

발간등록번호

11-1541000-000471-01

## 최 종 보 고 서

보안과제( ), 인민과제(○)      과제번호 108026-2

### 고부가가치 원예작물 생산을 위한 식물생장용 인공광원 및 등기구 개발

(Development of lighting equipment for high value  
production of some horticultural crops)

주식회사 금오전기

농림수산식품부

농림수산식품자료실



0004561

0.7  
239  
010-43

# 제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “고부가가치 원예작물 생산을 위한 식물생장용 인공광원 및 등기구 개발에 관한 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2010년 7월 2일

주관연구기관명 : (주)금오전기

주관연구책임자 : 이 채 운

세부연구책임자 : 이 채 운

연 구 원 : 김 찬 우

연 구 원 : 윤 연 중

연 구 원 : 홍 기 영

협동연구기관명 : (사)한국온실작물연구소

협동연구책임자 : 서 범 석

연 구 원 : 박 양 호

연 구 원 : 유 현 이

연 구 원 : 이 철 호

협동연구기관명 : 경기도농업기술원선인장연구소

협동연구책임자 : 정 재 운

연 구 원 : 홍 승 민

연 구 원 : 이 정 진

연 구 원 : 박 인 태

# 요 약 문

작물이 생육하는데 있어서 광원은 중요한 환경요인이지만 작물 생육에 영향을 미치는 광량·광질·일장 등은 계절에 따라 변화한다. 약광 환경 하에서는 생육부진과 함께 다양한 생리장해가 발생하기 쉽기 때문에 보광의 필요성이 강조되고 있다. 원예작물 생산과정에서 인공광원을 활용하여 장일처리, 단일처리, 춘화처리 등의 방법을 통하여 개화 시기를 조절할 수 있으며, 국내에서도 많은 연구가 이루어지고 있지만, 인공광원의 개발에 대한 실적은 전무한 실정이다.

북유럽국가에서 약광시 자연광에 대한 저일조의 해결책으로 인공광원을 사용하여, 생산성의 증가, 생산물의 품질향상 등을 통하여 시장의 요구에 대응하고, 시설의 이용 효율성 증대로 주년생산이 가능하도록 하고 있다.

우리나라의 원예생산시설은 '07년말 현재 약 53,036ha로써 이중 화훼 생산시설은 6.05%인 3,208ha에 지나지 않고 있다. 그러나, 전체 시설면적의 70% 이상 플라스틱하우스는 터널에 가까운 무난방 시설이며, 가온이 이루어지는 시설은 30% 미만이다.

시설 재배에서 자연광이 부족되기 쉬운 시기에 인공광원을 이용한다. 식물의 생장에 영향을 미치는 유효광선은 적색대역인 600~700nm이고, 광형태형성 및 암반응과 같은 영향을 주는 대역은 원적색광 대역으로 700~770nm이다. 380~500nm는 광형태형성에 영향을 주는 대역으로 대부분의 인공광원은 이와 같은 광질을 충족시킬 수 있다.

시설내에서 인공광 등기구는 중요한 구성체중 하나이다. 등기구의 크기, 구조에 따라 입사되는 자연광의 차광을 초래할 수 있으며, 이는 생산성 저하 요인이 되고 있다. 등기구는 램프에서 발산되는 빛에너지를 손실 없이 대상체로 전달하는 반사특성을 갖는 구조체이다.

따라서, 본 연구는 시설농가에서 활용 가능한 원예 온실용 등기구와 식물생장용 램프를 개발하고 제품화하는데 연구 목표를 두고 추진하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 약광기에 인공광원을 이용하여 보광을 함으로써 토마토, 선인장, 장미, 분화작물 등의 생육과 생산량이 향상되었다.
2. 동절기 인공광원을 통한 보광효과 및 발생하는 열에 의한 난방비 절감이 가능하였다.
3. 약광기에 보광을 통하여 식물 성장환경 조절에 의한 병해충 감소가 기대된다.

(주요어 : 식물생장용 인공광원, 토마토, 선인장, 시설원예, 에너지절감)

# SUMMARY

Crops were grown under the light, that is the important environmental factors, but light intensity, light quality and photoperiod affecting crop growth are changing at seasons. Plant growth and development has many different physiological disorder, and reduced growth during the darker winter months, so supplemental lighting is necessary.

Using artificial light sources long-day treatment, short-day treatment, vernalization can be controlled through flowering anthesis in horticultural crops and many research conducted in Korea, but the performance on the development of an artificial light source was a managing director. In northern European artificial light is in use for the solution of short sunshine under dim light. It makes the action on market demand by increasing production, improving production quality and controlling also year-round culture by the efficiency of facility improvement.

In Korea horticultural production facilities is about 53,036ha at the end of 2007, double flowers facility is only 6.05% to 3,208ha. However, plastic house is more than 70% on the entire facility closes to a tunnel without heating and under 30% the facilities have heating.

Artificial light is in use on the season which can be shorted natural light. the active light to effect plant growth and development is red band 600~700nm and the band which effect on like photomorphonesis and dark reaction is far red right 700~770nm. 380~500nm is the band to effect on photomorphonesis. Almost all artificial light can not meet these the light qualities.

Artificial light luminary in green house is one of important components. According to size and structure of luminary, it is the main causes that shade the natural light and decline crop yield. Luminary has the structure transfers the light from lamp without loss to a target.

Therefore, this study aim is developing and releasing a luminary for green house and lamp for plants growth as a product then it was pushed ahead with the aim. So it got the following results.

1. On the dim light season, the growth and the yield of tomatoes, cactuses, roses and so

on was improved for adding artificial light.

2. It is possible to save money on heating bills through artificial light on winter.
3. It is expected decreasing disease and pest by improvement of plant growth and development at the treatment of supplemental lighting on dim light season.

(Key Words : Artificial light, Tomato, Cactus, Protected horticulture, Energy saving)

# CONTENTS

Chapter 1. Outline of the Study	9
Verse 1. Background of the R&D	9
Verse 1. Need of R&D	10
Verse 3. Rang of R&D	15
 Chapter 2. Current studies in domestic and abroad	 18
Verse 1. Status of artificial lighting for crops in domestic	18
Verse 2. Status of artificial lighting for crops in abroad	18
 Chapter 3. Contents and Results of the Study	 19
Verse 1. Developing artificial lighting for greenhouse crops	19
1. Introduction	19
2. Goals and Methods of research	20
3. Results and survey	22
Verse 2. Developing artificial lighting reflector for Greenhouse	34
1. Introduction	34
2. Goals and Methods of research	36
3. Results and survey	39
4. Installation of artificial lighting in green house	42
Verse 3. Investigates influence on Tomato growth by artificial lighting	49
1. Introduction	49
2. Goals and Methods of research	49
3. Results and survey	52
Verse 4. Investigates influence on Cactus growth by artificial lighting	58
1. Introduction	58
2. Goals and Methods of research	58
3. Results and survey	61

Chapter 4. Goal achievements and contribution to related areas	-----	73
Chapter 5. Achievements of R&D and use of achievements	-----	74
Chapter 6. Abroad Scientific-Technology information collected during R&D	---	76
Chapter 7. References	-----	77
Atteched 1: Test Result by KILT(Korea Institute of Lighting Technology)	-----	79
Atteched 2: Simulation data for installation of artificial lighting	-----	91

# 목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	9
제1절.	연구개발 배경	9
제2절.	연구개발 필요성	10
제3절.	연구개발 범위	15
제 2 장	국내외 기술개발 현황	18
제1절.	국내 인공광원의 현황	18
제2절.	해외 인공광원의 현황	18
제 3 장	연구개발 수행 내용 및 결과	19
제1절.	식물생장용 인공광원의 개발	19
1.	서언	19
2.	연구 목표 및 방법	20
3.	연구 결과 및 고찰	22
제2절.	원예온실용 인공광 등기구의 개발	34
1.	서언	34
2.	연구 목표 및 방법	36
3.	연구 결과 및 고찰	39
4.	시설온실의 인공광원 설치	42
제3절.	수출토마토 생육에 인공광원이 미치는 영향 규명	49
1.	서언	49
2.	연구 목표 및 방법	49
3.	연구 결과 및 고찰	52
제4절.	수출선인장 생육에 인공광원이 미치는 영향 규명	58
1.	서언	58
2.	연구 목표 및 방법	58
3.	연구 결과 및 고찰	61
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	73
제 5 장	연구개발 성과 및 성과활용 계획	74



제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	76
제 7 장	참고문헌	77
별첨 1 :	시험성적서(조명연구소)	79
별첨 2 :	시설내 광분포 시뮬레이션	91

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제1절. 연구개발 배경

작물이 생육하는데 있어서 광원은 가장 중요한 직접적 환경요인이지만 광량·광질·일장 등은 계절에 따라 변화하며, 약광 환경하에서 작물은 생육 부진과 함께 다양한 생리장해가 발생하기 때문에 보광의 필요성이 강조된다. 원예작물에서 인공광원을 활용하여 장일처리, 단일처리, 춘화처리 등을 통하여 개화 시기를 조절할 수 있으며, 국내에서도 많은 연구가 이루어지고 있으나, 인공광원 개발에 대한 실적은 전무하였다. 북유럽국가에서 약광시 자연광에 대한 저일조의 해결책으로 인공광원을 사용하여 생산성 증가, 생산물의 품질향상 및 품질제어를 통하여 시장의 요구에 대응하고, 시설환경 개선에 따른 시설 효율성이 높아지면서 주년생산이 가능해지고 있다.

최근 다자간 무역협정(DDA), 자유무역협정(FTA) 등 시장 여건이 급격히 변화되고 있고, 고유가에 따른 농산물 가격경쟁력 하락과 생산성이 저하로 농업 생산기반이 악화되고 있으며, 이에 대한 적극적 대응을 위해서는 고품질 농산물 생산기반의 구축이 필요하다. 약광기가 존재하는 우리나라의 지리적 여건상 식물생장에 적합한 인공광원을 활용한 보광으로 품질향상은 물론 재배기간을 단축함으로써 시설원예 작물의 생산성을 증대하고, 보광 과정에서 발생하는 폐열을 활용한 난방을 통하여 유류에너지의 절감도 가능함으로써 친환경적 농산물 생산이 가능하고, 고품질 고부가가치의 농산물 생산기반 구축과 농가의 안정적 소득증대가 가능하다.

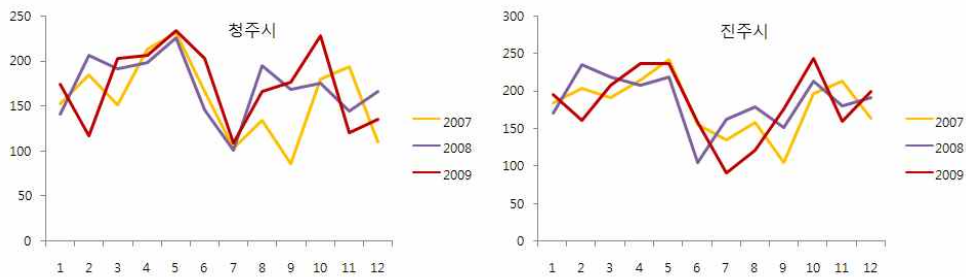


그림 출처 : 기상청 2007 ~ 2009년 자료

Fig. 1. 연간 일조시간 변화

특히, 그림 1과 같이 지구 온난화 영향으로 년차별 기상 변동이 심하여 안정적 생산관리를 위해서는 식물생장에 적합한 인공광원이 더욱 필요하게 되었다.

본 연구에서는 우리 나라 시설의 90%에 해당하는 플라스틱하우스에 적합한 식물생장용 등기구의 개발을 통하여 온실내의 자연광 음영부분을 최소화 하고, 인공광원의 난반사로 인공광원에 대한 고효율화를 구현하여 에너지 효율을 극대화하고자 하였다. 또한, 개발된 제품을 통한 토마토 육묘온실 및 재배농가의 현장시험과 토마토의 파장대별 광 환경에 따른 생육 효과 구명 시험을 통하여 제품의 상용화를 위한 연구를 추진하였다.

## 제2절. 연구개발 필요성

우리나라의 원예생산시설은 '07년 말 현재 약 53,036ha로써 이중 화훼 생산시설은 6.05%인 3,208ha이며, 대부분의 시설이 과채류 중심의 채소류이다. 그러나 전체 시설면적의 70% 이상 플라스틱하우스는 터널에 가까운 무난방 시설이며, 가온이 이루어지는 시설은 30% 미만이다. 유리온실은 387ha에 이르며, 주로 수출채소와 화훼류 생산에 이용되고 있다. 그림 2는 2006년 총림통계연보(2006. 농림수산식품부)에서 발표된 지역별 시설작물 재배 면적 현황도이며, 표 1은 우리 나라의 화훼 생산현황을 나타낸 것이다.



