면에 조사된 빛의 분포를 9-Point로 일정거리별로 나누어 Portable Spectrometer 장비를 이용하여 균일도 특성을 평가하였음. 균일도 평가는 측정된 Spectrum 곡선의 Blue Area / Red Area 면적비율, 그리고 PPF/D 균일도 측정의 2가지 방식으로 진행되었음.



[그림 101] 100W급 투광형 식물성장조명의 균일도 측정실험

- Spectrum의 Blue Area / Red Area Ratio에 따른 균일도를 산출하였음.
- Portable Spectrometer를 이용해 측정된 9-Point의 Spectrum Data에 대해, 앞서 Linear 식물성장조명의 특성평가 부분에서 언급된 Blue Area, Red Area, Uniformity 산출공식에 따라 Data를 분석하였음. 400~499nm에 해당되는 Blue Area와 570~699nm에 해당되는 Red Area의 면적을 산출한 후, Blue Area / Red Area로 Point #1~#9에 해당되는 값을 계산하여 균일도 산출공식에 적용하여 평가를 진행하였음.



[그림 102] 100W급 투광형 식물성장조명의 9-Point Spectrum Graph.

[표 32] 100W급 식물조명의 Blue / Red 영역 면적비율에 따른 균일도 측정 결과

QD Linear	Point #1	Point #2	Point #3	Point #4	Point #5	Point #6	Point #7	Point #8	Point #9
Blue Area	30.24	30.16	30.07	29.99	30.01	29.99	30.01	30.07	30.16
Red Area	78.31	74.74	71.52	69.63	71.39	69.58	71.18	71.78	75.85
Blue/Red	0.3862	0.4035	0.4204	0.4307	0.4204	0.4310	0.4216	0.4189	0.3976

Maximum	Minimum	Average	Uniformity [%]
0.4310 (Point. 6)	0.3862 (Point. 1)	0.4145	94.59

- 벽면에 조사된 9-Point의 균일도 측정결과, 94.59%로 양호한 균일도 특성을 확인하였음.
- 일정 거리(1m)에서의 PPF에 따른 균일도를 측정하였음.
- Portable Spectrometer를 이용해 측정된 Spectrum에 대한 9-Point에 해당되는 PPF Data를 확인 후 균일도 산출공식에 따라 계산된 값을 확인하였음. 10cm 이격거리에서 측정된 PPF 평균치는 1,430umol/m<sup>2</sup>/s의 특성을 가지고 있으나, 1m 이격 시 평균 PPF 값은 약 15.03umol/m<sup>2</sup>/s로 확인되었음.

[표 33] 100W급 식물조명의 Blue / Red 영역 면적비율에 따른 균일도 측정 결과

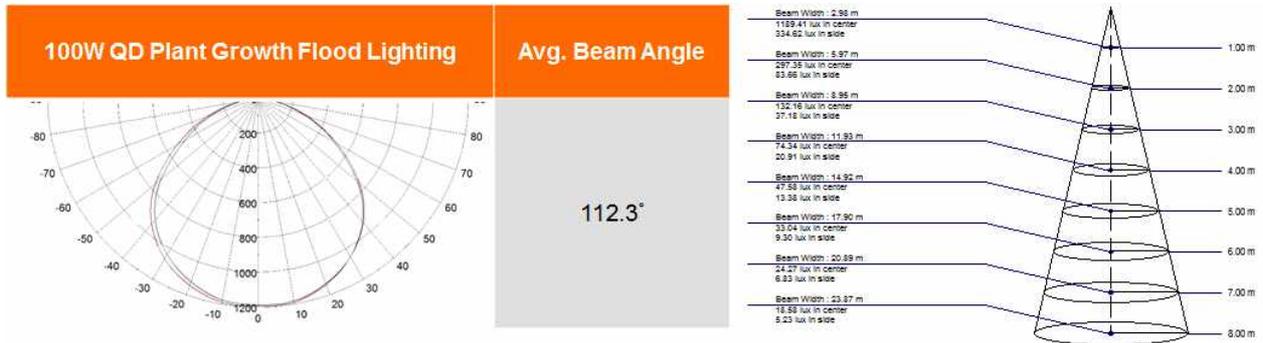
QD Linear	Point #1	Point #2	Point #3	Point #4	Point #5	Point #6	Point #7	Point #8	Point #9
PPFD	14.18	14.98	15.41	16.12	16.09	16.02	15.23	13.97	13.30

Maximum	Minimum	Average	Uniformity [%]
16.12 (Point. 4)	13.3 (Point. 9)	15.03	90.61

- PPFD 값에 따른 균일도특성 평가 결과, 90.61%로 당초 정량적 목표인 광균일도 90%를 상회하는 양호한 결과값을 확인하였음.

## 2) 배광 분포 평가

- 제작한 Sample의 배광분포를 배광기 장비를 이용한 조명의 Average Beam Angle에 따른 배광분포 특성을 확인하였음.



[그림 103] 100W급 식물성장조명의 배광분포(좌) 및 Conical Illuminance(우).

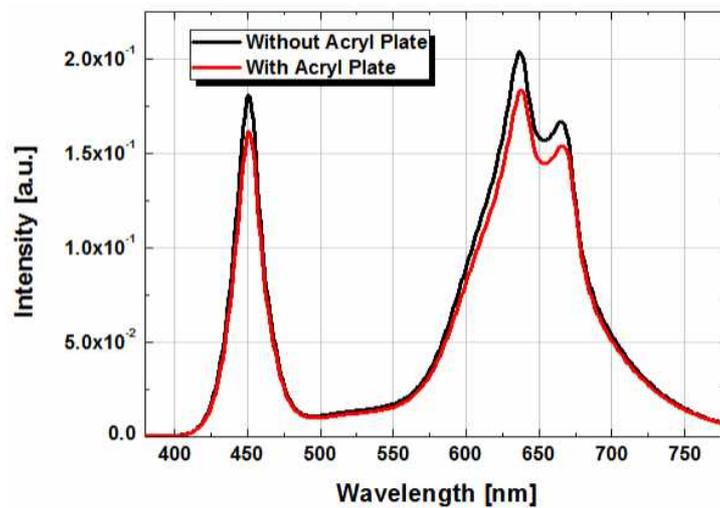
- 사출캡을 LED PKG위에 적용함에 따라 LED PKG에서 발생된 빛의 경로상에 위치한 사출캡과의 광여기와 굴절을 통해 새로운 빛의 경로가 발생됨에 따라 배광각도는 112.3°값을 유지한 것으로 보여짐. 본 결과 역시 최종 정량적 목표인 110° 배광각유지 등기구 구조 설계기술 개발에 부합하는 양호한 결과값을 확인하였음.

### 3) 등기구효율 특성평가



[그림 104] 100W급 식물성장조명의 등기구효율 측정을 위한 Acryl Cover 적용 전(좌), 후(우).

- 먼저 주관기관에서 보유중인 적분구 장비를 이용하여 100W급 식물성장조명의 등기구효율 특성을 평가하였음. Acryl Cover에서 발생하는 흡수율에 따라 Spectrum의 Intensity가 전체적으로 감소된 것을 확인하였음. 이의 정확한 분석을 위하여 적분구에서 측정된 Acryl Cover 등기구 적용 전, 후에 따른 광효율 값을 비교하여 등기구 효율을 확인하였음.



[그림 105] 100W급 식물성장조명의 Acryl Cover 적용 전후에 따른 Spectrum 비교

[표 34] 100W급 식물조명의 Acryl Cover 적용 전후에 따른 등기구효율 평가 (자체평가)

Model	Luminous Flux [lm]	L. Efficiency [lm/W]	Power [W]	Voltage [V]	Current [A]	Power Factor	Frequency [Hz]	Luminaire Efficiency [%]
Without Acryl Plate	3,876	39.2	99.0	220.1	0.4546	0.9890	60	-
With Acryl Plate	3,522	35.8	98.3	220.1	0.4517	0.9890	60	<b>91.3</b>

- Acryl Plate 적용 전후에 따라 광효율 값에 변화가 발생하였음. Acryl Plate 적용 전에는 39.2 lm/W에서 적용 후에는 35.8 lm/W로 8.7% 감소된 결과값을 확인함으로써 자체평가 시

의 등기구 효율값은 약 91.3%로 측정되었음.

- 이번에는 공인시험기관인 한국조명연구원에 적분구 장비를 이용하여 Acryl Cover 적용 전 후에 따른 등기구 효율 값을 측정되 하였음.

[표 35] 100W급 식물조명의 Acryl Cover 적용 전후에 따른 등기구효율 평가(공인시험기관)

Model	Luminous Flux [lm]	L. Efficiency [lm/W]	Power [W]	Voltage [V]	Current [A]	Power Factor	Frequency [Hz]	Luminaire Efficiency [%]
Without Acryl Plate	3,891	38.9	99.2	220	0.449	0.9960	60	-
With Acryl Plate	3,498	35.3	99.1	220	0.445	0.9881	60	90.7

- 공인시험기관에 의뢰한 Data를 비교한 결과, 자체평가 Data와 아주 유사한 결과값을 확인 하였으며, 이번에도 90%가 넘는 높은 등기구효율 값을 확인하였음. 이로써 식물성장조명의 등기구효율 최종 정량적목표인 90%를 넘는 특성이 확인되었음.

### 3. 태양전지모듈 적용 에너지 절약형 LED 조명 전력공급 시스템

#### 가. 태양전지 모듈 적용 전력공급 시스템의 구성

- 본 연구개발과제에 적용될 LED 보광등의 에너지 소비를 줄이기 위한 시스템으로 태양광 전력공급 시스템을 구성할 계획임. 이는 최종 제품에 있어서 소비자의 선택사양으로 제시 되며, 태양광 시스템의 용량 크기 또한 정할 수 있도록 할 계획임.
- 시스템의 구성은 [그림 106]과 같이 태양전지모듈에서 발전한 에너지를 충전지에 충전 컨트롤러를 통하여 충전한 후, 보광이 필요한 시기(일출 전, 일몰 후, 흐린 날 등)에 점등하여 사용하게 하며, 흐린 날의 태양전지모듈을 통한 발전량이 부족한 경우에는 상용전원 SMPS 전원공급장치로부터 에너지를 공급받도록 전원공급장치를 이원화함. 기본적으로 하루 일출 및 일몰 2시간씩 4시간을 추가로 조명으로 보광하는 것으로 정의함.
- 이에 맞추어, 태양전지 모듈을 선정하고, 축전지 및 충전 컨트롤러를 설계하였음. 우선 1차 년도에는 1단위 모듈(15W)을 기준으로 기초설계를 하여 Sample Test를 하고 있음.
- 15W의 식물성장등 조명을 (일출 및 일몰 기준) 하루 4시간을 켜 때, 약 60Whr의 전력이 필요함.
- 통상 우리나라의 평균 일조 시간은 3.5시간으로 계산하였을 때, 태양전지 모듈은 약 17W급 이 요구되나, 흐린날의 전력생산량 부족 및 태양과의 각도차이에 따른 생산량 부족을 고려 하여, 2~3배의 고효율이 가능한 구조로 태양전지 모듈을 설계함. 이에 따라서 약 30W~40W 급 태양광 모듈을 선정하였음.
- 12V와 24V용 태양전지가 일반적으로 많이 사용하고 있음. LED 식물성장등의 설계에 있어

서, Blue 및 자체 생산하는 Red LED의 전압 특성을 고려할 때, 24V의 태양전지를 사용하는 것이 요구됨. 이에 따라서 24V로 구성할 수 있도록 태양전지 패널을 선정함.

- 축전지는 통상적으로 1일 사용량보다 3~4배 정도로 더 큰 것을 사용하는 것이 필요함. 이는 흐린날 등의 발전량이 적을 때, 하루 60Whr를 소비한다고 가정했을 때, 180W이상의 배터리 용량으로 선정할 필요가 있으며, 24V 전압 출력으로 약 7.5Ahr의 축전지로 결정하였음.
- 태양전지와 축전지 및 LED 조명 부하의 충방전 및 과전압/전류 제어를 위해 충전 컨트롤러도 함께 설계하였음.

#### 나. 태양전지 모듈 시스템 제작

- 전원공급부의 연결선 설계 오류를 수정하여, 아래와 같이 재설계하였으며, 25W급의 쿼터닷 식물성장등을 이용하여 동작하도록 설계하였음.



[그림 106] 태양전지형 식물성장등 전원공급 구조.



[그림 107] 태양전지형 식물성장등 전체 모듈.

#### 4. 원격제어 시스템의 설계 및 시제품 제작

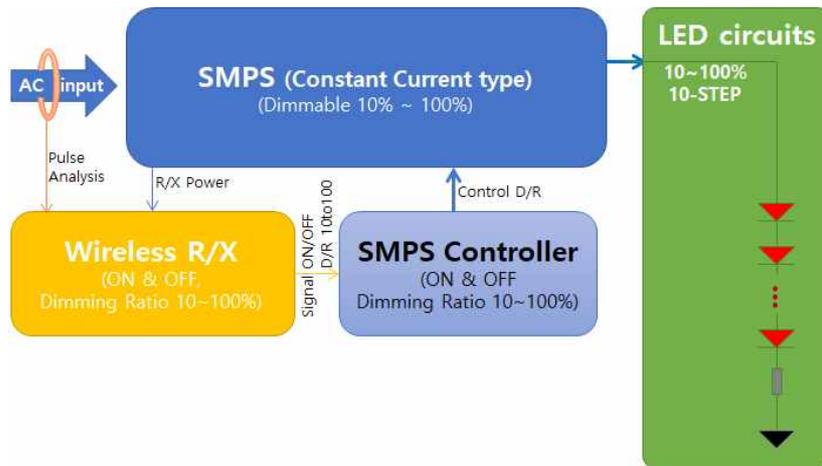
### 가. 조명제어용 원격제어 시스템의 설계 및 구성

- 원격제어장치는 시설하우스에 적용한 식물생장용 퀀텀닷 조명의 디밍제어로 필요한 양의 에너지만으로 점등하기 위한 제어장치 시스템으로 설계되며, 외부의 리모콘으로 동작하도록 설계함.
- 개념적으로는 [그림 108]에 보여지는 것과 같이 외부의 리모컨을 이용하여 조명등에 설치되어 있는 무선수신제어장치를 통하여 조명의 전원장치(SMPS)의 전력을 제어하는 간단한 방식으로 구성되어 있음.



[그림 108] 원격제어 장치의 개념도.

- 수신부인 조명등 내부에서는 무선 수신기로부터 ON/OFF 정보, 디밍 Step 정보를 입력받고 분석하여, 그 결과에 따라서 SMPS의 출력값을 제어하도록 구성되며, 출력의 제어는 곧 조명의 광량 제어와 직접적으로 일치하게 되는 구조로, 그 회로 구성은 아래와 같음.



[그림 109] 수신부(조명장치)의 제어 구성도.

- 원격무선제어는 조명등의 ON/OFF 제어와 휘도제어(10 ~ 100%)회로로 구성하며, SMPS의 출력 디밍제어는 PWM pulse 제어방식으로 출력을 제어함. 전류량에 비례한 휘도를 발하는 LED 조명소자의 특징을 고려하여 정전류형으로 제어하였음.

## 나. 조명제어 시스템의 제작 및 동작

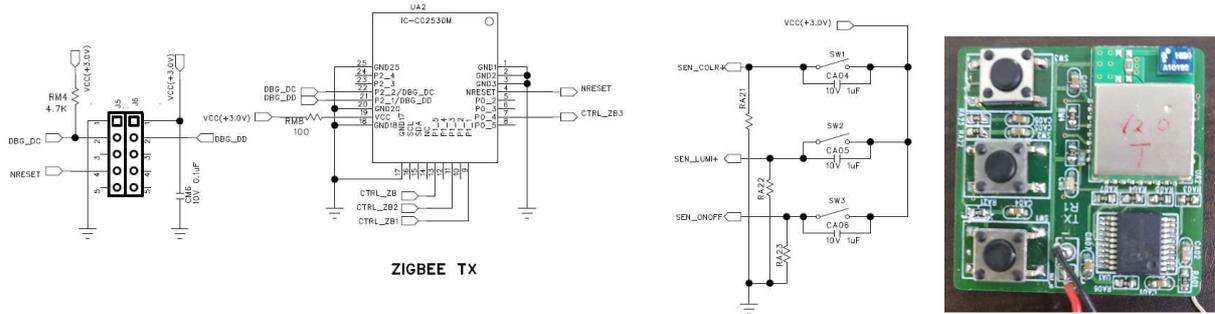
### 1) 무선 송신 회로

- 원격제어장치는 스위치를 누른 경우를 출력 제어 하도록 간단히 설계되며, Zigbee 송신모듈로 출력 제어하였음.



[그림 110] 무선송신제어기의 Software 구성도.

- 이에 따른 제어 스위치부와 송신부로 간단히 회로가 구성되며, 동작 Sample로 제작된 회로도에는 아래와 같음.

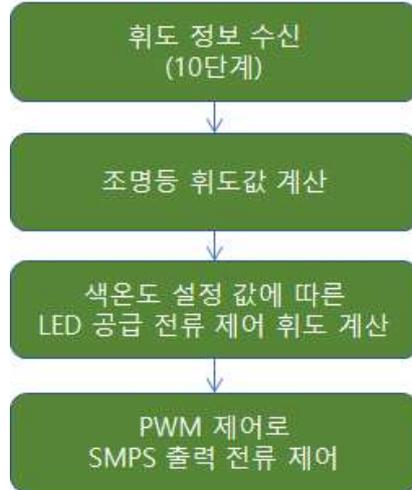


[그림 111] 무선송신 모듈 회로도 및 제작 모듈.

### 2) 무선 수신 제어 회로

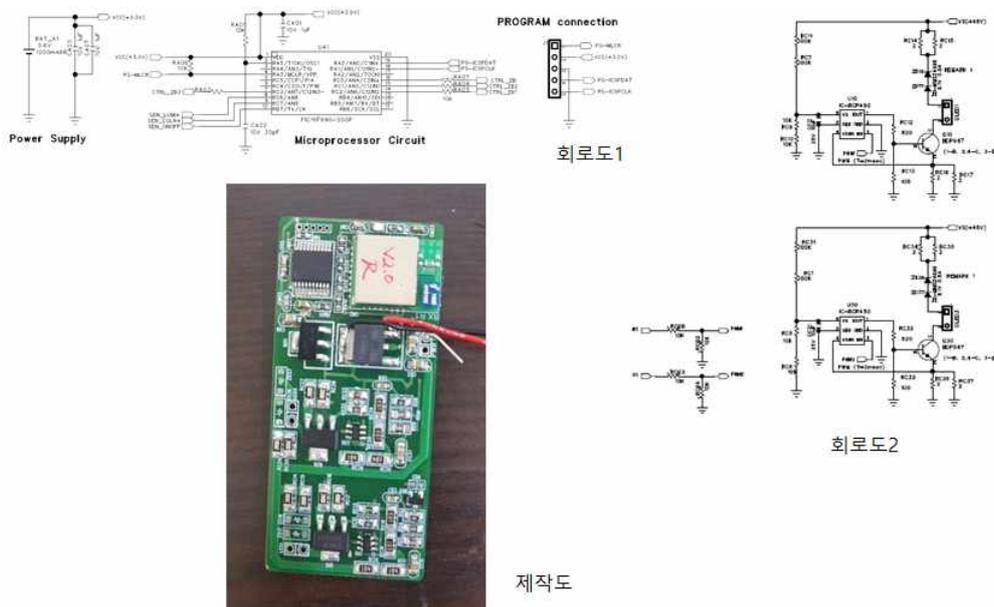
- SMPS를 제어하기 위한 수신모듈부는 제어회로의 무선스위치(리모컨)으로부터 수신받은 스위치 제어 신호를 해석하여, ON/OFF 제어 및 조명 휘도 제어로 동작하며, 휘도 제어는 10개의 STEP으로 동작함.

## SMPS의 수신 모듈 SoftWare



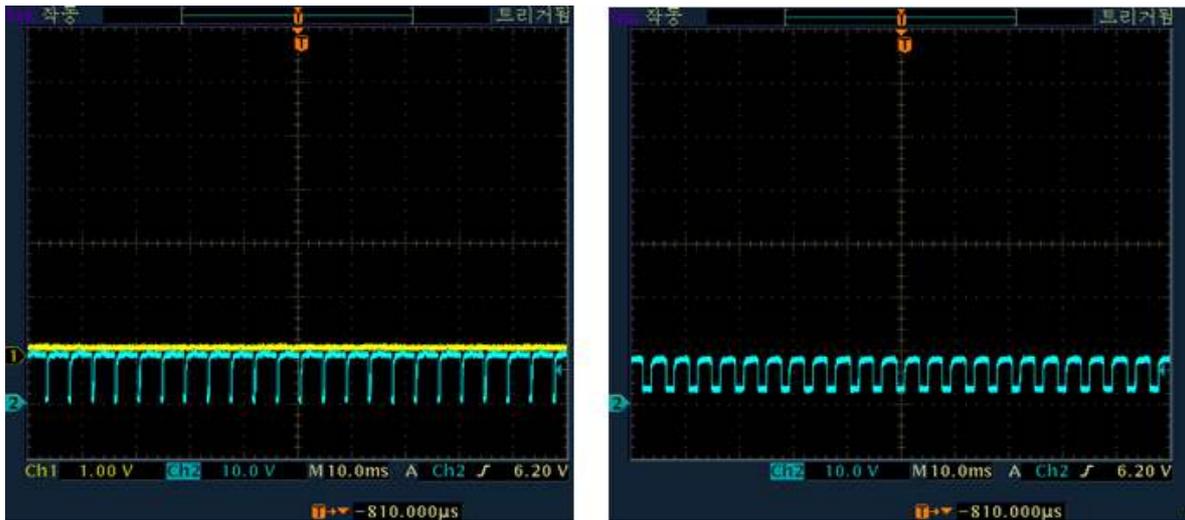
[그림 112] SMSP 디밍제어 Software 구성도.

- 원격무선제어는 조명등의 ON/OFF 제어와 휘도제어(10 ~ 100%)회로로 구성하였으며, SMPS의 출력 디밍 제어는 PWM pulse 제어방식, 전류량에 비례한 휘도를 발하는 LED조명소자의 특징을 고려하여 정전류 형으로 제어하도록 설계하였음. SMPS의 출력값의 100% Full 전류 load를 기준으로 10분할하여 제어함.
- 원격제어 시스템은 원격제어용 무선제어장치와, 원격조정이 가능한 SMPS 전원공급장치를 장착한 조명 등으로 구성됨. 원격제어용 무선제어장치는 ON/OFF 제어와 휘도제어 2가지 스위치가 주로 사용됨.



[그림 113] SMSP 디밍제어 회로도 및 제어보드.

- 그림은 제어회로의 출력 및 SMPS 전류스위칭소자의 입력을 나타낸 제어 파형으로 각각 휘도제어 스위칭 단계 9, 6를 나타내고 있음. 제어스위칭 주파수는 파수는 약 150Hz(6.8msec)로 Flicker를 고려하여 120Hz 이상으로 제어하였음. 총 0 ~ 10까지로 설정되어 있음.



[그림 114] 제어회로 출력 파형.

## 2-4절. 퀀텀닷 조명 적용에 따른 생육 영향 연구

### 1. 기존 LED 광원과 비교한 상추의 육묘 균일도 향상 연구

#### 가. 광발아 업체류의 발아 균일도 향상

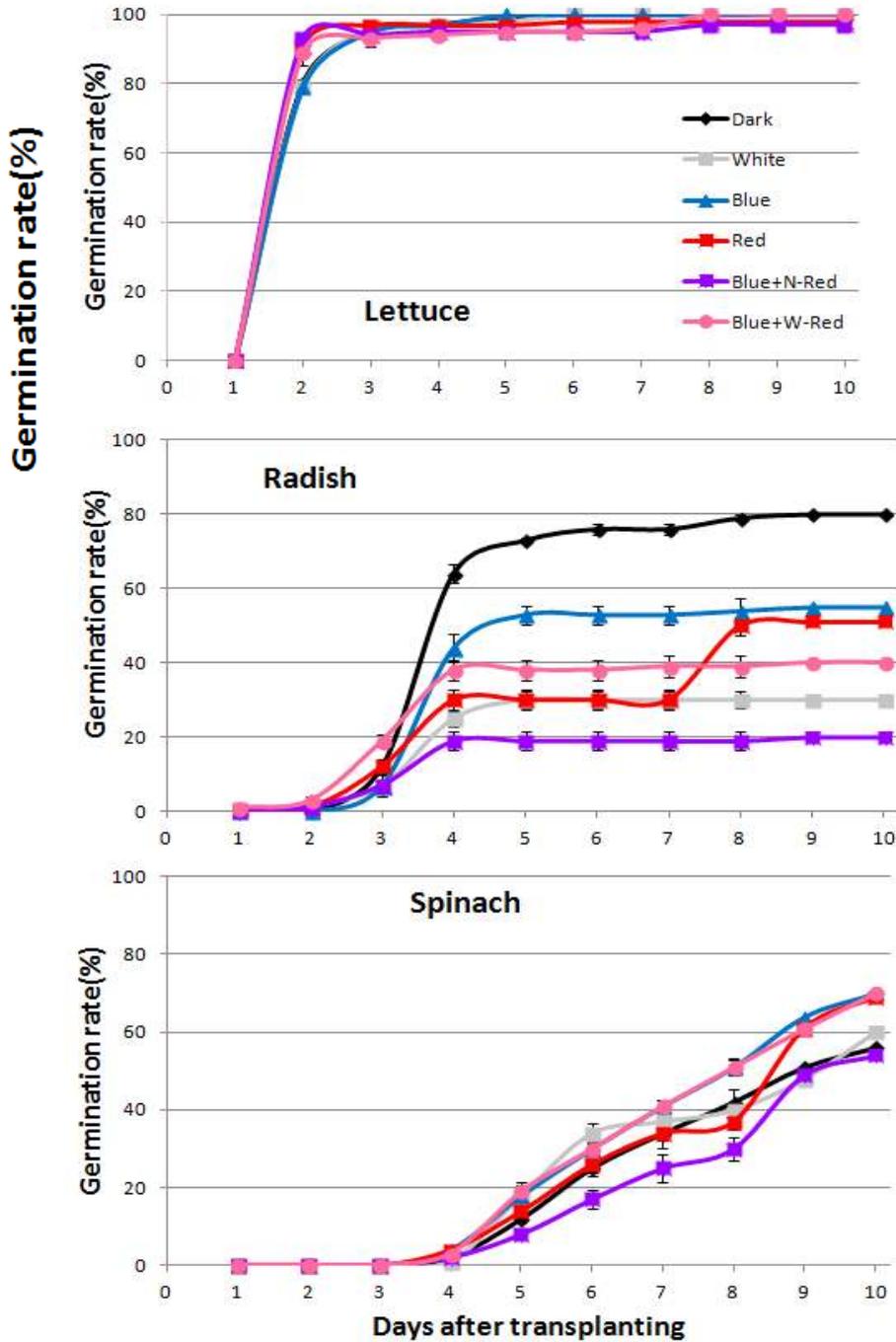
##### 1) 광발아 종자, 암발아 종자 및 광무관성 종자의 발아율 비교

###### - 연구 방법

- 온도 : 20℃ ±2℃
- 습도: 75~80%
- 일장: 16시간(장일), 8시간(단일)
- 대조구: Dark, White(암조건과 형광등)
- 처리구: Blue(450nm), Red(660nm), Blue+N-Red(660nm),  
Blue+W-Red(630+660nm, QD film 적용, 이하 QD-LED라 함)
- 공시재료: 상추 ‘진청로메인’, 무 ‘청두’, 시금치 ‘삼계’
- 처리방법: 폐쇄형 식물공장에서 각광별로 살레에 필터페이퍼를 깔고 증류수로 포화시켜 준 후 각각 종자를 25개씩 4반복으로 치상
- 조사내용: 발아율, 발아세(T50)

###### - 연구결과

- 식물공장용 LED 챔버 시스템에서 몇 가지 채소의 발아에 미치는 QD-LED 광원과 기존 광원들과의 비교를 위하여 수행하였음. 상추는 치상 1일 후 모든 광에서 빠르게 발아를 시작하여 치상 2일째 대부분의 처리구에서 80% 이상의 발아율을 보였음. 처리구 중 Blue+W-Red(QD-LED)광이 치상 8일째 100%의 발아율을 보였고, Blue+N-Red 광이 상대적으로 낮은 97%의 수치를 보였음.
- 암발아 종자인 무의 발아율은 암조건에서 79%로 가장 높았으며, Blue+N-Red광에서 19%로 가장 낮았음. 시금치의 발아율은 Blue+W-Red(QD-LED)광과 Blue광에서 70%로 가장 높았으며, Blue+N-Red광에서 가장 낮은 53%를 나타냄. 상추는 파종 3일후에 RED광이 빠른 발아 속도를 보였고, Blue+N-Red광이 발아가 더디게 이루어졌으나 파종 5일 거의 모든 종자가 발아 하였음. 무의 발아 속도는 Blue+W-Red(QD-LED)광이 상대적으로 빨랐고, Red광을 제외한 모든 처리구가 파종 5일경에 발아가 종료되었음. 무 종자의 Red광 처리구는 파종 7일 후 일부 다시 발아하는 현상을 보였음. 시금치는 모든 광아래 파종 3일 후 발아가 시작되어 조사 종료일인 10일까지 꾸준히 증가하였음.
- 조사 종료일인 10일 최종 도달한 발아율의 50%에 해당하는 날짜를 나타내는 발아세(T<sub>50</sub>)를 비교해보면, 상추와 무는 최대 0.5일 정도의 차이만 나타나 유사한 발아세를 보였으나, 시금치의 경우 White광과 Blue+N-Red광의 차이가 1.4일의 차이를 보여 광질에 따른 차이를 나타냄.

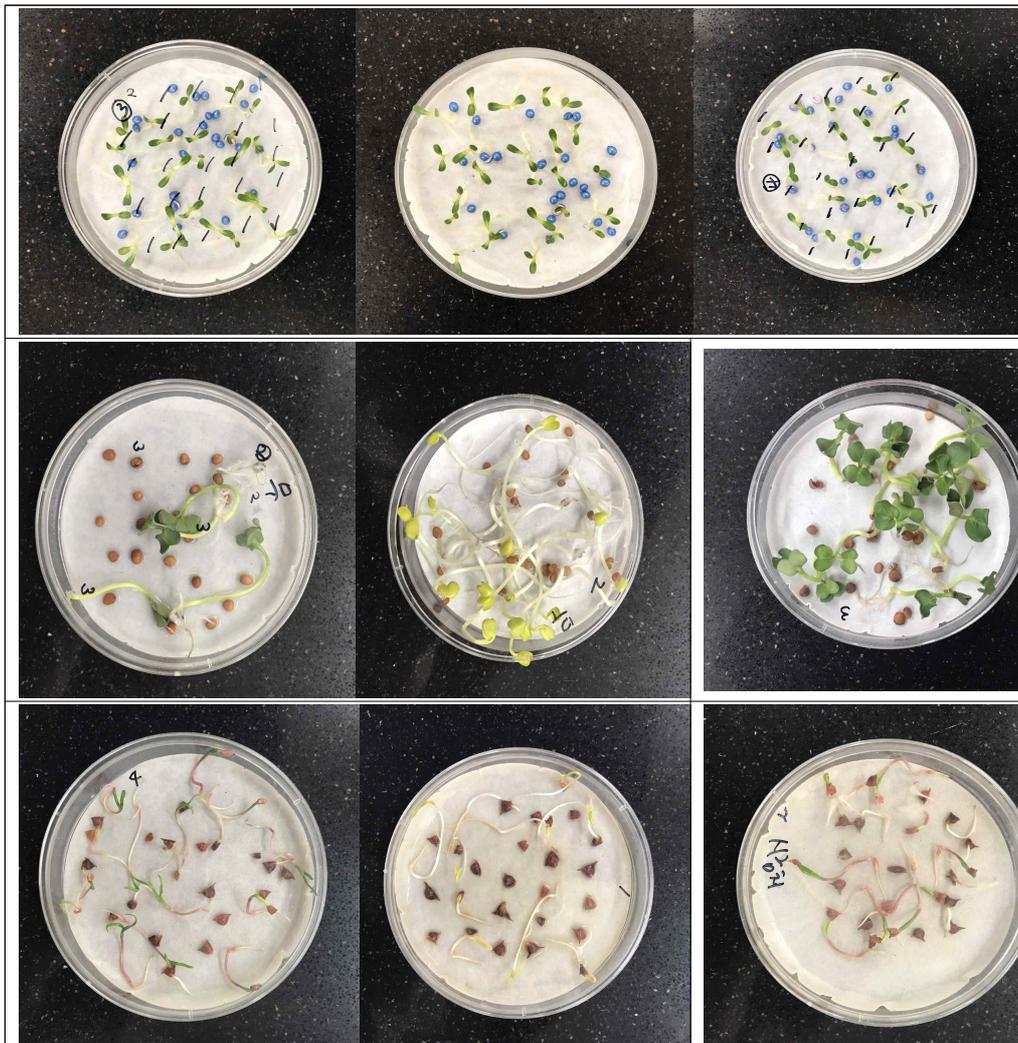


[그림 115] 각 광에서의 상추, 무, 시금치의 발아율 비교.

[표 36] 각 광에서 상추, 무, 시금치의 발아세( $T_{50}$ -days)

	DARK	White	BLUE	RED	BLUE +N-Red	BLUE +W-Red
상추	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2
무	3.5	3.5	3.5	3.4	3.4	3.0
시금치	6.1	5.7	6.5	7.0	7.1	6.5

- 결론적으로 상추는 모든 광에서 95% 이상의 높은 발아율을 보이며 광질에 따른 차이는 나타나지 않았고, 무의 경우 암발아 종자 특성상 Dark광에서 가장 발아율이 높았으며, 시금치는 Blue광과 Blue+W-Red(QD-LED)광에서 다소 높은 발아율을 나타내었음.
- 이에 반해, 상추, 무, 시금치 종자 모두 Blue+N-Red광에서 비교적 낮은 발아율을 보였음. 따라서 암발아종자를 제외한 광발아 또는 광무관성 종자의 발아시 QD-LED광의 효과적인 발아율 증가를 기대할 수 있을 것으로 판단됨. 발아 균일도를 대변할 수 있는 발아세의 경우 상추에서 White(형광등)에 비해 QD-LED에서 8% 증가하였음.



[그림 116] 파종 8일후 광 종류별 발아 사진(상: 상추, 중: 무, 하: 시금치)  
좌: BLUE 중: Blue+W-Red(QD-LED) 우: RED.

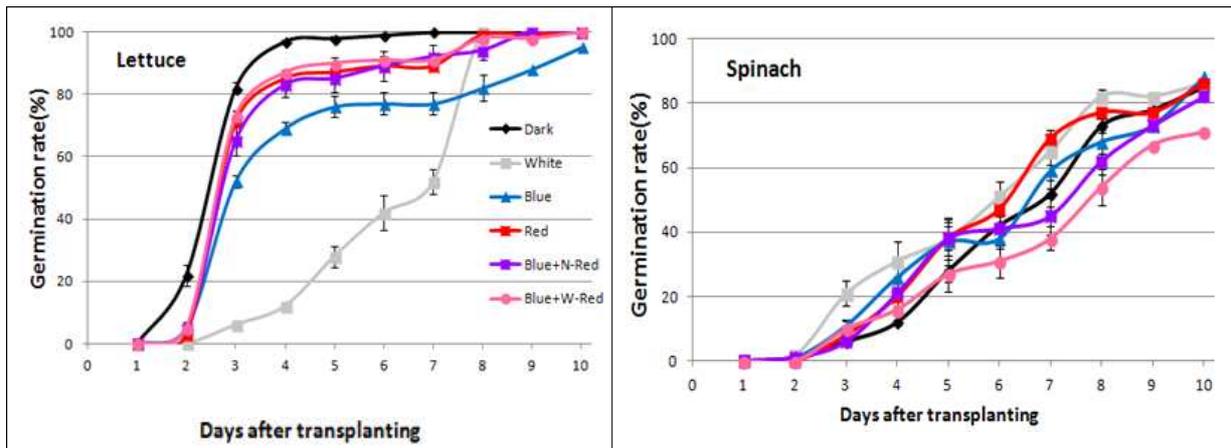
## 2) 광발아종자(적치마)와 광무관성종자(삼계)의 광별 발아율 비교 실험

### - 연구 방법

- 온도 : 20°C ±2°C
- 습도: 75~80%
- 일장: 16시간(장일)8시간(단일)
- 대조구: Dark, White(암조건과 형광등)
- 처리구: Blue, Red, Blue+N-Red, Blue+W-Red(QD-LED)
- 공시재료: 상추 ‘적치마’, 시금치 ‘삼계’
- 처리방법: 폐쇄형 식물공장에서 각광별로 살레에 필터페이퍼를 깔고 증류수로 포화시켜준 후 각각 종자를 25개씩 4반복으로 치상
- 조사내용: 발아율, 발아세(T<sub>50</sub>)

### - 연구 결과

- 공시 재료는 상추(적치마), 시금치(삼계) 종자를 사용하였으며 암발아종자인 무는 1차 발아시험 때 암조건에서 뛰어난 발아율 결과를 얻어 제외함. 광원과 온습도는 1차 발아시험과 동일하게 Blue+Narrow Red(680nm), Blue+wide Red(680+700nm)-QD LED, Blue(450nm), Red(660nm), White(형광등), Dark(암조건)으로 처리하였음. 챔버의 온습도는 각각 20°C ±2°C, 75~80%로 설정하였으며, 파종 후 10일째 최종 발아율을 조사하였음. 최종적인 발아율은 95%발아율인 BLUE 광을 제외한 모든 광에서 100%로 높은 발아율을 보임.



[그림 117] 2차 발아율 그래프: 상추(좌) 및 시금치(우).

[표 37] 각 광에서 상추, 시금치의 발아세(T<sub>50</sub>-days)

	DARK	White	BLUE	RED	BLUE+N-Red	BLUE+W-Red
상추	2.5	6.9	2.8	2.9	2.9	2.9
시금치	6.0	5.3	6.3	5.8	6.0	6.9

- 상추의 발아속도는, 파종 3일후에 암조건과 Blue+W-Red(QD-LED)광에서 발아가 비교적 빠르게 나타났으며, 파종 5일후에도 역시 같은 속도로 Dark 처리에서 98%발아, QD-LED에서 90%발아율로 높게 나타났음. 반면 White광에서 28%로 압도적으로 저조한 발아율을 보였음.
- 시금치의 발아속도는 상추와는 다르게 파종 3일후 White광에서 21% 발아율로 가장 빠르게 나타났으며, Blue+N-Red광과 Dark처리에서 동일하게 6%로 더딘 발아율을 보였음. 파종 5일후에는 Blue+W-Red(QD-LED)와 Dark처리에서 비교적 느린 발아속도를 나타냈으며, 이를 제외한 광에서는 동일한 발아속도를 나타냈음. 최종적인 발아율은 BLUE광에서 88%로 가장 높았으며, 발아율이 가장 저조하게 나타난 처리는 Blue+W-Red(QD-LED)광에서 71%로 나타났음. 발아 균일도를 대변할 수 있는 발아세의 경우 상추에서 White(형광등)에 비해 QD-LED에서 58%나 증가하였음.

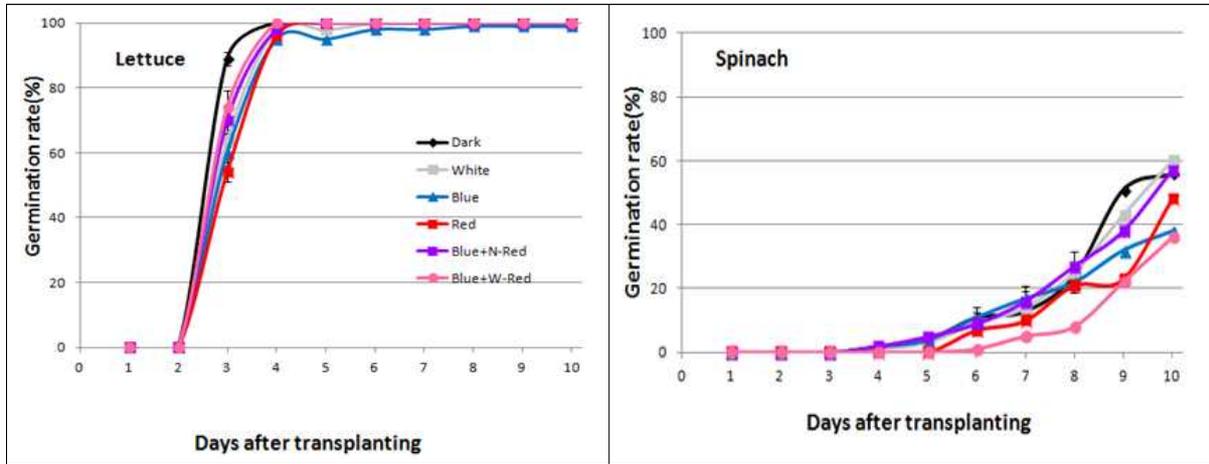
### 3) 광발아종자와 광무관성종자의 광 종류별 상토에서의 발아율 비교 실험

#### - 연구 방법

- 온도 : 20°C ±2°C
- 습도: 75~80%
- 일장: 16시간(장일), 8시간(단일)
- 대조구: Dark, White(암조건과 형광등)
- 처리구: Blue, Red, Blue+N-Red, Blue+W-Red(QD-LED)
- 공시재료: 상추 ‘진청로메인’, 시금치 ‘삼계’
- 처리방법: 폐쇄형 식물공장에서 각광별로 128공 육묘트레이에 상토를 채운후 각각종자를 25개씩4 반복으로 치상
- 조사내용: 발아율, 발아세(T<sub>50</sub>)

#### - 연구결과

- 상토에 파종하여 여러 가지 광 처리를 한 결과, 상추의 경우 파종 2일 후 급격한 발아속도를 보이며 파종 4일째 모든 광 처리구의 발아율이 90%이상을 나타남. 발아세의 경우 Dark 처리구가 가장 빠르게 나타났으며, Red광이 가장 낮았음. QD-LED의 경우 Dark를 제외하고 가장 빠른 발아속도를 나타내었으며 발아율도 가장 높았음. 시금치의 경우 파종 3일후부터 발아하기 시작하여 조사 종료일인 10일까지 모든 광 처리구가 꾸준히 증가함. 조사 종료일의 발아율은 white광 처리구가 가장 높았으며, Blue+W-Red광 처리구가 가장 낮았음. 발아세는 Blue광이 가장 빠른 7.4일이었고, Blue+N-Red광이 가장 느린 9.0일로 나타났음. 발아 균일도를 대변할 수 있는 발아세의 경우 상추에서 White(형광등)에 비해 QD-LED에서 11~14% 증가하였음.



[그림 118] 각 광에 따른 상추와 시금치 발아율 비교.

[표 38] 각 광에서 상추, 시금치의 발아세( $T_{50}$ -days)

	DARK	White	BLUE	RED	BLUE+N-Red	BLUE+W-Red
상추	2.3	2.8	2.6	2.9	2.5	2.4
시금치	8.1	8.2	7.4	9.0	8.1	8.9

#### 나. 광파장별 과채류 토마토 발아 및 초기생육 비교

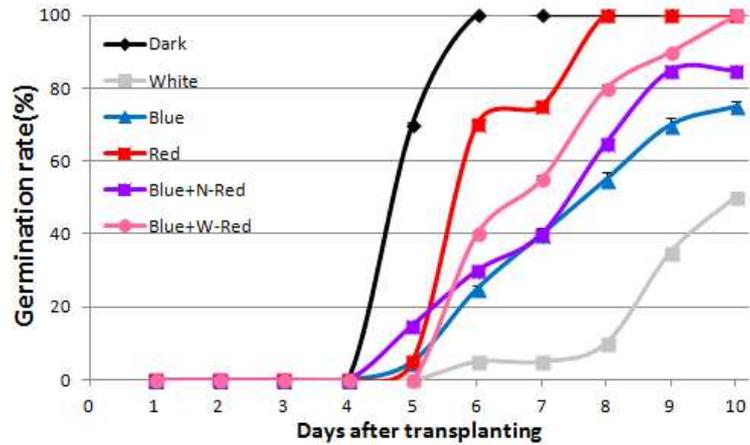
##### -연구방법

- 온도 : 28°C ±2°C
- 습도: 75~80%
- 일장: 16시간(장일), 8시간(단일)
- 광도: 150  $\mu$  mole/m<sup>2</sup>.s(10W 광원 10cm)
- 대조구: Dark, White(암조건과 형광등)
- 처리구: Blue, Red, Blue+N-Red, Blue+W-Red(QD-LED)
- 공시재료: 토마토 ‘듀네’
- 처리 방법: 폐쇄형 식물공장에서 각광별로 128공 육묘트레이 사이즈에 5x4 사이즈로 잘라 원예상 토에 파종
- 조사내용: 발아율, 발아세( $T_{50}$ ), 엽록소 함량, 묘 생육지수(초장, 엽장, 엽폭, 엽수, 경경, 잎자루의 길이, 색도, 건물중)

##### - 연구결과

- 과채류 육묘의 도장 억제를 위하여 몇 가지 광원을 토마토에 처리하여 비교 분석하였음. 토마토 종자 발아는 모든 처리구에서 파종 4일후부터 나타나기 시작하였음. Dark처리에서 가장 빠른 발아

속도를 보이며 파종 5일만에 모든 종자가 발아 하였으며, RED광은 8일, Blue+W-Red(QD-LED)광은 10일 만에 모두 발아하였음. White광 처리구가 가장 낮은 50%의 저조한 발아율을 나타냈음.

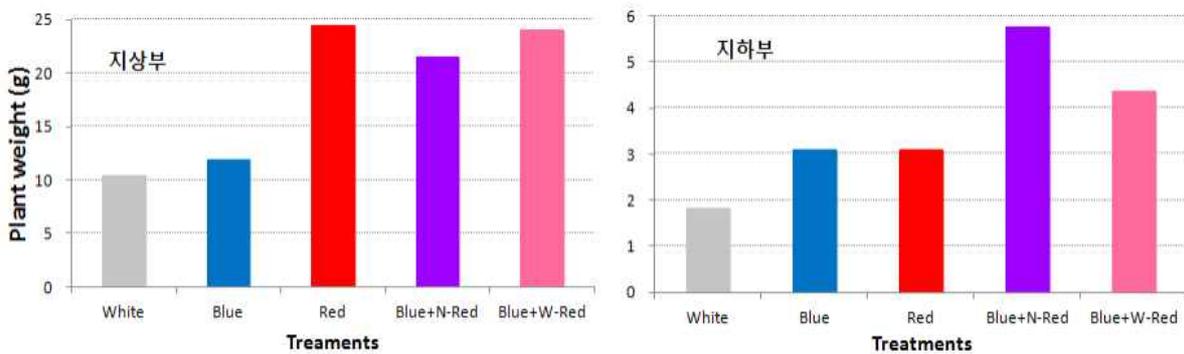


[그림 119] 광 종류별 토마토 발아율 비교.

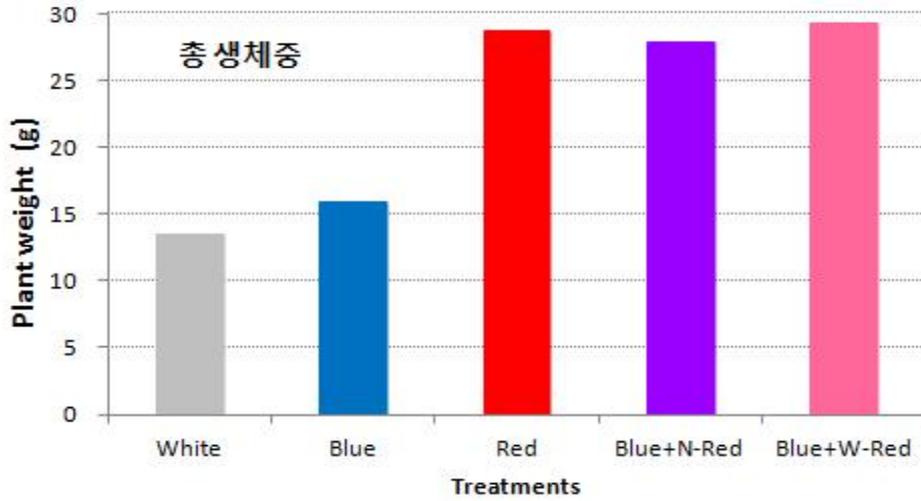
[표 39] 각 광에서 토마토의 발아세(T<sub>50</sub>-days)

	DARK	White	BLUE	RED	BLUE+N-Red	BLUE+W-Red
토마토	4.2	8.5	6.8	5.8	7.2	6.9

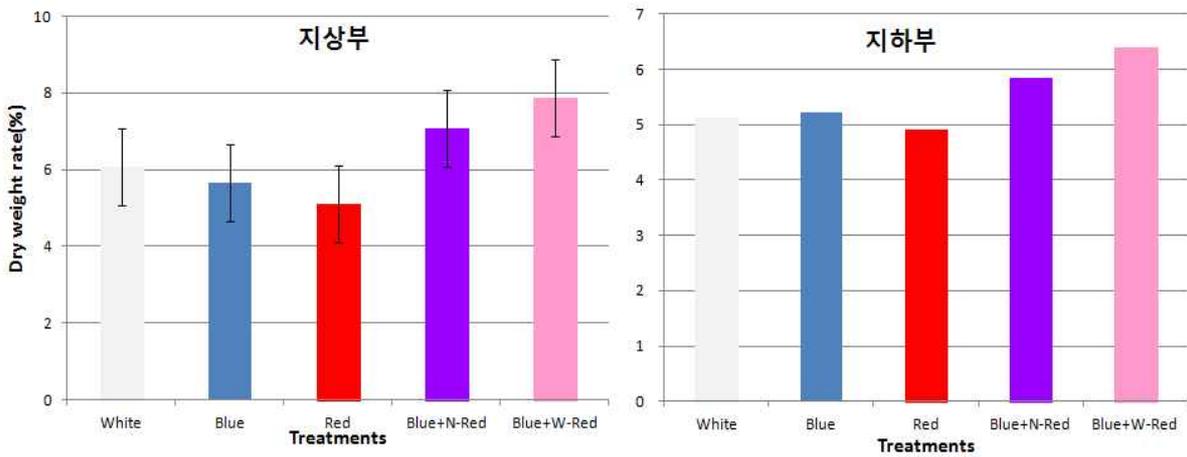
- 발아세는 Dark 처리구가 가장 빠른 4.2일, White광이 가장 느린 8.5일을 나타내었음. 파종 3주 후 육묘에 대한 조사결과, 지상부 무게는 Red광과 Blue+W-Red(QD-LED)광이 가장 높았으며, 지하부의 경우 Blue+N-Red광이 가장 높았음. 건물 중 지상부와 지하부의 값이 가장 높은 처리구는 모두 Blue+W-Red(QD-LED)광 처리구에서 나타남. 지상부와 지하부를 나눠 건물중을 조사한 결과 지상부와 지하부 모두 Blue+W-Red(QD-LED)광 처리구가 가장 높았음.



[그림 120] 광 종류별 토마토의 생체중(지상부, 지하부) 비교.

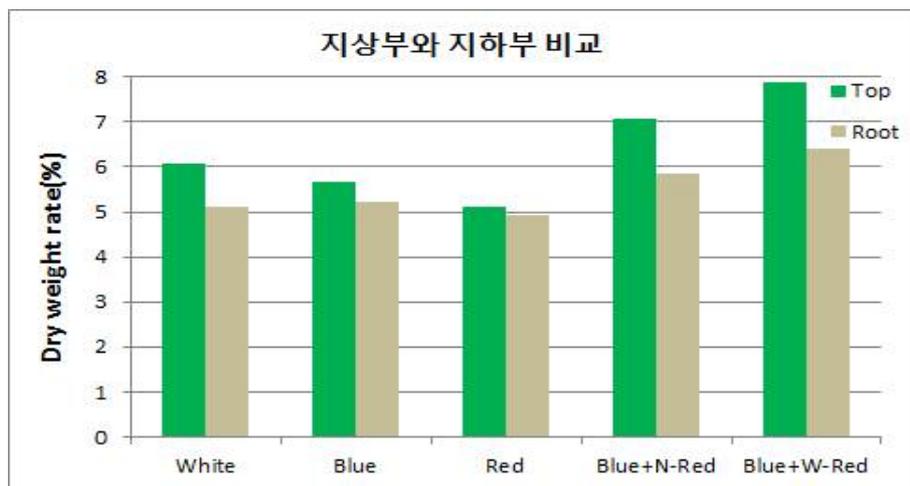


(a) 광 종류별 토마토의 총 생체중 비교



(b) 광 종류별 토마토의 건물중(지상부, 지하부) 비교

[그림 121] 광 종류별 토마토 총 생체중 비교.



[그림 122] 광 종류별 토마토 지상부, 지하부의 건물중 비교.

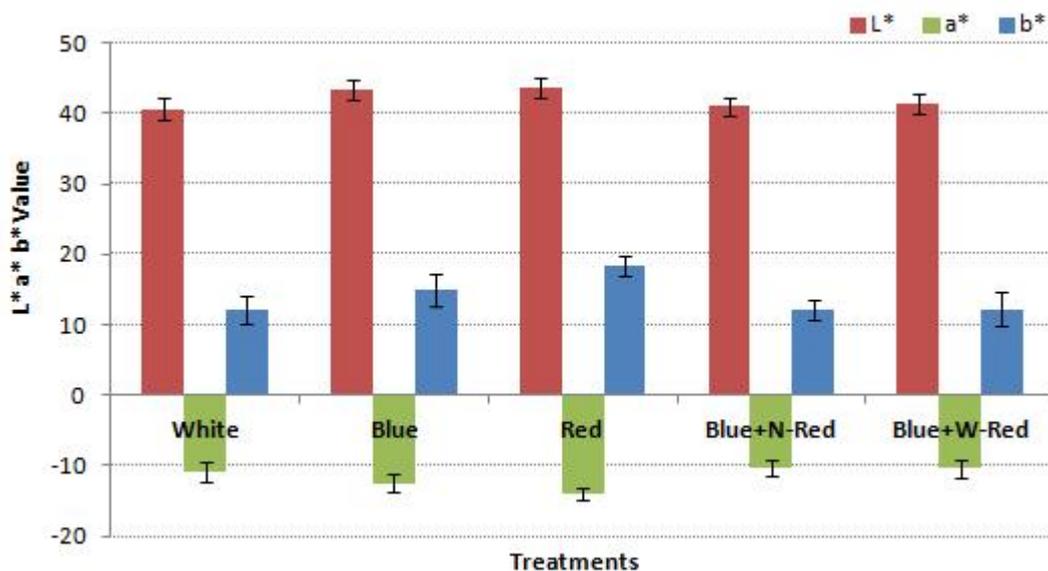
· 토마토 묘의 초장은 Red광이 가장 높았으며, Blue광이 가장 낮았음. 엽수와 엽장은 Blue광과

Blue+W-Red(QD-LED)의 수치가 높게 나타났으며, 엽폭과 엽병장은 Red광이 가장 높았음. 경경은 Blue+W-Red(QD-LED)이 가장 두꺼웠으며, 엽록소 함량은 Blue+N-Red가 가장 높았음. 색차계를 이용한 색도의 차이는 모든 처리구 유사한 값을 나타내었음.

- 위의 결과를 종합해 보면, Dark, Red, Blue+W-Red(QD-LED)광 처리가 토마토 종자의 발아율 100%를 나타내었고, 육묘 재배시 광 처리는 Blue+W-Red(QD-LED)가 지상부 무게와 건물중에서 다른 광 처리구에 비해 높은 수치를 보였음. 따라서, Blue+W-Red(QD-LED)광 처리는 토마토 묘의 도장을 억제하지는 않는 것으로 보이나, 다른 광 처리구에 비해 높은 경경, 건물중의 수치와 유사한 생육 정도를 나타내어 토마토 묘 생장에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단됨.

[표 40] 각 광에 따른 토마토 육묘의 초장, 엽수, 엽장, 엽폭, 엽병장, 경경 그리고 엽록소 함량 비교

	Plant height (mm)	No. of Leaf	Leaf length (mm)	Leaf diameter (mm)	Petiole length (mm)	Stem diameter (mm)	SPAD
White	115.7±11.8	6.6±0.5	73.5±5.5	49.3±8.2	27.0±5.2	2.6±0.3	39.3±3.9
Blue	100.0± 5.0	6.8±0.4	61.7±3.9	39.7±2.2	24.1±1.3	2.6±0.1	33.2±3.0
Red	144.5± 4.0	6.6±0.5	88.9±3.9	61.6±5.4	35.0±5.1	2.6±0.3	31.6±1.9
Blue+N-Red	134.0± 7.7	6.0±0.7	77.9±2.3	58.2±4.1	30.9±4.5	3.4±0.2	42.5±3.1
Blue+W-Red	140.6± 9.4	6.8±0.8	86.9±4.2	55.1±2.1	25.9±5.2	3.7±0.3	38.2±3.5



[그림 123] 각 광에 따른 토마토 육묘 잎의 색도.



[그림 124] Blue+N-Red광에서의 토마토 발아율.



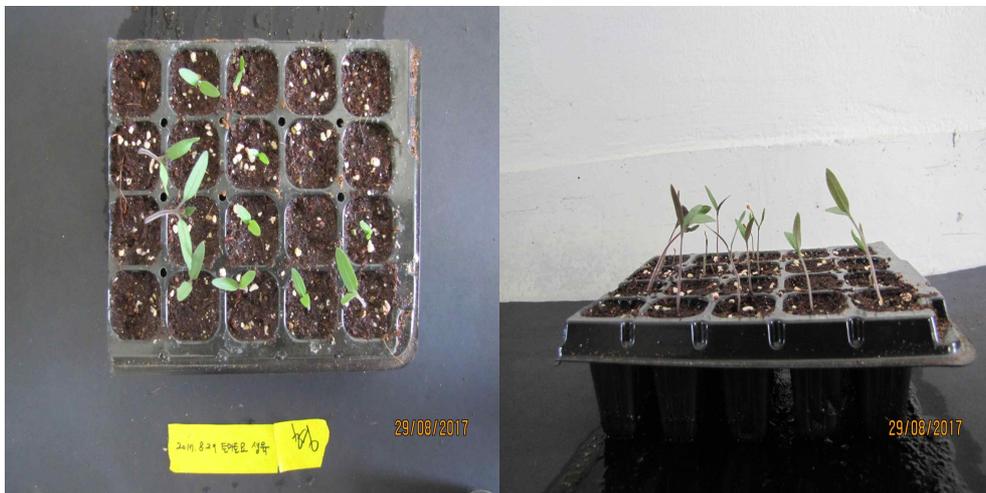
[그림 125] Blue+W-Red(QD-LED)광에서의 토마토 발아율.



[그림 126] BLUE광에서의 토마토 발아율.



[그림 127] RED광에서의 토마토 발아율.



[그림 128] White광에서의 토마토 발아율.



[그림 129] Blue+N-Red광에서의 토마토 육묘 생육(3주차).



[그림 130] Blue+W-Red(QD-LED)광에서의 토마토 육묘 생육(3주차).



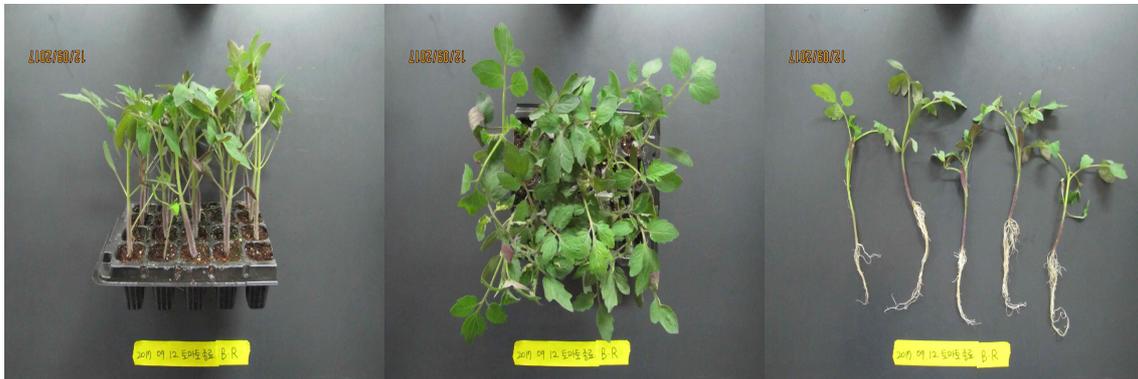
[그림 131] BLUE광에서의 토마토 육묘 생육(3주차).



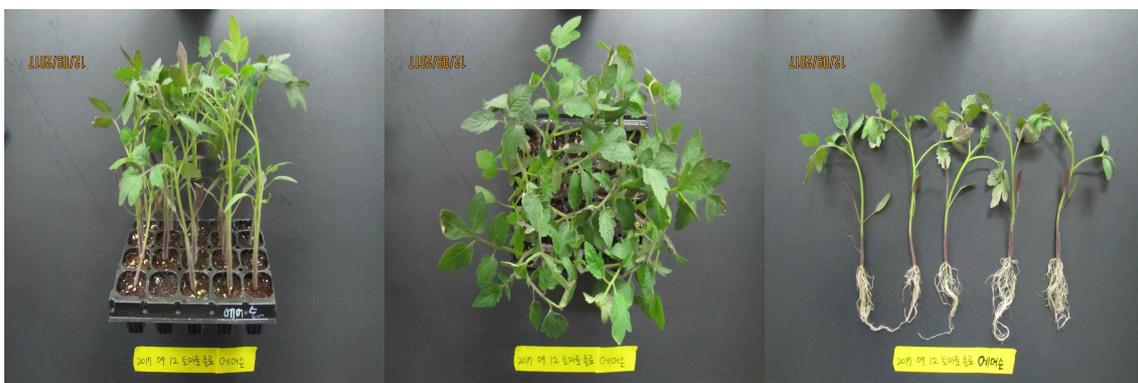
[그림 132] RED광에서의 토마토 육묘 생육(3주차).



[그림 133] White광에서의 토마토 육묘 생육(3주차).



[그림 134] Blue+N-Red광에서의 토마토 종료일 광 균일도 생육비교 사진.



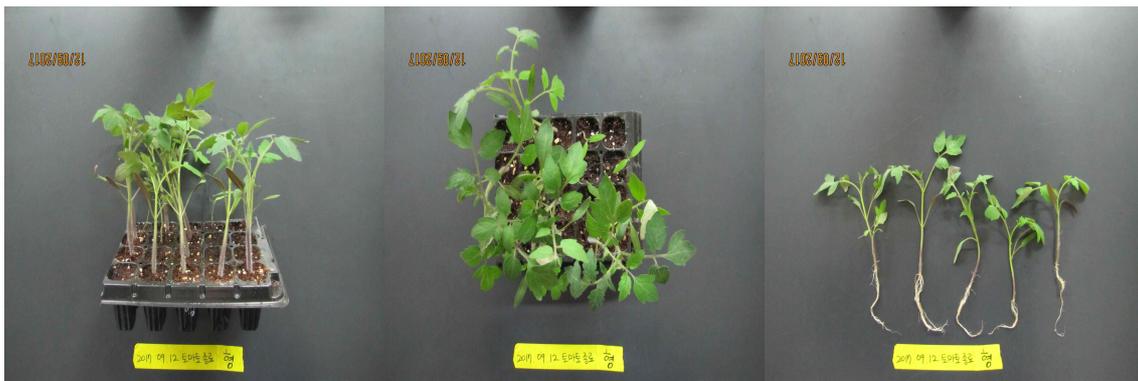
[그림 135] Blue+W-Red(QD-LED)광에서의 토마토 종료일 광 균일도 생육비교 사진.



[그림 136] BLUE광에서의 토마토 종묘일 광 균일도 생육비교 사진.



[그림 137] RED광에서의 토마토 종묘일 광 균일도 생육비교 사진.



[그림 138] White광에서의 토마토 종묘일 광 균일도 생육비교 사진.

#### 다. 기존 LED 광원과 비교한 상추, 토마토의 육묘 균일도 향상 연구

##### 1) 몇 가지 광 처리가 엽채류 ‘적 로메인’의 생육에 미치는 영향

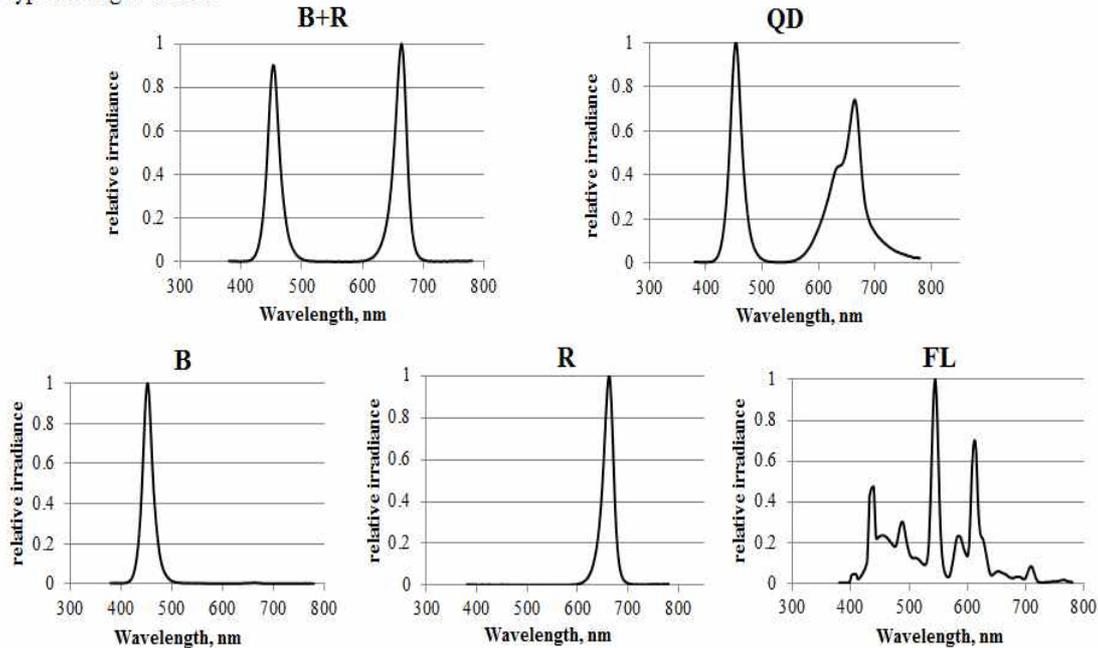
###### - 연구방법

- 재배 온도는  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , 습도는  $70 \pm 5\%$ 로 설정하였으며, 일장은 16시간/8시간(장일)로 설정하였음. 광원은 휴대용분광계로 각 광처리별  $150 \pm 5 \mu\text{mole}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 로 일정하게 함. 광 처리

는 청색광(Blue), 적색광(Red), 혼합광(Blue+Red), QD-LED(Blue+W-Red), 그리고 대조구로 삼파장 형광등(white)을 사용하였음.

- 공시 재료는 상추 ‘적로메인’ (아시아종묘)를 사용하였으며 폐쇄형 식물공장에서 128공육묘트레이를 5x4로 잘라서 원예 상토에 파종 후부터 생육을 관찰 조사하였음. 조사 항목으로는 초장, 엽장, 엽폭, 엽형지수, 지상부와 지하부의 생체중, 건물중과 건물율, T/R률을 측정하였음.

- 5 types of light source

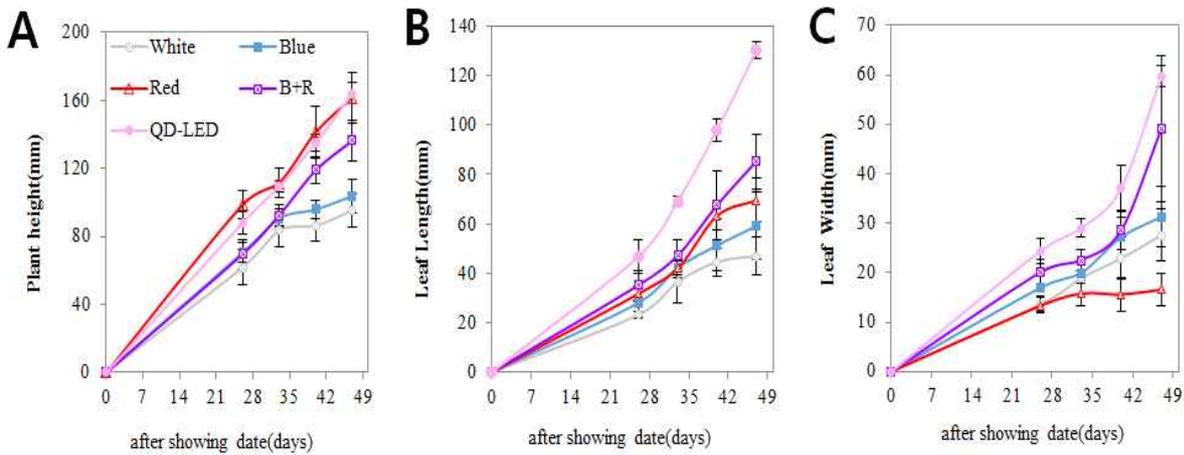


[그림 139] 본 실험에서 사용된 각 광들의 스펙트럼 분포.

- 연구결과

- 광 질에 따른 적로메인의 생육은 초장, 엽장 그리고 엽폭의 생육 인자별로 서로 다른 양상을 보였는데, 초장은 26일째에 적색(R)광에서 빠르게 자라기 시작했으며, 형광등(W)에서 가장 저조한 생육을 보이기 시작하였음.
- 생육 49일째 조사 종료일에는 적색(R)광과 QD-LED광에서 유의적인 차이 없이 가장 길었으며, 형광등(W)에서 가장 저조했으며, 청색광(B)과 형광등(W)에 비해 QD-LED광에서 약 1.5배 높은 수치를 보였음.
- 엽장은 생육초기부터 종료일까지 QD-LED광에서 가장 높은 수치를 보였으며, 형광등(W)에서 가장 낮은 수치를 보였음. 엽폭 또한 QD-LED에서 가장 높았지만 초장이 가장 길었던 적색(R)광에서 가장 낮은 수치의 엽폭을 보였음. 엽장과 엽폭은 조사기간 동안 QD-LED광, 혼합광(B+R)순으로 높았으며, 엽장이 가장 짧았던 형광등(W)은 QD-LED광의 36%의 수준이었으며, 엽폭이 가장 좁았던 적색광은 QD-LED광의 27%에 지나지 않았음.

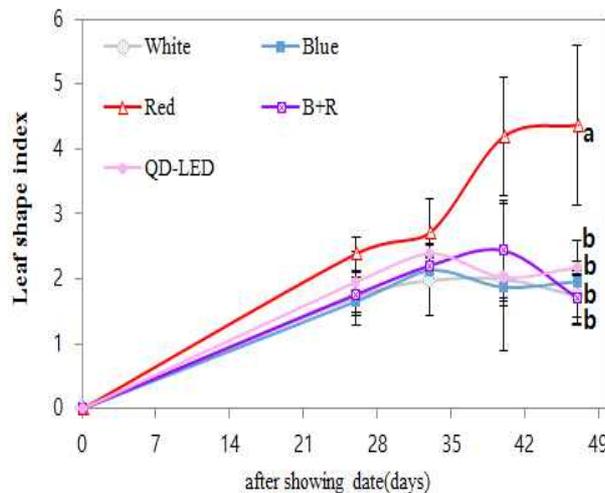
• Plant height, Leaf Length and Leaf Width



[그림 140] 각 광 처리별 적 로메인의 초장(A), 엽장(B), 엽폭(C).

• 광원이 적로메인의 형태 발달에 미치는 영향을 알아보기 위하여 엽형지수를 측정한 결과 적색(R)광원을 제외한 광에서 자란 상추는 일반적인 상추의 엽형을 유지한 반면 적색(R)광은 생육 후기로 갈수록 상추의 길이를 길게 유도하였으며, 초장 및 하배축의 길이가 촉진되어 도장하였음. 본 실험과 같이 적색(R)광의 엽형에 대한 효과는 이전 연구에서도 보고된바 있음.

• Leaf shape(Leaf Length/ Width)



[그림 141] 각 광 처리별 적 로메인의 엽형지수.

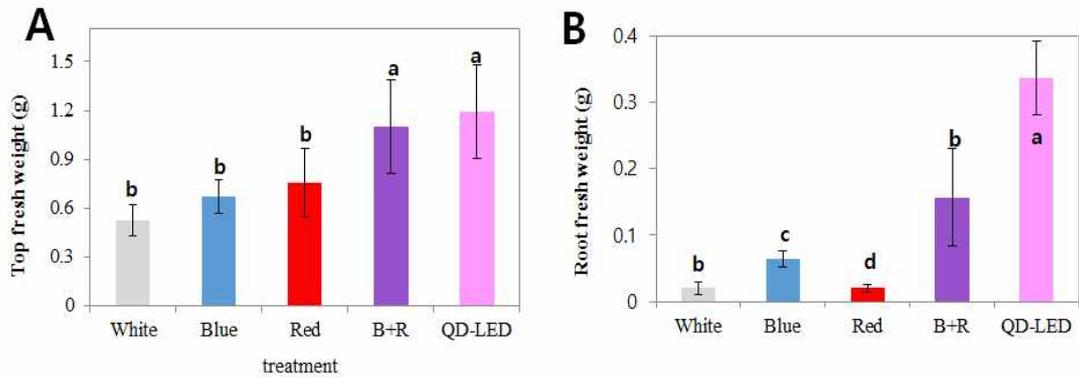
• 조사 종료일에 지상부의 생체중은 혼합광(B+R)과 QD-LED에서 유의적인 차이없이 가장 무거웠으며, 이외에 광에서는 비슷한 경향을 보였음. 또한 지하부의 생체중도 QD-LED광에서 가장 무거웠으나, 형광등(W)와 적색(R)광에서 가장 가벼웠음.

• 지상부의 건물중은 QD-LED광에서 가장 무거웠고, 다음으로 혼합광(B+R)이었으며 이외에 광에서는 유의적인 차이는 보이지 않았음. 지상부의 건물중 또한 가장 높았던 QD-LED를

제외한 광에서 유의적으로 차이가 나타나지 않았음. 지상부와 지하부의 생체중 비를 나타낸 T/R율은 적색광(R)에서 유의적으로 가장 높게 나타났으며, QD-LED광에서 1에 가장 가까운 수치를 보였음.

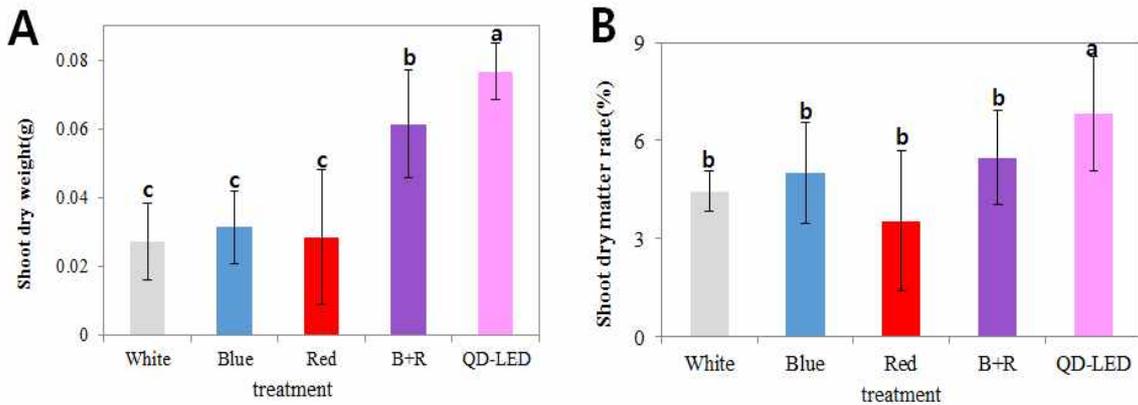
- 따라서 적색광(R)에서 자란 적 로메인은 다른 처리구에 비하여 뿌리가 연약하게 발달하여 지상부와 지하부의 불균형이 나타났다고 판단됨.

- fresh weight

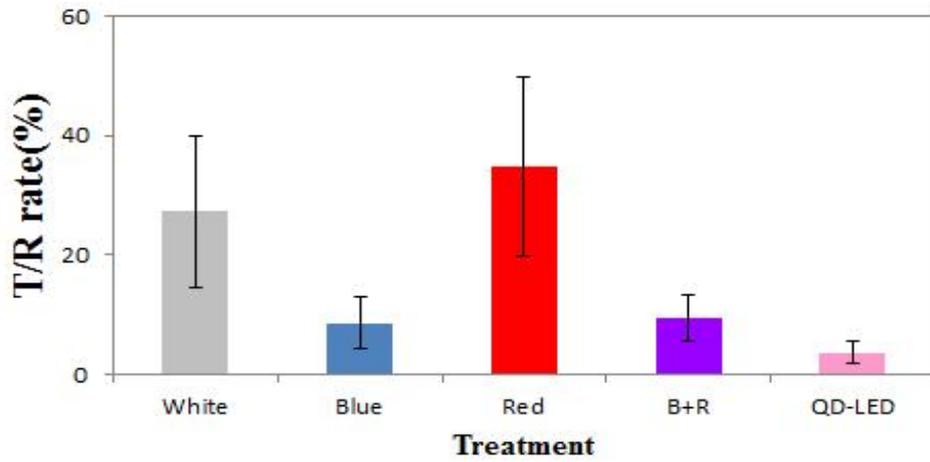


[그림 142] 각 광처리별 적 로메인의 지상부 생체중(A)와 지하부 생체중(B).

- Top dry weight and top dry weight rate



[그림 143] 각 광처리별 적 로메인의 지상부 건물중(A)와 지하부 건물율(B).



[그림 144] 각 광처리별 적로메인의 T/R률.

- 이와 같이 광 파장대가 달라짐에 따라 적로메인 어린잎의 생육반응에 유의적인 차이가 있었는데, 이중 청색과 좀 더 넓은 범위의 적색의 혼합광원인 QD-LED광하에서 적로메인 어린잎의 생육이 가장 우수하였음. 따라서 혼합 파장대를 가지는 QD-LED광을 식물공장에 실제 적용할 경우 이를 긍정적으로 고려해야 할 것으로 사료됨.



(a) Blue+Red



(b) QD



(c) Blue



(d) Red



(e) Cont.

[그림 145] 각 광 처리별 적로메인의 생육 중기.



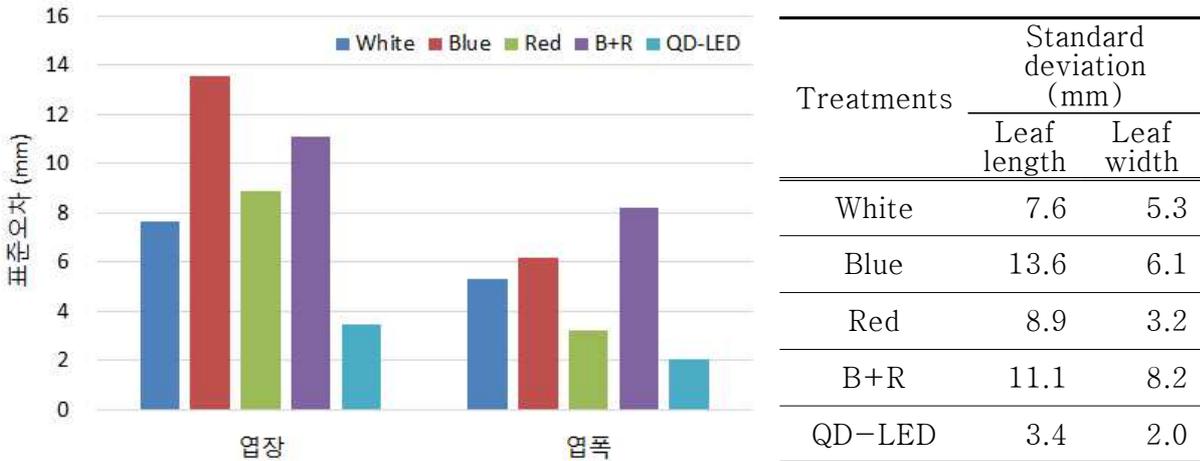
[그림 146] 조사 종료일에 각 광 처리별 적 로메인의 지상부와 지하부.

- 실험 결과

- 조사 종료일인 적로메인의 엽장과 엽폭을 비교해보면, 다른 처리구에 비해 수치가 높은 반면에 표준편차는 가장 작았음. 엽장은 기존 LED인 B+R 처리구에 비해 QD-LED는 69% 향상 되었고, QD-LED보다 낮았던 대조구(형광등: white)보다도 55% 향상되는 수치를 보였

음.

- 엽폭도 기존 LED인 B+R 처리구에 비해 QD-LED는 75% 향상되었고, Red 광보다도 37%나 향상되었음. 베이비채소 생산이 가능한 상추인 적로메인 재배시 QD-LED 광을 사용하는 것이 생육 상태와 균일도를 높이는 데 효과가 있는 것으로 판단됨.



[그림 147] 적로메인 조사 종료일 엽장과 엽폭의 표준편차.

## 2) LED 대비 몇 가지 광 처리가 과채류 토마토 접목묘의 활착율과 생육에 미치는 영향

### - 연구방법

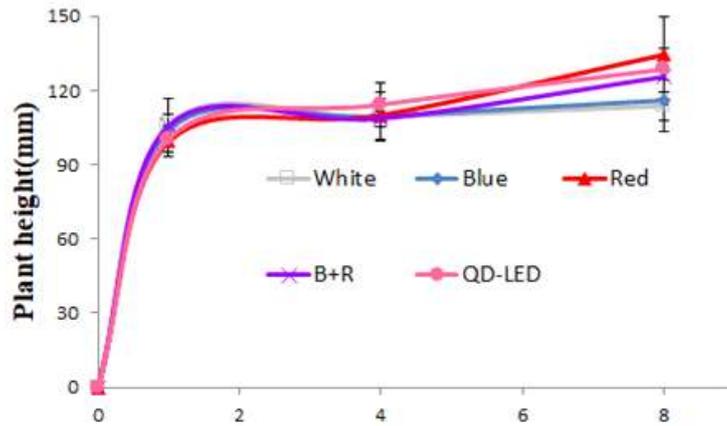
- 생육 온도는  $28 \pm 1^\circ\text{C}$ , 습도는 95~100%로 설정하였으며, 일장은 16시간/8시간(장일)으로 설정하였음. 광원은 휴대용분광계로 각 광처리별  $150 \mu\text{mole/m}^2\cdot\text{s} \pm 5$ 로 일정하게 맞췄음.
- 광 처리는 청색광(Blue), 적색광(Red), 혼합광(Blue+Red), QD-LED (Blue+W-Red) 그리고 대조구로 형광등(white)을 두었음.
- 공시 재료로는 토마토 ‘렉스(렉스골드 or 렉스에이디20)’를 사용하였으며 폐쇄형 식물공장에서 128공 육묘트레이를 5x4로 자른 뒤 원예 토마토 접목 후 부터 생육을 관찰 조사하였음. 조사 항목은 초장, 엽장, 엽폭, 경경, 엽수, 접목묘의 활착율(%)임.

### - 연구결과

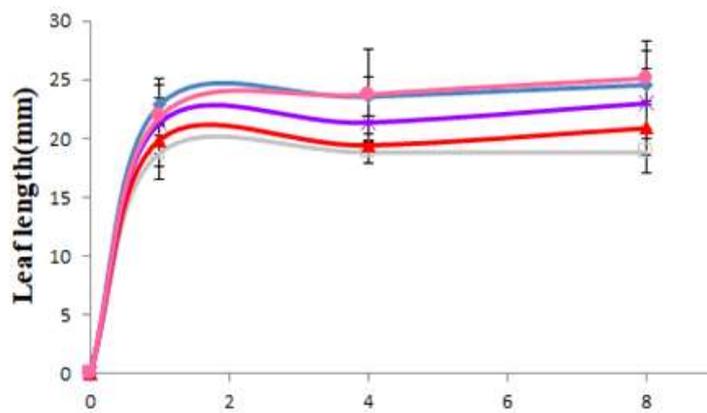
- 접목 후에는 활착과 순화의 단계를 거쳐야 함. 이 단계는 접목묘 생산에서 매우 중요한 과정으로, 이 과정에서 식물은 수분 스트레스를 비롯한 여러 스트레스를 받음. 따라서 스트레스를 줄이기 위해 적정 육묘 환경을 제공해야 함. 활착과 순화기의 광 환경은 매우 중요하며 상대습도는 접목 직후에 95% 이상으로 높게 설정하였으며, 점차 낮추어 환경에 적응할 수 있도록 하였음.
- 본 실험은 건전한 토마토 접목묘 생산을 목적으로 활착 순화기에 몇 가지 광 환경을 처리하여 접목부위에 캘러스 형성을 도우며, 접목묘의 광합성이 원활할 수 있는 적정 광 환경

을 알아보기 위해 수행하였음.

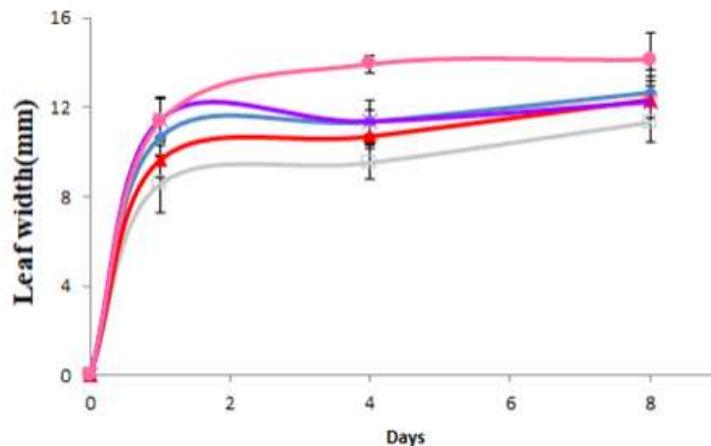
- 광질에 따른 토마토 접목묘의 생육속도는 광 처리구별로 미세한 차이가 났는데 먼저 초장은 QD-LED에서 빠르게 자라기 시작했지만 조사 종료일에는 적색(R)광에서 비교적 높은 수치를 나타냈음.



(a) 각 광 처리별 토마토묘의 초장



(b) 각 광 처리별 토마토묘의 엽장



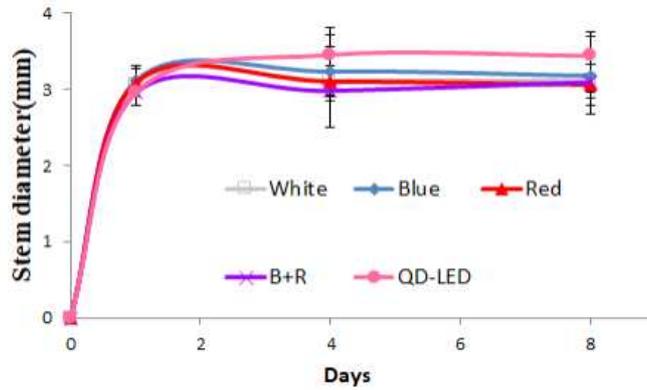
(c) 각 광 처리별 토마토묘의 엽폭

[그림 148] 각 광 처리별 토마토묘의 초장, 엽장, 엽폭.

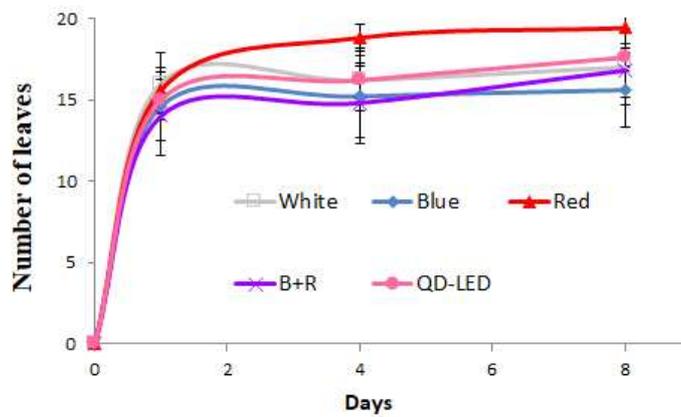
- 조사종료일에 엽장은 QD-LED에서 가장 높은 수치를 보이며 평균보다 높은 수치를 보여 생육이 비교적 빠름을 볼 수 있었음. 엽폭은 적색(R)광에서 생육이 가장 느렸으나 광 처리

구별 생육 속도는 유의적인 차이가 보이지 않았음.

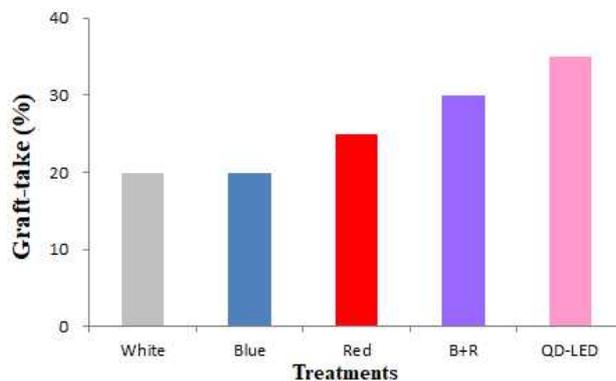
- 경경은 3mm내외로 처리구별 유의성이 나타나지 않았음. 조사기간 동안 엽수의 증가는 적색(R)광에서 가장 빠르게 나타났으며 종료일 또한 높았으며, 청색(B)광에서는 변화가 거의 보이지 않았음.
- 접목후 8일후인 조사 종료일에 활착율은 QD-LED과 혼합광(B+R)순으로 높았으며, 이 외에 광에서는 유의적인 차이가 보이지 않았음.



(a) 각 광 처리별 토마토 접목묘 경경

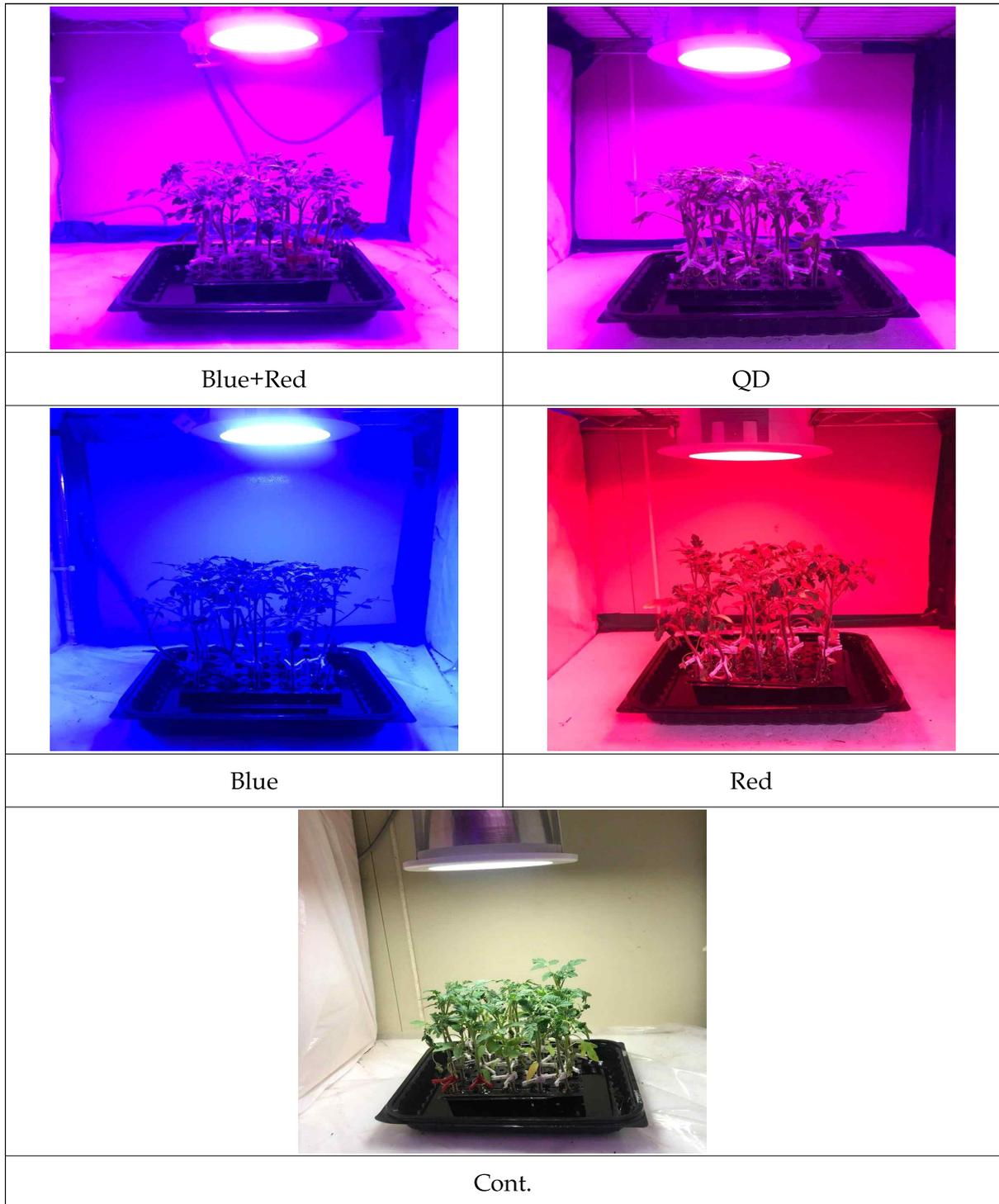


(b) 각 광 처리별 토마토 접목묘의 엽수



(c) 각 광 처리별 토마토 접목묘의 활착률

[그림 149] 각 광 처리별 토마토 접목묘의 경경, 엽수 및 활착률.

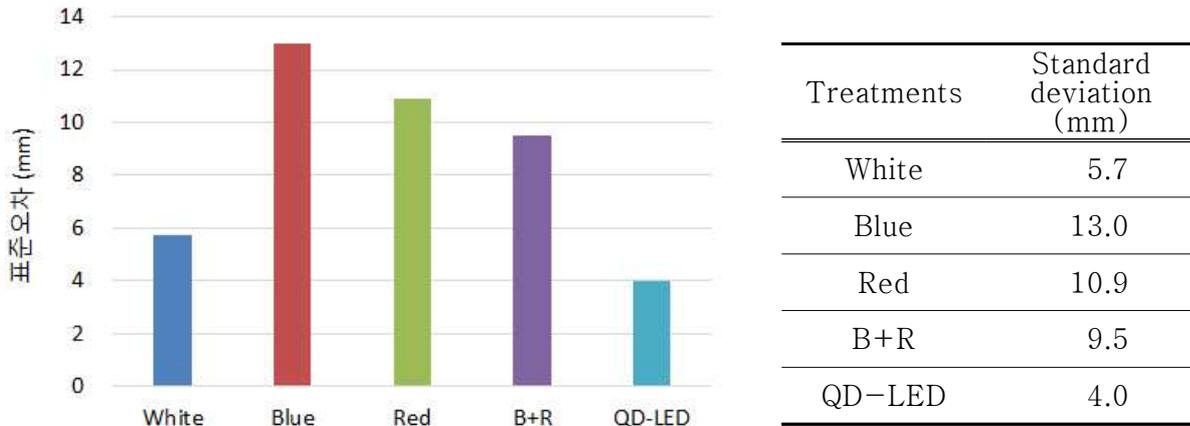


[그림 150] 각 광 처리별 토마토묘의 접목 후 생육.

- 연구 결과

- 토마토 접목 후 조사 종료일인 8일째 초장, 경경, 엽장, 엽폭, 그리고 엽수를 비교해 보면, 초장과 엽수는 다른 처리구에 비해 낮은 표준 오차를 보였으며, 경경, 엽장, 그리고 엽폭은 다른 처리구들과 유사한 수치를 나타냈음.
- 초장의 경우 기존의 LED인 B+R 처리구보다 57% 향상되었고, 대조구(형광등: white)보다도

29% 향상되었음. 재배 외관상 QD-LED 광하의 토마토 접목묘가 균일하게 재배되는 것으로 나타났으며 활착률도 높아 QD-LED광이 토마토 육묘의 재배와 활착에도 효과적인 것으로 판단됨.