자료출처 :  
2006년 농림통계연보 (2006. 농림수산식품부)

Fig. 2. 지역별 시설작물 재배면적 현황

Table 1. 우리나라의 화훼 생산현황

년도	농 가 수		재 배 면 적	면 적
	호	전업농가수		
	호		ha	
75	2,446	947	1,070	91
80	2,733	1,399	1,280	180
85	5,365	2,947	2,249	581
90	8,945	6,197	3,503	1,752
95	12,509	9,876	5,156	3,054
00	13,080	10,312	5,891	3,336
01	13,466	10,212	6,304	3,385
02	13,575	10,478	6,422	3,338
03	13,596	9,709	6,860	3,560
04	13,159	9,438	7,522	3,397
05	12,859	9,351	7,952	3,448
06	12,440	8,982	7,688	3,232
07	12,021	8,627	7,509	3,208

자료 : 유통정책단 과수화훼팀

Table 2. 우리나라의 시설채소 재배면적

년도	비닐하우스 등 시설면적	재 배 면 적			생 산 량
		시 설	터 널	천t	
	ha				
85	16,569	28,689	18,835	9,853	680
90	23,698	35,994	39,994	-	1,017
95	40,077	81,604	81,604	-	2,423
00	48,853	90,627	90,627	-	3,247
01	48,749	86,421	86,421	-	3,291
02	48,535	82,544	82,544	-	3,110
03	48,589	83,369	83,369	-	3,170
04	47,841	80,815	80,815	-	3,286
05	48,574	78,469	78,469	-	3,219
06	48,680	76,361	76,361	-	3,209
07	49,828	73,372	73,372	-	3,077

자료 : 유통정책단 채소특작팀

주 : 88부터는 표본통계, 이전은 행정통계임

작물별로는 채소류에서 토마토 6,493ha, 오이 4,497ha, 딸기 6,709ha, 고추 5,213ha를 차지하며 파프리카와 딸기 농가가 증가 추세에 있다. 화훼류에는 장미가 약 800ha, 국화도 약 800ha를 차지하며, 수출용 난과 선인장 농가도 증가 추세를 보이고 있다. 이들 생산품목의 주요 수출 대상국은 채

소류는 일본이며, 화훼류는 중국이다.

Table 3. 우리나라의 시설작물 재배면적 현황(2005년산 기준)

구분	계	수박	참외	오이	토마토	딸기	고추	화훼
총계	53,863	19,124	6,655	4,497	6,493	6,709	5,213	5,172
서울	328	-	-	16	6	-	3	303
부산	741	-	-	78	364	-	3	296
대구	636	259	108	34	142	-	36	57
인천	334	19	6	161	90	-	21	37
광주	1,162	264	11	83	268	35	338	163
대전	224	7	-	78	73	33	18	15
울산	330	154	1	18	53	37	14	53
경기	3,808	54	145	766	606	73	313	1,851
강원	2,853	909	1	648	611	8	404	272
충북	2,765	1,929	2	124	367	142	143	58
충남	8,366	4,169	22	593	1,069	1,684	582	247
전북	3,804	1,855	79	234	477	553	192	414
전남	4,852	1,237	29	800	738	889	903	256
경북	9,555	1,311	5,745	498	747	619	561	74
경남	13,693	6,957	505	315	797	2,610	1,680	829
제주	412	-	1	51	85	26	2	247

자료 : 2006 농림통계연보, 2006. 농림수산물식품부

우리 나라는 약광기(겨울철과 장마철)에 인공광원이 필수 요소로 대두되고 있으나, 현재 시설원에 농가에서 인공광원에 의한 시설재배가 미흡한 실정으로, 인공광원에 의한 환경조건관리가 필요하다. 식물생육조건에 필수요소인 광, 온도, 습도, 이산화탄소, 물, 양분 모두의 균형을 맞추어 작물을 키우는 것이 생산성을 증대시키고, 품질의 균일성을 맞추는 요인이 된다. 기존의 재배방식은 자연광에 의존하여 재배함으로써 약광기에는 품질의 불균일성과 낮은 생산성을 초래하였다.

본 연구에는 식물전용 인공광원 개발로 생산성 및 품질향상을 통한 고부가가치 원예농산물의 수출 증대에 기여하고자 한다. 현재, 우리 나라에서는 인공광원으로 주로 HID 조명 중에서 고압나트륨(HPS)램프를 주된 광원으로 사용하고 있으며, 대부분 2~2.5m의 높이에서 2~3m<sup>2</sup>/400Watt 정도로 설치하고 있다. 이와 같은 경우 등기구에 의한 광 차단이 많아져 음영지역이 형성되기 때문에 원예작물의 적절한 품질관리에 문제를 초래 할 수 있다. 따라서 세라믹 메탈할라이드와 고압나트륨 램프 기술을 활용하여 식물 생장에 적합한 400~480nm대와 600~700nm대의 인공광원과 등기구의 난반사율을 최대화할 수 있는 등기구의 개발이 요구된다.

외국에서 수입된 인공광원 관련제품은 가격이 고가이다. FTA 체결에 따른 농업선진국 보광제품의 국내 진입이 확대되고 있으나 농가경영비 상승 요인으로 투자를 기피하며, 또한 제품의 구조나 형식, 특성이 국내 온실 여건과 맞지 않는 경우가 대부분이다. FTA 체결에 있어서 농가

에 대한 문제가 사회적 이슈가 되고 있으며, 이에 대한 대책으로 농가의 생산성 및 품질향상이 매우 필요한 실정이다. 따라서, 원예농가에 필수요소로 대두되는 작물 생육에 적합한 보광자재인 인공광원 및 등기구의 개발과 보급이 절실히 요구된다. 그림 3은 외국의 인공광원(보광등)의 사용 예와 우리나라의 보광등 사용 예를 보여주고 있다.



Fig. 3. 인공광원 사용 현황

병충해 방제가 가능한 인공광원 도입을 통하여 친환경적 농산물 생산도 가능해 지고 있다. 병충해 방제를 위한 과도한 농약 사용으로 시설재배 농가의 피해가 발생하는 경우가 있으며 친환경 안전농산물 생산은 국제적인 추세이며 우리나라도 도입되고 있는 실정이다. 따라서 시설 내에서 살균효과가 있는 방제 기능의 인공광원을 사용함으로써 친환경 농산물 생산이 가능할 것으로 기대된다.

보광의 부수적인 효과인 난방에너지 절감을 통하여 시설원예농가의 경영비 절감이 가능하다. 인공광원의 에너지는 약 30%가 빛에너지이며, 70%가 열에너지로 구성된다. 기존의 인공광원 등기구의 문제점인 차광율을 최소화 할 수 있도록 개선하며, 등기구의 방열 특성을 최대화하여 겨울철 및 장마기에 난방에너지 절감이 가능토록 함으로써 농가의 생산비 절감이 기대된다. 따라서 열에너지 발산을 최대화시킬 수 있는 인공광원 등기구를 개발함으로써 온실에서 보광효과 뿐만 아니라 보조 난방의 효과에 따른 경제적 이점을 기대할 수 있다.

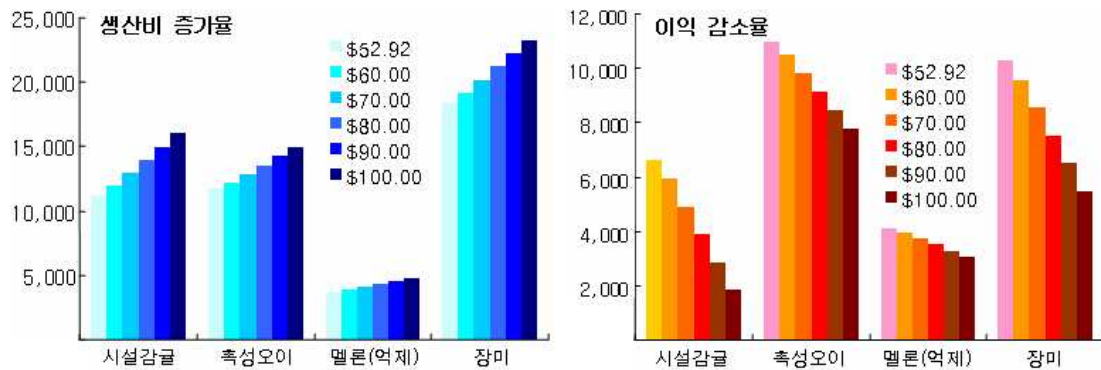
우리나라는 지리적으로 겨울철 혹한기에 난방이 반드시 필요하다. 표 4는 2006년도 기준의 난방 연료별 가격을 비교한 자료이며, 2008년도에는 산유국의 원유 수출량 제한과 고유가 정책에 따른 배럴당 \$140.00으로 치솟아 농가의 생산비 증가로 유류 에너지 절감이 절실히 요구되고 있으며 온실에서 광합성에 필수적인 보광을 실시할 때, 방열을 고려한다면, 광원에서 발생하는 열을 온실의 난방으로 이용함으로써 유류 사용량을 절감할 수 있으며 그림 4는 농업공학연구소에서 2007년에 시

설원예절감가이드북을 통해 난방연료별 시설원예 농가의 경영비를 비교를 보여주고 있다. 또한 유류 사용량의 절감은 최근 농촌의 사회적인 문제로 대두되고 있는 면세유를 절감함으로써 국가 예산을 줄일 수 있다는 잇점이 있다.

Table 4. 난방연료별 가격비교(2006. 9)

연료종류	가격 (원/L,KWh, Kg)	유효발열량(Kcal)		천Kcal당 가격 (원)
		단위당 (원/L,KWh, Kg)	100원당	
연탄	97	2,760	2,845	35.1(42)
심야전기(갑)	23	860	3,739	26.7(32)
농용전기(병)	36	860	2,389	41.9(51)
경유	610	7,360	1,207	82.9(100)
보일러등유	651	7,237	1,112	90.0(109)
LPG	1,123	10,200	908	110.1(133)
중유	423	7,760	1,835	54.5(66)

출처 : 시설원예절감가이드북(농업진흥청 농업공학연구소, 2007)



자료 출처 : 시설원예절감가이드북(농업진흥청 농업공학연구소, 2007)

Fig. 4. 난방연료별 작물별 경영비 비교(2006.9)

### 제3절. 연구개발 범위

#### 1. 연구 개발 제품



(1) 온실용 식물성장용램프 및 등기구 (2)나트륨램프를 활용한 자체제작 등기구

Fig. 5. 시설온실 보광등기구

- 그림 5의 (1)은 본 과제를 통하여 개발된 제품의 시범 설치된 모습을 보여주고 있으며, 그림 5 (2)의 그림은 농가에서 사용되는 보조광에 대한 모습을 보여주고 있다, 그림 5 (2)의 등기구의 경우 램프에서 발산되는 빛에너지의 활용도가 60% 미만으로 에너지 효율성이 떨어진다. 이를 보완하는 측면에서 빛의 효율성을 최적화 할 수 있는 등기구를 개발하여 시험한 결과 생산성 향상 및 에너지 절감의 효과를 보았다.
- 원예온실에서 보광용으로 사용되는 나트륨램프 기술을 활용하여 식물생장에 적합한 적색 파장대(600~700nm)의 특성을 증대시켜 그림 6의 스펙트럼 특성을 보이는 500nm와 650nm 파장대의 시설원에 식물성장용 램프에 대한 시험품을 개발하였다.

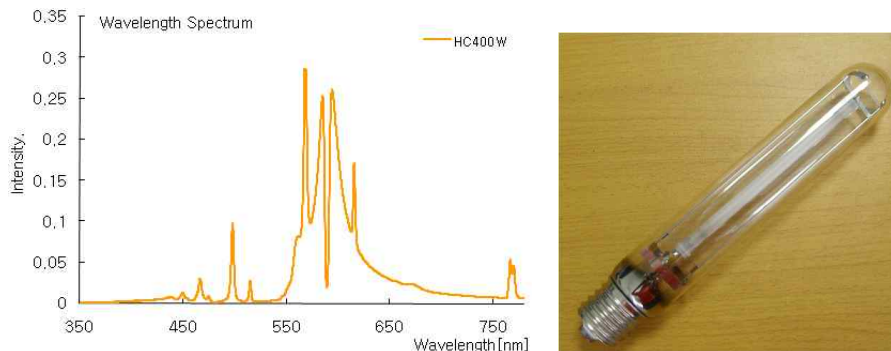


Fig. 6. 식물의 파장대에 적합한 인공광원



- 표 5는 개발된 식물성장램프와 일반 나트륨램프의 특성 비교를 보여주고 있으며, 동일 소비전력 비교 약 11%의 광량 증가 및 식물의 광합성 대역인 400~500nm와 600~700nm대역의 효율 증가와 비광합성 대역의 효율 감소를 보여주고 있다.

Table 5. 식물성장용램프와 나트륨램프 특성비교

모델명	HC400(식물성장용램프)		NH400(나트륨램프)	
LM	42,755		38,584.00	
W	116		102.16	
R(655~665)	0.9635		0.7382	
FR(725~735)	0.3414		0.2783	
R/FR	2.8224		2.6522	
R/FR (600~700/700~780)	2.8059		1.9982	
FR Bandwidth	2.70	5.8%	2.91	7.1%
R Bandwidth	7.59	16.4%	5.83	14.3%
O Bandwidth	16.04	34.7%	13.89	34.0%
Y Bandwidth	13.73	29.7%	13.02	31.8%
G Bandwidth	1.92	4.1%	1.62	4.0%
B Bandwidth	2.76	6.0%	2.40	5.9%
I Bandwidth	0.94	2.0%	0.77	1.9%
V Bandwidth	0.57	1.2%	0.442	1.1%

- 특히 400~500nm 및 기타 대역에 비하여 600~700nm 대역의 증가는 해충의 발생을 저지시키는 대역으로써, 병충해의 발생 빈도 감소가 가능 하였다.
- 원예온실용 인공광원 등기구는 플라스틱 온실에 설치가 용이한 방식으로 설계 되었으며, 일체형 타입과 분리형 타입으로 생산이 가능하도록 개발되었다. 그림 7은 개발된 온실용 인공광원 등기구를 보여주고 있으며, 요철을 활용한 반사폭을 늘림으로서 배광특성의 효과를 증대시켰다.
  - 재질은 순도 99.9% 알루미늄을 사용하였으며, 산화막 처리를 통한 습도에 의한 부식성을 최소화 하였으며, 요철 특성과 알루미늄 반사특성을 활용하여 자연광에 대한 차광특성을 최소화 하였으며, 인공광원 반사율을 95%이상 구현하였다.
  - 알루미늄을 활용한 열 방사특성으로 인공광원에서 발생하는 70%의 방사열에 대하여 온실 내부로 발산이 되어 난방에너지로 사용이 가능하도록 설계되었으며, 또한 중방 커튼에 대한 영향을 최소화하였다.

- 1차년도 개발 제품과 2차년도 개발제품의 차이점은 광 확산 특성이며, 온실 중방 높이가 2~2.5m 이상일 경우에 1차년도 제품이 효율적이며, 2m 이하인 경우에는 2차년도 제품이 더 효율적인 광 분포 특성을 가지고 있고, 실제 시범사업을 통하여 그 특성을 확인하였다.

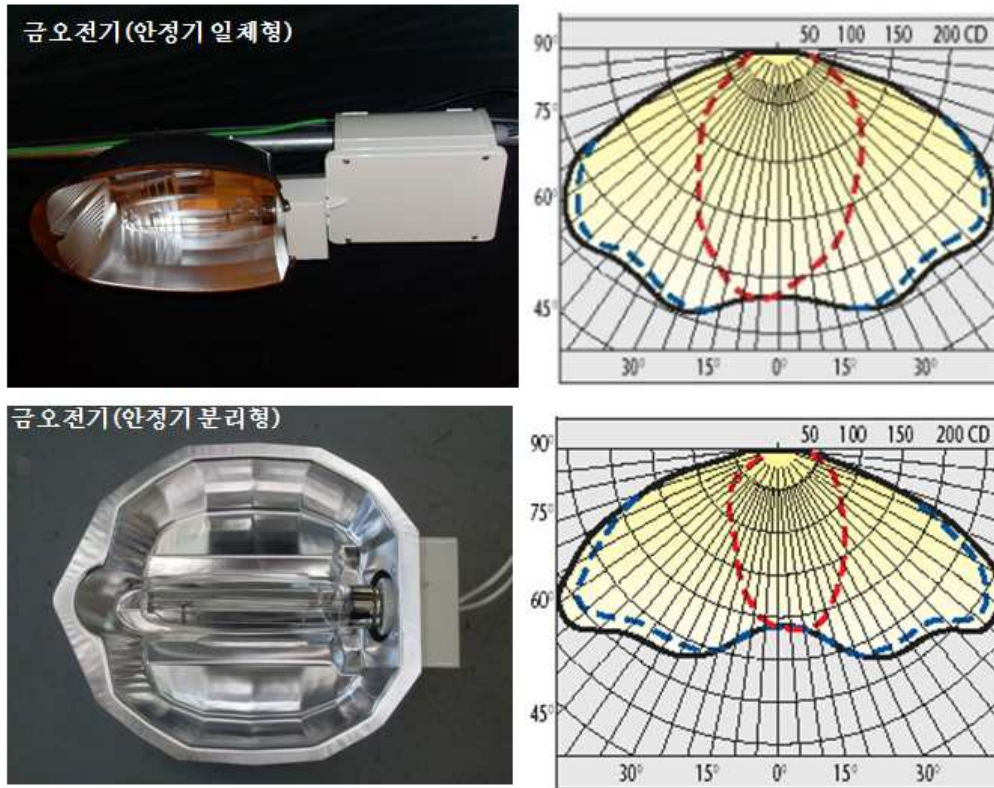


Fig. 7. 온실용 인공광원 반사갓

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제1절. 국내의 인공광원의 이용

대부분의 인공광원에 대한 연구는 ‘동계 시설 내 보광이 수경재배 착색단고추의 생육에 미치는 영향’ 연구(작물과학원 목포시험장), ‘장미 생산성 향상을 위한 보광재배 효과연구 및 과채류 육묘시 보광을 이용한 묘소질 향상’ 연구(원예연구소), ‘시설수박 억제재배 시 보광처리가 과실 비대에 미치는 영향’ 연구(충북농업기술원), ‘동계 보광광원의 종류와 보광광도가 Single-stemmed 장미의 생육에 미치는 영향’ 연구(서울시립대학교), ‘전등보광이 딸기의 생육 및 수량에 미치는 영향’ 연구(영남대학교) 등 인공광원에 대한 식물의 생육에 대한 연구가 일부 수행되어지고 있으며 식물생장에 적합한 인공광원 개발연구는 매우 미흡한 실정이었다. 또한 등기구의 방열 및 광 차단율 줄이는 연구가 시설재배에서는 반드시 필요한 실정이었다. 금오전기(주)는 1998년 구미화훼수출단지에 나트륨램프 적용 설치 사례가 있으며, 현재 시설원예 농가에서 적용한 경우는 식물전용이 아닌 일반적인 램프와 등기구를 사용하여 보광 또는 전조등으로 효율이 저조한 실정이다. 플라스틱 몰드제품을 사용한 원예용 등기구 보급예가 있으나 방열특성 문제에 의한 등기구 열화현상이 나타나며 등기구에 의한 음영부분이 생긴다.

본과제의 개발제품을 사용하여 2008년 경기도 U-화훼 성장환경 관리 시스템 구축 시범사업에 식물생장용 인공광원 분야 참여(6개 농가, 1260대)하여 결과를 분석한 결과 생산성 향상과 경영비 절감의 효과가 있었다.

향 후 식물생장용 램프를 활용한 최적화된 성장환경제어의 기술개발이 필요하다.

### 제2절. 해외 인공광원의 이용

노르웨이 가비타는 원예용 인공광원 등기구 제품 생산판매 회사로서 우리나라에 제품이 도입단계이나, 설치가격이 비싸기 때문에 보급률 저조하며, 자연광에 광 차단으로 인한 음영부분이 많이 생기는 문제점 발생되고 있다.

네델란드 필립스, 미국 GE. 등에서는 원예용 인공광원으로 고압나트륨 램프 기술을 활용하여 600~700nm대에 해당되는 제품을 생산판매 중이며 우리나라 일부 장미재배농가에서 사용하고 있다.

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제1절. 식물생장용 인공광원의 개발

#### 1. 서언

식물이 성장하기 위해서는 반드시 에너지가 공급되어야 한다. 식물이 필요로 하는 유용한 에너지 자원은 탄수화물을 중심으로 하는 유기화합물이다. 탄수화물은 광합성작용에 의해 만들어지며, 광합성에 이용되는 에너지는 빛에너지이다. 광합성의 대부분은 잎의 엽록체 속에 있는 엽록소(chlorophyll)를 통하여 이루어진다. 잎은 표피조직, 동화조직, 통도조직, 후막조직, 기공조직 등이 모여 형성되며, 잎에 있는 기공에서는 가스의 출입(호흡)과 수분의 증산작용이 활발하게 일어난다.

식물의 생장에 영향을 주는 환경요인은 기상환경(광, 온도, 공기, 바람, 강우, 습도, 강설 서리, 안개 등)과 토양환경(토성, 양분, 토양반응, 토양수분, 지세, 위도, 표교 등) 및 생물환경(잡초, 기생식물, 야생조수, 토양 소동물, 병원균, 근류균 등)을 들 수 있으며, 시설온실 내 작물생육에 영향을 미치는 미기상환경요인은 광, 온도, 이산화탄소, 습도 등을 들 수 있으며, 토양재배 또는 양액재배에 따른 수분, 양분이 있으며, 생물환경으로는 병원균, 근류균 등으로 자연환경보다 환경의 변수가 줄어든다. 이 중에서 시설온실에서 작물의 성장요소로 광합성에 직접적으로 영향을 주는 인자는 **빛(광)**과 이산화탄소의 농도를 들 수 있다. 시설온실에서의 광원의 공급방식이 전적으로 인공광원을 활용하는 방식과 태양광과 인공광원을 조합하여 활용하는 방식, 태양광만을 이용하는 방식이 있으며, 이러한 광원의 활용은 식물의 성장과 발육 조절의 중요한 환경요소이다. 가장 기본적인 것은 빛이 광합성을 야기하고, 광합성 작용에 빛의 색깔(광질)과 빛의 세기(광도) 및 빛의 조사 시간(광주기) 등이 중요한 요소이다.

시설온실에서 자연광이 부족되기 쉬운 시기에 인공광원을 이용한다. 식물의 생장에 영향을 주는 유효광선은 적색대역인 600~700nm이고 광형태형성 및 암반응과 같은 영향을 주는 대역은 원적색광 대역으로 700~770nm이다. 380~500nm는 광형태형성에 영향을 주는 대역으로 대부분의 인공광원은 이와 같은 광질을 충족시킬 수가 있다.

인공광원으로는 값이 저렴하고 설치가 간편한 필라멘트형 백열전구를 많이 사용하였으나 투입전력 대비 광에너지 비율이 낮으며, 열이 많고 수명 또한 짧으며 청색광 방출이 없는 것이 단점이다. 형광등은 열 발생이 적으면서 광 발생 효율이 대단히 높고 수명이 길지만 적색광이 약하고 청색광이 높은 단점이 있다. 가스방전형으로 가스 방전관의 가스 종류에 따라 방전시

발생되는 빛에너지를 활용하는 종류로 식물의 광합성 작용에 많이 사용되는 적색광이 강한 고압나트륨(HPS) 램프와 청색 및 백색광이 높은 메탈할라이드 램프 등이 있으며, 최근에는 단색광의 LED를 혼합하여 사용하는 경우도 있으나, 가격 대비 광량이 부족하다는 단점이 있다.

시설온실내에서 인공광원을 활용시 작물과 생육단계에 적합한 광질의 광원 선택이 필요하다. 인공적인 다양한 광원으로 빛의 색깔(스펙트럼)이 태양광의 역할 가능한 식물생장에 미치는 영향에 대해 다양한 연구가 진행중이다. 식물에 대한 광원의 역할은 광원에 의한 광합성으로 식물의 성장성이 증가하고, 단일 식물과 장일 식물을 위한 광주기 조절이 가능하며, 꽃 또는 열매의 연중 생산이 가능하도록 하는 것이다.

## 2. 연구 목표 및 방법

### 가. 연구목표

본 연구에서는 식물생장에 중요한 요소인 광합성 활성 대역인 440nm와 650nm 파장대의 시설원에 식물생장용 램프를 개발하는데 목표를 두고 추진하였다.

- 기초실험을 통한 인공광원 설계
  - 세라믹메탈할라이드램프와 고압나트륨램프 기술을 응용 방전관 설계
  - 방전관 가스에 대한 배합율을 통한 식물생장 파장대의 램프 설계 개발
- 인공광원 구성의 요소부품 설계 및 제작
- 식물 파장대(400~500, 600~700nm) 적합성 검증 및 수정보완 등의 내용으로 나누어 연구 개발을 진행하였다.

본 연구진은 기반시설의 인프라면에서도 이미 나트륨램프를 이용하여 구미화훼단지에 적용한 예가 있으며, 자체 제조설비를 구축하여 산업용 램프(메탈할라이드 램프, 나트륨 램프)를 생산, 판매하고 있으며, 방전관 제조 기술을 기반으로 식물생장에 적합한 램프를 설계 제작하여, 토마토와 선인장에 적용 시험하여 그 결과로 제품화에 적용하다면 매우 유리하다고 본다.

### 나. 연구방법

본 연구는 설계 및 제작은 금오전기에서 수행하였으며, 제품에 대한 파장대 분석은 광주테크노파크 산업지원센터에서 자체 실험을 통하여 분석하였다.

방전관에 대한 설계는 그림 8과 같은 램프 구조의 방전관에 스칸듐(Sc), 나트륨(Na), 수은

(Hg), 아르곤(Ar)의 구성비를 달리하여 400~500, 600~700nm 대역의 특성을 증가 시키며, 산업화가 가능한 구성비를 시험하여 최적 조건을 찾는 방법으로 개발하였다. 그림 9는 램프 생산과정 등을 보여주는 것이다.