[그림 151] 토마토 접목묘의 조사 종료일 초장 표준편차.

### 3) 기존 LED 대비 몇 가지 광 처리가 오이 접목묘의 활착률과 생육에 미치는 영향

#### - 연구방법

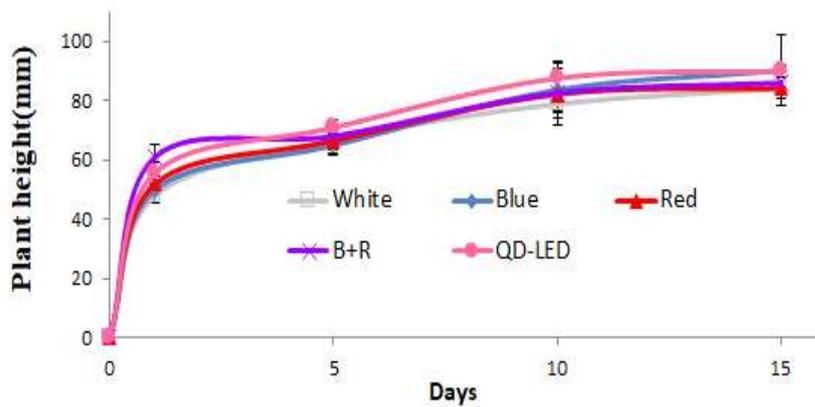
- 생육 온도는  $28 \pm 1^\circ\text{C}$ , 습도는 95~100%로 설정하였으며, 일장은 16시간/8시간(장일)으로 설정하였음.
- 광원은 휴대용분광계로 각 광처리별  $150 \mu\text{mole/m}^2\cdot\text{s} \pm 5$ 로 일정하게 하였음. 광 처리는 청색광(Blue), 적색광(Red), 혼합광(Blue+Red), QD-LED (Blue+W-Red) 그리고 대조구로 형광등(white)을 두었음.
- 공시 재료로는 어린 오이묘를 사용하였으며 폐쇄형 식물공장에서 50공 육묘트레이에 있는 오이묘를 4x4 사이즈로 잘라 접목 후 각광별로 생육정도를 조사하였음. 조사 항목으로는 초장, 엽장, 엽폭, 경경, 엽수, 엽록소 함량(SPAD), 접목묘의 활착율(%)을 관찰하였음.



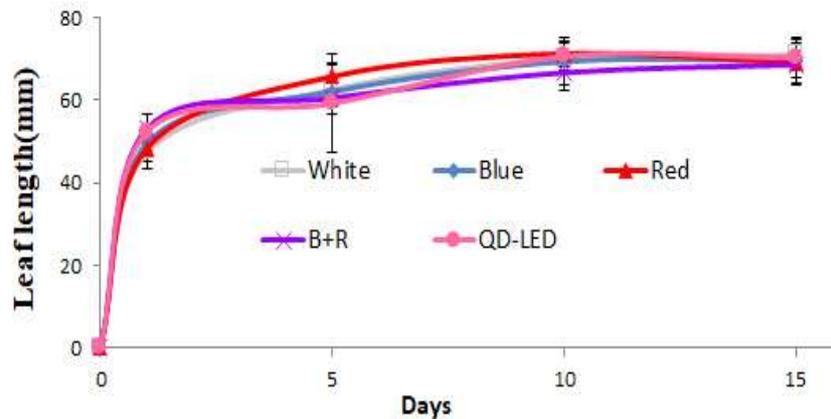
[그림 152] 오이묘 접목.

- 연구결과

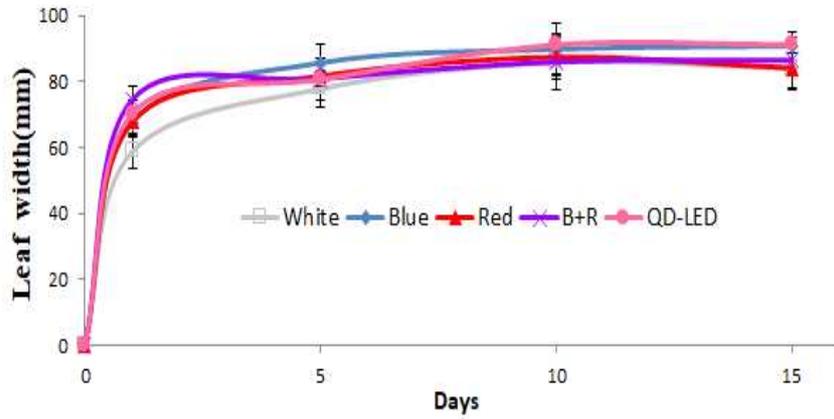
- 생육 측정 결과 생육 초기에 초장은 QD-LED에서 가장 빠르게 자라기 시작하였으나 조사 종료일에는 모든 광 처리에서 약 8~9cm대로 유의적인 차이는 나타나지 않았음.
- 엽장도 생육 초기에 약 5cm 부터 최종일에는 7cm대로 비슷한 생육 속도를 보였고, 엽폭은 조사기간 동안 생육이 가장 저조했던 혼합광(B+R)을 제외한 모든 광에서는 생육속도가 비슷한 경향이었음.
- 초장, 엽장, 그리고 엽폭 또한 조사기간 동안 광 처리별 생육 속도에 대한 유의적인 큰 차이는 없었지만 각 광처리에서 오이묘의 생육지수의 균일도에서 차이가 보였음. 생육 초기에 초장은 혼합광과(B+R), QD-LED광에서 생육이 비교적 균일하지 못하였음. 그러나 보광 후 최종일에는 QD-LED에서 가장 균일했으며 청색(B)광하에서 자란 오이묘는 비교적 높은 표준편차범위를 나타내며 균일하게 성장하지 못하였음. 엽장과 엽폭에서도 QD-LED광하에서 가장 균일하였음.



(a) 각 광 처리별 오이묘의 초장 생육속도



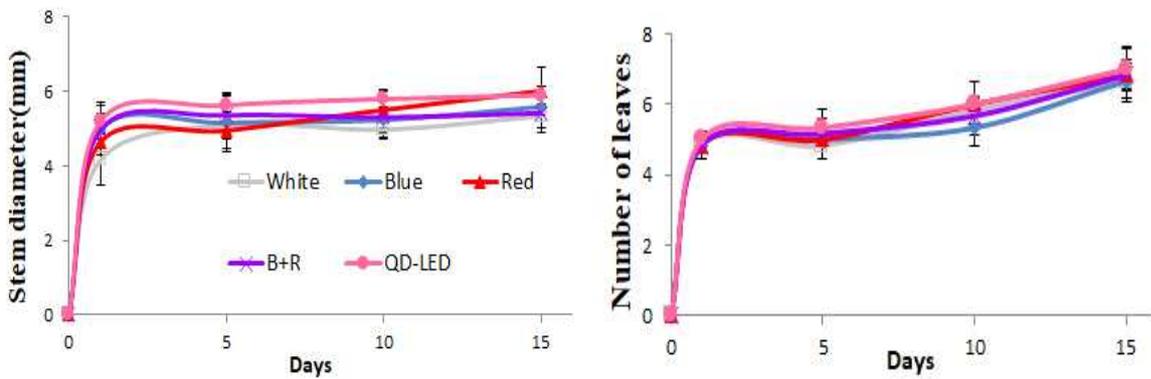
(b) 각 광 처리별 오이묘의 엽장 생육속도



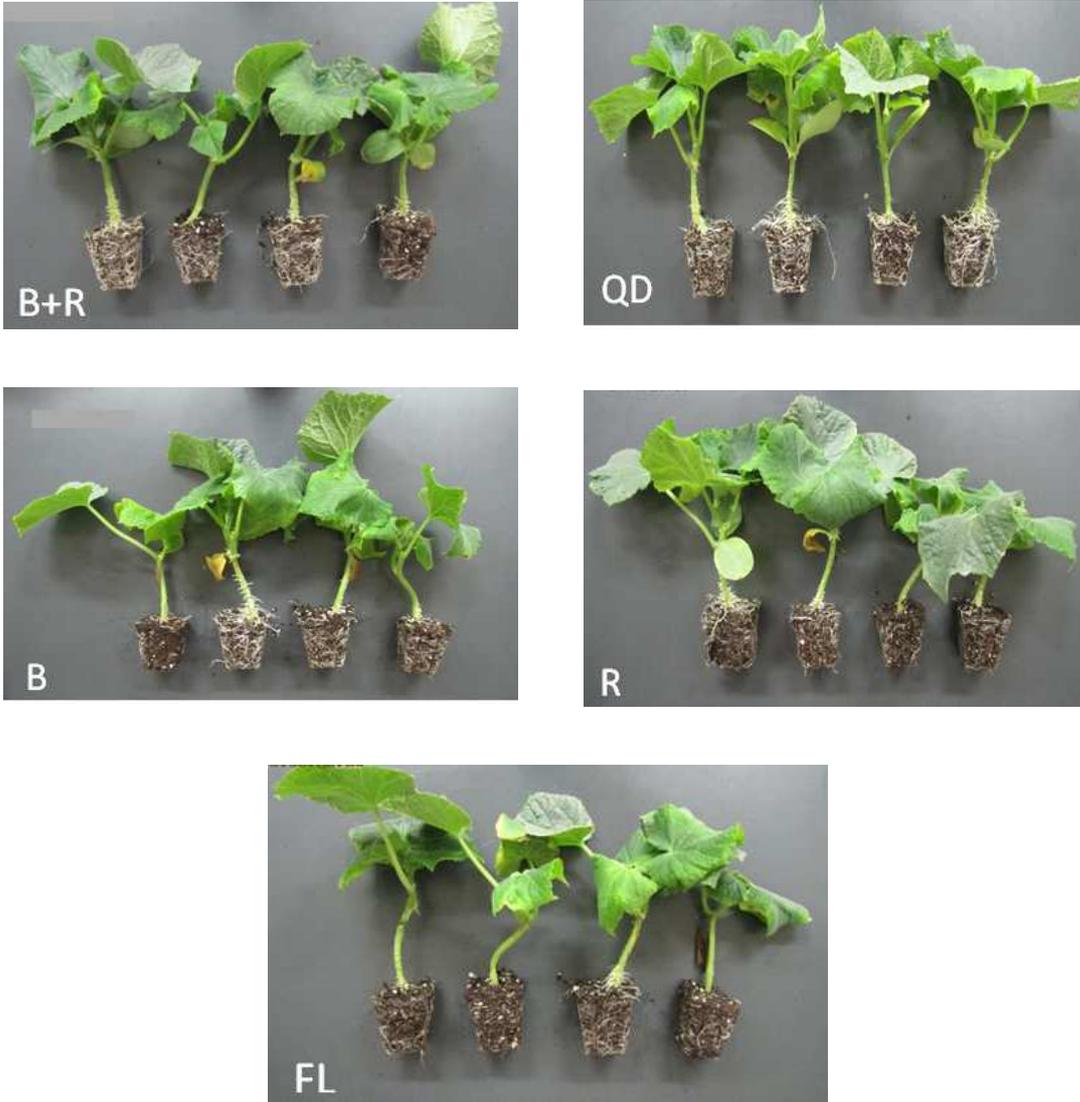
(c) 각 광 처리별 오이묘 엽폭 생육속도

[그림 153] 각 광 처리별 오이묘 초장, 엽장 및 엽폭의 생육속도.

- 경경은 모든 광 처리에서 조사기간 수치의 변화는 거의 없었고, 엽수도 광 처리간 비슷한 경향을 보여 유의적인 차이는 없었음. 보광 전에 적색(R)광의 SPAD값은 평균 48정도의 비교적 높은 수치를 보였으나, 보광 후(생육조사 후) 최종일에는 평균값이 41정도로 떨어졌으며 형광등(W)도 비슷한 결과를 보였고 청색광은 변화가 없었음.

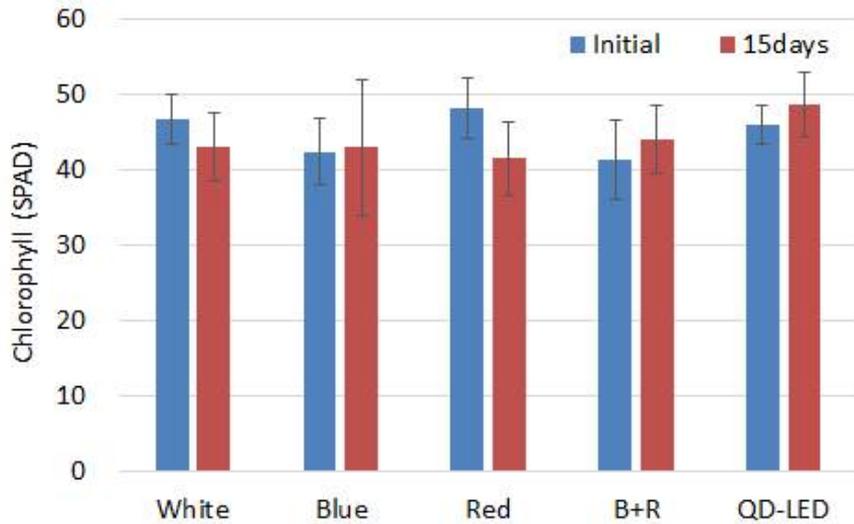


[그림 154] 15일간 각 광 처리별 오이묘의 경경(좌) 과 엽수(우).

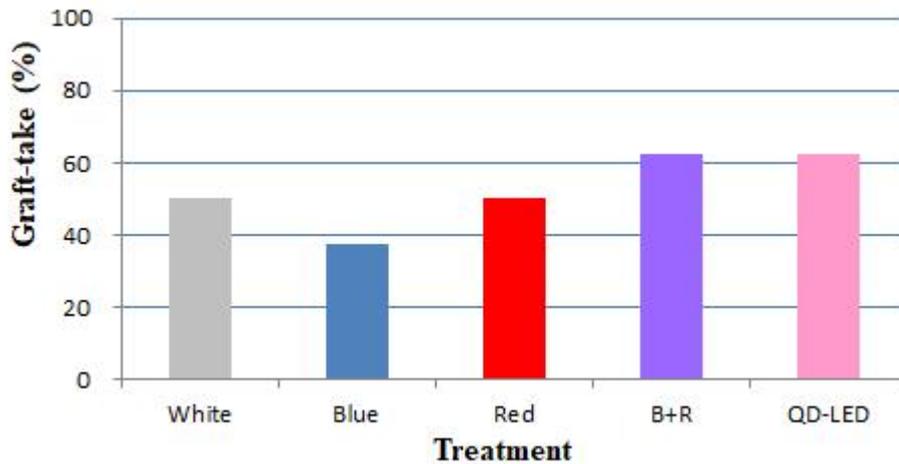


[그림 155] 조사 종료일인 15일째 각 광 처리별 오이묘의 생육과 균일도.

- 혼합광(B+R)와 QD-LED광하에서는 초기값보다 높은 엽록소 함량을 보였음. 활착률은 활착 순화기에 몇 가지 광 환경을 처리하여 접목부위에 캘러스 형성을 도우며, 접목묘의 광합성이 원활할 수 있는 적정 광 환경을 알아보기 위해 수행하였음.
- 8일 동안 접목부위의 캘러스 형성을 돕기 위해 습도를 95%이상 충분히 설정하였음. 접목 후 8일후인 조사 종료일에 혼합광(B+R)과 QD-LED에서 63%로 다른 광 처리구에 비하여 비교적 높은 활착률을 보였고, 청색광(B)이 가장 저조한 38%의 활착률을 보였음.

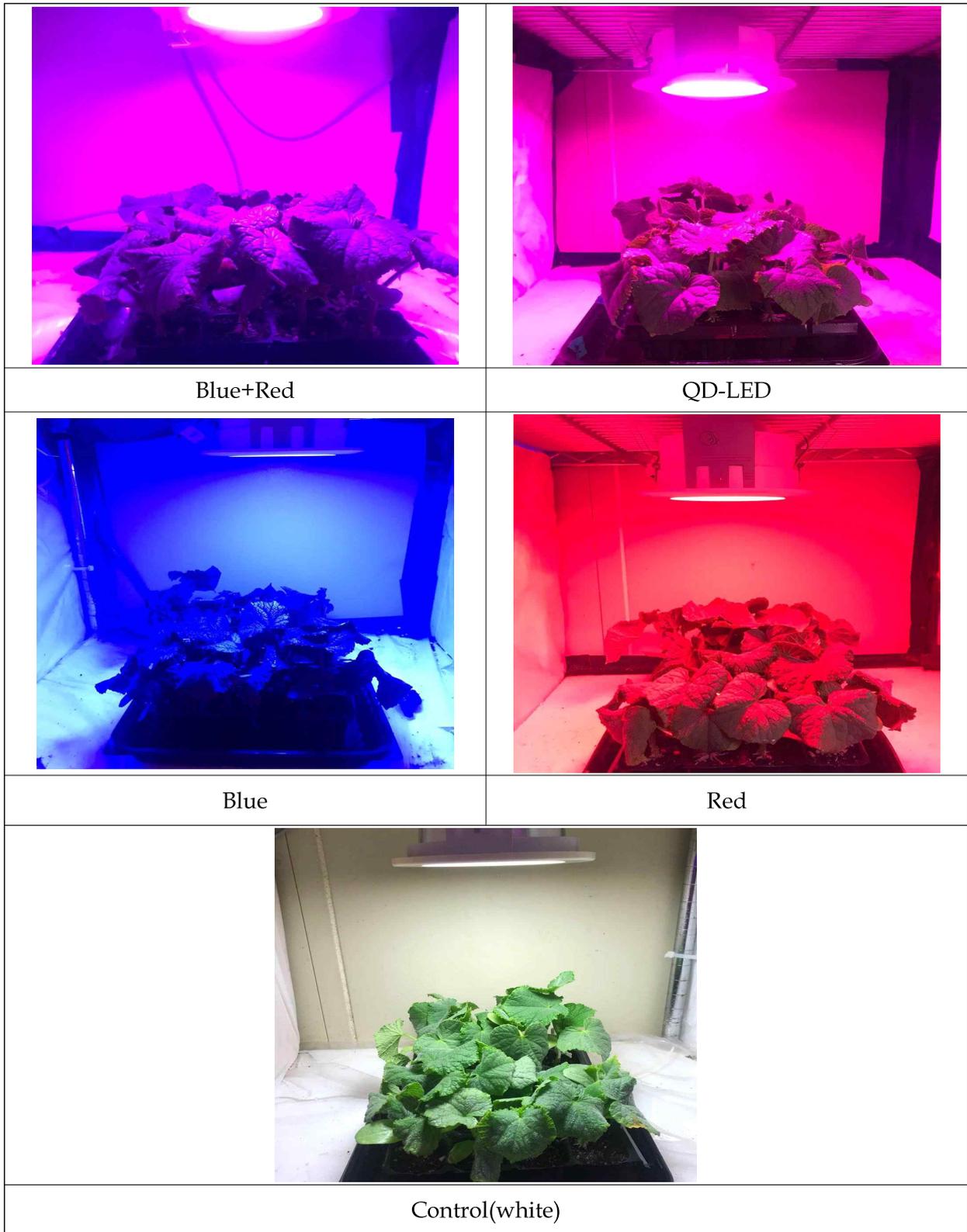


[그림 156] 각 광 처리별 오이 접목묘의 엽록소 함량 초기값과 종료일.



[그림 157] 접목후 8일째 각 광 처리별 오이묘의 활착률(%).

- 이상의 결과를 종합해 보면 종합적인 생육 속도는 차이가 뚜렷하게 보이지 않았으나, 광분포도 차이로 인해 QD-LED광하에서 자란 오이묘가 비교적 오차범위가 작아 균일하게 생육한 것으로 판단됨.
- 최종일에는 엽록소 함량이 초기값보다 증가하였고, 혼합광(B+R)와 같이 접목묘의 활착률도 양호하였음. 따라서 단일광 보다 혼합광을, 그리고 기존 LED 대비 QD-LED를 폐쇄형 식물 공장에서의 실용화함을 긍정적으로 볼 필요가 있다고 생각됨.



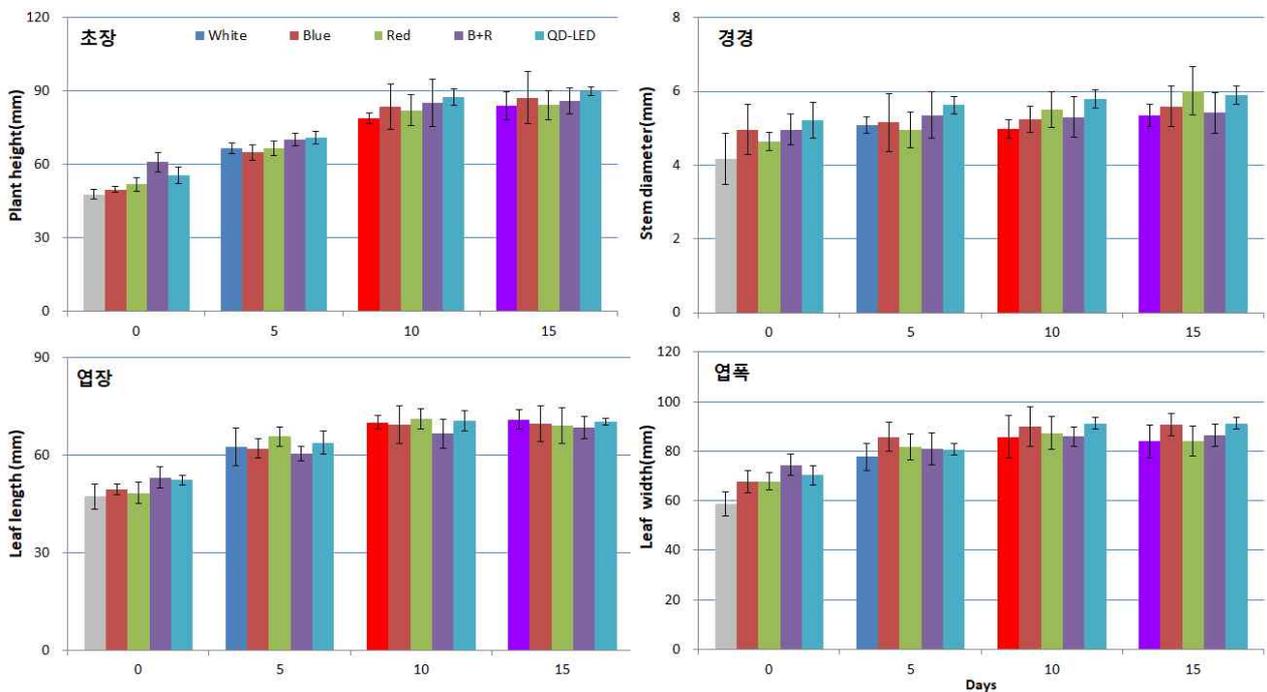
[그림 158] 각 광 처리별 오이 접목묘 생육 증기.

-실험 결과

- 오이 접목묘의 조사 종료일인 15일째 초장, 경경, 엽장, 엽폭, 그리고 엽수를 비교해 보면,

엽수를 제외한 모든 조사 항목에서 QD-LED 처리구의 표준편차가 다른 처리구에 비해 가장 작았음.

- 초장은 기존 LED인 B+R 처리구보다 65%, 경경은 53%, 엽장은 68%, 그리고 엽폭은 48% 향상되는 수치를 나타내었음. 외관상으로도 QD-LED 처리구의 접목묘가 양호하였으며, 활착률도 높았음. 위의 결과를 종합해보면, 다른 여러 광들에 비해 QD-LED 광이 활착률과 초장 등의 생육 상태도 양호하며 균일하였는데 이는 광 분포도(균일도)가 비교적 넓고 균일하게 조사되기 때문이라고 판단됨.
- 따라서, 베이비 채소 및 육묘의 성장에 유용하게 쓰일 것으로 판단됨.



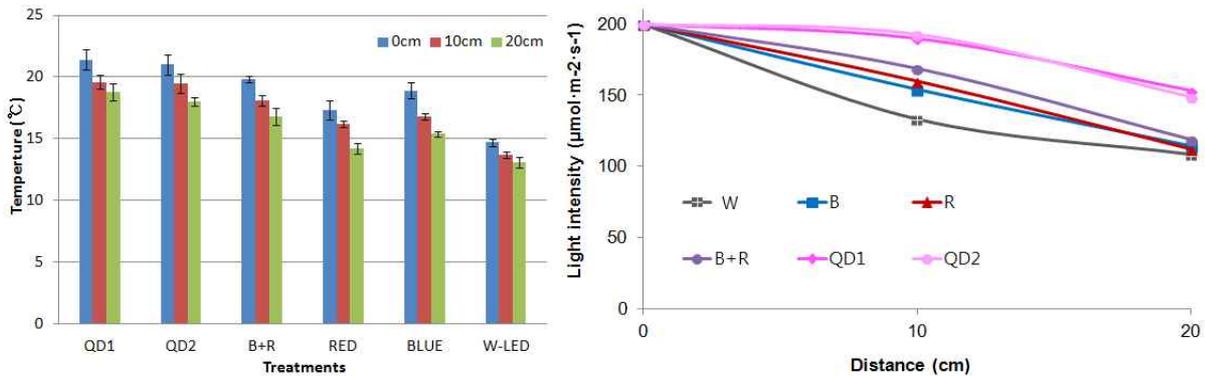
Treatments	Standard deviation(mm)			
	Plant height	Stem diameter	Leaf length	Leaf width
White	5.7	0.3	2.9	6.7
Blue	10.7	0.6	5.5	4.3
Red	6.0	0.6	5.5	6.2
B+R	5.5	0.5	3.4	4.6
QD-LED	1.9	0.3	1.0	2.4

[그림 159] 오이 접목묘의 조사 종료일 초장, 경경, 엽장, 그리고 엽폭의 표준편차.

## 2. 기존 LED 광원과 비교한 상추, 토마토 육묘 균일도 30% 향상

엽채류(상추류)의 육묘 균일도 향상 및 과채류(토마토) 육묘 도장 억제에 미치는 영향을 비교하였음.

### - 기존 LED 광원과 비교한 QD LED 광원의 조사면의 위치별 광도 및 온도 변화



[그림 160] 실험에 사용한 6가지 인공광원의 광원으로부터 거리별 광도와 온도.

- 40W 용량의 인공광원으로부터 15~20cm 직하 위치의 광도를 모두  $200 \mu\text{mole}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 로 조정하여(0cm 처리구)로부터 10cm, 20cm 떨어진 위치에서 광도와 온도를 측정하였음.
- 먼저 광도는 10cm부터 광원종류별 광도의 차이가 발생하였으며, QD1과 QD2간은 차이가 없이 높았고, 다음으로 B+R, R, B 순서였고, W에서 가장 낮았음, 20cm에서는 광원간의 차이가 더 커졌으나, 역시 QD1과 QD2간은  $153 \mu\text{mole}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 으로 가장 높았고, 다른 광원들은 차이 없이  $110 \mu\text{mole}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  수준이었음.
- 6가지 인공광원의 위치별 온도는 적외선광이 10%수준 포함된 QD1, QD2가 가장 높았고, W-LED에서 가장 낮았는데, QD광이 W-led에서 비해서는 평균 5도이상 높았음.
- 이러한 광원에 따른 위치별 광도와 온도 차이가 엽채류와 토마토묘의 생육에 영향을 주었을 것이라 판단됨.

### 가. 청로메인 상추 육묘 균일도 향상

- 연구목표: 원형 인공광 1개를 이용한 육묘생산시스템에서 가로 54cm의 플러그 트레이내에서 재배된 엽채류 묘의 위치별 균일도를 비교하여 균일한 묘 생산에 QD광의 효과를 알아보고자 함.
- 연구방법
  - 온도:  $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$
  - 습도:  $70 \pm 5\%$
  - 일장: 16시간(명), 8시간(암)
  - 광도:  $200 \pm 10 \mu\text{mole}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ (40W 광원)
  - 이산화탄소 농도: 440 ppm
  - 대조구: Cont.(자연광), White LED

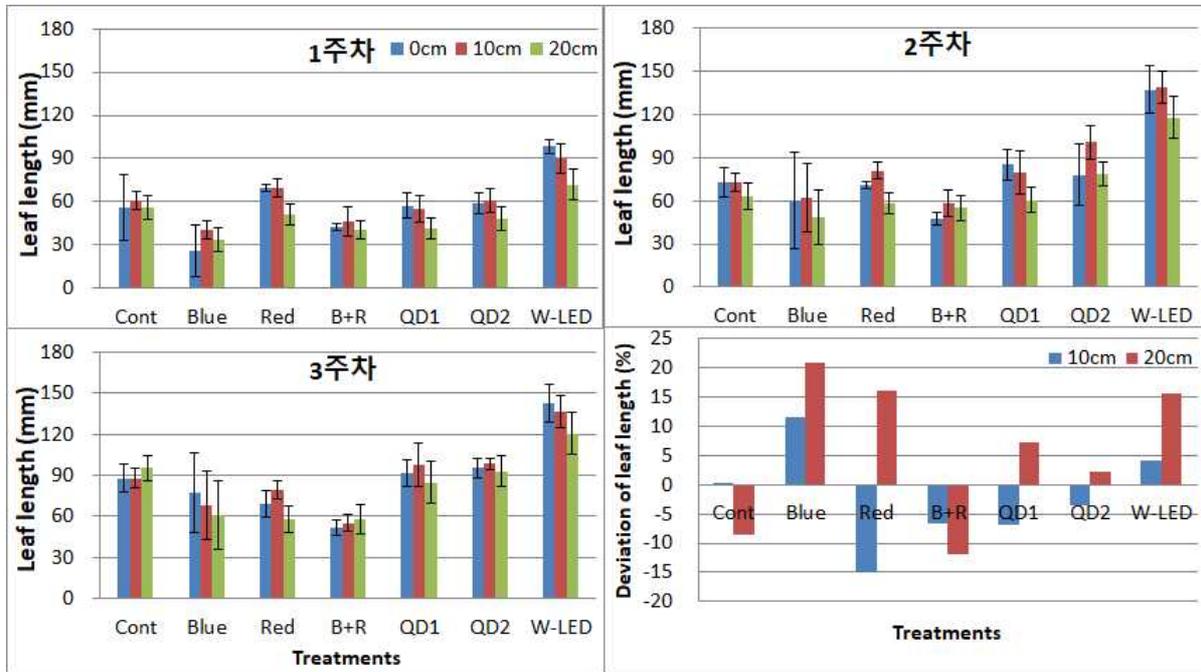
- 처리구: Blue, Red, Blue+N-Red, Blue+W-Red(QD-LED1,2)
- 공시재료: 청로메인 상추
- 처리방법: 폐쇄형 식물공장에서 128공 육묘트레이를 16x3로 잘라서 원예 상토에 파종 후부터 광이 직하되는 부분을 0cm로 하여 좌,우 10cm, 20cm 부분과 비교하여 생육을 관찰 조사 하였음
- 조사내용: 생체중, 엽장, 엽폭, 엽수, 건물중, 묘층실도, 균일도



[그림 161] 광원별 청로메인 재배 광경, 좌(파종 10일 후), 우(파종 3주 후).

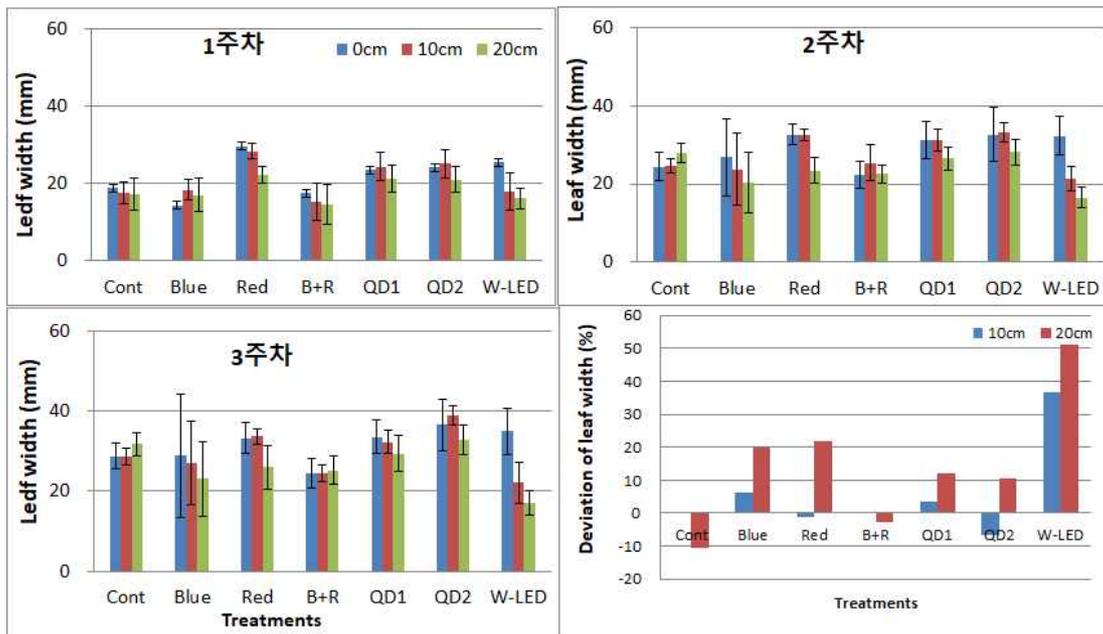
#### - 연구결과

- 광원별 엽장은 W-LED에서 1주차부터 가장 길었으며, 이는 Red광과 유사하게 품종의 고유 외 관과는 다르게 엽폭이 좁고 엽장이 길게 자라는 양상을 보임. 3주차 수확일에 조사한 엽장은 W-LED에서 가장 길었으며, 다음으로 QD1, QD2가 길었으며 자연광상태인 cont과 유사한 수준이 었음.
- 비록 엽장은 W-LED에서 가장 길었으나, 엽폭에 비해 엽장이 비정상적으로 길어 묘의 상품성은 높지 않은 것으로 판단됨.
- 0cm와 비교한 10cm, 20cm위치의 엽장 편차는 QD2에서 -3.5%, 2.3%로 16%의 편차를 보인 R광에 비해 5배나 묘의 균일도가 향상되었음.



[그림 162] 각 광원의 조사에 따른 청로메인 상추 엽장 및 3주차 엽장 편차 비교.

- 광원별 엽폭은 처리간 큰 차이는 보이지 않았는데, 1주차에 R가 가장 넓었으나, 재배 최종일인 3주차에는 QD2에서 가장 넓었으며 다음으로 QD1, R 순서로 넓었음.
- 3주차의 거리별 편차는 QD1과 QD2가 평균 10%이하로 40%의 편차를 보인 W-LED에 비해 4배의 표준일도 보였음.

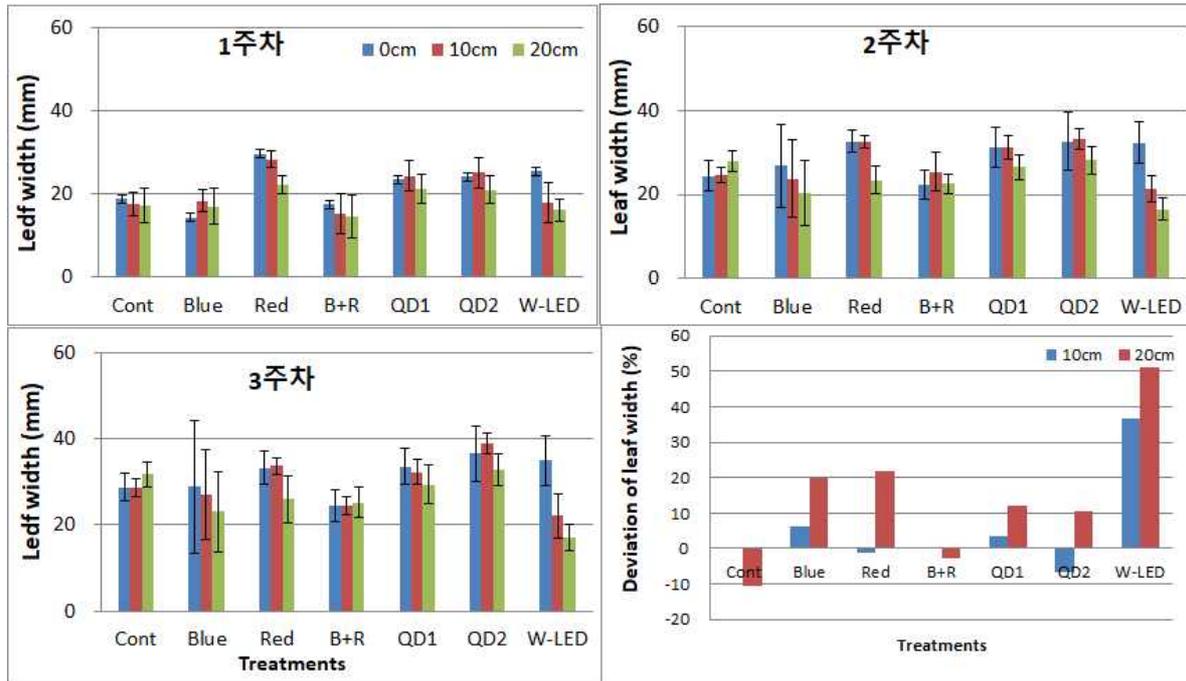


[그림 163] 각 광원의 조사에 따른 청로메인 상추 엽폭 및 3주차 엽폭 편차 비교

- 광원별 엽수는 광원별 차이는 크지 않았으며 3주차에 광원 바로 아래(0 cm)의 엽수는 R, B+R,

QD1, QD2가 6~7장으로 처리간 차이없이 많았으나, 10cm와 20cm에서는 QD1에서 가장 많았음.

- 광원에서 거리별 엽수의 편차는 QD1은 4%미만으로 가장 작았으며, 20%로 가장 편차가 컸던 W-LED와 비교하면 5배나 균일도가 높았음.

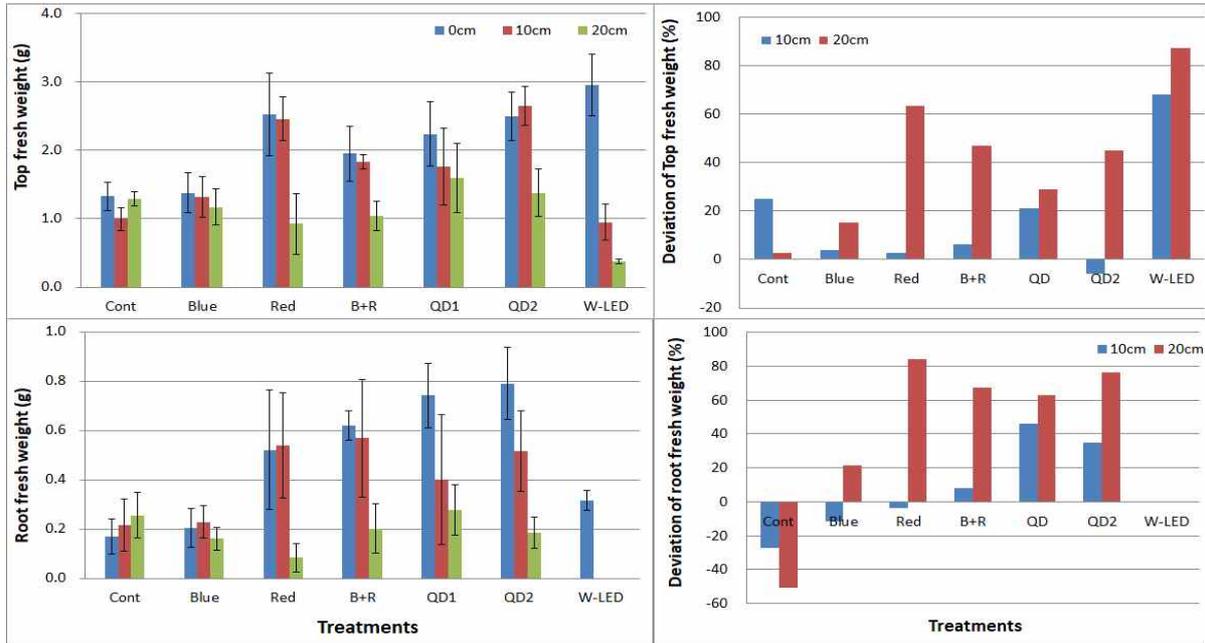


[그림 164] 각 광원의 조사에 따른 청로메인 상추 엽수 및 3주차 엽수 편차 비교.

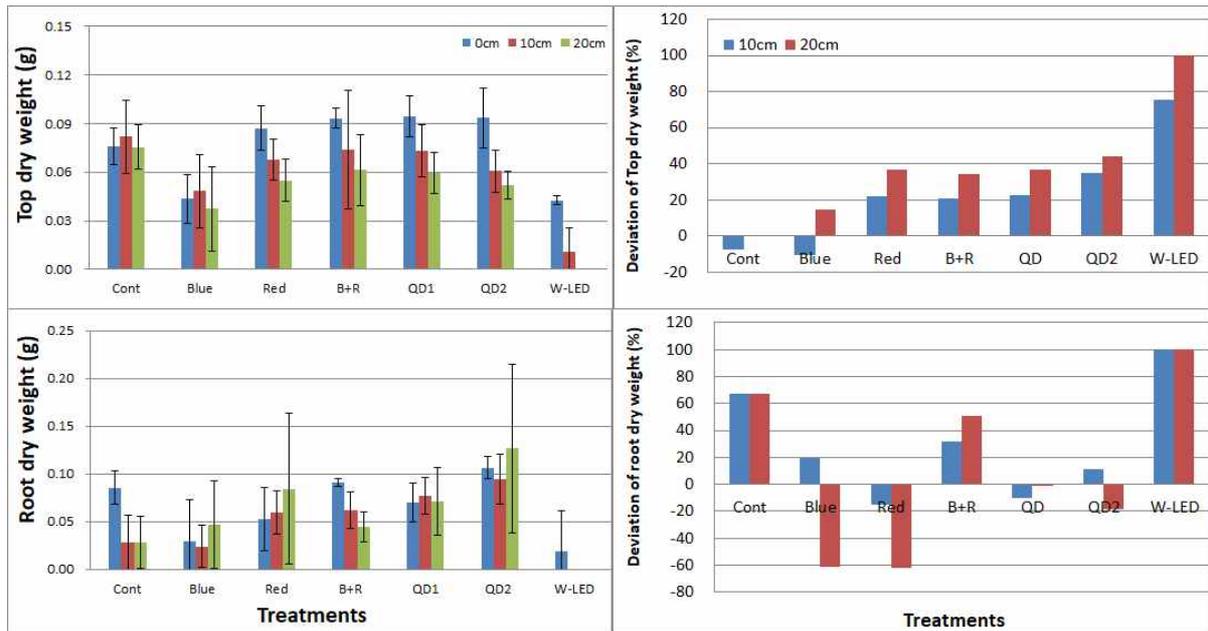
- 최종일은 재배 3주째 청로메인의 개체당 지상부 생체중은 0cm, 10cm, 20cm 평균으로 보면 QD2가 2.17g으로 1.61g이었던 B+R(기존 LED)보다 35%나 무거웠으며, 인공광중에서 가장 생육이 저조하였던 B(1.29g)와 비교하면에서 68%의 생육증가를 보였음.
- 지하부 생체중은 0cm위치에서는 QD1, QD2에서 가장 무거웠으며, 10cm에서는 B+R, R에서, 20cm에서는 QD1에서 가장 무거웠으나 통계적 유의성은 인정되지 않음.
- 지상부 생체중의 위치별 편차를 보면 QD1에서 21%(10cm), 28%(20cm)로 20cm에서 87%을 보인 W-LED와 비교하면 3.5배이상 균일도가 향상되었음.
- 지하부 생체중의 위치별 편차는 B에서 10cm, 20cm 모두에서 가장 적었는데, B광의 생체중값 자체가 너무 낮았기 때문이라 판단됨.
- 지상부 건물중은 0cm, 10cm, 20cm 모두에서 QD1, B+R에서 유사한 수준으로 높았으며 B와 W-LED에서는 크게 낮았음, 모든 인공광에서 광원에서 거리가 멀어질수록 감소하였으나 자연광에서는 위치별 차이가 없었음.
- 지하부 건물중은 0cm, 10cm, 20cm 모두에서 QD2가 가장 무거웠으나, 다른 처리와 통계적 유의성이 인정되지 않았음.
- 지상부 건물중의 위치별 편차는 생체중량이 가장 저조하였던 B에서 가장 낮았으나, 생육량이 높았

던 R, B+R, QD1, QD2간에는 차이가 없었음.

- 지하부 건물중의 위치별 편차는 QD1(-10, -1)에서 가장 적었으며, 80%를 보인 W-LED에 비해 8배나 높은 균일도를 보였음.



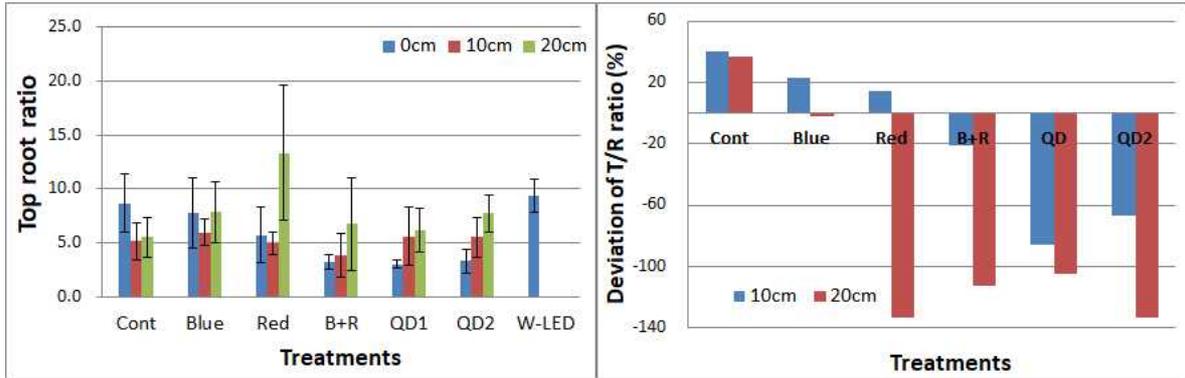
[그림 165] 각 광원의 조사에 따른 청로메인 상추 지상부와 지하부의 생체중과 편차 비교.



[그림 166] 각 광원의 조사에 따른 청로메인 상추 지상부와 지하부의 건물중과 편차 비교.

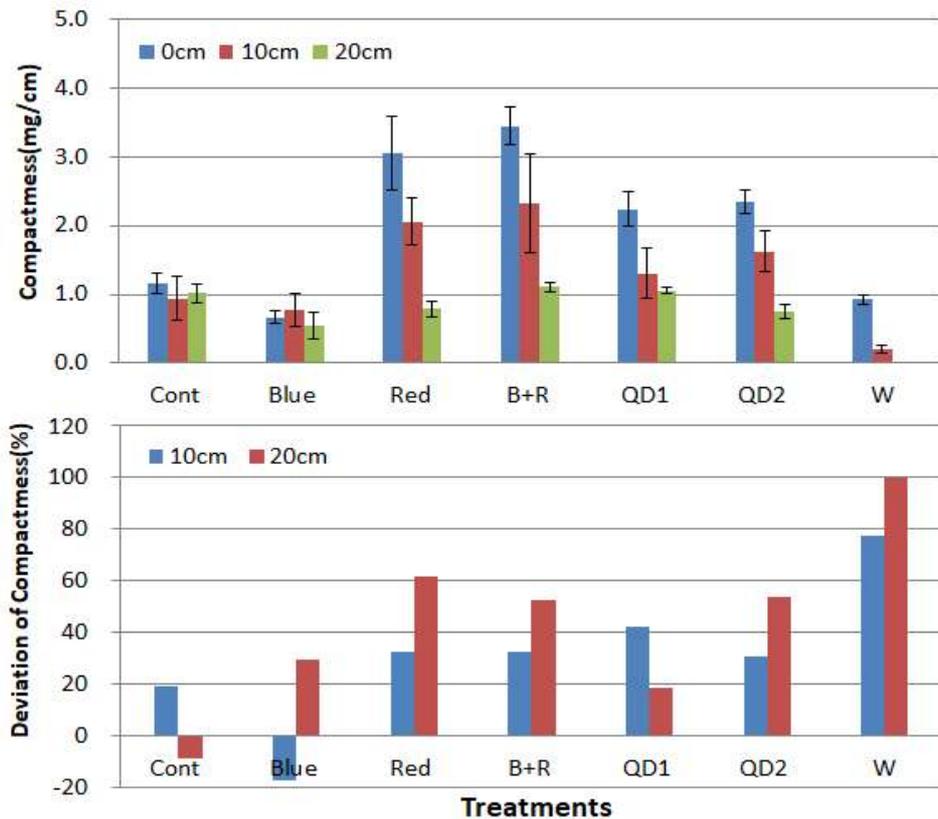
- 묘충실도는 0cm위치에서는 R, B+R에서 높았으나, 20cm 위치에서는 QD1 과 B+R에서 가장 높았음.

- 청로메인묘의 T/R율은 처리별은 광원별로 광원에서부터 거리별로 통계적으로 유의적인 차이는 나타나지 않았음.
- T/R율의 광원으로부터 거리별 편차는 B에서 가장 적었으며 20cm거리에서는 지상부 생육이 우수하였던 R, B+R, QD1, QD2에서 유사한 값을 보였음.



[그림 167] 각 광원의 조사에 따른 청로메인 상추 묘 T/R율과 편차 비교.

- 묘층실도는 0cm위치에서는 R, B+R에서 높았으나, 20cm 위치에서는 QD1 과 B+R에서 가장 높았음.
- 광원에서 가장 먼 20cm의 묘층실도의 편차는 QD1에서 가장 적어 역시 우수한 균일도를 보였음.



[그림 168] 각 광원의 조사에 따른 청로메인 상추 묘 층실도와 편차 비교.

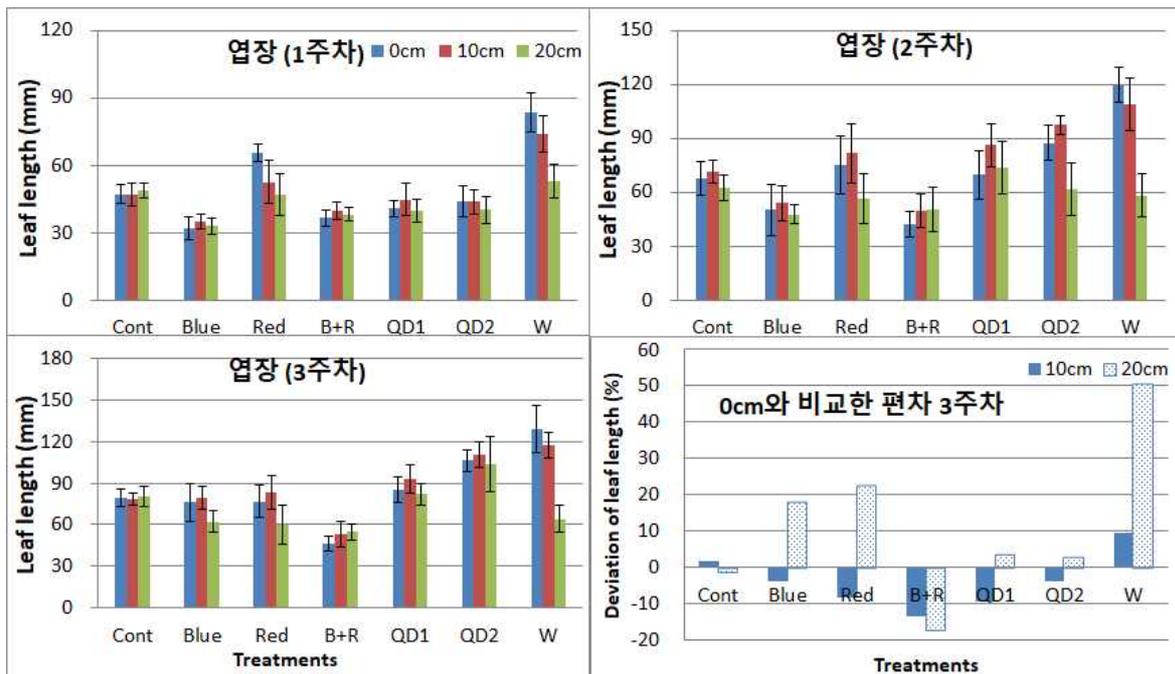
## 나. 적로메인 상추 육묘 균일도 향상

### - 연구방법

- 온습도 : 20℃ ± 2℃, 습도: 70 ± 5%,
- 광조건: 일장-16시간(명), 8시간(암), 광도: 150 ± 10 μmole/m<sup>2</sup>.s(40W 광원),
- 이산화탄소 농도: 440 ppm
- 처리구: Blue, Red, Blue+N-Red, Blue+W-Red(QD-LED1,2), White LED, Cont.(자연광),
- 공시재료: 적로메인 상추
- 처리방법: 폐쇄형 식물공장에서 128공 육묘트레이를 16x3로 잘라서 원예 상토에 파종 후부터 광이 직하되는 부분을 0cm로 하여 좌,우 10cm, 20cm 부분과 비교하여 생육을 관찰 조사 하였음
- 조사내용: 생체중, 엽장, 엽폭, 엽수, 건물중, 묘충실도, 균일도

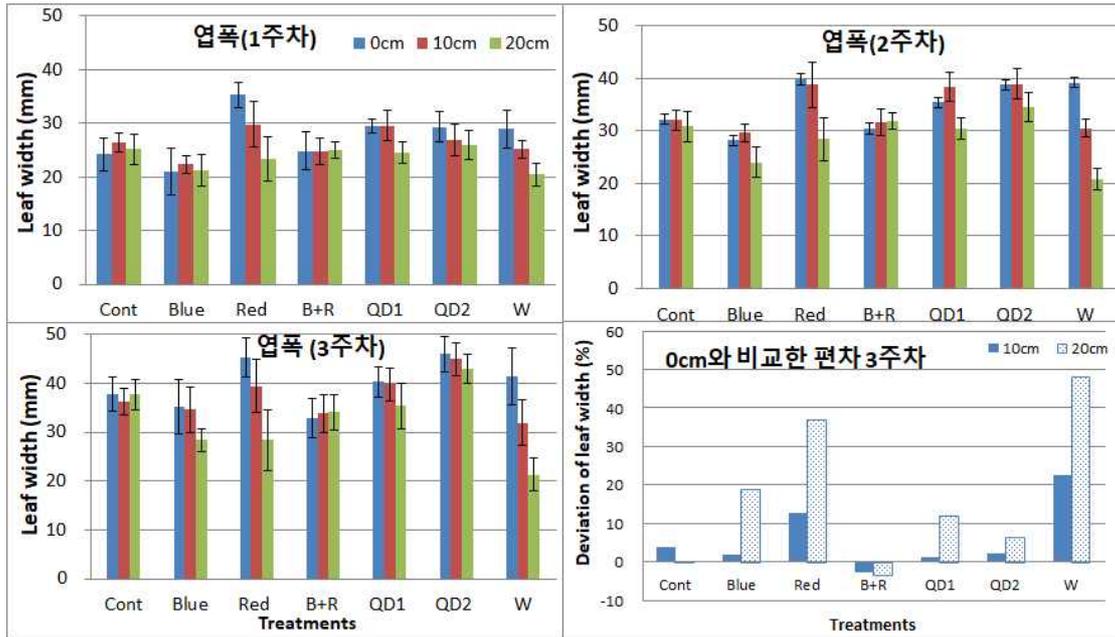
### - 연구결과

- 광원별 엽장은 W-LED에서 1주차부터 가장 길었는데, R광과 함께 W-LED처리구는 적로메인 품종 고유의 형태보다 길쭉한 모양으로 성장한 결과로 판단됨. 3주차 수확일에 조사한 엽장은 W-LED에서 가장 길었으며, 다음으로 QD1, QD2가 길었으며 자연광상태인 cont보다도 크게 성장하였음.
- 비록 엽장은 W-LED에서 가장 길었으나, 엽폭에 비해 엽장이 비정상적으로 길어 묘의 상품성은 높지 않으며, 0cm와 비교한 10cm, 20cm위치의 엽장 편차는 QD2에서 -3.9%, 3.0%로 평균 15%의 편차를 보인 B+R광에 비해 5배의 묘 균일도가 향상을 보였음.



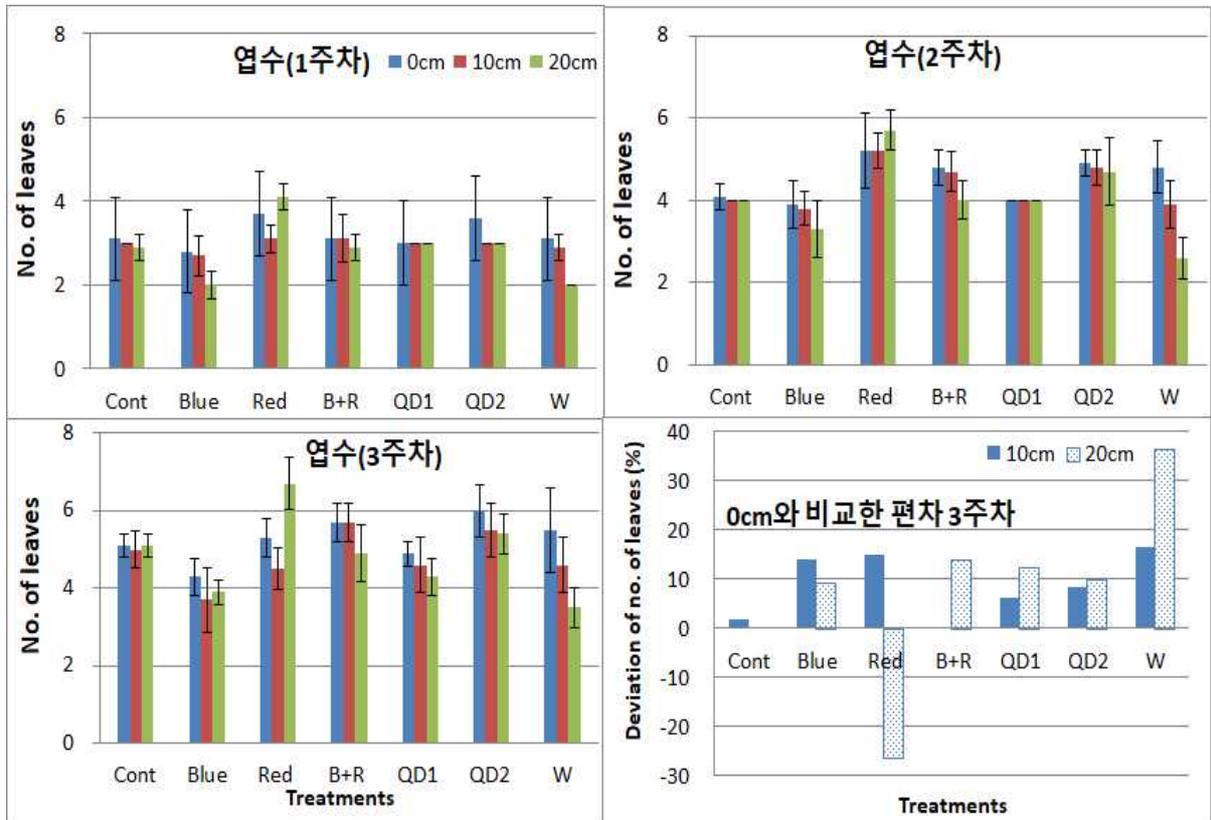
[그림 169] 각 광원의 조사에 따른 적로메인 상추 엽장 및 3주차 엽장 편차 비교.

- 광원별 엽폭은 처리간 큰 차이는 보이지 않았는데, 1주차에 R가 가장 넓었으나, 재배 최종일인 3주차에는 3가지 거리 평균으로 볼 때 QD2에서 가장 넓었으며 다음으로 QD1, R 순서로 넓었음.
- 3주차의 거리별 엽폭의 편차는 QD1과 QD2은 평균 5.52%로 25.1%의 편차를 보인 W-LED에 비해 4.5배 높은 표준일도 보였음.

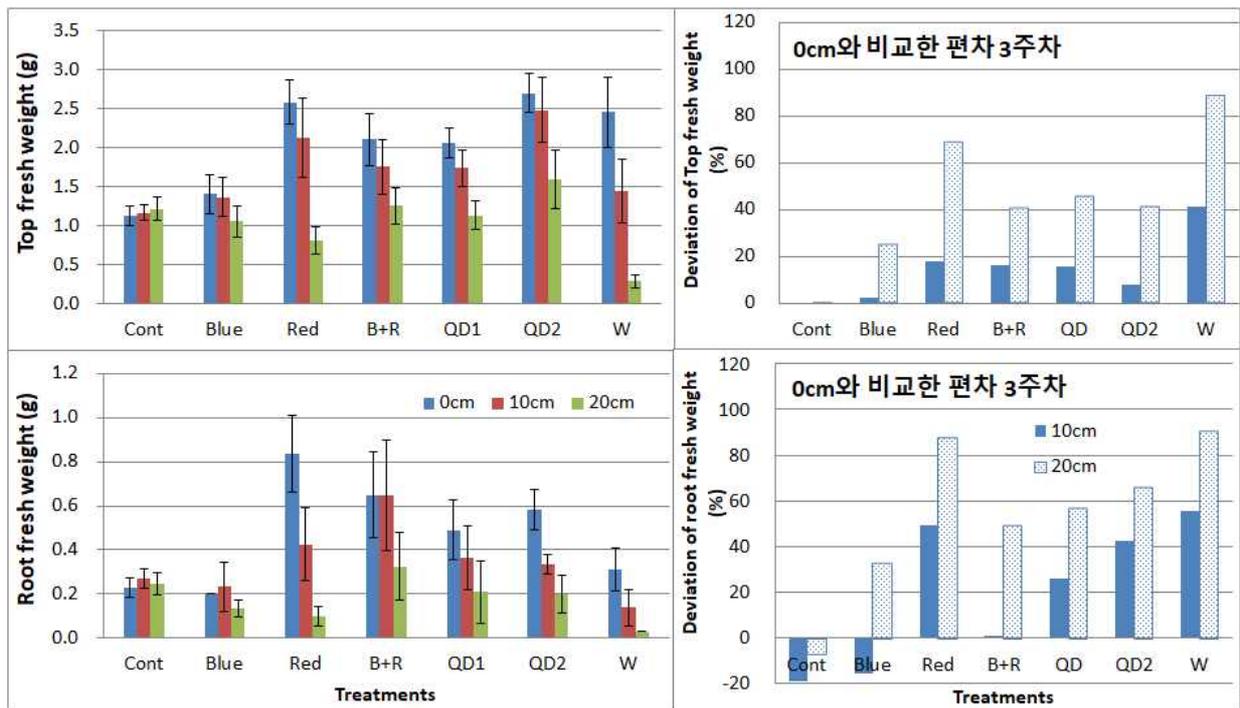


[그림 170] 각 광원의 조사에 따른 적로메인 상추 엽폭 및 3주차 엽폭 편차 비교.

- 광원별 엽수는 광원별 차이는 크지 않았으며 3주차에 광원 바로 아래(0 cm)의 엽수는 QD2, B+R이 6장수준으로 가장 많았으며 20cm에서는 R광이 가장 많았음.
- 광원에서 거리별 엽수의 편차는 B+R광에서 가장 작았으며, 다음으로 QD1과 QD2광으로 평균 9.18%로 작았으며, 수확일이 20cm거리에서 가장 많았던 R(평균 20.7%) 비교하면 2.3배나 균일도가 향상되었음.
- 파종 최종일은 재배 3주째 개체당 지상부 생체중은 0cm의 QD2가 가장 무거웠으며 다음으로 R, W-LED 순이었으며, 10cm와 20cm에서도 QD2에서 가장 무거운 생체중을 보였음.
- QD2의 거리별 평균 개체당 지상부 생체중은 2.26g으로 1.70g이었던 B+R의 133%였으며, 거리별 편차에서도 QD2가 가장 적었는데 10cm에서 QD2는 8%를 보여 16.48%의 보인 B+R보다 2배나 균일도가 향상되었음.
- 지하부 생체중은 0cm위치에서는 R이 가장 무거웠고, 다음으로 B+R, QD2 순이었으며, 10cm와 20cm에서는 B+R이 가장 무거웠으나 통계적 유의성이 인정되지 않았음,
- 지하부 생체중의 위치별 편차는 B에서 10cm, 20cm 모두에서 가장 적었는데, B광의 생육이 불량하여 의미를 두기는 어려웠음.

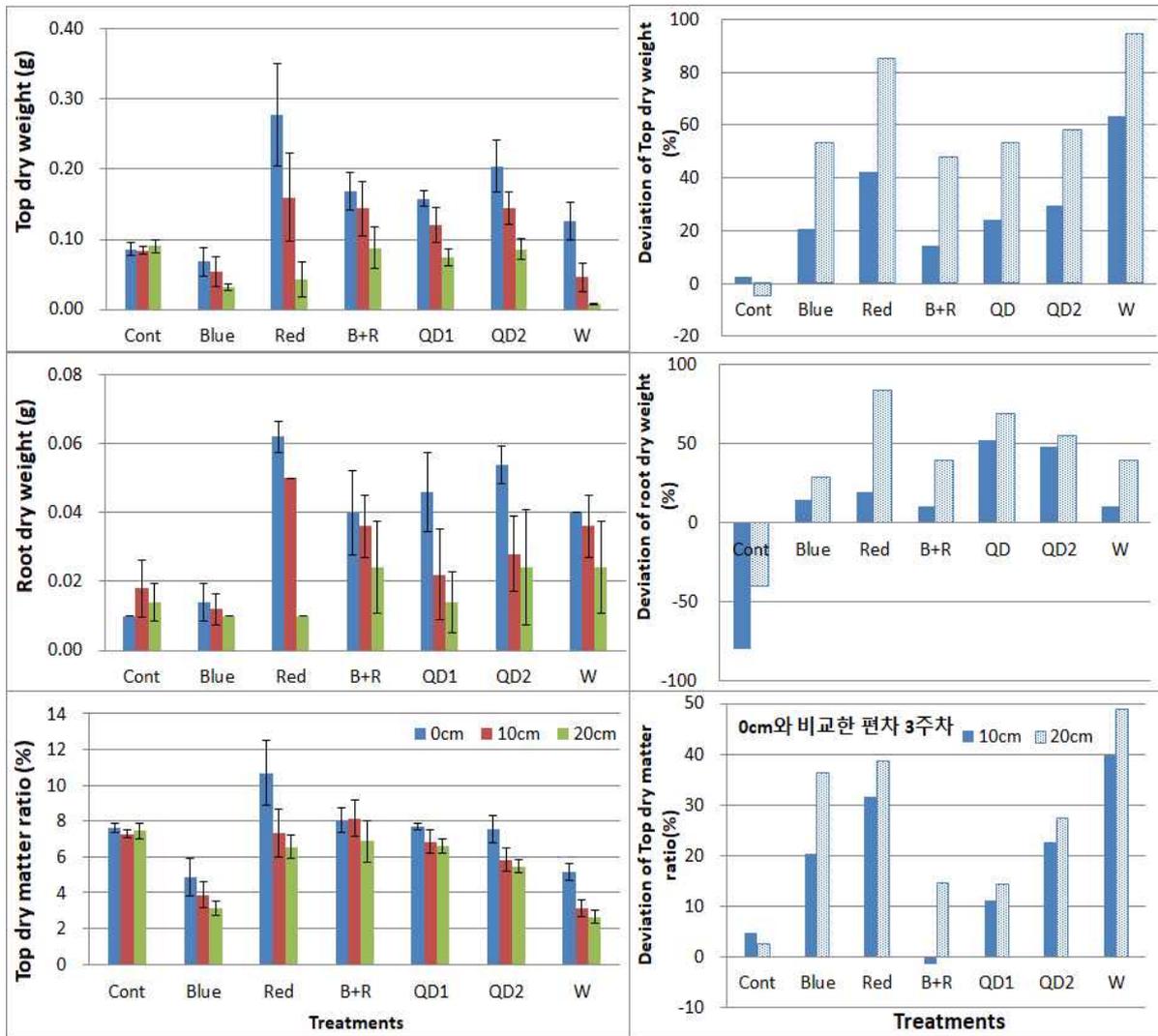


[그림 171] 각 광원의 조사에 따른 적로메인 상추 엽수 및 3주차 엽수 편차 비교.



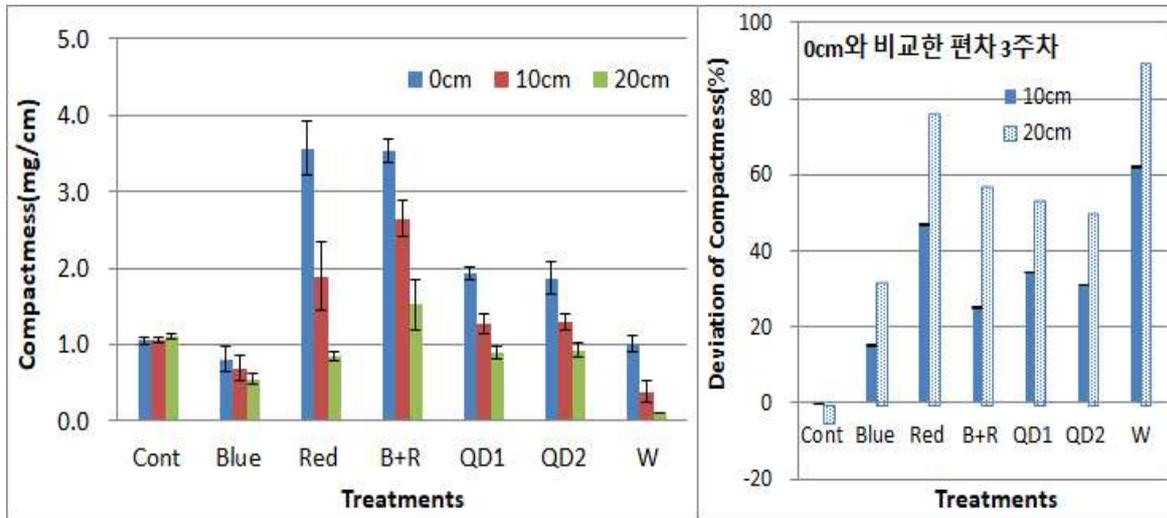
[그림 172] 각 광원의 조사에 따른 적로메인 상추 지상부와 지하부의 생체중과 편차 비교.

- 지상부 건물중은 0cm에서는 R에서 가장 무거웠고, 다음으로 QD2, QD1, B+R 순서로 열선은 적색과 적외선광이 분포한 처리구에서 무거웠음, 10cm에서도 역시 이들 적색광 포함 광처리에서 건물중이 높았으나, 20cm에서는 QD2에서 가장 무거웠음.
- 지하부 건물중도 지상부 건물중과 유사한 경향을 보였으나, 광처리구나 광원으로 거리별 처리에 유의적인 차이는 나타나지 않았음.
- 지상부 건물중의 위치별 편차는 인공광 중에서는 B+R이 가장 작았으며 다음으로 QD2였음.
- 지하부 건물중의 위치별 편차는 생육이 가장 저조하였던 B에서 가장 적었으며, 생육이 가장 우수하였던 QD2는 10cm와 20cm간 편차가 가장 적었음.
- 지상부 건물울은 0cm에서는 R에서 가장 높았으며, 다음으로 B+R, QD1, QD2 순서로 열선은 적색과 적외선광이 분포한 처리구에서 역시 높았으며, 10cm와 20cm 거리에서도 이들 열선을 포함한 처리구에서 높은 건물울을 보였음.
- 지상부 건물울의 위치별 편차도 B+R이 가장 작았으며 다음으로 QD1이 작았음.

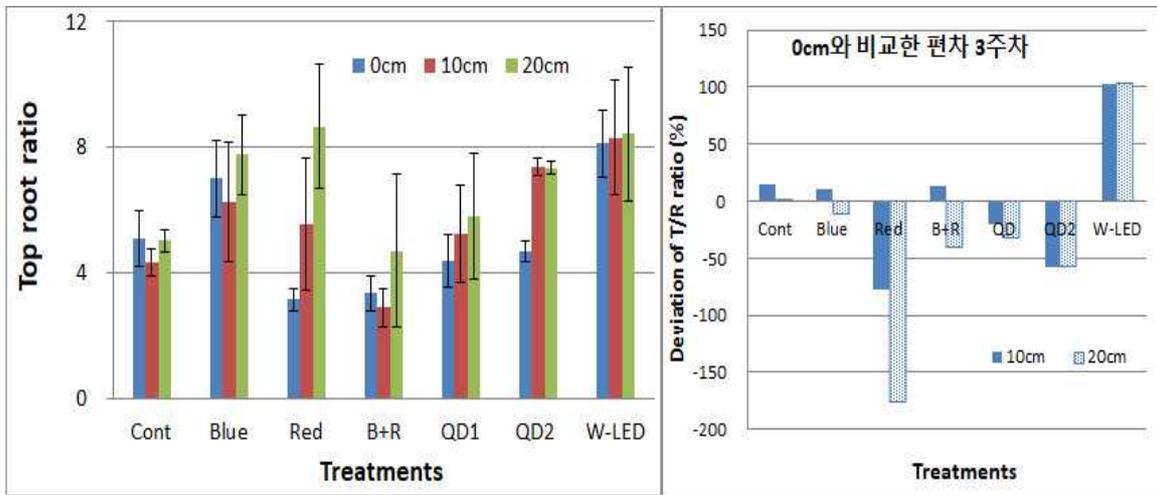


[그림 173] 각 광원의 조사에 따른 적로메인 상추 지상부와 지하부의 건물중, 지상부 건물율과 편차 비교.

- 묘층실도는 0cm위치에서는 R, B+R에서 높았으나, 20cm 위치에서는 B+R에서 가장 높았고 다음으로 QD2, QD1 수준이었는데, 10cm와 20cm에서도 자연광 대조구의 묘층실지수 1.0에 가장 근접한 수치를 보인 처리구는 QD2, QD1 였음.
- 또한 묘층실도와 위치별 편차에서도 생육이 매우 저조했던 B광 다음으로 생육량이 가장 많았던 QD2에서 가장 적었음.
- 적로메인묘의 T/R율은 W-LED에서 높았으나, 광원별과 광원에서부터 거리별로 통계적으로 유의적인 차이는 나타나지 않았음.
- T/R율의 광원으로부터 거리별 편차는 생육량이 저조하였던 B에서 가장 적었으며 가장 생육이 우수하였던 QD2의 20cm편차값은 57%로 175.5%였던 R과 비교하면 3배나 높은 균일도를 보였음.



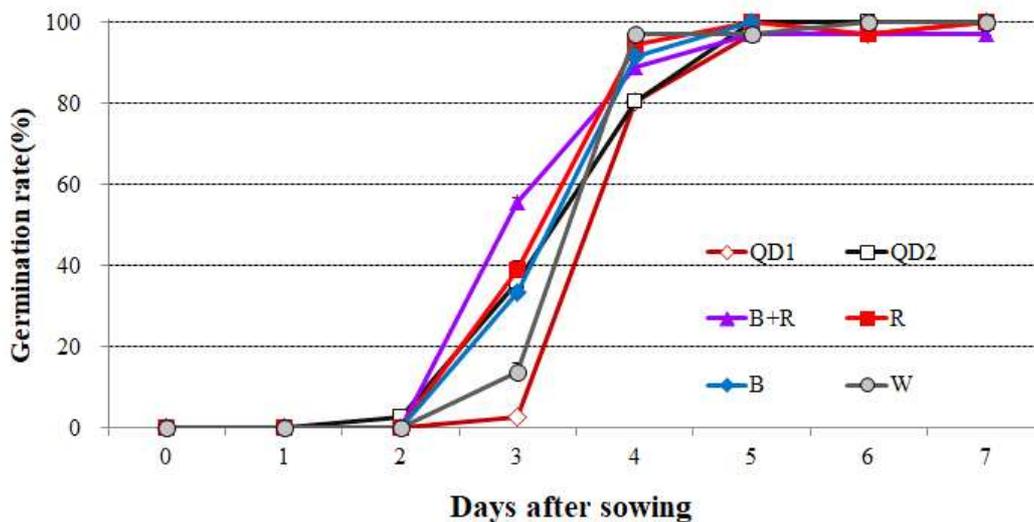
[그림 174] 각 광원의 조사에 따른 적로메인 상추 묘 충실도와 편차 비교.



[그림 175] 각 광원의 조사에 따른 적로메인 상추 묘 T/R율과 편차 비교.

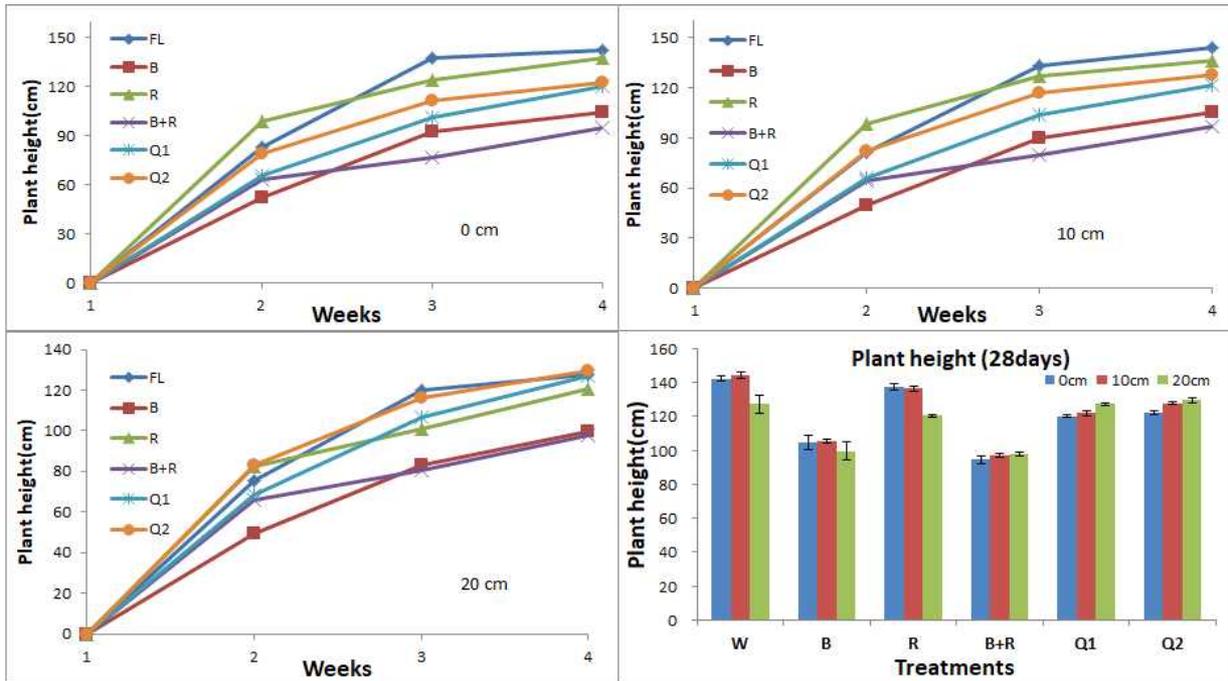
#### 다. 토마토 육묘 도장 억제

- 연구목표: 작물의 생육은 광질의 영향을 많이 받는데, 최근 기존 LED 광원에 비해 조사범위(각)가 넓고 Emerson 상승 효과를 가져올 수 있으며 넓은 적색광을 조사할 수 있는 Quantum dot(QD-LED)이 개발되었음. 본 연구는 폐쇄형 식물공장 시스템에서 토마토묘의 발아와 생육에 미치는 QD-LED 광원을 포함한 다양한 광질의 영향을 알아보기 위해 수행함.
- 연구방법
  - 온도 : 26°C ± 2°C 습도: 65 ± 10%
  - 일장: 16시간(명), 8시간(암)
  - 광도: 200 ± 10 μmole/m<sup>2</sup>.s(40W 광원)
  - 대조구: Cont.(자연광), White (백열등)
  - 처리구: Blue, Red, Blue+N-Red, Blue+W-Red(QD-LED1,2)
  - 공시재료: 토마토( 'shinlovely256' , 아시아종묘)
  - 처리방법: 폐쇄형 식물공장에서 128공 육묘트레이를 16x3로 잘라서 원예 상토에 파종 후부터 광이 직하되는 부분을 0cm로 하여 좌,우 10cm, 20cm 부분과 비교하여 생육을 관찰 조사하였음
  - 조사내용: 발아율, 초장, 엽장, 엽폭, 경경, 균일도, 엽록소 함량(SPAD)
- 연구결과
  - 먼저 토마토 발아율은 파종 후 2일째 QD2가 가장 빠르게 발아하기 시작하여 최종일인 7일째 혼합(B+R)광를 제외한 모든 광원에서 100% 모두 발아하였으나 혼합(B+R)광원은 97.2%로 비교적 적었지만 그 차이는 미비하였음.



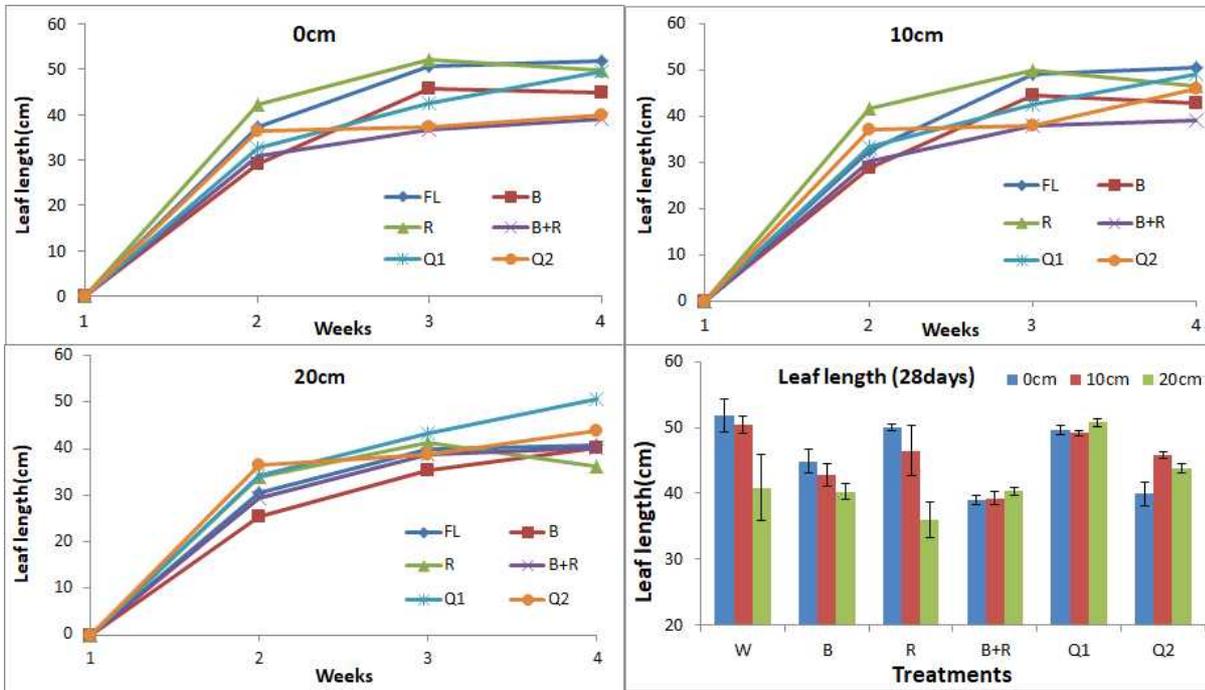
[그림 176] 몇 가지 광원에 따른 토마토 종자의 발아율 비교.

- 광원의 균일도를 비교하고자 실시한 생육조사 결과, 초장은 적색(Red)광하에서 중앙에서부터 20cm위치에서 약 1.7cm짧은 길이를 보였으며 다른 광 처리구들에서는 유의적인 차이가 나타나지 않았음. 2차에서 3차로 갈수록 중앙지점보다 적색광(Red), 형광등(white), 청색광(Blue)에서 초장이 평균 2cm씩 감소하였으나 QD1,2와 혼합광(B+R)하에서는 위치별 생육 차이가 1cm미만으로 중앙(기준점)과 차이가 미미하였음. 그러나 W-LED대비 QD1의 초장은 15.5% 억제되는 결과를 보였음.

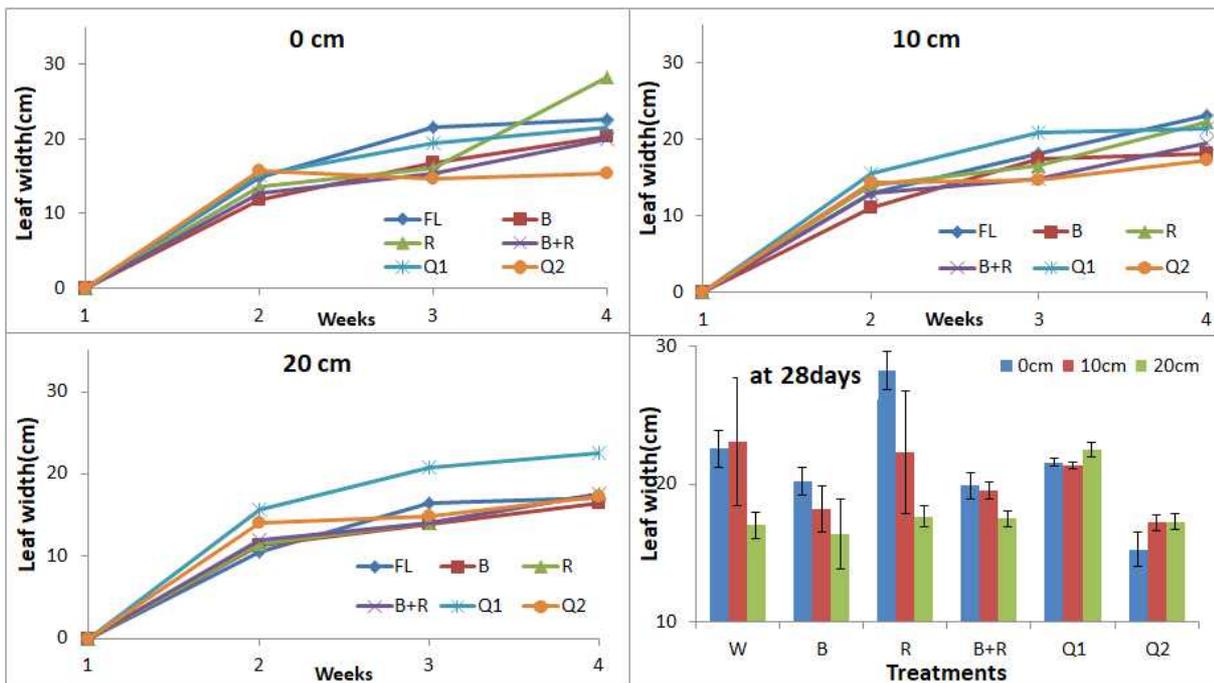


[그림 177] 광원의 종류와 광원(FL:형광등, B: blue LED광, R: red LED광, B+R: blue+red LED광, Q1: QD1 - blue + red + infrared, Q2: QD1 - blue + red + infrared,으로부터의 거리(0cm, 10cm, 20cm)에 따른 토마토묘의 초장 변화.

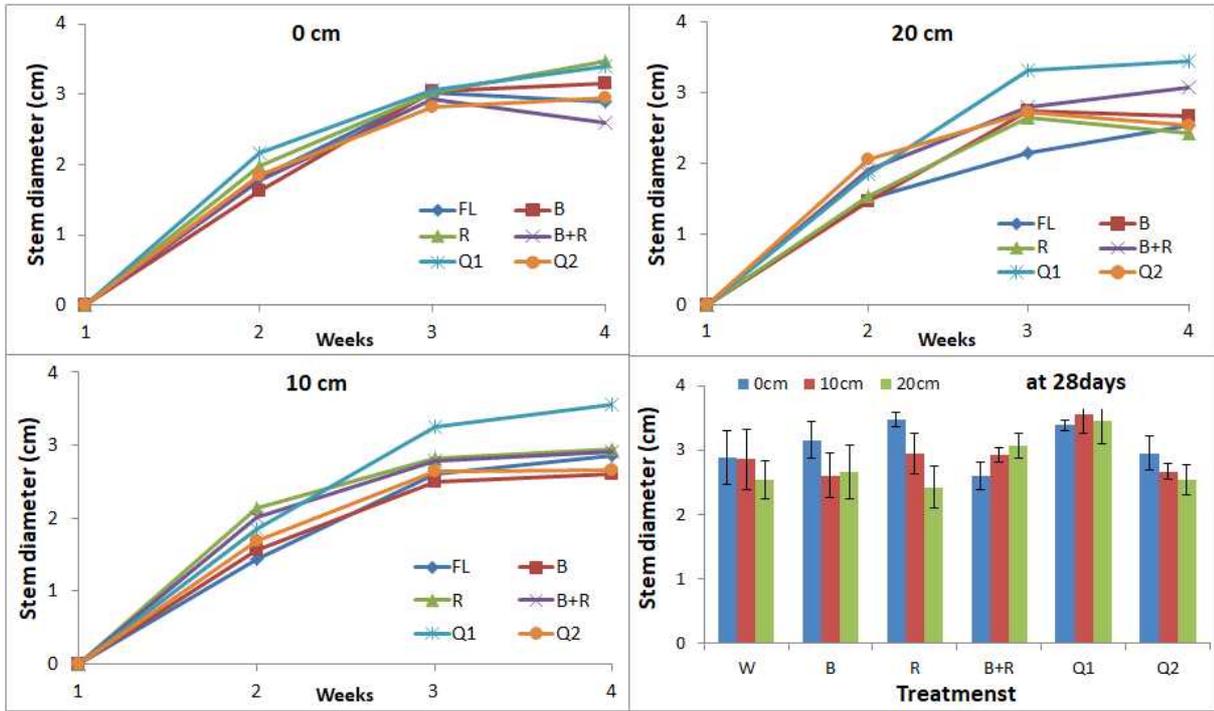
- 엽장 조사 1차에서 QD1,2를 제외한 광하에서 생육감소를 보였음. 마지막 조사일인 3차에서도 1차와 비슷한 경향으로 감소하였는데, 그중 적색광(Red)에서 약1.3cm의 다른광 처리에 비해 큰 감소율을 보였음.
- 엽폭은 초장의 경향과 비슷하게 적색광(Red)과, 형광등(white), 청색광(Blue)에서 감소하였으며 이외에 다른 광하에서 조사 종료일까지 큰 차이는 나타나지 않았음.
- 과채류 묘의 경경은 묘의 충실도를 대표하는 지표인데 6가지 광원하에서 28일간 재배한 토마토의 경경은 광원에서 0cm에서는 R과 Q1에서 가장 두꺼웠으나, 10cm와 20cm거리에서는 Q1에서 가장 두꺼운 경경을 나타내었음.



[그림 178] 광원의 종류와 광원으로부터의 거리(0cm, 10cm, 20cm)에 따른 토마토묘의 엽장의 변화.

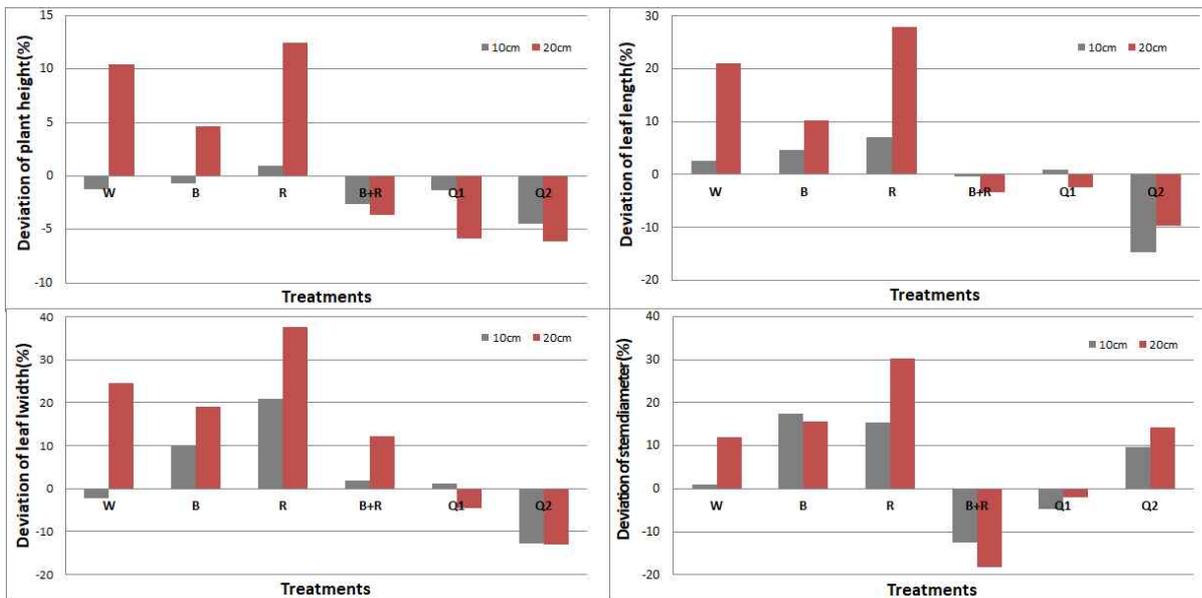


[그림 179] 광원의 종류와 광원으로부터의 거리(0cm, 10cm, 20cm)에 따른 토마토묘의 엽폭의 변화.



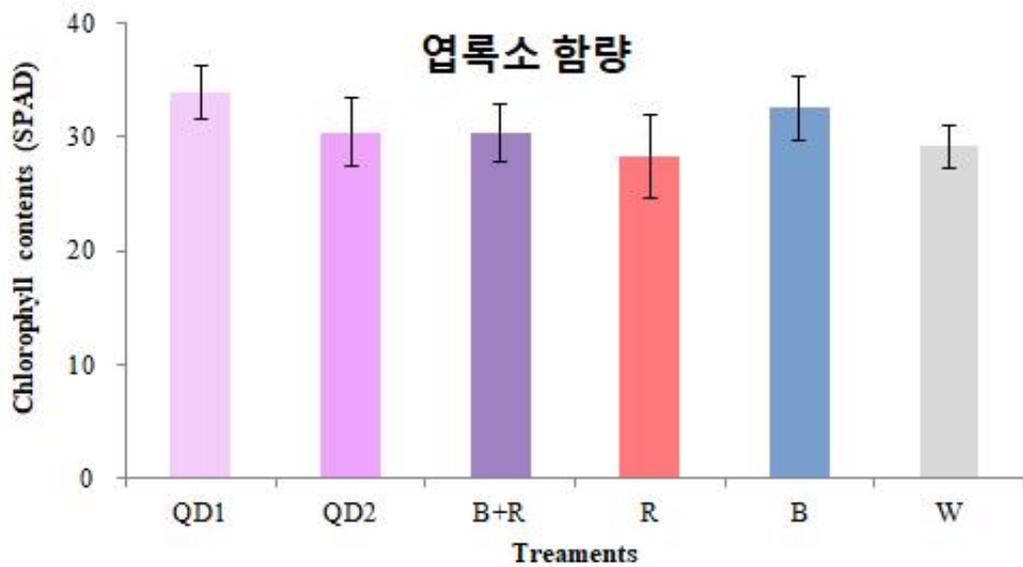
[그림 180] 광원의 종류와 광원으로부터의 거리(0cm, 10cm, 20cm)에 따른 토마토묘의 엽폭의 변화.

- 토마토묘의 균일도(0cm와 20cm거리의 편차 비교)를 비교한 결과 W-LED광 대비 QD1광이 엽장 871%, 엽폭 553%, 경경 610% 향상하였으며, 초장도 178%로 B+R(286%) 다음으로 높아 인공광을 이용한 토마토묘 생산에 가장 적합한 광원이라 판단됨.



[그림 181] 광원의 종류와 광원으로부터의 거리(0cm, 10cm, 20cm)에 따른 토마토묘의 초장, 엽장, 엽폭, 경경의 편차 비교.

- 조사종료일인 29일차에 엽록소 함량(SPAD)은 QD1이 가장 높았으며, 적색광(Red)하에서 가장 낮았다. 위의 실험결과를 종합해 보면 QD1,2와 혼합광(B+R)하에서 이외에 광 처리에 비해 위치별 생육의 차이가 작았음. 따라서 QD1,2와 혼합광(B+R)이 다른 광처리구에 비하여 조사범위(각)가 좀 더 넓다는 것을 확인 할 수 있었음.