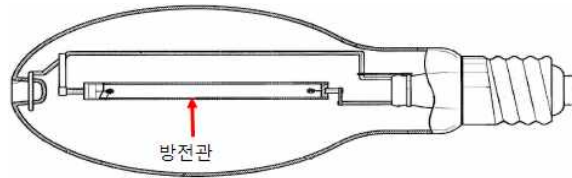


Fig. 8. 식물성장용 램프



Fig. 9. 식물성장용 램프 조립

#### 다. 연구재료

##### ○ 램프 구성요소

- 칸듐(Sc), 나트륨(Na), 수은(Hg), 아르곤(Ar)이 봉입된 방전관
- 220V 400W 형 램프 유리구
- E40 base 소켓,
- 방전관 지지대,
- 가스켓

##### ○ 램프 구동 안정기

- 220V 400W 나트륨램프용 안정기

### 3. 연구 결과 및 고찰

#### 가. 식물생장용 인공광원 제작 및 분석

##### (1) 식물생장용 인공광원 시험 구성



Fig. 10. 램프 스펙트럼 분석 적분구

- 그림 10의 적분구에 식물생장용 램프를 장착한다
- 적분구 외부에 램프 구동용 나트륨램프 안정기를 설치하여 적분구 내부에 있는 램프와 연결한다.
- 나트륨램프 안정기에 220V 전원을 인가한다.
- 380~780nm 대역의 스펙트럼을 측정한다.

##### (2) 식물생장용 인공광원 스펙트럼 분석

그림 11은 본과제를 통하여 개발된 식물생장용 램프와 산업용으로 생산되는 나트륨 램프의 스펙트럼을 비교 분석한 것이다. 방전관에 스칸듐(Sc), 나트륨(Na), 수은(Hg), 아르곤(Ar)의 구성비를 달리하여 600~700nm 대역의 특성을 증가시킴으로써 식물의 광합성량을 증가시킬 수 있도록 함으로써 건물량의 증가와 엽면적 증가 등의 식물의 신장에 미치는 영향을 증대 시킬 수 있었다. 그림 12는 개발된 식물생장용 램프를 사용했을 때 병해충이 감소되는 결과를 보여주고 있다. 따라서 600~700nm 대역에 광량을 높음으로써 병해충의 발생을 약화 시키는 대역 또한 높이는 효과가 발생하여 친환경적 농업의 기술로 보급이 가능하다.

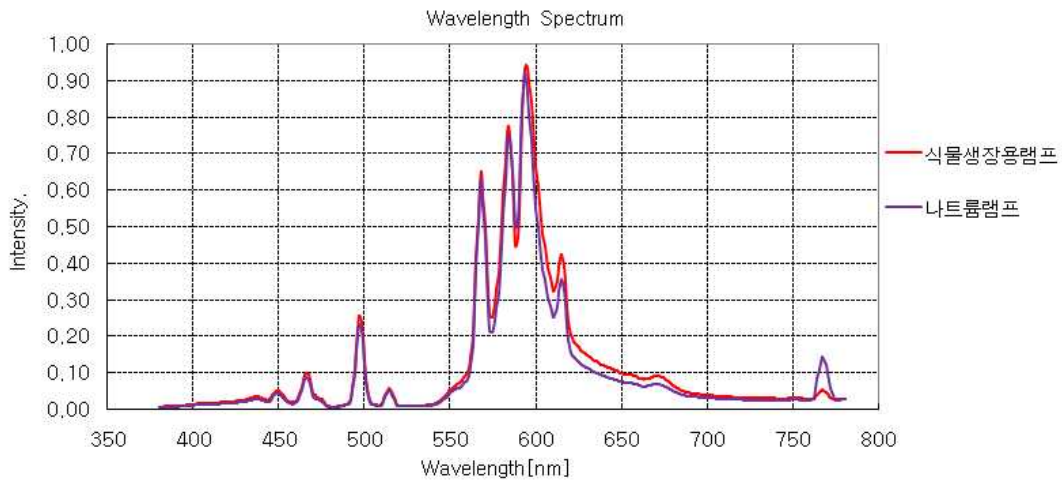


Fig. 11. 식물성장용램프(개발제품)과 나트륨램프 스펙트럼

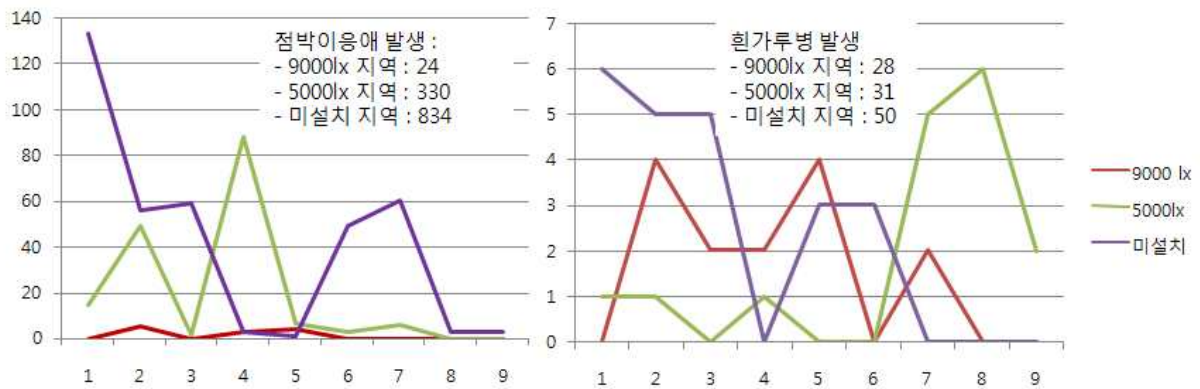


Fig. 12. 장미농가 식물성장램프 설치 후 병해충발생 결과분석

## 나. 빛에 대한 식물의 반응

### (1) 식물성장용 인공광원 개발의 이론적 배경

빛은 에너지와 파장 주파수로 표시할 수 있다. 빛의 파장, 즉 스펙트럼(광질이라고도 표현한다.)은 식물의 성장 및 형태형성에 중요한 요소이며, 단위는 나노미터(nm)로 표기한다. 사람이 인지할 수 있는 가시광선대역은 일반적인 가시광선대역인 380~700nm와 원적색광대역인 700~770nm이며, 비 가시광선대역으로는 적외선(Infrared) 대역과 자외선(Ultraviolet) 대역이 있으며, 적외선 대역은 NIR(770~2,500 nm), MIR(2,500 ~30,000nm), FIR(30,000~1,000,00000nm)대역으로 구분되며, 자외선 대역은 UV-A(315~380 nm), UV-B(280~315 nm), UV-C(280~100 nm)로 구분된다. 특히 자외선 대역인 UV-A와 UV-B



는 식물의 광형태형성과 생장에 영향을 미친다. 가시광선대역 중에서 식물의 광합성을 촉진시키는 대역인 400~700nm를 광합성 활성 파장대역 (PAR, Photosynthetically Active Radiation)이라 하며, PAR로 표기하고, 단위로는 micromole( $\mu\text{mol}$ ,  $10^{-6}$  mole)로 표시한다. 파장 에너지의 단위는 와트(W, watt) 또는 주울(J, joule/s)로 표시한다. 파장별 에너지 특성은 400nm에서는  $3.33 \mu\text{mol s}^{-1}$ 이며 700nm에서는  $5.85 \mu\text{mol s}^{-1}$ 로서 평균적으로  $4.60 \mu\text{mol s}^{-1}$ 이다. 식물의 생장과 발육에 빛이 미치는 영향은 광합성 빛의 파장대, 즉 원적색광, 적색광대역이며, 청색광과 UV-A, UV-B의 영향에 따라 광수용체인 피토크롬과 크립토크롬의 작용에 의한 광주기성 및 광형태형성이 발생된다.

식물의 빛의 반응은 여러 가지 색소(피그먼트)에 의해 결정되는데, 사람은 이러한 반응의 물질이 눈에 위치하며, 식물은 엽록체에 위치하여 적극적으로 광합성에 관여하는 구조로 되어 있다. 그림 13에는 빛의 파장대에서 사람의 시감파장대와 식물의 파장대를 보여주고 있다. 이 그림에서와 같이 식물은 청색부터 적색대역까지 인간보다 더 넓은 대역에 반응하며, 녹색보다는 청색과 적색에 더 반응(식물생장에 영향)하고 특히 청색보다는 적색에 더 반응한다. 광합성 활성 파장대역에는 흡수스펙트럼과 작용 스펙트럼으로 구분되는데 대부분의 그림 14처럼 식물에서 황색과 녹색 파장대는 반사되거나 통과되는 파장대이다.

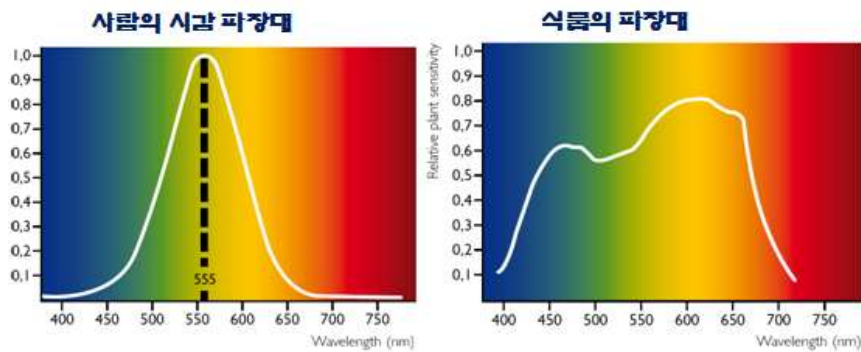


Fig. 13. 빛에 대한 식물의 반응

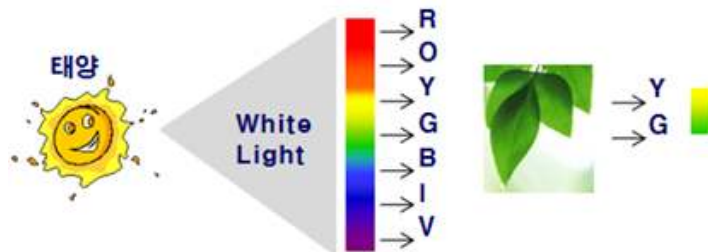


Fig. 14. 빛에 대한 식물의 반응

광합성 대역(PAR)인 400~700nm에서의 빛이 잎에 도달하는 대역 중 85~90% 가 흡수되고 나머지는 통과되거나 반사되며, 광합성을 하지 않는 다른 색소에 의해 빛의 에너지가 흡수되는데 그 중의 하나가 안토시아닌(Anthocyanin)이라는 식물색소가 있다.

최적의 빛의 강도는 작물별 성장특성에 적절한 강도를 의미하며, 작물의 요구 광량 이상인 경우 농작물 피해 및 성장 장애 발생과 과도한 분엽 발생을 초래한다. 따라서 적정 광량인 경우 생산량이 증가 하며, 최적의 빛의 강도는 생산량 증대 및 품질 증가가 가능하게 하므로 인공광원의 목표는 광합성을 위한 최적의 조건 형성이 목표이다. 식물은 광을 가지고 에너지 및 생체정보로 사용한다. 더 높은 광의 강도로 광주기를 늘리면 광합성의 증가 및 식물의 성장기간의 연장이 가능하다. 인공광원 사용의 장애로 성장과 관련한 부작용 발생이 가능(photomorphogenesis- 광형태발생(光形態發生)하며, 낮은 광도에 의한 일장조절(장일 또는 단일)은 꽃의 개화 조절에 효과가 있으며, 단일식물의 경우 장일장으로 개화 시기의 지연이 가능하다.

## (2) 식물의 광합성

식물성장에서의 복사에너지의 전환에 대한 광합성의 화학적 표현은 [식 1]과 같다. 광량의 증가가 식물 생장의 효율성을 저하시킬 수 있는데 그 요인은 온도, 이산화탄소, 영양분, 그리고 수분 등의 조건에 문제가 있을 때 발생하며, 양엽과 음엽 두가지 형태의 잎에서 나타나는 현상으로, 식물의 성장과 발육은 광질, 이산화탄소 농도, 일장 등의 요소들에 의존한다.



광합성 에너지인 광자 에너지는 처음에 엽록소 조직에 도달하여 표피에 존재한다. 엽록체는 엽록소를 함유하는 색소체로서 직경 5 $\mu\text{m}$ 내외, 두께 약 2 $\mu\text{m}$ 의 볼록렌즈형으로 내부에는 스트로마(기질)와 내막계(틸라코이드)가 있다. 비타민 K, C, 리보산, 망간 등을 가지고 있으며, 엽록체 내부에 있는 여러 엽록소 중에서 10 ~ 50개의 그라나 와 스트로마 판(=시럽용액)으로 구성되어 있는 색소에 의한 광반응으로 두 가지의 반응 즉 명반응(grana)과 암반응(stroma)이 있으며, 그라나는 종종 스트로마 판과 연계되어 명반응과 암반응으로 구분되는 광반응을 한다. 그림 15는 엽록체의 명반응과 암반응에 대한 설명으로 빛에너지에 의해 명반응(광작용)으로 그라나가 작용하여 산소를 배출하며, ATP와 NADPH<sub>2</sub>의 화합물을 생성하고, 암반응에 의해 캘빈사이클의 원리로 이산화탄소 흡수에 의한 탄수화물을 반응에 의한 당과 녹말을 만들어내는 과정을 설명하였다.

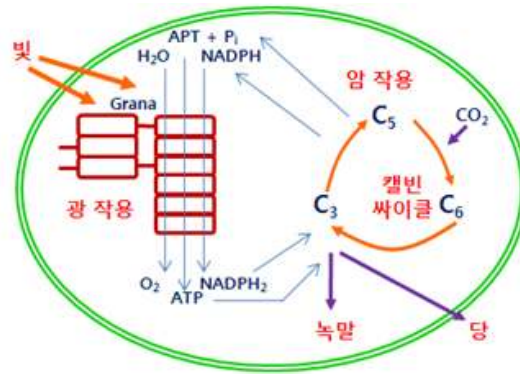
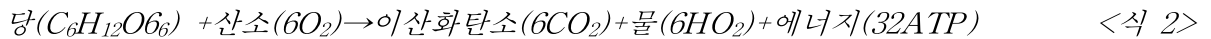


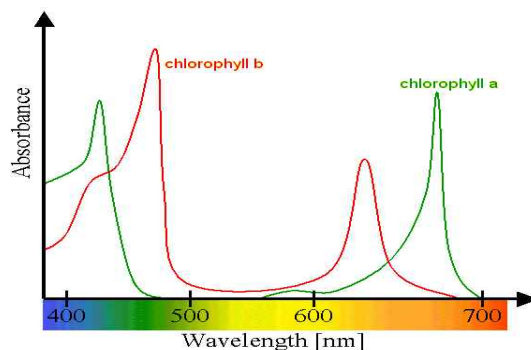
Fig. 15. 엽록체의 광반응

명반응은 ATP(adenosine triphosphate - 아데노신 3인산), NADPH<sub>2</sub> 와 같은 고 에너지 화합물을 형성하고, 암반응에서는 이산화탄소가 카르복시기에서 루비스코(Rubisco)효소의 도움을 통하여 C<sub>5</sub> (RuBP) 분자로 된다. 이에 대한 표현은 [식2]와 같다.



엽록체에 흡수된 빛 에너지는 화학에너지인 당으로 변환하여 호흡시, 건물량 증가, DNA, 단백질, 지방질, 녹말, 세포벽 구성 등에 사용된다. 이런 현상은 온도와 빛의 상태 및 환경 변화에 의존하며, 성장과 발육을 위한 빛의 강도와 빛의 합은 중요한 요소이다.

엽록소(葉綠素) 또는 크로로필(chlorophyll)은 광합성의 핵심 분자로 빛에너지를 흡수하는 안테나 역할을 하는 색소로, 약 200여개의 엽록소가 모여 하나의 반응 중심 엽록소로 에너지를 전달한다. 엽록소의 종류에서 엽록소 a는 광합성을 하는 모든 식물에 들어 있으며, 이 중 빛에너지를 직접 화학 반응계에 전달하며, 다른 색소가 흡수한 빛에너지도 일단 엽록소 a에 전달된다. 엽록소 b는 육상식물과 녹조류나 유글레나 등에 들어 있다. 그림 16은 엽록소 a, b의 흡수스펙트럼에 대해 보여주고 있다.



\*그림출처 : 위키백과사전

Fig. 16. 엽록소a(green)와 b(red)의 흡수 스펙트럼

### (3) 광수용 색소

광주기 조명동안 색소(피그먼트)는 중요한 역할을 하며, 이러한 색소를 식물의 눈이라 한다. 식물의 색소에는 피토크롬 (350~800nm)과 크립토크롬 (320~500nm), UV-B 광수용체 (280~350nm) 등이 있으며, 빛의 세기, 일장, 스펙트럼, 빛의 방향 등의 정보를 제공 한다.

피토크롬은 피토시아닌과 밀접한 관계를 갖는 식물의 청색 단백질 색소로, 광형태형성, 광주기성, 종자의 발아, 과실의 결실, 휴면기와 같은 여러 가지 발생 현상을 조절 한다. 광주기는 광합성에 직접적 영향을 미치지 않으며, 간접적으로 엽록체와 엽록소의 성장에 영향을 미칠 수 있다. 피토크롬은 식물의 생체시계 기능을 하며 일몰과 일출의 일장 변화를 알려주고, 생리적 작용을 한다. 이 색소는 그림 17과 같이 적색광과 원적색광에 의한 상호 전환되는 Pr과 Pfr 두가지 유형이 있으며 명반응과 암반응의 형태로서, 활성형 Pfr은 단일 식물에게는 개화억제물질로 작용하고 장일식물에서는 개화 유도 물질로 작용하며, 불활성형 Pr는 낮 동안에 적색광에 의해 Pfr로 전환되고, Pfr형은 730 nm 의 원적색광에 의해 불활성형인 Pr형으로 전환한다. 또한 장일조건이 되면 밤이 짧으므로 Pfr이 충분히 Pr로 전환되지 못하고 상당한 Pfr이 존재하므로 개화를 일으키게 되는 것이다.

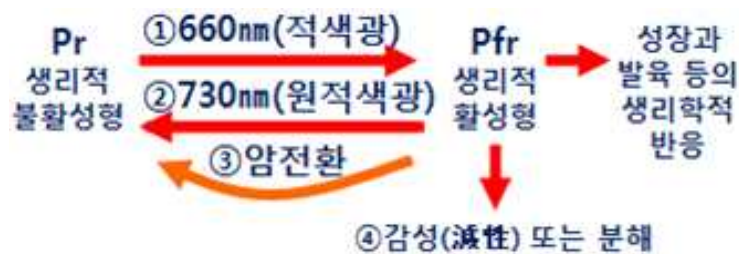


Fig. 17. 생리적 불활성형과 활성형의 광반응

크립토크롬은 청색광과 UV-A를 흡수하며, 굴광성의 기능을 가지고 있다. 청색광과 UV-A를 흡수하여 기공의 열리는 신호를 제공하며, 특히 묘목단계에서는 들어오는 빛의 방향과 직각으로 떡잎의 방향이 위치하도록 한다. 잎의 색깔에 영향을 주며, 짧은 절간에 의해 줄기의 신장을 억제한다. 식물과 동물의 청색 광수용체의 종류로서 플라빈단백질 계열로 발아와 신장 및 광주기성 등을 조절하고, 식물과 동물의 생리적 리듬과 자장 감지에 영향을 준다

### (4) 호흡

식물의 호흡이란 광합성과 반대되는 작용으로 광합성으로 만들어진 유기물(포도당)을 분

해하여(산화시켜) 생체에 필요한 에너지로 전환하는 작용으로 유기물을 산화시켜 에너지를 얻고 살아가려면 밤이나 낮이나 호흡을 해야한다. 다만 낮에는 호흡작용결과 발생한 이산화탄소보다 광합성에 이용하기위해 흡수된 이산화탄소량이 더 많고, 호흡으로 소모한 산소보다 광합성으로 생성된 산소량이 많기 때문에 낮에는 광합성이 강조되고 호흡이 무시되고 있을 뿐이지 호흡을 하지 않는다면 결국 식물도 에너지를 얻지 못하고 시들게 될 것이다. 따라서 식물이 광합성 작용으로 공기를 정화시켜주지만, 밤에는 호흡작용만 일어나 산소를 소모한다.

#### 다. 식물의 보광에 사용한 인공광원의 스펙트럼 분석

- 백열전구(Incandescent - INC lamp)는 할로겐 램프(가시광선등)을 포함하며, 텅스텐 필라멘트에 전류가 흐를 때 빛을 발산하며, 그림 18과 같이 발산 에너지 6.7% 만이 PAR(400~700nm) 대역으로 광합성을 위해 사용이 가능하다. 백열전구의 에너지 중 93.3%가 열에너지로 변환되어, 낮은 효율로 인해 광합성의 동화 빛으로 사용되지 않는다. 백열전구는 15 lumen /W(watt)로 단일식물에 사용되거나, 일시적으로 사용하는 경우가 있다.

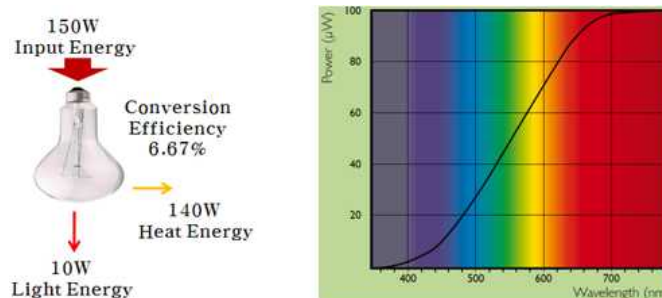


Fig. 18. 백열램프의 에너지 구조와 스펙트럼

- 방전램프는 저압 방전램프와 고압방전 램프로 구분되며, 대표적인 저압방전램프는 형광램프가 있으며, 고압방전(High intensity Discharge - HID) 램프에는 나트륨 램프(High pressure Sodium lamps - HPS)와 메탈할라이드 램프(Metal halide lamps - MH), 수은램프 등이 있으며, 수은램프는 거의 사용이 되지 않는다.
- 방전램프의 구성은 혼합가스(예, 아르곤)와 여러 가지 메탈로 구성된 방전관에 따라 나트륨, 수은, 할로겐 등으로 구분되며, 이들 구성물은 전류가 흐를 때 적절한 동작 온도에 이를 때 기화 되며, 전극은 아크에 의해 휴즈처럼 형성되어 백열램프 처럼 동작하여 빛과 열이 방출된다. 전기적 에너지의 25~30% (램프타입에 따라 상이)가 PAR 영역으로 변환되며, 70~ 75%가 열로 변환한다.

- 형광램프는 빛의 색상이 광범위하여 자연광에 가까운 스펙트럼을 연출하지만 광량이 낮아 주로 육묘용으로 사용된다. 스펙트럼은 PAR(400~700nm) 에너지의 58%가 청색과 녹색광(400~565nm)의 영역에 함유 되어 있으며, 4가지 색깔의 스펙트럼으로 구성된다. 형광등의 구성 가스는 자외선 및 청색광과 가시광선대의 수은으로 구성되며, 안정기를 사용하여야 한다. 그림 19는 형광램프 종류별 스펙트럼을 보여주고 있다. 형광램프는 낮은 광량을 발산하기 때문에 폐쇄형 식물공장의 엽채류 생산에 적용되는 경우가 많다.

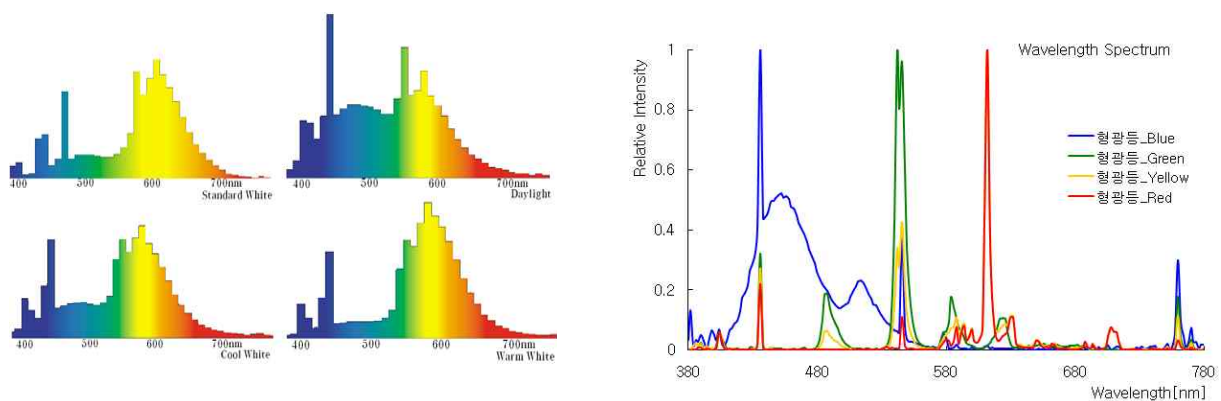


Fig. 19. 형광램프의 색상별 스펙트럼

- HID(High Intensity Discharge Lamp)의 종류는 고압나트륨 램프(HPS), 메탈할라이드(MH), 수은램프 등이 있으며, 필라멘트 없이 전극 사이의 아크 방전시에 불꽃만을 이용하며, 램프가 켜 있는 때에는 방전관 내의 기압이 매우 높기 때문에 고압 방전등(High Pressure Discharge Lamp)이라고도 한다. 구조는 아크가 이루어지는 방전관과 외구가 있는 이중 구조이며, HID LAMP는 필라멘트가 없이 기체중의 플라즈마 현상을 이용하기 때문에 전류의 흐름이 매우 불안하여 불안정한 전류의 흐름을 안정화 시키기 위한 안정기(BALLAST)가 필요하다. 안정기는 방전등의 초기 시동전압 공급(4KV 이상)과 램프 전류를 제한하기 위한 제어장치로서의 기능을 하며, 방전유지를 위한 일정한 전압/전류를 공급한다.
- 그림 20의 (1) 스펙트럼에서 나타난 (HPS High pressure sodium lamps)는 시설온실용의 인공광원 사용에서 빛에너지 효율이 높은 광원 중에 하나로, 전기에너지의 30%가 PAR(400~700nm)로 변환된다. 이 중 빛에너지의 14%가 400~565nm와 590~700nm 대역에 있으며, 램프 수명은 약 20,000 시간 이상이다. 스펙트럼 영역이 메탈할라이드 램프 보다 적지만 식물 광합성에 적합한 자연광에 가까운 특성으로 적색광과 원적색광의 빛을 발산하여, 식물생장과 발육에는 더 효과적이다. 방전관 온도의 온도가 최대 450℃이므로 사용시 램프와 식물간의 간격을 유지하여야 한다.