[그림 182] 광원의 종류에 따른 토마토묘의 잎의 엽록소 함량 비교.



[그림 183] 광원의 종류에 따른 토마토묘의 양상.

### 3. 생육일수 단축 및 항산화 물질 등 내적 품질 향상 비교

: 항산화 물질 등의 내적 품질 향상을 위한 유색 잎채소를 대상으로 한 비교 실험

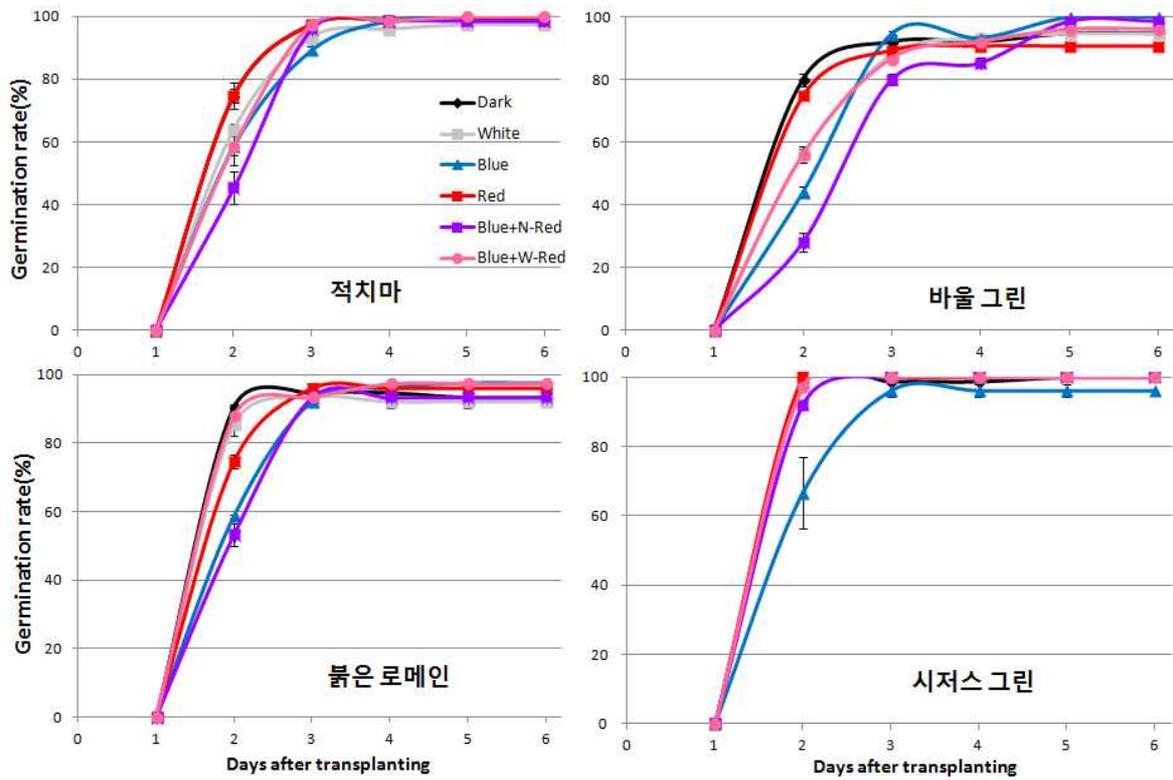
#### 가. 유색계통의 광발아종자인 몇 가지 상추를 대상으로 한 광 종류별 발아율 비교

##### - 연구방법

- 온도 : 20°C ±2°C
- 습도: 75~80%
- 일장: 20시간(장일)4시간(단일)
- 광도: 150  $\mu$  mole/m<sup>2</sup>.s (10W 광원 10cm)
- 대조구: Dark, White(암조건과 형광등)
- 처리구: Blue, Red, Blue+N-Red, Blue+W-Red(QD-LED)
- 처리종자: 적치마, 붉은로메인, 바울그린, 시저스그린
- 처리방법: 폐쇄형 식물공장에서 각광별로 샬레에 필터페이터를 깔고 증류수를 포화시킨 뒤 각 종자를 25개씩 3반복으로 치상
- 조사내용: 발아율, 발아세(T<sub>50</sub>)

##### - 연구결과

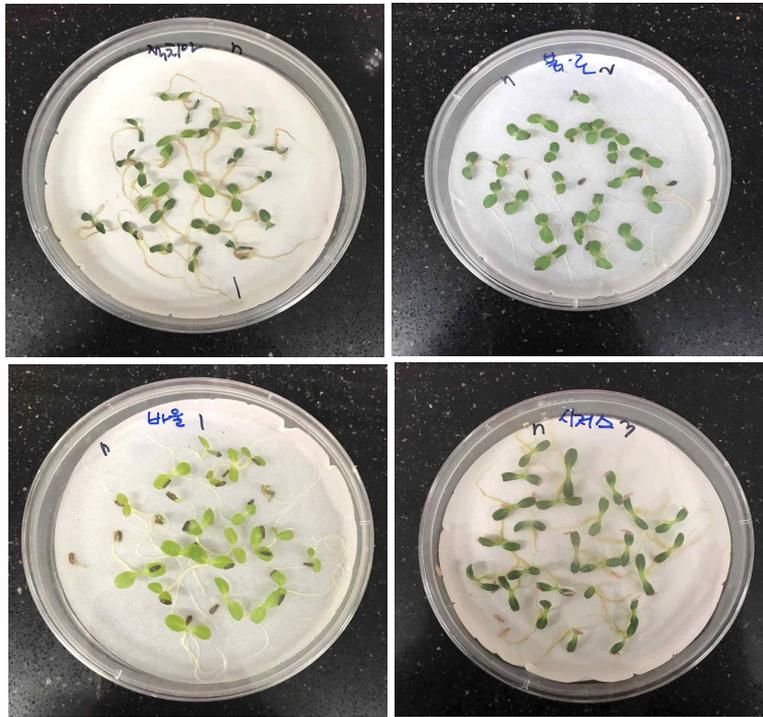
- 모든 상추가 파종 1일 후부터 발아가 시작되어 파종 3일 후에는 80%이상의 발아율을 보였음. 적치마는 Blue+W-Red(QD-LED)광, 바울 그린은 Blue광, 붉은 로메인은 Blue+W-Red(QD-LED)광, 시저스 그린은 Blue광을 제외한 모든 광 처리구가 100%에 달하는 높은 발아율을 나타냄. 발아 속도는 적치마의 경우 Red광이 가장 빠르고, Blue+N-Red광이 가장 느렸음. 바울 그린과 붉은 로메인은 Dark 처리가 가장 빨랐으며, Blue+N-Red광이 가장 느렸음. 시저스 그린의 경우 Red광이 가장 빠르게 발아하였고, Blue광이 가장 느렸음.
- 발아세는 적치마의 경우 모든 처리구 중 가장 빠른 처리구와 가장 느린 처리구의 차이가 0.4일, 붉은 로메인은 0.5일, 시저스 그린은 0.6일 정도로 거의 차이가 나타나지 않았음. 바울 그린의 경우 가장 빠른 발아세를 나타낸 Dark 처리구는 1.3일과 Blue+N-Red광의 2.5일의 수치가 가장 큰 차이를 나타내었음.
- 따라서 몇 가지 상추에 여러 가지 광 처리를 각각 하였을 때, 광에 따른 발아율 차이는 크게 나타나지 않았으며 붉은 로메인에서만 Blue+W-Red(QD-LED)광 처리는 다소 빠른 발아 속도를 나타내었음.



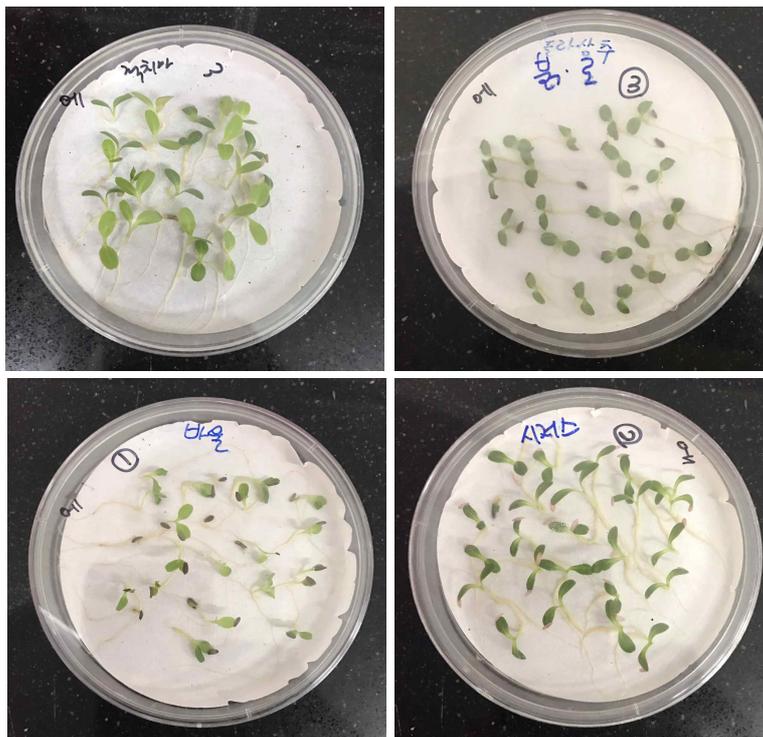
[그림 184] 각 광에 따른 적치마, 붉은 로메인, 바울그린, 시저스 그린 발아율 비교.

[표 41] 각 광에서 적치마, 붉은 로메인, 바울 그린, 시저스 그린의 발아세( $T_{50}$ -days)

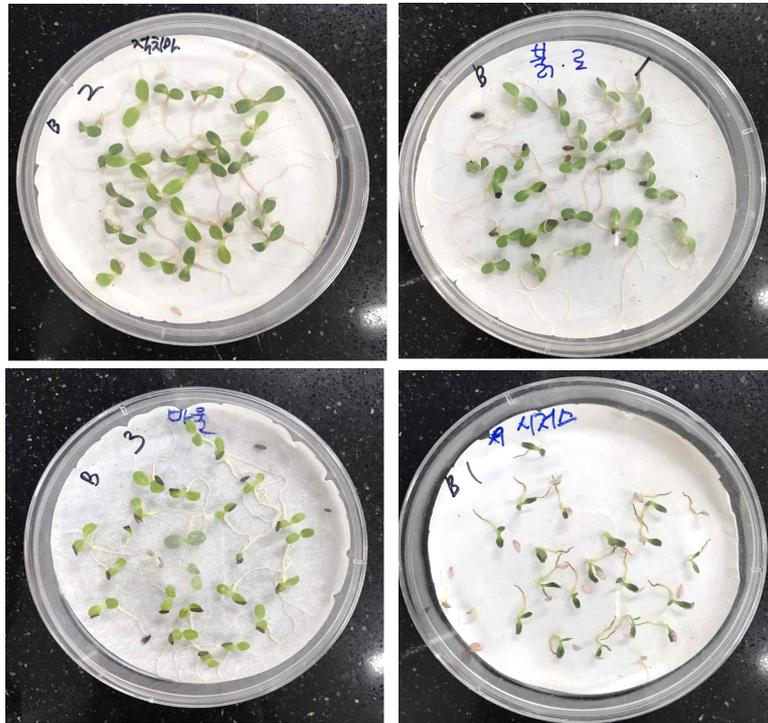
	DARK	White	BLUE	RED	BLUE+N-Red	BLUE+W-Red
적치마	1.3	1.5	1.6	1.3	1.7	1.6
붉은 로메인	1.2	1.4	1.6	1.5	1.7	1.3
바울 그린	1.3	1.8	2.2	1.4	2.5	1.8
시저스 그린	1.3	1.3	1.8	1.2	1.5	1.3



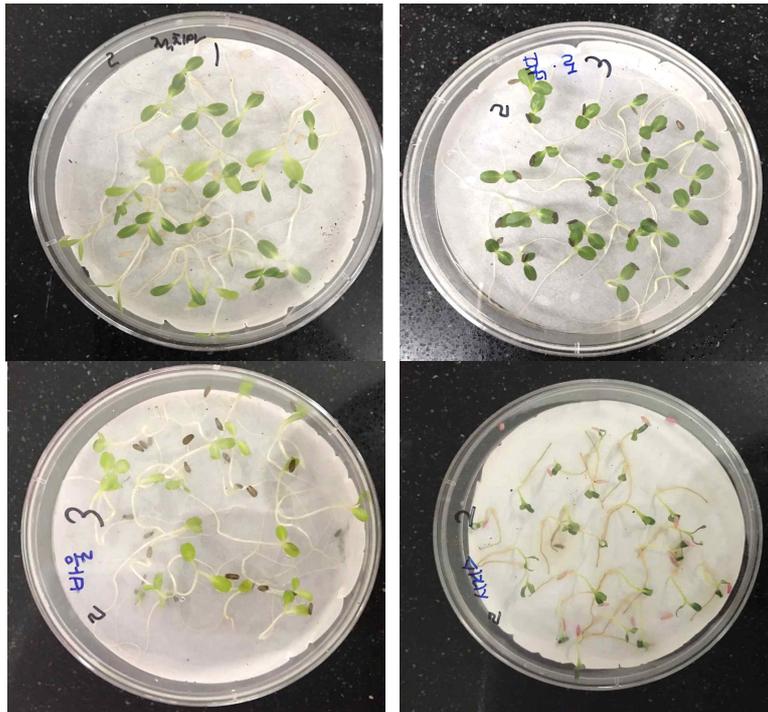
[그림 185] Blue+N-Red광 처리에서의 상추 종류별 발아 적치마(좌/상), 바울그린(좌/하), 붉은 로메인(우/상), 시저스 그린(우/하).



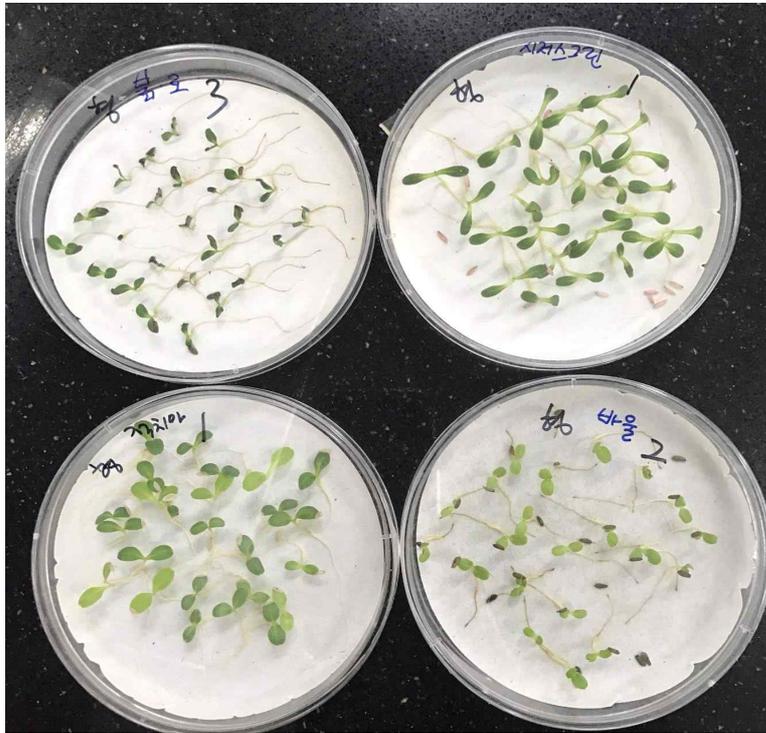
[그림 186] Blue+W-Red(QD-LED)광 처리에서의 상추 종류별 발아 적치마(좌/상), 바울그린(좌/하), 붉은 로메인(우/상), 시저스 그린(우/하).



[그림 187] Blue광 처리에서의 상추 종류별 발아  
적치마(좌/상), 바울그린(좌/하), 붉은 로메인(우/상), 시저스 그린(우/하).



[그림 188] RED광 처리에서의 상추 종류별 발아  
적치마(좌/상), 바울그린(좌/하), 붉은 로메인(우/상), 시저스 그린(우/하).



[그림 189] White광 처리에서의 상추 종류별 발아  
적치마(좌/상), 바울그린(좌/하), 붉은 로메인(우/상), 시저스 그린(우/하).



[그림 190] Dark처리에서의 상추 종류별 발아  
적치마(좌/상), 바울그린(좌/하), 붉은 로메인(우/상), 시저스 그린(우/하).

## 나. 유색계통의 광발아종자인 몇 가지 상추를 대상으로 한 광 종류별로 상토에서의 발아율 비교

### - 연구방법

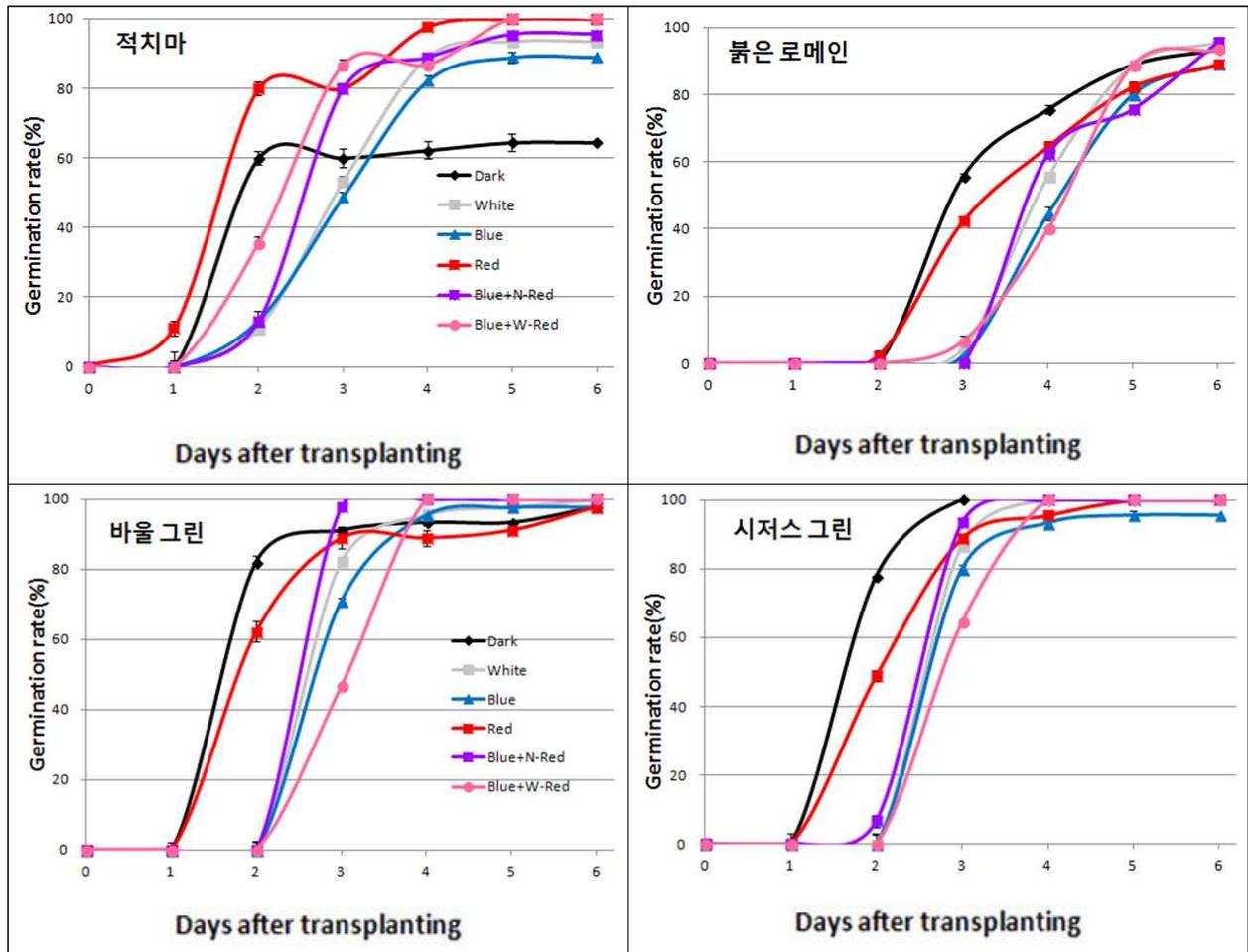
- 온도 : 20°C ±2°C
- 습도: 75~80%
- 일장: 20시간(장일), 4시간(단일)
- 광도: 150  $\mu\text{mole}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ (10W 광원 10cm)
- 대조구: Dark, White(암조건과 형광등)
- 처리구: Blue, Red, Blue+N-Red, Blue+W-Red(에머슨상승효과 적용 QD-LED)
- 공시재료: 적치마, 붉은로메인, 바울그린, 시저스그린
- 처리방법: 폐쇄형 식물공장에서 각광별로 128공 육묘트레이 사이즈에 5x3 사이즈로 잘라 원예상토에 파종(3반복)
- 조사내용: 발아율, 발아세( $T_{50}$ ), 엽록소 함량, 묘 생육지수(초장, 엽장)

### - 연구결과

- 적치마 상추의 발아속도는 Red광, Dark 처리구가 파종 1일 후 가장 빠르게 발아 하였고, Blue+W-Red(QD-LED)광과 Blue+N-Red광은 2일 후, White 처리구와 Blue광은 3일 후 발아하기 시작하였음. 적치마 상추의 최종 발아율은 Dark 처리구를 제외하고, RED광과 Blue+W-Red(QD-LED)광에서 파종 5일 후 100%의 발아율을 나타냈으며, BLUE광에서 가장 저조한 발아율 88.9%의 발아율을 보였음.
- 붉은 로메인 상추의 발아속도는 파종 2일 후 Dark처리와 Red광 처리가 가장 빠른 속도를 보였으며, 나머지 처리구는 3일 이후 발아를 시작하였음. 최종 발아율은 White광과 Blue+N-Red광이 95.6%로 가장 높은 발아율을 보였으며, BLUE광과 RED광이 가장 낮은 88.9%의 상대적으로 낮은 수치를 나타냈음.
- 바울 그린의 발아속도는 파종 1일후에 Dark처리와 Red광이 가장 빠르게 발아하기 시작하였으며, 나머지 처리구는 2일 이후 발아하였음. Blue+W-Red(QD-LED)광 처리구가 가장 느리게 발아 속도를 보였지만 파종 4일째 모든 종자가 발아하였음. 조사 종료일의 발아율은 Dark처리, BLUE, RED광이 동일하게 97.8%로 상대적으로 낮았으며, White광과, Blue+N-Red광과, Blue+W-Red(QD-LED)광에서 모두 발아하였음. 바울 그린의 경우 발아 속도와 최종적인 발아율이 다른 결과를 나타냈음.
- 시저스그린 상추의 발아속도는 Dark처리와 Red광처리가 파종 1일 이후 발아하며 가장 빨랐으며, 이를 제외한 나머지 광 처리구는 파종 2일 후 발아하기 시작하였음. 최종 발아율은 BLUE광을 제외한 모든 광에서 100%를 나타냈음. 발아세는 모든 상추에서 Dark처리가 가장 빠른 경향을 나타냈음.
- 파종 6일 후 모든 상추의 초장은 Dark처리와 Red광처리가 다소 높았으며, 엽장은 모든 처리구 유사한 수치를 보였음. 엽록소 함량은 적치마의 경우 RED광, 붉은 로메인 상추의 경우 Blue+N-Red

광, 바울그린은 RED광, 그리고 시저스그린은 White광에서 가장 높게 나타났으며, 모든 상추에서 Dark처리가 가장 낮았음.

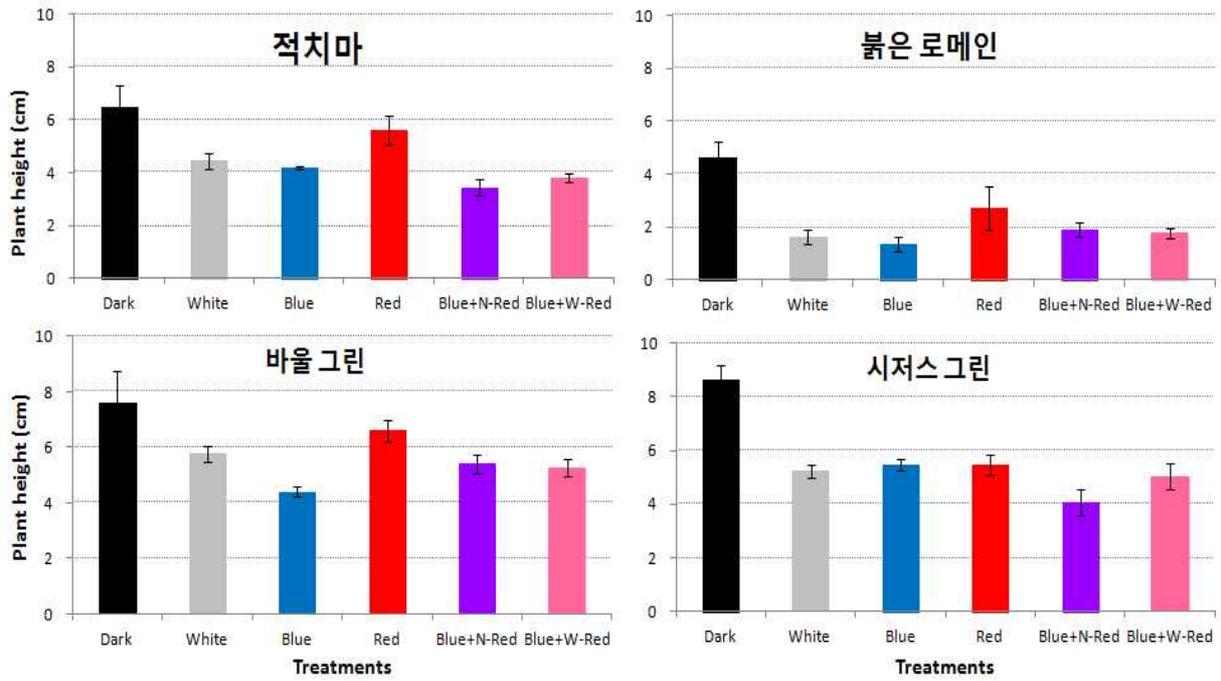
- 묘생산 균일도 영향이 큰 발아세의 경우 대조구라 할 수 있는 white(형광등)에 비해 적치마, 붉은 로메인, 바울그린의 경우 Blue+N-Red광에서 1각각 10%, 10%, 4% 단축되었음. 그러나 시저스그린은 발아일 단축 효과가 없었음.



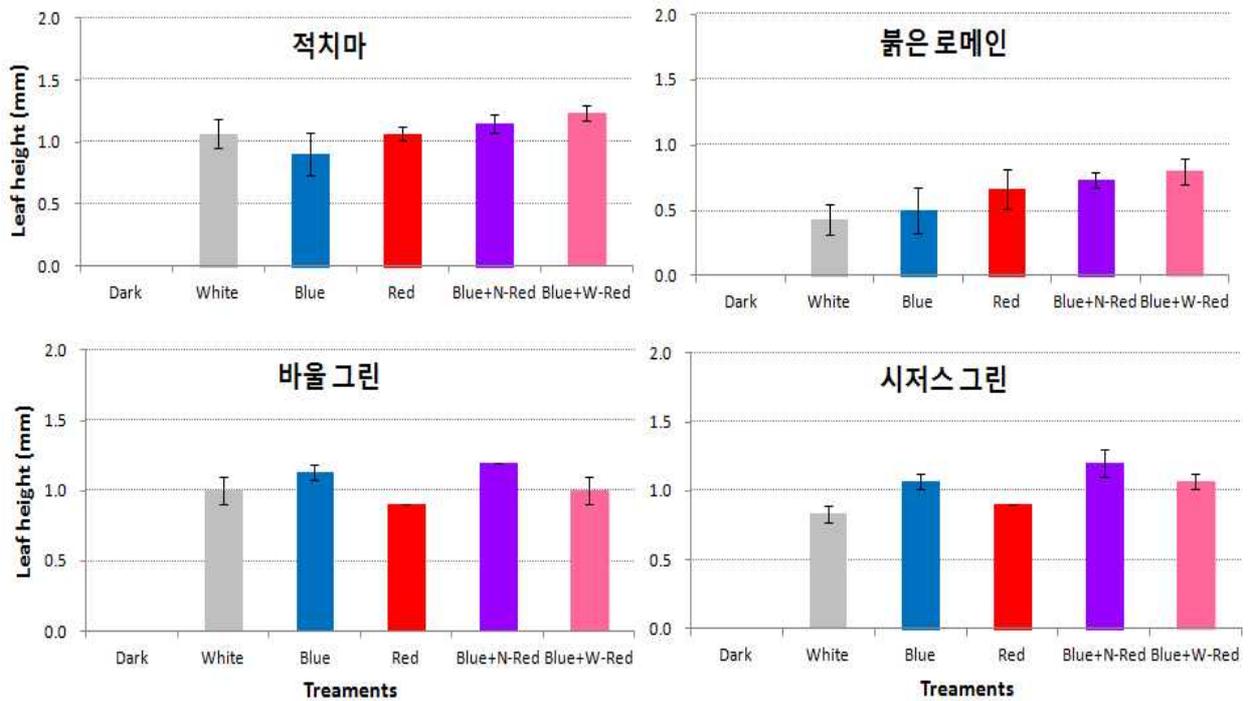
[그림 191] 각 광처리에 따른 적치마, 붉은 로메인, 바울그린, 시저스그린의 발아율 비교.

[표 42] 각 광에서 적치마, 붉은 로메인, 바울그린, 시저스그린의 발아세( $T_{50}$ -days)

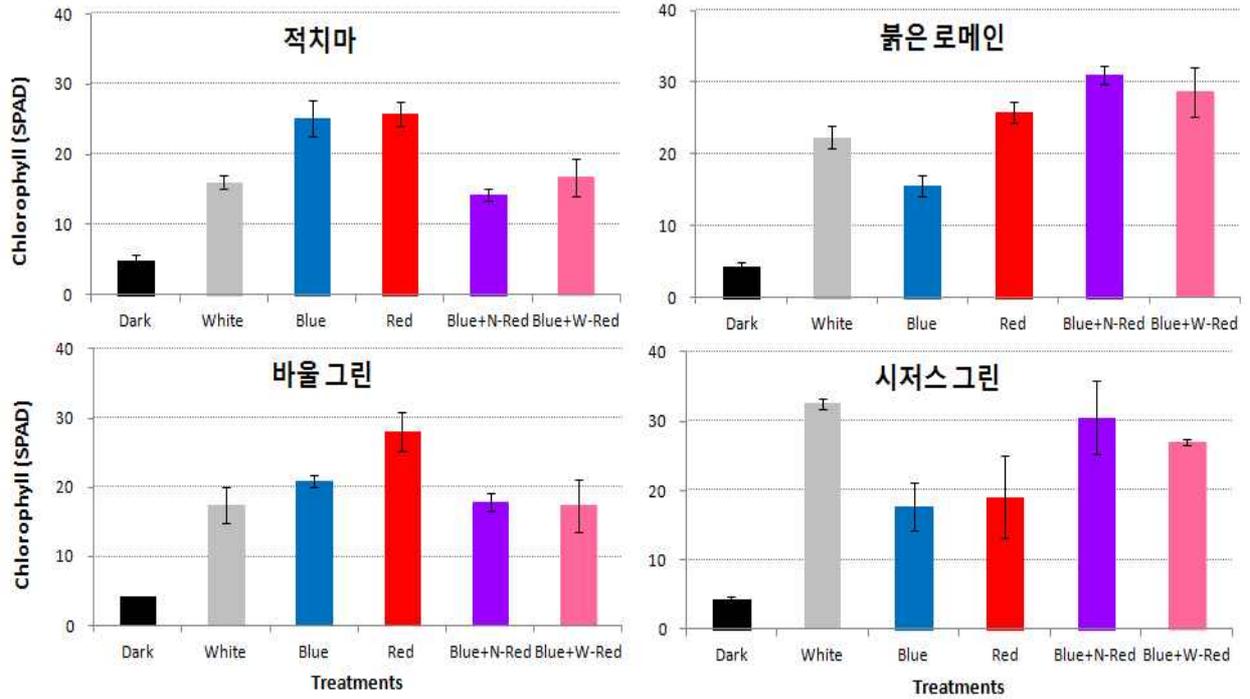
	DARK	White	BLUE	RED	BLUE+N-Red	BLUE+W-Red
적치마	1.4	3.0	2.8	1.3	2.7	2.5
붉은 로메인	2.7	3.9	4.0	3.2	3.5	4.3
바울그린	1.3	2.5	2.7	1.7	2.4	3.1
시저스그린	1.8	2.1	2.5	2.1	2.5	2.8



[그림 192] 각 광에 따른 적치마, 붉은 로메인, 바울그린, 시저스그린 초장 비교.



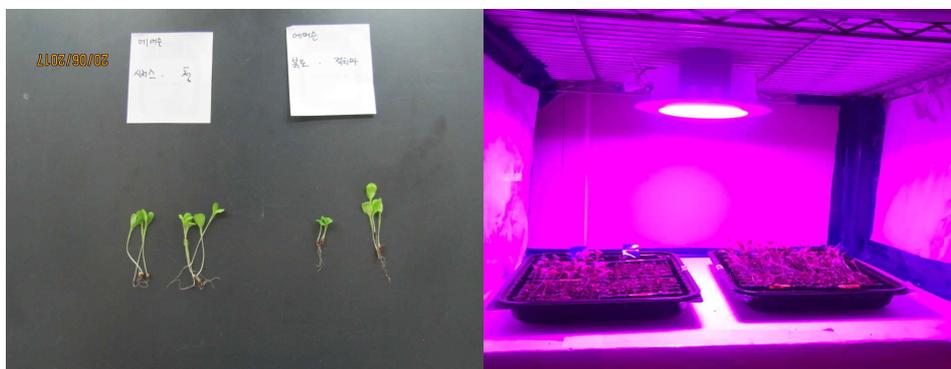
[그림 193] 각 광에 따른 적치마, 붉은 로메인, 바울그린, 시저스그린 엽장 비교.



[그림 194] 각 광에 따른 적치마, 붉은 로메인, 바울그린, 시저스 그린 엽록소 함량 비교.



[그림 195] Blue+N-Red광(좌)에서의 몇 가지 상추 파종 후 6일차 생육 사진(우).



[그림 196] Blue+W-Red(QD-LED)(좌)에서의 몇 가지 상추 파종 후 6일차 생육.



[그림 197] BLUE광(좌)에서의 몇 가지 상추 파종 후 6일차 생육 사진(우).



[그림 198] RED광(좌)에서의 몇 가지 상추 파종 후 6일차 생육 사진(우).



[그림 199] White광(좌)에서의 몇 가지 상추 파종 후 6일차 생육 사진(우).



[그림 200] Dark처리(좌)에서의 몇 가지 상추 파종 후 6일차 생육 사진(우).

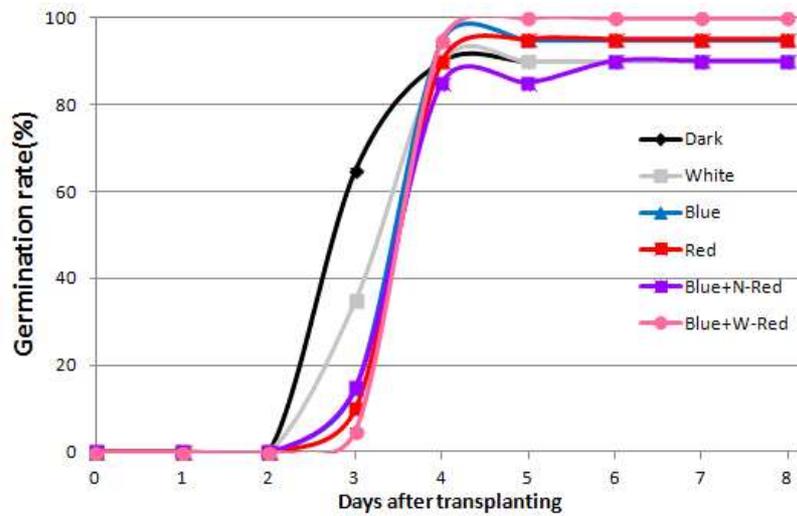
## (다) 몇 가지 광 처리가 광발아 종자인 상추 ‘진청 로메인’의 발아 및 생육에 미치는 영향

### - 연구방법

- 온도 : 28°C ±2°C
- 습도: 75~80%
- 일장: 16시간(장일), 8시간(단일)
- 광도: 150  $\mu$  mole/m<sup>2</sup>.s(10W 광원 10cm)
- 대조구: Dark, White(암조건과 형광등)
- 처리구: Blue, Red, Blue+N-Red, Blue+W-Red(QD-LED)
- 공시재료: 진청로메인
- 처리방법: 폐쇄형 식물공장에서 각광별로 128공 육묘트레이 사이즈에 5x4 사이즈로 잘라 원예상태에 파종
- 조사내용: 발아율, 발아세(T<sub>50</sub>), 엽록소 함량, 묘 생육지수(초장, 엽장, 건물중)

### - 연구결과

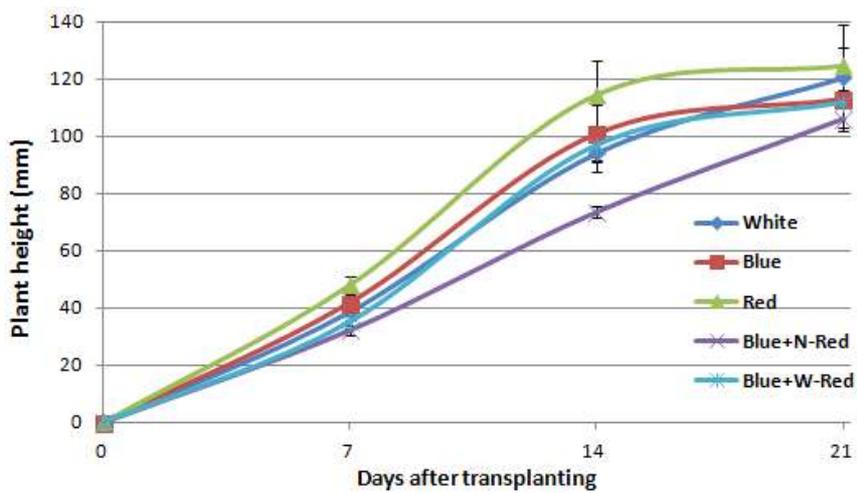
- 진청 로메인의 발아속도는 파종 2일 후에 Dark처리에서 가장 빠르게 발아 하였으며 이를 제외한 나머지 광 처리구는 3일 후 발아하기 시작하여 4일 후 모든 처리구가 80% 이상의 발아율을 보였음. 조사 종료일의 발아율은 Blue+W-Red(QD-LED)광이 100%로 가장 높았으며, Blue+N-Red광이 90%로 비교적 낮았음. 발아세는 Dark처리가 가장 빨랐으며 나머지 처리구는 유사한 수치를 나타냈음.
- 생육지수는 3주간 재배하며 조사하였음. 초장은 Red광이 다른 처리구에 비해 다소 빠르게 증가하였고, Blue+N-Red광 처리가 가장 늦게 증가하였으나 조사 종료일인 21일에 모든 처리구가 110mm 이내로 유사한 수치를 보였음. 엽장은 모든 처리구 유사한 값을 나타냈고, 지상부 생체중은 Red광, 지하부 생체중은 Blue+N-Red광이 가장 높았음. 건물중은 지상부의 경우 Blue+W-Red(QD-LED)광, 지하부는 Blue광이 가장 높았음. 조사 종료일에 엽록소를 측정된 결과 Blue+N-Red광에서 가장 높았으나 통계적 유의성은 없었음.
- 위의 결과를 종합해 보면, 광에 따른 진청 로메인의 발아 및 생육에는 크게 차이는 없었으나, 아래 사진에서 보듯이 Red광의 경우 생육이 균일하지 못하며, Blue+N-Red나 Blue+W-Red(QD-LED)광이 진청 로메인 상추의 생육시 균일하게 하는 것으로 보여짐. 묘출실도로 볼 때 Blue+N-Red가 White(형광등)에 비해 나 Blue+W-Red(QD-LED)광에서 가장 높았음.



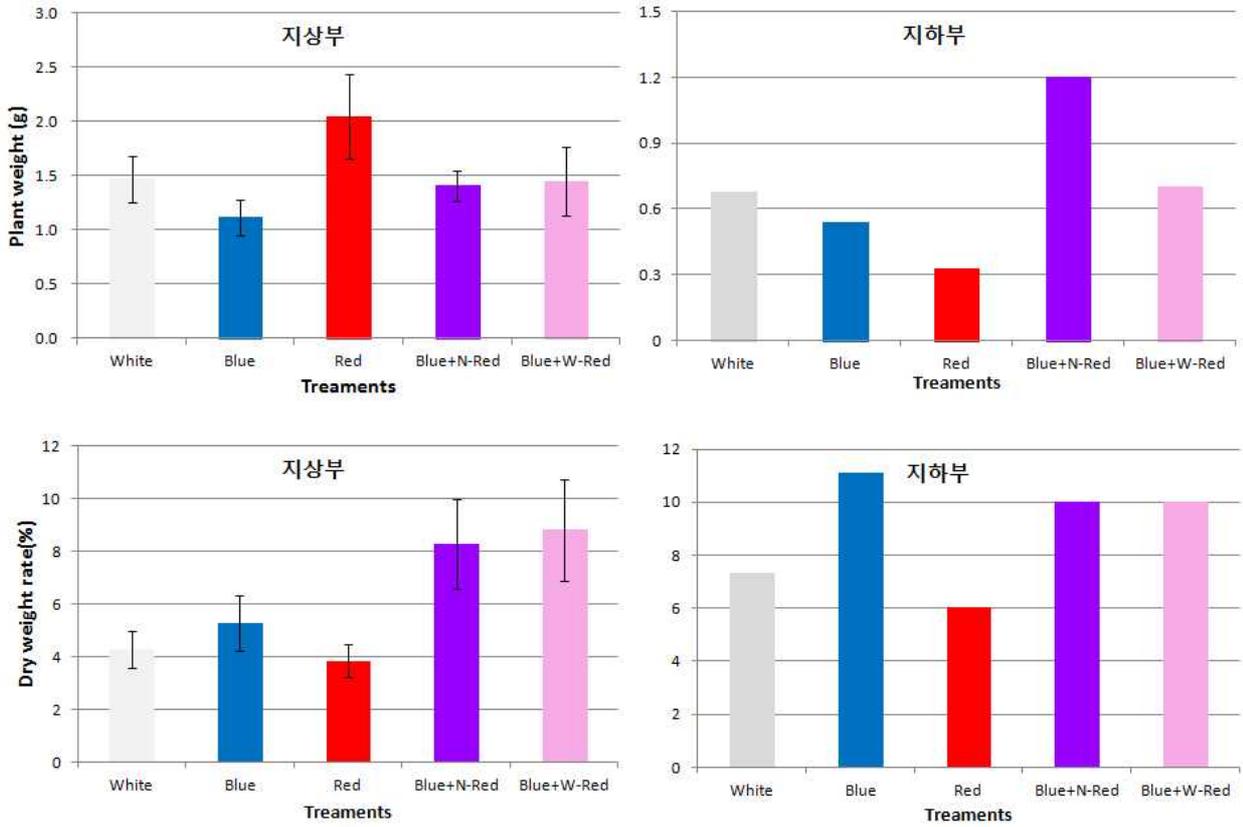
[그림 201] 광 종류별 진청 로메인 발아율 비교.

[표 43] 각 광에서 진청 로메인의 발아세( $T_{50}$ -days)

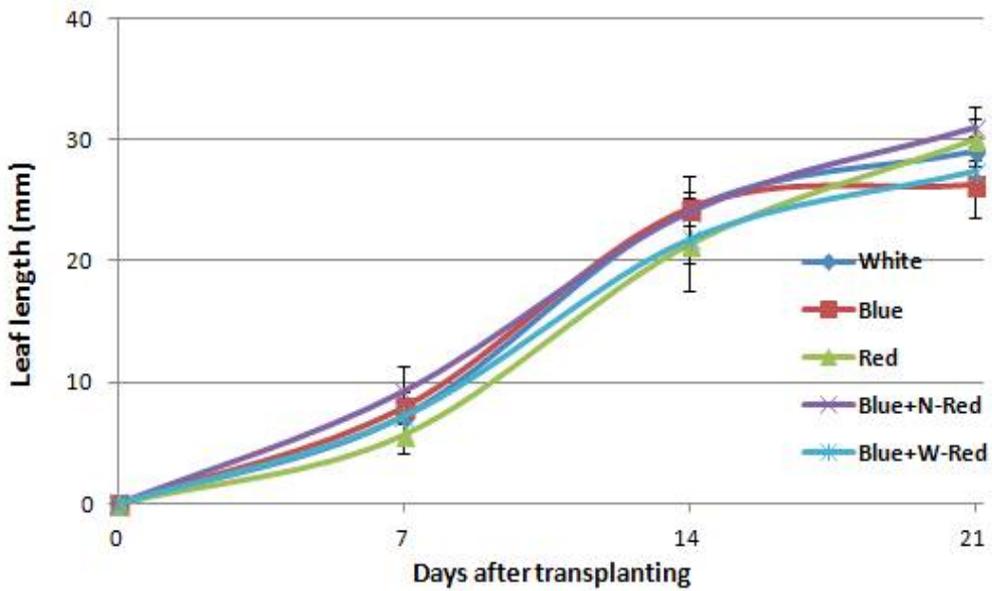
	DARK	White	BLUE	RED	BLUE+N-Red	BLUE+W-Red
진청 로메인	2.8	3.3	3.5	3.6	3.7	3.4



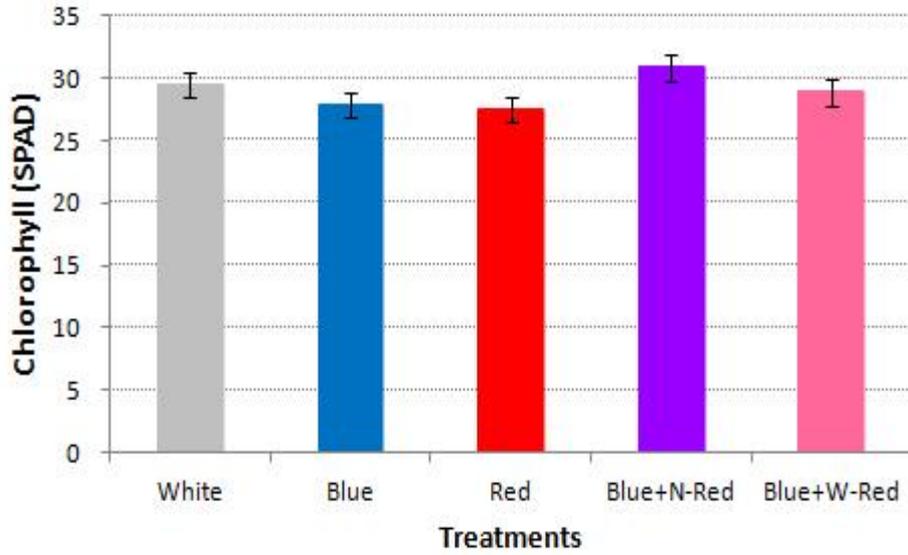
[그림 202] 광 종류별 진청 로메인의 초장 비교.



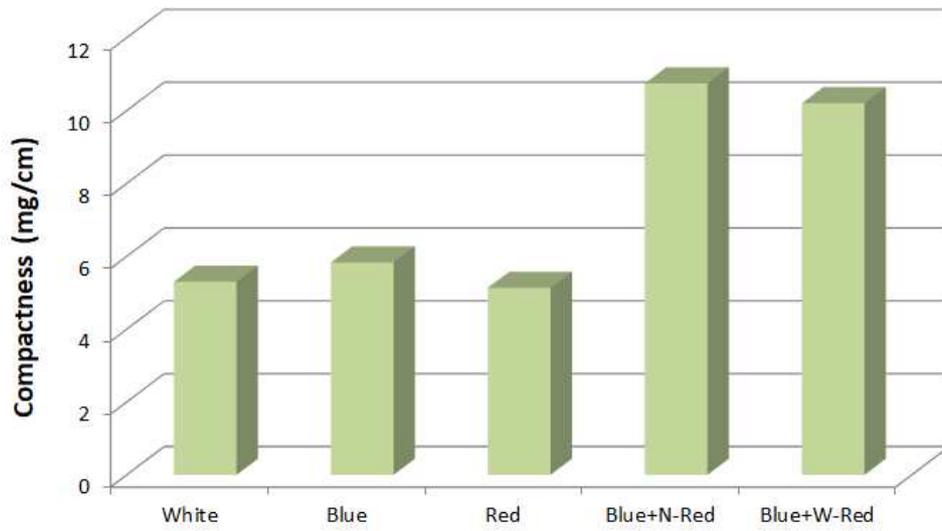
[그림 203] 광 종류별 진청 로메인의 건물중(지상부, 지하부) 비교 그래프.



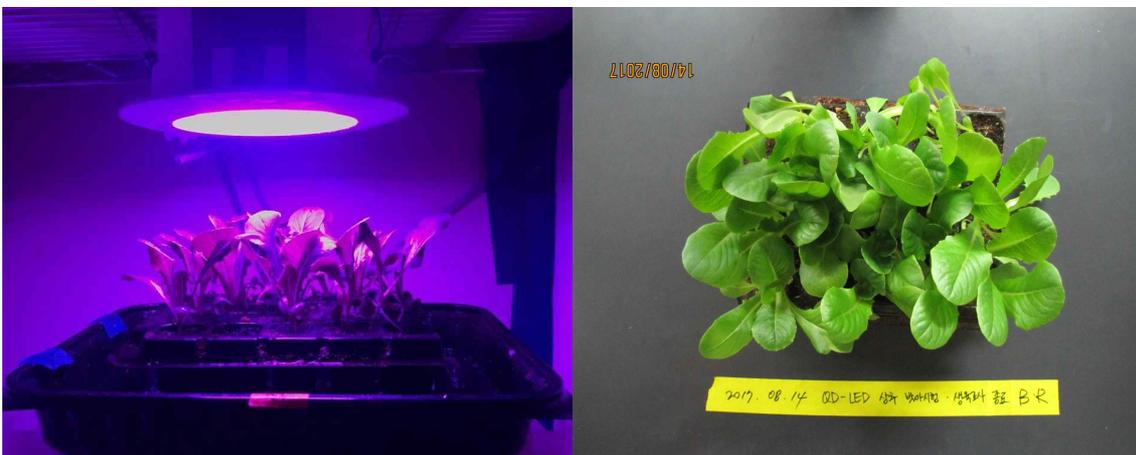
[그림 204] 광 종류별 진청 로메인의 엽장 비교.



[그림 205] 광 종류별 진청로메인의 엽록소 함량 비교.



[그림 206] 광 종류별 진청로메인 지상부의 묘충실도 비교.



[그림 207] Blue+N-Red광(좌)에서의 지상부 사진(우).



[그림 208] Blue+N-Red광 에서의 지상부와 지하부 사진.



[그림 209] Blue+W-Red(QD-LED)광(좌)에서의 상단부 사진(우).



[그림 210] Blue+W-Red(QD-LED)광에서의 지상부와 지하부 사진.



[그림 211] RED광(좌)에서의 상단부 사진(우).



[그림 212] RED광에서의 지상부와 지하부 사진.



[그림 213] BLUE광(좌)에서의 상단부 사진(우).



[그림 214] BLUE광에서의 지상부와 지하부 사진.



[그림 215] White광(좌)에서의 상단부 사진(우).



[그림 216] White광 에서의 지상부와 지하부 사진.

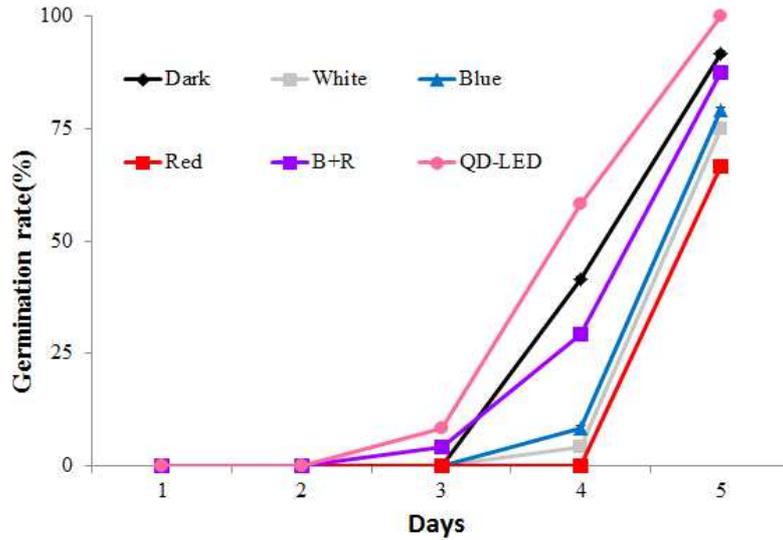
라. 몇 가지 광 처리가 저온조건에서 광발아 종자인 상추 ‘붉은 로메인’의 발아 및 생육에 미치는 영향

## - 연구방법

- 온도 :  $10^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
- 습도: 75~80%
- 일장: 16시간(장일), 8시간(단일)
- 광도:  $150 \mu\text{mole}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ (30W 광원)
- 대조구: Dark, White(암조건과 형광등)
- 처리구: Blue, Red, Blue+N-Red, Blue+W-Red(QD-LED)
- 공시재료: 진청로메인
- 처리방법: 폐쇄형 식물공장에서 각광별로 128공 육묘트레이 사이즈에 5x4 사이즈로 잘라 원예상토에 파종
- 조사내용: 발아율, 발아세( $T_{50}$ ), 엽록소 함량, 묘 생육지수(초장, 엽장, 건물중)

## - 연구결과

- 본 실험의 LED챔버 내의 온도는  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , 습도는  $70 \pm 5\%$ 로 설정하였으며, 일장은 16시간 장일, 8시간 단일로 설정하였음.
- 광원은 휴대용분광계로 각 광처리별  $150 \mu\text{mole}/\text{m}^2\cdot\text{s} \pm 5$ 로 일정하게 조정함. 광 처리는 청색광(Blue), 적색광(Red), 혼합광(Blue+Red), QD-LED(Blue+W-Red), 암조건(Dark), 그리고 대조구로 형광등(white)을 두었음.
- 공시 재료로는 상추 ‘적 로메인’ (아시아종묘)를 사용하였으며 폐쇄형 식물공장에서 128공 육묘트레이를 5x4로 잘라서 원예 상토에 파종 후부터 생육을 관찰 조사하였음. 조사항목으로는 발아율과 발아세( $T_{50}$ )를 측정하였음.
- 발아율은 파종 후 3일째에 혼합광(B+R)와 QD-LED광하에서 가장 먼저 발아하기 시작하여서 4일째에는 QD-LED에서 가장 빠른 발아율58%를 보였고, 반면에 적색광(R)에서는 0%로 가장 느린 발아율을 보였음. 발아율 조사 종료일인 5일째에 최종 발아율은 4일째와 비슷한 경향으로 QD-LED에서 100%로 모두 발아하였고, 적색광(R)에서 66%정도의 가장 저조한 발아율을 나타냈음.
- 발아속도는  $T_{50}$ 을 관찰한 결과 발아율의 경향과 유의적인 차이가 나타나지 않았는데 QD-LED에서 가장 빠르게 발아가 시작되었으며, 적색광(R)에서 비교적 느린 발아 속도를 나타내 가장 빨랐던 QD-LED와 1일정도의 격차를 나타냈음.



[그림 217] 각 광 처리별 적 로메인의 발아율.

[표 44] 각 광에서 적 로메인의 발아세(T<sub>50</sub>-days)

	Dark	White	Blue	Red	B+R	QD
상추(적로메인)	4일	4.5일	4.5일	4.8일	3.9일	3.8일

마. 몇 가지 광 처리가 저온조건에서 상추 ‘적 로메인’의 광합성 속도와 내적품질에 미치는 영향

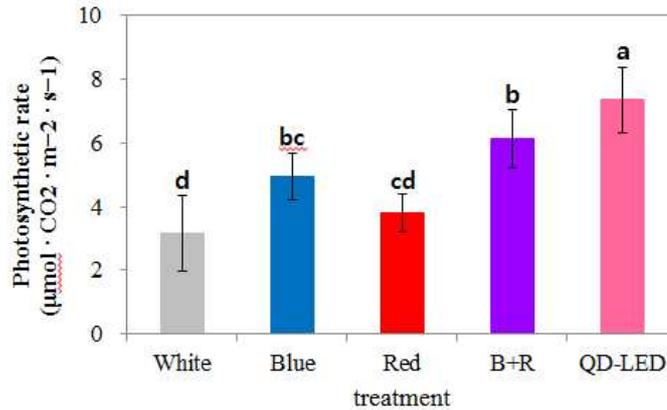
- 연구방법

- 재배 온도는  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , 습도는  $70 \pm 5\%$ 로 설정하였으며, 일장은 16시간/8시간(장일)으로 설정하였음. 광원은 휴대용분광계로 각 광처리별  $150 \mu\text{mole/m}^2\cdot\text{s} \pm 5$ 로 일정하게 함. 광 처리는 청색광(Blue), 적색광(Red), 혼합광(Blue+Red), QD-LED (Blue+W-Red) 그리고 대조구로 형광등(white)을 두었음.
- 공시 재료로는 상추 ‘적 로메인’ (아시아종묘)를 사용하였으며 폐쇄형 식물공장에서 128공 육묘트레이를 5x4로 잘라서 원예 상토에 파종 후부터 생육을 관찰 조사 하였음.
- 조사 항목으로는 광합성 속도, 증산량, 기공전도도, 엽색도(Hunter L\*, a\*, b\*, Hue angle), 엽록소 함량(SPAD), 기능성물질(비타민C, 안토시아닌함량-진행중), 광질에 따른 수확 후 저장성 비교(생체중 감소율, 포장내 CO<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub>, 그리고 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>의 농도 변화, SPAD, 색도, 외관상 품질, 이취)를 관찰하였음. 그리고 본 연구에서 사용된 광의 전력소요량과, 광 분포도(균일도)를 측정하였음.

- 연구결과

- 파종 후 25일째 측정된 광합성 속도는 QD-LED광에서 가장 높았고, 형광등(W)과 적색광(R)에서 유사한 값으로 가장 저조하였음. 이는 퀀텀닷의 에머슨 상승 효과로 인해 광합성률이 높았다고 생각되며, 반면 형광등(W)은 광합성에 필요한 적색광과 청색광의 파장이 비교적 적었기 때문에 저조한 광합성률을 보였다고 생각됨.

• Photosynthetic rate



[그림 218] 각 광 처리별 적로메인의 광합성률.

- 증산량 또한 QD-LED에서 가장 높았고, 적색광(R)에서 가장 낮아 광 처리별 유의한 차이가 인정되었음. 그러나 기공전도도는 광 처리에 따른 통계적 유의성이 나타나지 않았음.

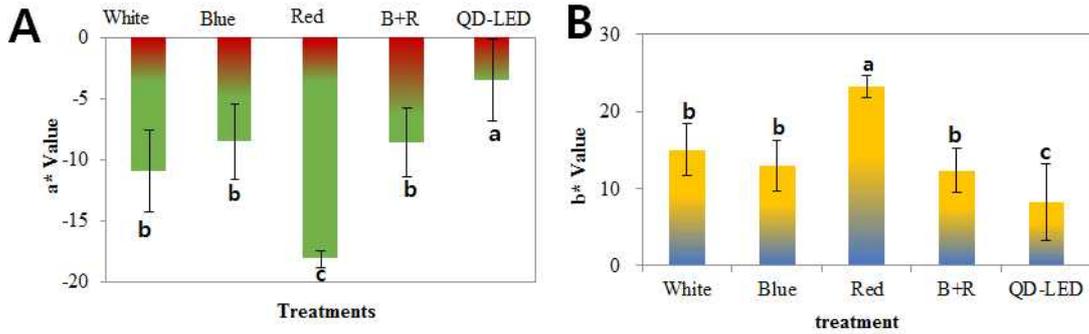
[표 45] 각 광 처리별 적로메인의 광합성률, 기공전도도와 그리고 증산률

Treatment	Photosynthetic rate ( $\mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Stomatal conductance ( $\text{mol} \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Transpiration rate ( $\text{mol} \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )
White	3.17d	0.06a	1.72ab
Blue	4.96bc	0.07a	1.78ab
Red	3.81cd	0.04a	1.18b
B+R	6.12b	0.07a	2.02ab
QD-LED	7.35a	0.08a	2.56a

- 엽색 a\*는 QD-LED광에서 가장 높은 수치를 보였으며, 적색(R)광에서 가장 낮았고 반면에 b\*값은 적색(R)광에서 높고, QD-LED광에서 가장 낮았음. Hue angle 값 또한 QD-LED광에서 가장 낮은 수치를 보였음. 재배 종료일에 측정된 엽록소 함량(SPAD)은 QD-LED광에서 가장 많았으며, 형광등(W)과 적색(R)광에서 유의적인 차이 없이 엽록소 함량이 낮은 것을

볼 수 있었음.

- Leaf color(Hunter a\*, b\*)



[그림 219] 각 광 처리별 적 로메인의 엽색a\*(A), b\*(B).

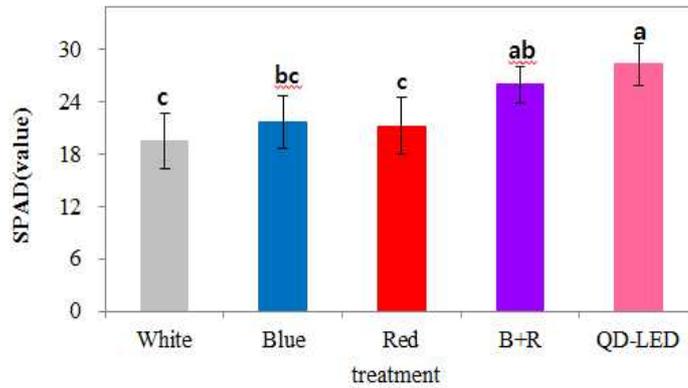
- Leaf color picture



[그림 220] 각 광 처리별 재배 종료일에 적 로메인의 엽색.

- 적로메인의 적색 색소체인 안토시아닌 함량은 Hue angle값이 낮을수록, SPAD값이 높을수록 증가한다고 보고된 바 있음. 본 실험에서도 QD-LED광에서 가장 높은 SPAD값과 가장 낮은 Hue angle값 그리고 가장 높은 a\*값을 보여 적색 발현이 가장 뚜렷하여, 다른 광에 비해 안토시아닌 함량이 비교적 높다고 추론 가능함. 따라서 다른 광원에 비해 QD-LED광 하에서 적로메인 어린잎 특유의 붉은색 발현에 효과적임을 알 수 있었음.

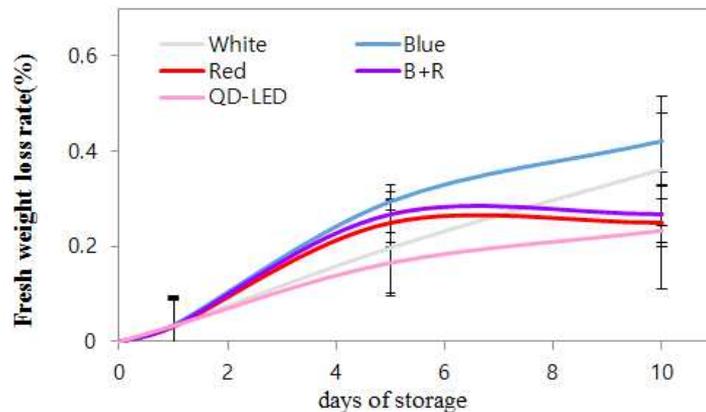
• SPAD(Chlorophyll Cont.)



[그림 221] 각 광 처리별 적 로메인의 엽록소 함량(SPAD).

- 광질에 따른 수확 후 저장성 비교 실험의 목적은 형광등(W), 청색광(B), 적색광(R), 혼합광(B+R), QD-LED광에서 생육후기의 상태와 저장 후 상태의 유의성을 비교 관찰하기 위하여 실시하였음. 방법은 20,000cc OTR(Oxygen transmission rate) film 포장 후 8℃ 챔버에 10일간 저장하였음.
- 먼저 생체중 감소율은 청색(B)광에서 가장 컸으며 반면에 QD-LED에서 가장 적게 나타났음. 하지만 일반적으로 엽채류의 생체중 감소 허용범위는 3~5%로 알려져 있어 모든 처리 구간 큰 유의성은 없었으며, 생체중 감소로 인한 외관상 품질저하는 없었다고 사료됨.

• Fresh weight loss rate(%)



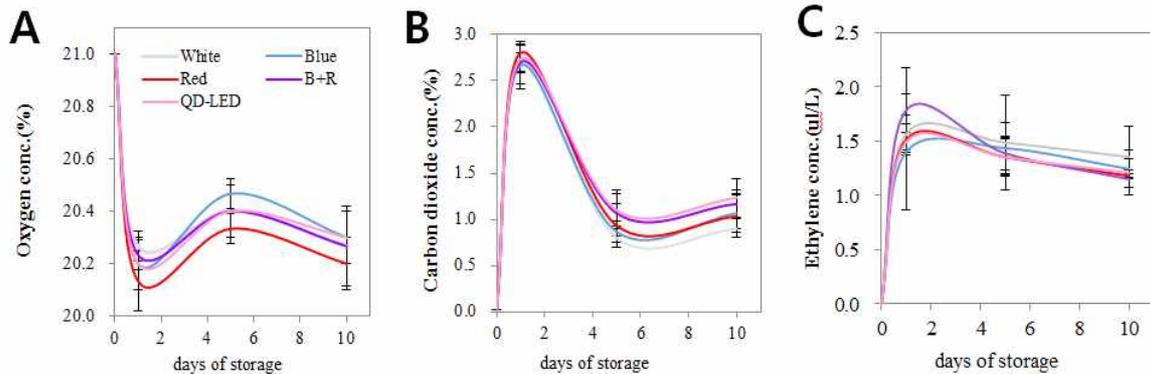
[그림 222] 8℃에서 20,000 OTR 필름으로 포장된 적 로메인의 생체중 감소율(%).

- 필름 내 공기 조성에서 산소와 이산화탄소, 에틸렌의 농도는 비슷한 경향으로 저장기간 동안 처리간 유의적인 차이를 보이지 않았음. 또한 저장 종료일에 엽록소 함량은 모든 처리에서 2~3씩 감소했고, Hunter a\*값과 b\*값은 저장 전과 비슷한 경향이었음.
- 외관상 품질은 혼합광(B+R)과 QD-LED광에서 10일 저장 후에도 외관이 양호 했으며, 이를 제외한 다른 처리구에서는 잎 무름 증상과 갈변 등의 장해 증상으로 인하여 이취가 발생

했으며 상품성을 상실하였음.

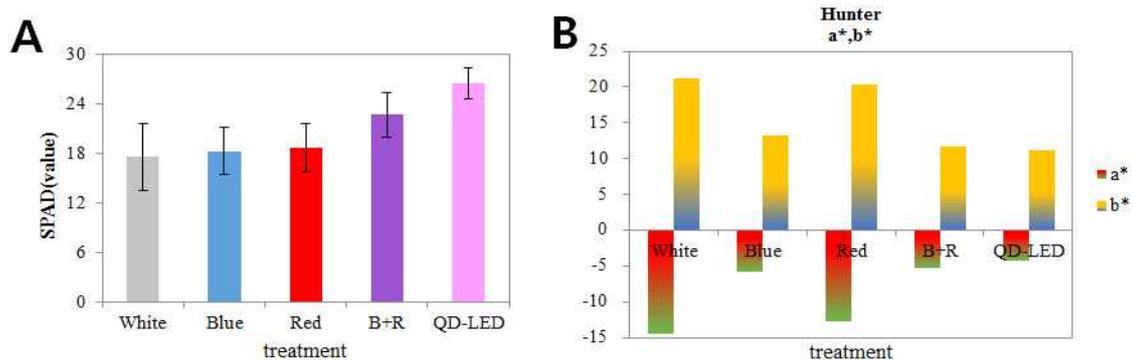
- 이 결과를 종합해 보면 QD-LED광하에서 광합성률이 가장 높았으며, 엽색과 엽록소함량 (SPAD)에도 가장 효과적이었음. 따라서 폐쇄형 식물공장에서 QD-LED를 실제 엽채류 성장 등으로 사용할 경우 이를 긍정적으로 고려해야 할 것으로 생각됨.

- Oxygen, carbon dioxide and Ethylene concentration



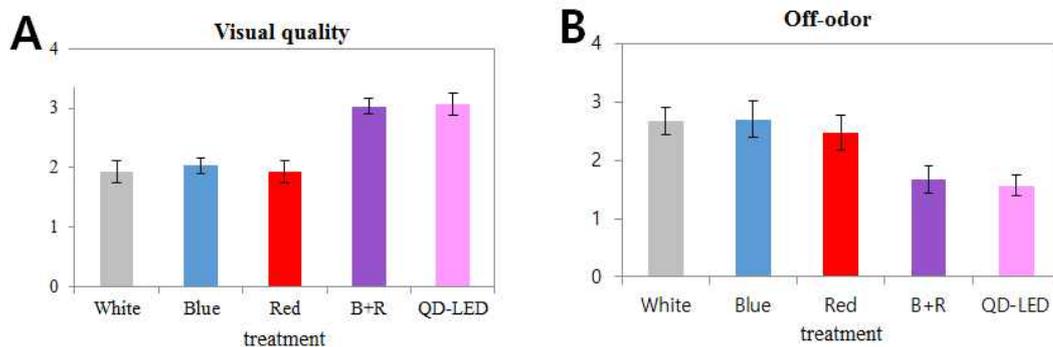
[그림 223] 8°C 에서 20,000 OTR 필름으로 포장된 적 로메인의 산소(A), 이산화탄소(B), 에틸렌(C) 농도 변화.

- SPAD and Hunter L\*, a\*, b\*



[그림 224] 8°C 에서 20,000 OTR 필름으로 저장 후 적 로메인의 SPAD(A)와 Hunter a\* b\*(B).

- Visual quality and Off-odor



[그림 225] 8°C 에서 20,000 OTR 필름으로 저장 종료 후 적 로메인의 외관상품질(A),

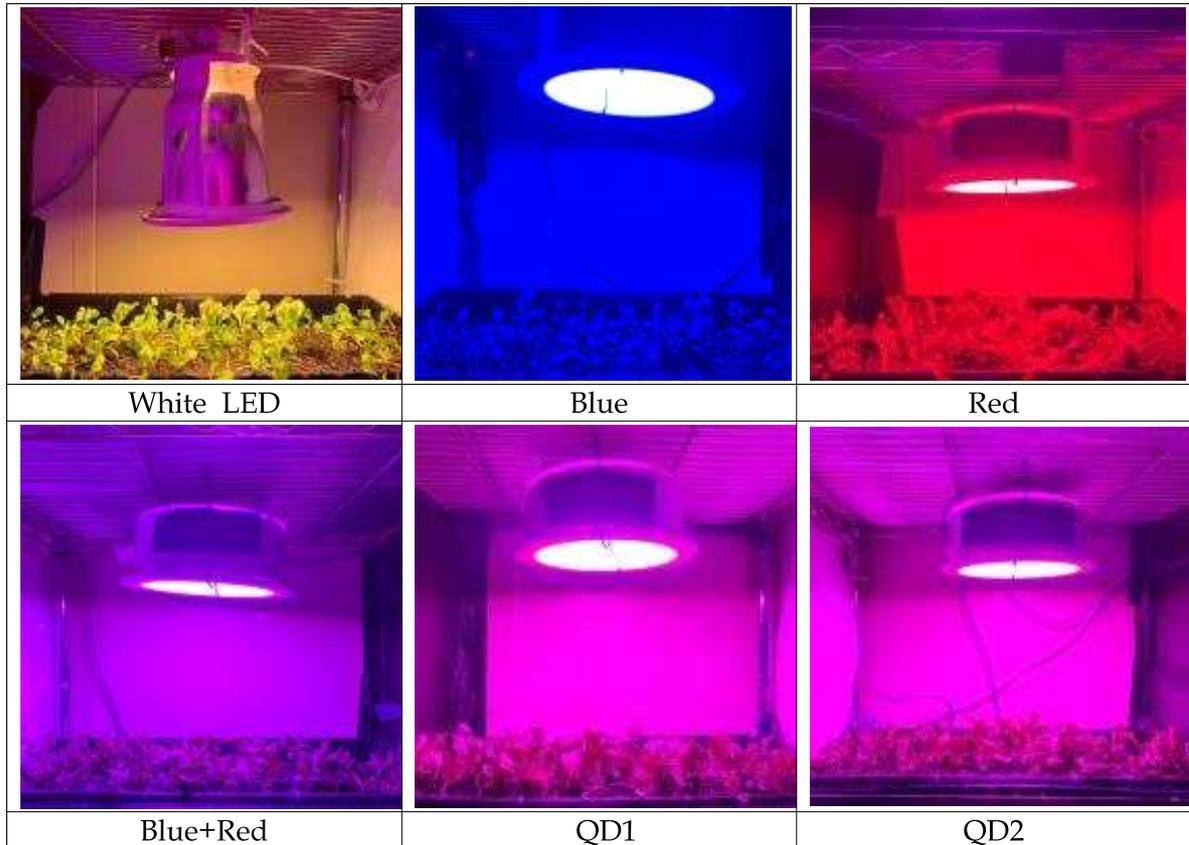
## 이취(B).

### 바. 적로메인 상추 육묘 생육일수 단축 및 품질 비교

- 연구목표 : 본 연구는 채소의 기능성 향상에 효과적인 것으로 알려진 근적외선과 광도가 다른 몇 가지 파장대의 광원이 적로메인 상추의 생육, 그리고 항산화능 등의 품질에 미치는 영향을 알아보려고 수행하였음.
- 연구방법
  - 온도 : 26°C ± 2°C
  - 습도: 65 ± 10%
  - 일장: 16시간(명), 8시간(암)
  - 광도: 100(저광도), 200(고광도) ±10 μmole/m<sup>2</sup>.s (40W 광원)
  - 대조구: White LED
  - 처리구: Blue, Red, Blue+N-Red, Blue+W-Red(QD-LED1,2)
  - 공시재료: 적로메인 상추
  - 조사내용: 각각의 광조건에서 파종 후 7일까지의 발아율을 조사하였고, 발아된 상추 묘는 7 일째 본엽 출현 후부터 4일 간격으로 12일간 3가지 광도에서 묘의 초장, 엽장, 엽폭, 그리고 조사 종료일에 생체중과 엽록소 함량(SPAD), 색도, 총 페놀 함량, 안토시아닌 함량, DPPH 라디칼 소거능
- 내적 품질 조사 방법
  - 총 페놀 함량은 Folin-Denis 방법으로 측정하였음(Zhang 등, 2006). 시료 용액(1mg/mL) 100 μL와 증류수 900 μL를 혼합하고, Folin-Ciocalteu's phenol reagent 100 μL를 가하여 잘 섞은 후 5분간 상온에서 반응시킴. 여기에 20% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 300 μL를 가하여 혼합한 다음 증류수를 가하여 2mL로 조정하였음. 이 용액을 상온에서 2시간 동안 방치한 후 760 nm에서 흡광도를 측정하였고, gallic acid를 이용한 검량선과 비교하여 총페놀 함량을 mg gallic acid equivalents(GAE)/g으로 나타내었음.
  - 총 안토시아닌 함량은 적무 새싹의 생체중 2g을 채취하여 95% ethanol과 1.5N HCl을 85:15(v/v)로 혼합한 추출액을 막자사발에 2mL를 넣고 마쇄하였음. 마쇄한 용액을 마이크로 튜브에 1mL를 취한 후 4°C 압조건 하에서 24시간 보관 후 13,000rpm에서 20분간 원심 분리하여 얻은 상등액을 희석하였음. 그리고 분광 광도계(Biomate 3S, Thermo Scientific, USA)의 535nm 에서 흡광도를 측정하여 총 안토시아닌 함량을 산출하였음(Fuleki와 Francis, 1968; Islam 등, 2019).  
$$\text{Anthocyanin (mg/100g fresh wt.)} = (\text{absorbance at 530nm} \times \text{volume of extraction solution} \times 100) / (\text{wt. of sample of gram} \times 98.2)$$
- DPPH 라디칼 소거능은 Oboh (2005)의 방법에 준하여 생체시료 0.5g을 메탄올 20mL과 섞

어 균질화 한 후 균질 시료 0.1mL와 0.4mM DPPH 메탄올 용매를 혼합하여 암조건에서 30분 방치한 후 분광 광도계(Biomate 3S, Thermo Scientific, USA)를 사용하여 516nm의 흡광도에서 측정하였음. DPPH 라디칼 소거능은 백분율로 나타내었으며 다음과 같은 공식을 적용하였음.

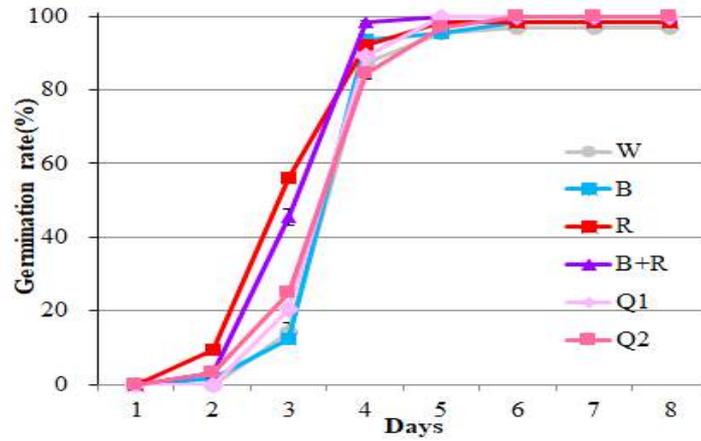
$$\text{DPPH Radical scavenging ability (\%)} = [1 - (\text{Sample } A_{516\text{nm}} / \text{Blank } A_{516\text{nm}})] * 100$$



[그림 226] 기능성 물질 영향 실험에 사용한 인공광.

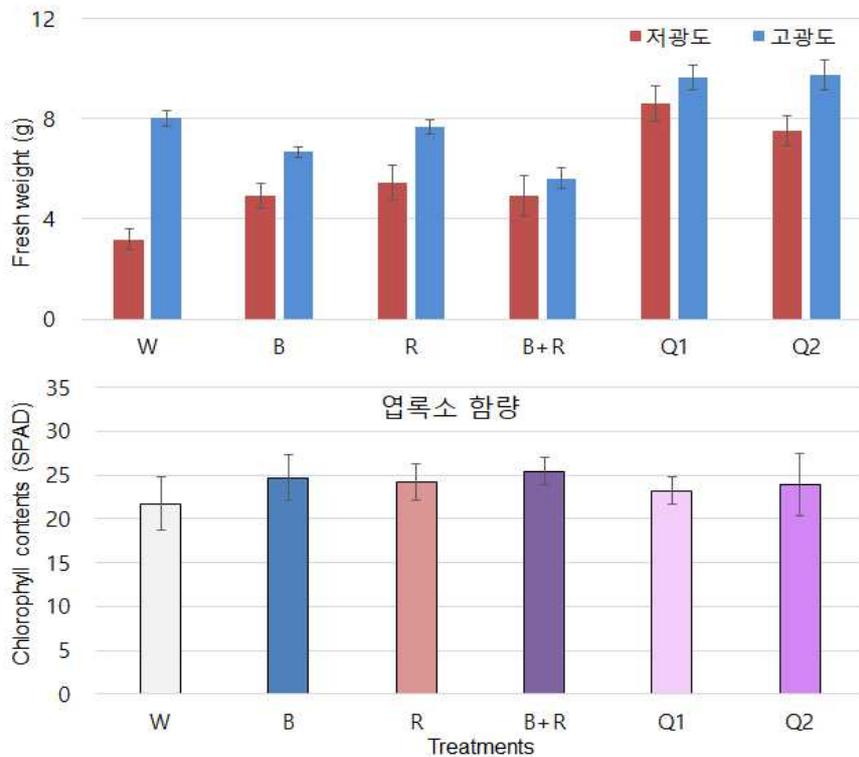
- 연구결과

- 적로메인 종자의 발아율은 파종 후 4일째 원적색을 포함한 QD1, QD2, 그리고 W에서는 85% 내외의 수준으로 다른 처리구에 비해 낮았으나, 5일째 모든 광 처리구에서 95%이상의 발아율을 보였음.

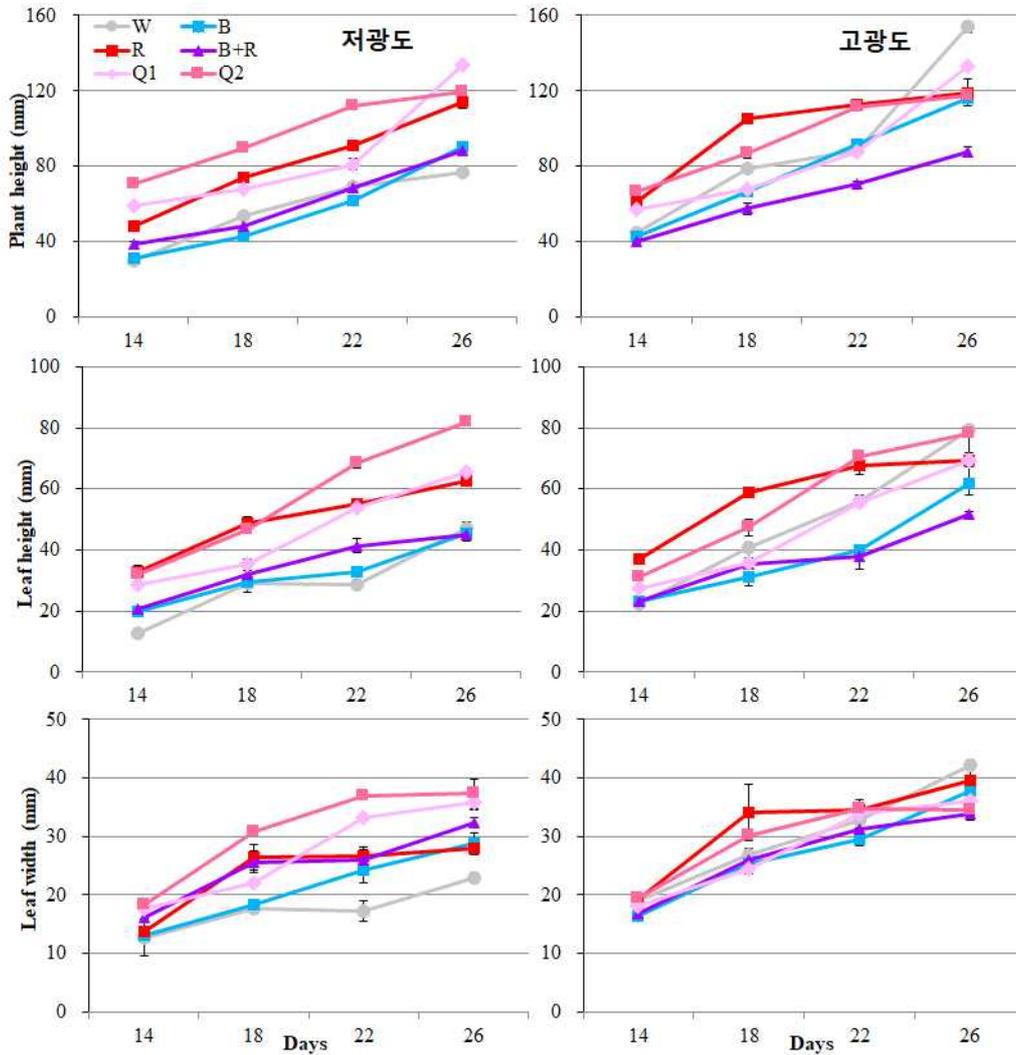


[그림 227] 몇 가지 광원에 따른 적로메인 상추 종자의 발아율 비교.

- 생체중은 모든 처리구에서 고광도가 높았으며, 광원별로는 QD1이 가장 높은 수치를 보였음. 엽록소 함량은 B+R가 가장 높았으나 광원별 차이에 유의성은 없었음.

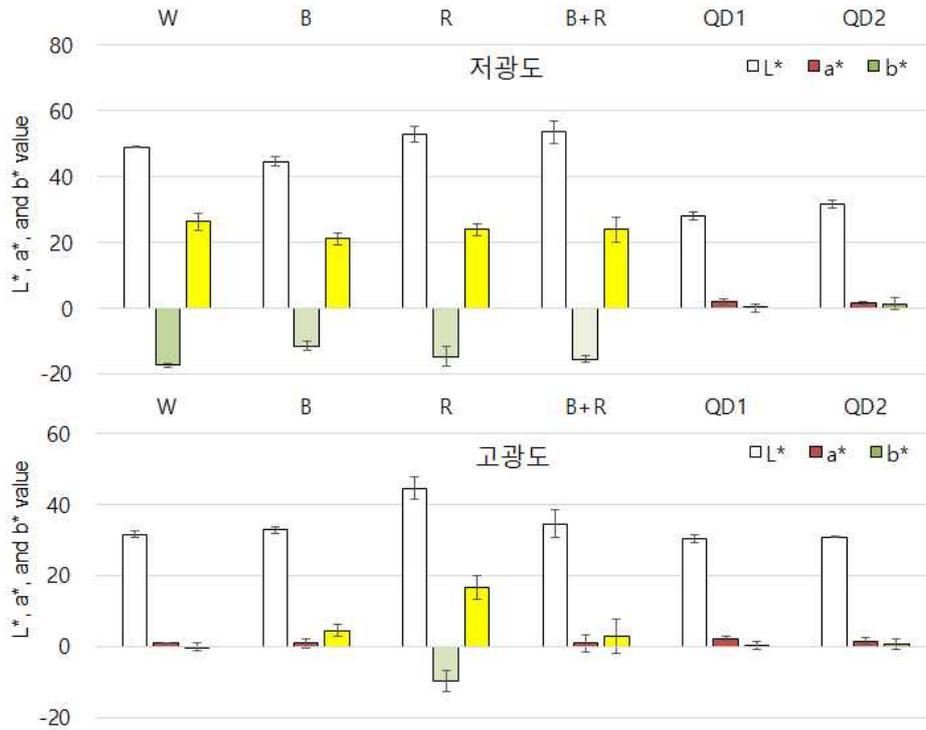


[그림 228] 몇 가지 광원에 따른 적로메인 상추의 생체중과 엽록소 함량 비교.



[그림 229] 몇 가지 광원에 따른 적로메인 상추의 초장, 엽장, 그리고 엽폭 비교.

- 초장은 고광도에서는 W, QD1, R 순서로 길었으며, 저광도에서는 QD1에서 가장 길었음.
- 엽장은 고광도에서 W가 가장 길었으며 다음으로 QD2, QD1의 순서였고, 저광도에서는 QD2과 QD1에서 다른 처리구에 비해 길었음.
- 엽폭은 고광도에서 W, R, B 순으로 넓었고, 저광도에서는 QD1, QD2, B+R 순으로 넓었음. 조사 종료일에 각 광원별 처리구의 생체중은 QD1, QD2가 다른 처리구에 비해 유의성 있게 높은 수치를 나타내었음.



[그림 230] 몇 가지 광원에 따른 적로메인 상추의 색도 비교.

- 적로메인 상추의 고유색인 붉은색은 청색이 포함되었던 QD2, QD1, B+R, R에서 높게 발현되었으나 R와 W는 낮은 수치를 나타내었음.
- 광원처리에 따른 적로메인 상추의 내적 품질을 비교하였는데, 총 페놀함량과 안토시아닌 함량은 QD1이 가장 높았으며, DPPH 활성값은 대조구였던 white LED가 가장 높았음.

[표 46] 몇 가지 광원에 따른 적로메인 상추의 내적 품질 비교(고광도)

	Total phenol (mg GAE/ml)	Anthocyanin (mg/100g FW)	DPPH (%)
Blue	3.92±0.28	5.22±0.53	81.3± 1.6
Red	3.30±0.35	1.79±0.74	88.7± 1.4
Blue+Red	5.76±0.30	7.91±0.15	53.9±12.3
QD LED1	<u>6.07±0.31</u>	<u>8.21±0.08</u>	41.4± 8.4
QD LED2	5.50±0.56	7.89±0.68	60.2±10.7
White LED	1.91±0.21	1.27±0.15	<u>89.2± 0.1</u>

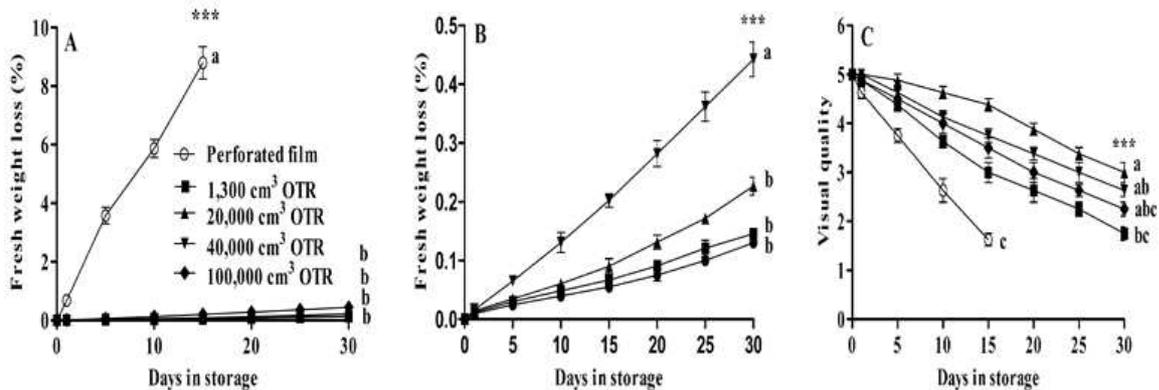
- 위의 결과를 종합해 볼 때, 발아에서 유의적인 차이가 없었고, 생체중과 붉은색 발현 정도와 저광도에서 엽장과 엽폭이 양호하였던 QD1, QD2가 식물공장에서 적로메인 생산을 위한 인공 광원으로 적합한 것으로 판단됨.



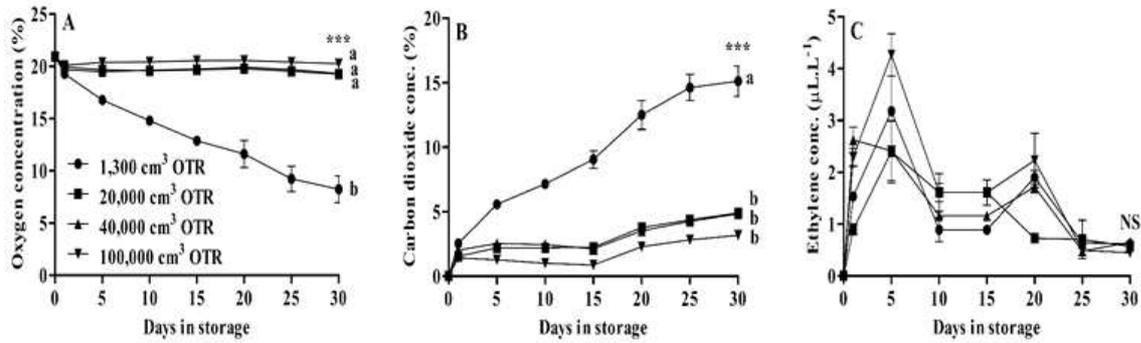
[그림 231] 몇가지 광원에 따른 적로메인 상추의 재배 종료일 외관 비교.

사. 적로메인 어린잎 채소의 MA 저장 조건 구명 (추가실험)

- 연구목표 : 본 연구는 QD LED 광원에서 재배한 적로메인 어린잎 채소의 유통 안전성 확보를 위해 적절한 MA저장 조건을 구명하고자 수행함.
- 연구방법
  - 재배조건: 발아율- 온도;  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , 습도:  $70 \pm 5\%RH$
  - 광원 : QD LED  $200 \pm 10 \mu\text{mole/m}^2\cdot\text{s}$
  - 저장조건:  $8^{\circ}\text{C}$ , 상대습도: $80 \pm 5\%RH$
  - 대조구: 미세천공 필름 포장
  - 처리구: 1,300, 20,000, 40,000, 100,000  $\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}/\text{atm}$  oxygen transmission rate (OTR) 필름
  - 조사항목: 생체중 감소, 외관, 포장내 산소, 이산화탄소, 에틸렌농도, 엽색(L,a,b,chroma, hue값), 엽록소 a, b, 안토시아닌, peroxidase 활성, 페놀, DPPH 활성
- 연구결과
  - 20,000 OTR 필름이 포장처리에서 19.25 % -19.95 % 산소, 1.55 % -4.90 % 이산화탄소 및 5.10-8.06  $\mu\text{L} / \text{L}$  에틸렌을 보였는데, 생체중 감량, 외관 품질, 엽록소 농도, 색상 (L \*, a \*, b \*, 채도 및 색조 각도)를 포함한 양상추의 품질 변화에서 가장 우수한 성적을 나타내었음.
  - 20,000 OTR 필름 포장구는 30 일의 가장 높은 저장 수명을 나타내었음.



[그림 232] 적로메인 어린잎 상추의 8 °C 저장 중 생체중 감소(A-B) 및 외관(C) 변화.



[그림 233] 적로메인 어린잎 상추의 8 °C 저장 중 포장내 산소(A), 이산화탄소(B) 및 에틸렌(C) 농도 변화.

[표 47] 8 °C에서 MA포장후 30일간 저장한 적로메인 어린잎 상추의 엽색 ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $a^*/b^*$ , chroma, and hue angle  $\theta h$ ) 비교

Treatment	Colour ( $L^*$ )	Colour ( $a^*$ )	Colour ( $b^*$ )	Colour ( $a^*/b^*$ )	Colour (chroma)	Colour (hue angle $\theta h$ )
Initial	37.67 ± 0.54	1.32 ± 0.35	3.35 ± 0.63	0.37 ± 0.03	3.66 ± 0.75	106.11 ± 1.85
Perforated film	36.86 <sup>z</sup>	4.13b	8.96bc	0.43b	11.15bc	127.49a
13,00 cm <sup>3</sup> OTR	40.85	7.51a	11.97ab	0.61ab	14.33ab	119.84a
20,000 cm <sup>3</sup> OTR	38.28	6.39ab	7.90c	0.82a	9.38c	88.13b
40,000 cm <sup>3</sup> OTR	39.4	7.84a	13.58a	0.57ab	15.87a	114.23ab
100,000 cm <sup>3</sup> OTR	41.05	6.82ab	13.06a	0.52b	14.93ab	111.45ab
<i>p</i> value	**	**	***	***	***	***
<i>p</i> value of OTR	NS	NS	***	***	***	***

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range tests (DMRT) (n = 5). NS, \*\*, \*\*\*: not significant, and significant at  $p \leq 0.01$  and 0.001, respectively. Initial value indicated mean ± standard error. Note: perforated film storage day 15 and OTR film storage day 30.

- 또한 20,000 OTR 필름포장처리구에서 갈변을 초래하는 퍼옥시다제 활성이 가장 낮았고, 플라보노이드, 페놀 함량과 DPPH 항산화 능력 및 비타민 C 농도도 높았음.
- 이상의 결과로 볼때 20,000 OTR 필름을 이용하여 MAP 상품이 적로메인 어린잎 채소의 장기 유통 저장에 적합할 것으로 판단되었음.

[표 48] 8 °C 에서 MA포장후 30일간 저장한 적로메인 어린잎 상추의 Chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, SPAD and anthocyanin 함량 비교

Treatment	Chlorophyll a ( $\mu\text{g/mL}$ )	Chlorophyll b ( $\mu\text{g/mL}$ )	Total chlorophyll ( $\mu\text{g/mL}$ )	Leaf chlorophyll content (SPAD)	Anthocyanin ( $\text{mg}/100\text{gFW}$ )
Initial	13.11 $\pm$ 0.39	7.84 $\pm$ 0.78	20.94 $\pm$ 1.17	25.85 $\pm$ 0.73	2.76 $\pm$ 0.99
Perforated film	6.13ab <sup>z</sup>	1.21b	7.34b	16.68	2.83b
13,00 cm <sup>3</sup> OTR	7.55ab	2.05ab	9.60ab	17.36	5.43ab
20,000 cm <sup>3</sup> OTR	6.65ab	1.26b	7.92ab	18.17	5.81a
40,000 cm <sup>3</sup> OTR	8.66a	2.08a	10.75a	17.35	5.42ab
100,000 cm <sup>3</sup> OTR	5.92b	1.34b	7.26b	16.83	4.35ab
<i>p</i> value	**	*	*	NS	***
<i>p</i> value of OTR	*	*	*	NS	*

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range tests (DMRT) (n = 5). NS, \*, \*\*, \*\*\*: not significant, and significant at  $p \leq 0.05$ , 0.01 and 0.001, respectively. Initial value indicated mean  $\pm$  standard error. Note: perforated film storage day 15 and OTR film storage day 30.

[표 49] 8 °C 에서 MA포장후 30일간 저장한 적로메인 어린잎 상추의 Peroxidase, flavonoid, phenol, DPPH, and vitamin C 함량 비교

Treatment	Peroxidase (U/mL)	Flavonoid ( $\mu\text{g/mL}$ )	Phenolic content ( $\mu\text{g/mL}$ )	DPPH ( $\mu\text{mole}$ TE/mL)	Vitamin C ( $\text{mg}/100\text{g}$ )	Off-odor
Initial	0.34 $\pm$ 0.05	71.53 $\pm$ 6.32	220.79 $\pm$ 9.76	182.86 $\pm$ 5.86	13.94 $\pm$ 0.47	0.00 $\pm$ 0.00
Perforated film	0.79b <sup>z</sup>	35.87a	199.13ab	132.57c	8.73b	1.35c
13,00 cm <sup>3</sup> OTR	1.06a	4.03c	171.66b	123.32d	5.94d	2.80a
20,000 cm <sup>3</sup> OTR	0.64b	36.72a	207.52a	165.45a	9.37a	1.65c
40,000 cm <sup>3</sup> OTR	0.95a	11.46b	197.11ab	147.00b	6.88c	2.25b
100,000 cm <sup>3</sup> OTR	0.94a	2.12c	192.06ab	94.82e	5.54d	2.60ab
<i>p</i> value	***	***	**	***	***	***
<i>p</i> value of OTR	***	***	**	***	***	***

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range tests (DMRT) (n = 5). \*\*, \*\*\*: significant at  $p \leq 0.01$  and 0.001, respectively. Initial value indicated mean  $\pm$  standard error. The off-odor was rated on the basis of 1 to 5 ranked (1 = excellent, 2 = good, 3 = moderate, marketable, 4 = bad, and 5 = worst). Note: perforated film storage day 15 and OTR film storage day 30.

#### 아. 적무 새싹의 생산과 품질에 미치는 영향 (추가실험)

- 연구목표 : 본 연구는 배추과 새싹채소의 기능성 향상에 효과적인 것으로 알려진 근적외선과 몇 가지 파장대의 광원이 새싹 적무의 종자 발아와 생육, 그리고 항산화능 등의 품질과 미생물 증식 정도에 미치는 영향을 알아보고자 수행하였음.
- 연구방법

- 재배조건: 발아율- 온도;  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , 습도:  $70 \pm 5\%RH$
- 광도:  $43 \pm 2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
- 대조구: 형광등 (Fluorescent lamp-FL)
- 처리구: White LED, Blue+Red, Blue+W-Red(QD-LED)
- 공시재료: 적로메인
- 조사내용: 발아율(Germination rate, GR), 발아세(Gemination energy, GE), 평균발아일수 (Mean germination time, MGT), 발아균일도(Germination uniformity, GU), 발아속도 (Germination speed, GS), 그리고 평균발아속도(Mean daily germination, MDG)

- $GR = (N/S) \times 100$
- $GE = (N_x/S) \times 100$
- $MGT = \sum (T_i N_i) / N$
- $GU = \sum [(MGT - T_i)^2 N_i] / N - 1$
- $GS = \sum (N_i / T_i)$
- $MDG = N/T$

(N: 총 발아종자수, S: 총 공시 종자수,  $N_x$ : 가장 많이 발아한 날까지 총 발아종자수,  $N_i$ : 조사 당일의 발아종자수,  $T_i$ : 치상 후 조사일수, T: 총 조사일수)

자엽과 배축의 색 변화를 측정하였고, 처리구별로 수확 한 후 생체중과 초장, 총 폐놀 함량, 안토시아닌 함량, DPPH 라디칼 소거능, 총 세균, 대장균, 곰팡이 수

#### - 미생물 조사방법

- 시료 2g을 무균백(sterile sample bag)에 담고 멸균수 18mL을 가하여 10배 희석시켜 stomacher(Power, mixer, B&F KOREA, Korea)를 이용하여 3분간 균질화하였음. 균질화된 시료 0.2mL을 취하여 20mL의 멸균수로 희석하여 최종 1000배 희석액을 제조하였음. 배지는 Petrifilm TM count(3M Microbiology products, USA)를 사용하였고, 희석액 1.0mL을 배지 위에 분주하여 세균( $35^\circ\text{C}$ , 48시간), 대장균( $35^\circ\text{C}$ , 24시간), 그리고 곰팡이( $25^\circ\text{C}$ , 72시간) 각각 배양하여 자동균수 측정기(Petrifilm Plate Reader, 3M, USA)로 집락수(colony form unit: CFU)를 계산하였음(Lee 등, 2009).

#### - 연구결과

- 새싹용 적무 종자의 발아율(GR)은 치상후 3.5일째에 암조건(Dark)에서 94.7%로 가장 높았고, 모든 LED처리와 QD-LED에서 81-85%, 명조건(FL) 처리에서는 76.3%로 가장 낮았음. 발아세(GE)는 암조건이 가장 높았으며, 평균발아일수(MGT)는 청색+적색(Blue+Red)가 가장 빨랐으며, 발아균일도도 청색+적색이 가장 높은 수치를 나타내었음. 발아속도는 암조건, 청색+적색, 그리고 Red가 다른 처리구에 비해 높았으며, 평균발아속도는 암조건이 가장 높은 수치를 보였음. 최종 발아율이 명조건은 처리구중 가장 낮았으며, 암조건은 가장 높게 나타나 적무 새싹 종자는 암조건에 발아하는 것이 효율적인 것으로 생각됨.

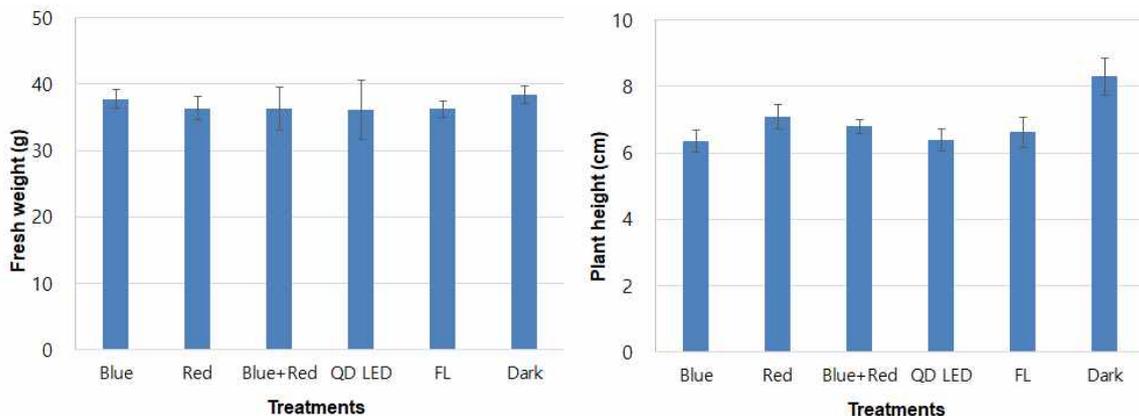
- 종자의 발아에 미치는 광질의 효과는 작물이나 품종에 따라 다르게 나타나는 것으로 판단됨. 광유무에 의한 종자 발아의 변화는 작물의 재배방식에도 영향을 줄 수 있어, 노지재배에서 복토의 두께를 좌우하기도 함. 밀폐된 시설에서 생산되는 새싹채소는 암조건에서 발아율이 높은 것은 발아기간 중 광조사가 필요 없어 생산비 절감에도 도움이 된다고 사료됨.

[표 50] 각 광원에 따른 적무 종자의 발아율(Germination rate, GR), 발아세(Gemination energy, GE), 평균발아일수(Mean germination time, MGT), 발아균일도(Germination uniformity, GU), 발아속도(Germination speed, GS), 그리고 평균발아속도(Mean daily germination, MDG)

	GR (%)	GE (%)	MGT value	GU value	GS value	MDG value
Blue	84.0ab <sup>z</sup>	70.0a	0.42ab	4.6b	1.42ab	6.0ab
Red	85.3ab	84.4a	0.40ab	5.4ab	1.57a	6.1ab
Blue+Red	81.3ab	78.7a	0.36b	6.1a	1.60a	5.8b
QD-LED	81.3ab	79.3a	0.39ab	5.3ab	1.46ab	5.8b
FL	76.3b	72.7a	0.43a	4.4b	1.27b	5.5b
Dark	94.7a	90.1a	0.45a	4.9ab	1.69a	6.8a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by duncan's multiple range test at 5% level(n=3)

- 재배 종료일에 처리별로 수확 한 적무 새싹의 생체중은 모든 처리구간의 차이에 통계적 유의성은 없었음. 광처리에 따른 생육 지표에 유의적인 차이가 없었던 것은 광처리를 7일간 암조건에서 재배한 후 24시간 동안만 진행하였기 때문에 광원에 의한 생육 반응의 차이가 나타나지 않았다고 판단됨.



[그림 234] 몇 가지 광원에 따른 적무 새싹의 생체중과 초장.

- 적무 새싹의 항산화 능력을 radical 소거능 측정법(DPPH)을 이용하여 측정하였음. 청색+적색과 암조건이 처리구 중 유의성 있는 수치를 나타내며 가장 높았음. 모든 처리구가 40-45% 소거능을 보였는데, 순무 싹 에탄올 추출물을 500  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로 첨가하였을 때 나타

넨 43.39%와 유사한 수치를 나타내었음.

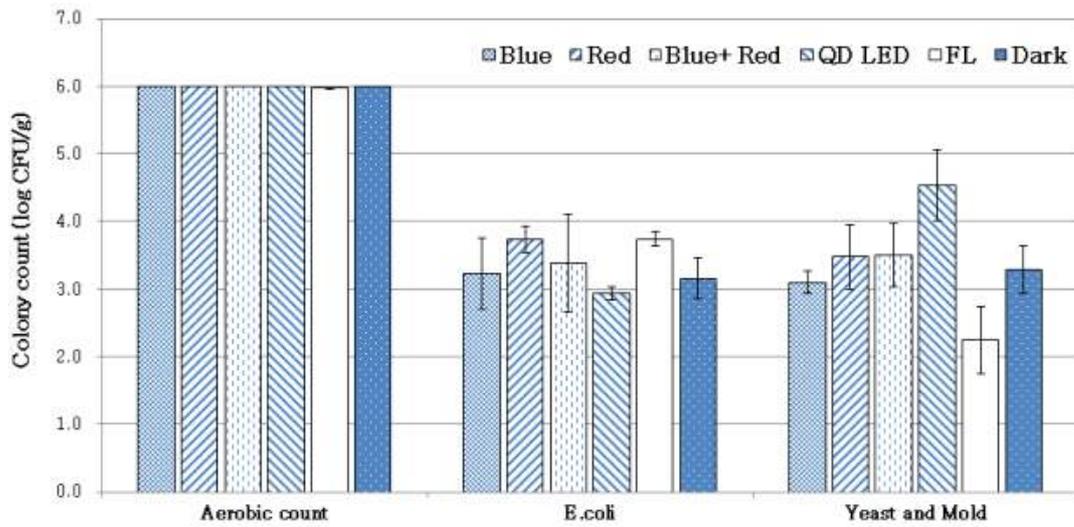
- 페놀 함량은 암조건과 청색+적색이 처리구 중 가장 높게 나타났다. 광질에 대한 식물의 페놀 함량에 관해서는 다양한 연구결과가 발표되어 있는데, 다채, 보리짚, 적상추 어린잎, 무싹 등의 여러 보고가 있었음. 광질에 의한 혹은 광도에 의한 페놀 함량 변화에 대해서는 보다 세밀한 연구가 필요하다고 판단함.
- 안토시아닌 함량은 청색과 QD-LED가 다른 처리구에 비해 유의성 있는 수치를 나타내며 높았고, 청색+적색, 명조건, 적색, 암조건 순이었는데, 이는 배축의 색도와 거의 유사한 결과를 보였음.
- 암조건 직후의 자엽과 배축 색도와 24시간 광조사 후의 색도를 비교를 위해 녹색에서 적색을 나타내는 a\* 값을 표기하였음. 자엽은 광조사 전 초기값에 비해 24시간 광조사 후 모든 처리구가 녹색이 증가하였는데, 청색+적색이 가장 높았으며 다음으로 QD-LED에서 높았음. 광조사에 따른 광합성 작용으로 엽록소가 생성되면서 녹색을 띠게 되는데, 엽록소 함량을 증가시키기 위해서는 청색광과 적색광의 적절한 비율의 조절이 필요하다고 함. 배축은 암조건에서 재배시에도 적색을 띠었으며, 광처리에 의해 적색 정도가 높아지지 않았음. 24시간 처리 후 배축의 색도는 청색과 QD-LED가 초기값과 가장 유사하였고, 다음으로 청색+적색에서 높았음.

[표 51] 몇 가지 광원에 따른 적무 새싹의 자엽과 배축 색도, 총페놀함량, 안토시아닌 함량, DPPH 라디칼 소거능

	a* value		Total phenol (mg GAE/ml)	Anthocyanin (mg/100g FW)	DPPH (%)
	Cotyledon	Hypocotyl			
Blue	-9.1bc <sup>2</sup>	25.1a	0.55b	5.21a	43.1ab
Red	-9.6c	17.5b	0.65ab	3.55bc	43.8ab
Blue+Red	-13.9d	22.3ab	0.76a	3.24cd	45.4a
QD-LED	-10.5c	24.9a	0.55b	5.08a	43.7ab
FL	-6.3ab	18.6b	0.65ab	3.78b	40.1b
Dark	-4.7a	16.6b	0.80a	3.06d	45.1a

<sup>2</sup>Mean separation within columns by duncan's multiple range test at 5% level(n = 3)

- 새싹채소의 재배 및 수확시기에 따른 높은 미생물 오염 가능성을 줄이고자 LED 광조사가 살균에 효과가 있는지 조사하였음.



[그림 235] 몇 가지 광원에 따른 적무 새싹의 총 세균, 대장균 및 곰팡이 수.

- 총 세균은 모든 처리구가 높게 나타났으며, 대장균인 *E.coli*는 QD-LED가 다른 처리구에 비해 가장 낮았음. 총 곰팡이 수의 경우는 명조건에서 유의성 있는 가장 낮은 수치를 보였음. QD-LED광에서 *E. coli*의 살균효과가 우수했던 것은 QD-LED에 포함되어 있는 적외선에 의한 것으로 판단됨.



[그림 236] 몇 가지 광원에 따른 적무 새싹의 재배 및 수확 후 외관 비교.

## 2-5절. 퀴텀닷 조명 적용에 따른 식물병원균 거동

### 1. QD LED 조명을 이용한 식물병원균 방제 기내실험

#### 가. QD-LED 조명 적용 가능한 식물병원균 탐색

- QD LED조명을 이용한 식물 병원균의 방제효과 및 조명의 파장에 따른 병원성 미생물의 생장억제 효과를 확인하기 위하여 세계적으로 상추 및 토마토에서 발생하며 작물의 생장과 생산성을 감소시키고 심각한 피해를 입히는 병원성 미생물 8종을 선발하였음.

#### (1) *Rhizoctonia solani*(밀등썩음병)

- 생육 초기부터 중기까지 발생하며 감염된 그루의 잎 밑둥이 암갈색으로 변해 썩고 진전되면 그루 전체를 말라 죽임. 양상추 경우에는 잎 밑둥에 원형 또는 타원형의 암갈색 반점이 형성되고 진전되면 병반이 크게 확대되어 잎 밑둥이 마른 상태로 썩기도 함.

#### (2) *Phytophthora drechsleri*(역병)

- 감염 초기에는 생육이 불량하고 누렇게 되지만 병이 진전되면 뿌리가 썩고 잎은 시들면서 포기 전체가 곧 죽음. 심한 경우 뿌리 뿐만 아니라 줄기와 잎 아랫부분이 갈색으로 썩는데 무름병과 달리 심한 악취를 풍기지는 않음.

#### (3) *Sclerotinia sclerotiorum* / (4) *Sclerotinia minor*(균핵병)

- 처음에는 식물체의 지체부가 담갈색으로 물러 썩고 진전되면 흰 균사가 자라면서 그루 전체가 썩은 후, 감염 부위에는 부정형의 검고 큰 균핵이 형성되거나 구형 또는 부정형의 검고 작은 균핵이 형성되기도 함.

#### (5) *Botrytis cinerea*(젯빛곰팡이병)

- 잎에 발생하며 처음에는 담갈색 수침상의 작은 병반이 형성되고 급속히 확대되어 잎과 그루 전체가 부패함. 잎 끝부분에서 감염이 시작될 때는 잎이 갈색으로 오그라들고 다른 잎으로 병이 전염되며, 상추 밑둥 부분의 병징에서는 후에 부정형의 검은 균핵이 형성되며 병반상에는 항상 젯빛의 곰팡이가 밀생함.

#### (6) *Fusarium oxysporum*(시들음병)

- 감염된 식물체는 생육이 억제되고 누렇게 변하면서 아랫잎이 시들고 밑으로 처지게 됨. 일반적으로 병 진전이 다소 느린 편으로 생육 중기 이후에 병 증상이 나타나지만, 병원균은 주로 생육 초기에 잔뿌리로 침입하여 파종 후 2~4주 후부터 병 증상이 나타나기도 함. 무의 경우 병든 뿌리를 잘라보면 도관부에 암갈색 띠가 형성된 것을 쉽게 관찰할 수 있으며, 감염된 상추는 아랫잎이 누렇게 변하고 생육이 불량해지며 그루 전체가 시듦.

#### (7) *Pectobacterium carotovorum*(무름병)

- 처음에는 지체부와 수확 시 생기는 상처부위에서 발병하며 진전되면 수침상 병반으로 확대되고 심하면 그루 전체가 물러 썩으며 시들며, 심하게 병든 식물체는 조직이 완전히 파괴되고 감염 부위에서는 악취가 남.

(8) *Xanthomonas campestris*(세균점무늬병)

- 세균성점무늬병은 잎 가장자리에 흑갈색 점이 나타남. 특히, 날씨가 흐리거나 비가 계속 와서 습기가 많으면 병의 진전이 빠르고 포기 전체가 말라 죽게 됨.

[표 52] Selection of major pathogenic microorganisms causing disease of lettuce and tomato

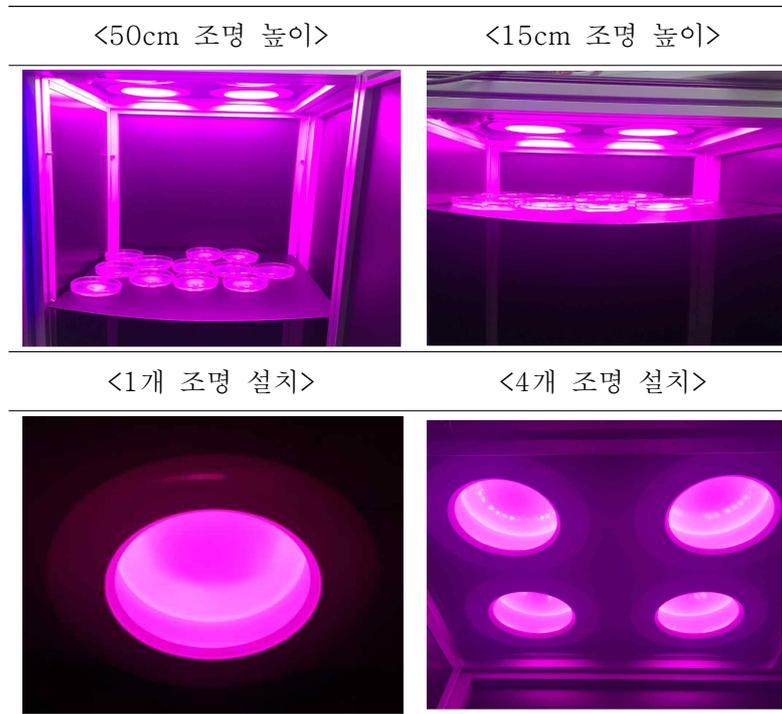
Fungi	Bacteria
<i>Rhizoctonia solani</i>	
<i>Phytophthora drechsleri</i>	
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	<i>Pectobacterium carotovorum</i>
<i>Sclerotinia minor</i>	
<i>Botrytis cinerea</i>	<i>Xanthomonas campestris</i>
<i>Fusarium oxysporum</i>	

나. QD LED 조명 시험 light box 제작

- Light box은 QD LED조명에 따른 병원성 미생물의 생장억제 효과 기내실험과 QD LED조명이 파장별로 미생물의 생장에 미치는 영향을 조사하기 위해 제작하였음. Light box는 조명을 추가 설치 할 수 있으며 받침대 높이 변경으로 높이 설정을 변경할 수 있게 제작하였고, 공간을 분리하여 외부 광을 완전히 차단하고 각각 독립된 광원에서 실험 진행을 가능하게 하였음.



[그림 237] Chamber with different light conditions including QD-LED.



[그림 238] LED lights installed in the light box.

#### 다. QD LED 조명을 이용한 식물병원균 방제 기내실험

##### 1) 연구방법

- LED 조명과 배양하는 병원균 사이의 높이를 다르게 설정하여 광도를 조절하고, 조명을 추가로 설치하여 광도를 조절하였음. 조명의 높이는 각각 15 cm, 30 cm 그리고 50 cm 높이로 조정하여 실험하였으며, 조명의 개수는 각각 1, 4개로 실험하였음. 또한, light box 내부의 온도는 25 ~ 28℃로 설정하였으며, 대조구는 암조건으로 설정하였고 LED 처리는 각각 삼파장 형광등(FL), BLUE (450nm), RED (660nm), Narrow RED, Wide RED (M1), Wide Red (M2)로 설정하였음. 병원균은 2종의 세균; *Pectobacterium carotovorum*(무름병)과 *Xanthomonas campestris*(세균점무늬병)으로 정하였고, 6종의 곰팡이; *Phytophthora drechsleri*(역병), *Fusarium oxysporum*(시들음병), *Sclerotinia sclerotiorum*(균핵병), *Sclerotinia minor*(균핵병), *Botrytis cinerea*(젯빛곰팡이병), *Rhizoctonia solani*(밑둥썩음병)를 대상으로 실험을 진행하였음.
- 진탕 배양한 2종의 병원성 세균은 micropipette을 이용하여 30 $\mu$ l 씩 각각 TSA 배지에 접종한 후 도말하고, 각각의 병원균은 하나의 광원마다 12반복으로 2회 배양하였음. PDA 배지에 배양한 6종의 병원성 곰팡이균을 8mm cork borer로 분리하여 생성된 agar plug를 각각 새로운 PDA배지 중앙에 접종하였음. 삼파장 형광등, BLUE (450nm), RED (660nm), Narrow RED, Wide RED (M1), Wide RED (M2) 6종류의 조명을 light box에 1개씩 설치하여 실험을 진행한 후 3개의 조명을 추가하여 총 4개의 조명으로 광도를 높여 실험하였고, 실험은 조명의 높이를 15 cm와 30 cm 그리고 50 cm로 설정한 후 각각 반복 진행하였음.

## 2) 연구결과

- 상추 및 토마토에 심각한 피해를 일으키는 8종의 주요 병원성 미생물에 대해 QD LED조명 이용한 방제효과를 확인하기 위해 연구를 수행하였음. 광도의 변화가 병원균의 생장에 영향을 주어 QD LED조명을 통한 주요 병원성 미생물의 방제가 가능한지 확인하기 위하여 조명의 높이와 조명 개수를 조절하여 실험을 진행하였으며, 실험은 총 4가지 조건으로 진행하였음.

- 조명의 높이 : 15 cm / 조명의 개수 : 1개

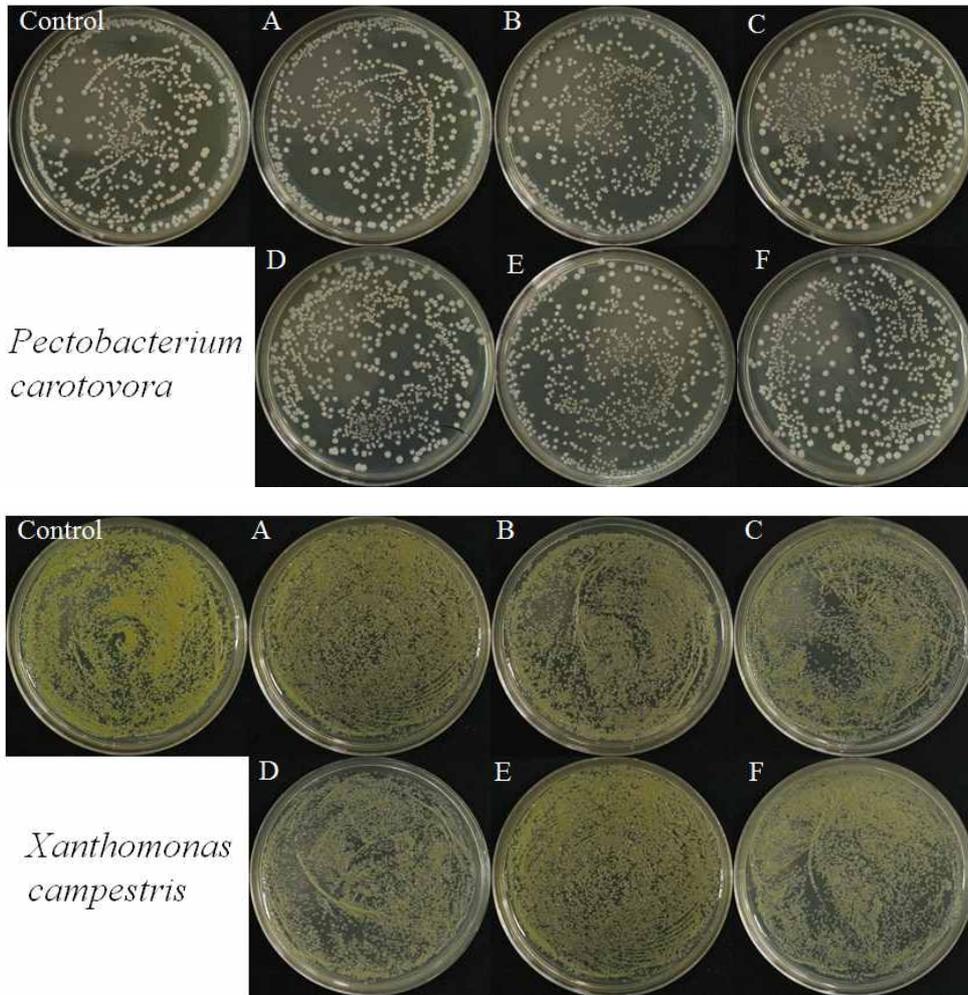
- 배양하는 병원균으로부터 조명의 높이를 15 cm로 설정하여 광원과 병원균의 거리를 좁히고 1개의 조명을 사용하였고, 암상태에서 배양한 병원균과 삼파장 형광등에서 배양한 병원균을 대조구로 설정하고 실험을 진행하였음. 성장속도는 2 종의 병원성 세균이 가장 빨랐으며 접종 2일 후 배지상에 colony수를 측정하였음. *Xanthomonas campestris* 균은 처리 조명에 관계없이 빠른 속도로 성장하여 2일 후에는 colony수를 측정하는 것이 불가하였고, *Pectobacterium carotovorum* 균의 경우 조명을 처리하여 배양한 병원균과 대조구와의 차이가 거의 없었으나 Wide RED (M1), Wide RED (M2) 조명에서 각각 11.8%, 15.6%로 낮은 성장 억제율을 보였음.

[표 53] Bacterial colony counting on plate grown under different light conditions

15 cm/1 light	Bacteria	
	<i>Pectobacterium carotovorum</i>	<i>Xanthomonas campestris</i>
삼파장 형광등	710.04	UC
BLUE (450nm)	687.96	UC
RED (660nm)	608.38	UC
Narrow RED	665.21	UC
Wide RED (M1)	584.31	UC
Wide RED (M2)	558.42	UC
Control	663.08	UC

\*Bacteria grown for 2 days

\*\*UC: Uncountable



[그림 239] Bacterial colonies grown in light box (15 cm/1 light).  
 (A: 삼과장 형광등, B: BLUE (450nm), C: RED (660nm), D: Narrow RED,  
 E: Wide RED (M1), F: Wide RED (M2))

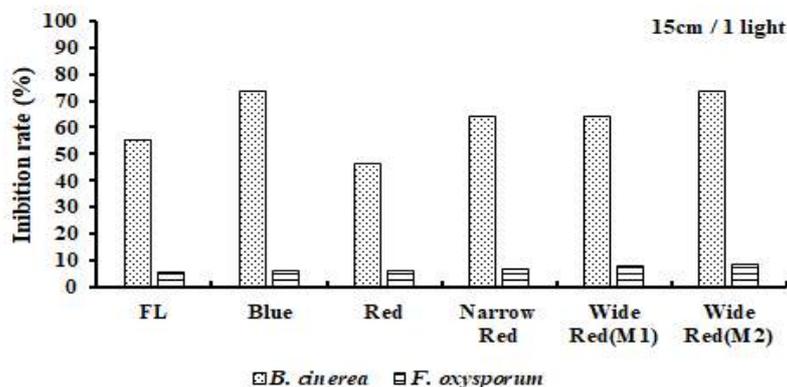
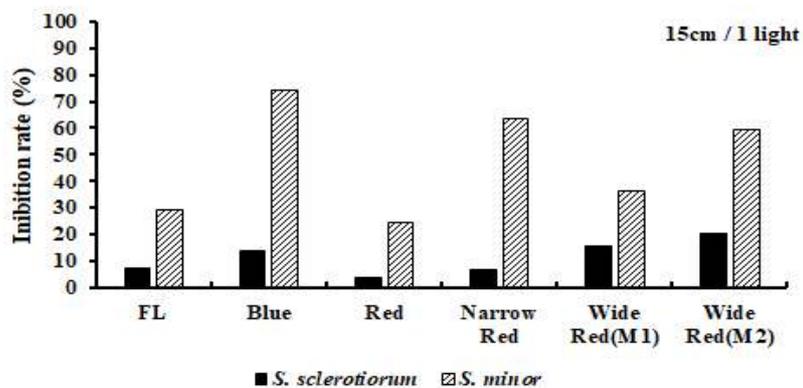
- 병원성 곰팡이균을 접종한 뒤 4일 후 *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotinia minor* 2종의 병원균에 대한 생장을 측정하였으며, 1 light의 조건에서 전체 조명이 *S. sclerotiorum* 과 *Sclerotinia minor* 균에 대해 생장억제 효과를 보였음. *S. sclerotiorum*균은 RED (660nm)조명에서 3.7%의 가장 낮은 억제율을 보였으며, Wide RED (M2)조명에서 20.3%로 다른 조명보다 비교적 높은 균사 생장억제율을 보였음. 또한, *S. minor*균은 1 light 조건의 경우 전체적으로 매우 높은 균사 생장억제 효과를 보였음. 가장 낮은 억제율을 보인 RED (660nm)조명에서 24.8%의 균사 생장억제 효과를 확인하였으며, BLUE (450nm)조명에서 가장 높은 74%의 억제효과를 보였고, Narrow RED조명에서 63.7%, Wide RED (M1)조명에서 36.3%, Wide RED (M2)조명에서 59.6%로 균사의 생장을 억제하였음. 병원성 곰팡이균 접종 7일 후 *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora drechsleri*, *Botrytis cinerea* 3종의 병원균에 대한 균사 생장을 측정하였으며, 그중 *R. solani* 와 *P. drechsleri* 2종의 병원균은 조명이나 광도에 관계없이 생장억제 효과가 없음을 확인하였음. 하지만, *B. cinerea* 균은 전체적으로 높은 균사 생장억제 효과를 보였음. BLUE (450nm), Wide RED (M2)조명에서 각각 73.6%, 73.9%의 높은 균사 생장억제율을 보였고 RED (660nm), Narrow RED, Wide RED (M1)조명에서도

46.8~64.5%의 높은 생장억제 효과를 확인하였음. 또한, 50cm 높이의 조명을 처리하였을 경우와 비교하여 *B. cinerea* 균은 15cm 높이에서 QD LED와 처리 조명에 대해 약 30~40% 더 높은 균사 생장억제 효과를 보였음. 이어서 접종 14일 후, *Fusarium oxysporum* 균의 균사 생장을 측정하였음. 대조구와 비교하였을 때 조금 더 낮은 균사 생장을 보였지만 QD LED 및 처리 조명에 대한 생장억제 효과가 거의 없다고 판단됨.

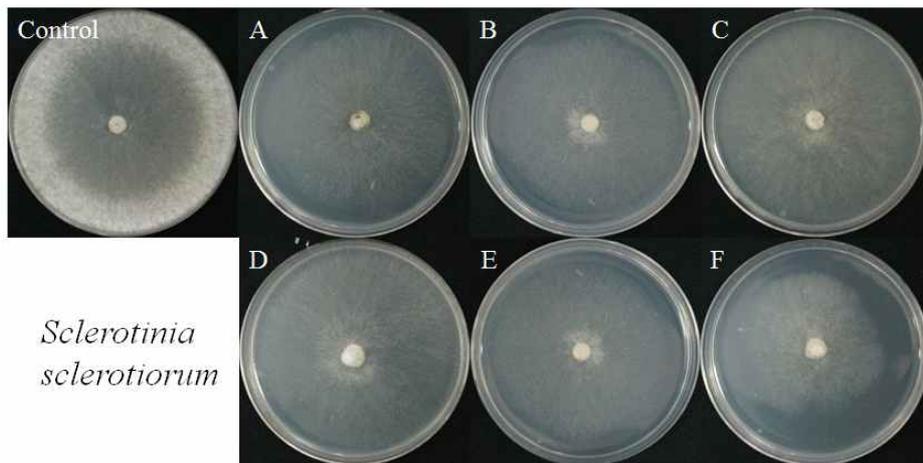
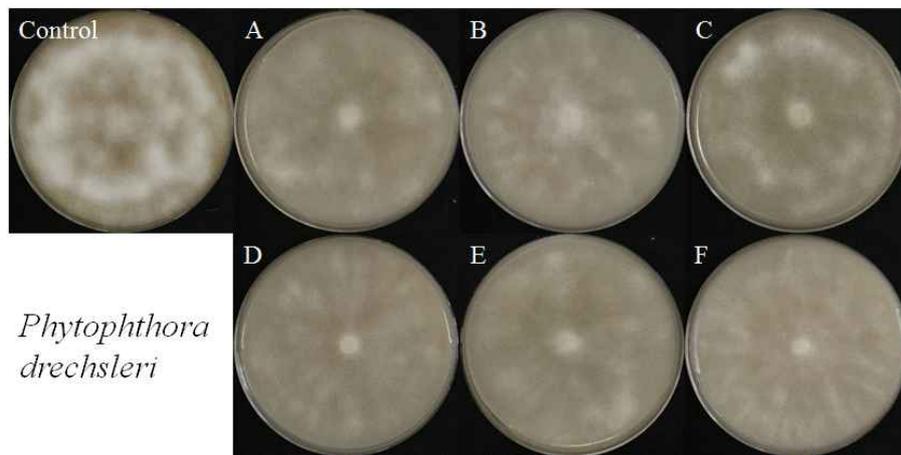
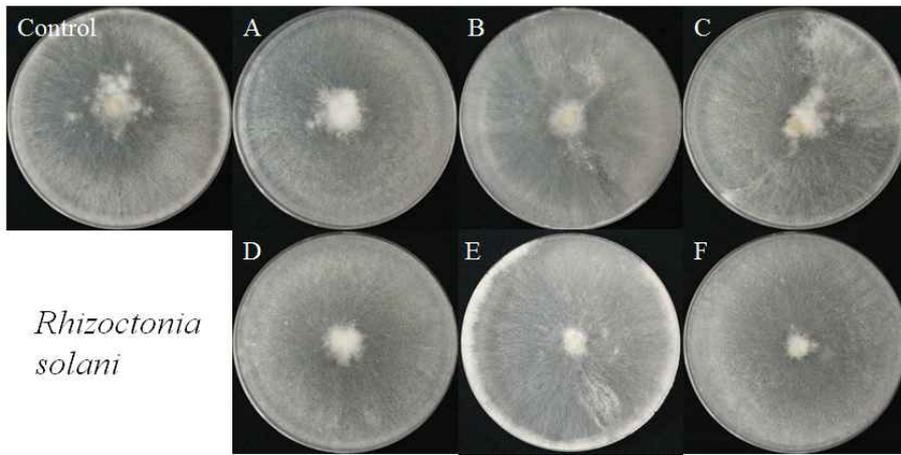
[표 54] Diameter of fungal mycelia grown on plates under different light condition

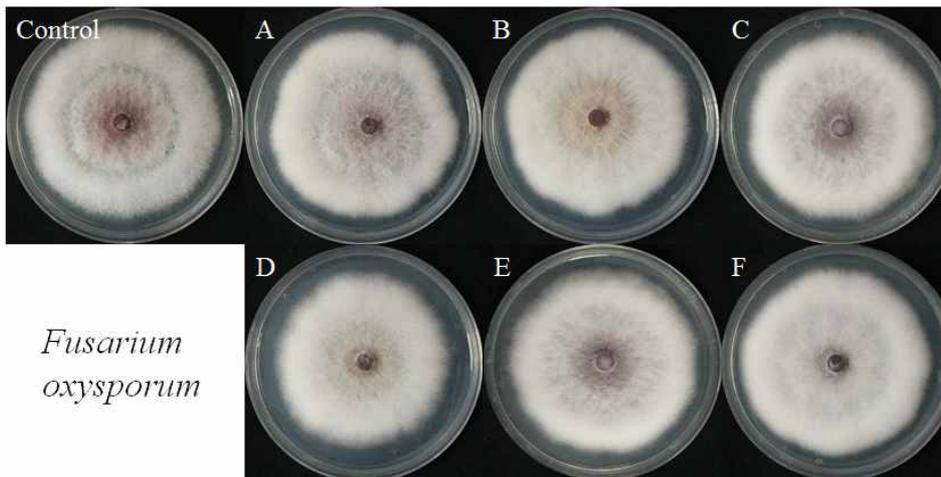
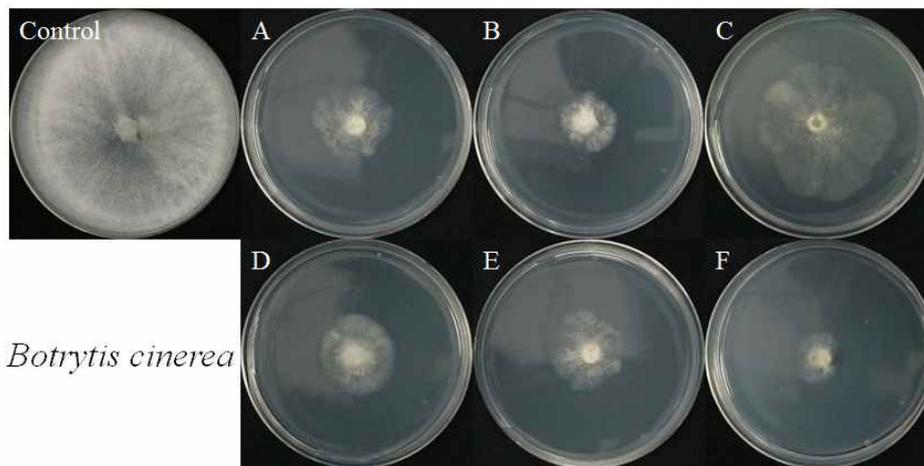
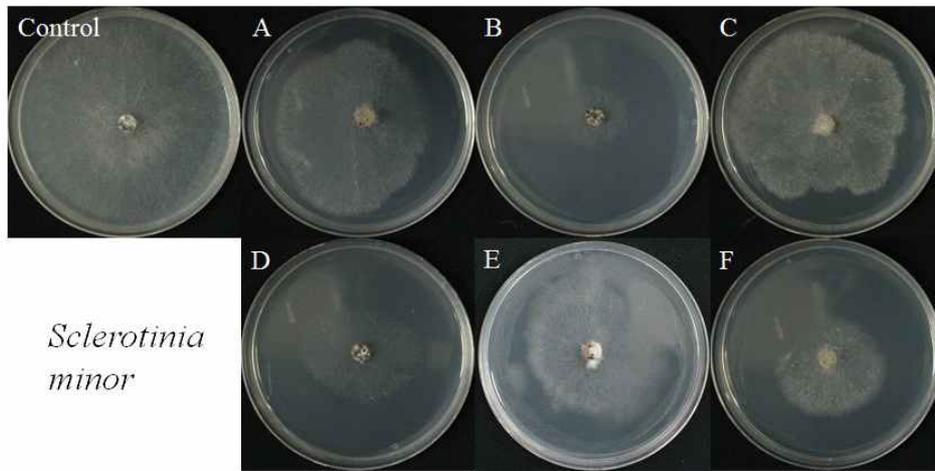
15 cm/1 light	Fungi					
	<i>R. sol</i>	<i>P. dre</i>	<i>S. scl</i>	<i>S. min</i>	<i>B. cin</i>	<i>F. oxy</i>
삼파장 형광등	8.50	8.50	7.88	6.02	3.77	6.90
BLUE (450nm)	8.50	8.50	7.35	2.21	2.25	6.84
RED (660nm)	8.50	8.50	8.19	6.40	4.53	6.87
Narrow RED	8.50	8.50	7.93	3.09	3.02	6.83
Wide RED (M1)	8.50	8.50	7.18	5.42	3.02	6.74
Wide RED (M2)	8.50	8.50	6.78	3.44	2.22	6.69
Control	8.50	8.50	8.50	8.5	8.47	7.30

\**R. solani*, *P. drechsleri*, *B. cinerea* were grown for 7 days. *S. Scletiorum*, *S. minor* were grown for 4 days and *F. oxysporum* was grown for 2 weeks.



[그림 240] Mycelial inhibition rate by different wavelength of light on various fungal plant pathogens (15 cm/1 light).





[그림 241] Diameter of fungal growth in light box (15 cm/1 light). (A: 삼파장 형광등, B: BLUE (450nm), C: RED (660nm), D: Narrow RED, E: Wide RED (M1), F: Wide RED (M2))

- 조명의 높이 : 50 cm / 조명의 개수 : 1개

· 2 종의 병원성 세균은 배양 1일 후 빠른 속도로 성장하였으며, 2일 후에는 배지상에

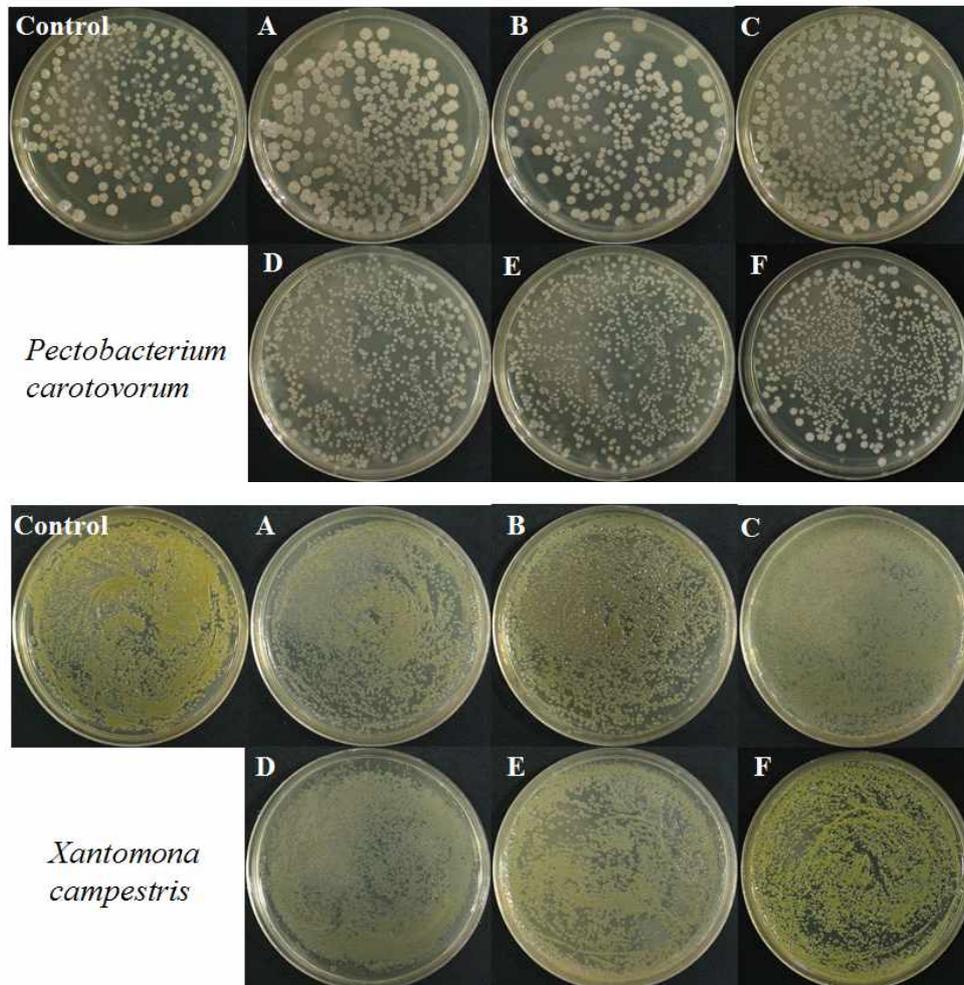
colony수를 측정할 수 없었다. RED (660nm), Narrow RED, Wide RED (M1), Wide RED (M2) 조명에서 배양한 병원균은 대조구에 비해 약 2배 이상 더 높은 성장률을 보였으며, BLUE (450nm) 조명에서 배양한 병원균은 대조구와 비교해 약간 낮은 성장률을 보였다.

[표 55] Bacterial colony counting grown under different light conditions

50 cm/1 light	Bacteria	
	<i>Pectobacterium carotovorum</i>	<i>Xanthomonas campestris</i>
삼파장형광등	292.04	UC
BLUE(450nm)	276.67	UC
RED(660nm)	377.67	UC
Narrow RED	652.67	UC
Wide RED(M1)	631.54	UC
Wide RED(M2)	605.88	UC
Control	309.33	UC

\*Bacteria grown in 2 days

\*\*UC: Uncountable

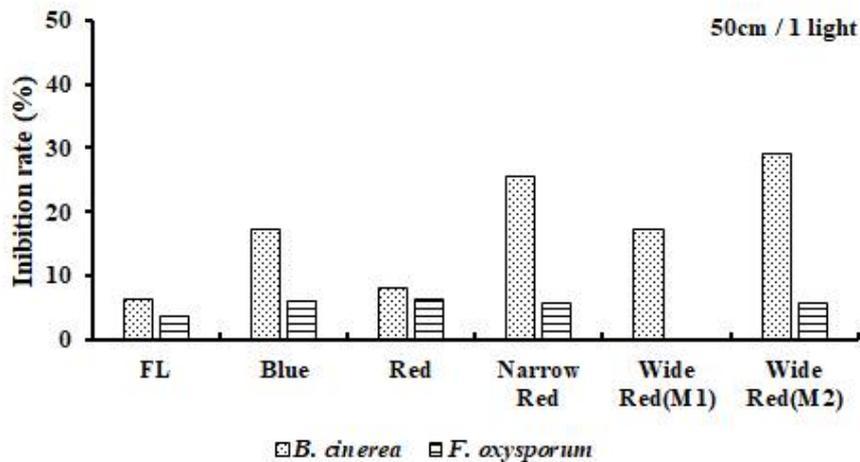
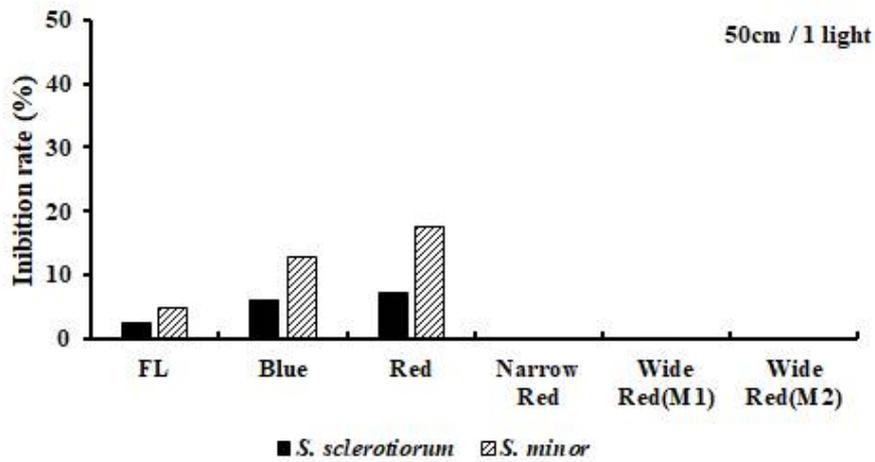


[그림 242] Bacteria colonies grown in light box (50 cm/1 light).

A: 삼파장 형광등, B: BLUE (450nm), C: RED (660nm), D: Narrow RED, E: Wide RED (M1), F:

Wide RED (M2))

- 병원성 곰팡이 *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotinia minor* 균은 접종 4일 후 생장을 측정하였음. *S. sclerotiorum*, *S. minor* 두 병원균 모두 BLUE (450nm), RED (660nm) 조명에서 3~18%의 균사 생장억제 효과를 보였으나, Narrow RED, Wide RED (M1), Wide RED (M2) 조명에 대해서는 전혀 생장억제 효과를 볼 수 없어 LED 조명처리에 대한 생장억제 효과는 없는 것으로 판단됨. 또한, *Rhizoctonia solani*, *Botrytis cinerea*, *Phytophthora drechsleri* 3종의 병원균은 접종 7일 후 생장을 측정하였음. *R. solani* 와 *P. drechsleri* 2종은 모든 LED 조명에서 균사생장억제 및 방제 효과가 없는 것을 확인하였으며, *B. cinerea* 균에 대해서는 Narrow RED, Wide RED (M2) 조명이 각각 25.5%, 29.1%의 억제효과를 보였고 BLUE (450nm), RED (660nm), Wide RED (M1) 조명에서도 약 10~18%의 억제 효과를 보였음. 반면, *Fusarium oxysporum* 균은 생장이 매우 느려 14일간 배양 후 균사의 생장을 측정하였고, 전체 처리구 조명에 대해 3.5~6.2%의 낮은 균사 생장 억제율을 보였음.

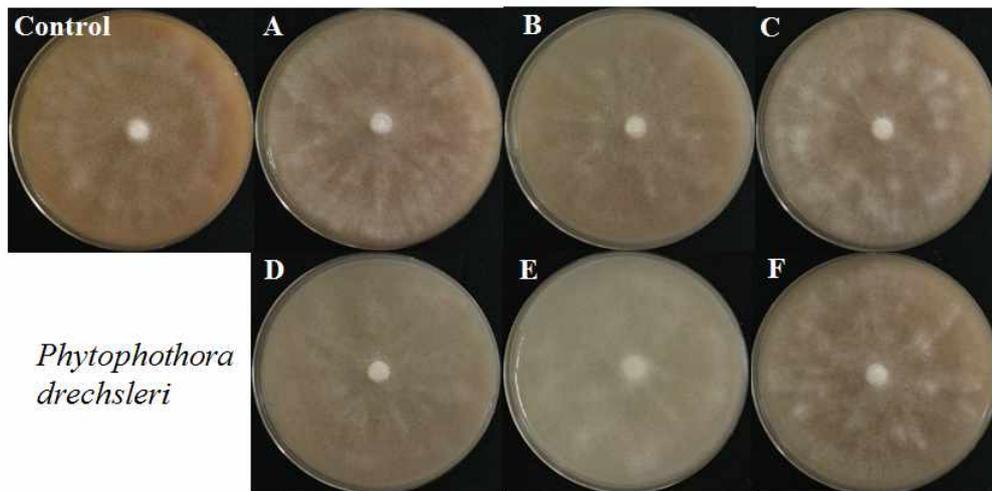
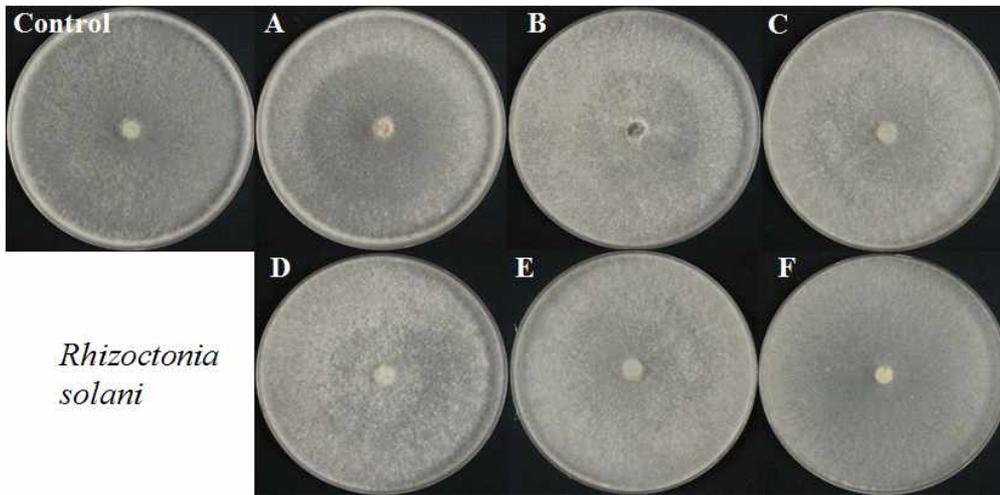


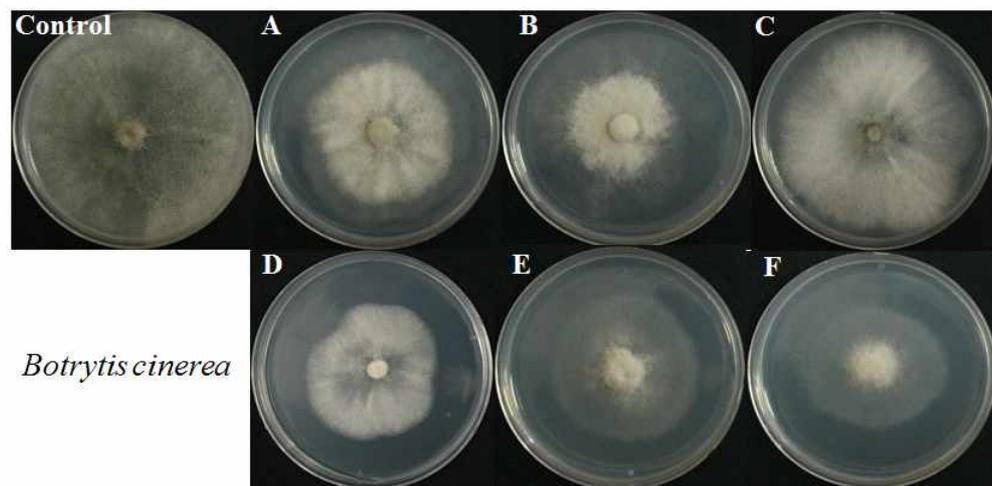
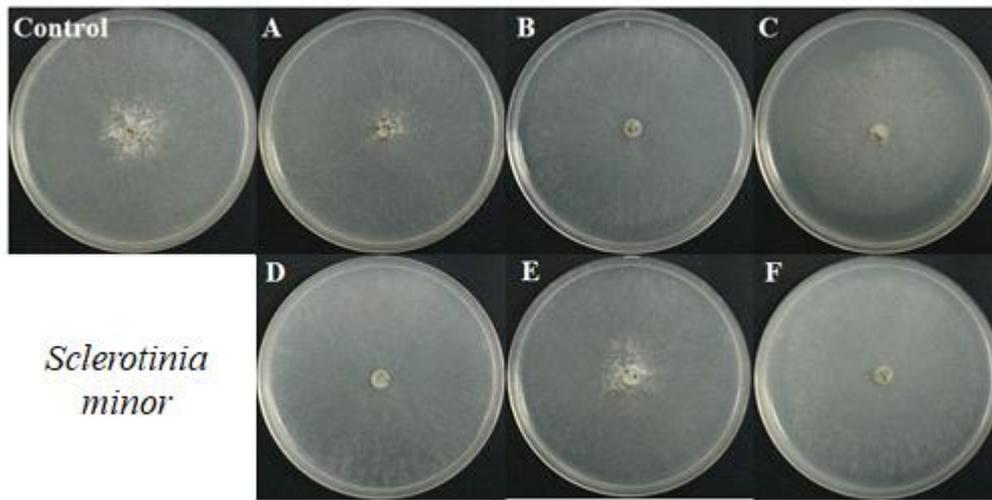
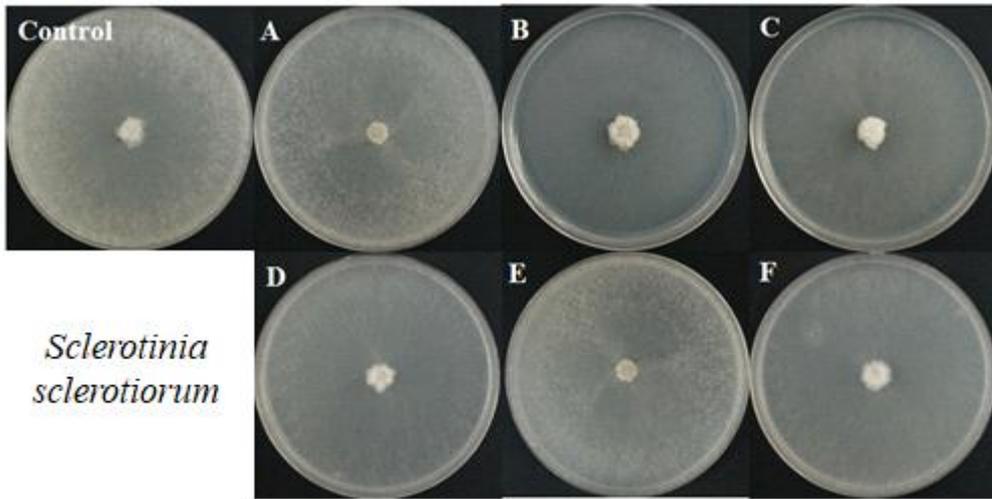
[그림 243] Mycelial inhibition rate by different wavelength of light on various fungal plant pathogens (50 cm/1 light).

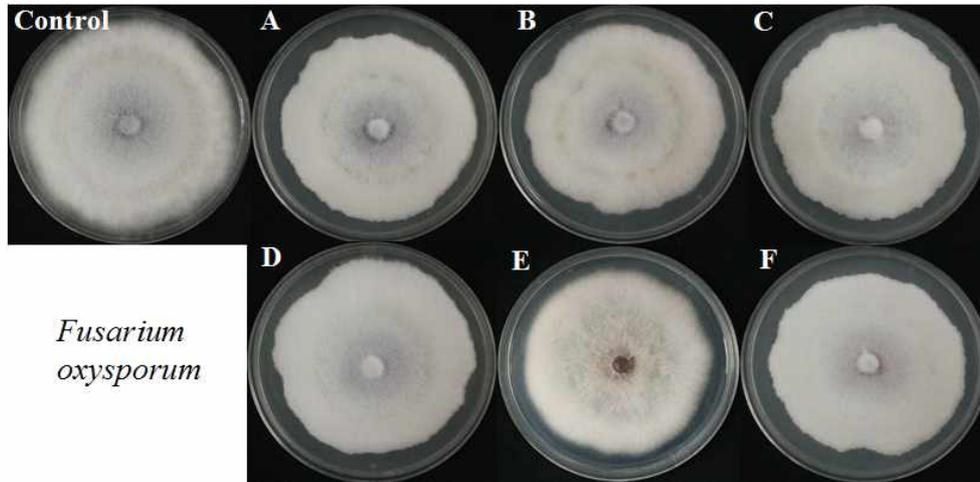
[표 56] Diameter of fungal mycelia grown under different light condition

50 cm/l light	Fungi					
	<i>R. sol</i>	<i>P. dre</i>	<i>S. scl</i>	<i>S. min</i>	<i>B. cin</i>	<i>F. oxy</i>
삼파장형광등	8.50	8.50	8.30	8.10	7.96	7.50
BLUE (450nm)	8.50	8.50	8.00	7.40	7.04	7.30
RED (660nm)	8.50	8.50	7.90	7.00	7.80	7.29
Narrow RED	8.50	8.50	8.50	8.50	6.34	7.32
Wide RED (M1)	8.50	8.50	8.50	8.50	7.03	7.81
Wide RED (M2)	8.50	8.50	8.50	8.50	6.03	7.33
Control	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	7.77

\**R. solani*, *P. drechsleri*, *B. cinerea* were grown for 7 days. *S. Sclotiorum*, *S. minor* were grown for 4 days and *F. oxysporum* was grown for 2 weeks.







[그림 244] Diameter of fungal growth in light box (50 cm/1 light).

(A: 삼과장 형광등, B: BLUE (450nm), C: RED (660nm), D: Narrow RED, E: Wide RED (M1), F: Wide RED (M2))

- 결론적으로, *P. carotovorum*, *X. campestris*은 LED 조명처리에 대해 억제효과를 보이지 않았으며 2종의 병원성 곰팡이 *R. solani*, *P. drechsleri* 또한 전체 조명에 대한 생장억제 효과를 보이지 않았음. *S. sclerotiorum*, *S. minor* 2종의 경우 BLUE (450nm), RED (660nm)조명에서 각각 5.9~7.1% 와 12.9~17.7% 의 생장억제 효과를 보였음. 또한, *B. cinerea*, *F. oxysporum* 2종의 병원균은 모든 조명에 대해 억제효과를 보였으며, *B. cinerea* 균은 다른 조명에 비해 Wide RED (M2) 조명에서 비교적 높은 균사 생장억제 효과를 보였음.

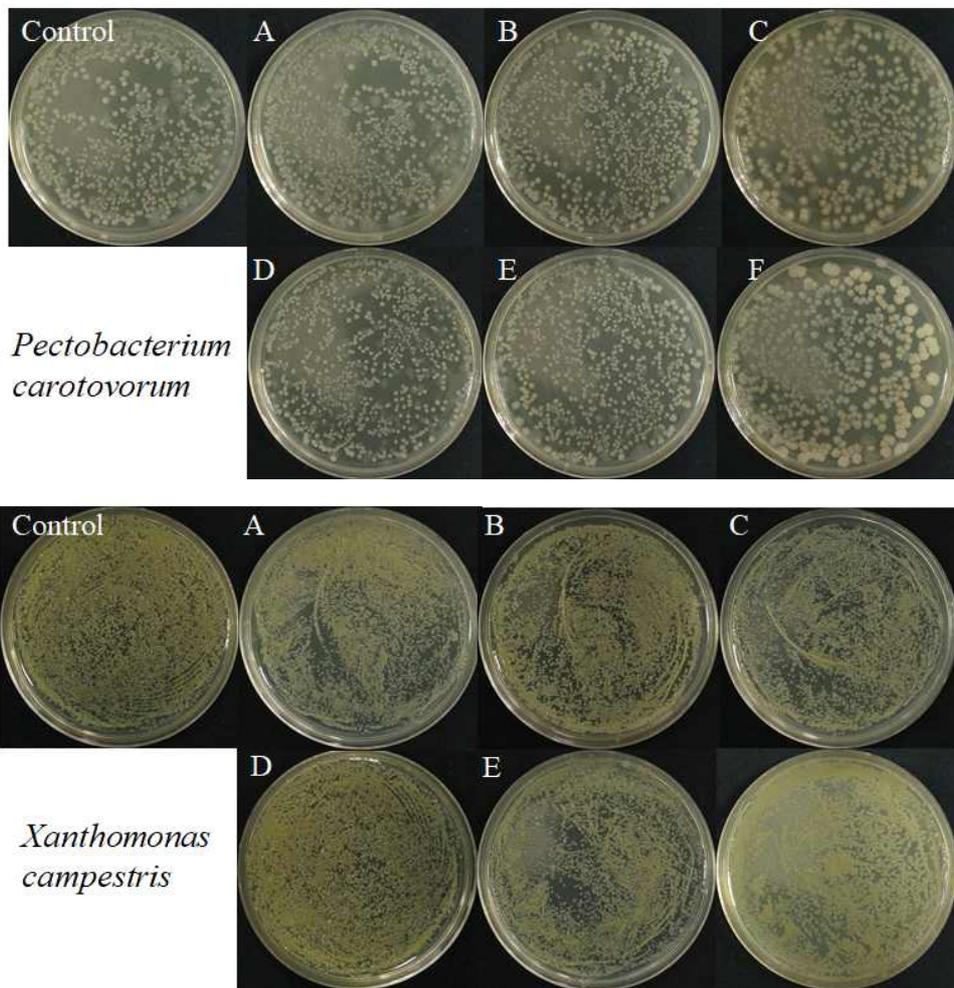
- 조명의 높이 : 15cm / 조명의 개수 : 4개

- 사용된 병원균으로부터 조명의 높이를 15 cm로 설정하여 광원과 병원균의 거리를 조정하고 4개의 조명을 사용하였으며, 암상태에서 배양한 병원균과 삼과장 형광등에서 배양한 병원균을 대조구로 설정하고 실험을 진행하였음. 2종의 병원성 세균을 접종 2일 후 colony를 측정하였으며, *X. campestris* 균은 colony 수를 측정할 수 없을 정도로 성장하여 처리 조명에 대한 생장억제 효과가 없는 것으로 확인하였으며, *P. carotovorum*의 경우 대조구와 처리구 간의 차이를 보이지 않았으며 LED 조명처리가 식물 병원성 세균의 생장억제에 효과를 보이지 않는 것을 확인하였음. 따라서, 15 cm 높이와 4개의 조명을 사용한 조건은 2종의 병원성 세균의 생장에 영향을 미치지 않는 것으로 판단됨.

[표 57] Bacteria colony counting in different light conditions

15 cm/4 light	Bacteria	
	<i>Pectobacterium carotovorum</i>	<i>Xanthomonas campestris</i>
삼파장 형광등	UC	UC
BLUE(450nm)	UC	UC
RED(660nm)	UC	UC
Narrow RED	UC	UC
Wide RED(M1)	UC	UC
Wide RED(M2)	UC	UC
Control	UC	UC

\*Bacteria grown in 2 days.



[그림 245] Bacteria colonies grown in light box (15 cm/4 light).

A: 삼파장 형광등, B: BLUE (450nm), C: RED (660nm), D: Narrow RED, E: Wide RED (M1), F: Wide RED (M2)

· 식물 병원성 곰팡이의 경우, 균의 생장에 따라 4, 7, 14일간 배양하여 균사의 생장과 조명

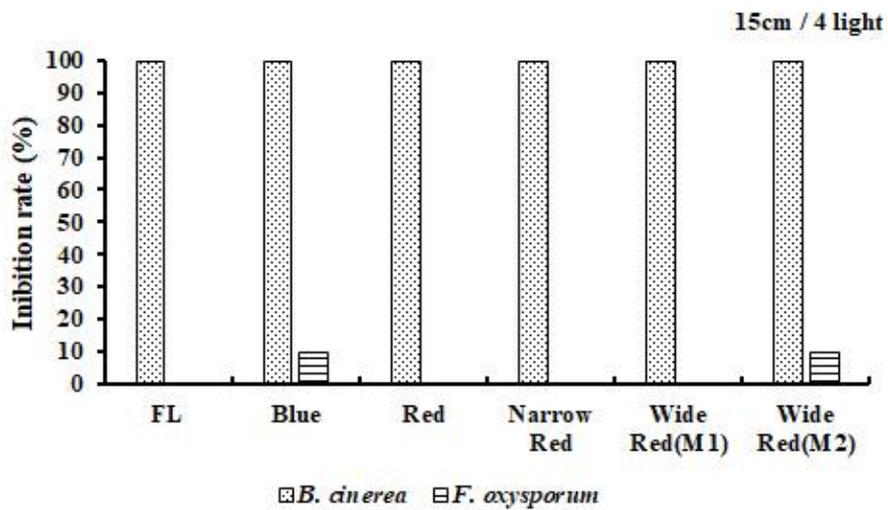
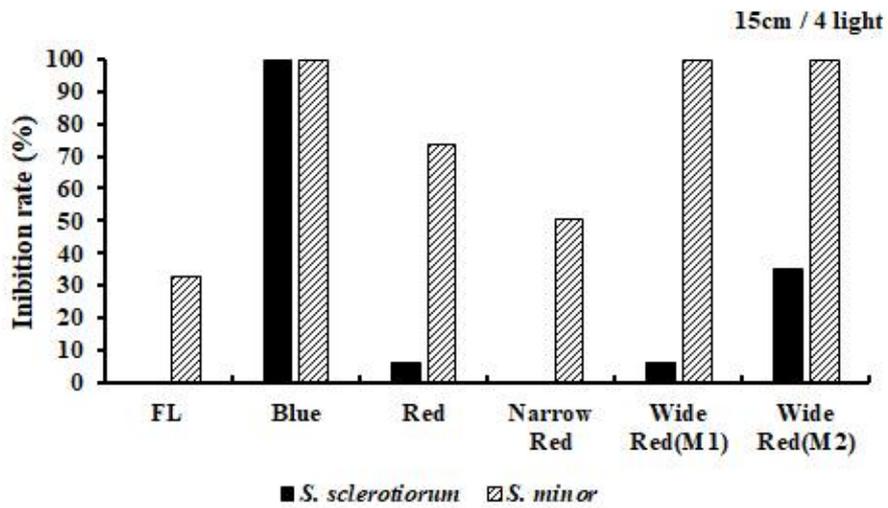
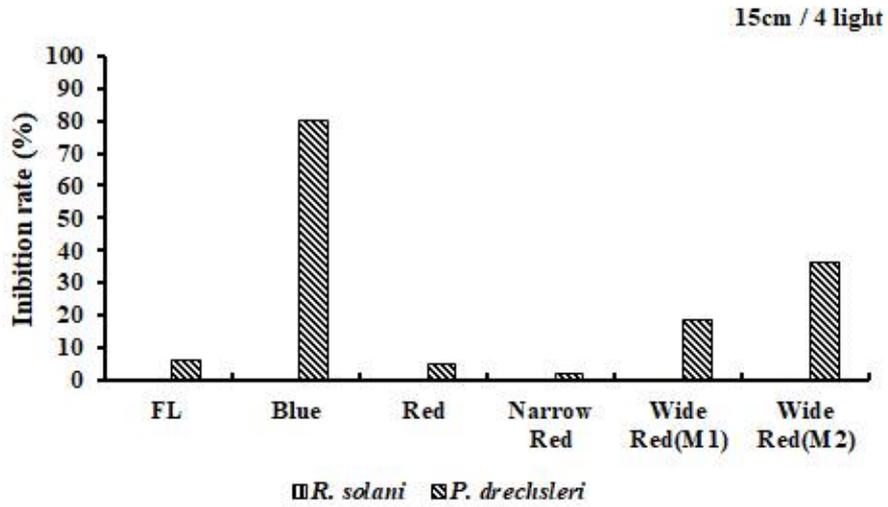
의 개수에 따른 균사생장 억제율을 확인하였음. 각각 4개의 조명의 사용하여 15 cm 높이에서 생장을 관찰한 결과 BLUE (450nm)조명은 *Phytophthora drechsleri*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotinia minor*, *Botrytis cinerea* 4종의 병원균에 대해 공통적으로 높은 균사생장억제효과를 보였으며, *Phytophthora drechsleri*는 80.4% *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotinia minor*, *Botrytis cinerea*는 100%의 억제율을 나타냄.

[표 58] Diameter of fungal mycelia in different light condition

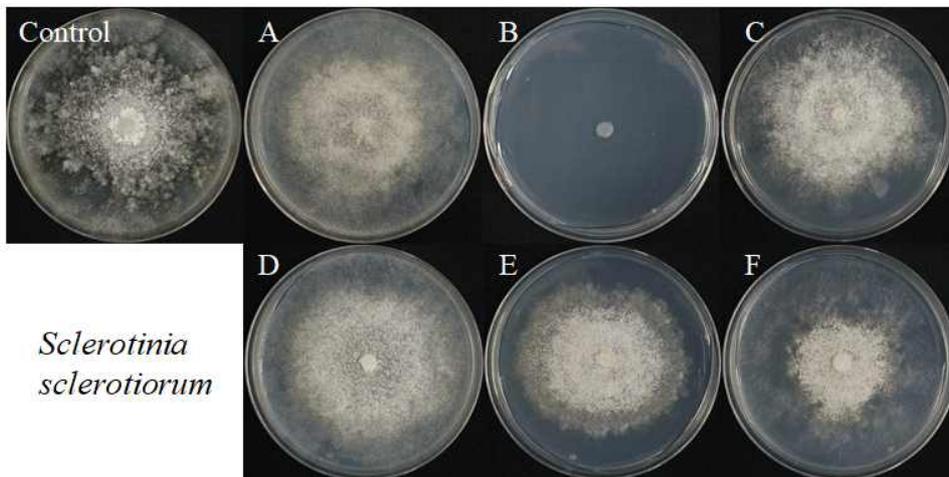
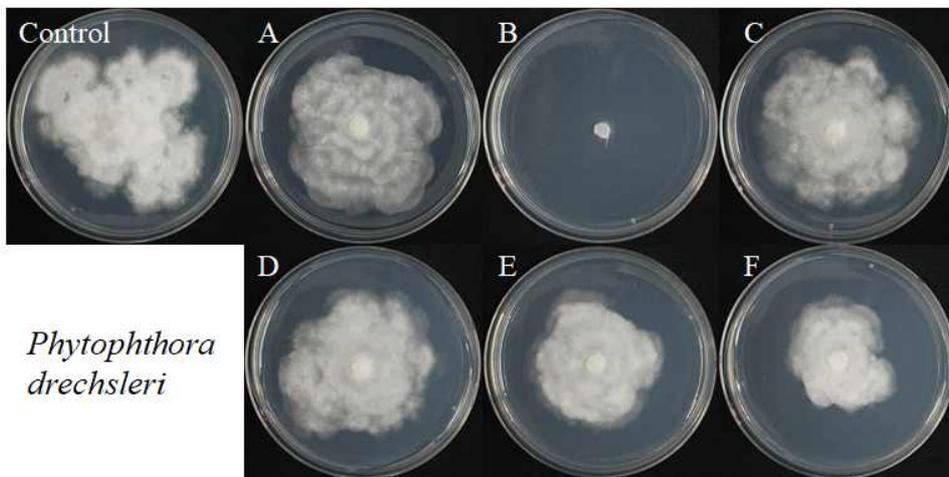
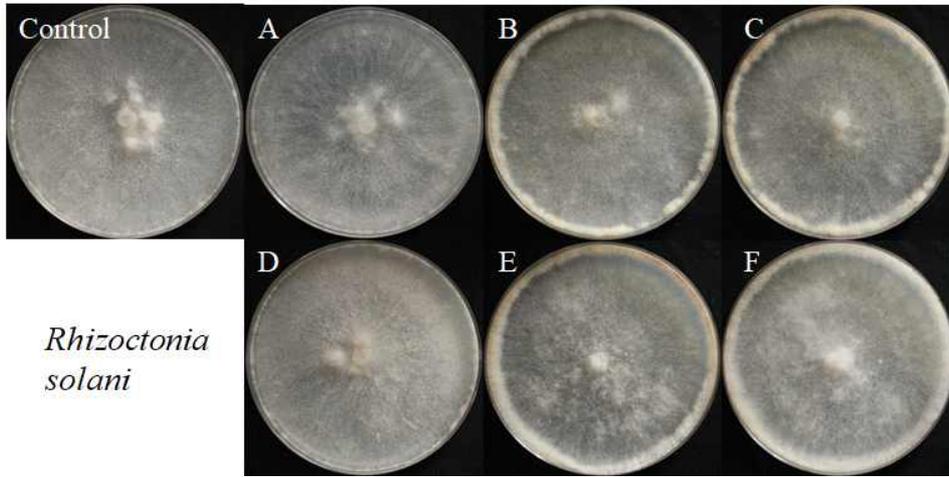
15 cm/4 light	Fungi					
	<i>R. sol</i>	<i>P. dre</i>	<i>S. scl</i>	<i>S. min</i>	<i>B. cin</i>	<i>F. oxy</i>
삼파장 형광등	8.50	6.20	8.50	5.50	0	7.40
BLUE (450nm)	8.50	1.30	0	0	0	6.60
RED (660nm)	8.50	6.10	8.00	3.00	0	7.30
Narrow RED	8.50	6.50	8.50	4.90	0	7.40
Wide RED (M1)	8.50	5.40	8.00	0	0	7.20
Wide RED (M2)	8.50	4.20	5.50	0	0	6.60
Control	8.50	6.60	8.50	8.2	8.5	7.30

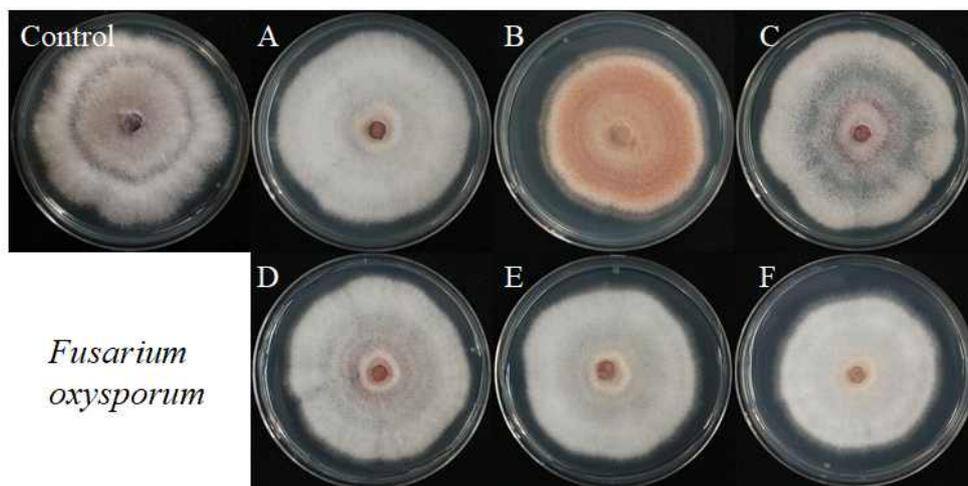
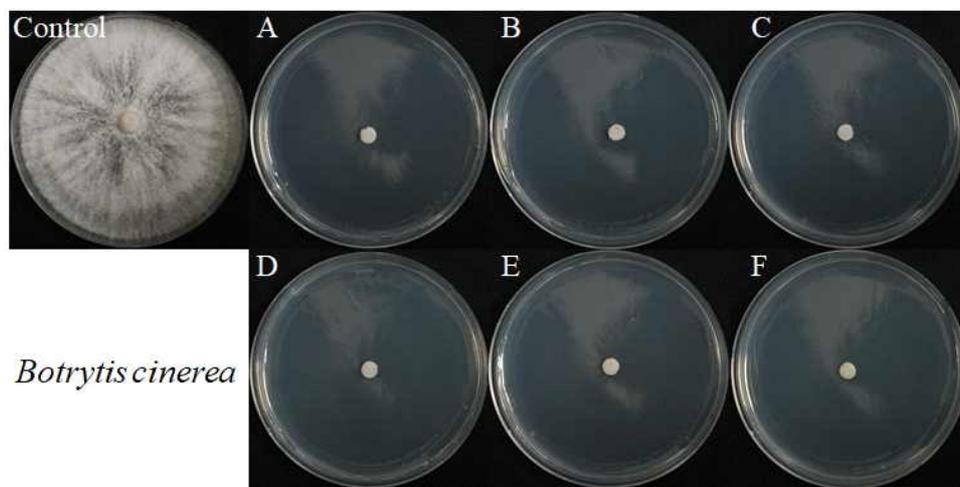
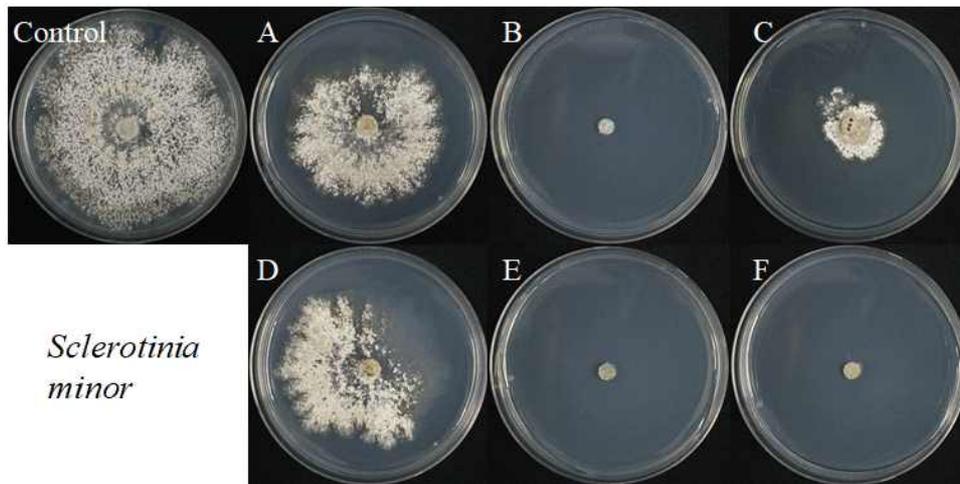
\**R. sol*, *P. dre*, *B. cin* were grown in 7 days. *S. Scl*, *S. min* were grown in 4 days and *F. oxy* was grown in 2 weeks.

• *Phytophthora drechsleri*는 Wide RED (M1) 조명에서 18.2%의 억제율을 보였으며, Wide RED (M2) 조명에서 36.4%의 더 높은 균사 생장억제율을 보였음. *S. sclerotiorum*의 경우 Wide RED (M2) 조명에서 35.3%의 억제율을 보였으며, *S. minor*는 Wide RED (M1), Wide RED (M2) 조명에서 100%의 높은 균사 생장억제율을 보였음. 또한, *R. solani*, *F. oxysporum* 균은 대조구와 비교하였을 때 균사의 생장의 차이를 거의 찾아볼 수 없어, *R. solani*, *F. oxysporum* 균은 QD LED 조명처리에 의한 생장억제 효과가 없는 것으로 판단됨. 또한, 15 cm 높이에서 파장별 4개의 조명을 사용하여 실험하였을 때 조명에서 발생하는 열에 의해 light box의 내부 온도가 32~33°C 까지 상승하였으며 추가적으로 30 cm, 50 cm 높이를 설정하여 실험하였음.



[그림 246] Mycelia inhibition rate by different wavelength of light over various fungal plant pathogens (15 cm/4 light).





[그림 247] Diameter of fungal grown in light box (15 cm/4 light).

A: 삼파장 형광등, B: BLUE (450nm), C: RED (660nm), D: Narrow RED, E: Wide RED (M1), F: Wide RED (M2).

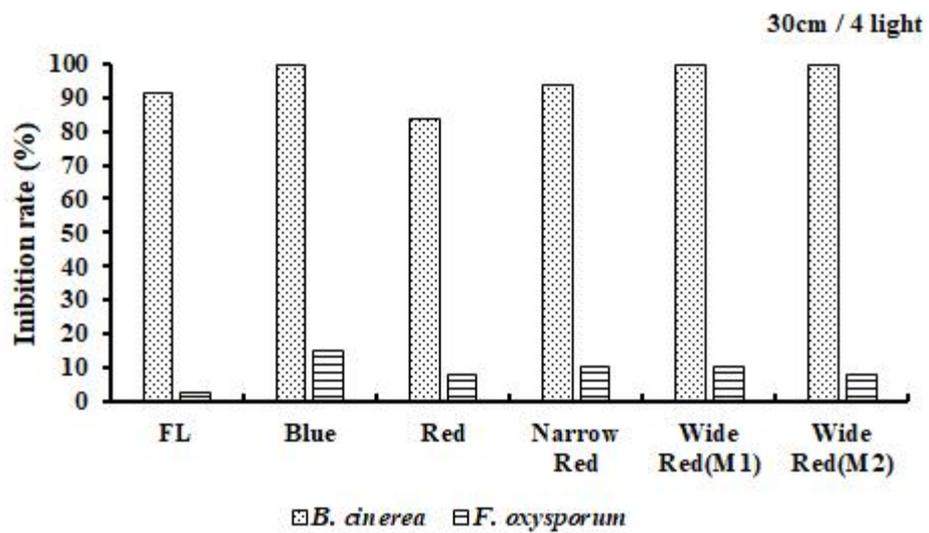
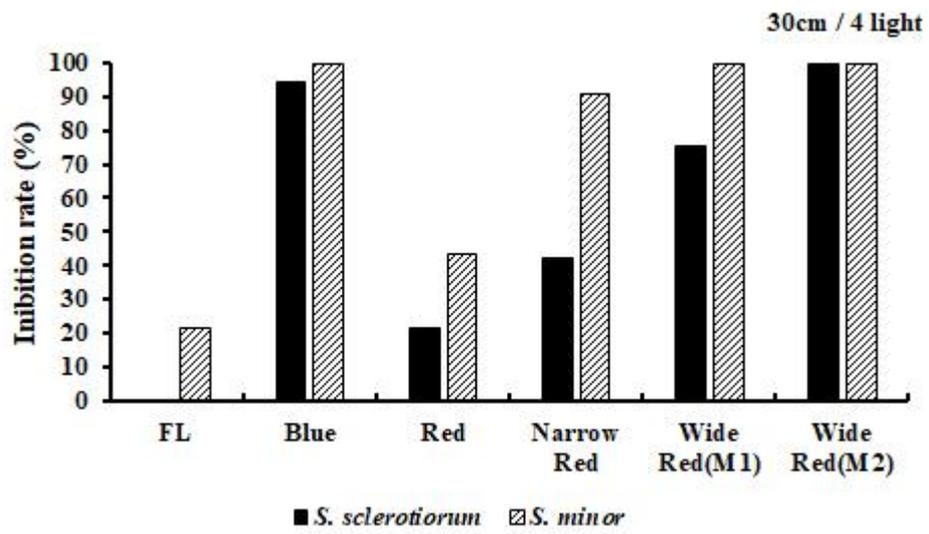
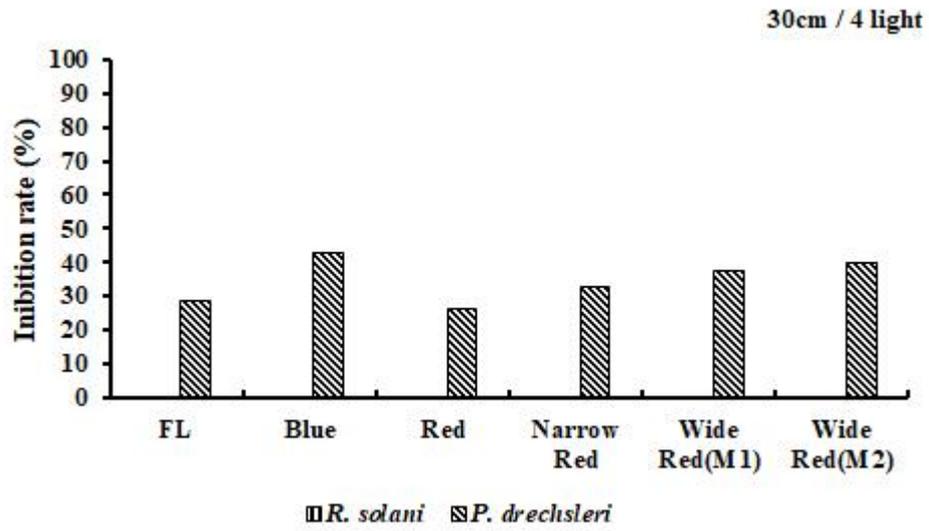
- 조명의 높이 : 30 cm / 조명의 개수 : 4개

• 병원균으로부터 조명의 높이를 30 cm로 설정하여 광원과 병원균의 거리를 조절하고 파장별 조명을 각각 4개씩 사용하여 실험을 진행하였음. 암상태에서 배양한 병원균과 삼파장 형광등에서 배양한 병원균을 대조구로 설정하고 실험을 진행하였음. *Sclerotinia sclerotiorum* 과 *Sclerotinia minor*는 4일간 각각의 LED light box에서 배양하여 균사의 생장을 확인하였으며 BLUE (450nm), Wide RED (M1), Wide RED (M2) 조명에서 높은 균사 생장억제율을 보였다. *Sclerotinia sclerotiorum*은 BLUE (450nm) 조명에서 94.2%, Wide RED (M1)조명에서 75.3%, Wide RED(M2) 조명에서 100% 균사의 생장이 억제되는 것을 확인하였으며, RED (660nm), Narrow RED 조명에서도 각각 21.2%, 42.4%의 억제율을 보였음. *Sclerotinia minor*의 경우 BLUE (450nm), Wide RED (M1), Wide RED (M2) 조명에서 100%의 균사 생장억제율을 보였으며, RED (660nm) 조명에서 43.6%, Narrow RED 조명에서도 90.6%의 높은 억제율을 보였음. 또한, *Phytophthora drechsleri*는 대조구와 비교하여 파장별 26.3~42.5%의 균사생장 억제율을 보였으며 BLUE (450nm)조명에서 억제율이 가장 높았음. 또한, *Botrytis cinerea*의 경우 모든 처리 조명에 대해 83.6~100%의 높은 억제율을 보였으며 BLUE (450nm), Wide RED (M1), Wide RED (M2) 조명에서 100%의 억제율을 보였음. 하지만, *Fusarium oxysporum*은 대조구와 비교하여 유의한 차이를 보이지 않았으며 균사 생장에 거의 영향이 없는 것을 확인하였고, *Rhizoctonia solani*는 균사 생장억제에 대하여 전혀 효과가 없는 것으로 나타남.

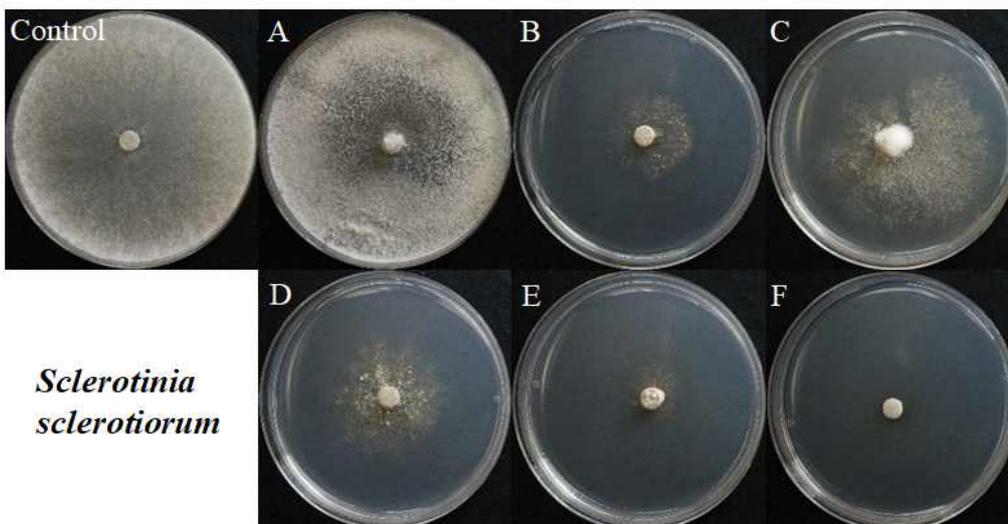
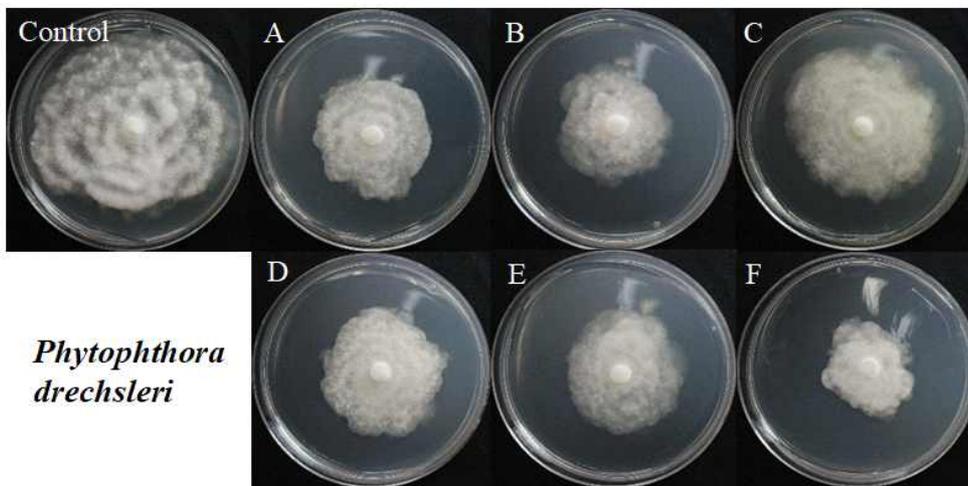
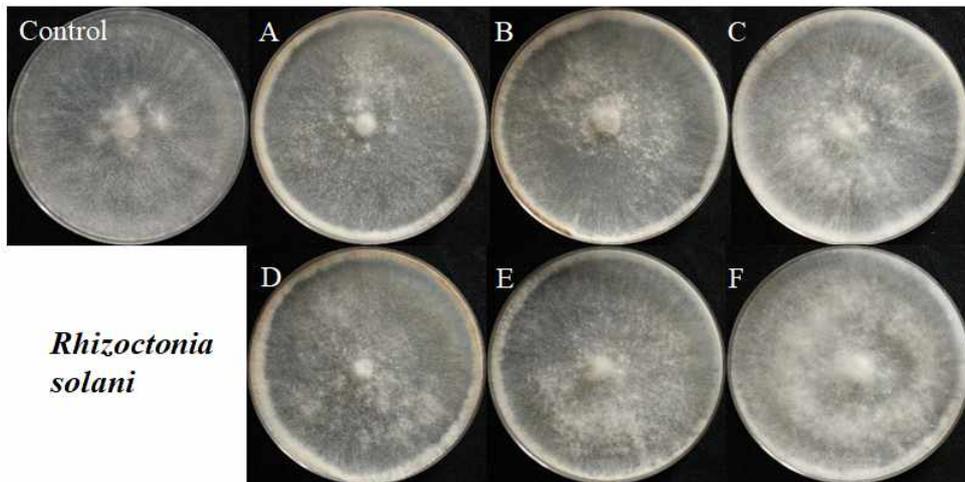
[표 59] Diameter of fungal mycelia in different light condition

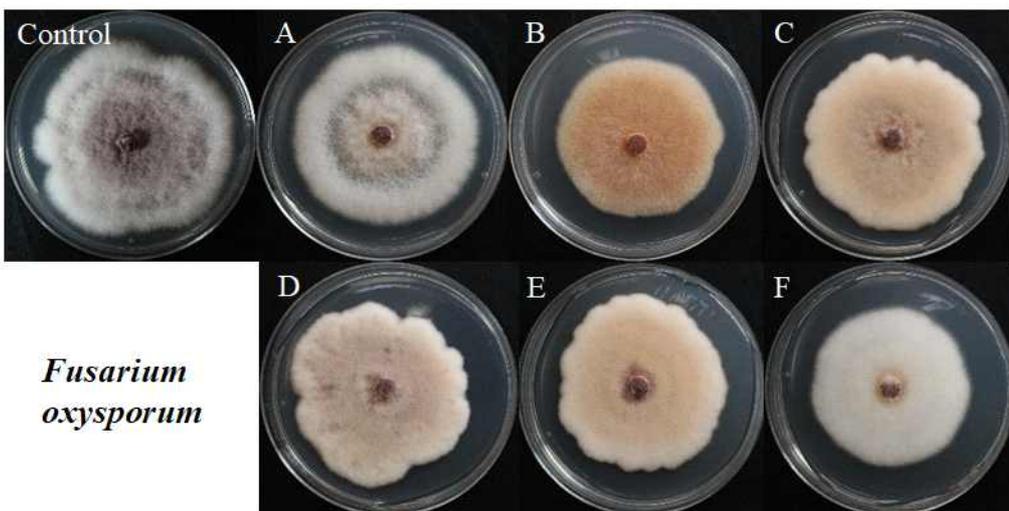
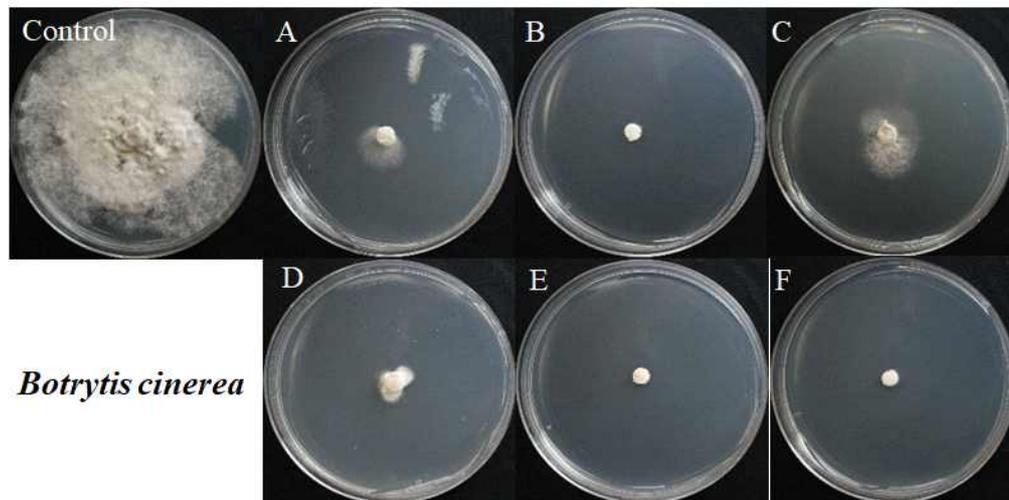
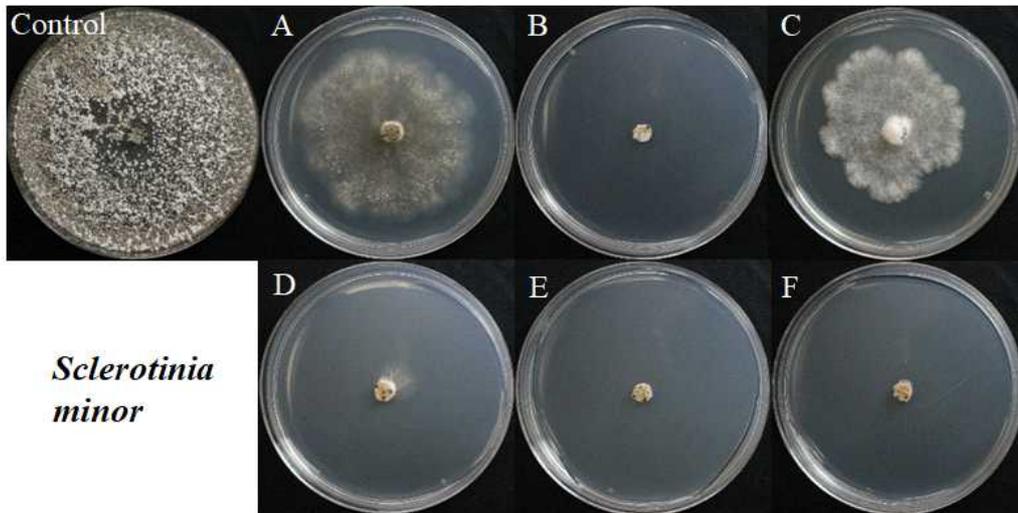
30 cm/4 light	Fungi					
	<i>R. sol</i>	<i>P. dre</i>	<i>S. scl</i>	<i>S. min</i>	<i>B. cin</i>	<i>F. oxy</i>
삼파장 형광등	8.5	5.7	8.5	6.7	0.7	7.3
BLUE (450nm)	8.5	4.6	0.5	0	0	6.4
RED (660nm)	8.5	5.9	6.7	4.8	1.3	6.9
Narrow RED	8.5	5.4	4.9	0.8	0.5	6.7
Wide RED (M1)	8.5	5.0	2.1	0	0	6.7
Wide RED (M2)	8.5	4.8	0	0	0	6.3
Control	8.5	8.0	8.5	8.5	7.9	7.5

\**R. sol*, *P. dre*, *B. cin* were grown in 7 days. *S. Scl*, *S. min* were grown in 4 days and *F. oxy* was grown in 2 weeks.