- 메탈할라이드 램프 (Metal Halide lamps -MH)는 방전관에 금속 할로젠화 화합물을 봉입하여 자연광에 가까운 온화한 백색광을 발산하므로, 공장, 옥외 작업장, 옥내, 가로등, 체육시설 등의 조명에 적합하다. 인간의 시각도에 맞게 적용되어 빛에너지 중 400~565 nm 대역이 55%이며, 수은램프나 나트륨 램프 보다는 대역 폭이 넓지만, 청색과 녹색 및 주황색 대역의 빛이 강하며, 적색 대역은 거의 없으므로 육묘단계의 사용이 적절하다. 그림 20의 (2)는 메탈할라이드램프의 스펙트럼을 나타낸 것이다.

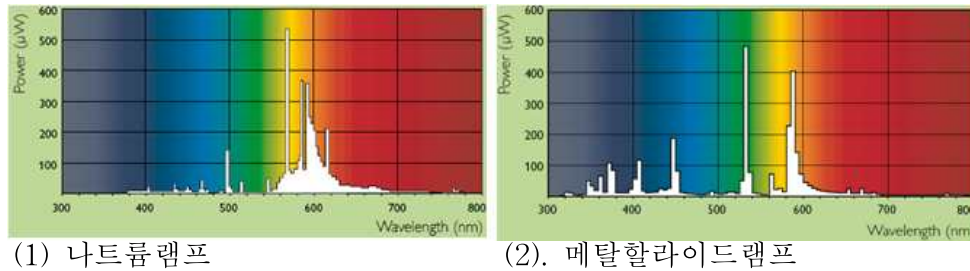


Fig. 20. 나트륨램프와 메탈할라이드 램프의 스펙트럼

#### 다. LED

발광 다이오드(LED : Light-Emitting Diode)는 반도체(Semi-Conductor)로서 전기전도도에 따른 물질의 분류 가운데 하나로 도체와 부도체의 중간영역에 있으며, 순수한 상태에서는 부도체와 비슷하고, 불순물의 첨가나 기타 조작에 의해 전기전도도가 늘어나기도 한다.

LED 발광 원리 및 전기적 특성은 순방향 전류(직류)를 인가할 때 전자와 정공이 서로 마주보는 방향으로 이동하여 활성층에서 만나 빛(Light)을 발산(Emitting)하는 다이오드(Diode)로 역방향 전류(작류)를 인가할 때 전자와 정공이 서로 반대방향으로 이동하여 활성층에서 만나지 못해 빛을 내지 못한다.

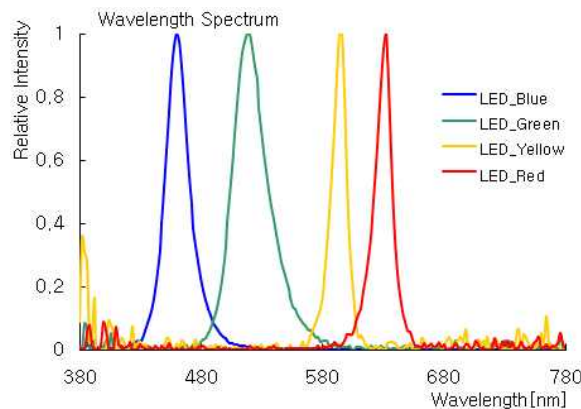


Fig. 21. LED 종류별 스펙트럼

그림 21은 LED 색상별 스펙트럼을 나타낸 것이다. LED 스펙트럼은 단파장으로 색상별로 청색(430 ~ 500nm), 백색(430 ~ 700nm), 녹색(480 ~ 580nm), 황색(580 ~ 610nm), 적색(600 ~ 660nm)으로 구분된다.

LED 적용은 HPS(약 100lm/W)에 비하여 약 30lm/W로 광량이 부족하고, 단일파장으로 파장의 조합 필요하다. 현재는 수경재배 또는 육묘용 장치 등에 특화된 형태로 사용되고 있다.

**라. 광원별 특성**

인공광원에 사용되는 광원은 필라멘트 형, 가스방전형, 그리고 요즘 세로운 조명장치로 부각하는 LED가 있으며, LED는 청색, 적색, 황색, 녹색, 백색 등의 단파장을 발생한다. 따라서 LED를 사용할 경우에는 이들의 혼합을 통하여 필요한 파장대를 형성하여 사용하며, 현재로서는 광의 세기로 인해 부분적으로 사용되고 있다. 표 6은 현재 시설온실에 사용되는 보광등의 종류별 특성을 비교한 것이다. 가격이 저렴하다는 이유에서 가장 많이 사용되었던 백열램프의 경우 에너지의 93%이상이 열에너지로서 실제 농가에서 사용했을 경우에 광합성 특성 보다는 보온의 특성이 강하다고 볼 수 있다

Table 6. 시설온실 보광용 광원별 특성 비교

광원의 형태	총 Lumen /Watt	발광량중 가시광의 비율	발광량중 비가시광의 비율	발광량 중 PAR 대역	광원의 수명(시간)
백열램프	15	7%	93%	7%	800~1,000
형광램프	70	20%	80%	30%	8,000~10,000
고압나트륨램프	105	25%	75%	89%	15,000~20,000
메탈할라이드	75	20%	80%	65%	10,000~15,000

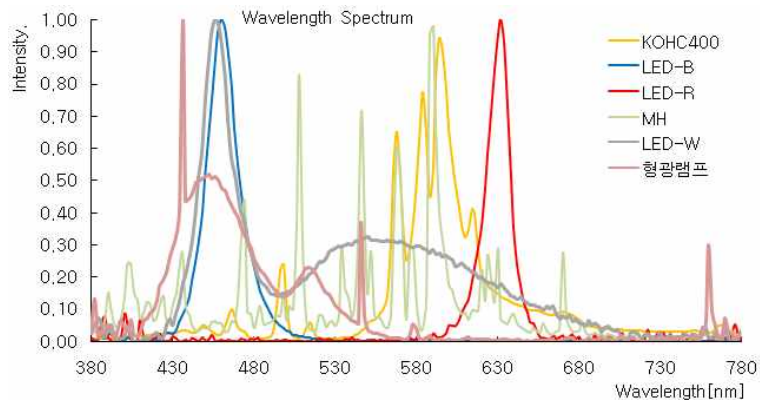


Fig. 22 .인공광원별 스펙트럼



그림 22와 표 7은 식물성장용 램프와 형광램프, 메탈할라이드 램프, LED 청, 적, 백색에 대한 스펙트럼과 특성을 비교한 것이다.

Table 7. 인공광원별 특성 비교

구분	KOHC400 (*1)	형광램프	MH-400 (*2)	LED-B	LED-R	LED-W
R(640~680)	1.94	0.08	1.10	0.03	1.28	2.10
FR(710~750nm)	0.67	0.13	0.30	0.03	0.22	0.34
R/FR (640~680/710~750nm)	2.90	0.64	3.61	0.84	5.86	6.17
R/FR (600~700/700~780nm)	2.72	0.21	3.75	0.79	15.09	5.72
FR Bandwidth	1.37	0.92	0.70	0.05	0.54	0.72
	5.9%	4.5%	3.1%	0.4%	4.8%	2.0%
R Bandwidth	3.71	0.19	2.61	0.04	8.09	4.09
	16.1%	0.9%	11.8%	0.3%	72.4%	11.4%
O Bandwidth	7.89	0.09	2.94	0.02	1.69	3.58
	34.2%	0.5%	13.3%	0.2%	15.2%	10.0%
Y Bandwidth	6.98	0.24	4.70	0.03	0.11	4.47
	30.3%	1.2%	21.2%	0.2%	1.0%	12.4%
G Bandwidth	0.96	3.84	5.20	0.22	0.10	7.98
	4.1%	18.7%	23.5%	1.6%	0.9%	22.2%
B Bandwidth	1.38	7.99	2.38	10.69	0.10	11.02
	6.0%	38.8%	10.8%	79.8%	0.9%	30.6%
I Bandwidth	0.48	6.22	1.55	2.19	0.09	3.64
	2.1%	30.2%	7.0%	16.4%	0.8%	10.1%
V Bandwidth	0.29	1.09	2.05	0.15	0.45	0.47
	1.3%	5.3%	9.3%	1.1%	4.1%	1.3%
PAR Bandwidth	20.72	8.74	14.54	2.49	10.98	16.97
	89.9%	42.5%	65.7%	18.6%	98.3%	47.2%
TOTAL	23.06	20.57	22.12	13.39	11.17	35.97

\*1) 식물성장 램프 개발제품

\*2) MH-400 : 메탈할라이드 램프 400W

적색(Red)/원적색(Far-Red) 비율이 감소하면 주지(신초:Shoot)의 생장이 증가하는 반면에 측지의 발을 억제한다. 즉 장부(생장점) 우세성이 자극 받는다. R/FR 비는 피토크롬에 영향을 주는 것인데, 피토크롬은 빛을 흡수하여 흡수스펙트럼의 형태가 가역적으로 변하는 식물체 내의 색소단백질로서 균류 이외의 모든 식물에 들어 있다. 빛 조건에 따라 식물의 여러 생리학적 기능을 조절하는 데 관여하고 660nm의 흡수극대를 가지는 적색광 흡수형(Pr)과

730nm의 흡수극대를 가지는 원적색광 흡수형(Pfr)이 있으며, 저마다 빛을 흡수할 때 상호변환(Pr↔Pfr)을 일으킨다.

표 7의 내용에서 PAR 대역을 살펴 볼 때 LED-R(적색) . KOHC400(식물생장용 램프) . MH-400 . LED - W(백색) . 형광램프 . LED-B(청색)의 순서이며, R/FR 를 살펴 보면 육묘 용으로는 인공광원 중에서 형광램프 또는 LED-B가 유리하며, 성장 및 발육으로는 KOHC, LED-R, LED-W, 메탈할라이드 램프가 유리하다고 본다. 시설온실용 인공광원을 선택할 때는 위와 같이 재배작물, 재배단계 등을 고려하여 광질(스펙트럼)과 광량을 고려하여 선택하여야 한다.

### 마. LED와 식물생장용 램프의 경제성 비교

표 8에서 시설온실용 인공광원으로 새로운 사용되고 있는 LED와 본 과제에서 개발된 식물생장용 램프에 대한 경제성을 비교하였다. 비교 대상 작물은 수출농산물인 파프리카, 토마토, 장미에 대한 광보상점 약 6,000lx(70umol/m<sup>2</sup>s) 이상의 광량을 기준으로 광분포성을 고려하여 비교하였으며, LED로 식물생장용에 맞추어서 설계하여 설치할 경우에 LED의 수명을 고려하여 식물생장용 램프의 교체하여 사용하는 것을 모두 고려하였을 때 경제적으로 9배에 가까운 비용이 발생한다. 또한 겨울철 필요한 난방에너지에 대한 절감을 고려할 경우 LED를 사용한 경우 더 많은 경제적 부담이 가중 될 것이다.

따라서 LED를 활용한 식물생장용 인공광원은 향후 LED의 시장성을 고려하여 검토하여야 할 것이다.

Table 8. 시설온실용 LED와 식물생장용 경제성 비교

구분	LED-W150	KOHC400W	비교
소비전력	150W	440W	
램프 수명(Hours)	.40,000	20,000	
램프, 안정기 등기구	1,500,000	100,000	
효율	92%	80%	
일일 실소비전력	1.63KWh	5.50KW	1일 10H 사용
설치비용	600,000,000	52,000,000	램프 2회 계산
년간 사용전력요금	3,286,957	11,088,000	- 400대 사용 기준
유지보수비		4,000,000	- 1천평(3,300m <sup>2</sup> )기준
<b>소계</b>	<b>603,286,957</b>	<b>50,088,000</b>	- 사용요금 : 농업용(을) 기준

## 제2절. 원예온실용 인공광 등기구의 개발

### 1. 서언

온실내에서 인공광 등기구는 중요한 구성체중 하나이다. 등기구의 크기, 구조에 따라 온실에서 필요한 자연광의 차광이 발생하며, 이는 생산성 저하 요인이 되고 있다. 등기구는 램프에서 발산되는 빛에너지를 손실없이 대상체로 전달하는 반사특성을 갖는 구조체이다. 등기구는 반사갓과 램프를 체결하는 모갈등이 기본적으로 구성된다.