[그림 248] Mycelia inhibition rate by different wavelength of light over various fungal plant pathogens (30 cm/4 light).





[그림 249] Diameter of fungal grown in light box (30 cm/4 light).  
 A: 삼파장 형광등, B: BLUE(450nm), C: RED(660nm), D: Narrow RED,  
 E: Wide RED(M1), F: Wide RED(M2)

- 조명의 높이 : 50 cm / 조명의 개수 : 4개

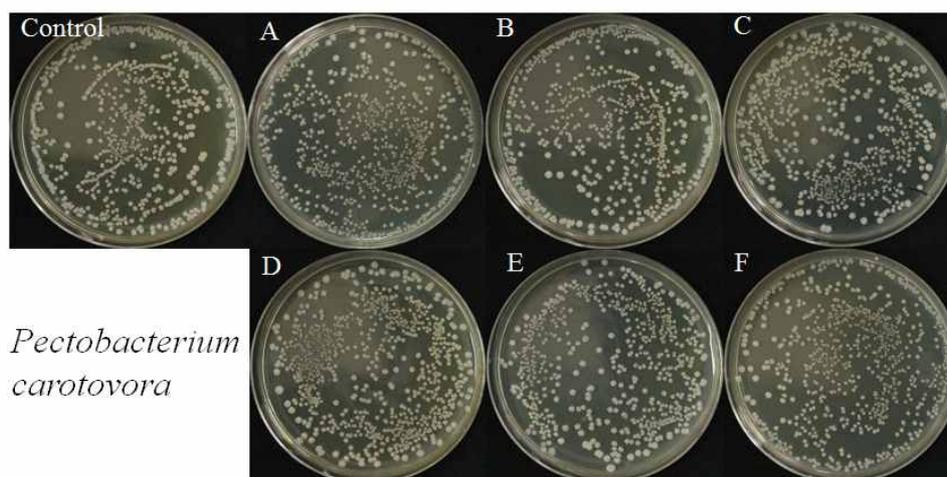
- 실험에 사용된 병원균으로부터 조명의 높이를 50 cm로 설정하여 광원과 병원균의 거리를 조정하고 4개의 조명을 사용하였고, 암상태에서 배양한 병원균과 삼파장 형광등에서 배양한 병원균을 대조구로 설정하고 실험을 진행하였음. 2 종의 병원성 세균을 접종 2일 후 colony를 측정하였으며, *X. campestris* 균은 colony수를 측정할 수 없을 정도로 성장하여 처리 조명에 대한 생장억제 효과가 없는 것으로 확인하였고 *P. carotovorum* 의 경우도 대조구보다 처리구에서 더 많은 colony가 측정되어 QD LED 조명처리가 병원균의 생장억제에 효과를 보이지 않는다는 것을 확인하였음.

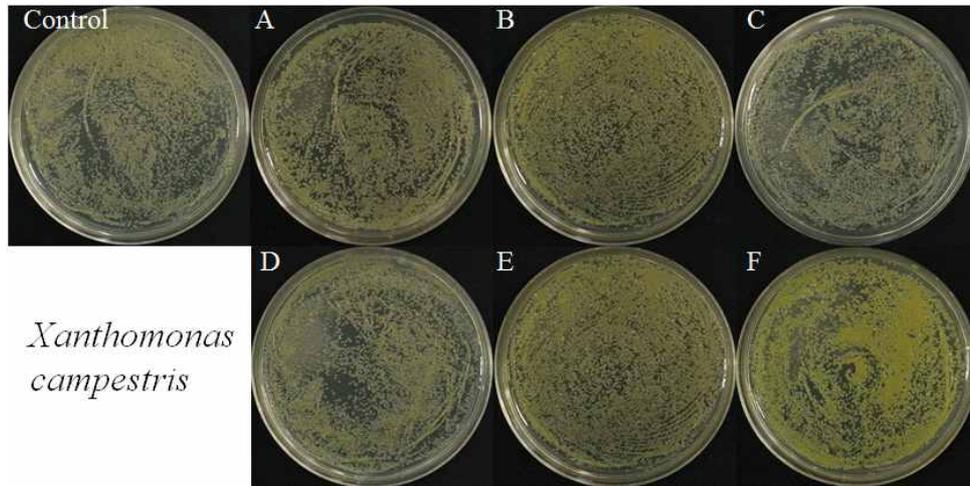
[표 60] Bacterial colony counting on plate grown under different light conditions

50 cm/4 light	Bacteria	
	<i>Pectobacterium carotovorum</i>	<i>Xanthomonas campestris</i>
삼파장 형광등	692.04	UC
BLUE (450nm)	576.67	UC
RED (660nm)	577.67	UC
Narrow RED	652.67	UC
Wide RED (M1)	531.54	UC
Wide RED (M2)	536.88	UC
Control	508.31	UC

\*Bacteria grown for 2 days.

\*\*UC: Uncountable





[그림 250] Bacteria colonies grown in light box (50 cm/4 light)

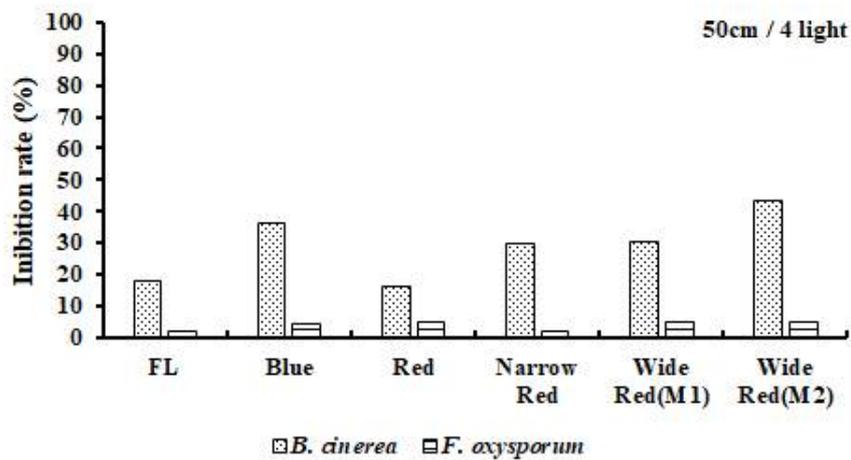
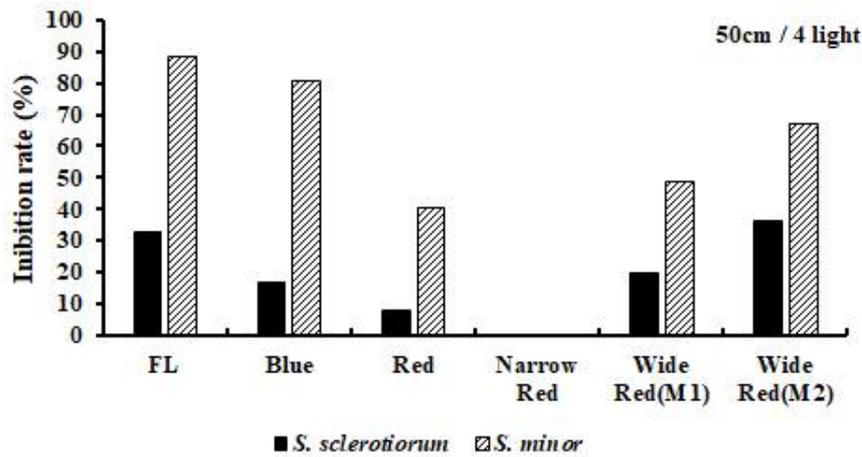
(A: 삼파장 형광등, B: BLUE(450nm), C: RED(660nm), D: Narrow RED, E: Wide RED(M1), F: Wide RED(M2))

- 4개의 light의 조건에서 4일간 배양 후 *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotinia minor* 2 종의 병원성 곰팡이의 균사생장을 측정하였음. *S. sclerotiorum* 균은 Narrow RED 조명을 제외한 나머지 조명에서 생장이 억제되는 모습을 보였으며 억제율은 RED(660nm) 조명에서 7.7%로 가장 낮았고 Wide RED (M2) 조명에서 36.4%로 가장 높게 나타남. *S. minor*에 대하여 BLUE (450nm)조명은 균사의 생장을 80.5% 감소시켰으며 RED (660nm), Wide RED (M1) 조명은 각각 40.4%, 48.5% 그리고 Wide RED (M2) 조명은 67.2%의 높은 균사 생장억제 효과를 보임. *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora drechsleri*, *Botrytis cinerea* 3종의 병원성 곰팡이의 경우 7일간 배양한 후 생장을 측정하였음. *R. solani* 와 *P. drechsleri* 2종의 병원균은 대조구와 처리구의 생장이 차이나지 않았으며, LED 조명의 처리가 병원균의 생장에 영향을 미치지 않는 것으로 보여짐. *B. cinerea*의 경우 전체적인 조명에 대하여 억제효과를 보였고 그 중 Wide RED (M1)조명과 Wide RED (M2) 조명은 각각 30.2%, 43.1%의 억제율을 보였으며, BLUE (450nm), RED (660nm), Narrow RED조명은 각각 36.4%, 16%, 29.9%의 균사생장억제 효과를 보였음. *Fusarium oxysporum* 은 접종 14일 후 생장을 측정하였으며 암상태의 대조구와 비교하였을 때 균사의 생장의 차이를 거의 찾아볼 수 없어 *F. oxysporum* 균은 LED 조명처리에 의한 생장억제 효과가 없는 것으로 보여짐.

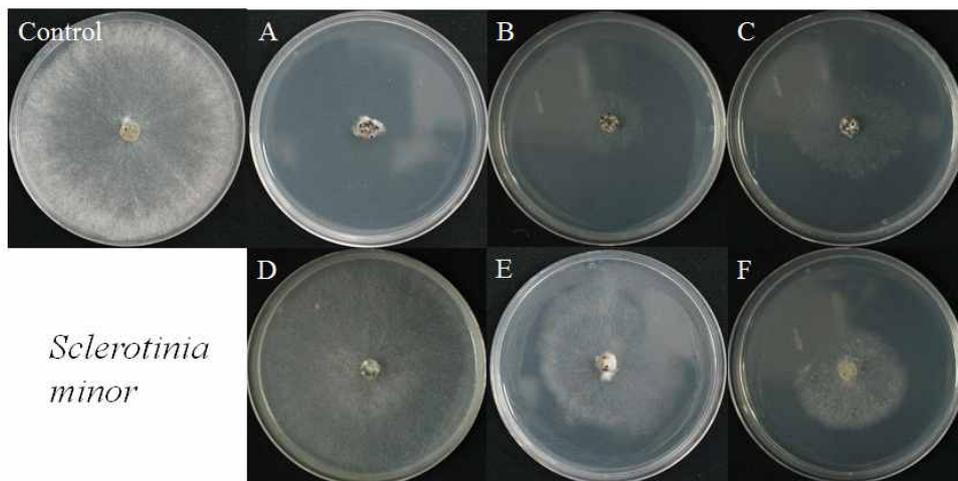
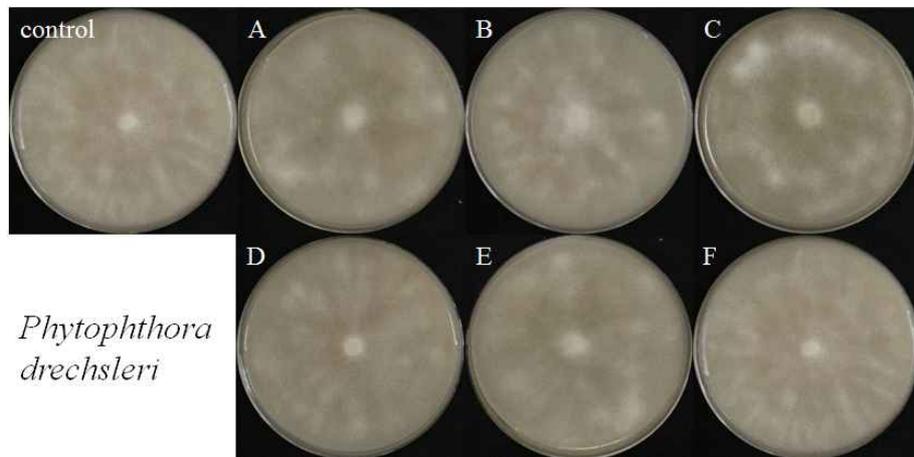
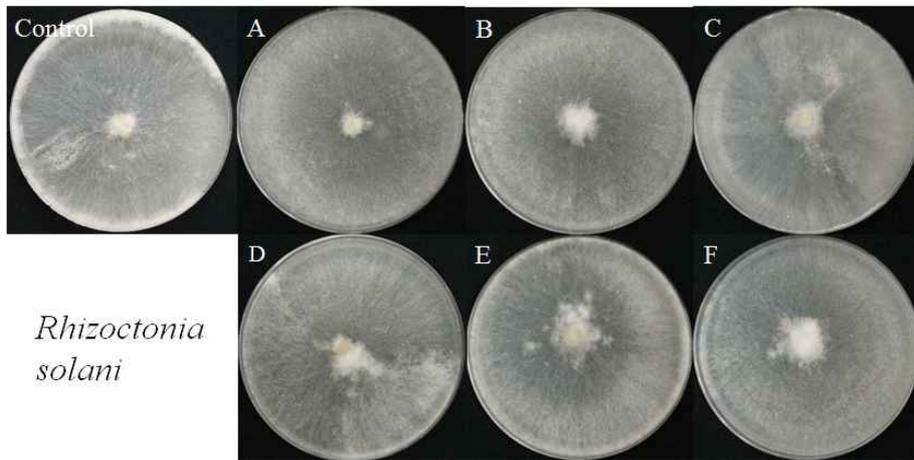
[표 61] Diameter of fungal mycelia grown on plates in different light condition

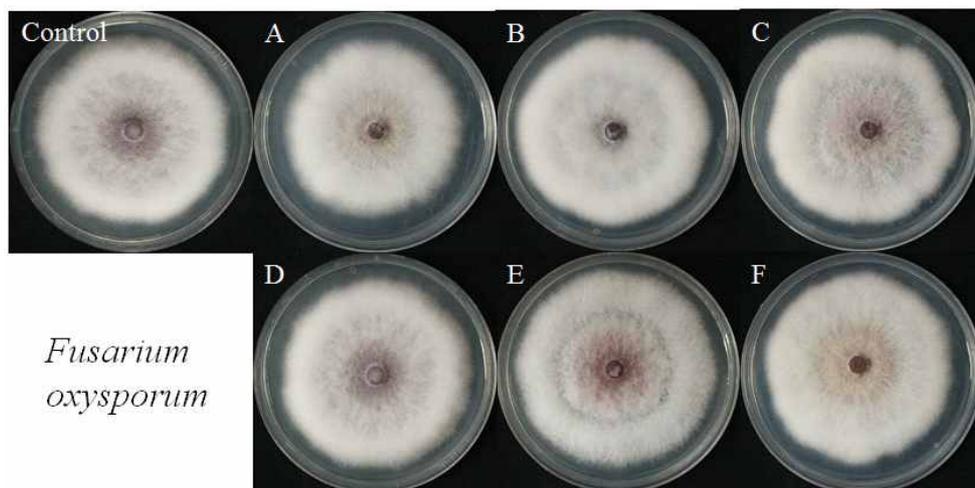
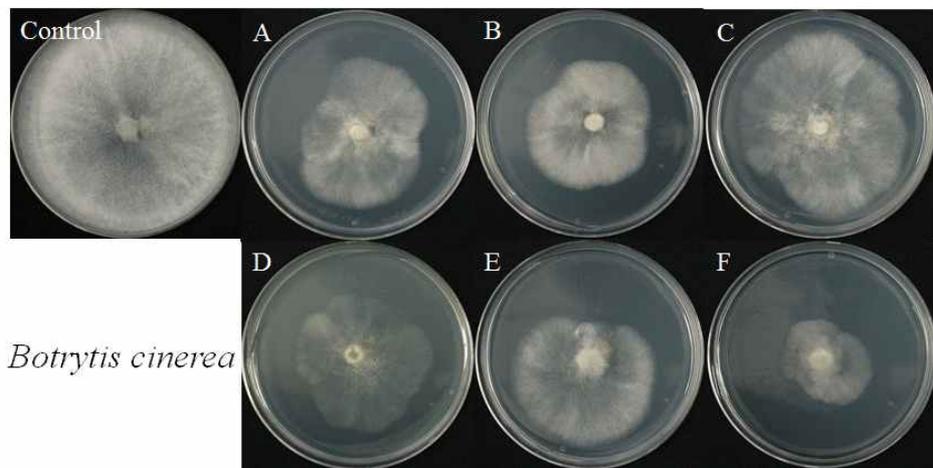
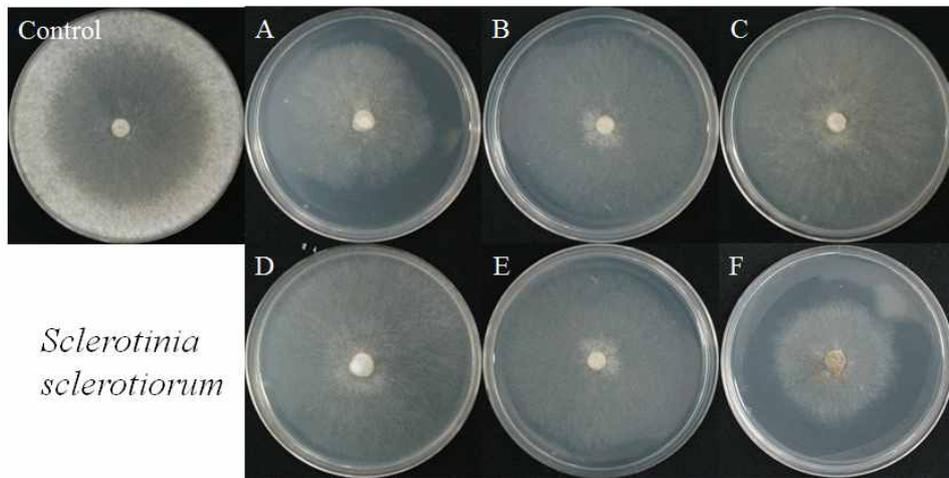
50 cm/4 light	Fungi					
	<i>R. sol</i>	<i>P. dre</i>	<i>S. scl</i>	<i>S. min</i>	<i>B. cin</i>	<i>F. oxy</i>
삼과장 형광등	8.50	8.50	5.74	0.98	6.97	7.80
BLUE (450nm)	8.50	8.50	7.08	1.66	5.41	7.60
RED (660nm)	8.50	8.50	7.85	5.07	7.14	7.55
Narrow RED	8.50	8.50	8.50	8.50	5.96	7.81
Wide RED (M1)	8.50	8.50	6.81	4.38	5.94	7.55
Wide RED (M2)	8.50	8.50	5.41	2.79	4.84	7.57
Control	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	7.94

\**R. solani*, *P. drechsleri*, *B. cinerea* were grown for 7 days. *S. Sclotiorum*, *S. minor* were grown for 4 days and *F. oxysporum* was grown for 2 weeks.



[그림 251] Mycelial inhibition rate by different wavelength of light on various fungal plant pathogens (50 cm/4 light).





[그림 252] Diameter of fungal growth in light box (50 cm/4 light).

A: 삼파장 형광등, B: BLUE (450nm), C: RED (660nm), D: Narrow RED, E: Wide RED (M1), F: Wide RED (M2).

라. 40W급 생장 조절등을 이용한 식물병원성 곰팡이의 균사 생장억제 실험

QD LED조명을 이용한 식물 병원성 곰팡이의 균사 생장억제효과를 조사하기 위하여 이전에 사용 중이던 10W급 생장조절등에 40W급 생장조절등을 추가로 철원플라즈마연구원으로부터 제작받아 실험에 사용하였음.

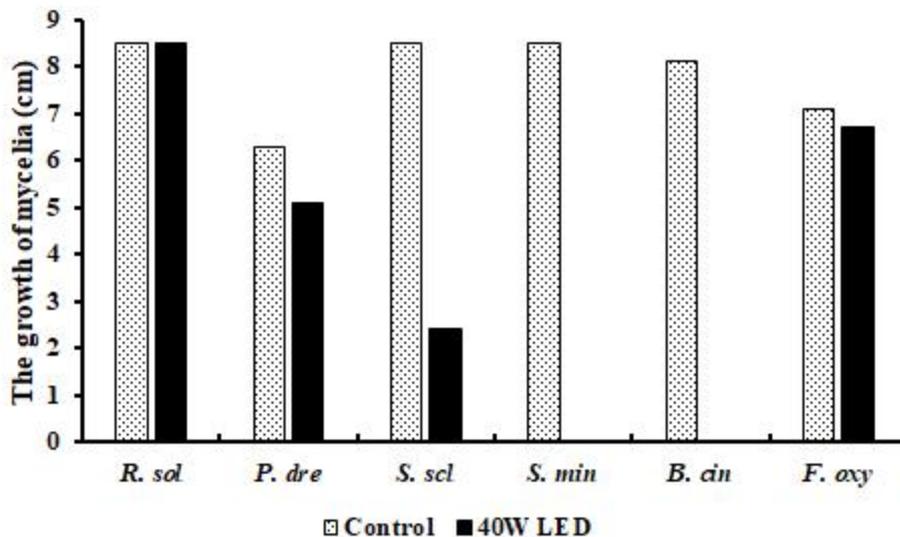
- 조명의 높이 : 30 cm / 조명의 개수 : 1개

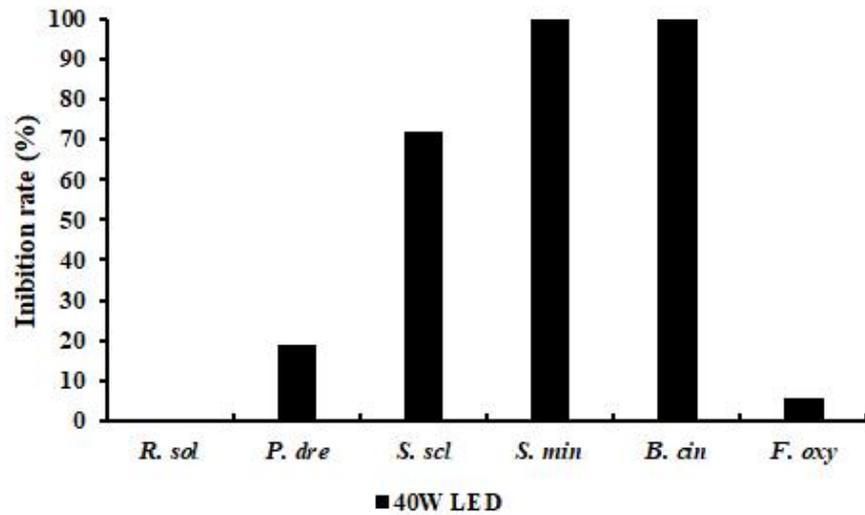
- 조명과 병원균의 거리를 30 cm로 조정하고 병원균의 생장에 따라 4, 7, 14일간 40W 생장 조절등 하에서 균사의 생장을 관찰한 결과 *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotinia minor*, *Botrytis cinerea*에서 균사의 생장이 크게 억제되는 것을 확인하였으며, *B. cinerea*, *S. minor*은 균사의 생장이 100% 억제되었고 *S. sclerotiorum*은 71.8%의 균사 생장억제율을 보였음. *Phytophthora drechsleri*와 *Fusarium oxysporum*은 각각 19.1%, 5.7%의 낮은 억제율을 보였으며, *Rhizoctonia solani*는 40W급 생장조절등에 의한 균사 생장의 영향을 받지 않았음.

[표 62] Diameter of fungal mycelia in different light condition

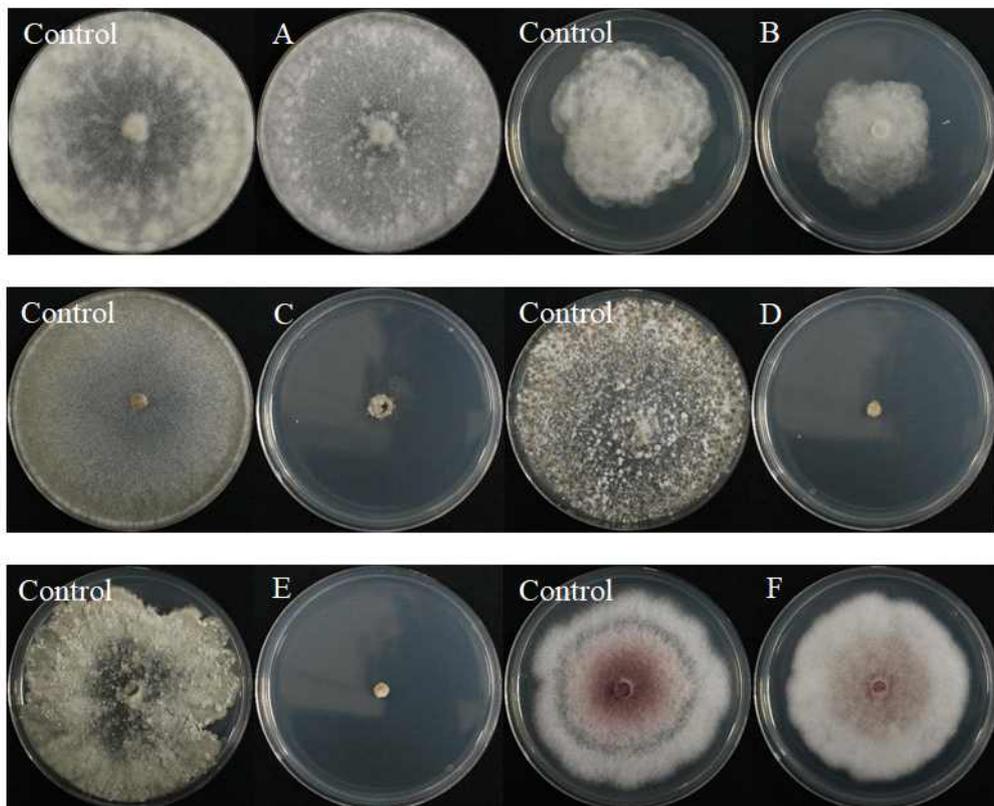
30 cm/1 light	Fungi					
	<i>R. sol</i>	<i>P. dre</i>	<i>S. scl</i>	<i>S. min</i>	<i>B. cin</i>	<i>F. oxy</i>
40W LED light	8.5	5.1	2.4	0	0	6.7
Control	8.5	6.3	8.5	8.5	8.1	7.1

\**R. sol*, *P. dre*, *B. cin* were grown in 7 days. *S. Scl*, *S. min* were grown in 4 days and *F. oxy* was grown in 2 weeks.





[그림 253] Mycelia inhibition rate by 40W LED light over various fungal plant pathogens (30 cm/1 light).



[그림 254] Diameter of fungal grown in light box (30 cm/1 light).

A: *R. solani*, B: *P. drechsleri*, C: *S. sclerotiorum*, D: *S. minor*, E: *B. cinerea*, F: *F. oxysporum*

- 조명의 높이 : 50 cm / 조명의 개수 : 1개

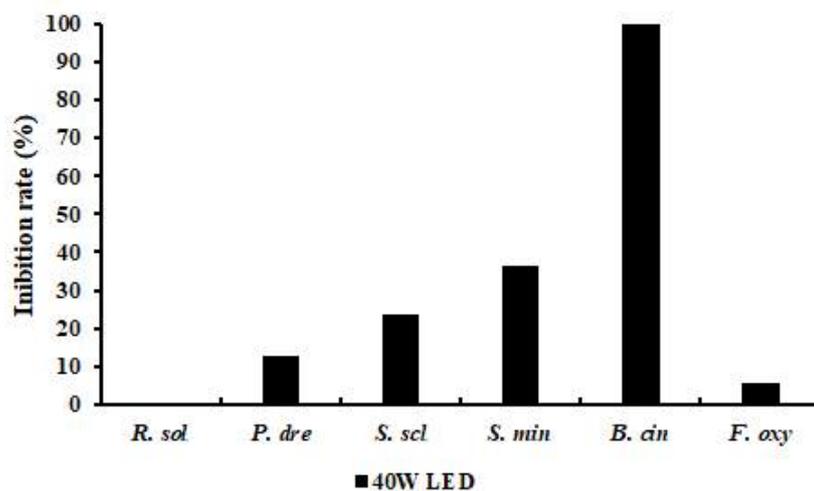
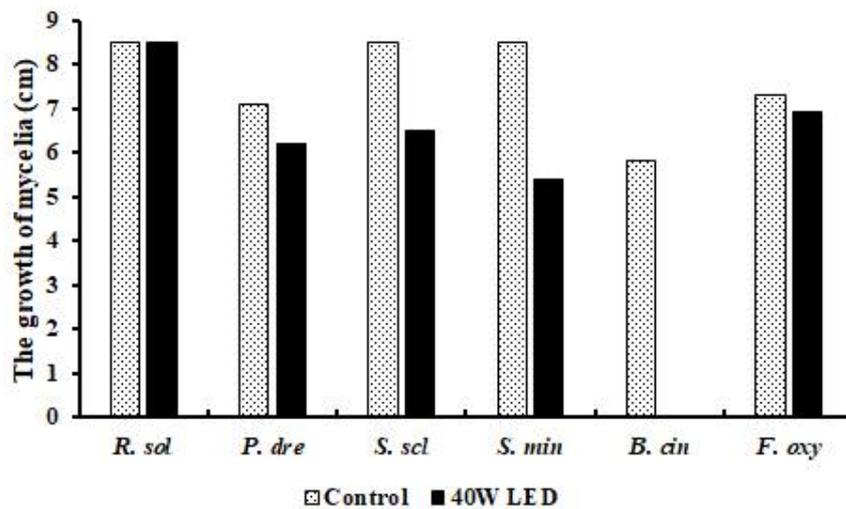
· 조명과 병원균의 거리를 50 cm로 조정하여 40W 성장조절등에 의한 식물 병원균의 균사 생장억제율을 확인한 결과, *Botrytis cinerea*에서 100%로 가장 높은 균사 생장억제율을 보였으며, *Sclerotinia minor*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Phytophthora drechsleri*는 각각 36.5%, 23.6%,

12.7%의 억제율을 보였음. *Fusarium oxysporum*은 5.5%로 억제율이 가장 낮게 나타났으며, *Rhizoctonia solani*는 40W급 성장조절등에 의한 균사 성장억제효과가 없는 것으로 나타났음. 결론적으로, 30 cm 높이에서 실험하였을 때 균사의 성장억제율이 50 cm 높이의 조건보다 더 높게 나타나는 것을 확인하였음.

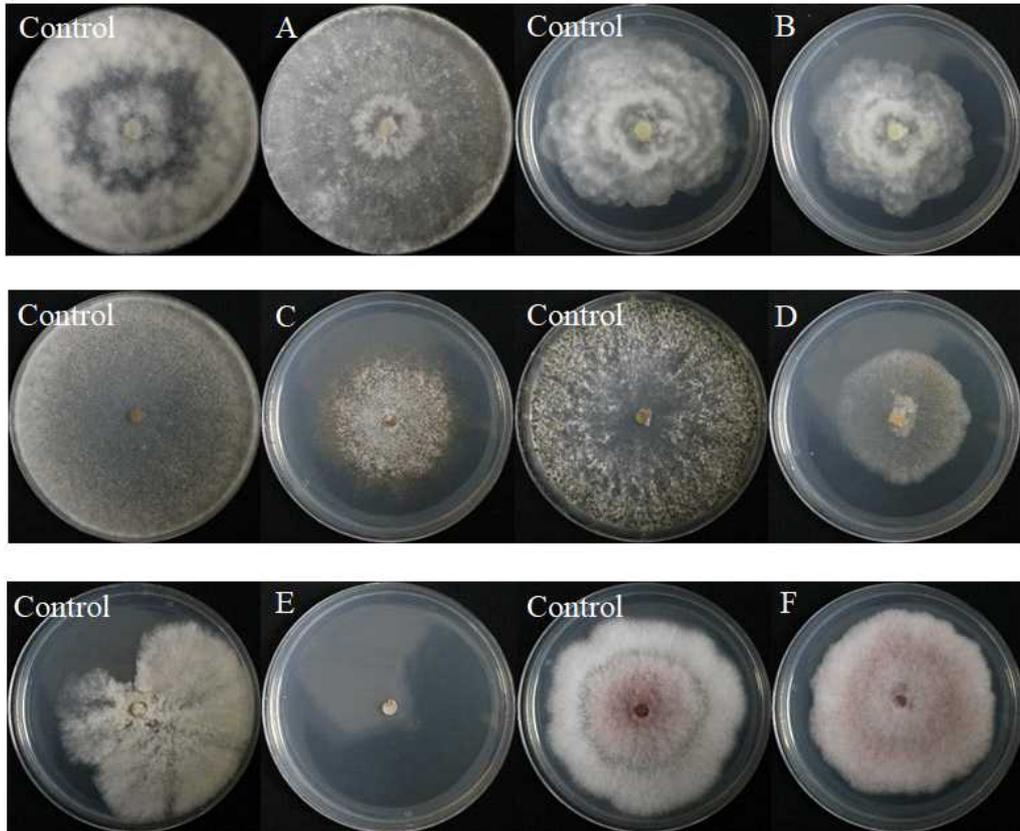
[표 63] Diameter of fungal mycelia in different light condition

50 cm/ 1 light	Fungi					
	<i>R. sol</i>	<i>P. dre</i>	<i>S. scl</i>	<i>S. min</i>	<i>B. cin</i>	<i>F. oxy</i>
40W LED light	8.5	6.2	6.5	5.4	0	6.9
Control	8.5	7.1	8.5	8.5	5.8	7.3

\**R. sol*, *P. dre*, *B. cin* were grown in 7 days. *S. Scl*, *S. min* were grown in 4 days and *F. oxy* was grown in 2 weeks.



[그림 255] Mycelia inhibition rate by 40W LED light over various fungal plant pathogens (50 cm/1 light).



[그림 256] Diameter of fungal grown in light box (50 cm/l light).

A: *R. solani*, B: *P. drechsleri*, C: *S. sclerotiorum*, D: *S. minor*, E: *B. cinerea*, F: *F. oxysporum*

#### 마. 식물 병원성 곰팡이의 접종 및 QD LED조명에 의한 병원균 억제실험

##### 1) 연구 방법

- 본 실험은 상추(적치마)를 대상으로 4개의 10W급 성장 조절등을 사용하였으며, 조명의 높이는 30 cm로 설정하였음. Light box 내부의 온도는 25~28°C로 설정하였으며, 암조건과 삼파장 형광등을 대조구로 정하였고 5개의 LED 조명; BLUE (450nm), RED (660nm), Narrow RED, Wide RED (M1), Wide RED (M2)을 처리구로 설정하여 실험하였음. 또한, 상추 잎을 1% Sodium Hyperchlorite 와 100% Ethanol을 사용하여 살균하였고 증류수로 표면세척을 진행한 후 사용하였음. Plate에 멸균된 filter paper에 10ml 멸균수를 첨가한 뒤, 상추 잎을 올린 후 상추 잎에 상처를 내어 8mm cork borer를 이용하여 각각 *Phytophthora drechsleri*(역병), *Fusarium oxysporum*(시들음병), *Sclerotinia sclerotiorum*(균핵병), *Sclerotinia minor*(균핵병), *Botrytis cinerea* (젓빛곰팡이병), *Rhizoctonia solani*(밀둥썩음병)의 agar plug를 접종하였음. 접종 후 light box에 넣어 각각 조명의 파장별 균사의 성장과 잎의 감염을 확인하였음.

##### 2) 연구결과

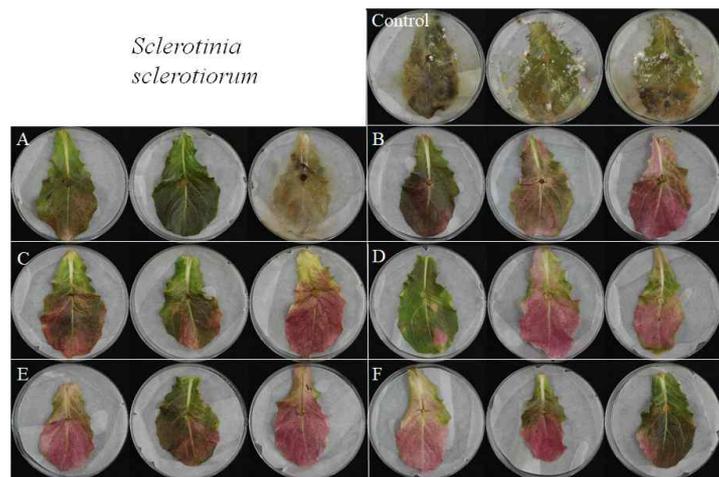
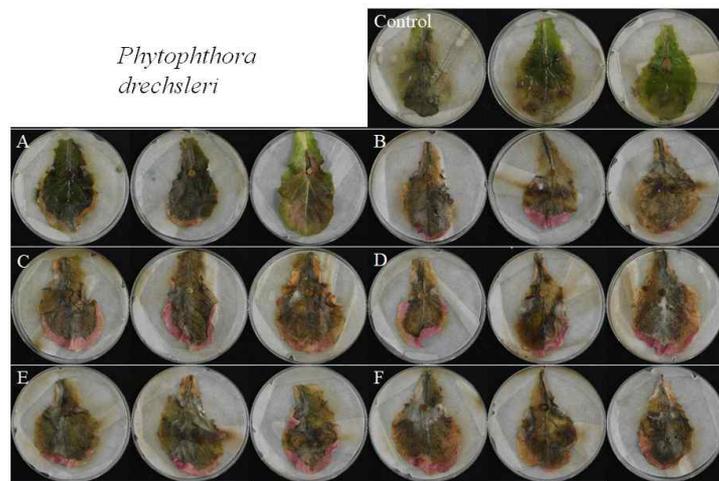
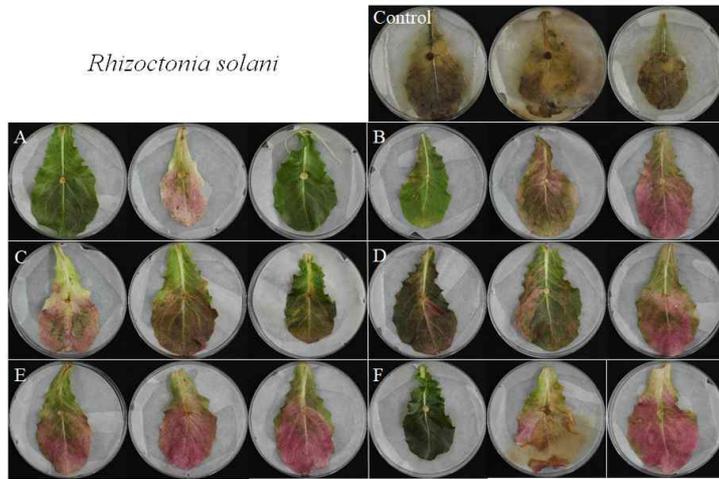
- 실험결과 *Phytophthora drechsleri*를 접종한 상추잎은 대부분의 잎이 감염되어 누렇게 변하고 갈색으로 썩는 증상을 보였으며, 모든 잎에서 60~100%의 발병률을 보였음. 잎의 표면

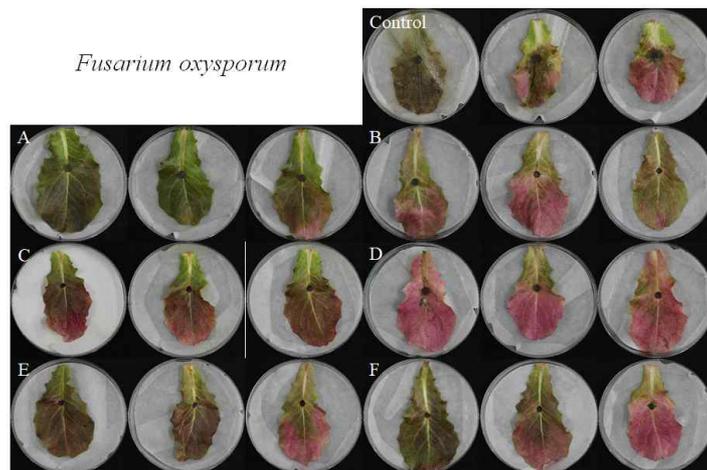
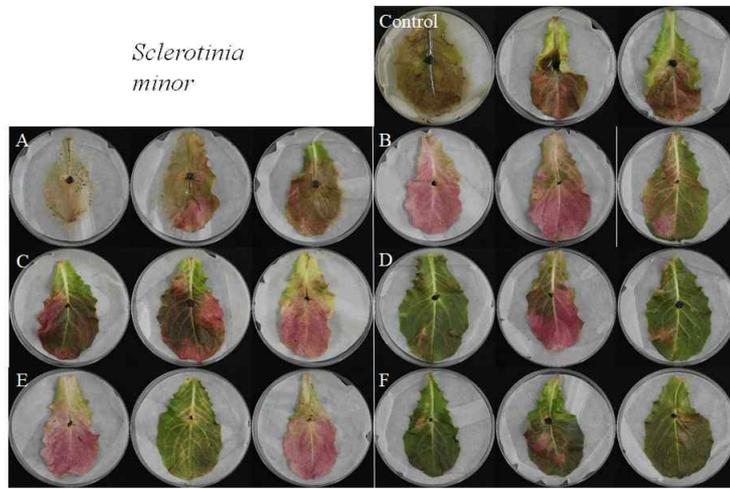
에는 균사의 생장이 관찰되었고 전체적으로 균사체가 성장하여 퍼진 것을 확인하였음. 대조구와 *Phytophthora drechsleri*를 제외한 다른 병원균은 light box 내에서 소수의 잎만 0~20%의 낮은 수준의 균사 성장과 감염이 나타남. 또한, 대부분 병원균은 균사 생장이 없었으며 감염의 여부도 확인되지 않았음. 이 같은 결과는 접종 방법과 병원균의 성장조건이 적합하지 않아 감염이 이루어지지 않은 것으로 판단됨.

[표 64] Evaluation of different QD-LED lights in suppressing the fungal diseases in lettuce crop

	<i>R. sol</i>	<i>P. dre</i>	<i>S. scl</i>	<i>S. min</i>	<i>B. cin</i>	<i>F. oxy</i>
	-	+	+++++	++++	-	-
삼파장형 광등	-	+++++	-	+++++	-	-
	-	+++++	-	+++++	-	-
Blue (450nm)	-	+++++	-	-	-	-
	-	++++	-	-	-	-
	-	+++++	-	-	-	-
Red (660nm)	-	++++	-	-	-	-
	-	++++	-	-	-	-
	-	+++++	-	-	-	-
Narrow RED	-	+++++	-	-	-	-
	-	++++	-	-	-	+
	-	++++	-	-	-	-
Wide-RED (M1)	-	+++++	-	-	-	-
	-	+++++	-	-	-	-
	-	+++++	-	-	-	-
Wide-RED (M2)	++++	+++++	-	-	-	-
	-	+++++	-	-	-	-
Control	+++++	+++++	+++++	-	+++++	+
	+++++	+++++	+++++	++	+++++	+++
	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++

\*Disease severity; -: 0%, +: 0~20%, ++: 20~40%, +++: 40~60% +++++: 60~80%, ++++++: 80~100%





[그림 257] QD LED조명에 의한 병원균 억제 실험.

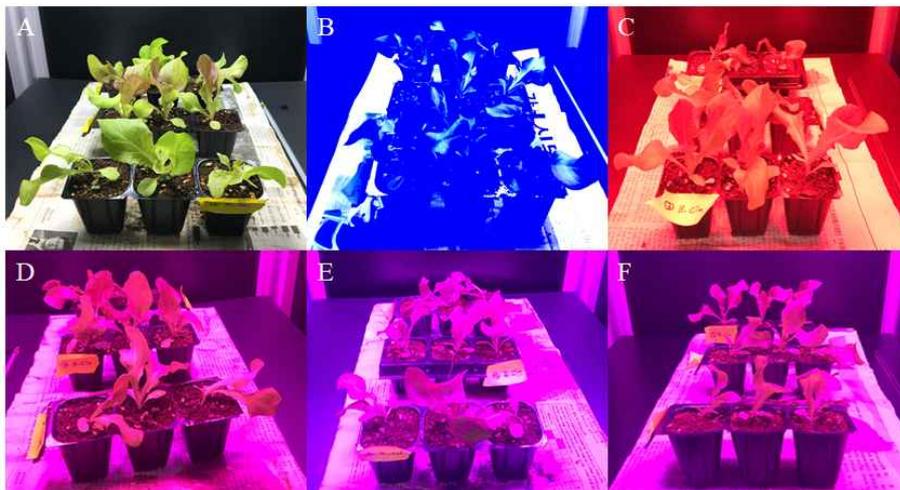
## 바. 상추/무 육묘의 접종 및 QD LED조명의 영향 연구

### 1) 연구 방법

- 본 실험은 상추(적치마)와 무(봄무)의 육묘를 대상으로 4개의 10W급 성장조절등을 사용하였으며, 조명의 높이는 30cm로 설정하였음. Light box 내부의 온도는 25 ~ 28℃로 설정하였으며, 암조건과 삼파장 형광등을 대조구로 정하였고 5개의 LED 조명; BLUE (450nm), RED (660nm), Narrow RED, Wide RED (M1), Wide RED (M2)을 처리구로 설정하여 실험하였음. 또한, *Phytophthora drechsleri*(역병), *Sclerotinia sclerotiorum*(균핵병), *Sclerotinia minor*(균핵병), *Botrytis cinerea*(잿빛곰팡이병), *Rhizoctonia solani*(밑둥썩음병)를 4 ~ 7일간 배양한 후 plate의 균사를 scraper를 이용하여 긁어낸 후 멸균된 거즈에 걸러 균사 현탁액을 만든 후, 육묘의 접종 부위에 멸균된 바늘을 이용하여 상처를 낸 뒤 균사 현탁액을 스프레이로 뿌려주었음. 육묘는 light box에 들어갈 수 있는 크기로 나눠 실험하였으며 습도를 조절하기 위해 주기적으로 물을 분무해주고 주위에 물통을 설치하였으며, 육묘와 조명의 높이는 30 cm로 설정하였음.

### 2) 연구 결과

- 상추 육묘에 *R. solani*, *B. cinerea*, *P. drechsleri* 3종의 병원균을 접종하였으며 light box에서 2주간 생육 후 결과를 확인하였으며, 무 육묘는 *S. sclerotiorum*, *S. minor*, *R. solani* 3종의 병원균을 접종하였으며 light box에서 2주간 생육 후 결과를 확인하였음. 상추잎은 흰색으로 변하고 잎이 마르는 현상을 보였으며, 병원균에 감염되어 병징을 보이는 육묘는 확인되지 않았음. 또한, 무 육묘의 경우 병원균에 감염된 개체는 확인되지 않았고 조명에서 나오는 열로 인해 수분이 증발하여 시들은 개체들이 많았음. 온도 조절장치와 조명에서 발생하는 열로 인해 light box의 내부가 건조하여 병원균의 생육과 감염에 적합하지 않은 조건이었던 것으로 판단되어, 습도를 조절하기 위하여 light box 내부에 가습기 등을 설치하여 식물 및 병원균의 생장에 적합한 환경을 조성을 해주어야 될 것으로 판단됨.

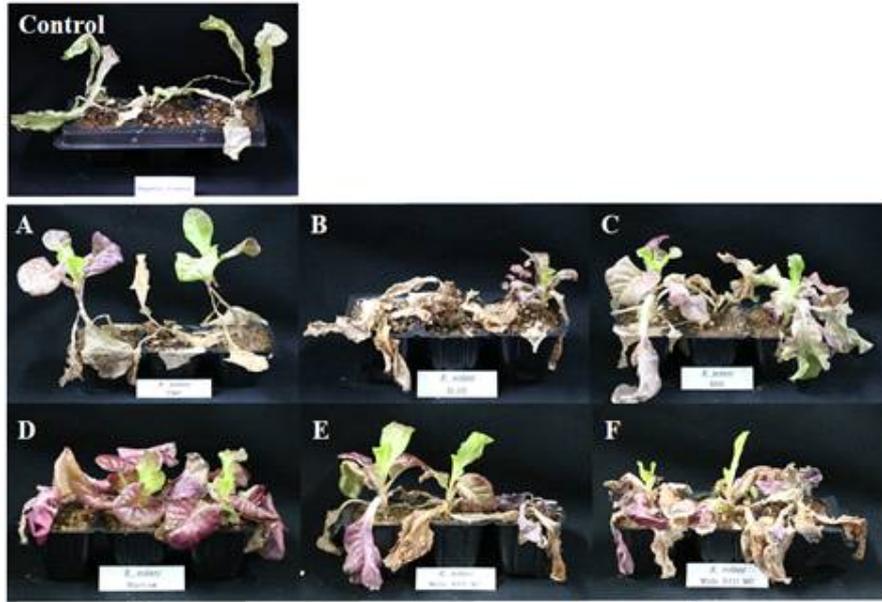




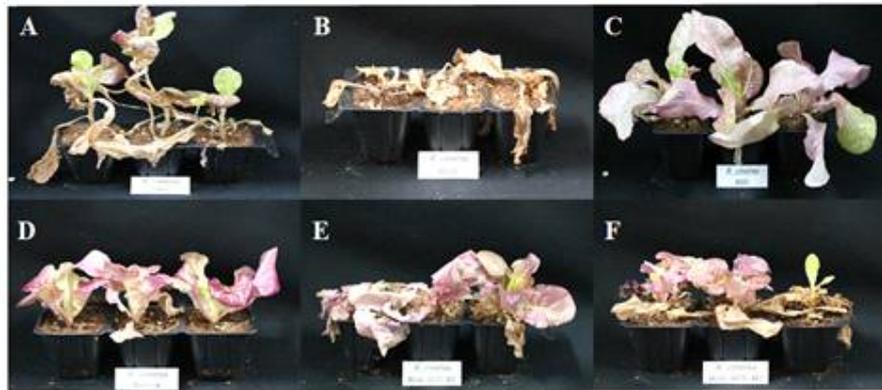
[그림 258] Treated plants with pathogens.

A: 삼파장 형광등, B: BLUE (450nm), C: RED (660nm), D: Narrow RED, E: Wide RED (M1), F: Wide RED (M2)

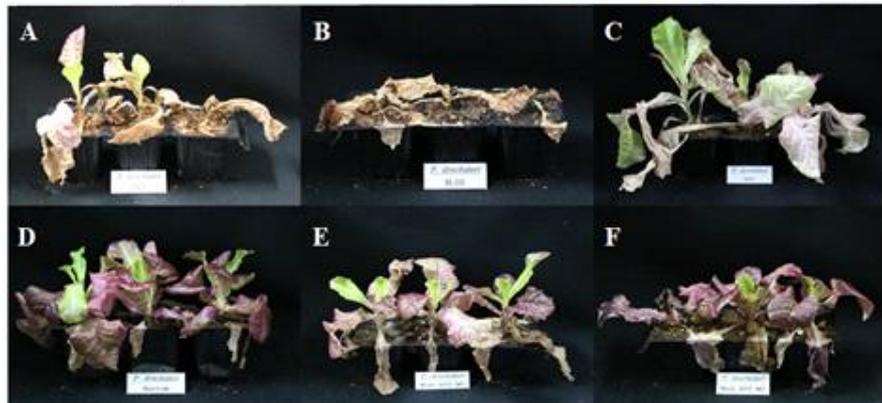
*Rhizoctonia solani*

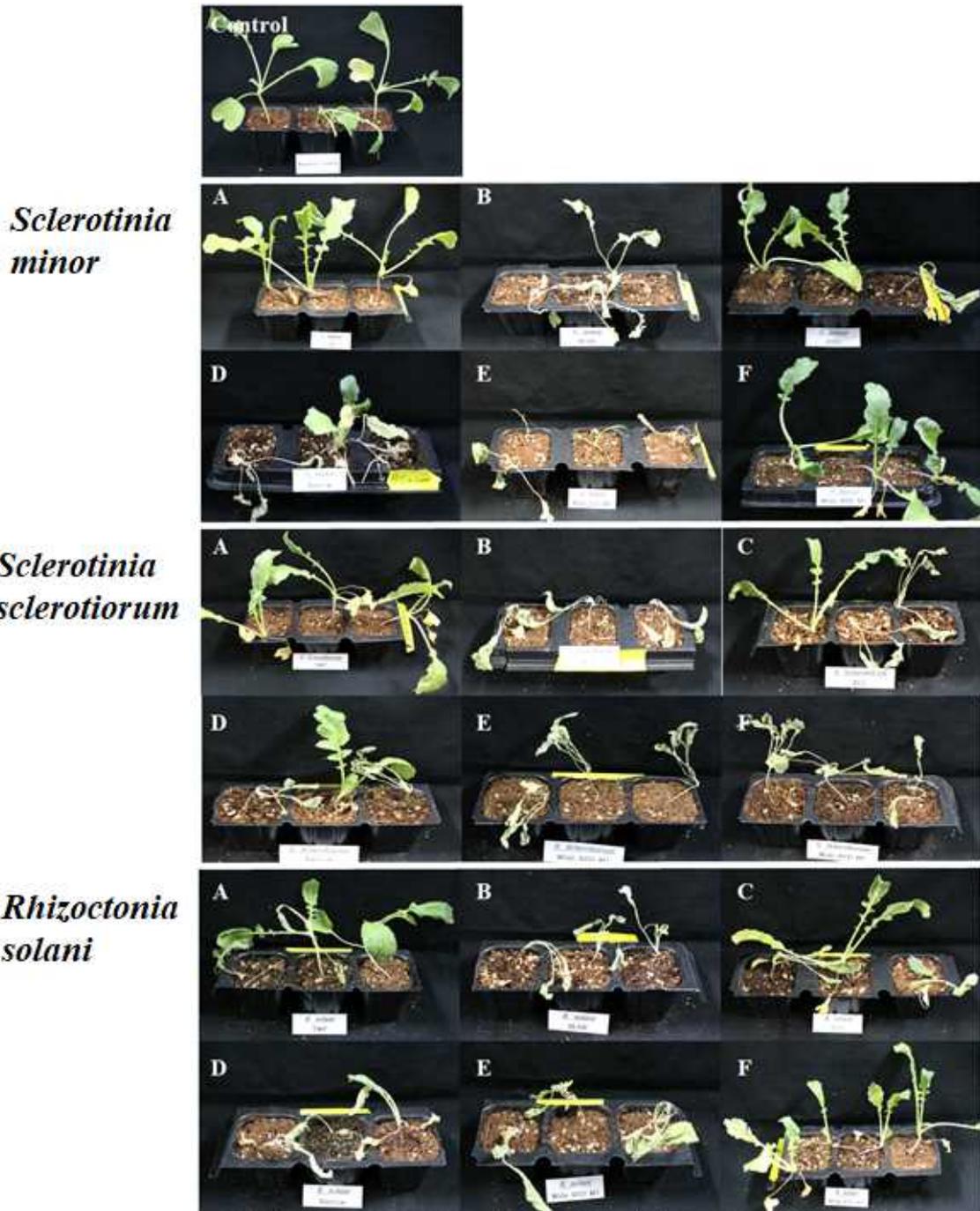


*Botrytis cinerea*



*Phytophthora drechsleri*





[그림 259] Treated plants with pathogens.

A: 삼파장 형광등, B: BLUE (450nm), C: RED (660nm), D: Narrow RED,  
E: Wide RED (M1), F: Wide RED (M2)

## 2. QD LED 조명을 이용한 유용미생물 성장 기내실험

### 가. QD-LED 조명 적용 가능한 유용미생물 탐색

- QD LED조명을 이용하여 조명에 따른 유용미생물의 성장변화를 확인하기 위하여 유용미생물로 알려진 5종의 세균 및 1종의 효모와 생물학적 방제제로 사용되는 2종의 곰팡이를 선발하였음.

#### (1) *Pseudomonas fluorescens*

- *Pseudomonas fluorescens*는 절대호기성생물로 생물학적제제(Biocontrol)로 사용되며, *Fusarium*이나 *Pythium* 같은 식물 병원균에 대하여 뿌리를 보호한다고 알려져 있음. 또한, 식물에게 유도저항성(Induce systemic resistance)과 같은 면역체계를 유도하며, siderophore를 생성하여 철을 포집할 수 있음. 또한, phenazine계열의 항생제나 hydrogen cyanide와 같은 물질로 다른 토양 미생물에 길항작용을 한다고 알려져 있음. 또한, *P. fluorescens*가 생성하는 이차대사산물, 2,4-diacetylphloroglucinol(2,4-DAPG)은 *P. fluorescens*가 갖고있는 식물병원균에 대한 길항작용과 생물학적제제의 역할을 하는 물질로 알려져 있음.

#### (2) *Pseudomonas putida*

- *Pseudomonas putida*는 다양한 대사로 생물학적 치료(Bioremediation)에 사용될 수 있으며, 나프탈렌으로 오염된 토양을 치료하기 위한 토양 접종원의 기능을 하는 것으로 밝혀졌고 밀둥썩음병을 일으키는 *Pythium*과 *Fusarium*에 길항작용을 갖고 있는 것으로 알려져 있음.

#### (3) *Lactobacillus acidophilus*(젖산균)

- *Lactobacillus acidophilus*는 프로바이오틱의 일종의 유산균으로 내산성이며 정장 작용, 항암효과, 혈중 콜레스테롤 저하, 비타민 B군의 합성능력이 있는 것으로 알려져 있음.

#### (4) *Bacillus megaterium*(고초균)

- *Bacillus megaterium*은 그람 양성 세균이며 토양과 식물 내생 세균으로 알려져 있고, *B. megaterium*은 식물병에 대하여 생물학적 방제 능력이 있으며, 몇 가지 종에서 질소 고정능력이 있는 것으로 확인되었음. 또한, pyruvate, 비타민 B12 등을 합성 할 수 있는 페니실린 아미다제 (Penicillin amidase)를 생성하는 것으로 알려져 있음.

#### (5) *Rhodobacter sphaeroides*(광합성균)

- *Rhodobacter sphaeroides*는 독립 영양체로써 유기물과 아미노산, 핵산, 생리활성물질의 합성에 관여함. 논이나 호수 등에서 발견되며, 유기물과 무기물의 대사과정에서 태양에너지를 이용하며, 광합성균이 생산하는 대사산물은 유용미생물 모두의 생존 증식에 도움을 주어 미생물군집(microbiome)의 다양성을 증가시킴. 토양세균의 일종인 *Azotobacter*와 함께 질소 고정 능력을 향상시키며, 유기영양균인 효모나 젖산균 등과 공생하고 유기물이 내는 악취 물질을 제거하는 것으로 알려져 있음.

#### (6) *Saccharomyces cerevisiae*(효모)

- *Saccharomyces cerevisiae*는 식물뿌리의 유기물질과 광합성 세균이 분비하는 아미노산과 당으로부터 아미노산, 비타민, 식물의 성장 촉진 호르몬, 효소, 다당류 등의 생리활성물질을

만들어내며, 토양속에서 식물 세포의 활성화와 뿌리의 분화를 촉진 시키고 젖산균과 사상균의 증식을 돕는 것으로 알려져 있음.

(7) *Trichoderma harzianum*, (8) *Trichoderma viride*

- 대부분의 *Trichoderma* 속은 살진균제로 알려져 있으며, 종자나 토양에 처리하였을 시 다양한 곰팡이성 질병에 효과가 있는 것으로 알려져 있음. 특히, *Trichoderma*가 생성하는 3Tac 효소는 *Botrytis*, *Fusarium*, *Penicillium* sp.에 효과적인 능력을 가진 것으로 알려져 있음.

[표 65] List of beneficial microorganisms

Beneficial Microorganisms		KACC number
1	<i>Pseudomonas fluorescens</i> subsp. <i>cellulosa</i>	10195
2	<i>Pseudomonas putida</i>	10219
3	<i>Lactobacillus acidophilus</i>	12419
4	<i>Bacillus megaterium</i>	12544
5	<i>Rhodobacter sphaeroides</i>	15299
6	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	30008
7	<i>Trichoderma harzianum</i>	40794
8	<i>Trichoderma viride</i>	43826

나. QD-LED 조명의 유용미생물 성장에 미치는 영향 조사

1) QD-LED 조명의 유용미생물 콜로니 성장 모니터링

가) 연구 방법

- 4개의 10W급 성장 조절등을 사용하여 유용세균의 콜로니 성장을 조사하였음. 조명의 높이는 각각 30 cm로 설정하였으며, light box 내부의 온도는 25 ~ 28°C로 설정하여 실험하였음. 대조구는 암조건의 조건으로 설정하였으며, LED 처리구는 삼파장 형광등, BLUE (450nm), RED (660nm), Narrow RED, Wide RED (M1), Wide RED (M2)로 설정하였음. *P. cellulose*, *P. putida*, *B. megaterium*, *R. sphaeroides*는 TSB 배지에 접종 후 28°C 에서 48시간 진탕배양 하여 1×10<sup>5</sup> CFU/ml의 농도로 희석하여 TSA 배지에 30 µl씩 도말하여 LED 조명에 따라 28±2°C에서 48시간 배양한 후 colony 생성을 관찰하였음. *L. acidophilus* 와 *S. cerevisiae*는 각각 MRS broth, YPD broth 배지에 48시간 진탕배양 한 후 1×10<sup>5</sup> CFU/ml의 농도로 희석하여 각각 MRS, YPD agar 배지에 30 µl씩 도말 후 LED 조명에서 28±2°C에서 48시간 배양하여 colony 생성을 관찰하였다. 삼파장 형광등(FL), BLUE (450nm), RED (660nm), Narrow RED, Wide RED (M1), Wide RED (M2) 6종류의 조명은 각각 30 cm 높이로 설치하여 실험하였음.

나) 연구결과

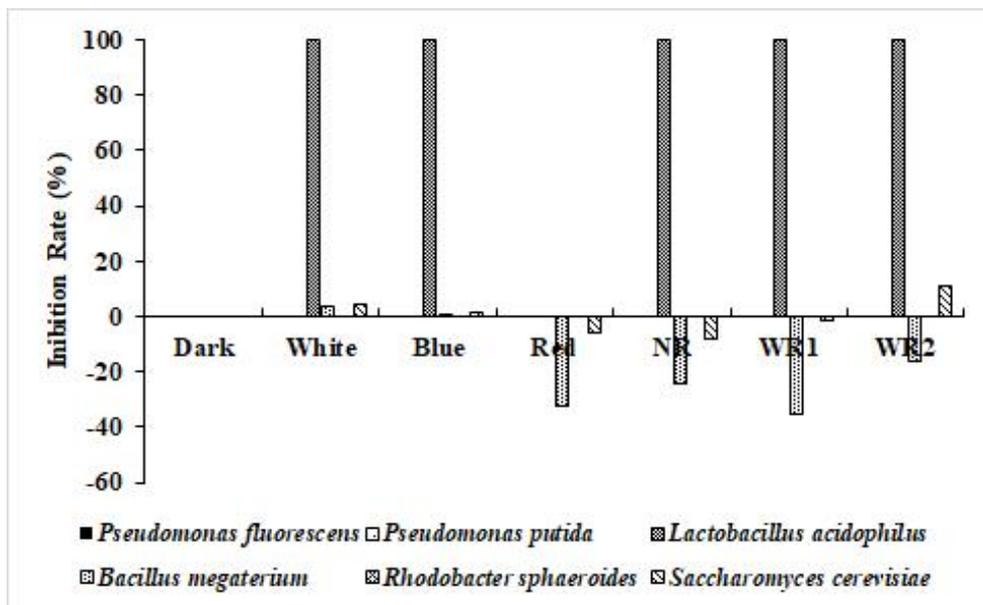
- 유용미생물 미생물 세균 5종 및 효모 1종에 대하여 LED 및 QD LED 조명 처리에 따른 생

장 변화를 확인하기 위하여 수행하였음. 그 결과, *P. cellulose*, *P. putida*, *R. sphaeroides*는 모든 LED 조명에서 성장 억제가 확인되지 않았음. 하지만, *L. acidophilus*의 경우 대조구인 Dark와 Red 조명에서 콜로니가 형성되었지만 삼과장 형광등, Blue, Narrow Red, QD LED (M1), QD LED (M2) 조명에서 생장이 억제되는 것을 확인하였음. *B. megaterium*는 대조구와 비교하여 삼과장 형광등, Blue 조명에서 각각 4%, 0.8%의 억제율을 보였으며, 다른 LED 조명 처리구에서는 생장이 억제 되지 않았다. 또한, 효모균 *S. cerevisiae*에서 대조구와 비교하였을 때 삼과장 형광등, Blue, QD LED (M2) 조명에서 각각 4.1%, 1.6%, 10.9%의 억제되는 것을 확인하였음.

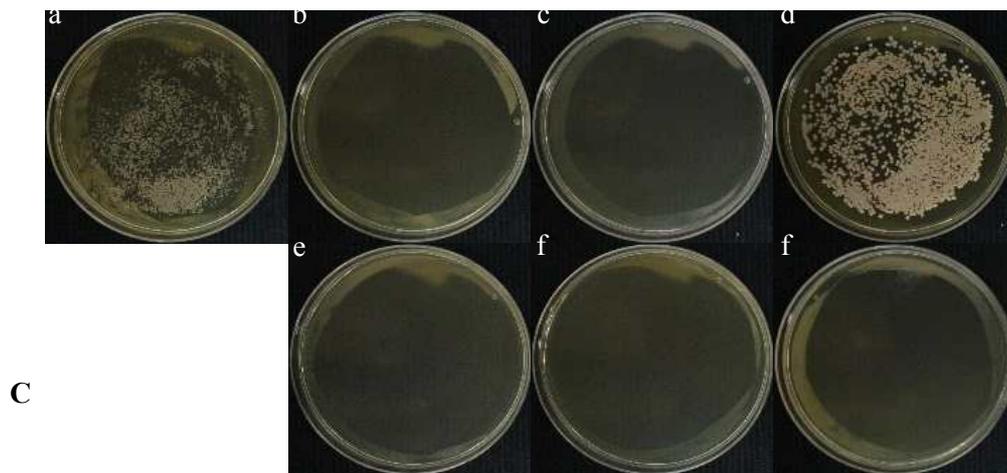
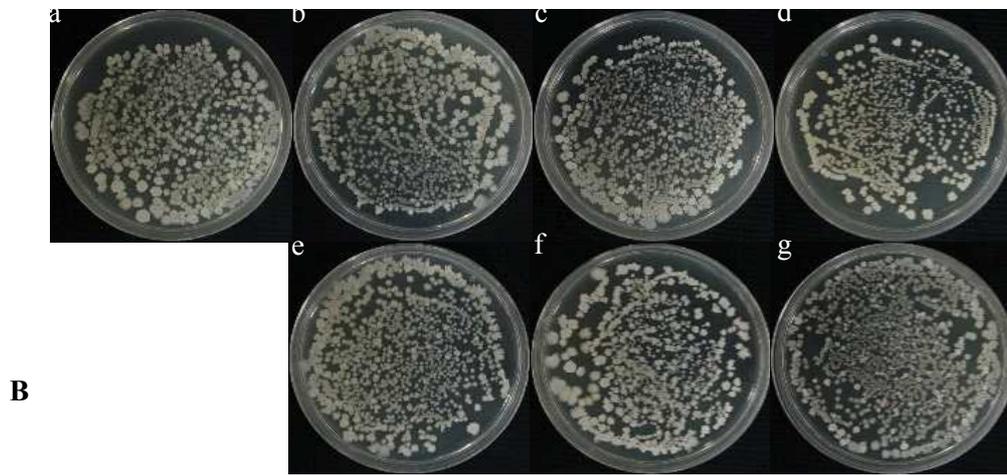
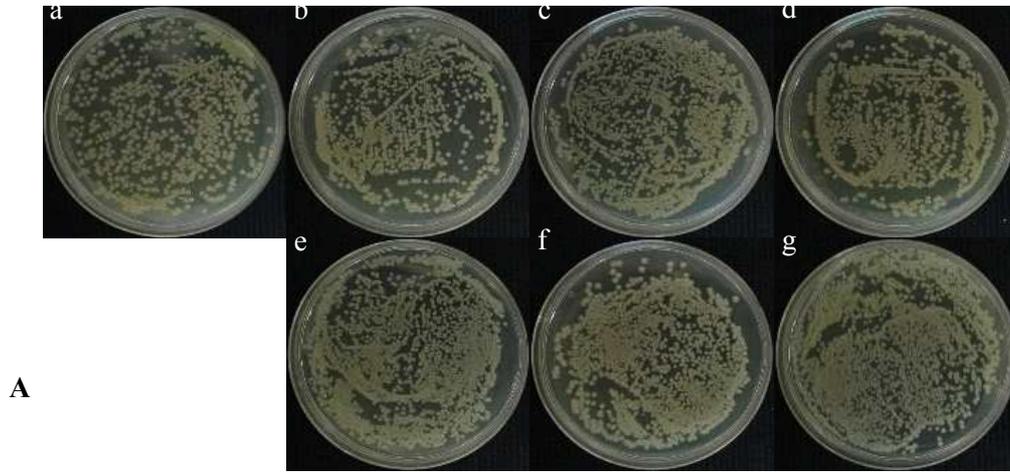
[표 66] Colony number of 5 bacteria and yeast treated with different LED conditions

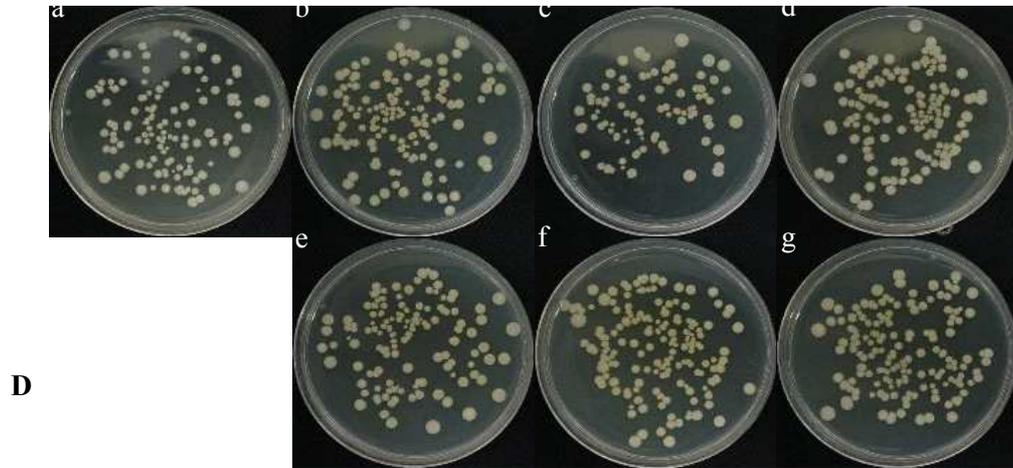
Light Conditions	Colony Number					
	<i>P. flu</i>	<i>P. put</i>	<i>L. aci</i>	<i>B. meg</i>	<i>R. sph</i>	<i>S. cer</i>
FL	UC*	UC	0	61	UC	164
Blue	UC	UC	0	63	UC	169
Red	UC	UC	UC	84	UC	182
Narrow Red	UC	UC	0	79	UC	185
QD LED (M1)	UC	UC	0	85	UC	174
QD LED (M2)	UC	UC	0	73	UC	153
Control	UC	UC	UC	63	UC	171

Note : *P. flu*: *Pseudomonas fluorescens* subsp. *cellulose*, *P. put*: *Pseudomonas putida*, *L. aci*: *Lactobacillus acidophilus*, *B. meg*: *Bacillus megaterium*, *R. sph*: *Rhodobacter sphaeroides*, *S. cer*: *Saccharomyces cerevisiae*. (Control: Dark, FL: Fluorescent lamp). Asterisks means uncountable colonies.

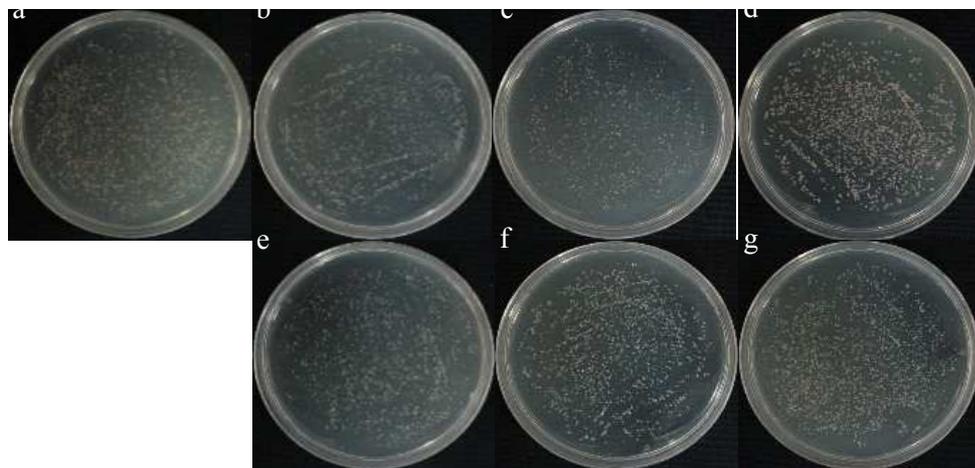


[그림 260] Inhibition rate of beneficial microorganisms of colonies under different light conditions.

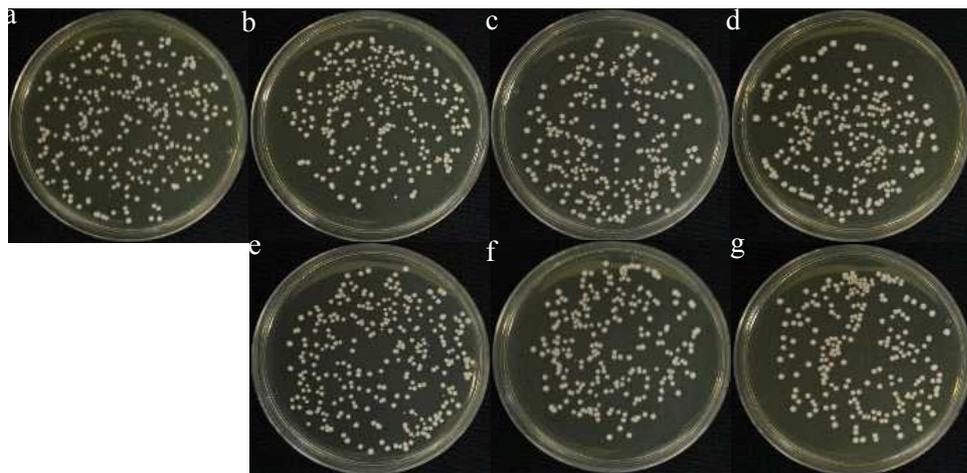




**D**



**E**



**F**

[그림 261] Colony formation of beneficial microorganisms under different light conditions. ((A) *Pseudomonas fluorescens* subsp. cellulose, (B) *Pseudomonas putida*, (C) *Lactobacillus acidophilus*, (D) *Bacillus megaterium*, (E) *Rhodobacter sphaeroides*, (F) *Saccharomyces cerevisiae*. a: Control, b: Fluorescent Light, c: Blue (450nm), d: Red (660nm), e: Narrow Red, f: Wide RED (M1), g: Wide RED (M2).

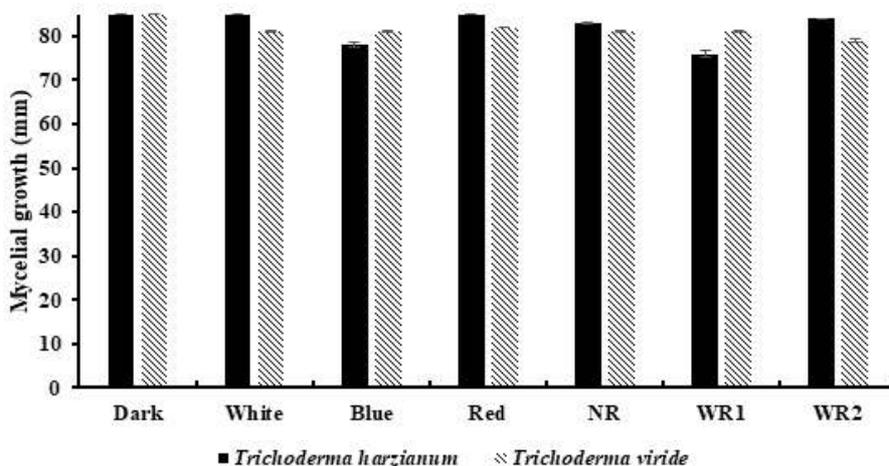
## 2) QD-LED 조명의 유용미생물 균사 성장 모니터링

### 가) 연구 방법

- 4개의 10W급 성장조절등을 사용하여 유용곰팡이의 콜로니 성장을 조사하였음. 조명의 높이는 각각 30 cm로 설정하였으며, light box 내부의 온도는 25 ~ 28°C로 설정하여 실험하였음. 대조구는 암조건의 조건으로 설정하였으며, LED 처리구는 삼파장 형광등, BLUE (450nm), RED (660nm), Narrow RED, Wide RED (M1), Wide RED (M2)로 설정하였음. 2종의 *Trichoderma* sp.는 MP (Malt peptone, Malt extract 10 g, Bacto-peptone 10 g / 1 L, pH 7.4 with KOH) 배지에 접종하여 25°C에서 24시간 진탕 배양한 후 세균 오염 여부를 확인하고 PDA 배지에 계대배양 하여 사용하였음. PDA 배지에 배양하여 Ø 5 mm Cork borer로 agar plug를 만들어 PDA의 중앙에 올려 각각의 LED 조명을 설치한 light box에 넣은 후 25±2°C 온도에서 3, 7일 간격으로 균사 성장을 확인하였음. 삼파장 형광등, BLUE (450nm), RED (660nm), Narrow RED, Wide RED (M1), Wide RED (M2) 6종류의 조명을 각각 30cm 높이에 설치하여 실험을 진행하였음.

### 나) 연구결과

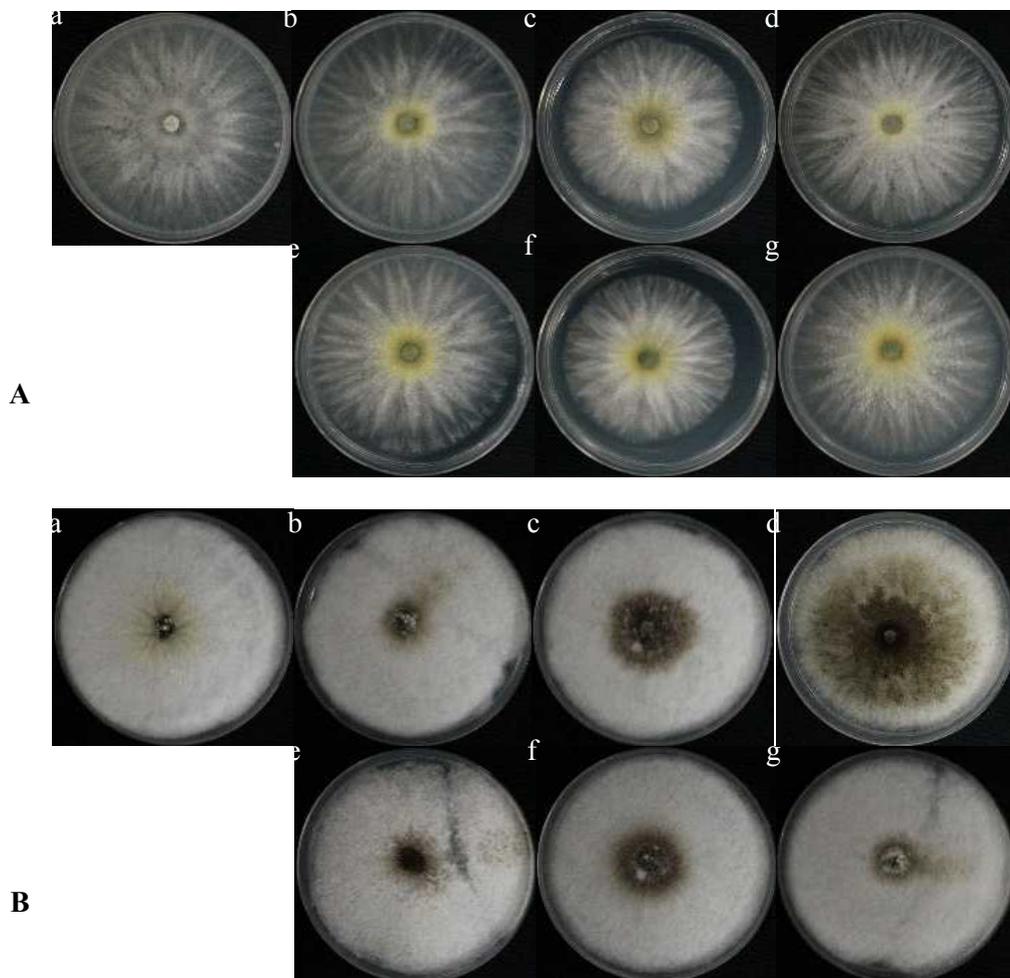
- 생물학적 방제제로 사용되는 곰팡이 2종에 대해 QD LED 조명 및 기존 LED 조명 처리에 따른 성장 변화를 확인하기 위해 연구를 수행하였음. QD LED 조명 상자 안에서 배양한 유용미생물에 대해 균사 성장을 조사하였음. 각각의 곰팡이는 대조구인 암 조건과 비교하여 균사 성장을 조사하였으며, 대조구의 성장 속도를 기준으로 측정하였음. *T. harzianum*은 대조구와 비교하여 Blue, Red, Narrow Red, QD LED (M1), QD LED (M2) 조명에서 각각 7.8%, 0.4%, 2.4%, 10.6%, 1.2%의 억제율을 나타내었지만, 삼파장 형광등에서 광원에 의한 균사 성장 억제율은 보이지 않았음. 또한, *T. viride*의 경우 대조구와 비교하였을 때 Blue, Red, Narrow Red, QD LED (M1), QD LED (M2) 조명은 각각 4.7%, 3.1%, 4.7%, 5.1%, 6.7%의 균사 성장 억제율을 보이며 큰 유의차를 보이지 않았으며, *T. harzianum*과 다르게 삼파장 형광등에서 역시 4.7%의 균사 생장이 억제되는 것으로 확인되었음.



[그림 262] Mycelia growth of beneficial fungi under different light conditions.

[표 67] Inhibition rate of beneficial fungi under different light conditions

	Inhibition Rate (%)	
	<i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Trichoderma viride</i>
FL	0	4.7
BLUE	7.8	4.7
RED	0.4	3.1
Narrow RED	2.4	4.7
Wide RED(M1)	10.6	5.1
Wide RED(M2)	1.2	6.7
Control	0	0



[그림 263] Mycelia growth of beneficial fungi under different light conditions. ((A) *Trichoderma harzianum*, (B) *Trichoderma viride*; a: Control, b: Fluorescent Light, c: Blue (450nm), d: Red (660nm), e: Narrow Red, f: QD LED (M1), g: QD LED (M2).

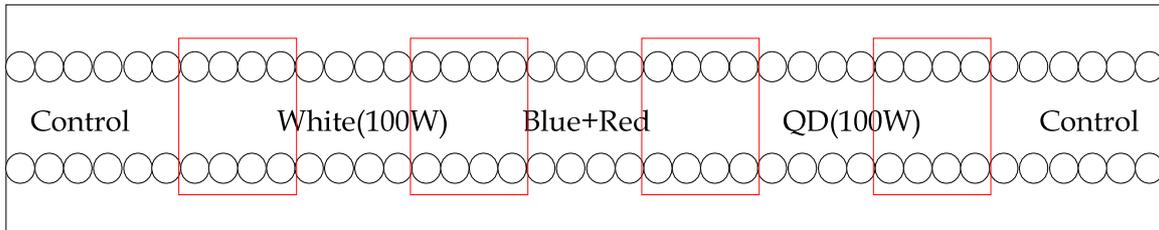
### 3. 100W QD LED 조명 사용에 따른 미생물 군집 변화 조사

- 토마토 포장에서 100W QD LED조명을 이용하여 토마토 엽권의 미생물 군집 변화 조사하기 위하여 토마토의 유효기와 성숙기의 엽권 콜로니 숫자를 조사하였음.

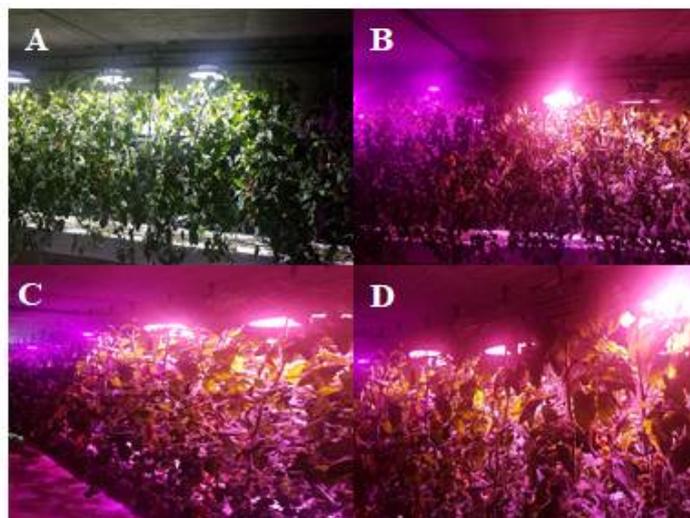
#### 가. 100W QD LED조명에 따른 토마토 성숙기 엽권의 미생물 군집 변화

##### 1) 연구 방법

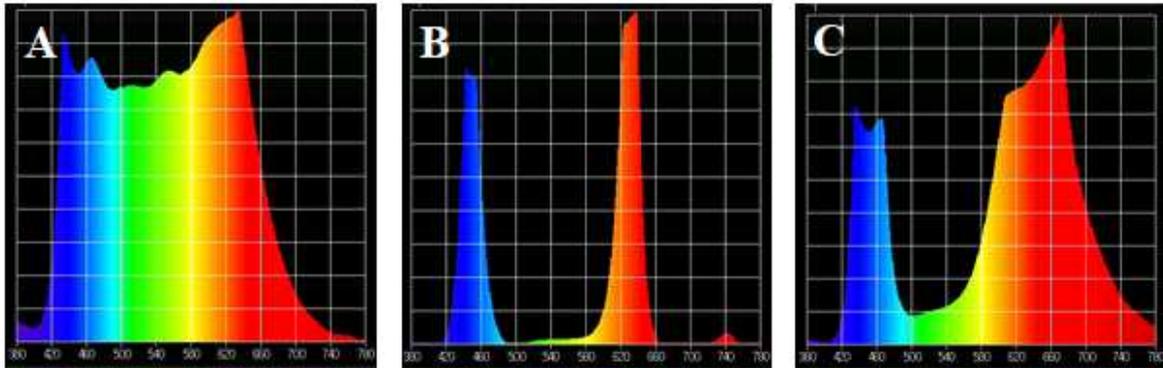
- 비닐하우스 내에서 15주간 생육한 토마토(제4화방)를 대상으로 시험하였으며 7일 간격으로 미생물 콜로니를 조사하였음. 미생물 콜로니 조사는 각각 TSA 배지와 PDA배지를 사용하여 임의의 토마토 잎 36개를 대상으로 leaf printing method를 사용하여 배지에 printing 시킨 후, 2일간 배양하여 plate상에 나타나는 모든 세균과 곰팡이의 콜로니 숫자를 조사하였음. 대조구는 자연광만을 처리한 것으로 설정하였으며, LED 처리는 100W 삼파장 형광등, Blue+Red LED, 100W QD LED를 설치하여, LED 조명처리는 총 8시간(AM 05:00 ~ 10:00, 5시간; PM 17:00 ~ 20:00, 3시간) 처리되도록 timer를 설치하여 조사기간 동안 일정한 시간에 처리되도록 하였음. 또한, 각각의 식물체의 초장 및 잎의 크기를 감안하여 최대한 비슷한 높이와 크기를 제 4화방 단계의 토마토는 식물 개체에 따라 높이가 다르며, 잎의 면적 또한 개체마다 차이가 있기 때문에 임의로 설정한 토마토 잎은 최대한 plate상에 가득차게 printing 하여 실시하였음.



[그림 264] Schematic representation of LED treatments in greenhouse. The red box indicate where the light mixes.



[그림 265] Photographs of tomato plants under LED Treatments in green house.



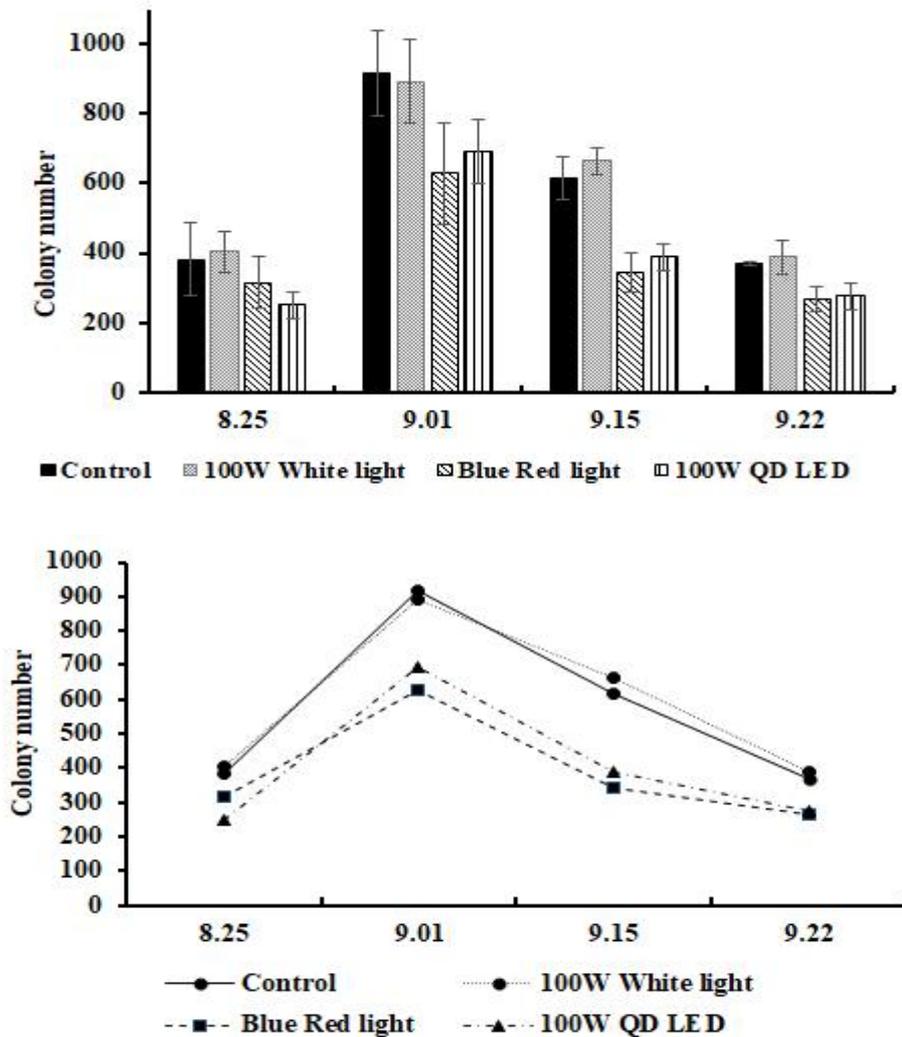
[그림 266] The wavelength of the different lights used in this study. A: 100W three wave lamp, B: Blue+Red LED, C: 100W QD LED.

## 2) 연구 결과

### 가) 100W QD LED조명에 따른 토마토 성숙기 엽권의 세균 균집 변화

- 비닐하우스 내에서 15주간 생육한 토마토(제 4화방)를 대조구, 100W 삼파장 형광등, B+R LED, 100W QD LED 등 총 4개의 처리구로 나누어 LED 처리를 하였음. 모든 처리구는 각각 16시간 자연광 + 8시간 LED처리의 조건으로 설정하였으며, 대조구는 16시간 자연광만을 처리하였음. 모든 시험은 7일 간격으로 총 4반복 시험하였으며, TSA배지에 임의의 토마토 잎을 leaf printing method를 사용하여 plate상 콜로니 숫자를 조사하였음. 세균의 경우 TSA배지를 사용하여 분리하였으며, printing 이후 2일간 배양시키고 plate상 모든 세균의 콜로니를 측정하였음. 세균 콜로니 1차 조사(8.25)의 경우 대조구인 무처리 조건에서 382개의 콜로니 숫자를 나타내었으며, 100W 삼파장 형광등은 403개의 콜로니 숫자를 나타내 대조구와 비교하였을 때 증가된 콜로니 숫자를 보였으며, Blue+Red LED와 100W QD LED의 경우 각각 315, 251개의 콜로니 숫자를 나타내어 대조구와 비교하였을 때 약 18%, 42% 감소된 수치를 보였음.
- 세균 콜로니 2차 조사(9.01)의 경우 대조구인 무처리 조건에서 916개의 콜로니 숫자를 나타내었으며, 100W 삼파장 형광등은 894개의 콜로니 숫자를 나타내 대조구와 비교하였을 때 약간 감소된 콜로니 숫자를 보였고 Blue+Red LED와 100W QD LED의 경우 각각 629, 694개의 콜로니 숫자를 보여 대조구와 비교하였을 때 약 31%, 24% 감소된 수치를 보였음. 또한, 세균 콜로니 3차 조사(9.15)의 경우 대조구인 무처리 조건에서 616개의 콜로니 숫자를 나타내었으며, 100W 삼파장 형광등은 665개의 콜로니 숫자를 나타내 대조구와 비교하였을 때 증가된 콜로니 숫자를 보였음. 게다가, Blue+Red LED와 100W QD LED의 경우 각각 345, 389개의 콜로니 숫자를 보여, 대조구와 비교하였을 때 약 44%, 37% 감소된 수치를 보였음.
- 세균 콜로니 4차 조사(9.22)의 경우 대조구인 무처리 조건에서 370개의 콜로니 숫자를 나타내었으며, 100W 삼파장 형광등은 388개의 콜로니 숫자를 나타내 대조구와 비교하였을 때 증가된 콜로니 숫자를 보였음. 또한, Blue+Red LED와 100W QD LED의 경우 각각 265, 276개의 콜로니 숫자를 보여, 대조구와 비교하였을 때 약 28%, 25% 감소된 수치를 보였음.

음. 결론적으로, 4번의 토마토 성숙기 엽권의 세균 콜로니 숫자를 조사하였을 때, Blue+Red LED와 100W QD LED는 모든 일수에서 대조구와 100W 삼파장 형광등보다 낮은 콜로니 숫자를 보였음. 이를 통하여 Blue+Red LED와 100W QD LED의 처리가 세균 군집의 활성을 억제하는 것으로 추정되며, 나아가 이러한 LED 처리는 병원성 세균의 군집에 대하여 활성 억제를 기대할 수 있을 것으로 사료됨.



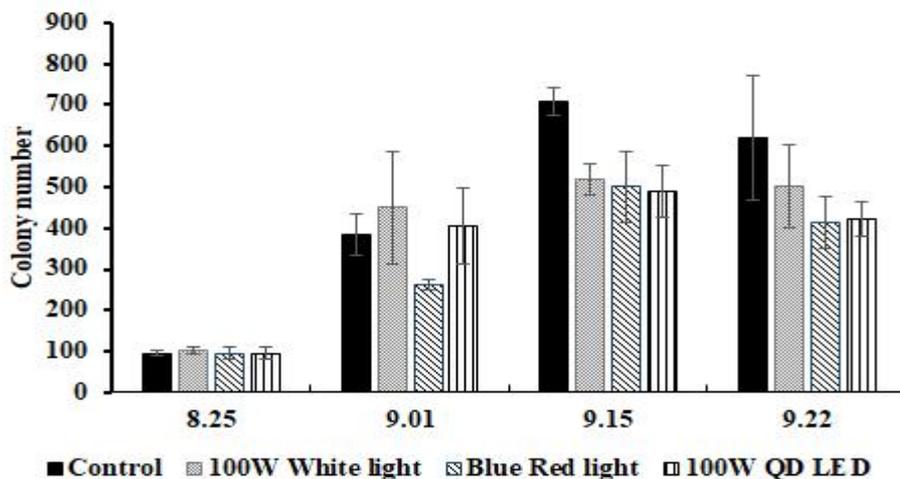
[그림 267] Change of bacteria community number on mature tomato phyllosphere under various LED treatments.

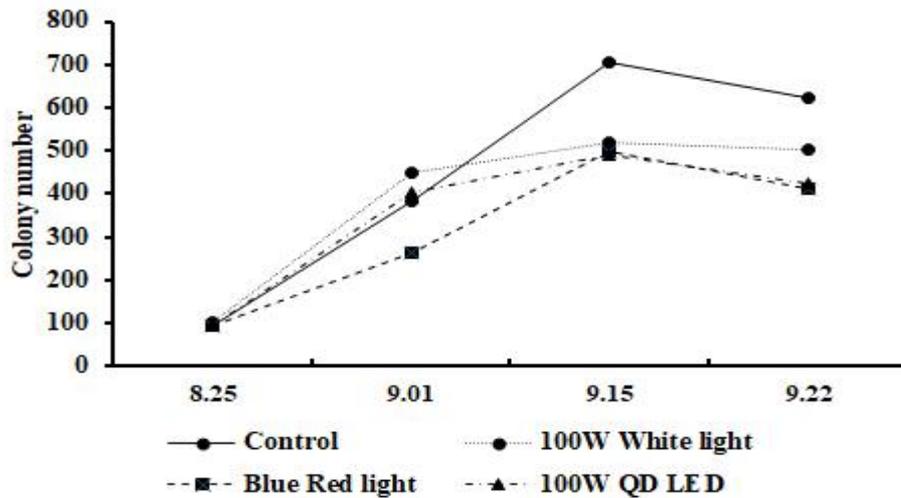
#### 나) 100W QD LED조명에 따른 토마토 성숙기 엽권의 곰팡이 군집 변화

· 비닐하우스 내에서 15주간 생육한 토마토(제 4화방)를 대조구, 100W 삼파장 형광등, B+R LED, 100W QD LED 등 총 4개의 처리구로 나누어 LED 처리를 하였고, 모든 처리구는 각각 16시간 자연광 + 8시간 LED처리의 조건으로 설정하였으며, 대조구는 16시간 자연광만을 처리하였음. 모든 시험은 7일 간격으로 총 4반복 시험하였으며, PDA배지에 임의의 토마토 잎을 leaf printing method를 사용하여 printing 한 뒤, 2일간 배양시키고 plate상 모든

곰팡이의 콜로니를 측정하였음.

- 곰팡이 콜로니 1차 조사(8.25)의 경우 대조구인 무처리 조건에서 96개의 콜로니 숫자를 나타내었으며, 100W 삼파장 형광등은 101개의 콜로니 숫자를 나타내 대조구와 비교하였을 때 증가된 콜로니 숫자를 보였음. Blue+Red LED와 100W QD LED의 경우 모두 96개의 콜로니 숫자를 나타내어 대조구와 같은 수치를 나타내었음. 또한, 곰팡이 콜로니 2차 조사(9.01)의 경우 대조구인 무처리 조건에서 384개의 콜로니 숫자를 나타내었으며, 100W 삼파장 형광등은 451개의 콜로니 숫자를 나타내 대조구와 비교하였을 때 증가된 콜로니 숫자를 보였음. Blue+Red LED의 경우 263개의 콜로니 숫자를 보여 대조구와 비교하였을 때 약 32% 감소된 수치를 보였지만, 100W QD LED는 406개의 콜로니 숫자를 보여 대조구보다 높은 콜로니 숫자를 나타냄.
- 곰팡이 콜로니 3차 조사(9.15)의 경우 대조구인 무처리 조건에서 707개의 콜로니 숫자를 나타내었으며, 100W 삼파장 형광등은 502개의 콜로니 숫자를 나타내 대조구와 비교하였을 때 26% 감소된 콜로니 숫자를 보였음. Blue+Red LED와 100W QD LED의 경우 각각 500, 491개의 콜로니 숫자를 보여, 대조구와 비교하였을 때 약 29%, 31% 감소된 수치를 보였음. 또한, 곰팡이 콜로니 4차 조사(9.22)의 경우 대조구인 무처리 조건에서 621개의 콜로니 숫자를 나타내었으며, 100W 삼파장 형광등은 503개의 콜로니 숫자를 나타내 대조구와 비교하였을 때 19% 감소된 콜로니 숫자를 보였음. Blue+Red LED와 100W QD LED의 경우 각각 414, 423개의 콜로니 숫자를 보여, 대조구와 비교하였을 때 약 33%, 32% 감소된 수치를 보였음.
- 결론적으로, 4번의 토마토 성숙기 엽권의 곰팡이 콜로니 숫자의 경우 세균의 결과와 다르게 조사일수가 늘어날수록 증가하는 것을 확인하였으며, 1차와 2차 조사의 경우 Blue+Red LED는 대조구와 비교하였을 때 콜로니 숫자가 억제되는 것을 확인하였지만, 100W QD LED에서 약간 증가된 수치를 보였음. 3차와 4차 조사의 경우 100W 삼파장 형광등, Blue+Red LED, 그리고 100W QD LED에서 모두 대조구에 비하여 콜로니 숫자가 억제되는 것을 확인하였음.





[그림 268] Change of fungi community number on mature tomato phyllosphere under various LED treatments.

## 나. 100W QD LED조명에 따른 토마토 유묘기의 미생물 군집 변화

### 1) 연구 방법

- 토마토 종자를 과중하여 4주간 생육한 육묘를 비닐하우스 내에 이식한 후, 7일간의 적응기를 가진 후 시험하였으며 7일 간격으로 각각의 처리구에 따라 미생물 콜로니를 조사하였음. 미생물 콜로니 조사는 각각 TSA배지와 PDA배지를 사용하여 임의의 토마토 잎 36개를 대상으로 leaf printing method를 사용하여 배지에 printing 시킨 후, 2일간 배양하여 plate상 나타나는 모든 세균과 곰팡이를 각각 카운팅하여 콜로니 숫자를 조사하였음. 대조구는 자연광만을 처리한 것으로 설정하였으며, LED 처리는 100W 삼파장 형광등, Blue+Red LED, 100W QD LED를 설치하여, LED 조명처리는 총 8시간(AM 05:00 ~ 10:00, 5시간; PM 17:00 ~ 20:00, 3시간) 처리되도록 timer를 설치하여 조사기간 동안 일정한 시간에 처리되도록 하였음. 또한, 각각의 식물체의 초장 및 잎의 크기를 감안하여 최대한 비슷한 높이와 크기를 토마토를 정하였음. 유묘기 토마토의 잎은 식물 개체에 따라 잎의 면적이 다르기 때문에 임의로 설정한 토마토 잎은 크기에 맞게 plate에 printing을 실시하였음.

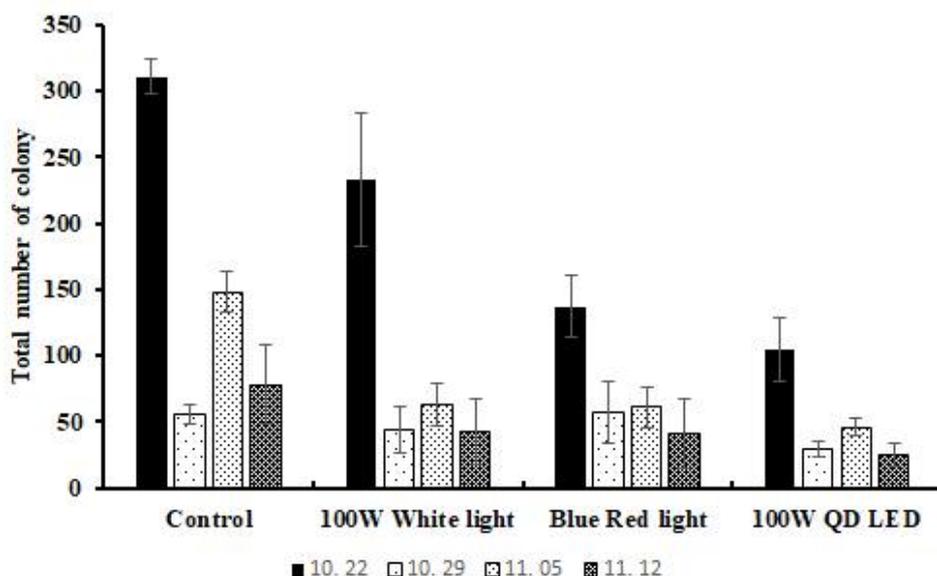
### 2) 연구 결과

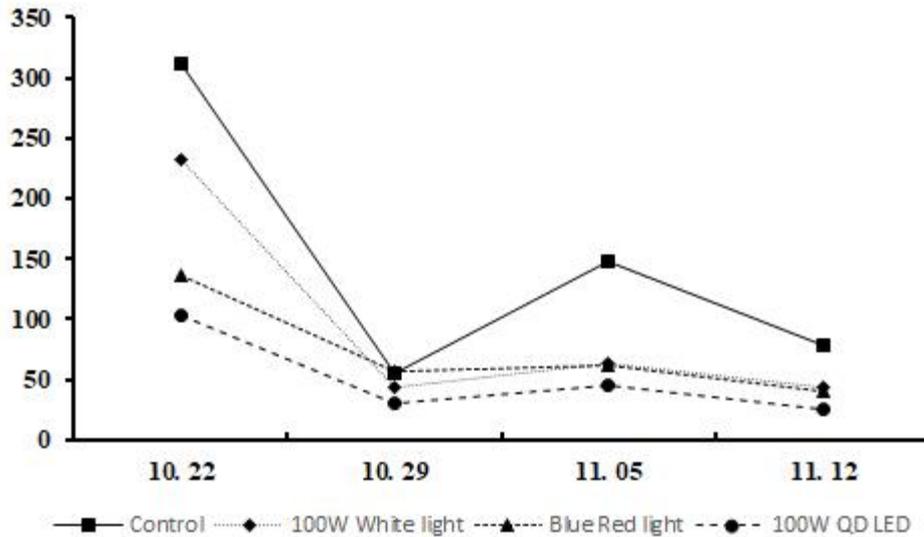
#### 가) 100W QD LED조명에 따른 토마토 유묘기 엽권의 세균 군집 변화

- 4주간 생육한 토마토를 비닐하우스 포장에 이식한 후 대조구, 100W 삼파장 형광등, B+R LED, 100W QD LED 등 총 4개의 처리구로 나누어, 모든 처리구는 각각 16시간 자연광 + 8시간 LED처리의 조건으로 설정하였으며, 대조구는 16시간 자연광만을 처리하였음. 모든 시험은 7일 간격으로 총 4반복 시험하였으며, TSA배지에 임의의 토마토 잎을 leaf printing method를 사용하여 plate에 printing 한 후 2일간 배양시키고 plate상 모든 세균의 콜로니를 측정하였음.
- 세균 콜로니 1차 조사(10.22)의 경우 대조구인 무처리 조건에서 311개의 콜로니 숫자를 나

타내었으며, 100W 삼파장 형광등은 233개의 콜로니 숫자를 나타내 대조구와 비교하였을 때 감소된 콜로니 숫자를 보였음. Blue+Red LED와 100W QD LED의 경우 각각 137, 104개의 콜로니 숫자를 나타내어 대조구와 비교하였을 때 약 56%, 67% 감소된 수치를 보였음. 또한, 세균 콜로니 2차 조사(10.29)의 경우 대조구인 무처리 조건에서 56개의 콜로니 숫자를 나타내었으며, 100W 삼파장 형광등은 44개의 콜로니 숫자를 나타내 대조구와 비교하였을 때 감소된 콜로니 숫자를 보였음. Blue+Red LED의 경우 57개의 콜로니 숫자를 보여, 대조구와 비슷한 수치를 보였지만, 100W QD LED는 30개의 콜로니 숫자를 나타내 46%의 감소율을 보였음.

- 세균 콜로니 3차 조사(11.05)의 경우 대조구인 무처리 조건에서 148개의 콜로니 숫자를 나타내었으며, 100W 삼파장 형광등과 Blue+Red LED의 경우 각각 63, 61개의 콜로니 숫자를 나타내 대조구와 비교하였을 때 각각 약 57%, 59% 감소된 콜로니 숫자를 보였고, 100W QD LED는 46개의 콜로니 숫자를 나타내 약 69%의 감소율을 보였음. 또한, 세균 콜로니 4차 조사(11.12)의 경우 대조구인 무처리 조건에서 78개의 콜로니 숫자를 나타내었으며, 100W 삼파장 형광등과 Blue+Red LED의 경우 각각 43, 41개의 콜로니 숫자를 나타내 대조구와 비교하였을 때 각각 약 45%, 47% 감소된 콜로니 숫자를 보였고, 100W QD LED는 25개의 콜로니 숫자를 나타내 약 68%의 감소율을 보였음.
- 결론적으로, 4번의 토마토 유묘기 엽권의 세균 콜로니 숫자를 조사하였을 때 조사일수가 늘어날수록 전체적인 세균의 숫자가 감소하는 것을 확인하였음. 2차 조사의 경우 Blue+Red LED는 대조구와 비슷한 콜로니 숫자를 확인하였지만, 100W 삼파장 형광등과 100W QD LED에서 감소된 콜로니 숫자를 보였음. 3차와 4차 조사의 경우 100W 삼파장 형광등, Blue+Red LED, 그리고 100W QD LED에서 모두 대조구에 비하여 콜로니 숫자가 억제되는 것을 확인하였음.





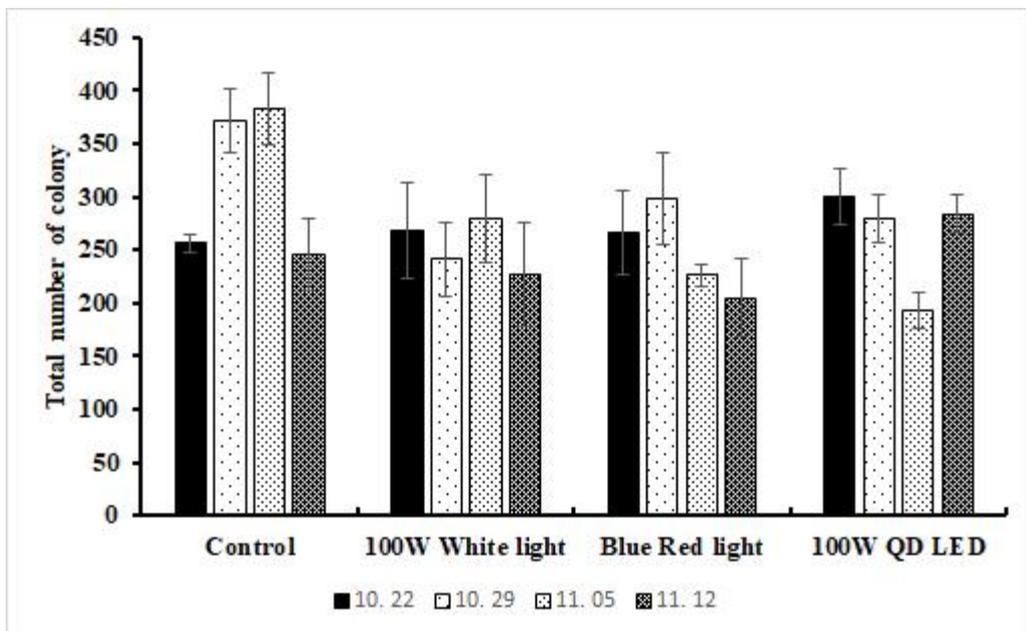
[그림 269] Change of bacteria community number on young tomato phyllosphere under various LED treatments.

#### 나) 100W QD LED조명에 따른 토마토 유묘기 곰팡이의 곰팡이 군집 변화

- 4주간 생육한 토마토를 비닐하우스 포장에 이식한 후 대조구, 100W 삼파장 형광등, B+R LED, 100W QD LED 등 총 4개의 처리구로 나누어, 모든 처리구는 각각 16시간 자연광 + 8시간 LED처리의 조건으로 설정하였고, 대조구는 16시간 자연광만을 처리하였음. 모든 시험은 7일 간격으로 총 4반복 시험하였으며, PDA배지에 임의의 토마토 잎을 leaf printing method를 사용하여 plate에 printing 시킨 후 2일간 배양시키고 plate상 모든 곰팡이의 콜로니를 측정하였음.
- 곰팡이 콜로니 1차 조사(10.22)의 경우 대조구인 무처리 조건에서 256개의 콜로니 숫자를 나타내었으며, 100W 삼파장 형광등은 268개의 콜로니 숫자를 나타내 대조구와 비교하였을 때 증가된 콜로니 숫자를 보였음. Blue+Red LED와 100W QD LED의 경우 각각 266, 300개의 콜로니 숫자를 나타내어 대조구보다 높은 수치의 콜로니 숫자를 나타내었음. 또한, 곰팡이 콜로니 2차 조사(10.29)의 경우 대조구인 무처리 조건에서 371개의 콜로니 숫자를 나타내었으며, 100W 삼파장 형광등은 241개의 콜로니 숫자를 나타내 대조구와 비교하였을 때 35% 감소된 콜로니 숫자를 보였음. Blue+Red LED와 100W QD LED의 경우 299, 279개의 콜로니 숫자를 보여 대조구와 비교하였을 때 각각 약 19%, 25% 감소된 수치를 보였음.
- 곰팡이 콜로니 3차 조사(11.05)의 경우 대조구인 무처리 조건에서 383개의 콜로니 숫자를 나타내었으며, 100W 삼파장 형광등은 280개의 콜로니 숫자를 나타내 대조구와 비교하였을 때 27% 감소된 콜로니 숫자를 보였음. Blue+Red LED와 100W QD LED의 경우 각각 226, 193개의 콜로니 숫자를 보여, 대조구와 비교하였을 때 각각 약 41%, 50% 감소된 수치를 보였음. 또한, 곰팡이 콜로니 4차 조사(11.12)의 경우 대조구인 무처리 조건에서 246개의 콜로니 숫자를 나타내었으며, 100W 삼파장 형광등은 227개의 콜로니 숫자를 나타내 대조구와 비교하였을 때 약간 감소된 콜로니 숫자를 보였음. Blue+Red LED의 경우 205개의 콜

로니 숫자를 나타내어 대조구와 비교하였을 때 약 17% 감소된 콜로니 숫자를 보였고, 100W QD LED의 경우 284개의 콜로니 숫자를 나타내 대조구보다 많은 콜로니 수치를 보였음.

- 결론적으로, 4번의 토마토 유묘기 엽권의 곰팡이 콜로니 숫자를 조사하였을 때, 세균의 경우와 다르게 조사일수가 늘어날수록 증가하는 것을 확인하였음. 1차와 2차 조사의 경우 Blue+Red LED는 대조구와 비교하였을 때 콜로니 숫자가 억제되는 것을 확인하였지만, 100W QD LED에서 약간 증가된 수치를 보였음. 3차와 4차 조사의 경우 100W 삼파장 형광등, Blue+Red LED, 그리고 100W QD LED에서 모두 대조구에 비하여 콜로니 숫자가 억제되는 것을 확인하였음. 또한, 토마토에 균집을 이루고 있는 세균의 경우 기온이 낮아짐에 따라 함께 콜로니 숫자가 줄었음. 하지만, 곰팡이의 경우 저온에서 발병하는 흰가루병이 관찰되었고 콜로니 숫자도 세균과 비교하였을 때 기온과 크게 관계가 없는 것으로 판단됨.



[그림 270] Change of fungi community number on young tomato phyllosphere under various LED treatments.

[표 68] Climate of Chuncheon from October to November

10.22	10.29	11.05	11.12
평균기온:14.8℃	평균기온:10.7℃	평균기온:8.1℃	평균기온:5.2℃
최고기온:23.5℃	최고기온:17.3℃	최고기온:17.9℃	최고기온:12.0℃
최저기온:7.8℃	최저기온:4.0℃	최저기온:1.9℃	최저기온:1.2℃
평균운량:4.4	평균운량:3.5	평균운량:2.8	평균운량:5.3
상대습도: 77.3	상대습도: 75.6	상대습도: 83.6	상대습도: 91.5

## 2-6절. 광분포도(균일도) 및 단위면적당 광원 및 전력 소요량 비교

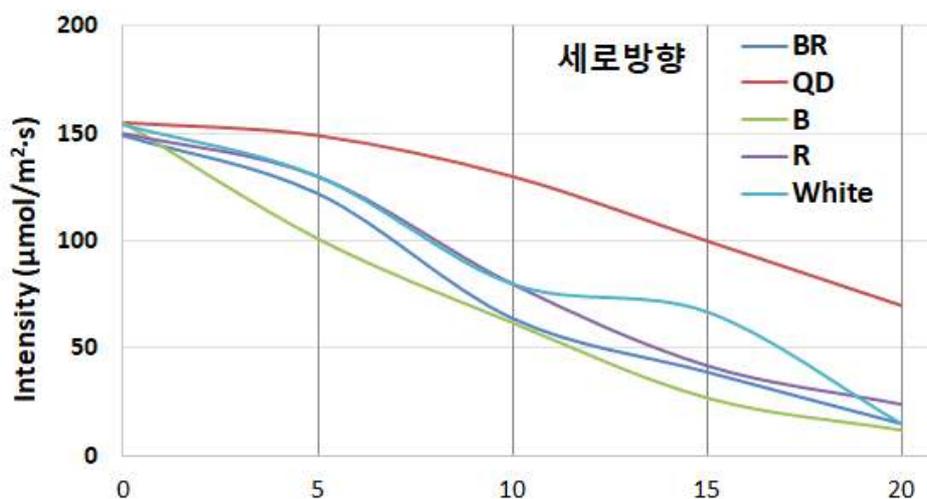
### 1. 광분포도(균일도)

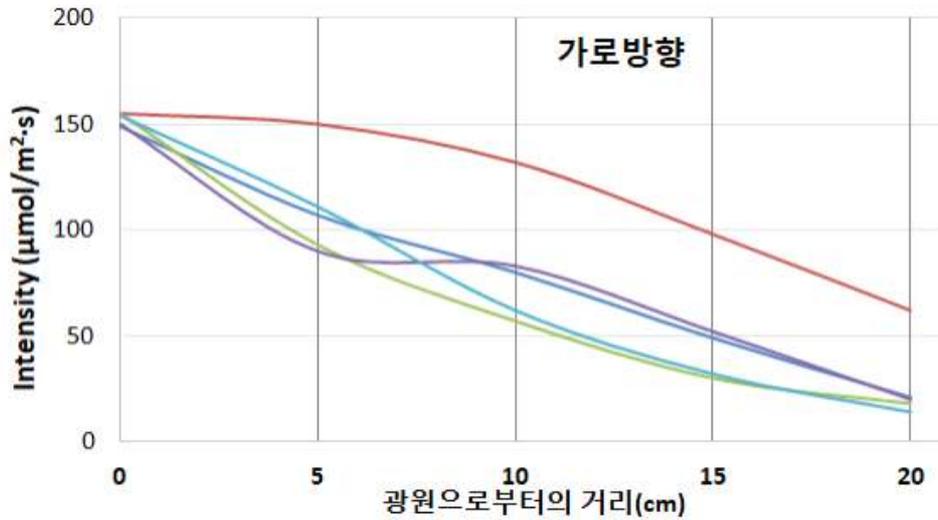
- 연구에 사용된 QD-LED를 비롯해, Blue+Red, Blue, Red, 그리고 대조구로 형광등(white)의 광 분포를 조사하였음. 광 분포도(균일도) 측정은 세로 40cm, 가로 40cm 판에 한가운데 기준점으로부터 상, 하, 좌, 우 5cm 간격으로 광 복사측정기를 사용하여 광을 측정하였음.



[그림 271] 광도 측정기(좌)와 광 분포도(균일도)를 측정하기 위해 제작한 판(우).

- 광의 가운데를 중심으로 하여 상·하·좌·우로 5cm 이동하며 측정한 결과, 모든 방향이 중심에서 멀어질수록 광도 또한 감소하였는데, QD-LED를 제외한 나머지 광은 10cm 멀어졌을 때 중심부 광도의 약 50% 줄어 대부분이  $90 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  이하였음. 그에 반해 QD-LED는 10cm 멀어졌을 때 네 가지 방향 모두  $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  이상이었으며, 20cm 멀어졌을 때 나머지 광들이 10cm 거리에서 나타내었던 수치와 유사하였음.
- QD-LED 광이 다른 광에 비해 상당히 넓은 광 분포도(균일도)를 보이는 것으로 나타났음.





[그림 272] 각 광원으로부터의 광도 변화.

## 2. 단위면적당 광원 및 전력 소요량 비교

- 전력 소요량 측정에는 전기요금측정기(SJPM-C16, (주)서준전기, Korea)를 사용하여 예상월간 전력과 예상월간 요금, 전력량, 전압 등을 측정하였음. 또한, 시설 온실조건에서 보광 실험은 기존 연구 추진일정상 광량이 적어지는 여름 이후 보광이 필요함.



[그림 273] 전기요금측정기.

- 모든 유사한 전압을 가지고 있는 몇 가지 광을 대상으로 조사해 본 결과, 전류와 전력은 QD-LED가 가장 높은 일반 삼파장 형광등에 비해 약 50% 가량 낮았다. 이에 따른 예상 월간 전력과 월간 요금도 가장 낮은 수치를 보였음. 기존의 LED인 일반 B+R 처리구, PG311, 그리고 PG210 처리구의 평균수치에 비해 QD-LED 처리구의 예상월간 전력은 34.8%, 예상월간요금은 35.2% 절감이 가능할 것으로 판단됨.

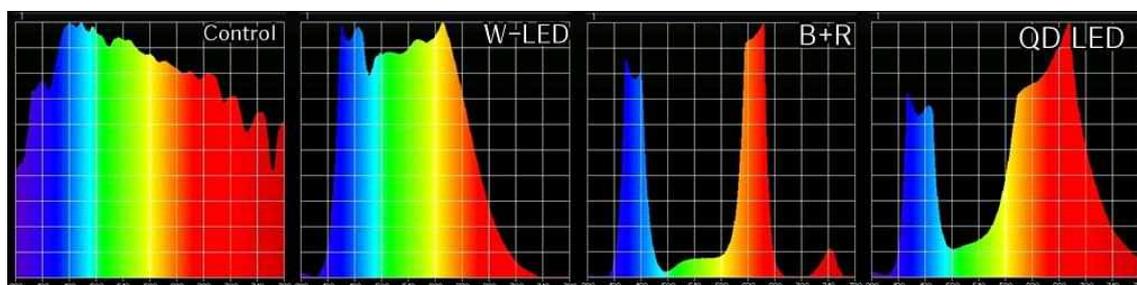
[표 69] 시중에 판매되는 LED(10W)와 형광등 대비 QD-LED 전력소요량 비교

	예상월간전력 (Kwh)	예상월간요금 (원)	전력(W)	전압(V)	전류(mA)
QD-LED	5.42	574	8.2	226	36.12
삼파장 형광등	9.96	1,056	14.6	226	64.60
일반 B+R	10.02	1,041	13.4	214	63.26
빛슬 PG311 (B+R)	7.76	850	11.4	214	53.52
빛슬 PG210 (B+R)	7.17	765	10.0	214	47.66

### 3. 단위면적당 광원 및 전력 소모량 절감(100W) 검증

#### 가. 방울 토마토 재배중 QD-LED 보광이 미치는 영향 비교

- 연구목표: 최근 일사량 부족현상이 자주 발생하면서 고휘도를 요구하는 과채류의 착과율, 생산량 감소, 기형과 증가 등이 빈번히 나타나고 있다. 이를 해결하기 위해 적용할 수 있는 경제적이면서 효과적인 보광을 광원을 선발하기 위해 본 실험을 수행하였다.
- 연구방법
  - 재배조건: 비닐온실에서 주간온도 30℃ 이하의 조건으로 170일간 05:00~10:00am(5시간), 17:00~20:00pm(3시간) 각각의 광원으로 보광
  - 보광광도: 보광광원으로부터 1m 부근 150 ±10 μmole/m<sup>2</sup>.s(100W 광원)
  - 대조구: Cont. (자연광)
  - 처리구: White LED, Blue+Red, Blue+W-Red(QD-LED)
  - 공시재료: 방울토마토
  - 조사내용: 과중, 과장, 과폭, 과수, 당도, 산도, 경도, 색도, 기형과 발생율, 항산화능(DPPH 라디칼 소거능), 라이코펜 함량, 비타민 C 함량, 광합성 효율(Fv/Fm(최대양자수율))



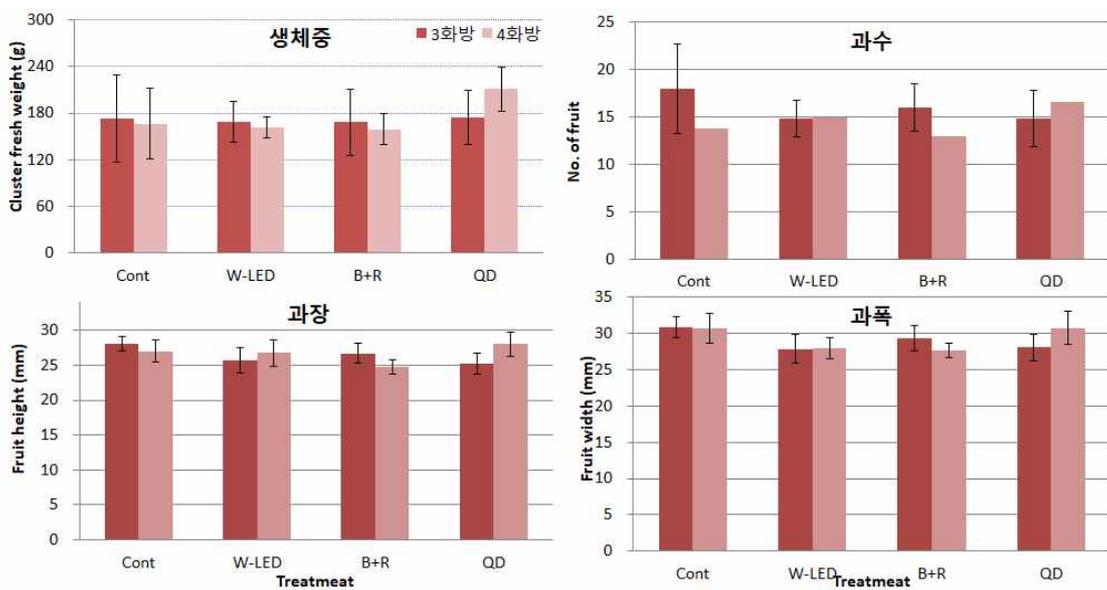
[그림 274] 보광에 사용한 3가지 광원과 대조구의 광 스펙트럼.



[그림 275] 보광에 사용한 3가지 광원 적용 사진.

- 연구결과

- 광원처리를 실시한 이후 착과된 화방은 3,4화방이었기 때문에 수량 평균과중 등의 조사는 3,4화방으로 진행하였음. 과수, 과도, 과폭에서는 광원에 따른 특별한 경향은 나타나지 않았으나, 수량 관련 지수인 생체중은 4화방에서 QD광이 다른 광처리보다 30% 증가하였음.



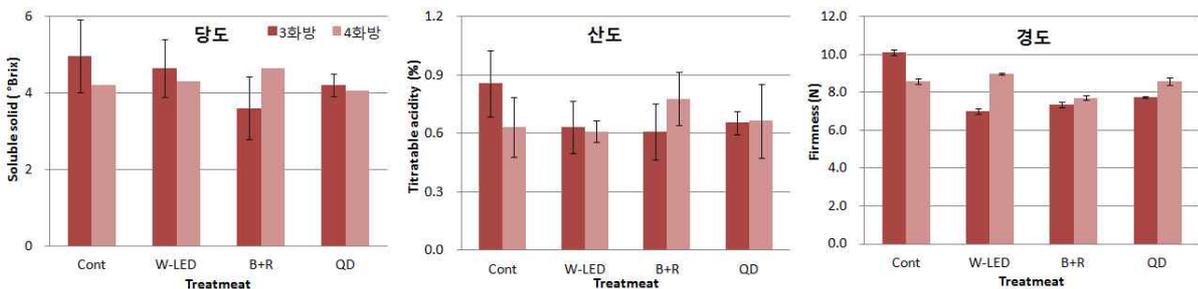
[그림 276] 인공광원 보광에 따른 방울토마토의 3,4화방의 화방무게, 과일수, 평균과고, 평균과폭 비교.

- 광원처리에 따른 기형화 발생률에서는 보광의 효과를 볼 수 있었는데, QD광의 경우 3화방과 4화방 모두에서 가장 낮은 기형화 발생률을 보였음(18.7%에서 3.2%로 감소).

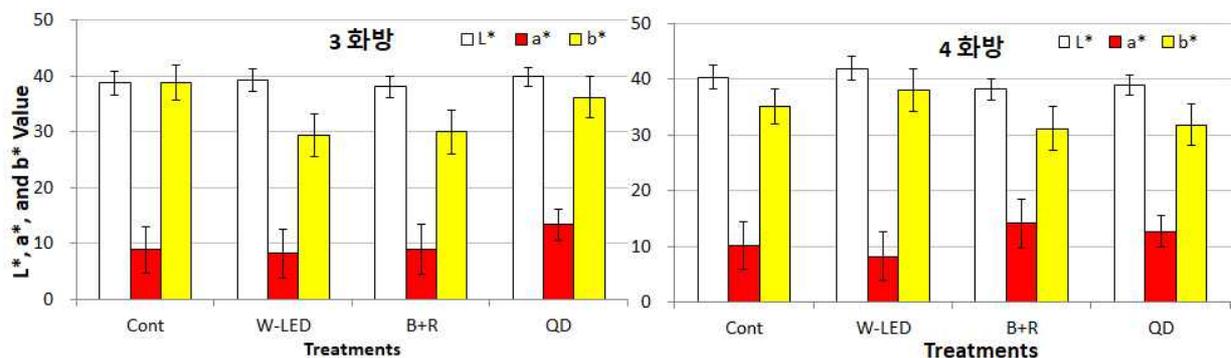
[표 70] 인공광원 보광에 따른 방울토마토의 3,4화방의 기형과 발생률

	3 <sup>rd</sup> cluster	4 <sup>th</sup> cluster
Control	25.0%	8.3%
Blue+Red	0.0%	21.4%
QD-LED	0.0%	6.3%
White LED	28.6%	28.6%

- 광원처리에 따른 방울토마토 과실의 당도, 산도, 경도 등 과실 품질은 보광처리 효과가 나타나지 않았으며, 처리간 차이에 통계적 유의성은 나타나지 않았음.
- 또한 과피색에서도, 광원에 따른 일정한 경향을 나타나지 않았는데, 과피색의 경우 과실의 숙기에 영향을 받기 때문에 과실의 착과후 날짜를 동일하게 하여 측정했어야 했으나, 본 실험에서 착과날짜를 조사하지 않아 정확한 비교를 할 수 없었음. 경도와 산도가 대조구에서 높았는데 과피색으로 볼 때 숙기가 다른 처리보다 다소 늦었기 때문이라 판단됨.



[그림 277] 인공광원 보광에 따른 방울토마토의 3,4화방의 과실의 당도, 산도, 경도 비교.



[그림 278] 인공광원 보광에 따른 방울토마토의 3,4화방의 과실의 과피색 비교.

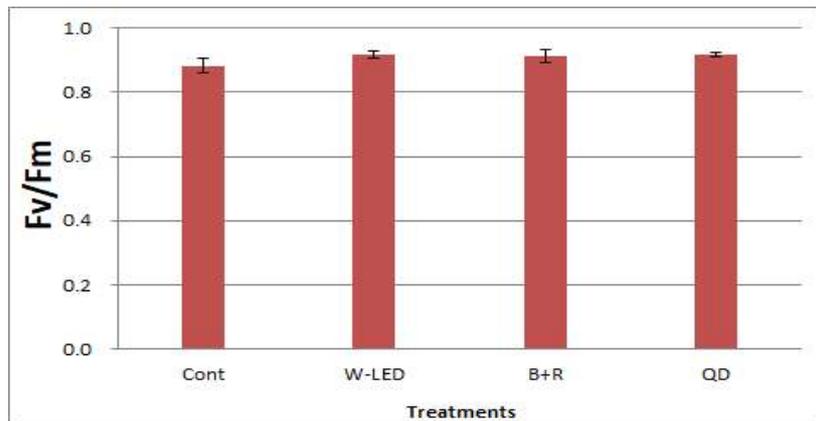
- 광원처리에 따른 3, 4화방의 방울토마토 과실의 내적 품질을 비교하였는데, 경도와 산도가 높아 숙

기가 다소 늦었던 대조구에서 Lycopene 함량이 가장 낮았으며, 과피색이 비슷했던 즉 숙기가 비슷한 3가지 광원중에서는 B+R광에서 가장 높았고 다음으로 QD광이 높았으며 DPPH 활성값도 B+R광에서 가장 높았음.

- 비타민C 함량은 대조구에 함께 QD광에서 가장 높았으며 총페놀함량도 대조구에서 가장 높았음. 내적 품질의 경우도 처리간 유의적인 차이는 나타나지 않았음.
- 광합성 효율을 조사하였는데, QD광이 다른 처리구에 비해 다소 증가하였지만 처리구간의 통계적 유의성은 없었음.

[표 71] 인공광원 보광에 따른 방울토마토의 3,4화방의 내적 품질 비교

	Lycopene (mg/kg)	DPPH (%)	Vitamin C (mg/100gFW)
Control	0.72±0.14	35.8± 7.4	77.4±18.5
Blue+Red	1.37±0.12	36.5±13.4	61.8±17.7
QD LED	1.25±0.45	31.0± 6.5	77.6± 8.8
White LED	1.12±0.25	24.4± 2.7	26.1± 7.2



[그림 279] 대조구(Cont)와 3가지 광원에서 재배한 토마토의 Fv/Fm(최대양자수율) 비교.



[그림 280] 인공광원 보광에 따른 방울토마토의 3,4화방의 화방 사진.

#### 나. QD LED광에서 재배한 방울토마토의 크기별

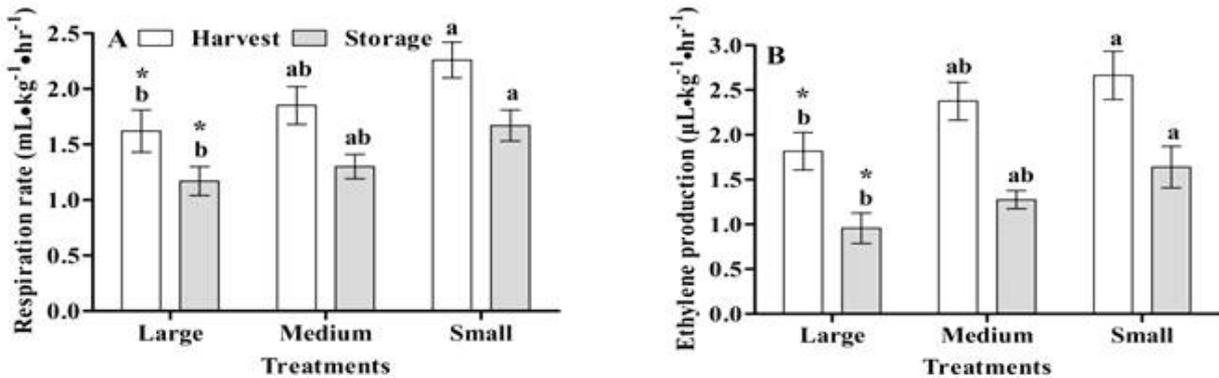
- 연구목적: Quantum dot-LED(QD-LED)에서 재배한 방울토마토의 크기가 품질, 저장 수명 및 미생물 활동에 미치는 영향을 알아 내기 위해 수행함.

#### - 연구방법

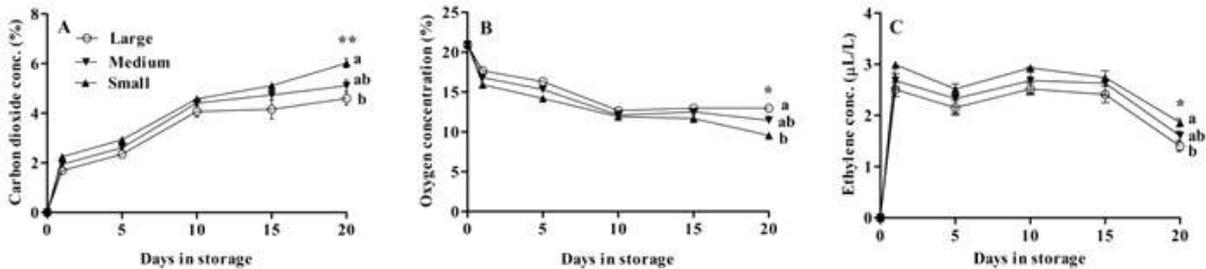
- 재배조건: (가)의 재배 조건
- 저장조건: 5°C, 상대습도:80±5%RH
- 포장처리: 20,000 cc OTR (산소 투과율) 필름을 이용한 MAP, 상자저장
- 처리구: 반숙이상의 단계에서 대(31.28mm), 중 (28.52mm), 소 (24.16mm) 크기의 방울토마토
- 조사항목: 생체중 감소, 외관, 포장내 산소, 이산화탄소, 에틸렌농도, 과색(L,a,b), 라이코펜, 비타민 C 함량, 경도, 당도, 산도, 미생물 수

#### - 연구결과

- 대형 방울토마토는 다른 크기에 비해 호흡 및 에틸렌 생성이 낮았고, 생체중 감소 비율은 소형 토마토에서 가장 높았음. 대형 방울토마토에서 저장 수명이 연장되는 것을 관찰함.



[그림 281] 크기별 방울토마토의 저장전과 저장 후 호흡률과 에틸렌 발생율.



[그림 282] 5°C 에서 저장한 20,000cc OTR 필름 포장 방울토마토의 크기에 따른 포장내 이산화탄소(A), 산소(B), 에틸렌 농도(C) 변화.

- 진균 발생률은 중형 또는 소형 방울토마토에서 대형 방울토마토보다 더 낮았으며 박테리아와 곰팡이 수는 대형 방울토마토에서 가장 낮았음.

[표 72] 5°C에서 20일간 저장한 방울토마토의 크기, 무게, 저장중 생체중 감소, 저장수명, 곰팡이 발생률

	Fruit size (mm)	Fruit weight (g)	Fresh weight loss(%)		Shelf life (days)		Fungal incidence (%)	
	Harvest	Harvest	Box	MAP	Box	MAP	Box	MAP
Large	31.28a <sup>z</sup>	16.56a	4.32b	0.17b	15a	19a	30.00b	37.50b
Medium	28.52b	12.65ab	4.69ab	0.19ab	14ab	17ab	40.00ab	60.00ab
Small	24.16c	8.16b	5.29a	0.22a	12b	16b	50.00a	72.73a
P value	***	***	**	*	**	*	**	**

<sup>z</sup>Mean separation of columns by Duncan's multiple range tests (DMRT) (n=10). \*, \*\*, \*\*\*; significant at p≤0.05, 0.01 and 0.001, respectively of DMRT.

[표 73] 5°C에서 20일간 저장한 방울토마토의 경도, 과피색, 라이코펜 함량 비교

	Firmness (N)			Color (a*/b*)			Lycopene (mgkg <sup>-1</sup> FW)		
	Harvest	Box	MAP	Harvest	Box	MAP	Harvest	Box	MAP
Large	13.04b <sup>z</sup>	8.05a	11.08a	0.55a	0.81b	0.70b	91.60a	112.27	100.94b
Medium	15.53a	7.28ab	9.36ab	0.55a	0.82b	0.71ab	92.14a	117.86	103.31ab
Small	15.85a	6.45b	9.17b	0.56a	0.86a	0.75a	91.93a	126.46	106.23a
P value	**	**	**	NS	*	**	NS	**	*

<sup>z</sup>Mean separation of columns by Duncan's multiple range tests (DMRT) (n=10). NS, \*, \*\*; not significant, or significant at p≤0.05 and 0.01, respectively of DMRT.

- 저장종료일의 경도는 대형 방울토마토에서 가장 높았으며, 적정 산도와 비타민 C 함량도 대형 방울토마토에서 가장 높았음. 그러나, 가용성 고형물질 농도(당도)는 소형 방울토마토에서 가장 높았음.
- 이상의 결과를 종합해 보면 장기 저장을 위해서는 대형 방울토마토가 유리함을 알 수 있었음.

[표 74] 5°C에서 20일간 저장한 방울토마토의 가용성 고형물 농도(당도), 적정산도, 비타민 C 함량

	Soluble solids (°Brix)			Titratable acidity (% citric acid)			Vitamin C (mg100g <sup>-1</sup> FW)		
	Harvest	Box	MAP	Harvest	Box	MAP	Harvest	Box	MAP
Large	5.53a <sup>z</sup>	6.08b	5.98b	0.61a	0.40a	0.53a	17.31a	9.89a	12.34a
Medium	5.53a	6.10b	6.06ab	0.61a	0.39ab	0.52a	18.56a	8.16ab	11.95ab
Small	5.54a	6.47a	6.20a	0.62a	0.35b	0.46b	18.43a	6.15b	10.97b
P value	NS	*	*	NS	**	*	NS	**	*

<sup>z</sup>Mean separation of columns by Duncan's multiple range tests (DMRT) (n=5). NS, \*, \*\*; not significant, or significant at p≤0.05 and 0.01 of DMRT.

[표 75] 5°C 에서 20일간 저장한 방울토마토의 세균 및 곰팡이 수

	Bacteria ( x 10 colony ml <sup>-1</sup> )			Fungi ( x 10 spores ml <sup>-1</sup> )		
	Harvest	Box	MAP	Harvest	Box	MAP
Large	193.00a <sup>z</sup>	195.08b	200.67b	6.33a	6.70b	6.67b
Medium	194.67a	198.04ab	206.33ab	6.67a	6.59b	9.00ab
Small	195.33a	206.66a	211.67a	7.00a	7.76a	9.67a
P value	NS	*	*	NS	*	*

<sup>z</sup>Mean separation of columns by Duncan's multiple range tests (DMRT) (n=5). NS, \*; not significant, or significant at p≤ 0.05 of DMRT.

#### 다. 겨울철 적로메인 상추의 생육일수 단축 및 내적 품질 비교

- 연구목적: Quantum dot-LED(QD-LED)는 일반 LED에 비해 높은 색순도와 광 안정성 및 양자효율 특성을 가지며 다양한 파장대를 형성하고, 설치비용과 전력소모량을 줄일 수 있는 효과를 가지고 있음. 또한, 보통 직하형으로 조사되는 각이 작아 넓은 범위에 광을 균일하게 조사하지 못하는 LED에 비해 넓은 범위에 비교적 균일한 광을 조사할 수 있는 장점을 가지고 있음. 본 실험은 적로메인(아시아종묘)을 대상으로 박막수경재배시(NFT) 청색+적색 혼합(Blue+Red)광, QD-LED광, 그리고 White LED광을 각각 보광하였을 때 생육에 미치는 영향을 알아보려고 함.

#### - 연구방법

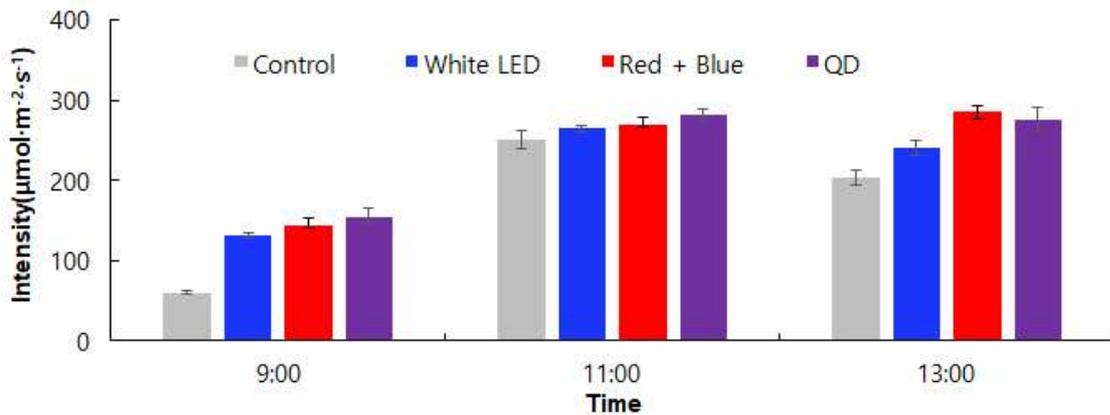
- 재배조건: 유리온실에서 야간온도 10°C 이상의 조건으로 38일간 주간에 각각의 광원으로 보광
- 보광광도: 150 ± 10 μmole/m<sup>2</sup>.s(100W 광원)
- 대조구: Cont. (자연광)
- 처리구: White LED, Blue+Red, QD-LED(Blue+W-Red)
- 공시재료: 적로메인
- 조사내용: 초장, 엽장, 엽폭, 엽수, 광합성 효율(Fv/Fm(최대양자수율)), 시간대 별 광도, 총 페놀함량, 안토시아닌 함량, DDPH 라디칼 소거능



[그림 283] B+R 보광 장면.

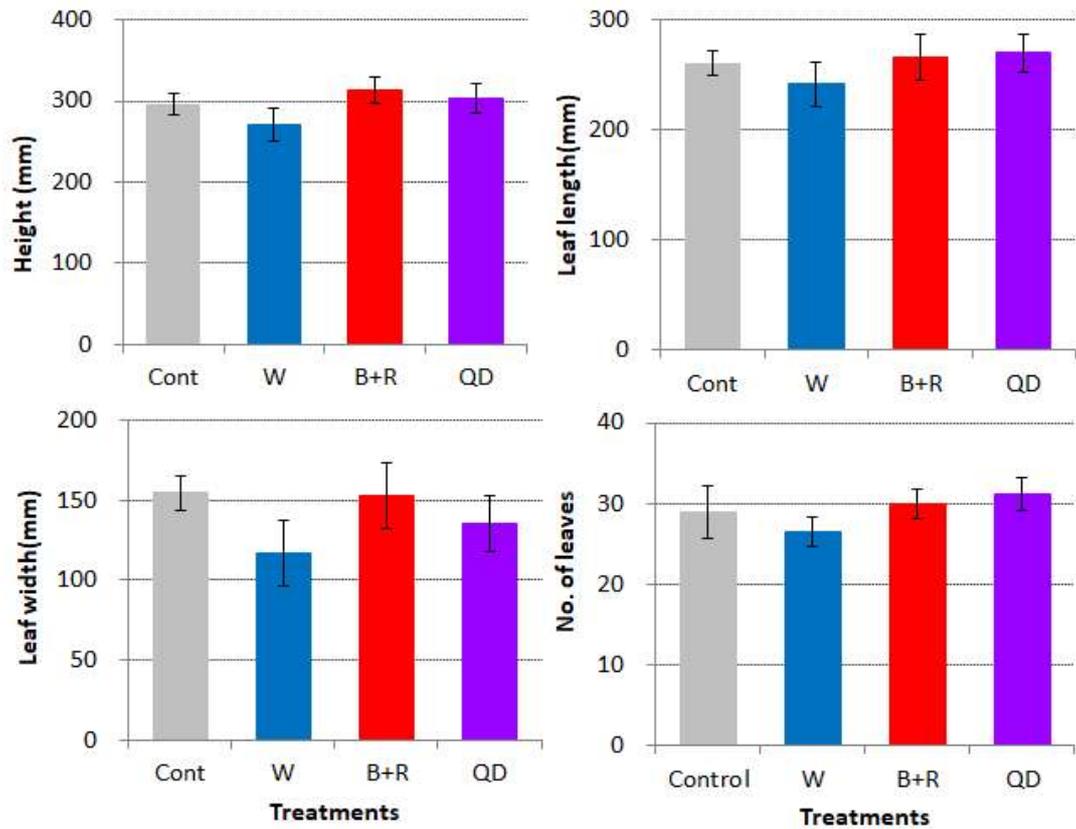
- 연구결과

- 보광처리는 오전 9시부터 오후 3시까지 시행하였는데, 보광처리 직후인 9시의 광도는  $70 \mu\text{mole/m}^2\cdot\text{s}$  수준이었으나 보광처리구는  $120 \mu\text{mole/m}^2\cdot\text{s}$  전후 였으며, 11시이후에는 대조구와 보광처리구 간의 큰 차이는 나타나지 않았으며 오후 1시에는 다시 보광처리에 의한 광도증가를 확인할 수 있었음.



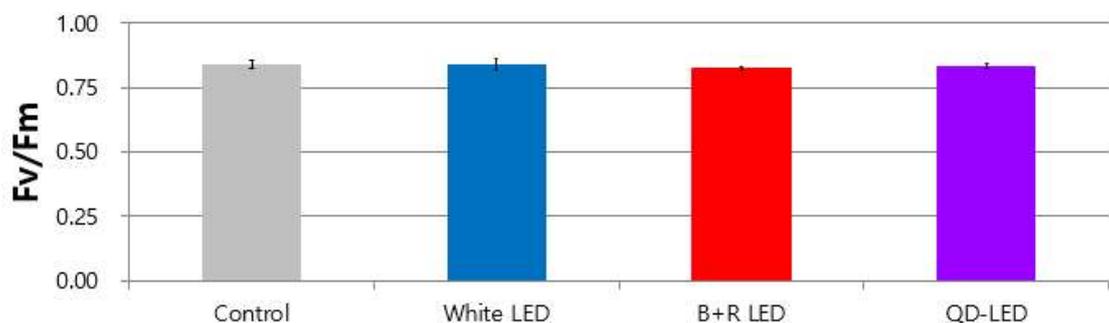
[그림 284] 대조구(무처리구)와 3가지 광원의 시간대별 광도 비교.

- 초장은 재배 종료일인 38일째에 B+R 혼합광과 QD-LED광이 300mm 이상이었고, White LED와 무보광이 그 이하였음. 엽장은 B+R 혼합광과 QD-LED광, 엽폭은 무보광과 B+R 혼합광이 넓었지만 처리구간의 통계적 유의성은 나타나지 않았음. 엽수는 재배 종료일인 38일째 QD-LED광과 B+R 혼합광이 많았고, White LED광이 가장 적었음.



[그림 285] 보광처리 38일째 보광처리에 의한 초장, 엽장, 엽폭, 엽수 비교.

- 보광처리에 따른 생육지수의 차이는 나타나지 않았는데, 실험 종료일이 다소 지연되면서 보광에 의한 생육 향상 효과가 상실했던 것으로 판단됨. 실험중 정식 후 30일 이후 개체간 잎이 겹쳐지는 등 간섭현상이 발생하였기 때문임. 추가 실험을 통해 정확한 보광효과 입증 필요할 것으로 판단됨.
- 엽록소형광반응을 측정했을 때 Fv/Fm(최대양자수율)은 White LED와 QD-LED가 무보광(대조구)에 비해 높았으나 통계적 유의성은 나타나지 않았음. 위의 결과를 종합해 볼 때, 적로메인 재배시 B+R 혼합광과 QD-LED 조사가 무보광(대조구)에 비해 양호한 수치를 나타내어 생육에 효과적인 것으로 판단됨.



[그림 286] 대조구(무처리구)와 3가지 광원에서 재배한 적로메인의 Fv/Fm(최대양자수율) 비교.

- 보광처리의 의한 적로메인의 내적 품질은 보광처리 효과는 나타나지 않았는데, 특히 QD광에 의한 내적 품질 증가효과는 나타나지 않았음.
- 아래 그림에서 보듯이 수확일이 지연되면서 적로메인의 고유한 적색이 소멸되었는데 이로 인해 안토시아닌 함량 등 내적품질에 대한 보광효과가 나타나지 않았음.

[표 76] 보광처리한 적로메인의 총페놀과 안토시아닌 함량과 DPPH 활성 비교

	Total phenol (mg GAE/ml)	Anthocyanin (mg/100g FW)	DPPH (%)
Control	0.25±0.03	2.38±0.64	29.0± 4.5
Blue+Red	0.15±0.02	3.91±2.92	13.5± 2.3
QD LED	0.10±0.02	2.29±1.06	12.7± 7.0
White LED	0.28±0.04	3.18±0.97	25.2±16.9



[그림 287] 보광 처리한 적로메인 상추의 수확 당일 외관 비교(38일째).

#### 라. 기존 LED 대비 QD-LED 전력소모량 비교

- 폐쇄형 육묘 시스템에 적용했던 30W급 광원의 월간전력사용량 및 월간요금 등을 비교한 결과, 상추묘과 토마토묘 생육에 우수한 결과를 보였던 QD광이 다른 광원에 비해 우수한 경제성을 보였는데, 특히 같은 생육증대 효과를 기대했던 B+R광과 비교할때 예상월간요금에서 25%의 절감효과가 나타남.

[표 77] 폐쇄형 육묘시스템에 적용한 30W급 광원의 전력사용량 외 (15~20cm 거리에서 200 μmole/m<sup>2</sup>.s)

	예상월간전력 (Kwh)	예상월간요금 (원)	전력(W)	전압(V)	전류(mA)
QD-LED	27.934	2,951	38.6	225	0.172
삼파장 형광등	20.736	2,198	29.0	225	0.129
일반 B+R	28.846	3,059	41.2	226	0.182
빛솔 PG311 (B+R)	21.770	2,308	30.2	225	0.134
빛솔 PG210 (B+R)	10.754	1,140	15.2	226	67.25

- 토마토 등 과채류 보광용으로 개발한 100W QD광은 백색 LED와 비교할 때 에너지 사용 절감 효과는 나타나지 않았음.

[표 78] 보광처리에 사용한 100W급 광원의 전력사용량 외 (50-60cm 거리에서 200  $\mu$  mole/m<sup>2</sup>.s)

	예상월간전력 (Kwh)	예상월간요금 (원)	전력(W)	전압(V)	전류(mA)
QD-LED	73.426	7,788	101.4	208	0.487
White LED	70.326	7,512	96.8	208	0.465

### 최종 결과

- 최종일은 재배 3주째 적로메인의 개체당 지상부 생체중은 0cm, 10cm, 20cm평균으로 보면 QD2가 2.17g으로 1.61g이었던 B+R(기존 LED)보다 35%나 무거웠으며, 인공광중에서 가장 생육이 저조하였던 B(1.29g)와 비교하면에서 68%의 생육증가를 보였음.
- QD계열의 지상부 생체중의 편차 평균(10cm, 20cm)은 22.25%로 평균 77.63%를 보인W-LED와 비교하면 3.5배의 균일도 향상을 가져옴.
- 0cm와 비교한 10cm, 20cm위치의 적로메인 엽장 편차는 QD2에서 -3.9%, 3.0%로 평균 15%의 편차를 보인 B+R광에 비해 5배의 묘 균일도가 향상을 보였음.
- 파종 최종일은 재배 3주째 적로메인의 개체당 지상부 생체중은 0cm의 QD2가 가장 무거웠으며 다음으로 R, W-LED 순이었으며, 10cm와 20cm에서도 QD2에서 가장 무거운 생체중을 보였는데, QD2의 평균 개체당 지상부 생체중은 2.26g으로 1.70g이었던 B+R의 33% 향상되었음.
- 적로메인의 개체당 생체중의 거리별 편차에서도 QD2가 가장 적었는데 10cm에서 QD2는 8%를 보여 16.48%의 보인 B+R보다 205%나 균일도가 향상되었음.
- 토마토묘 소질에 있어 중요한 인자인 경경이 광원으로 부터의 거리에 관계없이 QD1광에서 가장 두꺼웠으며, 엽장에서 가장 길게 나타났다. 이에 반해 초장은 W-LED대비 15.5% 억제되는 결과를 보였음.
- 토마토묘의 균일도(0cm와 20cm거리의 편차 비교)를 비교한 결과 W-LED광 대비 QD1광이 엽장 871%, 엽폭 553%, 경경 610% 향상하였으며, 초장도 178%로 B+R(286%) 다음으로 높아 인공광을 이용한 토마토묘 생산에 가장 적합한 광원이라 판단됨.
- QD-LED를 조사하였던 적로메인 상추는 발아에서 유의적인 차이가 없었고, 생체중과 붉은색 발현 정도와 저광도에서 엽장과 엽폭이 양호하였던 QD1, QD2가 식물공장에서 적로메인 생산을 위한 인공 광원으로 적합한 것으로 판단됨.
- QD-LED를 조사하였던 적로메인 상추의 총페놀함량과 안토시아닌함량이 증가하였음.
- 인공광 적용 폐쇄형 식물공장에서 재배하기에 적합한 적무새싹은 QD-LED에서 광조사 후 자엽의 녹색발현이 우수하였고 안토시아닌 함량도 Blue광과 함께 향상시키는 효과가 인정되었음.
- QD-LED조사한 적무 새싹은 가장 낮은 대장균수를 나타내기도 하였음.
- 방울 토마토 재배중 100W용 QD-LED 보광의 효과로는 4화방에서 화방당 무게가 30% 증가하였고 기형화 발생 억제효과(18.7%에서 3.2%로 감소)를 발견할 수 있었음.
- 겨울철 적로메인 상추 재배시 QD LED 보광은 생육을 양호하게 하는 효과가 있었지만, 내적 품질

향상 효과는 없었음.

- 폐쇄형 욕조 시스템에 적용했던 30W용 QD-LED는 기존 B+R LED등과 비교할 때 예상월간요금에서 25%의 절감효과를 보였음.

## 2-7절. 연구 개발 성과

### ○ 연구개발 수행방법

#### ■ 연구수행 내용 및 결과

연구 범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	결과
<ul style="list-style-type: none"> <li>광 균일도 90%이상(110도 배광각유지)의 등기구 구조 설계기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>기존의 반사형의 원형 등기구 다운라이트 구조에서 벗어나, 넓은 면적에 대한 고균일 특성을 가지는 새로운 형태의 구조 설계 필요성 인식</li> <li>Linear형 반사형 조명설계 및 100W급 직하형 투광등 식물성장조명의 설계에 따른 QD 소재 적용방안 연구</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>최종 목표달성 및 실제 사업화 측면에서의 식물성장조명 설계반영</li> <li>이에 따른 브라켓 고정형 Linear 식물성장조명 600mm, 1,200mm의 설계 및 시제품 제작</li> <li>또한 화훼류, 과일작물 등 상대적으로 높은 광보상점이 요구되는 작물의 적용을 위한 높은 등기구효율을 가진 고출력 100W급 직하형 투광등 식물성장조명 설계 및 시제품 제작</li> <li>광균일도 향상을 위한 LED PKG 파장 별 Pattern 반영 설계</li> <li>고배광 특성을 위한 PCB 비매립형 등기구 형태 설계 (투광부 Guide 배제)</li> <li>QD 소재를 적용하기 위한 사출캡 개발 및 Spectrum 최적화 진행</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>등기구효율 (고 PPFD유지) 80%이상의 초 절전형 등기구 구조기술개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>100W급 직하형 투광등을 이용한 높은 등기구효율을 갖는 식물성장조명 구조설계 및 시제품 제작</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>100W의 고출력 조명의 특성에 따른 PPFd 조건 확보 (1,430umol/m<sup>2</sup>/s)</li> <li>직하형 구조 적용을 통한 투광부 Acryl Cover의 흡수율 고려(90%), 등기구효율 90.7% 달성</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>고 방열 조명등기구 설계/개발 (12W/mK)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>방열복합소재 개발을 위한 사출성형용 고탍량/고분산 열전도성 컴파운드 개발</li> <li>열전도성 컴파운드의 사출성형 개선을 위한 유동성 강화 첨가제 적용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>열전도성 컴파운드 사출을 위한 탄소 및 고분자 나노융합체의 함량조절 실험 진행, Graphite 50% 함량조건을 최적화로 선정, 향후 개선방향 모색</li> <li>고유동성 강화를 위한 PBT 첨가제 선정 및 적용, 최종 19.5W/mk의 수평 열전도도 특성 확인</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>70%이상의 양자효율을 갖는 비카드뮴계 Red QD 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>비Cd계 QD소재 합성을 위한 Core 및 Shell 구조 선정</li> <li>Shell Capping층 증가에 따른 Intensity 증가경향성 확인 및 Spectrum 구현실험 진행</li> <li>Core 및 Shell 합성 전구체 조성비 최적화 및 ZnS 두께조절</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>InP/ZnS 기반의 QD소재 구조 선정</li> <li>Phosphine : Sulfur비율에 따른 여기파장대역 및 양자효율 확인</li> <li>ZnS 전구체의 injection 횟수에 따른 다층(2층 및 3층) 구조의 shell 합성을 통한 최적의 밴드갭 특성 확보</li> <li>Indium : Phosphor 전구체 투입 몰비에 따른 여기 파장대역 및 PL Spectrum 개선을 통한 양자효율 특성 확인</li> </ul>

연구범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	결과
<ul style="list-style-type: none"> <li>Red 퀀텀닷의 필름의 안정성 확보 (6090 TEST를 통한 검증, 10%이내) 및 필름대량생산기술 확보</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>퀀텀닷 합성 공정상의 불순물(solvent) 제거 및 분산안정화 구조 설계</li> <li>퀀텀닷, 형광소재 Hybrid 공정 연구개발</li> <li>Roll-to-Roll 기술 적용, 필름제작을 통한 대량생산기술 확보</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>반치폭 60nm의 InP계 Green &amp; Red QD 합성, 양자효율 : 70.7% 달성</li> <li>퀀텀닷 합성용액의 잔여 Solvent인 Octadecene을 정제하기 위한 원심분리 5회 공정 도입</li> <li>퀀텀닷 합성용액에 ZnSt<sub>2</sub>와 Hollow Bead 첨가 후 건조과정을 통한 퀀텀닷 분말 공정 확보</li> <li>무기형광소재 첨가 비율에 따른 소재 안정성 평가</li> <li>Ball Mill 장비를 이용한 경화용액 분산 및 Roll-to-Roll 공정 적용에 따른 대면적 InP Red QD 필름 제작 및 양산화 가능성 점검 (폭 310mm x 길이 100m, 두께 120um 제작, 필름균일도 99.1%)</li> </ul>
태양전지모듈일체형 에너지 절약형 LED 조명 전력공급시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>태양전지모듈을 적용한 전원공급장치 설계 및 시스템 제작</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>작물의 일조시간을 고려, 15W x 4hr 용량의 3배를 가진 180Whr급 용량의 배터리 및 24V 출력전압, 7.5Ahr의 축전지 모듈 설계</li> <li>전원공급부 재설계에 따른 25W급 퀀텀닷 식물성장등 동작시연</li> </ul>
원격제어 시스템 결합형 ICT 제어 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>무선통신제어 기술을 적용한 퀀텀닷 식물성장조명의 디밍제어 기술 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>원격제어장치 및 Zigbee 송신모듈을 통한 무선송신 모듈 출력제어 회로 설계</li> <li>SMPS의 수신모듈 소프트웨어를 통한 10단계의 휘도제어 회로 및 제어보드 설계</li> <li>제어회로의 출력파형 확인을 통한 안정적인 원격제어 시스템 확인</li> </ul>
100W급 시제품 제작 및 특성분석, 안전인증	<ul style="list-style-type: none"> <li>반사형 Linear 600mm (20W, 40W급) 식물성장등 설계 및 초도품 제작완료</li> <li>반사형 Linear 1,200mm (40W, 80W급) 식물성장등 설계 및 초도품 제작완료</li> <li>직하형 투광등 (100W급) 식물성장등 설계 및 초도품 제작완료</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>신규 설계조명에 대한 식물성장 최적화 파장조건 도출을 위한 퀀텀닷 필름, 사출캡 농도변화, LED PKG 파장 별 비율실험 진행</li> <li>-안전인증 취득(3건)</li> <li>-IP65 방진방수등급 확보</li> <li>-NET신기술인증 취득 (지엘비전)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>기존 LED 광원과 비교한 상추의 육묘 균일도 20% 향상 연구</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>기존 LED광원 및 대조구와 비교하여 QD-LED가 가진 균일성으로 알려져, 종자의 발아 및 생육 균일성에 대한 비교 실험을 진행</li> <li>과채류 육묘에 도장을 억제하기 위하여, 기존 광원 대비 QD-LED가 가진 특성을 비교</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>광발아 종자(상추), 암발아 종자(무), 광 무광성 종자(시금치)의 발아율 및 생육지수를 비교하여 기존 광원들과의 차이점을 확인</li> <li>토마토 종자를 공시재료로 하여 발아 및 육묘의 균일성과 도장 억제에 대한 효과를 비교하기 위하여 수행</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>생육일수 단축 및 향산화 물질 등 내적 품질</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>향산화 물질 등의 내적 품질 향상을 위한 유색 잎채소를</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>유색계통의 광발아 종자인 몇 가지, 상추(적치마, 붉은 로메인, 바울</li> </ul>

연구범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	결과
향상	대상으로 광 종류에 따른 발아율 비교	그린, 시저스 그린)를 대상으로 발아율, 발아세 및 생육지수를 비교 분석
◦ QD-LED 조명 적용 가능한 식물병원균 탐색	- QD LED조명에 대한 병원성 미생물의 방제 연구를 하기 위한 상추와 토마토에 병해를 일으키는 주요 병원성 미생물을 탐색하여 목록을 작성	- 대상균: <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Phytophthora drechsleri</i> , <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> , <i>Sclerotinia minor</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Pectobacterium carotovorum</i> , <i>Xanthomonas campestris</i>
◦ QD-LED 조명을 이용한 식물병원균 방제 기내검정	- QD LED조명과 기존 LED조명을 이용한 식물 병원균의 군사 성장 억제 효과 확인 및 억제율을 측정하여 병원성 미생물의 방제 효과 확인	- QD LED조명 상자 안에서 배양한 병원성 미생물의 성장억제정도 측정 - 광도의 변화에 따른 병원성 미생물의 성장 억제 효과 확인 및 QD LED 조명에 의한 식물병원 미생물 성장 억제 효과 확인
◦ QD-LED 조명의 파장별 미생물 성장에 미치는 영향 조사	- QD LED조명과 기존 LED조명의 효과를 확인하고 차이점을 비교하여 QD LED의 활용 가능성을 확인하기 위하여 조명 파장별 병원성 미생물의 성장 및 억제효과 조사	- QD LED조명을 포함한 6종류의 조명을 설치하여 조명에 따른 병원성 미생물의 성장과 억제효과를 측정 및 확인
◦ 기존 LED 광원과 비교한 육묘 균일도 30% 향상	- 1차년도 육묘 균일도 20% 향상 연구시 적용 되었던 QD-LED광원보다 광도가 높은 광원을 사용하여 보다 높은 육묘 균일도 향상을 위하여 광 처리에 따른 엽채류 및 과채류의 생육 비교 실험을 진행함	- ‘적로메인’ 상추를 대상으로 QD-LED광 이외 청색광(Blue), 적색광(Red), 혼합광(Blue+Red)과 대조구(형광등: white)으로 조사하여 비교 - 토마토와 오이묘를 대상으로 접목(핀접)한 후, 몇 가지 광하에 활착률과 생육을 조사하여 균일도 비교
◦ 생육일수 단축 및 항산화 물질 등 내적 품질 향상	- 항산화 물질 등 내적 품질 향상을 위한 유색 잎채소인 ‘적로메인’을 대상으로 광 처리에 따른 광합성 속도와 기능성 물질 비교	- 여러 광하에 ‘적로메인’ 상추 재배 후, 기능성 물질등을 조사(현재 진행중)
◦ 단위면적당 광원 및 전력 소모량 30% 절감	- 재배중 보광이 요구되는 과채류를 대상으로 기존 보광등과 비교하여 시설 온실조건에서 단위면적당 광원 및 전력 소모량 등을 비교	- 기존에 판매되고 있는 몇 가지 광과 비교하여 QD-LED광의 예상전력, 전력, 전압, 전류, 그리고 예산월간요금 비교
◦ QD-LED 각각의 파장별 식물병원성 곰팡이 군사 성장 모니터링	- QD LED 각각의 파장에 따른 식물병원성 곰팡이에 대한 군사 성장억제효과를 확인하고 군사의 성장억제율을 조사	- BLUE(450nm), RED(660nm), Narrow RED, Wide RED(M1), Wide RED(M2) 조명의 파장별 식물 병원성 곰팡이의 군사 성장억제율 측정
◦ QD-LED의 파장대 비율별 식물 병원성 곰팡이 군사 성장 모니터링	- QD LED 파장대의 비율에 따른 식물병원성 곰팡이에 대한 군사 성장억제효과를 확인하고 군사의 성장억제율을 조사	- BLUE(450nm), RED(660nm), Narrow RED, Wide RED(M1), Wide RED(M2) 조명의 비율에 따른 식물병원성 곰팡이의 군사 성장억제율 측정
◦ QD LED를 이용한 광	- QD LED조명 내에서 온도, 광도,	- QD LED조명의 높이를 15cm, 30cm,

연구범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	결과
처리 방법 검증	조명의 높이에 따른 식물병원성 미생물의 생장을 확인하고 생장억제율을 조사	50cm로 조정하며 높이와 광도 조건에 따른 식물병원성 미생물의 균사 생장억제율 측정 및 비교
◦ QD LED 각각의 파장별 유용미생물의 생장 모니터링	- QD LED조명에 대한 유용미생물의 생장 연구를 하기 위한 주로 사용되는 토양 유용세균과 효모, 생물학적 방제제로 사용되는 곰팡이를 탐색하여 목록 작성	- 유용세균 <i>Pseudomonas fluorescens</i> subsp. <i>cellulosa</i> <i>Pseudomonas putida</i> <i>Lactobacillus acidophilus</i> <i>Bacillus megaterium</i> <i>Rhodobacter sphaeroides</i> - 유용효모 <i>Saccharomyces cerevisiae</i> - 유용곰팡이 <i>Trichoderma harzianum</i> <i>Trichoderma viride</i>
◦ QD LED 각각의 파장별 유용세균과 효모의 콜로니 생장 모니터링	- QD LED조명을 통한 각각의 파장별 선발 유용세균과 효모의 콜로니 생장 모니터링	- BLUE(450nm), RED(660nm), Narrow RED, Wide RED(M1), Wide RED(M2)의 조명을 30 cm로 조정하여 파장별 유용세균 및 효모의 콜로니 생성을 측정
◦ QD LED 각각의 파장별 곰팡이의 균사 생장 모니터링	- QD LED조명을 통한 각각의 파장별 선발 곰팡이의 콜로니 생장 모니터링	- BLUE(450nm), RED(660nm), Narrow RED, Wide RED(M1), Wide RED(M2)의 조명을 30 cm로 조정하여 파장별 유용곰팡이의 균사 생장을 측정
◦ 100W급 QD LED의 조건에서 작물의 엽권 미생물 조사	100W급 LED와 100W급 QD LED 조건에서 성숙기와 유묘기의 토마토 엽권 미생물 콜로니 변화 모니터링	- 100W 삼파장 형광등, Blue+Red LED, 100W QD LED를 보광처리한 15주, 4주간 키운 토마토와 무보광 토마토의 엽권에 존재하는 미생물군집의 숫자를 비교

## ■ 연구개발 추진전략 및 방법

### ○ 주관기관(철원플라즈마산업기술연구원)

- 철원플라즈마연구원은 기본적으로, 요소기술인 고효율 양자점 소재를 합성하는 기술을 확보하고, 이를 통하여 신뢰성이 확보되는 여기필름을 개발함.
- 개발한 양자점 합성 기술과 여기필름 공정 기술을 참여기업인 지엘비전에 기술이전함.
- 양자점 소재를 이용한 에머슨 상승효과를 입증하고 이를 통하여 식물성장 속도 향상에 대한 이론적 고찰을 강원대와 함께 추진함.

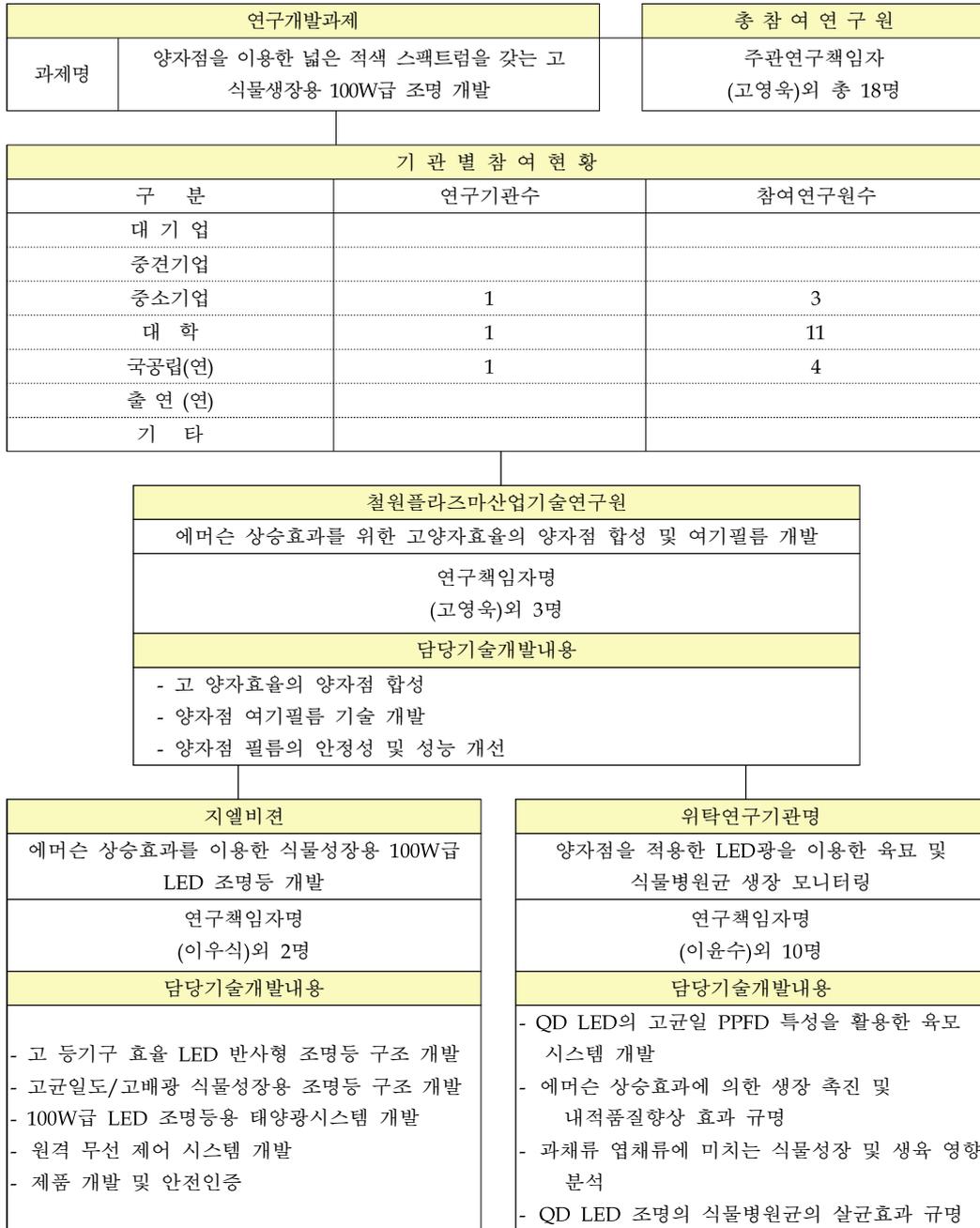
### ○ 참여기관(지엘비전)

- 지엘비전은 우선, 높은 광균일도(광집중 방지)를 갖는 고등기구효율의 100W급 LED 조명등을 설계 개발하며, 철원플라즈마연구원에서 개발한 여기필름을 적용하여 에머슨 상승효과 식물 성장용 조명등을 완성함.
- 개발한 제품의 유효한 사용을 위해서, 에너지 절감형을 위한 태양전지모듈 기술을 융합하고,

시설하우스 제어시스템과 무선결합이 가능한 제어 시스템을 구축함.