그림 23과 같이 등기구의 표면처리에 따라 자연광의 반사 및 차단에 대해 보여주고 있으며 실제 농가에 설치된 예를 보여주고 있다.



Fig. 23. 온실용 등기구

그림 24는 온실내에서 등기구를 사용하는 예를 보여주고 있다. 반사갓만을 사용하여 자체 제작된 등기구의 경우 램프에서 발산 되는 빛에너지의 사용률이 50% 미만으로 나타나고 있으며, 플라스틱 등기구의 경우 램프에서 발생하는 열로 인한 열화현상이 나타나고 있으며, 발생하는 열을 발산시키지 못하고 반사갓과 등기구 사이에 잠복되어 열에너지 낭비 현상이 초래되고 있다. 산업용 등기구를 온실에서 사용하는 경우 구조적 특성의 문제로 빛의 분포성에 문제가 있다.



Fig. 24. 온실의 등기구 사용예

온실내에서 사용되는 등기구의 배열 또한 식물생장에 중요한 요인이 된다. 그림 25는 온실에서 등기구의 배열에 대해 보여주고 있다. 등기구의 반사각의 반사특성을 고려하여 최적의 설치가 될 수 있도록 시뮬레이션을 통해 배열 방법을 고안해야 할 것이다. 식물 재배용 조명 시스템은 효율이 좋고, 광원 조명 기구의 개발과 함께 대상 식물에 적합한 광원, 재배장소에 적합한 조명기구, 재배기술에 적합한 조명제어 등을 고려해서 설계할 필요가 있다.

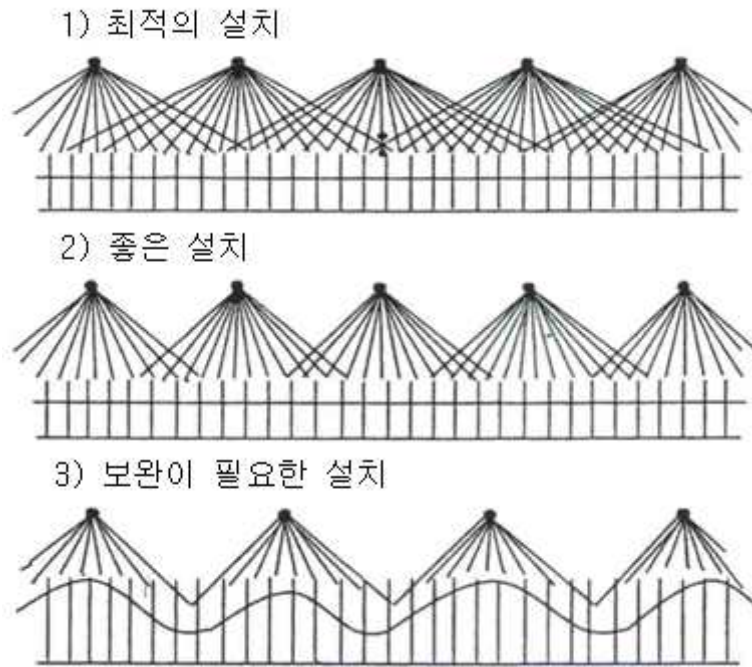


Fig. 25. 온실의 등기구 설치 방법

이상적 조명시스템은 총 투입에너지에 대한 PAR(식물 광합성 파장대) 부분의 파장에 사용되는 에너지가 최대이고, PAR 파장중 광합성의 효율을 극대화 할 수 있는 스펙트럼을 가지며, 균일한 광분포를 충분히 고려한 인공광원 장치에 대해 그림 26에 보여주고 있다.



Fig. 26. 인공광원의 이상적 설치 방법

## 2. 연구 목표 및 방법

### 가. 연구목표

본 연구에서는 플라스틱 온실에서 자연광의 차단율을 최소화하고 반사율을 최대화 할 수 있는 등기구를 개발하는데 목표를 두고 추진하였다.

- 기초실험을 통한 인공광원 등기구 설계 및 자연광의 반사율을 최대화(음영지역 최소화) 할 수 있도록 개발 및 자연광 반사율(차광율) 특성 실험 보완
- 인공광원의 방사특성을 최대화 할 수 있도록 고효율 반사갓 설계, 개발
- 반사갓, 안정기함, 등기구등의 요소부품 설계 및 제작
- 조도 시험을 통한 인공광원 등기구 및 반사갓 검증 및 수정 보완 등의 내용으로 나누어 연구개발을 진행하였다.

본 연구진은 기반시설의 인프라면에서도 이미 산업용 등기구 개발하고, 자체 제조설비를 구축하여 생산, 판매하고 있으며, 플라스틱온실에 적합한 등기구를 설계 제작하여, 토마토와 선인장에 적용 시험하며 그 결과로 제품화에 적용하다면 매우 유리하다고 본다.

### 나. 연구방법

본 연구는 설계 및 제작은 금오전기에서 수행하였으며, 제품에 대한 분광 특성분석은 자체 시험 및 U-화훼생장환경관리시스템 구축사업에 적용하여 특성을 분석하였으며, 조명연구소에 의뢰하여 신뢰성 시험을 하였다.

- 1차년도 설계 방법은 T형 램프를 기준으로 플라스틱 온실의 중방에 장착이 용이한 방법으로 설계, 제작하며 그림 27은 시설온실용 반사판의 설계방안을 보여주고 있다.

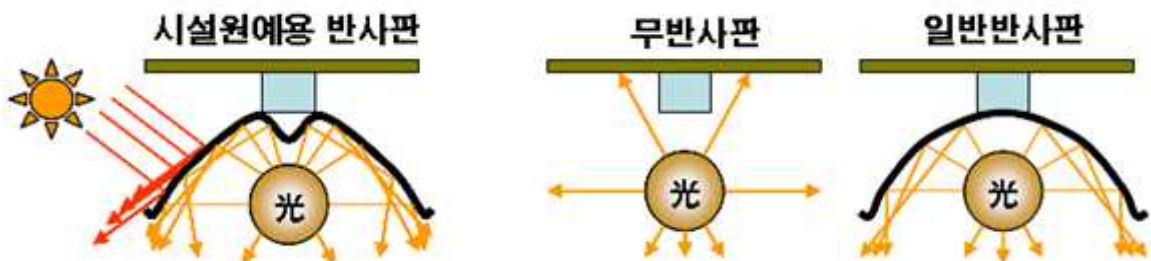


Fig. 27. 시설온실용 반사 및 분광특성

- 1차년도에는 반사갓 안정기함 일체형으로 제작하였으며, 그림 28은 디자인 도면이고, 그림 29는 1차년도 개발제품이다.

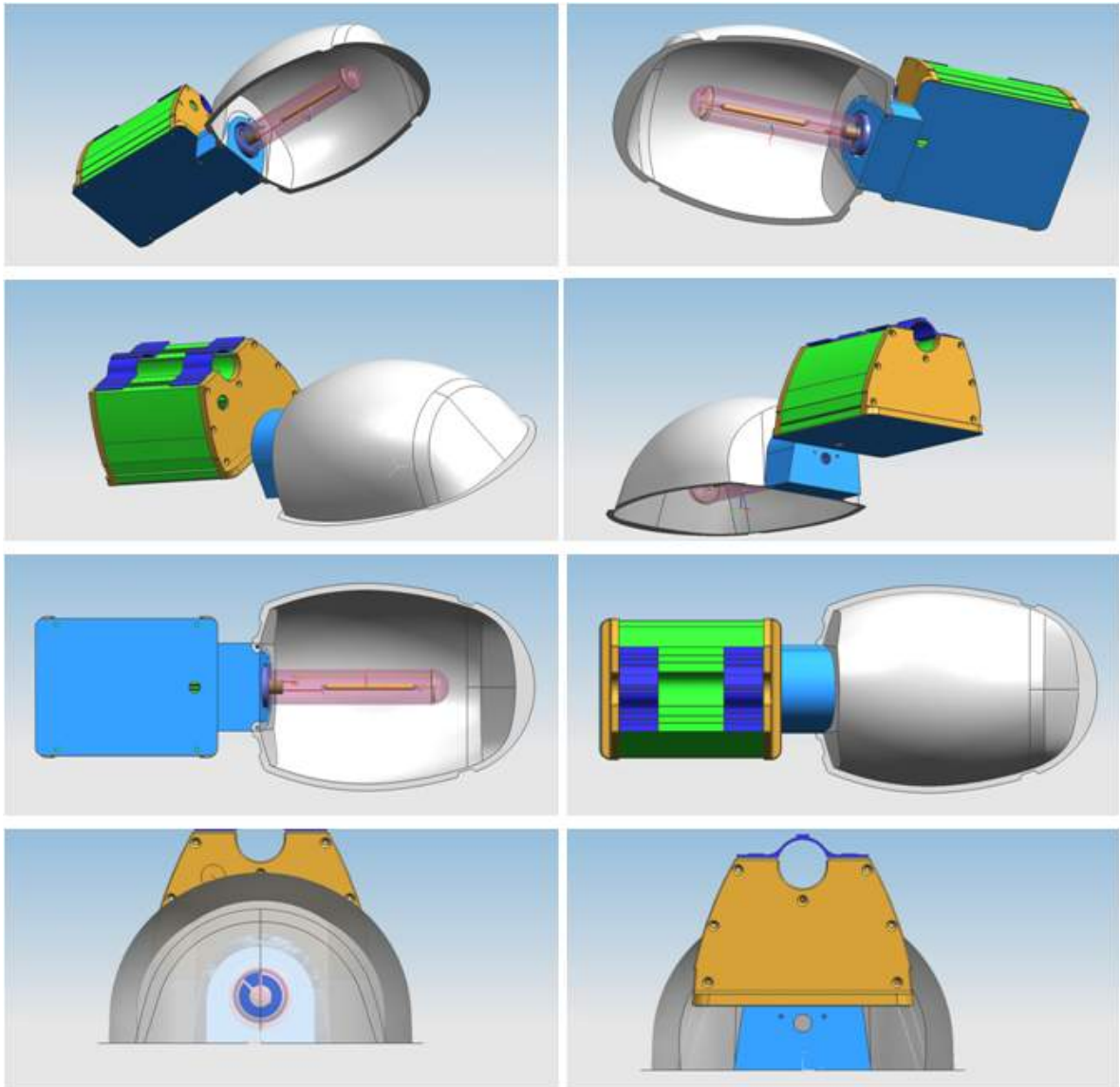
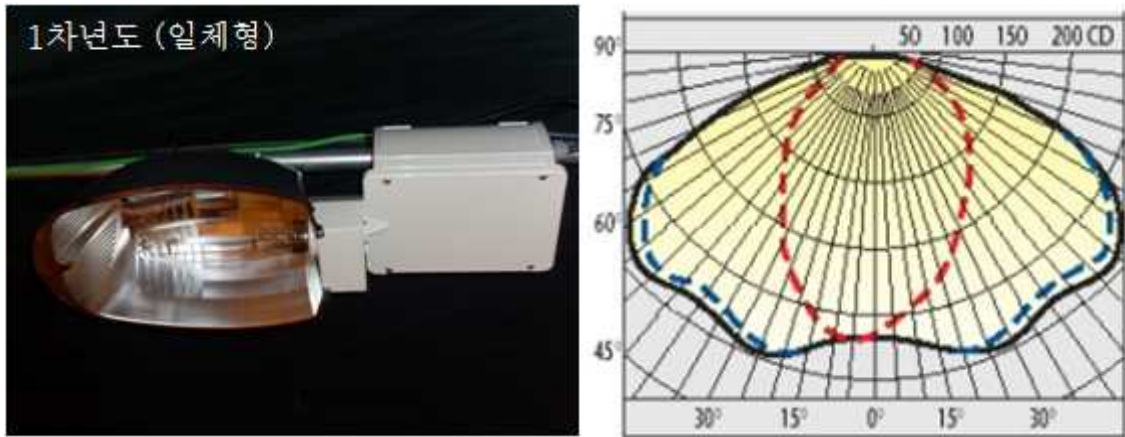


Fig. 28. 플라스틱 온실의 등기구 디자인 도면

- 이를 구현하기 위하여 그림 30과 같이 반사갓을 설계 개발하였으며, 그림 30의 A는 반사갓의 자연광 반사면을, B는 반사갓의 인공광원 반사 반사면을 표시하며, 자연광을 최대한 반사시키기 위하여 상면부와 하면부를 99% 순도의 알루미늄을 사용하여 제작하였다.
- 그림 30의 I 과 III번 부분을 통하여 좌우면으로 빛의 반사를 확산시키며, II번 부분은 전후면으로 빛의 반사를 확산시킬 수 있도록 설계 하였다. 또한, 산화막 처리를 통한 고효율 반사특성 구현 및 불순물에 의한 산화가 발생되지 않도록 처리하여, 온실의 습도

에도 내구성을 갖도록 하였다.

- 2차년도에는 2008년도 경기도 u-화훼생산환경관리시스템 구축사업의 인공조명 부분에 대한 시험 내용 및 개선사항을 고려하여, 1차년도 개발 제품에 대한 분포 특성을 보완하였으며 안정기를 분리하여 그림 31과 같이 분리형을 개발하였다.