- 개발한 제품의 판매를 위한 안전인증 등을 취득함
- 지엘비전은 또한, 철원플라즈마연구원에서 개발한 대량 양자점 합성공정과 고속 여기필름 제작 공정 기술을 이전받아 양산화 준비를 진행함.
- 협동기관(강원대학교)
  - 참여기관이자 학문연구기관인 강원대는 플라즈마연구원과 지엘비전이 개발한 양자점을 사용한 RED 스펙트럼을 강화한 에머슨상승효과의 식물성장용 LED 조명등의 유효인자를 검토하고 식물생육, 광합성, 식물병원균과의 관계, 및 엽채류 및 과채류에의 적용시의 문제점 여부등을 모니터링/검토하며, 이러한 결과를 상호 교환함.
  - QD LED의 식물 성장 연구 분야
    - 육묘 균일도 분야는 춘천소재 호반육묘, 춘천육묘의 협조로 현장 적응성 검토함
    - 폐쇄형 식물공장과 보광연구 내용을 강원도 농업기술원과의 협의함
  - 연계 전문가 확보 및 기술정보 수집
    - 국내 ICT 농업의 연구를 주도하고 있는 생물환경조절학회 회원을 중심으로 전문가 확보 및 기술정보 수집하여 정보를 상호 공유함

■ 연구개발 추진체계



■ 연구개발 추진일정

1차년도															
일련 번호	연구내용	월별 추진 일정												연구개발비 (단위:천원)	책임자 (소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	에머슨 상승효과를 위한 비Cd계 양자점 합성 기술	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	100,000	고영욱 (CPRI)
2	양자점 광여기 필름 제작 기술 개발			=	=	=	=	=	=	=	=	=	=		
3	100W급 고투출 소재 적용 등 기구 설계	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=		
4	100W급 LED 등기구 구조 최적화 기술 설계	=	=		=	=				=	=	=	=	183,400	이우식 (지엘 비전)
5	고광균일도 광학 설계	=	=	=	=			=	=						
6	100W급 태양전지 시스템 설계 및 전원공급 시스템 개발	=	=	=	=	=	=	=	=						
7	QD LED의 고 균일 PPFD 특성을 활용한 육묘 시스템 개발			=	=	=	=	=	=	=				90,000	이윤수 (강원대)
8	QD LED의 Emerson Enhancement effect에 의한 성장 촉진 및 내적 품질 향상 효과 구명			=	=	=	=	=	=	=					
9	QD LED의 과채류 생산 시설의 보광 효과 구명을 위한 사전조사											=	=		
10	QD LED 조명 적용 가능한 식물병원균 탐색	=	=	=	=	=									
11	QD LED 조명을 이용한 식물병원균 방제 기내 검정						=	=	=	=	=	=	=		
12	QD-LED 조명의 파장별 미생물 생장에 미치는 영향 조사				=	=	=	=	=	=					
2차년도															
1	에머슨 상승효과를 위한 비Cd계 양자점 합성 기술	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	100,000	고영욱 (CPRI)
2	양자점 광여기 필름 제작 기술 안정화	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=		
3	100W급 고투출 소재 적용 등 기구 설계	=	=	=	=										
4	100W급 LED 등기구 구조 최적화 기술 설계 및 제작	=	=	=	=	=	=	=	=	=				149,200	이우식 (지엘 비전)
5	100W급 태양전지 시스템 설계 및 전원공급 시스템 개발	=	=	=											
6	원격 무선 통신제어 기술 개발	=	=	=	=	=	=	=	=						
7	100W급 보광등 시제품 제작				=	=	=	=	=	=	=	=	=	71,500	이윤수 (강원대)
8	QD LED의 고 균일 PPFD 특성을 활용한 육묘 시스템 개발					=	=	=	=	=					
9	QD LED의 Emerson Enhancement effect에 의한 성장 촉진 및 내적 품질 향상 효과 구명					=	=	=	=	=	=				
10	QD LED의 과채류 생산 시설의 보광 효과 구명을 위한 사전조사		=	=	=	=	=								
11	QD LED 각각의 파장별 식물병원성 곰팡이 균사 성장 모니터링	=	=	=	=	=	=	=	=	=					
12	QD LED 파장대 비율별 식물병원성 곰팡이 균사 성장 모니터링	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=		
13	QD-LED를 이용한 광 처리 방법 검정			=	=	=	=	=	=	=					
3차년도															
일련 번호	연구내용	월별 추진 일정												연구개발비 (단위:천원)	책임자 (소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	에머슨 상승효과를 위한 비Cd계 양자점 대량합성 기술 정립	=	=	=	=	=								100,000	고영욱 (CPRI)
2	양자점 광여기 필름 안정성 향상	=	=	=	=	=									
3	100W급 LED 등기구 구조 최적화 완성	=	=											217,600	이우식 (지엘 비전)
4	100W급 보광등 시제품 제작 및 안전인증				=	=	=	=	=	=	=	=	=		
5	Quantum Dot (QD)반사형 LED조명 설치를 통한 포적적용시험(토마토)	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	108,500	이윤수 (강원대)

○ 연구개발 성과내역

■ 논문게재 성과

No	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
1	계절별 수송 온도가 MA 포장한 어린잎 비트의 저장성에 미치는 영향	한국포장학회지	최인이	24(2)	대한민국	한국포장학회	비SCI	2018. 09.	1226-0207
2	Effect of fruit size on fruit quality, shelf life and microbial activity in cherry tomatoes	AIMS Agriculture and Food	Mohammad Zahirul Islam	4(2)	USA	AIMS Press	SCIE	2019. 04.	2471-2086
3	Various Light Quality including QD-LED Affect Growth and Leaf Color of Red Romaine Baby Leaf Lettuce	Natulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca	Su Jung HAN	47(3)	네델란드	Elsevier	SCIE	2019. 05.	0255-965X
4	LED와 Quantum dot (QD-LED) 처리가 새싹 적무의 생산과 품질에 미치는 영향	시설원예식물공장학회지	최인이	28(3)	대한민국	시설원예식물공장학회	비SCI	2019. 07.	2288-0992
5	Study on Improvements in the Emission Properties of Quantum-Dot	New Physics: Sae Mulli	김수정	69(8)	대한민국	한국물리학회	비SCI	2019. 08.	0374-4914
6	Effect of modified atmosphere packaging on quality and shelf life of baby leaf lettuce	Quality Assurance and Safety of Crops & Foods (online)	M.Z. Islam	-	독일	International Association for Cereal Science and Technology	SCIE	2019. 09.	1757-837X
7	Quantum Dot LED를 이용한 상추 주요 병원성 곰팡이 및 세균의 생장억제효과 기내실험	한국식물병리학회지	이현구	25(3)	대한민국	한국식물병리학회	비SCI	2019. 09.	1598-2254

■ 특허성과

No	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국 명	출원			등 록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	백라이트유닛 및 이를 포함하는 표시장치	대한민국	유왕건 외	2017.09.08.	10-2017-0115436	유왕건 외	2019.09.16.	10-2023607	50%
2	조명장치	대한민국	이우식	2017.11.02.	10-2017-0145267	이우식	2018.10.08.	10-1908239	100%
3	양자점 파우더 및 이를 이용한 광학부재	대한민국	고영욱 외	2018.11.12.	10-2018-0138017				50%
4	백라이트유닛 및 이를 포함하는 표시 장치	대한민국	고영욱 외	2018.11.30.	10-2018-0151639				50%

○ 연구결과

■ 기술적 성과 - 퀀텀닷 소재 적용 식물성장 조명제품 Line-Up

- 10W, 20W급 퀀텀닷 LED 반사형 식물성장조명

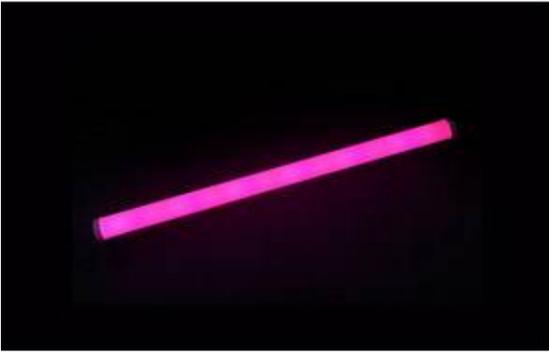


- High Lighting Fixture Efficiency (>90%)
- Uniform PPFd for Wider Range (Beam Angle: 115°)
- Wide Red Spectrum(include NIR) using QD
- Perfect Lighting Spectrum for Plant
- High Photosynthesis
- Dustproof & Waterproof (IP65)



Voltage	220V
Power	10W
PPFD	110 $\mu$ mol/m <sup>2</sup> /s
Size	Φ190 x 78mm (6 inch)

- 20W ~ 40W급 퀀텀닷 LED Linear 반사형 식물성장조명(600mm)

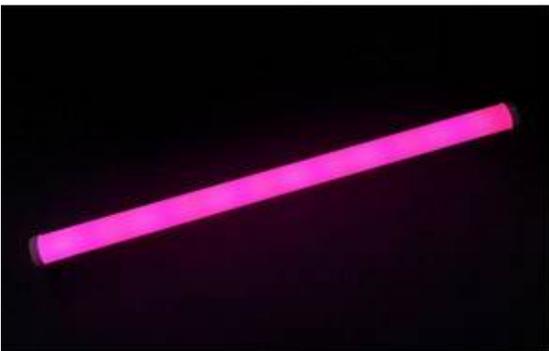


- High Lighting Fixture Efficiency (>90%)
- Uniform PPFd for Wider Range (Beam Angle: 130°)
- Wide Red Spectrum(include NIR) using QD
- Perfect Lighting Spectrum for Plant
- High Photosynthesis
- Dustproof & Waterproof (IP65)



Voltage	220V
Power	20W / 40W
PPFD	220 $\mu$ mol/m <sup>2</sup> /s, 440 $\mu$ mol/m <sup>2</sup> /s
Size	600mm x 62mm

- 40W ~ 80W급 퀀텀닷 LED Linear 반사형 식물성장조명(1,200mm)



- High Lighting Fixture Efficiency (>90%)
- Uniform PPFd for Wider Range (Beam Angle: 130°)
- Wide Red Spectrum(include NIR) using QD
- Perfect Lighting Spectrum for Plant
- High Photosynthesis
- Dustproof & Waterproof (IP65)



Voltage	220V
Power	40W / 80W
PPFD	440 $\mu$ mol/m <sup>2</sup> /s, 800 $\mu$ mol/m <sup>2</sup> /s
Size	1,200mm x 62mm

- 100W급 쿼텀닷 LED 직하형 투광등 식물성장조명



- High Power Plant Lighting (>100W)
- Uniform PPFd for Wider Range
- Wide Red Spectrum(include NIR) using QD CAP
- Tunable Wavelength Quantum Plant Lighting
- High Photosynthesis



Voltage	220V
Power	100W
PPFD	1500 $\mu$ mol/m <sup>2</sup> /s
Size	Φ254 x 115mm (10 inch)

- 개발제품의 기술수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복 제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해 결	정책 자료	기타 (연구)
개발제품의 기술수준	✓					✓	✓		✓	✓

■ 경제적 성과  
- 사업화 성과

항목	세부항목			성 과	
사업화 성과	매출액	개발제품	개발후 현재까지	1.55억원	
			향후 3년간 매출	30억원	
		관련제품	개발후 현재까지	3억원	
			향후 3년간 매출	58억원	
	시장 점유율	개발제품	개발후 현재까지	국내 : - % 국외 : - %	
			향후 3년간 매출	국내 : 3 % 국외 : - %	
		관련제품	개발후 현재까지	국내 : - % 국외 : - %	
			향후 3년간 매출	국내 : 4.9 % 국외 : - %	
	세계시장 경쟁력 순위	현재 제품 세계시장 경쟁력 순위			5위
		3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위			3위

- 사업화 계획 및 매출실적

항 목	세부 항목	성 과			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	참여기업(주)지엘비전 기술실시 중			
	소요예산(백만원)	2,200			
	예상 매출규모 (억원)	현재까지	3년후	5년후	
		1.55	3,100	7,800	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년후	5년후
		국내	-	3	7.5
국외		-	-	-	
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획	1. Barrierless QD Film QLED Display 2. QD Resin Micro LED Display 3. QD Plantgrowth Smartfarm 4. High CRI QD LED Lighting 5. QD Photovoltaic Solar cell			
무역 수지 개선 효과	(단위: 억원)	현재	3년후	5년후	
	수입대체(내수)	-	-	-	
	수 출	-	-	-	

## 3장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

### 3-1절. 개발 목표

- 고균일 PPFD 및 퀀텀닷 소재를 이용한 에머슨 상승효과의 고성장용 100W급 LED조명 개발
  - 양자효율 70%이상의 비카드늄계 Red QD 개발 및 필름적용에 의한 광합성 상승효과 등기구 개발
  - 광 균일도 90%이상(110도 배광각유지)의 등기구 구조 설계기술 개발
  - 등기구효율 (고 PPFD유지) 80%이상의 초 절전형 등기구 구조기술개발
  - 고 방열 조명등기구 설계 / 개발
  - 태양전지모듈일체형 에너지 절약형 LED 조명등 전력공급시스템 개발  
(단위 면적당 전력 소모량 30% 절감)
  - 원격제어 시스템 결합형 ICT 제어 기술 개발
  - 시제품 제작 및 안전인증 획득
  
- QD LED 인공광 효과에 따른 식물생육 및 식물병원성 미생물 살균 효과 확인
  - 퀀텀닷을 이용한 Red 강화 LED 광원의 작물별(상추, 토마토) 폐쇄형 식물공장의 광조건 구명
  - LED 광원의 과채류(토마토) 보광 조건 구명
  - 균일 LED 광원에 의한, 엽채류(상추) 식물의 성장 균일도(기존 대비 20% 이내) 및 생육 속도 (기존대비 20% 이상) 검정
  - 생육일수 단축 및 항산화 물질등 내적 품질 향상 여부 검정
  - 식물병원성 미생물 살균효과 및 미생물에 미치는 영향 조사
  - 식물병원성 곰팡이, 균사 성장 모니터링 (과장대별)

### 3-2절. 개발 목표 달성여부

#### ■ 연구개발 성과 목표 및 달성도

연구개발의 목표 및 평가 기준		가중치 (%)	달성도 (%)	연구개발 성과
퀀텀닷 적용 LED 조명등 분야	1. 고풍균일도, 고통기구 효율의 특성을 갖는 등기구 구조 설계를 갖는 등기구 구조 설계 -광균일도(1M <sup>2</sup> 기준) > 90% -등기구효율 >80% -배광각도 >110°	25	100	-직하형 투광등 100W급 등기구 설계, 제작 광균일도(1M <sup>2</sup> 기준) : PPFd 균일성 - 90.61% 등기구효율 : 90.7% (공인시험성적서) 배광각도 : 112.3° (배광기 자체평가)
	2. 고풍자효율 비카드뮴계 RED 퀀텀닷 소재 합성 및 안정성이 뛰어난 여기 필름 개발 -비Cd계 양자효율 > 70% -환경(60℃90%RH) 변화율 < 10% -필름 대량생산 기술 확보	25	100	-InP계 퀀텀닷 소재 합성 성공 -양자효율 : 70.7% -퀀텀닷 소재를 이용한 여기필름 안정성 -변화율(60℃90%RH, 1000Hr) : 8.02% -RTR기반의 퀀텀닷 필름 대량생산 공정 확보
	3. 12W/mK이상의 고풍열 사출소재 개발 및 시제품 제작	10	100	-그라파이트-고분자 복합소재를 이용한 고풍열 사출소재 기술 확보 -열전도도 : 19.5W/mK
	4. 태양전지모듈일체형 에너지 절약형 LED 조명등 개발	10	100	-태양광전지 적용 모듈 시제품 제작 완료 -단위면적당 광원에 따른 전력소모량 및 월간요금 비교 [표69] 참조 -기존 시스템 대비 예상월간 전력 34.8%, 예상월간요금 35.2% 절감 개선 -스마트팜 시스템 최적화에 따라, 작물별로 최적화된 광량조절 및 조명의 사후개선에 따라 절감 개선폭이 향상될 수 있음.
	5. 원격제어 시스템 결합이 가능한 무선제어 시스템 개발	10	100	- 원격제어 기능의 시제품 제작 완료
	6. 퀀텀닷을 이용한 RED 스펙트럼이 강화된 LED 조명등 시제품 제작 및 안전인증	20	100	-퀀텀닷 식물등 제품 개발: (등기구 6종) 6" 반사형 다운라이트 10W, 12W, 70W 모듈 8" 반사형 다운라이트 40W 10" 반사형 다운라이트 100W 반사형 Linear 600mm 20W, 40W 반사형 Linear 1,200mm 40W, 80W 직하형 투광등 100W -안전인증 취득(3건) -IP65 방진방수등급 확보 -NET신기술인증 취득(지엘비전)
퀀텀닷 적용 조명등의 효과 검증 분야	1. QD LED의 고 균일 PPFd 특성을 활용한 육묘 시스템 개발	15	100	- 기존 LED와의 차이점 및 균일도: Blue+Red LED 대비 청로메인 생체중 350%, 엽장 500%, 적로메인 생체중 33% 묘 균일도 향상, W-LED 대비 토마토묘 엽장 871%, 엽폭 553%, 경경 610% 균일도 향상
	2. QD LED의 Emerson Enhancement effect에 의한 성장 촉진 및 내적 품질 향상 효과 구명	20	100	- 엽채류 생육일수 단축 및 항산화 물질 등 내적 품질 향상: 적로메인 상추 총 페놀함량과 안토시아닌 함량 증가
	3. QD LED의 과채류 생산 시설의 보광 효과 구명	20	100	- 과채류 생산 시설의 보광 효과: 화방당 무게 30% 증가, 기형과 발생 억제 - 겨울철 적로메인 보광 효과: 생육 양호 - 단위면적당 광원 및 전력 소요량: 기존 Blue+Red LED 대비 예상월간요금 4% 절감효과
	4. Quantum Dot (QD) LED조명이 식물 엽권 및 근권에서의 미생물 군집에 미치는 영향 실내 조사	15	100	- QD-LED 조명 적용 가능한 식물병원균 탐색 - QD-LED 조명을 이용한 식물병원균 방제 기내검정

				- QD-LED 조명의 파장별 미생물 생장에 미치는 영향 조사
	5. Quantum Dot (QD) LED조명 의 살균 효과 기내 및 실내 검정	15	100	- QD-LED 각각의 파장별 식물병원성 곰팡이 균사 생장 모니터링 - QD-LED의 파장대 비율별 식물병원성 곰팡이 균사 생장 모니터링 - QD-LED를 이용한 광 처리 방법 검정
	6. Quantum Dot (QD) 반사형 LED 조명을 이용한 현장 적용 시험	15	100	- 포장에서 QD LED조명 사용에 따른 미생물 군집 변화 조사 - QD-LED 조명 설치를 통한 포정적용시험 (토마토 등)

■ 연차별 성과 목표 및 연구 결과

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1차 년도 (2016)	고 균일 PPFD 및 퀀텀닷 소재를 이용한 에머슨 상승효과의 고성장용 100W급 LED 조명 개발	- 광 균일도 80%이상의 등기구 구조 설계 기술	- 광균일도 향상을 위한 고배광, 반사형 식물등 설계/제작	- 광균일도 88.9%(1M)
		- 등기구효율 (고 PPFD 유지) 70%이상의 초 절전형 등기구 구조기술 개발	- 고등기구 효율 구조 설계 / 시제품 제작 - 구조 최적화 설계	- 등기구효율 76.2%
		- 양자효율 50%이상의 비카드늄계 Red QD 개발 및 필름 적용에 의한 광합성 상승효과 등기구 개발	- CIS계 및 InP계 퀀텀닷 합성 - 퀀텀닷 안정화 공정 개발 - 퀀텀닷 필름 제작 및 신뢰성 실험	- InP계 퀀텀닷 합성 (QY 57.9% 달성) - 퀀텀닷 소재 적용 필름 개발 (200×200mm <sup>2</sup> ) - 안정성 확보 (-10% @ 6090Test) - PPFD 149.7 μmol/m <sup>2</sup> /s
		- 고 방열 조명등기구 설계/개발 (12W/mK)	- PA-6계 Acryl 고분자 소재를 이용한 고방열 소재 개발 - 고방열 사출소재 적용 시제품 제작 응용	- 열전도도 12.3W/mK - 고방열사출소재 적용 시제품 제작 (소재 적용후 PCB 방열 효과확인: 65.2℃ → 49.2℃)
		- 태양전지모듈일체형 에너지 절약형 LED 조명등 전력공급시스템 개발	- 태양전지모듈, 충전 시스템 설계 - 제작 및 동작 시험 중	- 60Whr 공급 가능한 충전 시스템 설계 완료
	QD LED 인공광 효과에 따른 식물생육 및 식물병원성 미생물 살균 효과 확인	- 기존 LED 광원과 비교한 상추의 육묘 균일도 20% 향상 연구	- 광발아 엽채류 발아 균일도 향상을 위한 광발아 종자, 암발아 종자, 그리고 광 무관성 종자의 발아율 비교	- 암발아종자를 제외한 광발아 또는 광무관성 종자의 발아시, QD - LED 광의 효과적인 발아제가 증가함 (상추의 경우 White광 대비 8 ~ 58% 단축)
			- 과채류 도장 억제를 위한 토마토 종자 발아율 및 육묘 생육지수 비교	- QD-LED광에서 토마토의 경경, 건물중이 높아 토마토 묘소질 향상에 효과적이었음. 그러나

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
				묘의 도장에 영향을 끼치지 못하는 것으로 판단되나, 추후 좀 더 세밀한 연구가 필요함.
		- 생육일수 단축 및 항산화 물질 등 내적 품질 향상	- 항산화 물질 등의 내적 품질 물질 향상을 위한 유색 잎채소의 발아율 및 생육일수 비교	- 유색계통 등 몇 가지 상추의 발아세가 white(형광등)에 비해 적치마, 붉은 로메인, 바울그린의 경우 Blue+N-Red광에서 1각각 10%, 10%, 4% 단축되었음. - 광에 따른 진청 로메인의 묘 충실도는 Blue+N-Red가 White(형광등)에 비해 높았음.
		- QD-LED 조명 적용 가능한 식물병원균 탐색	- 상추 및 토마토에 병해를 일으키는 주요 병원성 미생물을 대상으로 QD LED 조명 적용 가능한 식물병원균을 탐색	- 상추 및 토마토의 병해를 일으키는 주요 병원성 세균 2종, 곰팡이 6종을 선발
		- QD-LED 조명을 이용한 식물병원균 방제 기내검정	- QD LED조명을 통한 선발 병원성 미생물의 생장억제 및 방제효과를 기내검정	- QD LED조명의 광도를 조절하여 병원성 미생물의 생장억제효과를 조사하였으며 4종의 곰팡이에 대해 억제효과가 있음을 확인
		- QD-LED 조명의 파장별 미생물 생장에 미치는 영향 조사	- QD LED조명의 파장에 따른 병원성 미생물의 생장 및 억제율 조사	- QD LED조명의 파장에 따른 병원성 미생물의 생장이 3종류의 파장에서 억제효과가 있음을 확인
2차 년도 (2017)	고 균일 PPF 및 퀀텀닷 소재를 이용한 에머슨 상승효과의 고성장용 100W급 LED 조명 개발	○광 균일도 85%이상(110도 배광각유지)의 등기구 구조 설계기술	- 40W 및 100W 반사형 고식물성장등 조명 구조 설계	- 1차년도 성과를 이용하여, 8“-40W급 및 10“-100W급 반사형 조명 구조 설계에 적용 (광균일도 88.9% 1차년도 기 초과 달성)
		○등기구효율 (고 PPF유지) 75%이상의 초 절전형 등기구 구조기술개발	- 40W 및 100W 반사형 고식물성장등 조명 구조 설계	- 1차년도 성과를 이용하여, 8“-40W급 및 10“-100W급 반사형 조명 구조 설계에 적용

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
				(등기구효율 76.2% 1차년도 기 초과 달성)
		○고 방열 조명등기구 설계/개발 (12W/mK)	- 열전도성 컴파운드의 사출성형 공정 개선 - 고유동성 복합소재 적용 - 유동성 강화 첨가제 적용	- 유동성 강화 첨가제 적용 후 수평 열전도도: 14.2W/mK 달성
		○60%이상의 양자효율을 갖는 비카드늄계 Red QD 개발	- InP계 QD 합성 - 다층(2층 및 3층) 구조의 ZnS shell 합성 - Core 및 Shell 합성 소재의 조성비 최적화 실현	- 반치폭 60nm의 InP계 Green & Red QD 합성 (양자효율 66.2% 달성)
		○Red 퀀텀닷의 필름의 안정성 확보 (6090 TEST를 통한 검증, 15% 이내)	- 퀀텀닷 합성 공정상의 불순물(solvent) 제거 및 분산 안정화 진행 - Blade coating 기술 적용, 필름제작 - 아크릴계 레진의 조성비율 변화	- 1 % 이내 (감소없음) - 퀀텀닷 필름의 안정성 확보(85℃ & 상대습도 85% 항온항습 Test) - 퀀텀닷 소재 적용 필름 대면적화 제작 (365×465mm <sup>2</sup> )
		○태양전지모듈일체형 에너지 절약형 LED 조명 전력 공급시스템 개발	- 태양전지모듈을 적용한 전원공급장치 설계 및 시스템 제작	- 개발완료 소형 조명 적용 시험 성공(점등 확인) (60Whr급으로 12W조명 약 4시간 점등 가능)
		○원격제어 시스템 결합형 ICT 제어 기술 개발	- Zigbee 무선통신제어 기술을 적용한 디밍제어	- Zigbee 모듈을 이용한 원격제어 시스템 설계 및 초도품 제작완료
		○100W급 시제품 제작 및 특성 분석	- 10“(100W급) 식물성장등 설계 및 초도품 제작 완료 - 8“(40W급) 식물성장등 설계 및 초도품 제작완료	- PPFd 특성 결과: 40W급 (456 μmol/m <sup>2</sup> /s) 100W급 (868 μmol/m <sup>2</sup> /s)
	QD LED 인공광 효과에 따른 식물생육 및 식물병원성 미생물 살균 효과 확인	○기존 LED 광원과 비교한 육묘 균일도 30% 향상	- 육묘 시스템의 확대로 베이비채소 생산이 가능한 ‘적로메인’ 상추를 대상으로 생육 비교 - 육묘 중 도장이 문제가 되는 토마토와 오이 육묘의 활착률 및 생육 비교	- 광 파장대가 달라짐에 따라 생육반응과 엽생에도 유의적으로 차이가 나타나, 식물공장 내 ‘적로메인’ 베이비채소 재배시 효과적임. 표준편차를 기준으로 엽장은 기존 LED나 대조구에 비해 69%, 55%, 엽폭은 75%, 37%로 수준의 균일도 향상을 보였음

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
		○생육일수 단축 및 항산화 물질 등 내적 품질 향상	- 유색계통의 베이비 채소인 ‘적로메인’ 상추를 대상으로 광합성 속도 및 내적품질 비교	- QD-LED 광 처리구의 광합성률이 가장 높았으며, 엽색과 엽록소 함량도 가장 높은 수치를 나타냄. 기능성 함량은 조사 진행 중
		○단위면적당 광원 및 전력 소요량 30% 절감	- 폐쇄형 식물공장 조건에서 기존 LED등, 생장등 등과 비교	- 기존 시중품 대비, 예상월간전력과 예상월간요금이 낮음. 기존 LED에 비해 예상월간전력은 34.8%, 예상월간요금은 35.2% 절감이 가능할 것으로 예상됨 - 시설 온실조건에서의 보광등 비교 실험은 광량이 적어지는 여름 이후부터 진행 예정
		○QD-LED 각각의 파장별 식물병원성 곰팡이 균사 생장 모니터링	- QD LED조명을 통한 각각의 파장별 선발 식물병원성 곰팡이의 균사 생장억제율 조사 및 균사 생장 모니터링	- QD LED조명의 파장별 병원성 미생물의 생장 억제율을 조사하였으며 40W급 생장조절등의 균사 생장억제효과를 확인
		○QD-LED의 파장대 비율별 식물 병원성 곰팡이 균사 생장 모니터링	- QD LED조명을 통한 파장대 비율별 선발 병원성 미생물의 생장억제율 조사 및 균사 생장 모니터링	- QD LED조명의 파장대 비율별 식물병원성 곰팡이의 균사 생장 억제율을 조사하였으며 비율이 높을수록 억제효과가 높음을 확인
		○QD LED를 이용한 광 처리 방법 검증	- 온도, 광도, 조명의 높이에 따른 식물 병원성 미생물의 균사 생장 억제율 측정	- QD LED조명의 광도가 높을수록, 조명의 높이가 낮을수록 식물 병원성 미생물의 균사 생장 억제율이 높게 나타나는 것을 확인
3차년 도 (2018)	고 균일 PPFd 및 퀀텀닷 소재를 이용한 에머슨 상승효과의 고성장용 100W급 LED 조명 개발	○광 균일도 90%이상(110도 배광각유지)의 등기구 구 조 설계기술	- 20W~80W급 반사형 Linear 식물성장조명 구조 설계 및 시제품 제작 - 100W급 직하형 투광등 식물성장조명 구조설계 및 시제품 제작	- 20W~80W급 반사형 Linear 식물성장조명: 균일도:98.6%, 평균배광각도: 128° - 100W급 직하형 투광등 식물성장조명 균일도:90.6%, 평균배광각도: 112.3°
		○등기구효율 (고 PPFd유지) 80%이상의 초 절전형 등	- 100W급 직하형 투광등 식물성장조명	- 100W급 직하형 투광등 식물성장조명

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
		기구 구조기술개발	구조설계 및 시제품 제작	등기구효율:90.7%, PPFD(@100mm): 1,430umol/m <sup>2</sup> /s
		○고 방열 조명등기구 설계/ 개발 (12W/mK)	- 열전도성 컴파운드의 사출성형 공정 개선 - 고유동화 복합소재 기술개발 - 유동성 강화 첨가제 적용	- 그라파이트-고분자 복합소재를 이용한 고방열 사출소재 특성 열확산도: 12.04mm <sup>2</sup> /s 수평열전도도: 19.5W/mk 달성
		○70%이상의 양자효율을 갖 는 비카드늄계 Red QD 개발	- InP/ZnS QD 합성 - 다층(2층 및 3층) 구조의 ZnS shell 합성 - Core 및 Shell 합성 진구체 조성비 최적화 - 퀀텀닷 소재, 형광소재의 Hybrid화 공정 개발	- 반치폭 60nm의 InP계 Green & Red QD 합성 양자효율 : 70.7% 달성
		○Red 퀀텀닷의 필름의 안 정성 확보 (6090 TEST를 통한 검증, 10%이내) 및 필름대량생산기술 확보	- 퀀텀닷 합성 공정상의 불순물(solvent) 제거 및 Hollow Bead 구조 적용 및 분산 안정화 - Roll-to-Roll 기술 적용, 필름제작을 통한 대량생산기술 확보	- 퀀텀닷 필름의 안정성 확보(RT60℃ & RH90% 항온항습 Test) 특성감소율: 8.02% - 퀀텀닷 소재 적용 필름 대량생산 시연 유효폭: 310mm, 길이: 100m 여기필름 두께: 120um 필름균일도: 99.1%
		○태양전지모듈일체형 에너 지 절약형 LED 조명 전력 공급시스템 개발	- 태양전지모듈을 적용한 전원공급장치 설계 및 시스템 제작	- 개발완료 소형 조명 적용 시험 성공(점등 확인) (60Whr급으로 12W조명 약 4시간 점등 가능)
		○원격제어 시스템 결합형 ICT 제어 기술 개발	- Zigbee 무선통신제어 기술을 적용한 디밍제어	- Zigbee 모듈을 이용한 원격제어 시스템 설계 및 초도품 제작완료 - 10단계 디밍 제어기술 시연
		○100W급 시제품 제작 및 특성분석, 안전인증	- 반사형 Linear 600mm (20W, 40W급) 식물생장등 설계 및 초도품 제작완료 - 반사형 Linear 1,200mm (40W, 80W급) 식물생 장등 설계 및 초도품 제작완료 - 직하형 투광등 (100W급) 식물생장등 설계 및	- 신규 설계조명 3종의 PPFD (@100mm): 1.반사형 Linear 600mm 20W급: 220umol/m <sup>2</sup> /s 40W급: 440umol/m <sup>2</sup> /s 2.반사형 Linear 1,200mm 40W급: 440umol/m <sup>2</sup> /s 80W급: 800umol/m <sup>2</sup> /s 3.100W급 직하형 투광등 식물생장조명

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
			<ul style="list-style-type: none"> <li>초도품 제작완료</li> <li>-안전인증 취득(3건)</li> <li>-IP65 조건 확보</li> <li>-NET신기술인증 취득(지엘비전)</li> </ul>	PPFD(@100mm): 1,430umol/m <sup>2</sup> /s
	QD LED 인공광 효과에 따른 식물생육 및 식물병원성 미생물 살균 효과 확인	○ 기존 LED 광원과 비교한 상추, 토마토 육묘 균일도 30% 향상	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 엽채류(상추류)의 육묘 균일도 향상 및 과채류(토마토) 육묘 도장 억제에 미치는 영향 비교</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- QD LED광 조사된 청 로메인 상추와 적로메 인 상추 육묘는 기존 LED인 B+R광이 조사 처리구보다 생체중이 각각 35%, 33% 증가하 였음</li> <li>- QD LED광 조사된 청 로메인 상추와 적로메 인 상추 육묘는 기존 LED인 B+R광이 조사 처리구보다 각각 500%, 205% 향상됨</li> <li>- 토마토 균일도는 QD1 광이 W-LED에 비해 엽장 871%, 엽폭 553%, 경경 610% 향상 하였으며, 초장도 B+R 광 다음으로 높아 토 마토 육묘 재배에 적 합하다고 판단됨</li> </ul>
		○ 생육일수 단축 및 항산화 물질 등 내적 품질 향상	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유색 잎채소인 적로메인 상추와 적무 새싹(추가실험)을 대상으로 내적 품질 및 항산화능 물질 함량 비교</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- QD-LED를 조사하였던 적로메인 상추는 발아에 서 유의적인 차이가 없 었고, 생체중과 붉은색 발현 정도와 저광도에서 엽장과 엽폭이 양호</li> <li>- QD-LED를 조사하였던 적로메인 상추의 총페놀 함량과 안토시아닌함량 이 증가</li> <li>- 적무 새싹은 QD-LED에 서 광조사 후 자엽의 녹 색발현이 우수하였고 안 토시아닌 함량도 Blue광 과 함께 향상시키는 효 과가 인정됨</li> </ul>
		○ 단위면적당 광원 및 전력 소요량 절감(100W) 검증	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 토마토와 적로메인을 대상으로 유리온실과 플라스틱온실에서 기존</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 방울 토마토 재배중 100W용 QD-LED 보광 의 효과로는 4화방에서</li> </ul>

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
			<p>보광등과 QD LED광으로 재배하여 품질 특성 및 유용 물질 함량 비교</p> <p>- QD LED 100W등 경계성 분석</p>	<p>화방당 무게가 30% 증가하였고 기형화 발생 억제 효과(18.7%에서 3.2%로 감소)를 발견</p> <p>- 겨울철 적로메인 상추 재배시 QD LED 보광은 생육을 양호하게 하는 효과를 보이며, 내적 품질 향상 효과는 없었음</p> <p>- 폐쇄형 육묘 시스템에 적용했던 30W용 QD-LED는 기존 B+R LED등과 비교할 때 예상월간요금에서 25%의 절감효과를 보였으나, 100W용 QD-LED는 에너지 사용 절감 효과 보이지 않음</p>
		- QD LED 각각의 파장별 유용세균과 효모의 콜로니 생장 모니터링	- QD LED조명을 통한 각각의 파장별 선발 유용세균과 효모의 콜로니 생장 모니터링	- <i>Lactobacillus acidophilus</i> 의 경우 Red등을 제외한 모든 LED에서 콜로니 생장이 100% 억제되는 것을 확인하였다. 반면에 다른 유용세균이나 효모는 LED 광원에 의해 콜로니가 억제되는 현상은 관찰되지 않아 LED 조명처리가 유용세균과 효모의 생장에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.
		- QD LED 각각의 파장별 곰팡이 균사 생장 모니터링	- QD LED조명을 통한 각각의 파장별 선발 유용곰팡이의 균사 생장 모니터링	- 두 가지의 유용곰팡이는 LED 조명처리에 의해 10% 미만의 균사생장 억제가 관찰되어, LED 조명처리가 유용곰팡이의 균사생장에 특별한 영향을 끼치지 않는 것으로 판단된다.
		- 100W급 QD LED의 조건에서 작물의 엽권 미생물 조사	- 100W급 LED과 100W급 QD LED 조건에서 성숙기와	- 토마토 엽권의 세균군집과 곰팡이군집 모두 모든 조사일에서

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
			유묘기의 토마토 엽권 미생물 콜로니 변화 모니터링	Blue+Red LED와 100W QD LED처리구에서 대조구와 비교하였을 때 낮은 수치의 콜로니를 나타내었다. - 유묘기 토마토 엽권의 경우 10월 ~ 11월에 조사함에 따라 날씨에 의해 전체적인 세균군집의 숫자는 점점 감소하였으며, 곰팡이군집은 큰 영향을 받지 않는 것으로 확인되었다.

■ 개발내용 및 개발 범위

연구범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
◦ 광 균일도 90%이상(110도 배광각유지)의 등기구 구조 설계기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존의 반사형의 원형 등기구 다운라이트 구조에서 벗어나, 넓은 면적에 대한 고균일 특성을 가지는 새로운 형태의 구조 설계 필요성 인식</li> <li>- Linear형 반사형 조명설계 및 100W급 직하형 투광등 식물성장조명의 설계에 따른 QD 소재 적용방안 연구</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 최종 목표달성 및 실제 사업화 측면에서의 식물성장조명 설계반영</li> <li>- 이에 따른 브라켓 고정형 Linear 식물성장조명 600mm, 1,200mm의 설계 및 시제품 제작</li> <li>- 또한 화웨이, 과일작물 등 상대적으로 높은 광보상점이 요구되는 작물의 적용을 위한 높은 등기구효율을 가진 고효율 100W급 직하형 투광등 식물성장조명 설계 및 시제품 제작</li> <li>- 광균일도 향상을 위한 LED PKG 파장 별 Pattern 반영 설계</li> <li>- 고배광 특성을 위한 PCB 비메립형 등기구 형태 설계 (투광부 Guide 배제)</li> <li>- QD 소재를 적용하기 위한 사출캡 개발 및 Spectrum 최적화 진행</li> </ul>
◦ 등기구효율 (고 PPFd유지) 80%이상의 초 절전형 등기구 구조기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 100W급 직하형 투광등을 이용한 높은 등기구효율을 갖는 식물성장조명 구조설계 및 시제품 제작</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 100W의 고효율 조명의 특성에 따른 PPFd 조건 확보 (1,430umol/m<sup>2</sup>/s)</li> <li>- 직하형 구조 적용을 통한 투광부 Acryl Cover의 흡수율 고려(90%), 등기구효율 90.7% 달성</li> </ul>
◦ 고 방열 조명등기구 설계/개발 (12W/mK)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 방열복합소재 개발을 위한 사출성형용 고품량/고분산 열전도성 컴파운드 개발</li> <li>- 열전도성 컴파운드의 사출성형 개선을 위한 유동성 강화 첨가제 적용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 열전도성 컴파운드 사출을 위한 탄소 및 고분자 나노융합체의 함량조절 실험 진행, Graphite 50% 함량조건을 최적화로 선정, 향후 개선방향 모색</li> <li>- 고유동성 강화를 위한 PBT 첨가제</li> </ul>

연구 범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
		선정 및 적용, 최종 19.5W/mk의 수평 열전도도 특성 확인
<ul style="list-style-type: none"> <li>70%이상의 양자효율을 갖는 비카드뮴계 Red QD 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>비Cd계 QD소재 합성을 위한 Core 및 Shell 구조 선정</li> <li>Shell Capping층 증가에 따른 Intensity 증가경향성 확인 및 Spectrum 구현실험 진행</li> <li>Core 및 Shell 합성 전구체 조성비 최적화 및 ZnS 두께조절</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>InP/ZnS 기반의 QD소재 구조 선정</li> <li>Phosphine : Sulfur비율에 따른 여기파장대역 및 양자효율 확인</li> <li>ZnS 전구체의 injection 횟수에 따른 다층(2층 및 3층) 구조의 shell 합성을 통한 최적의 밴드갭 특성 확보</li> <li>Indium : Phosphor 전구체 투입 물비에 따른 여기 파장대역 및 PL Spectrum 개선을 통한 양자효율 특성 확인</li> <li>반치폭 60nm의 InP계 Green &amp; Red QD 합성, 양자효율 : 70.7% 달성</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Red 퀀텀닷의 필름의 안정성 확보 (6090 TEST를 통한 검증, 10%이내) 및 필름대량생산기술 확보</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>퀀텀닷 합성 공정상의 불순물(solvent) 제거 및 분산안정화 구조 설계</li> <li>퀀텀닷, 형광소재 Hybrid 공정 연구개발</li> <li>Roll-to-Roll 기술 적용, 필름제작을 통한 대량생산기술 확보</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>퀀텀닷 합성용액의 잔여 Solvent인 Octadecene을 정제하기 위한 원심분리 5회 공정 도입</li> <li>퀀텀닷 합성용액에 ZnSt<sub>2</sub>와 Hollow Bead 첨가 후 건조과정을 통한 퀀텀닷 분말 공정 확보</li> <li>무기형광소재 첨가 비율에 따른 소재 안정성 평가</li> <li>Ball Mill 장비를 이용한 경화용액 분산 및 Roll-to-Roll 공정 적용에 따른 대면적 InP Red QD 필름 제작 및 양산화 가능성 점검 (폭 310mm x 길이 100m, 두께 120um 제작, 필름균일도 99.1%)</li> </ul>
태양전지모듈일체형 에너지 절약형 LED 조명 전력공급시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>태양전지모듈을 적용한 전원공급장치 설계 및 시스템 제작</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>작물의 일조시간을 고려, 15W x 4hr 용량의 3배를 가진 180W/hr급 용량의 배터리 및 24V 출력전압, 7.5Ahr의 축전지 모듈 설계</li> <li>전원공급부 재설계에 따른 25W급 퀀텀닷 식물성장등 동작시연</li> </ul>
원격제어 시스템 결합형 ICT 제어 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>무선통신제어 기술을 적용한 퀀텀닷 식물성장조명의 디밍제어 기술 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>원격제어장치 및 Zigbee 송신모듈을 통한 무선송신 모듈 출력제어 회로 설계</li> <li>SMPS의 수신모듈 소프트웨어를 통한 10단계의 휘도제어 회로 및 제어보드 설계</li> <li>제어회로의 출력파형 확인을 통한 안정적인 원격제어 시스템 확인</li> </ul>
100W급 시제품 제작 및 특성분석, 안전인증	<ul style="list-style-type: none"> <li>반사형 Linear 600mm (20W, 40W급) 식물성장등 설계 및 초도품 제작완료</li> <li>반사형 Linear 1,200mm (40W, 80W급) 식물성장등 설계 및</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>신규 설계조명에 대한 식물성장 최적화 파장조건 도출을 위한 퀀텀닷 필름, 사출캡 농도변화, LED PKG 파장 별 비율실험 진행</li> <li>안전인증 취득(3건)</li> </ul>

연구 범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
	초도품 제작완료 - 직하형 투광등 (100W급) 식물성장등 설계 및 초도품 제작완료	-IP65 방진방수등급 확보 -NET신기술인증 취득 (지엘비전)
◦ 기존 LED 광원과 비교한 상추의 육묘 균일도 20% 향상 연구	- 기존 LED광원 및 대조구와 비교하여 QD-LED가 가진 균일성으로 알려져, 종자의 발아 및 생육 균일성에 대한 비교 실험을 진행 - 과채류 육묘에 도장을 억제하기 위하여, 기존 광원 대비 QD-LED가 가진 특성을 비교	- 광발아 종자(상추), 암발아 종자(무), 광 무광성 종자(시금치)의 발아율 및 생육지수를 비교하여 기존 광원들과의 차이점을 확인 - 토마토 종자를 공시재료로 하여 발아 및 육묘의 균일성과 도장 억제에 대한 효과를 비교하기 위하여 수행
◦ 생육일수 단축 및 항산화 물질 등 내적 품질 향상	- 항산화 물질 등의 내적 품질 향상을 위한 유색 잎채소를 대상으로 광 종류에 따른 발아율 비교	- 유색계통의 광발아 종자인 몇 가지, 상추(적치마, 붉은 로메인, 바울그린, 시저스 그린)를 대상으로 발아율, 발아세 및 생육지수를 비교 분석
◦ QD-LED 조명 적용 가능한 식물병원균 탐색	- QD LED조명에 대한 병원성 미생물의 방제 연구를 하기 위한 상추와 토마토에 병해를 일으키는 주요 병원성 미생물을 탐색하여 목록을 작성	- 대상균: <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Phytophthora drechsleri</i> , <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> , <i>Sclerotinia minor</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Pectobacterium carotovorum</i> , <i>Xanthomonas campestris</i>
◦ QD-LED 조명을 이용한 식물병원균 방제 기내검정	- QD LED조명과 기존 LED조명을 이용한 식물 병원균의 균사 생장 억제 효과 확인 및 억제율을 측정하여 병원성 미생물의 방제 효과 확인	- QD LED조명 상자 안에서 배양한 병원성 미생물의 생장억제정도 측정 - 광도의 변화에 따른 병원성 미생물의 생장 억제 효과 확인 및 QD LED 조명에 의한 식물병원 미생물 생장 억제 효과 확인
◦ QD-LED 조명의 파장별 미생물 생장에 미치는 영향 조사	- QD LED조명과 기존 LED조명의 효과를 확인하고 차이점을 비교하여 QD LED의 활용 가능성을 확인하기 위하여 조명 파장별 병원성 미생물의 생장 및 억제효과 조사	- QD LED조명을 포함한 6종류의 조명을 설치하여 조명에 따른 병원성 미생물의 생장과 억제효과를 측정 및 확인
◦ 기존 LED 광원과 비교한 육묘 균일도 30% 향상	- 1차년도 육묘 균일도 20% 향상 연구시 적용되었던 QD-LED광원보다 광도가 높은 광원을 사용하여 보다 높은 육묘 균일도 향상을 위하여 광 처리에 따른 엽채류 및 과채류의 생육 비교 실험을 진행함	- ‘적로메인’ 상추를 대상으로 QD-LED광 이외 청색광(Blue), 적색광(Red), 혼합광(Blue+Red)과 대조구(형광등: white)으로 조사하여 비교 - 토마토와 오이묘를 대상으로 접목(핀집)한 후, 몇 가지 광하에 활착률과 생육을 조사하여 균일도 비교
◦ 생육일수 단축 및 항산화 물질 등 내적 품질 향상	- 항산화 물질 등 내적 품질 향상을 위한 유색 잎채소인 ‘적로메인’을 대상으로 광 처리에 따른 광합성 속도와 기능성 물질 비교	- 여러 광하에 ‘적로메인’ 상추 재배 후, 기능성 물질등을 조사(현재 진행중)

연구범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 단위면적당 광원 및 전력 소모량 30% 절감</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 재배중 보광이 요구되는 과채류를 대상으로 기존 보광등과 비교하여 시설 온실조건에서 단위면적당 광원 및 전력 소모량 등을 비교</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존에 판매되고 있는 몇 가지 광과 비교하여 QD-LED광의 예상전력, 전력, 전압, 전류, 그리고 예산월간요금 비교</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ QD-LED 각각의 파장별 식물병원성 곰팡이 균사 성장 모니터링</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- QD LED 각각의 파장에 따른 식물병원성 곰팡이에 대한 균사 성장억제효과를 확인하고 균사의 성장억제율을 조사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BLUE(450nm), RED(660nm), Narrow RED, Wide RED(M1), Wide RED(M2) 조명의 파장별 식물 병원성 곰팡이의 균사 성장억제율 측정</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ QD-LED의 파장대 비율별 식물 병원성 곰팡이 균사 성장 모니터링</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- QD LED 파장대의 비율에 따른 식물병원성 곰팡이에 대한 균사 성장억제효과를 확인하고 균사의 성장억제율을 조사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BLUE(450nm), RED(660nm), Narrow RED, Wide RED(M1), Wide RED(M2) 조명의 비율에 따른 식물병원성 곰팡이의 균사 성장억제율 측정</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ QD LED를 이용한 광처리 방법 검정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- QD LED조명 내에서 온도, 광도, 조명의 높이에 따른 식물병원성 미생물의 성장을 확인하고 성장억제율을 조사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- QD LED조명의 높이를 15cm, 30cm, 50cm로 조정하며 높이와 광도 조건에 따른 식물병원성 미생물의 균사 성장억제율 측정 및 비교</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ QD LED 각각의 파장별 유용미생물의 성장 모니터링</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- QD LED조명에 대한 유용미생물의 성장 연구를 하기 위한 주로 사용되는 토양 유용세균과 효모, 생물학적 방제제로 사용되는 곰팡이를 탐색하여 목록 작성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유용세균 <i>Pseudomonas fluorescens</i> subsp. <i>cellulosa</i> <i>Pseudomonas putida</i> <i>Lactobacillus acidophilus</i> <i>Bacillus megaterium</i> <i>Rhodobacter sphaeroides</i></li> <li>- 유용효모 <i>Saccharomyces cerevisiae</i></li> <li>- 유용곰팡이 <i>Trichoderma harzianum</i> <i>Trichoderma viride</i></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ QD LED 각각의 파장별 유용세균과 효모의 콜로니 성장 모니터링</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- QD LED조명을 통한 각각의 파장별 선발 유용세균과 효모의 콜로니 성장 모니터링</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BLUE(450nm), RED(660nm), Narrow RED, Wide RED(M1), Wide RED(M2)의 조명을 30 cm로 조정하여 파장별 유용세균 및 효모의 콜로니 생성을 측정</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ QD LED 각각의 파장별 곰팡이의 균사 성장 모니터링</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- QD LED조명을 통한 각각의 파장별 선발 곰팡이의 콜로니 성장 모니터링</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BLUE(450nm), RED(660nm), Narrow RED, Wide RED(M1), Wide RED(M2)의 조명을 30 cm로 조정하여 파장별 유용곰팡이의 균사 성장을 측정</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 100W급 QD LED의 조건에서 작물의 엽권 미생물 조사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>100W급 LED과 100W급 QD LED 조건에서 성숙기와 유묘기의 토마토 엽권 미생물 콜로니 변화 모니터링</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 100W 삼파장 형광등, Blue+Red LED, 100W QD LED을 보광처리한 15주, 4주간 키운 토마토와 무보광 토마토의 엽권에 존재하는 미생물군집의 숫자를 비교</li> </ul>

■ 성과목표별 가중치 및 달성도

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술 (이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용-홍보		기타 (타구용 등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문		학술발표			정책 활용	홍보 전시	
												SCI	비SCI						
단위	건	건	건	건	백만원	백만원	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명	건	건		
가중치																			
1차년도	목표	1										1		3					
	실적	1							3		1			4	2		3		
2차년도	목표	1	1									1	2	5	1	1	1		
	실적	1	1		1		1	2.6	1			0	1	6	1	2	1	1	
3차년도	목표	2	1		2	50	2	100	3	200	1	1	2	6	1	1			
	실적	2	1		2	10	1	152.4	1		3	3	3	8	2	5		7	
소계	목표	4	2		2	50	2	100	3	200	1	2	5	14	2	2	1		
	실적	4	2		3	10	2	155	5		4	3	4	18	3	9	1	11	

■ 성과 내용

성과목표	자 체 평 가
SCI 논문 (3건)	<p>(1) Mohammad Zahirul Islam, Young-Tack Lee, Mahmuda Akter Mele, In-Lee Choi and Ho-Min Kang , “Effect of fruit size on fruit quality, shelf life and microbial activity in cherry tomatoes” , AIMS Agriculture and Food, Vol.4, No.2, pp.340-348 (2019.04.)</p> <p>(2) Su Jung HAN, In-Lee CHOI, Ju Young KIM, Lixia WANG, Joo H. LEE, Ki-Young CHOI, Young Wook Ko, Youngduk KIM, Mohammad Z. ISLAM, Young-Tack LEE, Ho-Min KANG, “Various Light Quality including QD-LED Affect Growth and Leaf Color of Red Romaine Baby Leaf Lettuce” , Natulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, Vol.47, No.3, pp.757-762 (2019.05.)</p> <p>(3) M.Z. Islam, Y.T. Lee, M.A. Mele, I.L. Choi, D.C. Jang, Y.W. Ko3, Y.D. Kim and H.M. Kang, “Effect of modified atmosphere packaging on quality and shelf life of baby leaf lettuce” , Quality Assurance and Safety of Crops &amp; Foods, 2019. online (2019.09.)</p>
비SCI논문 (4건)	<p>(1) 최인이, 한수정, 김주영, 고영욱, 김용득, 황명근, 유왕건, 강호민, “계절별 수송 온도가 MA 포장한 어린잎 비트의 저장성에 미치는 영향” , 한국포장학회지, Vol.24, No.2, pp85-89 (2018.09.)</p> <p>(2) 최인이, 왕립, 이주환, 한수정, 고영욱, 김용득, 강호민, “LED와 Quantum dot (QD-LED) 처리가 새싹 적무의 생산과 품질에 미치는 영향” , 시설원예식물공장학회지, Vol.28, No.3, pp.265-272 (2019.07)</p> <p>(3) 김수정, 장효원, 이정균, 고재현, 고영욱, 김용득, “Study on Improvements in</p>

성과목표	자 체 평 가
	<p>the Emission Properties of Quantum-Dot” , New Physics: Sae Mulli, Vol.69, No.8, pp.861-866 (2019. 08.)</p> <p>(4) 이현구, 김상우, 마헤시 아드히카리, 순 쿠말 구룽, 세투 바지에, 산 꼬설, 권병현, 주한준, 고영욱, 김용득, 유용환, 박대회, 신정철, 김민하, 이윤수, “Quantum Dot LED를 이용한 상추 주요 병원성 곰팡이 및 세균의 생장억제효과 기내실험” , 식물병연구(한국식물병리학회), Vol.25. No.3, pp.11-123 (2019)</p>
학술 발표 (18건)	<p>(1) In vitro Mycelial Suppression of Plant Fungal Pathogens by Using Quantum-Dot LED (한국병리학회 춘계학술대회, 김현승 외, 2017.04.)</p> <p>(2) QD LED 조사가 몇 가지 채소의 발아에 미치는 영향 (한국원예학회 추계학술대회, 한수정 외, 2017. 10.)</p> <p>(3) QD LED가 상추 발아와 생육에 미치는 영향 (한국생물환경조절학회 추계학술대회, 한수정 외, 2017.10.)</p> <p>(4) Quantum-Dot LED Technique for In Vitro Mycelial Suppression of Plant Fungal Pathogens (한국균학회 추계학술대회, Mahesh Adhikari 외, 2017. 11.)</p> <p>(5) QD 반사형 조명(한국조명전기설비학회, 김용득 외, 2017. 11.)</p> <p>(6) In vitro Mycelial Suppression of Plant Fungal Pathogens by using QD-LED (한국균학회 춘계학술대회 이현구 외, 2018.05.)</p> <p>(7) Inhibition of Mycelial Growth of Pathogenic Fungi of Leafy Vegetables using Plasma Air Purification System (한국균학회 춘계학술대회, Mahesh Adhikari 외, 2018.05.)</p> <p>(8) 식물생장용 고효율 퀀텀닷 조명 (한국조명전기설비학회 춘계학술대회, 유용환 외, 2018.05.)</p> <p>(9) LED와 Quantum dot-LED (QD-LED) 조사가 적로메인의 생육과 엽색에 미치는 영향, 한국원예학회 춘계학술대회, 한수정 외, 2018.05.)</p> <p>(10) 식물공장내 LED와 Quantum dot-LED (QD-LED) 조사가 방울토마토의 발아와 생육에 미치는 영향(한국원예학회 춘계학술대회, 한수정 외, 2018.5.)</p> <p>(11) LED와 Quantum dot-LED (QD-LED) 처리가 왕고들빼기 ‘선향’ 의 생육에 미치는 영향 (한국원예학회 추계학술발표회, 김주영 외, 2018.10.)</p> <p>(12) Effect of combination of QD-LED lights to inhibit the fungal pathogens of leafy vegetables (한국균학회 춘계학술대회, 이현구 외, 2019. 5.)</p> <p>(13) Inhibition effect of 40W QD-LED light on major fungal pathogens of lettuce (Lactuca sativa) (한국균학회 춘계학술대회, Mahesh Adhikari 외, 2019. 5.)</p> <p>(14) Quantum dot-LED(QD-LED) 광원을 이용한 보광이 겨울철 적로메인 상추의 생육에 미치는 영향 (한국생물환경조절학회 춘계공동학술대회, 이주환 외, 2019. 5.)</p> <p>(15) LED와 Quantum dot-LED(QD-LED) 처리가 무와 적무 발아 및 새싹의 엽색에 미치는 영향 (한국원예학회 춘계학술발표회, 최인이 외, 2019. 5.)</p> <p>(16) Effect of large, medium, and Small Fruit Sizes on quality, Shelf life and Microbial Activity of Cherry Tomatoes (한국원예학회 춘계학술발표회, In-Lee Choi 외, 2019. 5.)</p> <p>(17) 적로메인 상추의 발아와 묘 생육에 미치는 인공광의 광질과 광도의 영향 (한국생물환경조절학회 추계학술대회, 최인이 외, 2019. 11.)</p> <p>(18) 고연색성 QD 일반조명 (한국조명전기설비학회 추계학술대회, 신정철 외, 2019. 11.)</p>

성과목표	자 체 평 가
특허 출원 (4건)	(1) 백라이트유닛 및 이를 포함하는 표시장치 (유왕건 외, 10-2017-0115436, 2017.09.08.) (2) 조명장치 (이우식, 10-2017-0145267, 2017.11.02.) (3) 양자점 파우더 및 이를 이용한 광학부재(고영욱 외, 10-2018-0138017, 2018.11.12.) (4) 백라이트유닛 및 이를 포함하는 표시 장치(고영욱 외, 10-2018-0151639, 2018-11.30.)
특허 등록 (2건)	(1) 조명장치 (이우식, 10-2017-0145267, 10-1908239, 2018.10.08.) (2) 백라이트유닛 및 이를 포함하는 표시장치 (유왕건 외, 10-2017-0115436, 10-2023607, 2019.09.16.)
고용 창출 (5명)	(1) 유왕건 기술이사(지엘비전, 2017. 5.) (2) 박태희 선임연구원(철원플라즈마산업기술연구원, 2016. 12.) (3) 김민기 연구원(지엘비전, 2017. 11.) (4) 김현승 주임연구원(철원플라즈마산업기술연구원, 2017. 12.) (5) 김민하 연구원(철원플라즈마산업기술연구원, 2018. 10.)
인력 양성 (9건)	(1) 농학석사학위 취득(윤혁성, 2017.2.) (2) 농학석사학위 취득(김현승, 2017.2.) (3) 농학박사학위 취득(Mahesh Adhikari, 2018.2.) (4) 연구교수 발탁(조힐, 가천대학교, 2018.6.) (5) 농학석사학위 취득(산 꼬설(San Kosol), 2019.2.) (6) 농학석사학위 취득(순 쿠마르 구룽(Sun Kumar), 2019.2.) (7) 농학석사학위 취득(김주영, 2019.2.) (8) 농학석사학위 취득(이현구, 2019.2.) (9) 농학석사학위 취득(한수정, 2019.2.)
홍보 전시 (10건)	(1) 2017 International LED EXPO (2017.6.27.~29, 일산 KINTEX) (2) 2017 플라즈마산업포럼 (2017.11, 강원 철원) (3) 제2회 강원과학기술대축전 (2017.11, 강원 춘천) (4) 2018 International LED EXPO (2018. 6.26-28, 일산 KINTEX) (5) 대한민국탄소포럼2018 전시회 (2018. 10.11.~12. 평창 알펜시아리조트) (6) 2019 International LED EXPO (2019. 6.25-27, 일산 KINTEX) (7) 2019 제4회 강원과학기술축전 (2019. 9.6.~7, 강원정보문화진흥원) (8) 신아일보, 퀀텀닷식물조명-철원플라즈마 드디어 손에 잡히는 성과 나타나 (2019.4.8.) (9) 스포츠서울 외, 폐광내 인공광 활용'고추냉이'재배성공,신성장동력 될까 (2019.11.20.) (10) KBS-TV 뉴스광장 외, 폐광 신농업으로 탈바꿈 - 퀀텀닷조명으로 고추냉이 시험재배 (2019.11.27.)
수상 실적 (4건)	(1) 산업부장관상: 신기술개발 우수업체 (지엘비전, 2017.06.27.) (2) 대통령상: 신기술개발 우수업체 (지엘비전, 2018.06.26.) (3) 한국원예학회 우수포스터발표상 (강원대학교 한수정, 2018,5.25.) “Quantum dot-LED(QD-LED) 조사가 몇 가지 채소의 발아에 미치는 영향” (4) 산업부장관상: 퀀텀닷 소재를 활용한 광융합기술발전 공헌(철원플라즈마산업기술연구원, 2019. 6. 25.)
정책활용 (1건)	(1) 강원도, 신강원 6대 신산업 선정(2018.03.22.)
기술지도 (3건)	(1) Quantum Dot Technology for Display and Lighting Applications

성과목표	자 체 평 가
	<p>(2018년 Q-LED 및 Micro-LED 최신 분석과 상용화/핵심과제 세미나, 고영욱, 서울 사학연금회관, 2018.4.19.)</p> <p>(2) CPRI QD 기술 (2018년 KIDS 광원연구회 워크숍, 고영욱, 강원/춘천 한림대, 2018.11.23.~24.)</p> <p>(3) 마이크로 LED 디스플레이용 QD 광변환 소재 (2019년 KIDS MicroLED Display Summer School, 박태희, 서울 중앙대학교, 2019.07.04.)</p>
공인인증서 및 /시험성적서(5건)	<p>(1) KC전기용품안전인증(JI11036-17001), 식물생장등 GLV-P610K (주식회사 지엘비전, 2017. 2. 22.)</p> <p>(2) KC전기용품안전인증(JI11036-16002E), 식물생장등 GLV-P610QI (주식회사 지엘비전, 2018. 11. 30.)</p> <p>(3) NET신기술인증(제1184호), 반사용 등기구용 양자점 필름 제작 기술 (주식회사 지엘비전, 2019. 9. 26.)</p> <p>(4) IP65 시험성적서(ECU-2019-008482), 식물생장등 GLV-P20LQ6 (주식회사 지엘비전, 2019. 11. 05.)</p> <p>(5) KC전기용품안전인증(JI11036-19002), 식물생장등 GLV-P20LQ6 (주식회사 지엘비전, 2019. 12. 20.)</p>

■ 연구 성과

가. 국내외 논문 게재

No	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
1	계절별 수송 온도가 MA 포장한 어린잎 비트의 저장성에 미치는 영향	한국포장학회지	최인이	24(2)	대한민국	한국포장학회	비SCI	2018. 09.	1226-0207
2	Effect of fruit size on fruit quality, shelf life and microbial activity in cherry tomatoes	AIMS Agriculture and Food	Mohammad Zahirul Islam	4(2)	USA	AIMS Press	SCIE	2019. 04.	2471-2086
3	Various Light Quality including QD-LED Affect Growth and Leaf Color of Red Romaine Baby Leaf Lettuce	Natulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca	Su Jung HAN	47(3)	네델란드	Elsevier	SCIE	2019. 05.	0255-965X
4	LED와 Quantum dot (QD-LED) 처리가 새싹 적무의 생산과 품질에 미치는 영향	시설원예식물공장학회지	최인이	28(3)	대한민국	시설원예식물공장학회	비SCI	2019. 07.	2288-0992
5	Study on Improvements in the Emission Properties of Quantum-Dot	New Physics: Sae Mulli	김수정	69(8)	대한민국	한국물리학회	비SCI	2019. 08.	0374-4914
6	Effect of modified atmosphere packaging on quality and shelf life of baby leaf lettuce	Quality Assurance and Safety of Crops & Foods (online)	M.Z. Islam	-	독일	International Association for Cereal Science and Technology	SCIE	2019. 09.	1757-837X
7	Quantum Dot LED를 이용한 상추 주요 병원성 곰팡이 및 세균의 생장억제효과 기내실험	한국식물병리학회지	이현구	25(3)	대한민국	한국식물병리학회	비SCI	2019. 09.	1598-2254

나. 국내 및 국제학술회의 발표

No	회의명칭	발표자	발표일시	장소	국명
1	식물병리학회 춘계학술대회	김현승 외	2017.04.27.	서울 한국과학기술회관	대한민국
2	한국원예학회 춘계학술발표회	한수정 외	2017.10.13.	인천 송도컨벤시아	대한민국
3	한국생물환경조절학회 추계학술발표회	한수정 외	2017.10.20.	경남 진주 경상대학교	대한민국
4	한국균학회 추계학술대회	Sun Kumar Gurung 외	2017.11.	경기 일산 킨텍스	대한민국
5	한국조명전기설비학회 추계학술대회	김용득 외	2017.11.10.	서울 한국과학기술회관	대한민국
6	한국균학회 춘계학술대회	이현구 외	2018.05.10.	강원 양양 솔비치 호텔	대한민국
7	한국균학회 춘계학술대회	Mahesh Adhikari 외	2018.05.10.	강원 양양 솔비치호텔	대한민국
8	한국조명전기설비학회 추계학술대회	유용환 외	2018.05.18.	강원 홍천 웰리힐리파크	대한민국
9	한국원예학회 춘계학술발표회	한수정 외	2018.05.25.	대전 컨벤션센터	대한민국
10	한국원예학회 춘계학술발표회	한수정 외	2018.05.25.	대전 컨벤션센터	대한민국
11	한국원예학회 추계학술발표회	김주영 외	2018.10.	전남 여수 엑스포컨벤션센터	대한민국
12	한국균학회 춘계학술대회	이현구 외	2019.05.	충남 태안 리솜오션캐슬	대한민국
13	한국균학회 춘계학술대회	Mahesh Adhikari 외	2019.05.	충남 태안 리솜오션캐슬	대한민국
14	한국생물환경조절학회 춘계공동학술대회	이주환 외	2019.05.	경상대학교	대한민국
15	한국원예학회 춘계학술발표회	최인이 외	2019.05.	경북 경주 화백컨벤션센터	대한민국
16	한국원예학회 춘계학술발표회	In-Lee Choi 외	2019.05.	경북 경주 화백컨벤션센터	대한민국
17	한국생물환경조절학회 추계학술대회	최인이 외	2019.11.	국립한국농수산대학	대한민국
18	한국조명전기설비학회 추계학술대회	신정철 외	2019.11.	인천국제공항공사 인재개발원	대한민국

다. 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

No	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국 명	출원			등 록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	백라이트유닛 및 이를 포함하는 표시장치	대한민국	유왕건 외	2017.09.08.	10-2017-0115436	유왕건 외	2019.09.16.	10-2023607	50%
2	조명장치	대한민국	이우식	2017.11.02.	10-2017-0145267	이우식	2018.10.08.	10-1908239	100%
3	양자점 파우더 및 이를 이용한 광학부재	대한민국	고영욱 외	2018.11.12.	10-2018-0138017				50%
4	백라이트유닛 및 이를 포함하는 표시 장치	대한민국	고영욱 외	2018.11.30.	10-2018-0151639				50%

라. 전문연구 인력양성

No	분류	기준 년도	현 황											
			학위별				성별		지역별					
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타	
1	학위취득	2017		2			2							2
2	학위취득	2018	1				1							1
3	연구교수발탁	2018	1				1							1
4	학위취득	2019		5			4	1						5

마. 기술실시 및 이전

No	기술실시 형태	실시 내용	지역	업체명	매출액(백만원) /기술이전료	매출발생년도/ 기술이전년도	기술 수명
1	자기기술실시	퀀텀닷 식물성장조명등 (원형)	국내	지엘 비전	49	2017.12.	10년
2	자기기술실시	퀀텀닷 식물성장조명등 (선형)	국내	지엘 비전	106	2019.08.	10년
3	기술이전	균일한 퀀텀닷 필름 생산 기술 Know-how이전	국내	(주)씨엠	10	2019.11.	10년

바. 사업화 현황

No	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액(백만원)		매출 발생년도	기술 수명
							국내	국외		
1	자기실시	신제품 개발	국내	퀀텀닷 식물성장조명등 (원형)	식물성장등 매출	지엘 비전	49	0	2017.12.	10년
2	자기실시	신제품 개발	국내	퀀텀닷 식물성장조명등 (선형)	식물성장등 매출	지엘 비전	106	0	2019.08.	10년

사. 기타

(1) 전시회 출품:

(가) 2017 International LED Expo (CPRI, 지엘비전, 2017.06.27~29.)

전시품: 퀀텀닷 소재, 퀀텀닷 적용 LED 조명 제품(식물등, 실내등 외)



(나) 2017 산업포럼(조명 및 디스플레이용 퀀텀닷 조명) (CPRI, 2017.11.03.)

전시품: 퀀텀닷 소재, 퀀텀닷 적용 LED 조명 제품(식물등, 실내등 외), 디스플레이용 QD 필름



(다) 제2회 강원과학기술축전(CPRI, 2017.11.08.)

전시품: 퀀텀닷 소재, 퀀텀닷 적용 LED 조명 제품(식물등, 실내등 외), 디스플레이용 QD 필름



(라) 2018 International LED Expo (CPRI, 지엘비전, 2018.06.26~28.)

전시품: 퀀텀닷 소재, 퀀텀닷 적용 LED 조명 제품(식물등, 실내등 외), 디스플레이용 QD 필름



(마) 2018 대한민국 탄소포럼 (CPRI, 2018. 10. 11.~12., 평창 알펜시아리조트)

전시품 : 퀴텀닷 소재, 퀴텀닷 적용 퀴텀닷 식물조명 제품

대한민국  
탄소포럼  
2018  
Korea Carbon  
Forum 2018



(바) 2019 International LED Expo (CPRI, 2019.06.25.~27.)

전시품: 퀴텀닷 소재, 방열소재, 퀴텀닷 적용 LED 조명 제품(식물등, 실내등 외)



(사) 2019 강원과학기술대축전 (CPRI, 2019. 9. 6~7, 강원정보문화진흥원)

전시품 : 퀀텀닷 소재, 퀀텀닷 적용 퀀텀닷 식물조명 제품

**2019 강원과학기술대축전**  
**강원지식재산페스티벌**  
 Gangwon Science Technology & Intellectual Property Festival 2019  
 2019. 9. 6 ~ 7 강원정보문화진흥원

220. 세부 배치 현황 >>> 1층(실내)

■ 기관명 : 철원플라즈마기술산업연구원 (1F-8)  
 ■ 부스타입 : 옥타늄 시스템(3\*2) / 1부스

신소재 ZONE  
 CPRI (재)철원플라즈마산업기술연구원

Facilities & Equipments	Quantum Dot Lighting Technology	QD Plant Lighting (plant growth)
<ul style="list-style-type: none"> <li>QD LED illumination</li> <li>QD Quantum Dot LED</li> <li>QD Quantum Dot LED for display</li> <li>QD Quantum Dot LED for lighting</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>QD LED illumination</li> <li>QD Quantum Dot LED</li> <li>QD Quantum Dot LED for display</li> <li>QD Quantum Dot LED for lighting</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>QD LED illumination</li> <li>QD Quantum Dot LED</li> <li>QD Quantum Dot LED for display</li> <li>QD Quantum Dot LED for lighting</li> </ul>



(아) 신아일보, 퀀텀닷식물조명-철원플라즈마 드디어 손에 잡히는 성과 나타나 (2019.4.8.)

철원플라즈마 "드디어 손에 잡히는 성과 나타나"

최문한 기자 | 승인 2019.04.08

「'퀀텀닷' 조영개발로 업체류 성장 30% 향상...미래동력원 제시



고영욱 철원플라즈마 본부장(왼쪽)의 설명으로 이종권 군경제진흥과장이 LED조명과 퀀텀닷 조명으로 성장하는 과채류 비교 실험실에서 생육과정을 확인하고 있다. (사진=최문한기자)

강원 철원군 미래육성사업이 철원플라즈마산업기술연구원(CPRI·이하 철원플라즈마)이 드디어 손에 잡히는 성과를 보이고 있어 관련업계 등에서 관심이 쏠리고 있다.

(자) 스포츠서울, 폐광내 인공광 활용'고추냉이'재배성공,신성장동력 될까 (2019.11.19.)

폐광내 인공광 활용'고추냉이'재배성공,신성장동력 될까

라이프일방 | 수정 2019-11-20 01:12:00 | 입력 2019-11-20 01:11:16

- '동굴에서 고추냉이가 자란다' 유희동굴 활용 퀀텀닷 LED 식물공장 실증 메뉴얼 개발
- 강원도농업기술원 산재연구소(재)철원플라즈마산업기술연구원(원지열비전→리덕지역 폐탄광 폐광장에서 인공광 이용해 '고추냉이'재배 첫 성공
- 최종덕 강원도농업기술원장 "폐광 등 유희자원을 활용한 퀀텀닷 LED 식물공장의 실증 사업회는 폐광지역의 새로운 성장동력으로 변환피드백 하는 첫 걸음"



·석탄 채굴용으로 활용되던 리덕시 함덕수경(폐식탄광 수직갱도). (제공=강원도농업기술원)

[리덕=스포츠서울 전인수 기자]

강원도내 연구진이 폐광지역의 유희자원을 폐광굴에서 인공광을 이용해 고부가가치의 고추냉이 재배에 처음으로 성공해 식재하는 폐광지역의 신성장동력이 될 지 귀추가 주목되고 있다.

강원도농업기술원(재)철원플라즈마산업기술연구원과 함께 리덕 소재 폐광인 함덕광업소 유희로 일부에 '퀀텀닷 LED 식물공장'을 설치하고 고추냉이 시험재배를 성공적으로 수행하고 있다고 19일 밝혔다.

(차) KBS-TV 뉴스광장, 폐광 신농업으로 탈바꿈 - 쿼터램프조명으로 고추냉이 시험재배 (2019.11.27.)



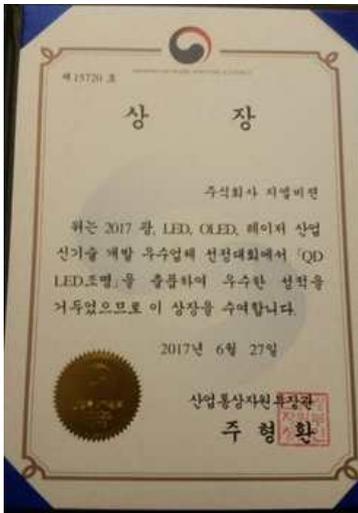
태백 함태



태백 조탄

(2) 수상 이력

순번	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일자	포상기관
(가)	산업부장관상	신기술개발 우수업체	지엘비전	2017.06.27.	(사)LED산업포럼
(나)	우수포스터 발표상	2017년 한국원예학회 추계학술발표회 우수포스터발표상	강원대 한수정	2018.05.24.	한국원예학회
(다)	대통령상	신기술개발우수업체	지엘비전	2018.06.26.	(사)LED산업포럼
(라)	산업부장관 표창장	퀀텀닷 소재를 활용한 광융합기술발전 공로	철원플라즈마산업기술연구원	2019.06.25.	(사)LED산업포럼



(가) 산업통상자원부장관상(지엘비전)



(나) 우수포스터발표상(강원대)



(다) 대통령상(지엘비전)



(라) 산업통상자원부장관상(철원플라즈마연구원)

(3) 인증 : KC 안전인증 3건, NET신기술인증 1건

접수번호 : FKL-2017-11447



**안전인증서**  
Safety Certificate

안전인증번호 : J111036-17001  
(Certificate No.)  
 제조업자/수입업자명 : (주)지엘비전  
(Manufacturer/Importer)  
 주소 : 강원도 철원군 갈말읍 호곡로 420  
(Address)  
 제품명 : LED등기구(매입형)  
(Product) Recessed Luminaires for LED Lamps  
 기본모델명 : GLV-610  
(Basic Model)  
 파생모델명 : 없음(None)  
(Series Model)  
 장력(안전기준상)의 모델구분 : 220 V~, 60 Hz, 10 W (LED 0.5 W × 2 EA, LED 0.5 W × 12 EA)  
(Rating)  
 시험기준 : KC60598-1(2015-09), KC60598-2(2015-09)  
(Standard)

본 인증서는 제조국명 : 한국  
 제조업자명 : (주)지엘비전의 제품에만 해당함  
 제조공장의 주소 : 강원도 철원군 갈말읍 호곡로 420

\* 전기용품 및 생활용품 안전관리법 시행규칙, 제4호제2항, 제4항, 제10조제2항 또는 제15조제2항에 따라 안전인증서를 발급합니다.  
 We issue this Safety Certificate for the above appliances in accordance with the Article 9(2), 9(4), 10(2) or 15(2) of the Enforcement Rule of the Electrical Appliances and Consumer Products Safety Control Act.

2017년 02월 22일  
year month day



**KTR** 한국화학융합시험연구원  
KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE

\* 이 인증서는 「전기용품 및 생활용품 안전관리법」 제 4호 제 2항 및 제 10조 제 2항 또는 제 15조 제 2항에 따른 인증을 받은 제품에 대하여 추가 인증·허가 등을 받아야 합니다.  
 \* 이 인증서는 「전기용품 및 생활용품 안전관리법」 제 4호 제 2항 및 제 10조 제 2항 또는 제 15조 제 2항에 따른 인증을 받은 제품에 대하여 추가 인증·허가 등을 받아야 합니다.  
 첨부서류 1. 전기용품의 안전관리법률 및 제정목록(List of Critical Components)  
 2. 기본모델·파생모델의 내용(Descriptions of the basic and series model)

본 인증증 시의 조건 : 동 제품의 생산 시 자체검사를 실시하고 안전인증 시 동제품의 성능시험 및 임의 변경하지 않 것.

접수번호 : CKC-2019-005268



**안전인증서**  
Safety Certificate

안전인증번호 : J111036-19002  
(Certificate No.)  
 제조업자/수입업자명 : (주)지엘비전  
(Manufacturer/Importer)  
 주소 : 강원도 철원군 갈말읍 호곡로 420  
(Address)  
 제품명 : LED등기구(고정형)  
(Product) Fixed Luminaires for LED Lamps  
 기본모델명 : GLV-P20L08  
(Basic Model)  
 파생모델명 : 없음(None)  
(Series Model)  
 장력(안전기준상)의 모델구분 : 220 V~, 60 Hz, 20 W (LED 0.5 W × 96 EA)  
(Rating)  
 시험기준 : KC60598-1(2015-09), KC60598-2(2015-09)  
(Standard)

본 인증서는 제조국명 : 대한민국  
 제조업자명 : (주)지엘비전의 제품에만 해당함  
 제조공장의 주소 : 강원도 철원군 갈말읍 호곡로 420

\* 전기용품 및 생활용품 안전관리법 시행규칙, 제4호제2항, 제4항, 제10조제2항 또는 제15조제2항에 따라 안전인증서를 발급합니다.  
 We issue this Safety Certificate for the above appliances in accordance with the Article 9(2), 9(4), 10(2) or 15(2) of the Enforcement Rule of the Electrical Appliances and Consumer Products Safety Control Act.

2019년 12월 20일  
year month day



**KTR** 한국화학융합시험연구원  
KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE

\* 이 인증서는 「전기용품 및 생활용품 안전관리법」 제 4호 제 2항 및 제 10조 제 2항 또는 제 15조 제 2항에 따른 인증을 받은 제품에 대하여 추가 인증·허가 등을 받아야 합니다.  
 \* 이 인증서는 「전기용품 및 생활용품 안전관리법」 제 4호 제 2항 및 제 10조 제 2항 또는 제 15조 제 2항에 따른 인증을 받은 제품에 대하여 추가 인증·허가 등을 받아야 합니다.  
 첨부서류 1. 전기용품의 안전관리법률 및 제정목록(List of Critical Components)  
 2. 기본모델·파생모델의 내용(Descriptions of the basic and series model)

본 인증증 시의 조건 : 동 제품의 생산 시 자체검사를 실시하고 안전인증 시 동제품의 성능시험 및 임의 변경하지 않 것.

접수번호 : CKC-2018-008920



**안전인증서**  
Safety Certificate

안전인증번호 : J111036-16002E  
(Certificate No.)  
 제조업자/수입업자명 : (주)지엘비전  
(Manufacturer/Importer)  
 주소 : 강원도 철원군 갈말읍 호곡로 420  
(Address)  
 제품명 : LED등기구(매입형)  
(Product) Recessed Luminaires for LED Lamps  
 기본모델명 : GLV-610K  
(Basic Model)  
 파생모델명 : GLV-610K-A60, GLV-610K-L30, GLV-610K-L60, GLV-610K-D60, GLV-610K-A30, GLV-610K-D610, GLV-610K, GLV-P610C  
(Series Model)  
 장력(안전기준상)의 모델구분 : 220 V~, 60 Hz, 12 W (LED 0.5 W × 36 EA)  
(Rating)  
 시험기준 : KC60598-1(2015-09), KC60598-2(2015-09)  
(Standard)

본 인증서는 제조국명 : 대한민국  
 제조업자명 : (주)지엘비전의 제품에만 해당함  
 제조공장의 주소 : 강원도 철원군 갈말읍 호곡로 420

\* 전기용품 및 생활용품 안전관리법 시행규칙, 제4호제2항, 제4항, 제10조제2항 또는 제15조제2항에 따라 안전인증서를 발급합니다.  
 We issue this Safety Certificate for the above appliances in accordance with the Article 9(2), 9(4), 10(2) or 15(2) of the Enforcement Rule of the Electrical Appliances and Consumer Products Safety Control Act.

2018년 11월 30일  
year month day



**KTR** 한국화학융합시험연구원  
KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE

\* 이 인증서는 「전기용품 및 생활용품 안전관리법」 제 4호 제 2항 및 제 10조 제 2항 또는 제 15조 제 2항에 따른 인증을 받은 제품에 대하여 추가 인증·허가 등을 받아야 합니다.  
 \* 이 인증서는 「전기용품 및 생활용품 안전관리법」 제 4호 제 2항 및 제 10조 제 2항 또는 제 15조 제 2항에 따른 인증을 받은 제품에 대하여 추가 인증·허가 등을 받아야 합니다.  
 첨부서류 1. 전기용품의 안전관리법률 및 제정목록(List of Critical Components)  
 2. 기본모델·파생모델의 내용(Descriptions of the basic and series model)  
 3. 안전인증의 변경 현황(Revision Status)

본 인증증 시의 조건 : 동 제품의 생산 시 자체검사를 실시하고 안전인증 시 동제품의 성능시험 및 임의 변경하지 않 것.



**신기술 인증서**

기술명 : 반사용 등기구용 양자점 필름 제작 기술

회사명 : (주)지엘비전

대표자 : 이은미

소재지 : 강원 철원군 서면 금강로 7194

인증번호 : 제1184호

유효기간 : 2019년 09월 26일부터 2022년 09월 25일까지

위의 기술을 「산업기술혁신 촉진법」 제15조의2에 따른 신기술로 인증합니다.

2019년 9월 26일



산업통상자원부장관

(4) 정책 활용

- 신강원 6대 신산업 선정 (2018.03.22.)

**올림픽 이후, 「신강원」 전략 세부실행계획**

- ◆ 동계올림픽 이후, 강원도가 국제화, 글로벌화 되어 '세계를 품는 강원'으로 도약 할 수 있게 「신강원」 전략으로 추동력 확보
- ◆ '신관광, 신농정, 신산업, 신산림'을 「신강원」 4대 핵심전략으로 설정, 수출중심의 국제화, 고품질화, 스마트화, 브랜드화하여 전세계로 대 도약

**I. 4대 핵심전략** ① 신관광 ② 신농정 ③ 신산업 ④ 신산림 구현

**③ 신산업 구현** 최첨단 기술집약 미래 신산업 육성 → 강원산업의 고부가가치화

- 신재생에너지 및 천연가스 연계 친환경·저탄소 미래 에너지 산업 육성
- 첨단기술 집적, 강원형 융복합 첨단 신산업 육성 → 고부가가치화
  - ① 탄소자원화 클러스터 조성
    - 과기정통부의 탄소광물화 플러그인 사업과 연계, 저탄소 도시 구현
    - 이산화탄소 분리·저장 조성, 탄소자원화 R&D센터 건립, 연관산업 유치 등
  - ② 강원도형 수소산업 육성
    - 강원도만의 특화된 방식(오염물질 발생 최소화)으로 수소생산
    - 수소에너지 기반 발전·운송·관개·조업 등 관련산업 육성
  - ③ K-CLOUD PARK 조성 - 빅데이터 산업 육성
    - 수월에너지 융복합 클러스터 조성 → 빅데이터산업 육성 거점 확보
    - ※ 금년 8월 국토부 투자선도지구로 선정, 추진동력 확보
    - 수월에너지 테스트 베드 구축 → 최적의 융복합 신 비즈니스 모델 확보
  - ④ 이모빌리티(전기자동차) 생산·수출 클러스터 조성
    - 완성차 부품기업 집적을 통해 전기자동차 생산 클러스터 조성(형성 우천산단)
    - 수출용 전기차의 국산화를 위한 인증지원센터와 테스트베드 구축
  - ⑤ 디지털 헬스케어 산업 육성
    - IoT 의료기기 개발, 디지털 헬스케어산업 비즈니스 모델 발굴(제조+서비스)
    - 첨단의료기기 국가산업단지 지정 연계 추진(원주 부문)
- ⑥ 퀀텀 나노분말 생산기술 상용화 산업 육성
  - 디스플레이 및 조명분야 기업의 상용화·원천기술 개발 및 기업지원 파이프라인 정비 투자

**3-8 퀀텀 디스플레이 조명산업 육성** 전략산업과 첨단소재산업일  
핵심종 3242

◆ 퀀텀 나노분말 생산기술 연구개발한 저비용, 고효율 퀀텀 나노분말 생산기술을 기반으로 디스플레이 및 조명 등 고부가가치 미래 신산업 육성

※ QD (Quantum Dot) : 나노미터 크기의 반도체 결정체. 에너지를 흡수해 방출하는 과정에서 다양한 파장의 빛을 내는 특성으로 디스플레이 기술 등에 활용되는 고부가가치 소재

**■ 추진개요**

○ 사업내용 : QD나노분말 생산기술 상용화 지원을 통해 도내에 “QD 연관산업 벨트” 조성(연관 기관 및 기업 유치)

○ 총사업비 : ~22년까지 95억원 투입(국비81억원, 지방비39억원, 민간25억원)

**■ 추진상황**

- 플라즈마연구원의 기술개발 성과 및 기뢰안 저위부 보고 : 17.12.8
- 2018 상용화 사업 추진계획(투자 및 홍보 등) 방침결정 : 18.1.10
- 철원군과 2018 사업계획 공유 및 예산확보 협의 완료 : 18.1.10

**■ 현안 및 문제점**

- 개발한 기술의 홍보 부족, 다양한 응용 분야에 대한 실증 필요

**■ 향후계획**

- 18년 상반기 중 언론기획보도 등 홍보, 농축산 분야 QD조명 효과 실증 추진(농업기술원, 산림과학연구원 등 연구기관 참여)
- 18년도 사업예산(지방비 15억) 추정 확보를 통한 장비 확충 추진

## 4장. 연구결과의 활용 계획

### ○ 연구성과의 활용방안

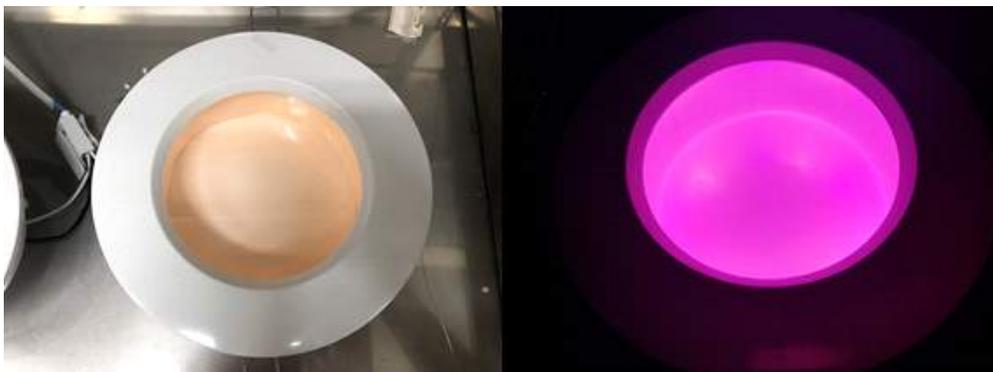
- 3차년도 간 수행된 본 사업의 결과를 통해 확보된 [고안정성을 가진 비Cd계 퀀텀닷 콜로이드/파우더 합성 및 이를 응용한 광여기 필름, 사출캡의 중간재 공정기술]의 연구성과, 퀀텀닷 소재를 이용한 식물생장 조명 기술, 퀀텀닷조명 실증 실험결과를 이용하여, 높은 양자효율과 고안정화 기술을 기업지원과 지역농민의 매출 및 수익 증대를 위한 후속사업을 추진 중에 있음.

### ■ 정책활용에 따른 사업추진 방안

- 퀀텀닷 소재를 적용한 디스플레이&조명산업 육성을 목표로 한, 강원도 신강원 6대 신산업 선정(2018. 03. 22.)되어 현재 정책에 반영되고 있으며, 강원 지역 산업발전의 기술개발 및 기업지원 플랫폼 거점으로 발돋움하기 위한 역량을 확보하기 위한 스마트특성화기반구축 사업을 추진할 예정임(2020년, 산업부 및 강원도 지원). 본 후속사업을 통해, 퀀텀닷 소재를 이용한 원천소재, 중간재 및 응용제품의 범위를 높이고, 측정장비의 도입을 통한 연구개발 역량을 확보함에 따라 관련기업을 유치, 발굴하여 심도있고 체계적인 연구, 시험/분석/인증에 대한 기업지원 서비스를 제공함으로써, 지역경제 활성화와 더불어 산업분야의 경쟁력을 높이기 위한 활동을 진행할 계획임.

### ■ 식물생장조명제품 개발을 통한 맞춤형 작물의 선정 및 최적 생육조건의 Database 확보

- 현재 참여기관인 (주)지엘비전에서 퀀텀닷 필름 및 식물생장 조명에 대한 전용 기술실시를 행사하고 있으며, 향후 (주)지엘비전에서는 퀀텀닷 필름을 이용한 식물생장 조명군을 넓혀갈 예정임. 특히, 식물 성장 주기 맞춤형 식물생장 조명에 대한 연구개발 및 제품 생산을 준비 중인 상태로, 식물 성장 주기 맞춤형 식물생장 조명은 식물이 받아할 때 필요한 파장, 성장중에 필요한 파장, 열매를 맺기 위한 파장(열매 작물일 경우)이 차이가 있으므로, 이에 맞는 작물맞춤형 조명을 생산 하고자 함.



- 10W 식물생장 조명은  $105 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  PPFD를 가지므로 식물생장에서 보광보다는 낮은 PPFD를 필요로 하는 밀폐형 식물 공장과 육묘 등에 적합함. 강원대에서 실시한 육묘 성장 결과에서 확인 할 수 있듯이 타 조명에 비하여 우수한 발아율과 성장을 확인 할 수 있으므로 육묘장, 시설하우스 등에 보급하기 위하여 홍보를 진행 하고 있음. 식물 공장에서는 엽채류 등의 잎채소에 적합하며 식물 공장 제조업체 및 기존 밀폐형 식물 공장을 도입한

농가 및 농업 법인을 대상으로 식물성장 조명의 중요성을 알리고 있으며, 공동 실증을 통하여 조명에 의한 식물 성장 차이를 확인하기 위하여 진행 중임. 식물공장의 경우, 20W 및 40W의 리니어형 식물성장등을 보급할 계획에 있음. 특히 새싹삼등 식물공장을 통한 해외 수출도 계획하고 있으며, 관련한 기업(O사, N사, D사 등)들이 지속적으로 관심을 갖고 있음.



- 100W급의 식물성장 조명은 높은 PPF(1,430umol/m<sup>2</sup>/s)에 따라 식물공장등에는 적합하지 않고, 비닐하우스 시설재배 작물의 보광용으로 적합함. 시설재배 작물을 현재 선정중이며, 딸기, 토마토(방울토마토), 오이 등에 적용하여 타 식물성장 보광 조명과의 차이를 실증하여 농가에 보급하고자 함. 현재 딸기농가에는 시험재배에 대한 구체적인 협의가 이루어지고 있는 상태이며, 토마토, 오이등의 시설 재배 농가와 재배 시기, 면적 등에 대한 협의가 진행 중에 있음.

○ 추가 연구의 필요성

■ Test Bed 적용을 통한 작물별 생육조건 최적화 연구의 필요성

- 현재까지 엽채류 및 과채류 작물에 한정된 연구결과를 넘어, 실제 식물성장조명 적용에 따른 구축, 유지비용을 회수할 만한 고부가가치 작물의 선정(화훼류, 특용작물 등) 및 이에 대한 생육 최적화 조건(온습도 및 대기 중 CO<sub>2</sub> 농도, 양액공급, 조명광원의 공급과장조건 등)에 대한 Database가 확보된다면 농업생산성 향상에 크게 기여할 것으로 생각되며, 향후 대한민국의 식량자원확보에 큰 보탬이 될 것으로 기대됨.

■ ICT 자동제어시스템 기반의 스마트팜 연구의 필요성

- Test Bed에서 확보된 작물 별 생육 Database를 바탕으로, 실제 상용화 단계에 해당되는 스마트팜 적용을 통해 자동화 공정의 정밀농업의 가능성을 위한 추가적인 연구를 진행할 계획임. 작물재배 시 배지종류 및 보광시간의 최적조건을 연구하는 한편, 병충해 발생문제 등을 해결할 수 있는 방안을 마련할 계획이며, 최종적으로 생산된 작물에 대한 영양분석 및 노지재배 대비 작물의 성장속도 비교에 따른 사업화 가능성을 검토함에 따라 스마트팜이 가진 장점을 극대화하여 식물성장 산업분야의 조기상용화를 위한 발판을 마련할 계획임.

○ 타 연구의 응용방안

- 본 과제의 쿼터닷 소재는 파장가변의 성질을 가지고 있으며 파우더화 공정을 통해 높은 양자효율과 환경 안정성을 확보하였음. 또한 안정성 확보에 따라 기존의 쿼터닷 필름에 적용되는 Barrier Layer 합지공정을 탈피함으로써 가격경쟁력에서도 우위를 점할 수 있음.

## ■ Display 연구 응용 가능성

- 이러한 퀀텀닷 소재의 장점을 이용하여 기존에 적용된 QLED 시장에서 적용되었던 퀀텀닷 필름의 연구개발을 통해 색재현 특성을 향상시키고 제품단가를 낮출 수 있는 Display 제품 응용이 가능함
- 또한 LED PKG Size가 수~수백um로 매우 작은 uLED Display의 전사공정을 용이하게 할 수 있는 퀀텀닷 소재의 적용에 따라 높은 해상도와 대면적화 구현을 통해 Display 강국의 위상을 유지시키고 후발 산업국가와의 기술격차를 유지시킴으로써 대내기술의 발전에 이바지할 수 있음.

## ■ 일반조명의 파장변환을 통한 연색지수 증가 및 자연광 특성 부여

- LED 조명은 기존의 조명과 비교하여 이산화탄소 배출이 적고, 수은 등의 중금속을 사용하지 않기 때문에 친환경 조명으로 평가받고 있으며 높은 수명(~50,000hr)과 광효율을 통해 조명시장의 점유율이 갈수록 높아지고 있음. 이러한 일반조명에서는 태양빛의 스펙트럼과 동일한 정도를 연색지수(Color Rendering Index)를 통해 나타내고 있으며, 이는 Red 계열의 파장을 보완함으로써 조절이 가능함. 이러한 원리를 이용하여 퀀텀닷 소재를 LED 일반조명에 적용하여 사람의 눈을 좀더 편안하게 하고 조명에 비친 피사체의 색을 원래의 색에 가깝게 나타낼 수 있는 장점을 가지고 있기 때문에 프리미엄 조명제작을 위한 연구개발에 적용이 가능함.

## ■ 높은 광전변환 특성을 가진 고효율 태양전지 적용

- 마지막으로 적색, 근적외선, 적외선 파장의 발생효과를 이용한 고효율 태양전지 분야에서 퀀텀닷 소재의 적용이 가능함. 퀀텀닷 필름은 빛의 파장 중 에너지가 높은 청색 계열의 빛을 흡수하여, 소재의 크기에 따른 밴드갭 에너지에 해당되는 파장을 여기시킴으로써 변환된 빛을 발산하게 되며, 특히 광전변환에 효과적인 적색~근적외선 파장대역의 변환을 통해 2% 이상의 효율을 개선시킬 수 있음. 이를 통해 태양전지 패널을 모듈화하여 전력이 소비되는 곳의 축전지에 충전이 가능하기 때문에 에너지 절감에 큰 도움이 되는 연구분야로, 현재 엄청난 물량공세로 산업분야 점유율을 높인 중국시장에서의 경쟁력 확보에 도움이 될 것으로 기대됨.

## ○ 기업화 추진방안

- 본 사업의 참여기관인 (주)지엘비전의 전용 기술실시를 통하여 최종 개발된 퀀텀닷 소재 적용 식물성장조명으로 지역 농가의 시설하우스에 보급조명 보급사업을 통해 기업 매출확대를 추진하고 있음. 특히 주관기관(CPRI) 및 참여기관이 있는 철원과 강원도내를 기점으로 하여 영농법인, 농업휴게자를 주 대상으로 하며, 시설하우스나 스마트팜을 목표로 보급을 준비하고 있음. 스마트팜 적용도 가능하며, 현재까지는 유희동굴 내 스마트팜 구축에 따라 광업생산이 종료된 지역에서의 새로운 산업형태를 부여함으로써 지역경제 활성화에 기여하고자 함. 이를 위해 강원도농업기술원, 지역 영농조합, 농업협동조합 등의 관심과 지원을 바탕으로 유희부지를 확보하여 시범운영을 추진하고 있음.

## ○ 기술실시

- 사업수행결과를 통해 도출된 다음 핵심기술을 적용한 제품인 10W 원형 고성장 퀀텀닷 식물등, 20W 및 40W 리니어 고성장 퀀텀닷 식물등 2건에 대하여 참여기업인 (주)지엘비전에

서 기술을 실시하여 제품을 판매하고 있으며, 현재 100W급 원형 쿼터닷 식물등은 제품 개발완료하여 KC인증 및 IP시험성적 발행 절차를 진행중에 있어, 사업확장이 기대되고 있음.

## 붙임. 참고문헌

- [1] Arias, J.P., K. Zapata, B. Rojano, and M. Arias. 2016. Effect of light wavelength on cell growth, content of phenolic compounds and antioxidant activity in cell suspension cultures of *Thevetia peruviana*. *J Photochem Photobiol B Biol.* 163:87-91.
- [2] Buschmann, C. 2007. Variability and application of the chlorophyll fluorescence emission ratio red/far-red of leaves. *Photosynth. Res.* 92:261-271.
- [3] Casal, J.J. 2013. Photoreceptor signaling networks in plant responses to shade. *Annu. Rev. Plant Biol.* 64:403-427.
- [4] Cho, J.Y., D.M. Son, J.M. Kim, B.S. Seo, S.Y. Yang, B.W. Kim, and B.G. Heo. 2008. Effects of various LEDs on the seed germination, growth and physiological activities of rape (*Brassica napus*) sprout vegetable. *Korean J. Plant Res.* 21:304-309 (in Korean).
- [5] Fuleki, T. and F.J. Francis. 1968. Quantitative methods for anthocyanins. 1. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. *J. Food Sci.* 33:72-77.
- [6] Giliberto, L., G. Perrotta, P. Pallara, J.L. Weller, P.D. Fraser, P.M. Bramley, A. Fiore, M. Tavazza, and G. Giuliano. 2005. Manipulation of the blue light photoreceptor cryptochrome 2 in tomato affects vegetative development, flowering time, and fruit antioxidant content. *Plant Physiol.* 137:199-208.
- [7] Ha, J.O., T.M. Ha, J.J. Lee, A.R. Kim, and M.Y. Lee. 2009. Chemical components and physiological functionalities of *Brassica campestris* ssp *rapa* sprouts. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 38:1302-1309 (in Korean).
- [8] Hamanaka, D., S. Dokan, E. Yasunaga, S. Kuroki, T. Uchino, and K. Akimoto. 2000. The sterilization effects of infrared ray on the agricultural products spoilage microorganisms. 2000 ASAE Annual International Meeting, Technical Papers: Engineering Solutions for a New Century. 2:971-979.
- [9] Han, S.J., I.L. Choi, J.Y. Kim, Y.G. Shin, and H.M. Kang. 2018. Effect of LED and quantum dot (QD-LED) irradiation on the growth and leaf color of red romaine. *Hortic. Sci. Technol.* pp 36:78 (in Korean).
- [10] Hatakeyama, R., T. Nakahama, Y. Higuchi, and K. Kitamoto, 2007. Light represses conidiation in koji mold *Aspergillus oryzae*. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry.* 71:1844-1849.
- [11] Hirner, A.A., S. Veit, and H.U. Seitz. 2001. Regulation of anthocyanin biosynthesis in UV-A-irradiated cell cultures of carrot and in organs of intact carrot plants. *Plant Sci.* 161:315-322.
- [12] Islam, M.Z., Y.T. Lee, A.M. Mahmuda, I.L. Choi, and H.M. Kang. 2019. The effect of phosphorus and root zone temperature on anthocyanin of red romaine lettuce. *Agronomy* 2019. 9:1-12.
- [13] Jeon, K.S., K.S. Song, C.H. Kim, J.H. Yoon, and J.J. Kim. 2013. Effects of seed pre-treatment and germination environments on germination characteristics of *Ligularia fischeri* seeds. *Protected Horticulture and Plant Factory.* 22(3):262-269 (in Korean).
- [14] Jing, P., L.H. Song, S.Q. Shen., S.J. Zhao, J. Pang, and B.J. Qian. 2014. Characterization of phytochemicals and antioxidant activities of red radish brines during lactic acid fermentation. *Molecules.* 19:9675-9688.
- [15] Jo, J.S. and J.G. Lee. 2018. Evaluation of individual glucosinolates, phytochemical contents, and antioxidant activities under various red to far-red light ratios in three *Brassica* sprouts. *Protected Horticulture and Plant Factory.* 27:415-423 (in Korean).
- [16] Johkan, M., K. Shoji, F. Goto, S. Hashida, and T. Yoshihara. 2010. Blue light-emitting diode light irradiation of seedling improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *HortScience.* 45:1890-1814.
- [17] Jun, S.Y., T.H. Kim, J.H. Kwon, and Y.K. Lee. 2009. Microbiological evaluation in situ of each process in seed sprouting. *Korean J Food Preserv.* 16:971-976 (in Korean).

- [18] Jun, S.Y., Y.H. Kim, J.M. Sung, J.W. Jeong, K.D. Moon, J.H. Kwon, and Y.K. Lee. 2010. Effects of seed decontamination treatments on germination of red radish seeds during presoaking. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 39:1528-1534 (in Korean).
- [19] Jun, S.Y. and Y.K. Lee. 2014. Effects of heat treatments on the microbial reduction and germination rates of red radish sprout seeds (*Raphanus sativus*). *Korean J Food Preserv.* 21:544-548 (in Korean).
- [20] Jung, J.J., E.J. Choi, Y.J. Lee, and S.T. Kang. 2011. Effects of infrared pasteurization on quality of red pepper powder. *Korean J. Food Sci. Technol.* 43:156-160 (in Korean).
- [21] Kim, D.H., S.J. Kim, S.I. Jeong, C.J. Cheon, and S.Y. Kim. 2014. Antiadipogenic effects of red radish (*Raphanus sativus* L.) sprout extract in 3T3-L1 preadipocytes. *Journal of Life Science.* 24:1224-1230 (in Korean).
- [22] Kim, W.B., H.J. Jo, J.G. Lee, J.W. Choi, J.G. Kim, and M.H. Park. 2013. Baby leaves growth, minerals, phenol, and flavonoid content of *Brassica campestris* L. according to LED red/blue light ratio. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* pp 31:60-61 (in Korean).
- [23] Konczak-Islam, I., M. Yoshinaga, M. Nakatani, N. Terahara, and O. Yamakawa. 2000. Establishment and characteristics of an anthocyanin-producing cell line from sweetpotato storage root. *Plant Cell Rep.* 19:472-477.
- [24] Lee, G.S., C.S. Choi, H.J. Lee, Y.A. Jang, and J.G. Lee. 2015. Effect of air temperature on growth and phytochemical content of beet and ssamchoo. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 33:303-308 (in Korean).
- [25] Lee, H.S. and O.B. Kim. 1998. Effect of temperature and photoperiod on germination of *Raphanus sativus* var. *acanthiformis*. Institute of Basic Science Seowon University. *The Bulletin of institute.* 12:23-37 (in Korean)
- [26] Lee, J.G., S.S. Oh, S.H. Cha, Y.A. Jang, S.Y. Kim, Y.C. Um, and S.R. Cheong. 2010a. Effects of red/blue light ratio and short-term light quality conversion on growth and anthocyanin contents of baby leaf lettuce. *J. Bio-Environ. Con.* 19:351-359 (in Korean).
- [27] Lee, J.Y., J.H. Lee, G.Y. Ki, S.T. Kim, and T.H. Han. 2011. Improvement of seed germination in *Rosa rugosa*. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 29:352-357 (in Korean).
- [28] Lee, K.A., Y.A. Lee, and I.S. Park. 2009. Sanitation effect of sprouts by chlorine Water. *Journal of Life Science.* 19:751-755 (in Korean).
- [29] Lee, N.Y., M.J. Lee, Y.K. Kim, J.C. Park., H.K. Park, and J.S. Choi. 2010b. Effect of light emitting diode radiation on antioxidant activity of barley leaf. *Journal of Korean Society for Applied Biological Chemistry.* 53:658-690.
- [30] Lee, S.O. and I.S. Lee. 2006. Induction of quinone reductase, the phase 2 anticarcinogenic marker enzyme, in hepalc1c7 cells by radish sprouts, *Raphanus sativus* L. *J Food Sci.* 71:144-148.
- [31] Lee, S.Y. and J.P. Baek. 2013. Effects of temperature, light condition, and priming treatment on seed germination of *Bidens bipinnata* L.. *Protected Horticulture and Plant Factory.* 22:188-191 (in Korean).
- [32] Oboh, G. 2005. Effect of blanching on the antioxidant properties of some tropical green leafy vegetables. *LWT.* 38:513-517.
- [33] Que, F., L. Mao, C. Zhu, and G. Xie. 2006. Antioxidant properties of chinese yellow wine, its concentrate and volatiles. *LWT-Food Sci Technol.* 39:111-117.
- [34] Rice-Evans, C.A., N.J. Miller, and G. Paganga. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends Plant Sci.* 2:152-159.
- [35] Solberg, M., J.J. Buckalew, C.C. Chen, D.W. Schaffner, K. O'Neil, J. Mcdowell, L.S. Post, and M. Boderck. 1990. Microbiological safety assurance system for foodservice facilities. *Food Technol.* 44:68-73.
- [36] Wang, Y., B. Zhou, M. Sun, Y. Li, and S. Kawabata. 2012. UV-A light induces anthocyanin

- biosynthesis in a manner distinct from synergistic blue + UV-B light and UV-A/blue light responses in different parts of the hypocotyls in turnip seedlings. *Plant Cell Physiol.* 53:1470–1480.
- [37] Yi, K.A. 1997. Regulation of ascorbate peroxidase activity by a catalase inhibitor, 3-amino-1,2,4-triazole in dark germinating radish cotyledons. Graduate school, Kangwon national university.
- [38] Yoo, J.H., E.S. Seong, J.G. Lee, C.J. Kim, J.H. Choi, G.H. Lee, I.S. Hwang, E.B. Hwang, J.D. Lim, Y.S. Ahn, C.B. Park, and C.Y. Yu. 2013. Comparison of the characteristics of seed germination and the first stage of growth in *Cynanchum wilfordii* (Maxim.) by different light conditions. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 21:329–333 (in Korean).
- [39] Yorio, N.C., G.D. Goins, H.R. Kegie, R.M. Wheeler, and J.C. Sager. 2001. Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *HortScience.* 36:380–383.
- [40] Zhang Q, J. Zhang, J. Shen, A. Silva, D.A. Dennis, and J.C. Barrow. 2006. A simple 96-well microplate method for estimation of total polyphenol content in seaweeds. *J Appl Phycol.* 18:445–450.
- [41] K V Vokhmintcev, C Guhrenz, N Gaponik, I Nabiev, P S Samokhvalov 2017 Quenching of quantum dots luminescence under light irradiation and its influence on the biological application. *J. Phys.: Conf. Ser.* 784:012014
- [42] S. Yamashita M. Hamada, S. Nakanishi, H. Saito, Y. Nosaka, S. Wakida, V. Biju 2015. Auger Ionization Beats Photo-Oxidation of Semiconductor Quantum Dots: Extended Stability of Single-Molecule Photoluminescence *Angewandte Chemie International Edition* 54(13):3892–3896
- [43] Z. Deutsch, A. Avidan, I. Pinkasb and D. Oron. 2011 *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 13:3210–3219
- [44] D. U. Lee, D. H. Kim, D. H. Choi, S. W. Kim, H. S. Lee, K. Yoo, and T. W. Kim. 2016. Microstructural and optical properties of CdSe/CdS/ZnS core-shell-shell quantum dots. *Optics Express*, 24(2):A350
- [45] D. Jeong, J. Y. Park, H. W. Seo, K. Lim, T. Seong, and B. S. Kim. 2016. The Effect of Surface Defects on the Optical Properties of ZnSe:Eu Quantum Dots. *J. Korean Powder Metall. Inst.*, 23(5):348–352
- [46] H. Li, C. Jia, X. Meng and H. Li. 2019. Chemical Synthesis and Applications of Colloidal Metal Phosphide Nanocrystals. *Colloidal Metal Phosphide Nanocrystals.* 6:652
- [47] S. Tamang, C. Lincheneau, Y. Hermans, S. Jeong, and P. Reiss. 2016. Chemistry of InP Nanocrystal Syntheses. *Chem. Mater.* 28:2491–2506
- [48] H. B. Jalali, M. M. Aria, U. M. Dikbas, S. Sadeghi, B. G. Kumar, M. Sahin, I. H. Kavakli, Clewa W. O.-Yang, and S. Nizamoglu. 2018. Effective Neural Photostimulation Using Indium-Based Type-II Quantum Dots. *ACS Nano* 12:8104–8114
- [49] H. Kim, J. Jo, S. Yoon, D. Jo, H. Kim, B. Park and H. Yang. 2019. Emission Enhancement of Cu-Doped InP Quantum Dots through Double Shelling Scheme. *Materials* 12:2267
- [50] A. M. Nightingale and J. C. deMello. 2016. Improving the ensemble optical properties of InP quantum dots by indium precursor modification. *J. Mater. Chem. C*, 4:8454
- [51] C. Ippen, T. Greco, A. Wedel. 2012. InP/ZnSe/ZnS: A Novel Multishell System for InP Quantum Dots for Improved Luminescence Efficiency and Its Application in a Light-emitting Device. *Journal of Information Display* 13:91–95
- [52] E. Lee, J. Moon, Y. Kim, P. Shin, and Y. Kim. 2015. Improved Luminescent Characterization and Synthesis of InP/ZnS Quantum Dot with High-Stability Precursor. *J. Korean Powder Metall. Inst.*, 22(6):385–390
- [53] E. Bang, Y. Choi, J. Cho, Y. Suh, H. W. Ban, J. S. Son and J. Park. 2017. Large-Scale Synthesis of Highly Luminescent InP@ZnS Quantum Dots Using Elemental Phosphorus Precursor. *Chem. Mater.*

- [54] J. P. Park, J. Lee and S. Kim. 2016. Highly luminescent InP/GaP/ZnS QDs emitting in the entire color range via a heating up process. *Scientific Reports* 6:30094
- [55] M. T. Clarke, F. N. Viscomi, T. W. Chamberlain, N. Hondow, A. M. Adawi, J. Sturge, S. C. Erwin, J. G. Bouillard, S. Tamang and G. J. Stasiuk. 2019. Synthesis of super bright indium phosphide colloidal quantum dots through thermal diffusion. *Communications Chemistry* 2:36
- [56] Bula, R. J., Morrow, R. C., Tibbitts, T. W. and Barta, D. J. 1991. Light-emitting diodes as a radiation source for plants. *HortScience* 26: 203–205.
- [57] Choi, E. G., Kim, M. H., Baek, G. Y., Choi, M. K., Yoon, Y. C. and Kim, H. T. 2013. The influence of gray mold growth under LED light source. *J. Agric. Life Sci.* 47: 265–271.
- [58] Herndl, G. J., Müller-Niklas, G. and Frick, J. 1993. Major role of ultraviolet-B in controlling bacterioplankton growth in the surface layer of the ocean. *Nature* 361: 717–719.
- [59] Kim, H.-J., Park, J.-Y., Baek, J.-W., Lee, J.-W., Jung, S.-J. and Moon, B.-J. 2004. Occurrence of bottom rot of crisphead lettuce caused by *Rhizoctonia solani* and its pathogenicity. *J. Life Sci.* 14: 689–695.
- [60] Kim, J. Y., Hong, S. S., Lee, J. G., Lee, H. J., Lim, J. W., Kim, J. W. et al. 2008. Occurrence of fusarium wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* and cultivar susceptibility on lettuce. *Res. Plant Dis.* 14: 79–84.
- [61] Kim, K., Kook, H.-S., Jang, Y.-J., Lee, W.-H., Kamala-Kannan, S., Chae, J.-C. et al. 2013. The effect of blue-light-emitting diodes on anti-oxidant properties and resistance to *Botrytis cinerea* in tomato. *J. Plant Pathol. Microbiol.* 4: 203.
- [62] Kim, S. A., Ahn, S.-Y., Oh, W. and Yun, H. K. 2012. In vitro test of mycelial growth inhibition of 5 fungi pathogenic to strawberries by ultraviolet-C (UV-C) irradiation. *Korean J. Food Sci. Technol.* 44: 634–637.
- [63] Kook, H.-S., Park, S.-H., Jang, Y.-J., Lee, G.-W., Kim, J. S., Kim, H. M. et al. 2013. Blue LED (light-emitting diodes)-mediated growth promotion and control of *Botrytis* disease in lettuce. *Acta Agric. Scand. Sect. B Soil Plant Sci.* 63: 271–277.
- [64] Moon, H., Lee, C. and Chae, H. 2016. Colloidal quantum dot nano-crystals for display applications. *KIC News* 19: 25–39.
- [65] Mori, Y. and Takatsuji, M. 2000. Influence of laser and LED lights on the growth of lettuce. *Illum. Eng. Inst. Jpn.* 33: 283–284.
- [66] Pruss, S., Fetzner, R., Seither, K., Herr, A., Pfeiffer, E., Metzler, M. et al. 2014. Role of the *Alternaria alternata* blue-light receptor LreA (white-collar 1) in spore formation and secondary metabolism. *Appl. Environ. Microbiol.* 80: 2582–2591.
- [67] Reuveni, R., Raviv, M. and Bar, R. 1989. Sporulation of *Botrytis cinerea* as affected by photoselective polyethylene sheets and filters. *Ann. Appl. Biol.* 115: 417–424.
- [68] Satio Y., Shimizu, H., Nakashima, H., Miyasaka, J. and Ohdoi, K. 2010. The effect of light quality on growth of lettuce. *IFAC Proc. Vol.* 43: 294–298.
- [69] Schuerger, A. C. and Brown, C. S. 1994. Spectral quality may be used to alter plant disease development in CELSS. *Adv. Space Res.* 14: 395–398.
- [70] Stevens, C., Khan, V. A., Lu, J. Y., Wilson, C. L., Pusey, P. L., Kabwe, M. K. et al. 1998. The germicidal and hermetic effects of UV-C light on reducing brown rot disease and yeast microflora of peaches. *Crop Prot.* 17: 75–84.
- [71] Suthaparan, A., Torre, S., Stensvand, A., Herrero, M. L., Pettersen, R. I., Gadoury, D. M. et al.

2010. Specific light-emitting diodes can suppress sporulation of *Podosphaera pannosa* on greenhouse roses. *Plant Dis.* 94: 1105-1110.

[72] Yang, J.-H., Choi, W.-H., Park, N.-J. and Park, D.-H. 2015. A study on growth of the green leaf lettuce depends on PPFD and light quality of LED lighting source for growing plant. *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.* 28: 142-147.

# 붙임. 시험성적서

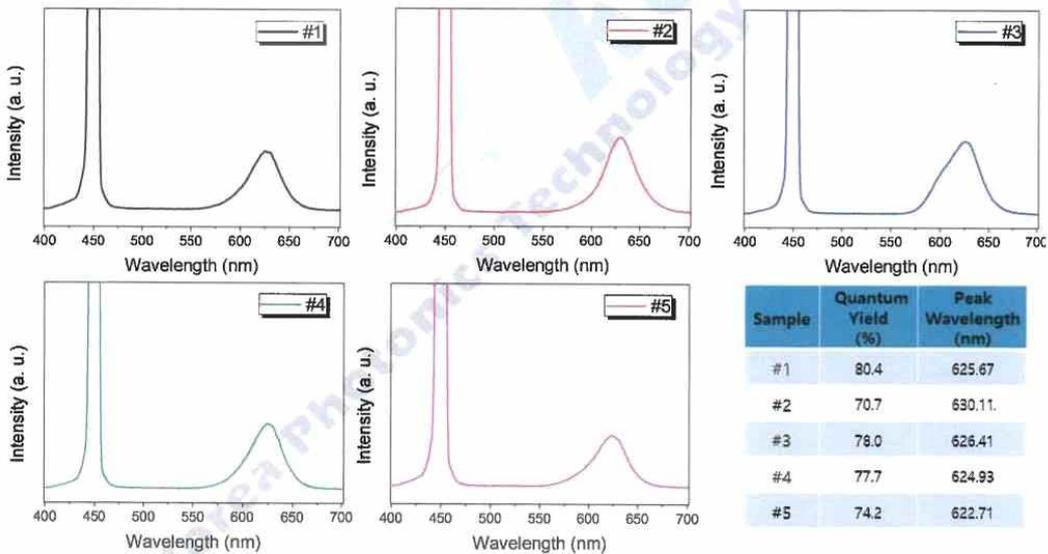
[붙임 1] 공인기관시험성적서: InP QD Colloid 양자효율 측정 - 한국광기술원

## 데이터분석 · 고장분석 보고서

제목	양자효율 측정		
신청자	(주)철원플라즈마 산업기술연구원 - 신 정 철	접수번호 (접수일)	KOPTI-181218-01 (2018-12-18)
담당자	장 인 석	분석기간	2018.12.21
검토자	김 재 필	작성일	2019.10.21
용도	양자효율 측정	재발행 사유	기술인증용

### 데이터분석 · 고장분석 요약

- 시험 품 명 : InP Quantum Dot #1 ~ #5
- 시 료 수 량 : 양자효율측정 5개 시료
- 시험 항목 및 시험 결과



< 양자효율 측정 스펙트럼 및 결과 >

한국 광 기술 원 장



- ※ 작성된 데이터분석 · 고장분석 상세 내용을 첨부하였습니다.
- ※ 단, 이 보고서는 신청서류에 대한 측정 및 분석을 시행한 것으로 이 보고서의 보증 및 효력은 용도에 한정함을 알려드립니다.
- ※ 이 보고서는 시험성적서가 아니므로 용도 이외의 사용을 금하며, 의뢰자가 임의로 사용하여 발생하는 문제에 대해서 한국광기술원은 책임지지 않습니다.

# 양자효율 측정 분석 보고서

신청인 : 신정철 ( (주)철원플라즈마 )

측정자 : 송광엽 (한국광기술원) 

작성자 : 장인석 (한국광기술원) 

검토자 : 김재필 (한국광기술원) 

작성일자 : 2019-10-21

접수번호 : KOPTI-181218-01



□ 측정 목적 및 내용

- 광학적 성능 특성 측정
- 측정 항목 : 양자효율 측정

□ 측정 시료

- 시료명 : InP Quantum Dot #1 ~ #5
- 시료 수량 : 5종 (#1 ~ #5)

□ 측정 조건

- 측정 온도 :  $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$
- 측정 장비 : 형광체 양자효율 측정장치
- 측정 장소 : 한국광기술원 연구동
- 측정 일시 : 2018. 12. 21



양자효율 측정 시스템

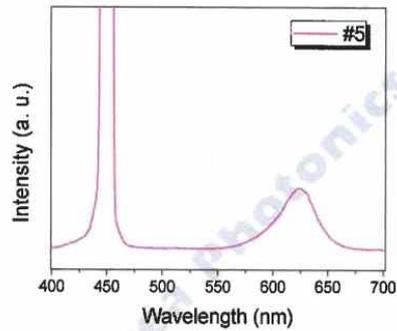
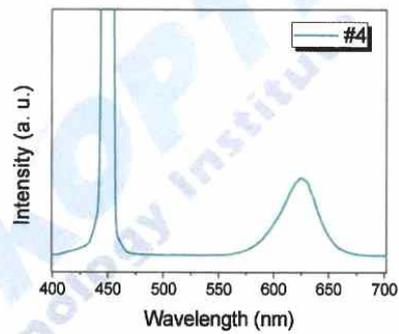
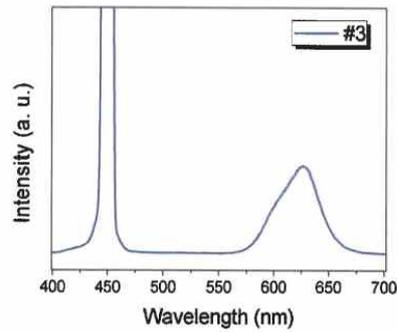
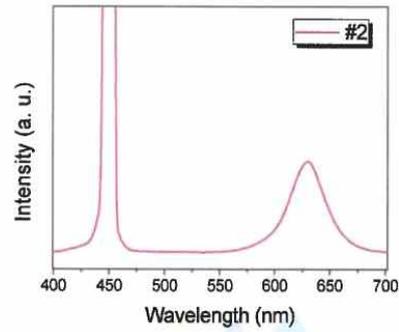
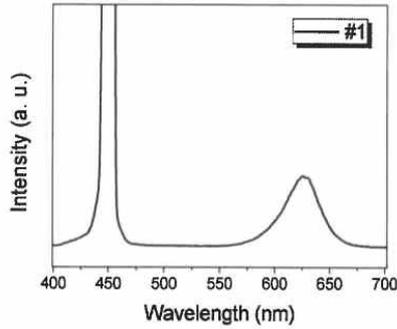


측정 시료 (#1~#5)

□ 측정 방법

- 시료를 넣지 않은 빈 퀴츠 셀의 측정값을 Reference로 놓고, 이후 시료를 넣은 퀴츠 셀의 양자효율의 측정
- Excitation wavelength : 450nm 조건 측정

## 1. Sample #1~#5 양자효율 측정 스펙트럼 및 결과



Sample	Quantum Yield (%)	Peak Wavelength (nm)
#1	80.4	625.67
#2	70.7	630.11
#3	78.0	626.41
#4	77.7	624.93
#5	74.2	622.71

## 2. 결과 요약

※ 양자점의 성능은 450nm에서 측정되었다.

※ 5개의 시료가 각각 80.4%, 70.7%, 78.0%, 77.7%, 74.2%의 양자효율 수치를 나타내었다.

[붙임 2] 자체시험성적서: QD Film & Cap 안정성, 100W 식물생장조명 배광분포 및 배광각도, 광균일도, 등기구효율 - (재)철원플라즈마산업기술연구원



## 자체 시험 성적서

2019-10-16

### Evaluation Items

#### 1. Quantum Dot Film & Cap Stability (60°C & 90% Aging Test)

- InP계 3wt% QD Film / Cap의 60°C & 90% Aging 조건에 따른 안정성 평가 [B/R Ratio]
- Blue Integrated Area:  $\int_{400nm}^{499nm} f(x)dx$ , Red Integrated Area:  $\int_{570nm}^{699nm} f(x)dx$

#### 2. Polar Distribution & Beam Angle

- 배광기 장비를 이용하여 100W급 QD 식물생장 투광등 조명의 배광분포 및 배광각도 확인

#### 3. Light Uniformity (Spectrum & PPFD)

- Portable Spectrometer 장비를 이용, 100W 식물생장 투광등의 1m 거리에서 벽면에 조사된 직선 1m, 9-Point 지점에 대한 PPFD 및 Spectrum의 [B/R Ratio] 균일도 평가

#### 4. Luminaire Efficiency

- 적분구 장비로 100W 식물생장 투광등 조명의 아크릴 커버 적용 전/후 등기구 효율 비교

### Data Summary

Items	Result Data
1. QD Film & Cap Degradation Aging Test	QD Film: 8.02%, QD Cap: 6.86%
2. Polar Distribution & Beam Angle	Avg. Beam Angle: 112.3°
3. Light Uniformity (Spectrum & PPFD)	[B/R Ratio]: 94.59% / PPFD: 90.61%
4. Luminaire Efficiency	91.3% (With / Without Acryl Cover)

Affirmation	Measurements performed by  Name: Jung Chul Shin (Assistant Research Engineer)	Approved by  Name: Yoo Yonghwan (Technical Manager)
-------------	---	---

Prepared by:

- 1 -

2019-10-16 (Wed)

Cheorwon Plasma Research Institute

## Table Contents

Test.1 Quantum Dot Film & Cap Stability (60°C & 90% Aging Test)···	3
Test.2 Polar Distribution & Beam Angle··········	5
Test.3 Light Uniformity (Spectrum & PPFD)··········	7
Test.4 Luminaire Efficiency··········	9

## Test.1 Quantum Dot Stability (60°C & 90% Aging Test)

### Equipment List

- **Date of Test:** 2019-08-26 (Mon) ~ 2019-10-11 (Fri)
- **Temperature:** 24.0 °C ± 1.0 °C    **Relative Humidity:** 45.0 % ± 5.0 % R.H.
- **Aging Time:** 5 minutes



Temp. / Humid.  
Chamber



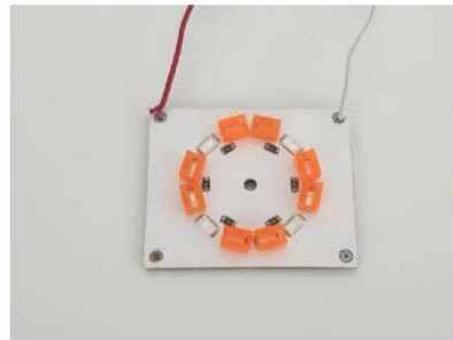
Integration Sphere

Equipment	Manufacturer	Model No.
Temp. / Humid. Chamber	labntools	LT-TH 150
Integration Sphere	PIMACS CO., LTD.	Neolight PL5000-2m

### Sample Picture (not to scale)



InP Red QD Film(Downlight)



InP Red QD Cap(LED Board)

Prepared by:

- 3 -

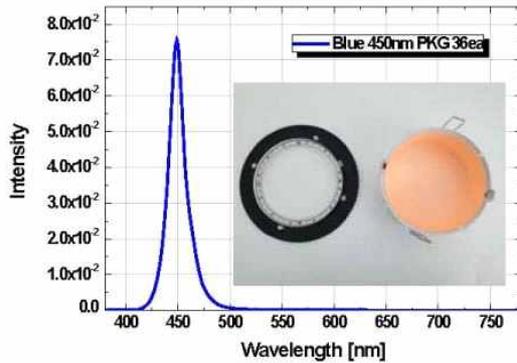
2019-10-16 (Wed)

Cheorwon Plasma Research Institute

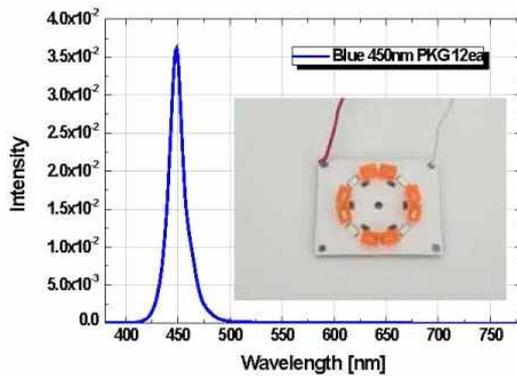
# Test.1 Quantum Dot Stability (60°C & 90% Aging Test)

## Test Condition

- QD Films in 60°C Temp. / 90% Humid. Chamber Aging
- Excited QD Film by Blue 450nm LED PKG



Blue 450nm LED Downlight (36ea)	
Luminous Flux	69.9 lm
L. Efficiency	14.0 lm/W
Power	5.0 W
CIE 1931	[0.1556 , 0.0282]



Blue 450nm LED Board (12ea)	
Luminous Flux	27.6 lm
L. Efficiency	21.3 lm/W
Power	1.3 W
CIE 1931	[0.1557 , 0.0263]

## Test Samples

1. InP Red Quantum Dot Film (With Blue 450nm LED Downlight (36ea))
2. InP Red Quantum Dot Cap (With Blue 450nm LED Board (12ea))

## Test Data

1. Excitation Spectrum Measurement (Blue LED ( $\lambda_B=449\text{nm}$ ))

2. Power Drop Calculation (Red) 
$$Power\ Drop(Red) = \frac{\int_{570\text{nm}}^{699\text{nm}} f(x)dx}{\int_{400\text{nm}}^{499\text{nm}} f(x)dx}$$

Prepared by:

- 4 -

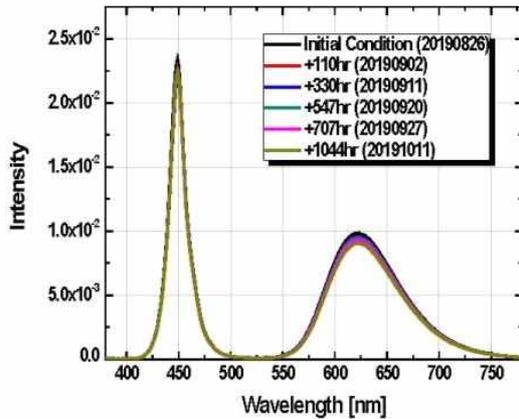
2019-10-16 (Wed)

Cheorwon Plasma Research Institute

# Test.1 Quantum Dot Stability (60°C & 90% Aging Test)

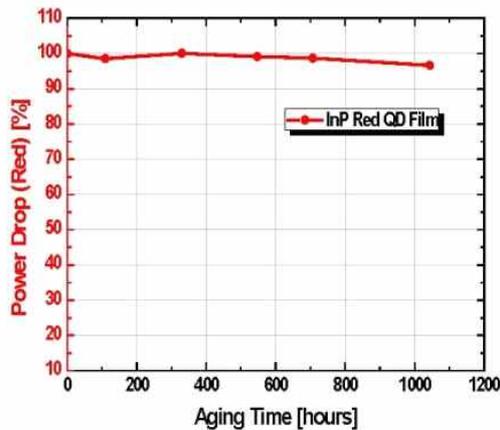
## Data Result – InP Red QD Film ( $\lambda_R=623\text{nm}$ ) / 120um

### ➤ Spectrum



Aging Time	Test Date	$\lambda_{\text{Blue Max.}}$	$\lambda_{\text{Red Max.}}$
+0hr	2019.08.26.	0.02339	0.00985
+110hr	2019.09.02.	0.02272	0.00957
+330hr	2019.09.11.	0.02211	0.00955
+547hr	2019.09.20.	0.02251	0.00949
+707hr	2019.09.27.	0.02228	0.00932
+1044hr	2019.10.11.	0.02231	0.00906
Degradation Rate		<b>4.62%</b>	<b>8.02%</b>

### ➤ Power Drop(Red)

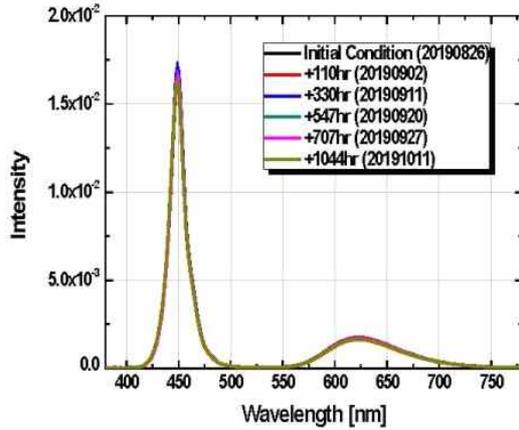


Aging Time	Blue Area	Red Area	Power Drop (Red)
+0hr	0.5254	0.7981	1.5190
+110hr	0.5177	0.7750	1.4970
+330hr	0.5084	0.7726	1.5197
+547hr	0.5091	0.7665	1.5056
+707hr	0.5027	0.7538	1.4995
+1044hr	0.4983	0.7314	1.4678
Degradation Rate			<b>3.37%</b>

# Test.1 Quantum Dot Stability (60°C & 90% Aging Test)

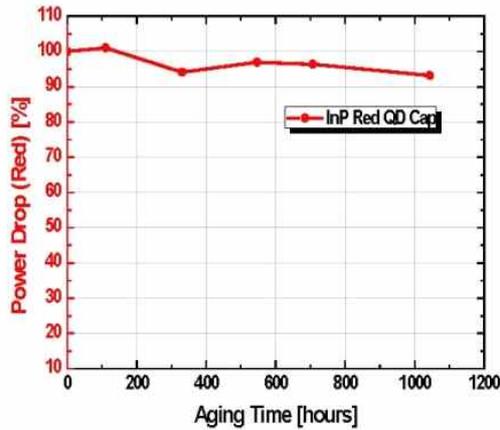
## Data Result – InP Red QD Cap ( $\lambda_R=623\text{nm}$ ) / 3wt%

### ➤ Spectrum



Aging Time	Test Date	$\lambda_{\text{Blue Max.}}$	$\lambda_{\text{Red Max.}}$
+0hr	2019.08.26.	0.01641	0.00175
+110hr	2019.09.02.	0.01667	0.00175
+330hr	2019.09.11.	0.01712	0.00170
+547hr	2019.09.20.	0.01667	0.00170
+707hr	2019.09.27.	0.01661	0.00169
+1044hr	2019.10.11.	0.01626	0.00163
Degradation Rate		-0.91%	6.86%

### ➤ Power Drop(Red)



Aging Time	Blue Area	Red Area	Power Drop (Red)
+0hr	0.3504	0.1421	0.4055
+110hr	0.3451	0.1414	0.4097
+330hr	0.3601	0.1375	0.3818
+547hr	0.3497	0.1375	0.3932
+707hr	0.3485	0.1362	0.3908
+1044hr	0.3500	0.1323	0.3780
Degradation Rate			6.79%

## Test.2 Polar Distribution & Beam Angle

### Equipment List

- **Date of Test:** 2019-08-15 (Thu)
- **Temperature:** 24.0 °C ± 1.0 °C    **Relative Humidity:** 45.0 % ± 5.0 % R.H.
- **Aging Time:** 30 minutes



Equipment	Manufacturer	Model No.
Goniophotometer	PIMACS CO., LTD.	Neolight 8000

### Sample Picture (not to scale)



100W QD Plant Growth Flood Lighting

---

Prepared by:

- 7 -

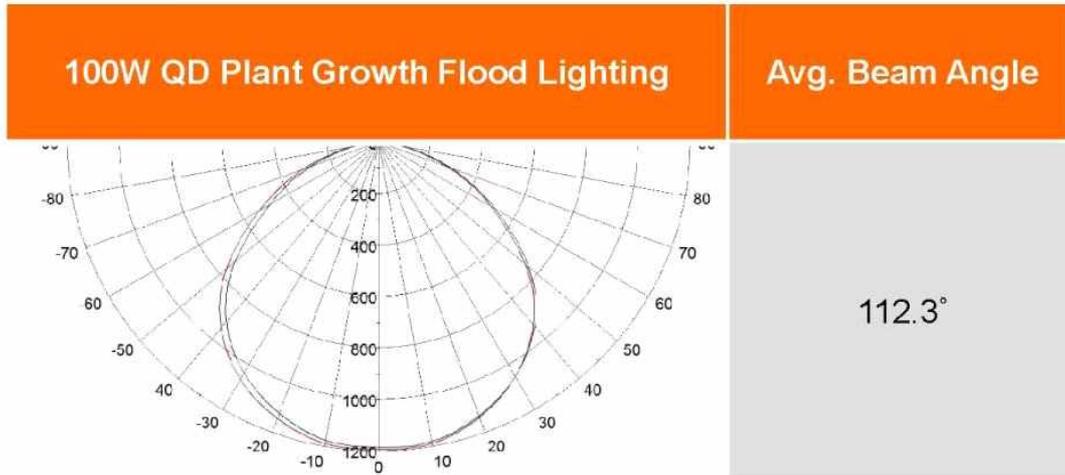
2019-10-16 (Wed)

Cheorwon Plasma Research Institute

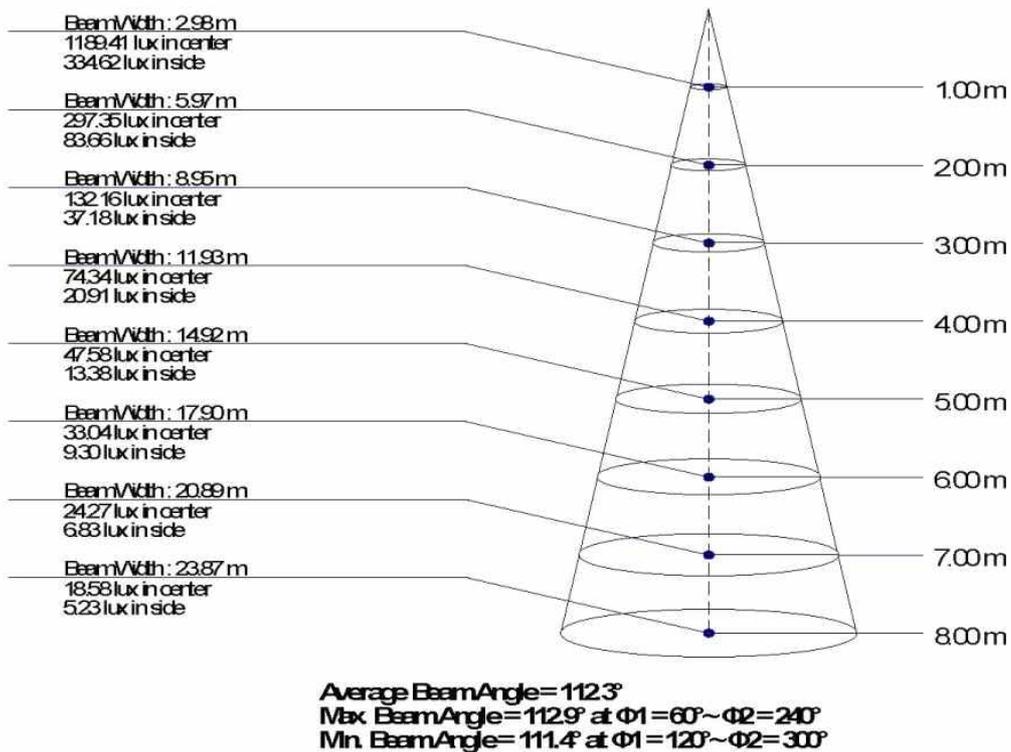
## Test.2 Polar Distribution & Beam Angle

### Data Result

- Polar Distribution



- Conical Illuminance



## Test.3 Light Uniformity (Spectrum & PPF)

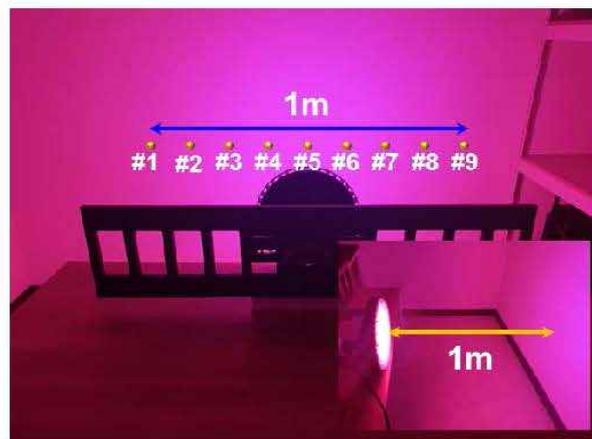
### Equipment List

- Date of Test: 2019-08-15 (Thu)
- Temperature: 24.0 °C ± 1.0 °C    Relative Humidity: 45.0 % ± 5.0 % R.H.
- Aging Time: 30 minutes



Equipment	Manufacturer	Model No.
Portable Spectrometer	UPRtek	MK350S

### Sample Picture (not to scale)



Prepared by:

- 9 -

2019-10-16 (Wed)

Cheorwon Plasma Research Institute

▪ Data Sheet - Blue Area / Red Area ratio

단위: [% - Blue / Red]

Sample	Point #1	Point #2	Point #3	Point #4	Point #5	Point #6	Point #7	Point #8	Point #9
Blue Area	30.24	30.16	30.07	29.99	30.01	29.99	30.01	30.07	30.16
Red Area	78.31	74.74	71.52	69.63	71.39	69.58	71.18	71.78	75.85
Blue/Red	0.3862	0.4035	0.4204	0.4307	0.4204	0.4310	0.4216	0.4189	0.3976

$$\text{Blue Integrated Area: } \int_{400nm}^{499nm} f(x)dx$$

$$\text{Red Integrated Area: } \int_{570nm}^{699nm} f(x)dx$$

$$\text{Uniformity} = 100 - \frac{(\text{Max.} - \text{Min.})}{2 \times \text{Avg.}} \times 100$$

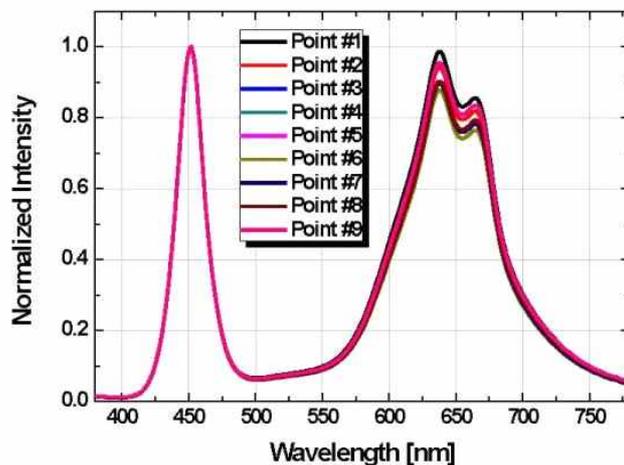
Maximum	Minimum
0.4310 (Point #6)	0.3862 (Point #1)
Average	Uniformity [%]
0.4145	94.59

▪ Data Sheet – PPF(@1m) Uniformity

단위: [ $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ ]

Sample	Point #1	Point #2	Point #3	Point #4	Point #5	Point #6	Point #7	Point #8	Point #9
PPFD	14.18	14.95	15.41	16.12	16.09	16.02	15.23	13.97	13.30

▪ Spectrum Graph



Maximum	Minimum
16.12 (Point #4)	13.3 (point #9)
Average	Uniformity [%]
15.03	90.61

Prepared by:

- 10 -

2019-10-16 (Wed)

Cheorwon Plasma Research Institute

## Test.4 Luminaire Efficiency

### Equipment List

- Date of Test: 2019-08-16 (Fri)
- Temperature: 24.0 °C ± 1.0 °C    Relative Humidity: 45.0 % ± 5.0 % R.H.
- Aging Time: 30 minutes



Equipment	Manufacturer	Model No.
Integration Sphere	PIMACS CO., LTD.	Neolight PL5000-2m

### Sample Picture (not to scale)



Without Acryl Plate  
(Before)



With Acryl Plate  
(After)

Prepared by:

- 11 -

2019-10-16 (Wed)

Cheorwon Plasma Research Institute

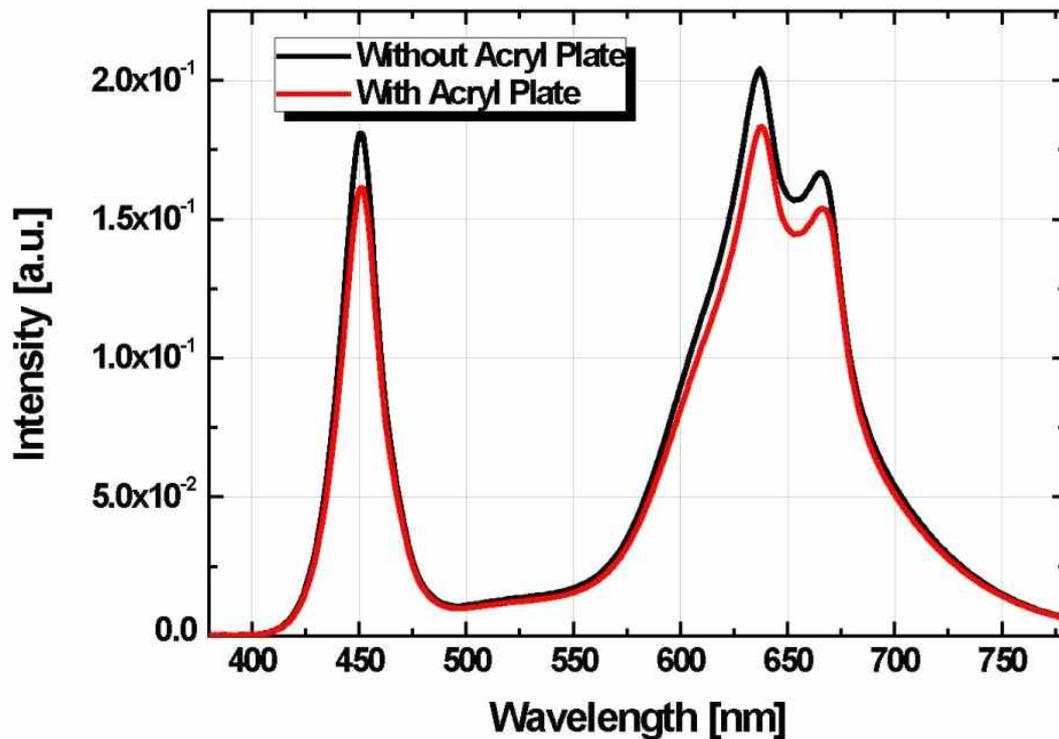
## Test.4 Luminaire Efficiency

### Data Result

- Data Sheet

Model	Luminous Flux [lm]	L. Efficiency [lm/W]	Power [W]	Voltage [V]	Current [A]	Power Factor	Frequency [Hz]	Luminaire Efficiency [%]
Without Acryl Plate	3,876	39.2	99.0	220.1	0.4546	0.9890	60	-
With Acryl Plate	3,522	35.8	98.3	220.1	0.4517	0.9890	60	91.3

- Spectrum Graph





# TEST REPORT

## Photometric and Electrical Testing of Solid-State Lighting Products

**Manufacturer:** Cheorwon Plasma Research Institute  
7194, Geumgang-ro, Seo-myeon,  
Cheorwon-gun, Gangwon-do, 24062,  
Republic of Korea

**Product Type:** LED Luminaire

**Model Name:** P10-100Q (Bare / With Cover)

**Report Number:** KILT1909-U06847

**Test Date:** September 10<sup>th</sup> 2019

**Report Date:** September 19<sup>th</sup> 2019

**Testing Laboratory:** Korea Institute of Lighting and ICT  
Daewoo Technopark A-403, 261 Doyak-ro, Wonmi-gu,  
Bucheon City, Gyeonggi-do, 420-806 South Korea  
Tel: +82-32-670-8888, Fax: +82-32-670-8889

**Report Prepared by:**

**EunCheol Jung**  
Research Engineer

**Report Reviewed by:**

**Sangkyoo Jeon**  
Technical Manager

**Note:** This report cannot be reproduced in part without the prior written permission from Korea Institute of Lighting and ICT. This laboratory has been accredited by International Accreditation Service (IAS) under ISO/IEC Standard 17025:2005 for the test methods listed in the approved scope of accreditation.

## TABLE OF CONTENTS

General Information .....	3
Test Methods .....	4
Summary of Test Results .....	5
Spectral Power Distribution .....	7

### General Information

This test report was prepared and performed in accordance with IESNA LM-79-08, and the following additional standards were used as test methods and conditions:

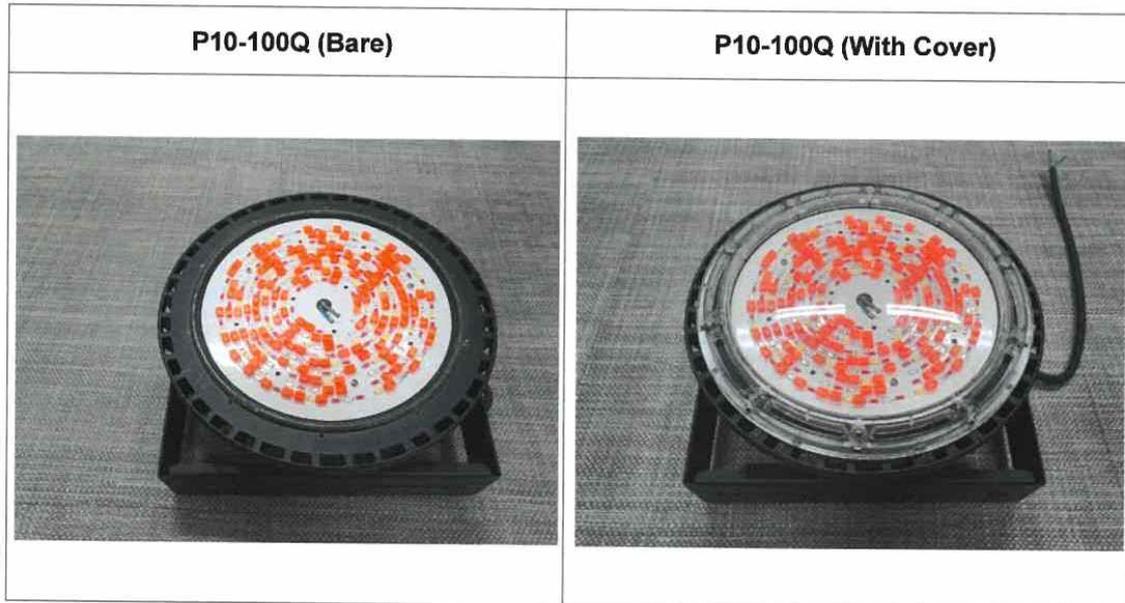
- ANSI NEMA ANSLG C78.377-2011 Specifications for the Chromaticity of Solid State Lighting Products

The sample was received by Korea Institute of Lighting and ICT on September 10<sup>th</sup> 2019 and was tested as received under undamaged condition.

### Equipment List

Equipment	Manufacturer	Control No.	Last Calibration Date	Calibration Due Date
Integrating sphere (2 m)	EVERFINE	KILT-I-P14-083	2018.10.12	2019.10.12
Power Source	EVERFINE	KILT-I-P14-083E	2019.08.23	2020.08.23
Power meter	EVERFINE	KILT-I-P14-083D	2019.08.23	2020.08.23

### Sample Picture (not to scale)



## Test Methods

### Seasoning of Solid-State Lighting Products

SSL products shall be tested with no seasoning in accordance with IESNA LM-79-08. Therefore, the sample was tested with no seasoning.

### Photometric and Electrical Measurements using Integrating Sphere

A Everfine spectroradiometer and 2m Integrating Sphere were used to measure correlated color temperature, chromaticity coordinates, and the color rendering index for the sample.

Ambient temperature was measured at the same height as the sample mounted in the integrating sphere. The sample was operated at the rated input voltage in its designated orientation. Before being measured, the sample was operated long enough to reach stabilization and temperature equilibrium and was identified as follows:

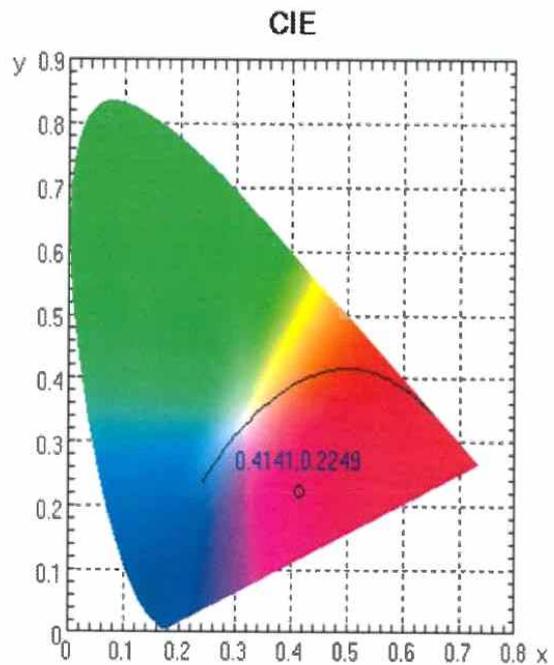
The variation of 3 readings of the light output and electrical power over a period of 30 minutes was less than 0.5 %

### Summary of Test Results

[P10-100Q (Bare)]

Photometric Items	Results	Conditions
Total Luminous Flux	3891.4 lm	Integrating Sphere
Luminous Efficacy	38.92 lm/W	
Correlated Color Temperature (CCT)	1645 K	
Color Rendering Index (Ra)	45.6	
Chromaticity Co-ordinate (x, y)	Cx=0.4141, Cy=0.2249	
Chromaticity Co-ordinate (u', v')	u'=0.3401, v'=0.4155	
Electric Items	Results	Conditions
Input Voltage	220 V	Integrated Source meter
Input Current	0.449 A	
Input Power	99.18 W	
Additional Items	Results	Conditions
Ambient Temperature	25.1 °C	-

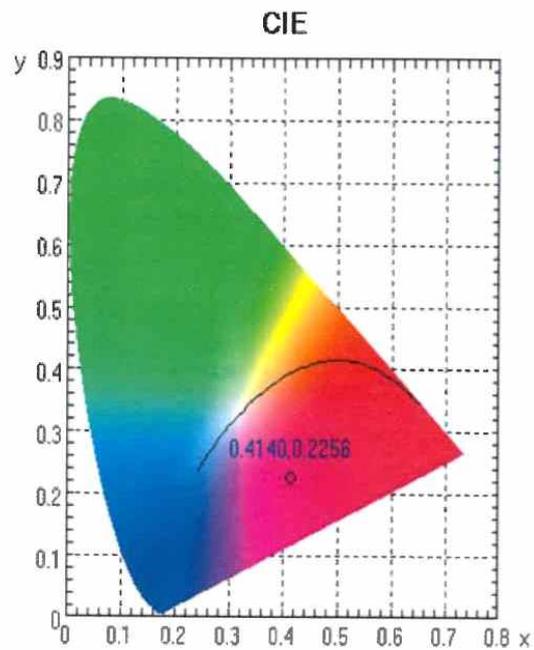
Color Rendering Details	
R1	71
R2	41
R3	19
R4	78
R5	52
R6	-9
R7	37
R8	76
R9	72
R10	-25
R11	87
R12	169
R13	52
R14	60
R15	66



[P10-100Q (With Cover)]

Photometric Items	Results	Conditions
Total Luminous Flux	3498.8 lm	Integrating Sphere
Luminous Efficacy	35.31 lm/W	
Correlated Color Temperature (CCT)	1652 K	
Color Rendering Index (Ra)	45.6	
Chromaticity Co-ordinate (x, y)	Cx=0.4140, Cy=0.2256	
Chromaticity Co-ordinate (u', v')	u'=0.3394, v'=0.4161	
Electric Items	Results	Conditions
Input Voltage	220 V	Integrated Source meter
Input Current	0.445 A	
Input Power	99.08 W	
Additional Items	Results	Conditions
Ambient Temperature	25.1 °C	-

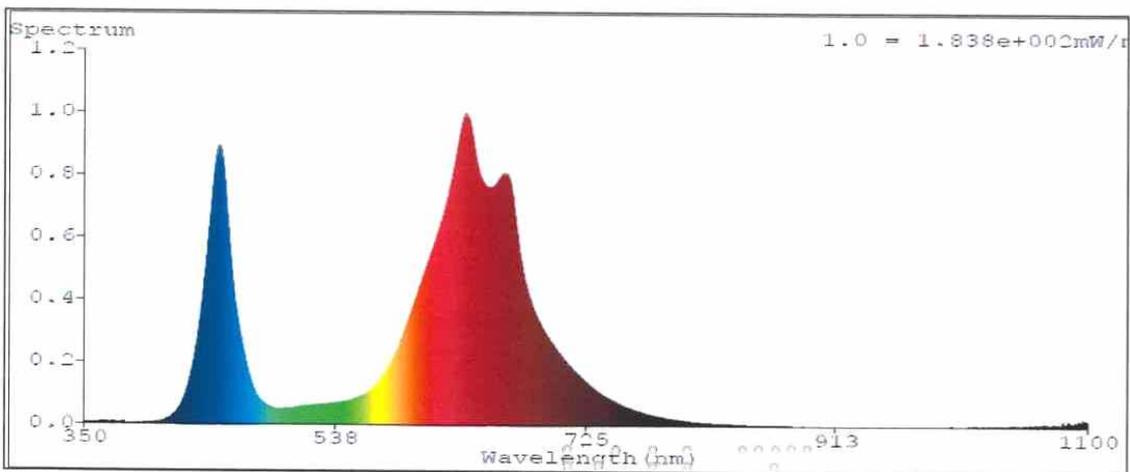
Color Rendering Details	
R1	71
R2	41
R3	19
R4	77
R5	52
R6	-9
R7	37
R8	77
R9	71
R10	-25
R11	87
R12	170
R13	52
R14	59
R15	66



**Spectral Power Distribution**

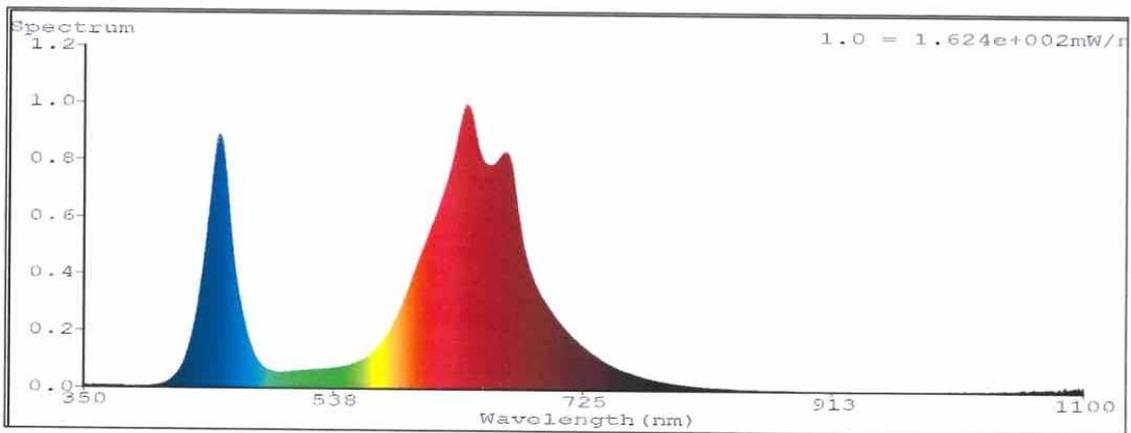
[P10-100Q (Bare)]

$\lambda(\text{nm})$	mW/nm	$\lambda(\text{nm})$	mW/nm	$\lambda(\text{nm})$	mW/nm	$\lambda(\text{nm})$	mW/nm
380	1.445	490	10.47	600	78.14	710	38.47
385	0.8093	495	9.754	605	89.85	715	33.98
390	0.8545	500	9.749	610	101.5	720	30.1
395	1.009	505	10.26	615	113.5	725	26.45
400	1.079	510	10.59	620	126.8	730	23.13
405	1.513	515	11.24	625	144.1	735	20.25
410	2.466	520	11.68	630	165	740	17.66
415	4.367	525	11.95	635	182.4	745	15.36
420	8.354	530	12.4	640	173.4	750	13.4
425	15.89	535	12.82	645	150.9	755	11.72
430	29.24	540	13.3	650	141.8	760	10.26
435	50.36	545	13.99	655	140.8	765	8.891
440	82.74	550	14.85	660	144.5	770	7.659
445	126.3	555	16.42	665	148.6	775	6.605
450	161.5	560	18.29	670	137.4	780	5.788
455	146.8	565	21.04	675	107.1		
460	97.04	570	25.17	680	84.58		
465	63.89	575	30.38	685	71.24		
470	42.19	580	37.14	690	62.05		
475	26.3	585	45.3	695	54.8		
480	17.1	590	55.33	700	48.76		
485	12.8	595	66.45	705	43.36		



[P10-100Q (With Cover)]

$\lambda$ (nm)	mW/nm	$\lambda$ (nm)	mW/nm	$\lambda$ (nm)	mW/nm	$\lambda$ (nm)	mW/nm
380	1.185	490	9.694	600	70.58	710	36.01
385	0.7343	495	8.825	605	80.9	715	31.77
390	0.8188	500	8.848	610	91.04	720	28.1
395	0.7399	505	9.214	615	101.4	725	24.87
400	0.9216	510	9.501	620	112.2	730	21.66
405	1.324	515	9.97	625	125.4	735	19.08
410	2.177	520	10.4	630	142.4	740	16.8
415	4.029	525	10.77	635	159.4	745	14.55
420	7.635	530	11.01	640	158.9	750	12.67
425	14.17	535	11.43	645	140.7	755	11.11
430	26.01	540	11.88	650	130	760	9.696
435	44.56	545	12.54	655	127.9	765	8.388
440	72.39	550	13.3	660	130.4	770	7.24
445	109	555	14.9	665	135	775	6.246
450	141.2	560	16.7	670	130	780	5.457
455	132.8	565	19.27	675	105.5		
460	90.45	570	22.94	680	82.02		
465	59.04	575	27.62	685	67.87		
470	39.73	580	33.7	690	58.56		
475	24.88	585	41.19	695	51.44		
480	16.06	590	50.13	700	45.64		
485	11.96	595	59.92	705	40.58		



## TEST REPORT

**1. 의뢰기관 :**

기 관 명: (재)철원플라즈마산업기술연구원 (신정철 님)

주 소: 강원 철원군 서면 금강로 7194 (재)철원플라즈마기업지원연구동

**2. 의뢰일자 :** 2019. 07. 29.

**3. 용도 :** 국가과제제출용

**4. 시험대상품목 또는 물질, 시료명 :** 표 1 참조

**5. 시료형상 :** Solid

**6. 시험항목 :** 표 2 참조

**7. 시험방법 :** 표 2 참조

**8. 시험기간 :** 2019. 08. 02 ~ 2019. 08. 07

**9. 시험결과 :** 표 2 참조

**10. 시험자 :** 김설빈 분석원

확 인	실무자	승인자
	직 위: 분석원 성 명: 김 설 빈	직 위: 시험책임자 성 명: 민 경 호
	<i>Seolbin Kim</i> (서명)	<i>Kyoung-ho Min</i> (서명)
본 Test report 는 의뢰자가 제공한 시료를 이용한 측정결과입니다. 본 Test report 는 사전협의 없이 선전, 방송 및 광고, 법적소송의 용도로 사용할 수 없습니다. ※ 별도의 요청이 없는 경우, 제공된 시료는 시험 완료 2 주 후 자동 폐기합니다.		

2019년 8월 8일

국제공인시험기관 **한국고분자시험연구소(주) (인)**



표 1. 시료명 및 시료사진

No	시료에 기재된 시료명	시험에 사용한 시료명	시료사진
1	방열소재(H-12)	Koptri- 19-08-10430-1	

Note 1) 시편가공 : Koptri ( ) / 의뢰자 ( O )

Note 2) 신청서에 기재된 시료명 : 방열사출소재

표 2. 시험방법 및 시험결과

시료명	시험항목	단위	시험장비 및 방법	시험결과
Koptri- 19-08-10430-1	열전도도	W/(m·K)	ASTM E1461 (Laser flash: Thru-plane)	11.0
	열전도도	W/(m·K)	ASTM E1461 (Laser flash: In-plane)	19.5

Note) 비열 : Differential scanning calorimetry 로 측정

**\* Raw data**

**1. 시험 조건**

**1-1. 밀도시험 조건**

- (1) 시험기기 : Electronic densimeter (Alfa Mirage 사 / MD-300S)
- (2) 시험방법 : ASTM D792에 준하여 비중 측정 후 밀도환산  
(Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density)  
of Plastics by Displacement)
- (3) 시험온도 : (25±2) °C

**1-2. 비열(specific heat) 시험 조건**

- (1) 시험방법: KS M ISO 11357-4 (Plastics-Differential scanning calorimetry (DSC)-  
Part 4:Determination of specific heat capacity)
- (2) 시험장비: TA 사, DSC 25
- (3) 측정온도범위 및 시간: 0 °C (5 min 유지)  
0 ~ 50 °C (1st Heating)  
50 °C (5 min 유지)
- (4) 승온속도: 5 °C/min (1<sup>st</sup> heating)
- (5) 분위기 : N<sub>2</sub>

**1-3. 열확산계수 및 열전도도 시험 조건**

- (1) 시험기기 : Thermal diffusivity measurements (NETZSCH, LFA 447 NanoFlash)
- (2) 시험방법 : ASTM E1461(Standard Test Method for Thermal Diffusivity by the Flash Method)  
$$\lambda(T) = \alpha(T) \times C_p(T) \times \rho(T)$$
  
열확산율( $\alpha$ ), 비열( $C_p$ ), 밀도( $\rho$ ) 측정 후 열전도도( $\lambda$ )로 환산.
- (3) Sensor : InSb
- (4) 시험온도 : 25 °C
- (5) Voltage / Pulse Width : Thru-Plane - 270 V / Medium  
In-Plane - 270 V / Long

## 2. 시험결과

### 2-1. 열전도도시험 결과

표 3-1. 열전도도시험 결과

시료명	Run	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Specific heat (J/g·K)	Thermal diffusivity (mm <sup>2</sup> /s)	Thermal conductivity (W/(m·K))
Koptri- 19-08-10430-1 (Thru-plane) (두께 : 2.010 mm)	1	1.716	0.945	6.761	10.961
	2	1.716	0.945	6.760	10.960
	3	1.716	0.945	6.738	10.924
	SD	-	-	0.01	0.02
	CV(%)	-	-	0.19	0.19
	평균		<b>1.716</b>	<b>0.945</b>	<b>6.753</b>

Sensor signal : shot: 1, step: 1  
 Temperature : 25.3 °C  
 Date/Time : 2019-08-06 10:05:34  
 Instrument : LFA 447 Remark (measurement) : KOPTRI

Identity : koptri\_19-08\_1\_2185100 19 08 06  
 Sample : 19-08-10430-Thru  
 Material : 19-08-10430-Thru

Thickness : 2.0100 mm  
 Diameter : 12.700 mm  
 Operator : Kim Seobin

Model : Cape-Lehman + pulse correction  
 Diffusivity : 6.761 mm<sup>2</sup>/s  
 Ampl. gain : 50020.0 (10x5002)

Remark (shot) : KOPTRI  
Created with NETZSCH Proteus software

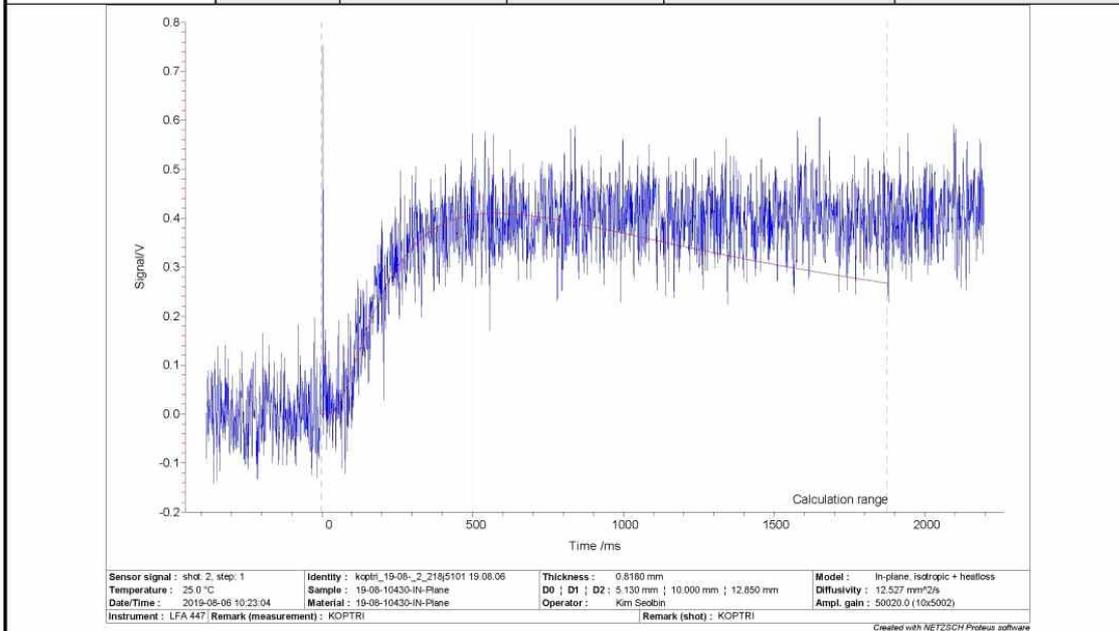
SD : Standard deviation

CV : Coefficient of variation=(SD/average)x100

Note) Half time  $t_{1/2}$  : 81.5 /ms

표 3-2. 열전도도시험 결과

시료명	Run	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Specific heat (J/g-K)	Thermal diffusivity (mm <sup>2</sup> /s)	Thermal conductivity (W/(m-K))
<b>Koptri- 19-08-10430-1 (In-plane) (두께 : 0.818 mm)</b>	1	1.716	0.945	12.527	20.310
	2	1.716	0.945	11.588	18.786
	3	1.716	0.945	12.000	19.454
	SD	-	-	0.47	0.76
	CV(%)	-	-	3.91	3.91
	<b>평균</b>		<b>1.716</b>	<b>0.945</b>	<b>12.038</b>



SD : Standard deviation

CV : Coefficient of variation=(SD/average)x100

Note) Half time  $t_{1/2}$  : 149 /ms

끝.

# 붙임. 기술인증서

[붙임 5] KC안전인증: LED등기구(매입형) 10W - 한국화학융합시험연구원

접수번호: ERK2017-0447



**안전인증서**  
Safety Certificate

인 전 인 증 번 호 : JI11036-17001  
(Certificate No.)

제조업자/수입업자명 : (주)지엘비전  
(Manufacturer/importer)

주 소 : 강원도 철원군 갈말읍 호국로 4620  
(Address)

제 품 명 : LED등기구(매입형)  
(Product) (Recessed Luminaires for LED Lamps)

기 본 모 델 명 : GLP-610  
(Basic Model)

파 생 모 델 명 : 없음(None)  
(Series Model)

정격/안전기준상의 모델구분 : 220 V~, 60 Hz, 10 W (LED 0.3 W × 24 EA, LED 0.5 W × 12 EA)  
(Rating)

시 험 기 준 : KC60598-1(2015-09), KC60598-2-2(2015-09)  
(Standard)

---

본 인증서는 제조국명 : 한국  
제조업자명 : (주)지엘비전의 제품에만 해당함  
제조공장의 주소 : 강원도 철원군 갈말읍 호국로 4620

「전기용품 및 생활용품 안전관리법 시행규칙」 제9조제2항·제4항 또는 제10조제2항에 따라 안전인증서를 발급합니다.  
We issue this Safety Certificate for the above appliances in accordance with the Article 9(2), 9(4) or 10(2) of the Enforcement Rule of the Electrical Appliances and Consumer Products Safety Control Act.

2017년 02월 22일  
year month day




\* 이 인증서는 「전기용품 및 생활용품 안전관리법」에 따른 제품의 안전성 확인에 한정된 것이며, 그 밖의 다른 법률이 적용되는 제품의 경우에는 해당 법률에 따라 추가로 인증·허가 등을 받아야 합니다.

첨부서류	1. 전기용품의 안전관리부품 및 재질목록(List of Critical Components)
	2. 기본모델·파생모델의 내용(Descriptions of the basic and series model)

\* 안전인증 시의 조건 : 동 제품의 생산 시 자체검사를 실시하고 안전인증 시 등록된 부품누락 및 임의 변경하지 않 것.

**KTR** 한국화학융합시험연구원





**안전인증서**  
**Safety Certificate**

안전인증번호 : JI11036-16002E  
(Certificate No.)

제조업자/수입업자명 : (주)지엘비전  
(Manufacturer/importer)

주소 : 강원도 철원군 갈말읍 호국로 4620  
(Address)

제품명 : LED등기구(매입형)  
(Product) Recessed Luminaires for LED Lamps

기본모델명 : GLV-610K  
(Basic Model)

파생모델명 : GLV-610K-A60, GLV-610K-L30, GLV-610K-L60, GLV-610K-D60, GLV-610K-A30, GLV-D610, GLV-D610H, GLV-P610Qi  
(Series Model)

정격/안전기준상의모델구분 : 220 V~, 60 Hz, 12 W (LED 0.5 W × 36 EA)  
(Rating)

시험기준 : KC60598-1(2015-09), KC60598-2-2(2015-09)  
(Standard)

본 인증서는 제조국명 : 대한민국  
제조업자명 : (주)지엘비전의 제품에만 해당함  
제조공장의 주소 : 강원도 철원군 갈말읍 호국로 4620

「전기용품 및 생활용품 안전관리법 시행규칙」 제9조제2항, 제4항, 제10조제2항 또는 제15조제2항에 따라 안전인증서를 발급합니다.

We issue this Safety Certificate for the above appliances in accordance with the Article 9(2), 9(4), 10(2) or 15(2) of the Enforcement Rule of the Electrical Appliances and Consumer Products Safety Control Act.

2018년 11월 30일  
year month day



※ 이 인증서는 「전기용품 및 생활용품 안전관리법」에 따른 제품의 안전성 확인에 한정된 것이며, 그 밖의 다른 법률이 적용되는 제품의 경우에는 해당 법률에 따라 추가로 인증·허가 등을 받아야 합니다.

첨부서류	1. 전기용품의 안전관리부품 및 재질목록(List of Critical Components) 2. 기본모델·파생모델의 내용(Descriptions of the basic and series model) 3. 안전인증의 변경 현황(Revisions Status)
------	---

※ 안전인증 시의 조건 : 동 제품의 생산 시 자체검사를 실시하고 안전인증 시 등록된  
부품번호 및 임의 변경하지 말 것.





**안전인증서**  
**Safety Certificate**

안 전 인 증 번 호 : JI11036-19002  
(Certificate No.)

제조업자/수입업자명 : (주)지엘비전  
(Manufacturer/importer)

주 소 : 강원도 철원군 갈말읍 호국로 4620  
(Address)

제 품 명 : LED등기구(고정형)  
(Product) Fixed Luminaires for LED Lamps

기 본 모 델 명 : GLV-P20LQ6  
(Basic Model)

파 생 모 델 명 : 없음(None)  
(Series Model)

정격/안전기준상의모델구분 : 220 V~, 60 Hz, 20 W (LED 0.5 W × 96 EA)  
(Rating)

시 험 기 준 : KC60598-1(2015-09), KC60598-2-1(2015-09)  
(Standard)

본 인증서는 제조국명 : 대한민국  
제조업자명 : (주)지엘비전의 제품에만 해당함  
제조공장의 주소 : 강원도 철원군 갈말읍 호국로 4620

「전기용품 및 생활용품 안전관리법 시행규칙」 제9조제2항, 제4항, 제10조제2항 또는 제15조제2항에 따라 안전인증서를 발급합니다.

We issue this Safety Certificate for the above appliances in accordance with the Article 9(2), 9(4), 10(2) or 15(2) of the Enforcement Rule of the Electrical Appliances and Consumer Products Safety Control Act.

2019년 12월 20일  
year month day



※ 이 인증서는 「전기용품 및 생활용품 안전관리법」에 따른 제품의 안전성 확인에 한정된 것이며, 그 밖의 다른 법률이 적용되는 제품의 경우에는 해당 법률에 따라 추가로 인증·허가 등을 받아야 합니다.

첨부서류	1. 전기용품의 안전관리부품 및 재질목록(List of Critical Components) 2. 기본모델·파생모델의 내용(Descriptions of the basic and series model)
------	---

**KTR** KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE  
 ※ 안전인증 시의 조건 : 동 제품의 생산 시 자체검사를 실시하고 안전인증 시 등록된 부품번호 및 임의 변경하지 말 것.





# 신 기술 인증서

기 술 명 : 반사용 등기구용 양자점 필름 제작 기술

회 사 명 : (주)지엘비전

대 표 자 : 이은미

소 재 지 : 강원 철원군 서면 금강로 7194

인증번호 : 제1184호

유효기간 : 2019년 09월 26일부터 2022년 09월 25일까지

위의 기술을 「산업기술혁신 촉진법」 제15조의2에 따른  
신기술로 인증합니다.

2019년 9월 26일

산업통상자원부장관



[별첨 1]

## 연구개발보고서 초록

과 제 명	(국문) 양자점을 이용한 넓은 적색 스펙트럼을 갖는 고 식물성장용 100W급 LED 조명 개발				
	(영문) Development of 100W plant LED lighting product with high growth and broad spectra by using by QD technology				
주 관 연구 기관	(재)철원플라즈마산업기술연구원		주 관 연 구 자	(재)철원플라즈마산업기술연구원	
참 여 기 업	강원대학교, (주)지엘비전		책 임 자	고 영 욱	
총 연구개발비  (1,120,200천원)	계	1,120,200	총 연구 기간	2016.11. ~ 2019. 11.(3년)	
	정부출연 연구개발비	840,000	총 참 여 수 연 구 원 수	총 인원	38
	기업부담금	280,200		내부인원	38
	연구기관부담금	0		외부인원	0
<p>○ 연구개발 목표 및 성과</p> <p>새로운 인공 광 QD LED 개발을 통한 작물 생산성 개선 및 품질 향상</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 경제적이고 묘 소질이 우수한 육묘용 인공광 시스템 개발</li> <li>- 시설하우스/식물공장용 고효율 인공 광 개발</li> <li>- 고효율 보광용 인공 광 개발 및 현장 적용 모델 제시</li> <li>- QD LED 조명을 이용한 살균효과 및 병해경감기술 개발</li> <li>- QD LED 조명을 이용한 친환경적 병해 방제 기술 개발</li> </ul> <p>○ 연구내용 및 결과</p> <p>1. 고 균일 PPFd 및 고 생장 기능의 10인치 100W 급 LED 원형 조명 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 광 균일도 90% 이상 (110도 배광각 유지)의 등기구 구조 설계기술 확보</li> <li>- 등기구효율 (고 PPFd유지) 80%이상의 초 절전형 등기구 구조기술개발</li> <li>- 양자효율 70%이상의 비카드늄계 Red QD 개발 및 광합성 상승효과 등기구 개발</li> <li>- 고 방열 조명등기구 설계 / 개발</li> <li>- 원격제어가 가능한 태양전지모듈일체형 에너지 절약형 LED 조명 전력공급시스템 개발</li> <li>- 시제품 제작 및 안전인증</li> </ul> <p>2. LED 조명 효과에 따른 식물생육 및 식물병원성 미생물 살균효과 확인</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- QD LED의 고 균일 PPFd 특성을 활용한 육묘 시스템 개발</li> <li>- QD LED의 에머슨상승효과에 의한 생장 촉진 및 내적 품질 향상 효과 구명</li> <li>- QD LED의 과채류 생산 시설의 보광 효과 구명</li> <li>- QD LED조명이 식물 엽면 및 근권에서의 미생물 군집에 미치는 영향 실내 조사</li> <li>- QD LED조명의 살균효과 기내 및 실내 검정</li> <li>- QD LED조명을 활용한 병해경감기술 개발 및 현장 활용</li> </ul> <p>○ 연구성과 활용실적 및 계획</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- (고효율 퀀텀닷 소재) 고생장 식물용 조명, 자연광조명 및 디스플레이에 적극 활용하여, 기존 제품의 고도화를 통한 제품 경쟁력 확보</li> <li>- (퀀텀닷 식물조명) 다양한 식물의 생애주기별 조명 제품 개발하여 공급하고, 시설하우스 및 스마트팜 시스템의 보광 조명 및 주조명으로의 보급사업을 통한 기업 매출신장 기여, 국내 스마트팜 기술 경쟁력 향상, 농업 경쟁력 및 생산성 향상을 통한 농가 소득 증대 기여</li> </ul>					

[별첨 2]

## 자체평가의견서

### 1. 과제현황

		과제번호	116111-03		
사업구분	첨단생산기술개발사업				
연구분야	[농림식품 융복합] [농생명 신소재·시스템] [식물공장]		과제구분	단위	
사업명	116111-03			주관	
총괄과제	기재하지 않음		총괄책임자	기재하지 않음	
과제명	양자점을 이용한 넓은 적색 스펙트럼을 갖는 고 식물생장용 100W급 LED 조명 개발		과제유형	(개발)	
연구기관	(재)철원플라즈마산업기술연구원		연구책임자	고영욱	
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차연도	2016.11~2017.11.	280,000	93,400	373,400
	2차연도	2017.11~2018.09.	233,000	77,700	310,700
	3차연도	2018.09~2019.11.	327,000	109,100	436,100
	4차연도				
	5차연도				
계	2016.11.~2019.11.	840,000	280,200	1,120,200	
참여기업	(주)엘비전 (중소기업 1개)				
상대국		상대국연구기관			

※ 총 연구기간이 5차연도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2020.01.09.

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
(재)철원플라즈마산업기술연구원	본부장	고영욱

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확 약



## I. 연구개발실적

※ 다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

### 1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (아주우수)

퀀텀닷 소재를 파장가변 여기원으로 식물성장조명에 활용한 창의적인 연구와 더불어 10~100W의 식물성장조명제품을 개발하였음. 등기구 구조설계를 통한 기존 LED 식물성장조명에서 발생된 좁은 배광각도를 효과적으로 개선하였으며(기존: 90도 -> 결과: 110도 이상), 퀀텀닷 소재를 이용하여 작물생육에 필요한 Blue/Red파장의 비율의 최적화를 통해 30%의 성장속도 향상결과를 확인함에 따라 조명의 노출시간을 줄임으로써 에너지와 생산공정 단가 절감이 가능함에 따라 실제 농가의 사업화 적용에 대한 긍정적인 결과를 도출하였음.

### 2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (아주우수)

퀀텀닷 소재를 활용한 식물성장조명에 최적화된 조명제품 제작 및 이에 대한 작물생육 연구결과를 통해 농업기술원, 농협에서 식물성장조명에 큰 관심을 보이고 있으며, 보급형 스마트팜 형태로 농가에 적용하거나 유휴공간(폐금광, 폐터널, 폐탄광) 내 고부가가치 작물의 맞춤형 스마트팜 구축 시범사업 운영 등을 통한 공동연구를 계획하고 있어 지역농업 및 산업발전에 큰 영향을 불러일으킬 것으로 기대됨.

### 3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (아주우수)

퀀텀닷 소재의 높은 양자효율과 분말화 공정의 개발과 더불어, 배리어 구조를 탈피한 광여기 필름의 적용으로 우수한 특성을 나타내는 식물성장조명의 다양한 제품을 개발 하였으며, 이 조명을 이용하여 현재 유휴동굴을 이용한 스마트팜 시스템에 도입하여 시범 재배 중이며, 향후 스마트팜 시스템 및 시설재배농가의 보급 조명으로써 활용이 가능함.

### 4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (아주우수)

본 사업의 연구개발 목표를 기관별, 분야별로 분류하는 한편, 수행기관 간 원활한 의사소통과 네트워킹에 따라 목표달성을 위해 퀀텀닷 합성, 소재개발, 조명제품응용, 작물적용 연구의 흐름에 따른 연계된 협동연구가 이루어짐. 또한 사업수행 기간동안 모든 정량적 목표와 매출 실적 150% 달성을 100% 달성함으로써 실제 상용화 단계에서 발생하는 문제점을 해결하였음.

### 5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (아주우수)

본 사업에서 제시된 사업화지표 및 연구기반지표에 대해서도 과제수행 기간동안 전반적으로 높은 달성률을 보이고 있으며 국내 스마트팜 시장이 성장기업을 감안할 때, 다양한 작물군에 대한 생육결과를 확보하고 이에 대한 최적화 Big Data를 확보하는 과정에서 전반적인 기술에 대한 연구기반 및 사업화가 원활히 이루어질 것으로 기대됨.

## II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
1. 고휘균일도, 고등기구 효율의 특성을 갖는 등기구 구조 설계를 갖는 등기구 구조 설계 -광균일도(1M2기준) > 90% -등기구효율 >80% -배광각도 >110°	25	100	사업기간동안 개발된 등기구 6종에 대해 식물성장조명에서 중요하게 여겨지는 일련의 특성을 부여하기 위한 설계의 동기부여 및 목표가 적절히 반영되었으며, 이의 체계적인 평가분석을 통한 우수한 결과값을 확인하였음.
2. 고향자효율 비카드뮴계 RED 퀀텀닷 소재 합성 및 안정성이 뛰어난 유기필름 개발 -비Cd계 양자효율 > 70% -환경(60°C90%RH) 변화율 < 10% -필름 대량생산 기술 확보	25	100	비Cd계의 퀀텀닷 소재의 양자효율을 상용화가 가능한 단계로 향상시킴과 동시에, 분말화 연구를 통한 환경 안정성을 향상시킴. 또한 Roll-to-Roll 필름공정 개발에 따라 고균일도 특성을 지닌 필름을 개발함으로써 양산화 가능성을 확보함에 따라 사업화에 필요한 요소기술을 갖춘 것으로 판단됨.
3. 12W/mK이상의 고방열 사출소재 개발 및 시제품 제작	10	100	100W 조명에서 이슈가 되는 방열 문제를 해결하기 위해 사출소재에 Graphite 및 유동성 첨가제 투입을 통해 열전도도를 효과적으로 개선하였으며, 실제 등기구 적용에 따른 온도분포를 검증함으로써 신뢰성있는 결과를 제시하였음.
4. 태양전지모듈일체형 에너지 절약형 LED 조명등 개발	10	100	현재 국내 스마트팜 시장이 Energy Saving에 초점을 둔 3세대 기술개발을 준비중이며, 이의 연구 흐름에 부합하는 적절한 목표선정 및 결과물이 도출된 것으로 보여짐. 추후 생육작물 별 광량값 최적화 Database를 확보함에 따라, 불필요한 광량손실을 획기적으로 줄임으로써 더 많은 에너지 절약형 모듈특성을 가지게 될 것으로 기대됨.
5. 원격제어 시스템 결합이 가능한 무선제어 시스템 개발	10	100	Zigbee 송신모듈과 무선수신 제어 회로 설계를 통해 무선스위치를 이용한 SMPS의 출력값을 10단계로 제어함으로써 10단계의 휘도(밝기)조절 디밍 시스템을 성공적으로 구축하였음.

6. 퀀텀닷을 이용한 RED 스펙트럼이 강화된 LED 조명등 시제품 제작 및 안전인증	20	100	등기구 6종에 대한 설계, 시제품제작을 수행하였으며, 최종적으로 안전인증 취득 3건, IP65 등급 확보, NET 신기술 인증을 통해 당초 제시된 기술인증 실적을 초과달성하는 우수한 쾌거를 이루어 냄.
7. QD LED의 고 균일 PPFd 특성을 활용한 육묘 시스템 개발	15	100	Blue+Red LED 대비 청로메인 생체중 350%, 엽장 500%, 적로메인 생체중 33% 묘 균일도 향상, W-LED 대비 토마토묘 엽장 871%, 엽폭 553%, 경경 610% 균일도 향상 결과에 따라 기존 LED와의 차별화된 균일도 특성을 통한 작물재배의 긍정적인 결과를 확인하였음.
8. QD LED의 Emerson Enhancement effect에 의한 성장 촉진 및 내적 품질 향상 효과 구명	20	100	엽채류 생육일수 단축 및 항산화물질 등 내적 품질 향상: 적로메인 상추 총 페놀함량과 안토시아닌 함량 증가에 따른 의미있는 결과를 확인하였음.
9. QD LED의 과채류 생산 시설의 보광 효과 구명	20	100	과채류 생산 시설의 경우, 화방당 무게 30% 증가, 기형과 발생 억제에 대한 보광효과를 확인하였으며, 겨울철 적로메인에서도 양호한 생육 보광효과를 확인하였음.
10. Quantum Dot (QD) LED조명이 식물 엽권 및 근권에서의 미생물 군집에 미치는 영향 실내 조사	15	100	QD-LED 조명 적용을 통한 식물병원균 탐색, 방제 기내검정, 파장별 미생물 성장에 미치는 영향을 조사하였으며 실험에 따른 의미있는 결과를 도출하였음.
11. Quantum Dot (QD) LED조명 의 살균 효과 기내 및 실내 검정	15	100	QD-LED 각각의 파장별 , 파장대 비율별식물병원성 곰팡이 군사 성장 모니터링 및 광 처리 방법 검정에 대한 실험내용 및 결과를 체계적으로 제시하였음.
12. Quantum Dot (QD) 반사형 LED 조명을 이용한 현장 적용 시험	15	100	포장에서 QD LED조명 사용에 따른 미생물 군집 변화 조사 및 QD-LED 조명 설치를 통한 포정적용시험(토마토 등) 진행을 통한 결론을 체계적으로 도출하였음.
합계	200점		

### III. 종합의견

#### 1. 연구개발결과에 대한 종합의견

연구개발 결과에 따라 기존에 Display에 국한된 퀀텀닷 소재의 합성공정 최적화를 통해 높은 양자효율 특성을 확보하고, 분말화 기술을 통한 환경 안정성을 바탕으로 특성저하폭이 매우 적은 퀀텀닷 필름 및 퀀텀닷 사출캡의 중간재 공정을 개발하였음. 또한 개발된 퀀텀닷 소재를 파장가변 여기원으로 식물생장조명에 적용하여 10~100W의 출력크기에 따른 식물생장조명 제품을 개발하였으며, 이를 실제 작물에 적용함에 따라 퀀텀닷 식물생장조명기술 개발 및 이에 대한 작물생육 검정을 실시하였음. 육묘는 발아세가 타 조명에 비하여 10% 이상, 생육은 약 50% 이상, 균일도 30% 이상 증가하는 우수한 결과를 확인하였음. 퀀텀닷 소재를 이용한 식물생장조명이라는 타 조명과 차별화된 소재 선정을 통해 우수한 연구 결과를 도출하였음.

#### 2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

본 사업수행의 결과로 확보된 퀀텀닷 원천소재 및 응용기술은 강원도의 신강원 6대 신산업으로 선정되어 2018년도부터 지역경제활성화 정책에 활용되고 있어 기술개발 성과가 지역경제에 이바지하는 바가 크며, 식물생장조명 및 작물재배 기술을 기반으로 태백시에 위치한 유휴동굴(조탄동 금강굴, 태백체협공원 내 함태수갱)에 스마트팜 시설의 시범구축에 따른 광업지역의 산업구조 변화 및 유휴부지에 대한 시설 활용을 통해 지자체 및 영농조합의 열렬한 반응과 더불어 기존 농업인으로부터 부정적인 여론을 가진 스마트팜 시설에 대한 긍정적인 언론홍보를 이끌어 내었음. 향후에는 고부가가치 작물을 선정하여 최적의 생육조건에 대한 환경을 도출함에 따라 맞춤형 작물재배에 대한 Database를 확보하는 등의 지속적인 연구개발로 지역 농민 생활 향상에 기여하고자 하며, 기대가 큼.

마지막으로 당초 사업계획서에 설정된 정량적 목표 및 사업화 지표/연구기반 지표를 달성할 수 있도록 각고의 노력을 기울임에 따라 목표달성을 이뤄내었으며 사업최종 평가 시 이러한 부분에 대한 긍정적인 평가가 이루어지기를 요청드리고자 함.

#### 3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

퀀텀닷 소재는 파장가변이 가능한 고기능성 나노소재로, 파장변환의 성질을 가지고 있으며 이에 따라 현재까지도 많은 분야에 적용하기 위한 연구가 진행중이며, 특히 디스플레이 시장에서 퀀텀닷 필름을 적용하여 높은 색재현과 해상도를 가진 제품을 통해 널리 알려짐. 본 사업수행을 통하여 확보된 이러한 퀀텀닷 소재의 높은 양자효율과 안정성을 기반으로 중간재인 퀀텀닷 필름, 사출소재의 공정기술을 바탕으로 과제에서 제시된 식물생장조명 시장 이외에 디스플레이, 일반조명, 태양전지분야에서도 다양한 분야에서 적용이 가능할 것으로 크게 기대하고 있음. 본 사업을 통해 개발된 고성장 퀀텀닷 식물등은 농업인에 직접적인 성과가 돌아갈 수 있도록 농협중앙회와 함께 엽채류(상추, 로메인, 깻잎), 과채류(토마토, 파프리카, 오이, 딸기) 및 특용작물(고추냉이, 새싹삼)에 대한 보급사업을 2020년도에 시행할 준비를 하고 있으며 가시적인 성과가 기대되고 있음.

또한 현재 강원도의 낙후 탄광지역인 태백,영월,정선,속초등지의 유휴폐광부지에 추진진하고 있는 스마트팜 고도화 사업 및 이를 확대한 강원도 시책사업이 지역민의 적극적인 참여와 함께 기획되고 있어, 지역의 일자리 창출과 지역혁신성장을 도 차원에서 및 일반민 차원에서 크게 기대됨.

### IV. 보안성 검토 - 해당사항 없음.

해당사항 없음.

## 연구성과 활용계획서

### 1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input checked="" type="checkbox"/> 자유응모과제 <input type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	[농림식품 융복합] [농생명 신소재 · 시스템] [식물공장]	
연구과제명	양자점을 이용한 넓은 적색 스펙트럼을 갖는 고 식물생장용 100W급 LED 조명 개발			
주관연구기관	(재)철원플라즈마산업기술연구원	주관연구책임자	고영욱	
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
	840,000,000	280,200,000	0	1,120,200,000
연구개발기간	2016. 11. 29. - 2019. 11. 28. (36개월)			
주요활용유형	<input checked="" type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타(                      ) <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:                      )			

### 2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
1. 광 균일도 90%이상(110도 배광각유지)의 등기구 구조 설계기술	- 20W~80W급 반사형 Linear 식물성장조명: 균일도: 98.6%, 평균배광각도: 128° - 100W급 직하형 투광등 식물성장조명 균일도: 90.6%, 평균배광각도: 112.3° PPFD: 1,430umol/m <sup>2</sup> /s
2. 등기구효율 (고 PPFD유지) 80%이상의 초 절전형 등기구 구조기술개발	- 100W급 직하형 투광등 식물성장조명 등기구효율: 90.7% PPFD(@100mm): 1,430umol/m <sup>2</sup> /s
3. 고 방열 조명등기구 설계/개발 (12W/mK)	- 그라파이트-고분자 복합소재를 이용한 고풍열 사출소재 특성 열확산도: 12.04mm <sup>2</sup> /s 수평열전도도: 19.5W/mk 달성
4. 70%이상의 양자효율을 갖는 비카드늄계 Red QD 개발	- 반치폭 60nm의 InP계 Green & Red QD 합성 양자효율 : 70.7% 달성
5. Red 퀀텀닷의 필름의 안정성 확보 (6090 TEST를 통한 검증, 10%이내) 및 필름대량생산기술 확보	- 퀀텀닷 필름의 안정성 확보(RT60℃ & RH90% 항온항습 Test) 특성감소율: 8.02% - 퀀텀닷 소재 적용 필름 대량생산 시연 유효폭: 310mm, 길이: 100m 여기필름 두께: 120um, 필름균일도: 99.1%
6. 태양전지모듈일체형 에너지 절약형 LED 조명 전력공급시스템 개발	- 개발완료 소형 조명 적용 시험 성공(점등 확인) (60WHR급으로 12W조명 약 4시간 점등 가능)

7. 원격제어 시스템 결합형 ICT 제어 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zigbee 모듈을 이용한 원격제어 시스템 설계 및 초도품 제작완료</li> <li>- 10단계 디밍 제어기술 시연</li> </ul>
8. 100W급 시제품 제작 및 특성분석, 안전인증	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 100W급 직하형 투광등 식물생장조명 PPF(D@100mm): 1,430umol/m<sup>2</sup>/s</li> <li>- 안전인증 취득(3건)</li> <li>- IP65 조건 확보</li> <li>- NET 기술인증 획득(지엘비전)</li> </ul>
9. 기존 LED 광원과 비교한 상추, 토마토 육묘 균일도 30% 향상	<ul style="list-style-type: none"> <li>- QD LED광 조사된 청로메인 상추와 적로메인 상추 육묘는 기존 LED인 B+R광이 조사 처리구보다 생체중이 각각 35%, 33% 증가하였음</li> <li>- QD LED광 조사된 청로메인 상추와 적로메인 상추 육묘는 기존 LED인 B+R광이 조사 처리구보다 각각 500%, 205% 향상됨</li> <li>- 토마토 균일도는 QD1광이 W-LED에 비해 엽장 871%, 엽폭 553%, 경경 610% 향상하였으며, 초장도 B+R광 다음으로 높아 토마토 육묘 재배에 적합하다고 판단됨</li> </ul>
10. 생육일수 단축 및 항산화 물질 등 내적 품질 향상	<ul style="list-style-type: none"> <li>- QD-LED를 조사하였던 적로메인 상추는 발아에서 유의적인 차이가 없었고, 생체중과 붉은색 발현 정도와 저광도에서 엽장과 엽폭이 양호</li> <li>- QD-LED를 조사하였던 적로메인 상추의 총페놀함량과 안토시아닌함량이 증가</li> <li>- 적무 새싹은 QD-LED에서 광조사 후 자엽의 녹색발현이 우수하였고 안토시아닌 함량도 Blue광과 함께 향상시키는 효과가 인정됨</li> </ul>
11. 단위면적당 광원 및 전력 소요량 절감(10W) 검증	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 방울 토마토 재배중 100W용 QD-LED 보광의 효과로는 4화방에서 화방당 무게가 30% 증가하였고 기형화 발생 억제효과(18.7%에서 3.2%로 감소)를 발견</li> <li>- 겨울철 적로메인 상추 재배시 QD LED 보광은 생육을 양호하게 하는 효과를 보이며, 내적 품질 향상 효과는 없었음</li> <li>- QD-LED 처리구의 예상월간 전력은 34.8%, 예상월간 요금은 35.2%로 산출됨.</li> </ul>
12. QD LED 각각의 파장별 유용세균과 효모의 콜로니 성장 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lactobacillus acidophilus의 경우 Red등을 제외한 모든 LED에서 콜로니 생장이 100% 억제되는 것을 확인하였다. 반면에 다른 유용세균이나 효모는 LED 광원에 의해 콜로니가 억제되는 현상은 관찰되지 않아 LED 조명처리가 유용세균과 효모의 성장에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.</li> </ul>
13. QD LED 각각의 파장별 곰팡이 균사 성장 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 두 가지의 유용곰팡이는 LED 조명처리에 의해 10% 미만의 균사성장 억제가 관찰되어, LED 조명처리가 유용곰팡이의 균사생장에 특별한 영향을 끼치지 않는 것으로 판단된다.</li> </ul>
14. 100W급 QD LED의 조건에서 작물의 엽권 미생물 조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 토마토 엽권의 세균군집과 곰팡이군집 모두 모든 조사일에서 Blue+Red LED와 100W QD LED처리구에서 대조구와 비교하였을 때 낮은 수치의 콜로니를 나타내었다.</li> <li>- 유묘기 토마토 엽권의 경우 10월 ~ 11월에 조사함에 따라 날씨에 의해 전체적인 세균군집의 숫자는 점점 감소하였으며, 곰팡이군집은 큰 영향을 받지 않는 것으로 확인되었다.</li> </ul>

\* 결과에 대한 의견 첨부 가능

### 3. 연구목표 대비 성과

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용-홍보		기 타 (타 연구 활용 등)
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논 문		논 문 평 균 IF	학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												SC I	비 SC I							
단위	건	건	건	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치																				
최종목표	4	2		2	50	2	100		3	200	1	2	5		14	2	2	1		
연기간내 달성실적	4	2		3	10	2	155		5	-	4	3	4		18	3	9	1	11	>3
달성율(%)	100	100		150	20	100	155		167	-	400	150	80		129	150	450	100	-	

### 4. 핵심기술

구분	핵심기술명
1	고안정성을 가진 비Cd계 퀀텀닷 콜로이드/파우더 합성 및 이를 응용한 광여기 필름, 사출캡의 중간재 공정기술
2	퀀텀닷 소재가 적용된 에너지절약형 고배광, 고균일 식물성장조명 등기구 설계 및 제작기술

### 5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복 제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해 결	정책 자료	기타 (연구)
1의 기술	✓					✓	✓		✓	✓
2의 기술	✓					✓	✓	✓		

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
1의 기술	높은 양자효율, 고안정성을 바탕으로 한 퀀텀닷 소재의 신강원 6대 신산업 선정(2018. 03. 22.)의 정책활용 결과에 따른 강원 지역거점의 기술개발 및 기업지원 플랫폼 제공, 식물성장조명의 스마트팜 시스템 산업 적용 및 Display의 높은 색재현성, 일반 실내조명의 자연광 특성 구현 등 신산업 및 후속사업 도출을 통한 연구개발 활성화
2의 기술	퀀텀닷 소재가 적용된 식물성장조명 기반 작물생육 Test Bed, 스마트팜 시스템 적용을 통한 작물별 최적의 Spectrum 도출, 자동재배 기술을 통한 사업화 추진 및 작물 별 재배 가이드북 제정 등 정책활용을 위한 공동연구 진행 (강원도 농업기술원, 농협 등 2020년 1월 현재 후속사업 추진 준비중) 식물성장조명 기술을 기반으로 한 스마트팜 및 식물성장조명의 국내 시장의 기술 및 가격 경쟁력 확보를 통한 관련시장 분야의 세계 Rank 3위 이내 기술확보 목표

7. 연구종료 후 성과창출 계획

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문 SC I	비 SC I	논문 평균 IF			학술발표	정책 활용	
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명				
가중치																			
최종목표	6	6		2	50	2	7,800		23	300	1	9		16	3	2	1		
연구기간내 달성실적	4	2		2	10	2	155		5	0	4	3	4	18	3	9	1	11	1
연구종료후 성과창출 계획(5년)	2	4		-		4	7,700		18	300		2		2	1				

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명 <sup>1)</sup>	고안정성을 가진 비Cd계 퀀텀닷 콜로이드/파우더 합성 및 이를 응용한 광여기 필름, 사출캐피의 중간재 공정기술		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	5,000천원
이전방식 <sup>2)</sup>	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input checked="" type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타( )		
이전소요기간	최대 1개월	실용화예상시기 <sup>3)</sup>	2018년 7월
기술이전시 선행조건 <sup>4)</sup>	기술노하우 이전을 위한 공정 및 평가장비 교육진행, 선행기술료 책정 예정		

핵심기술명 <sup>1)</sup>	고퀀텀닷 소재가 적용된 에너지절약형 고배광, 고균일 식물생장조명 등기구 설계 및 제작기술		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	5,000천원
이전방식 <sup>2)</sup>	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input checked="" type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타( )		
이전소요기간	최대 1개월	실용화예상시기 <sup>3)</sup>	2018년 7월
기술이전시 선행조건 <sup>4)</sup>	기존 선행연구 작물에 대한 생육경향성 Data 제공, 선행기술료 책정 예정		

- 1) 핵심기술이 2개 이상일 경우에는 각 핵심기술별로 위의 표를 별도로 작성
- 2) 전용실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 다른 1인에게 독점적으로 허락한 권리  
 통상실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 제3자에게 중복적으로 허락한 권리
- 3) 실용화예상시기 : 상품화인 경우 상품의 최초 출시 시기, 공정개선인 경우 공정개선 완료시기 등
- 4) 기술 이전 시 선행요건 : 기술실시계약을 체결하기 위한 제반 사전협의사항(기술지도, 설비 및 장비 등 기술이전 전에 실시기업에서 갖추어야 할 조건을 기재)