A : 반사갓 외부

B : 반사갓 내부

Fig. 29. 1차년도 개발제품 및 배광특성

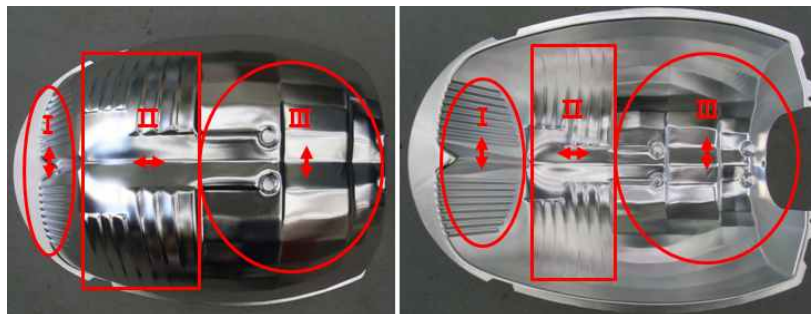


Fig. 30. 온실용 등기구(반사갓)

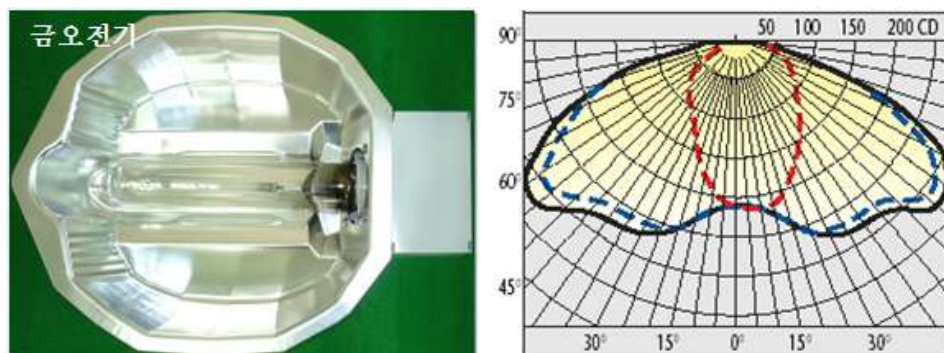


Fig. 31. 2차년도 개발 제품 및 배광특성

## 다. 연구재료

### ○ 등기구 구성요소

- 자체 설계 제작 반사갓
- E40 base 소켓용 모갈 및
- 안정기(1차년도 분리형)

## 3. 연구 결과 및 고찰

### 가. 등기구 배광특성

유리온실이나 플라스틱하우스 등의 시설온실 내에서 사용될 수 있는 등기구 반사갓은 특성상 중방에 설치됨으로써 자연광의 차단을 발생하여 음영지역에 대한 생산품질의 불균일성을 야기하고 있다. 자연광에 대한 반사율을 최대화하는 등기구 반사갓을 개발한다면, 음영지역을 최소화하여 온실 내에서 자연광을 최대한 활용하여 생산품질을 동일하게 하여 제품 생산의 안정성을 기대한다. 또한 등기구의 배광 특성이 균일하여 인공광원 사용시 음영지역의 최소화가 필요하다.

- 본 과제 1차년도에 개발된 등기구는 플라스틱하우스 중방높이 2.5M 높이에서 사용시 음영지역을 최소화시킬 수 있는 배광 분포의 특성으로 설계되었으며, 그림 32는 분석한 배광특성을 분석한 것이다. 1차년도 등기구의 배광특성을 고려 설치 기준은 약 1.5평 기준으로 설치시 음영효과를 최소화할 수 있다.

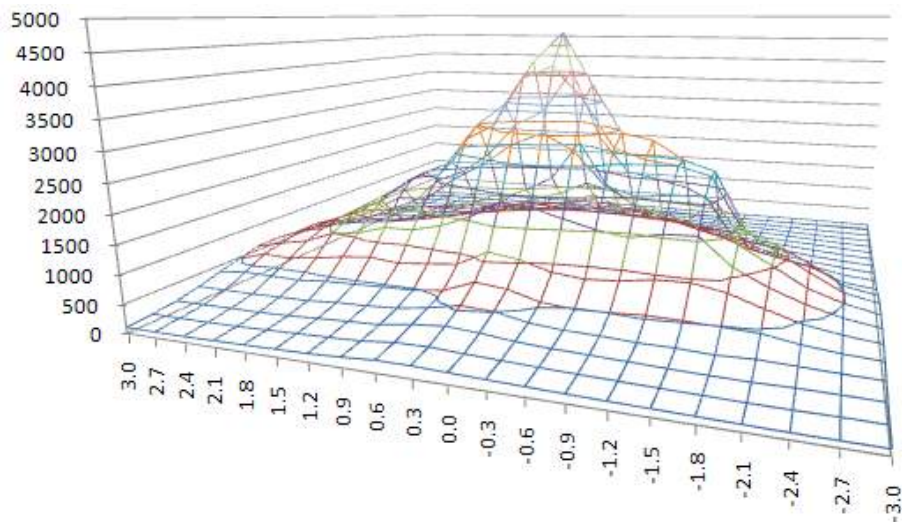


Fig. 32. 1차년도 등기구 배광특성도



○ 1차년도 등기구를 활용하여 시범사업을 추진한 결과 플라스틱하우스에 대한 농가의 난방비 절약을 이유로 변형된 경우가 많이 존재하여 중방높이의 2M에 대한 연구가 필요하게 되었다. 그림 33은 이를 해결하기 위한 2차년도 개발제품에 대한 배광특성이다. 2차년도 등기구의 배광특성을 고려 설치 기준은 약 2평 기준으로 설치 시 음영효과를 최소화할 수 있으며, 중앙지점의 광 강도를 낮추면서 더 넓은 지역으로 광을 방산할 수 있는 구조로 설계 되었다.

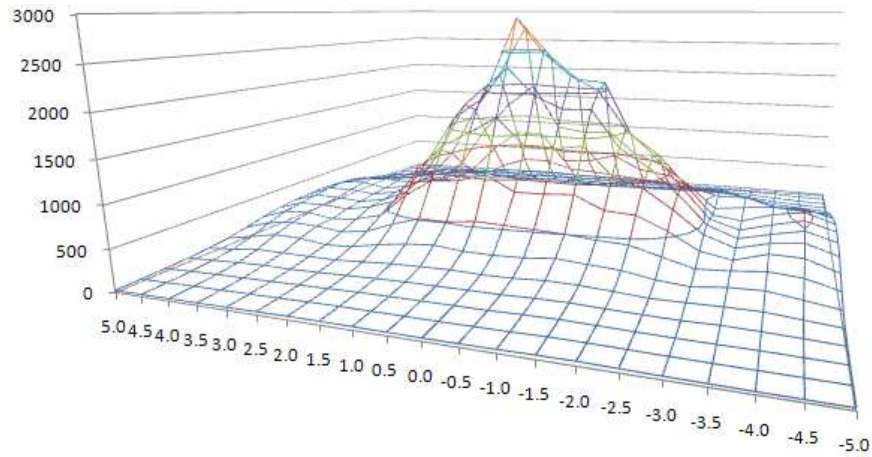


Fig. 33. 2차년도 등기구 배광특성도

#### 나. 등기구 반사특성

등기구 반사 특성을 최대화하기 위하여 반사갓 내부는 그림 34와 같이 99.9% 고순도 알루미늄 층에  $\text{SiO}_2$  로 코팅 처리하여 반사율 95%이상이 가능하도록 하였으며, 반사갓 외부는 마이크로퍼-S 코팅을 통하여 습도에 대한 부식성을 감소시키고, 자연광반사율을 증가(차광율 감소) 할 수 있도록 설계 하였다.

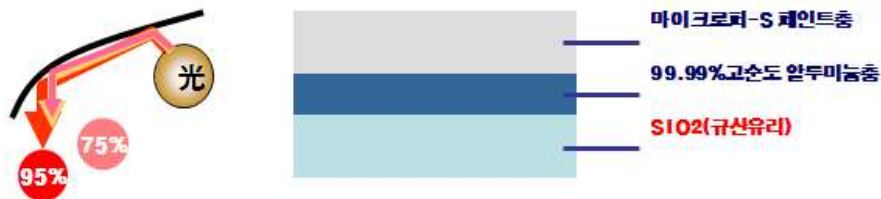


Fig. 34. 2차년도 등기구 배광특성도

본 개발 제품의 등기구에 대한 공인기관을 통한 시험성적서를 별첨하였으며, 그림 35는 시험성적서 중에서 반사율에 대한 시험결과이다.

# 시험 결과

접수 번호	F-0910071	시료 번호	n1	품명	반사판 (KORE001)	시험 규격	KS A 0066
----------	-----------	----------	----	----	------------------	----------	-----------

## 1. 시험결과

시험항목	단위	시험 결과	비고
		n1	
시감반사율 (380~780nm)	%	96.78	

## 2. 측정시료



Fig. 35. 등기구 반사율 시험 결과

#### 4. 시설온실의 인공광원 설치

시설온실에서의 약광기인 겨울철 또는 장마기에 보광을 하기 위해서 또는 작물의 일장조절을 위한 인공광원의 설치는 작물별 재배 방식에 맞추어서 작물의 재배 단계(육묘, 정식, 재배, 수확 관리)와 작물에 적합한 광질과 요구광량 및 광주기를 확인하여 경제성 및 생산성을 검토하여 효과가 극대화 될 수 있는 램프와 반사각 선정이 필요하다.

인공광원 설치 설계 시에는 컴퓨터를 활용한 균일한 광분포를 위한 광원의 배치 설계가 요구된다. 설치에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 활용한 광분포의 적절성을 분석한 예를 별첨 2에서 보여주고 있다.

인공광원과 자연광을 활용한 광주기 산출은 식물의 생육상태를 조사하여 생육상태의 장애요소 파악 및 조치와 환경적 문제점 파악 및 보완 조치가 필요하다. 이를 위해서는 컴퓨터를 활용한 복합환경 제어가 필요하며, 자연광의 광량에 대한 데이터화와 데이터의 축적 및 이를 바탕으로 인공광원의 적합한 광주기를 산출하여 사용함으로써, 효과를 최적화 할 수 있다.

##### 가. 플라스틱 하우스 설치 적용 시험

1차년도 개발기간중 지식경제부 U-화훼 성장환경 관리시스템 시범사업 중 인공광원 부분에 대한 6개 농가에 210개의 등기구 및 식물생장용 시험용 램프를 시범설치(2009. 1 ~ 2009. 2월 설치) 및 생육상태 조사에 참여하였으며, 그림 36은 농가의 설치 현황을 나타낸 것이다.



Fig. 36. 시범 농가의 인공광원 설치

장미의 인공광원 목적은 다수확 및 생산기간 연장, 안정적 공급과 고품질에 따른 고수익을 추구하고자 한다.

고양시에는 선인장 1개 농가, 장미 1개 농가에 각 약 300평에 설치하였으며, 화성의 난(심비디움) 1개농가에 300평에, 장미 농가에는 450평에 설치하였다. 용인의 원삼 장미 농가에는 300평에 백암은 1000평에 설치하였다. 그림 37은 고양시 장미 농가의 설치 단면도이며 및 그림 38은 최적의 배열을 위한 설치 시뮬레이션(자체기술) 결과이다.

- 인공광원 등기구 : 95% 알루미늄 반사갓, 안정기 일체형
- 인공광원 등기구 설치 높이 : 지면으로부터 2.5m(중방에 설치)
- 인공광원 간격 : 2.25m×2.25m
- 식물생장용 인공광원 수량 : 210EA
- 램프 규격 : 450~550nm, 600~700nm 대역, 220V 400W
- Lumen Output : 50,000lm



Fig. 37. 고양 장미 농가 인공광원 설치도

- 1.5m 높이의 광 분포 특성 (시뮬레이션에 의한 광분포 데이터)

Surface	Results	Average	Minimum	Maximum	Min/Ave	Min/Max	Ave/Max
Working Plane (h=1.50 m) Floor	Horizontal Illuminance (E)	6127 lux	3356 lux	7315 lux	0.55	0.46	0.84
	Horizontal Illuminance (E)	4551 lux	2276 lux	6215 lux	0.50	0.37	0.73

- 1m 높이의 광 분포 특성(시뮬레이션에 의한 광분포 데이터)

Surface	Results	Average	Minimum	Maximum	Min/Ave	Min/Max	Ave/Max
Working Plane (h=1.00 m) Floor	Horizontal Illuminance (E)	5536 lux	2818 lux	7031 lux	0.51	0.40	0.79
	Horizontal Illuminance (E)	4551 lux	2276 lux	6215 lux	0.50	0.37	0.73

- 광도 : 5000lux(약  $90\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ) 이상 유지를 위한 광분포 설계
- 절화장미 인공광원(권고) 조도 :
  - .  $100\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ (supplemental lighting for greenhouse crops by IR. J.J. Spaargaren)
  - .  $60 \sim 100\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ (cut flowers and pot plants by Philips)

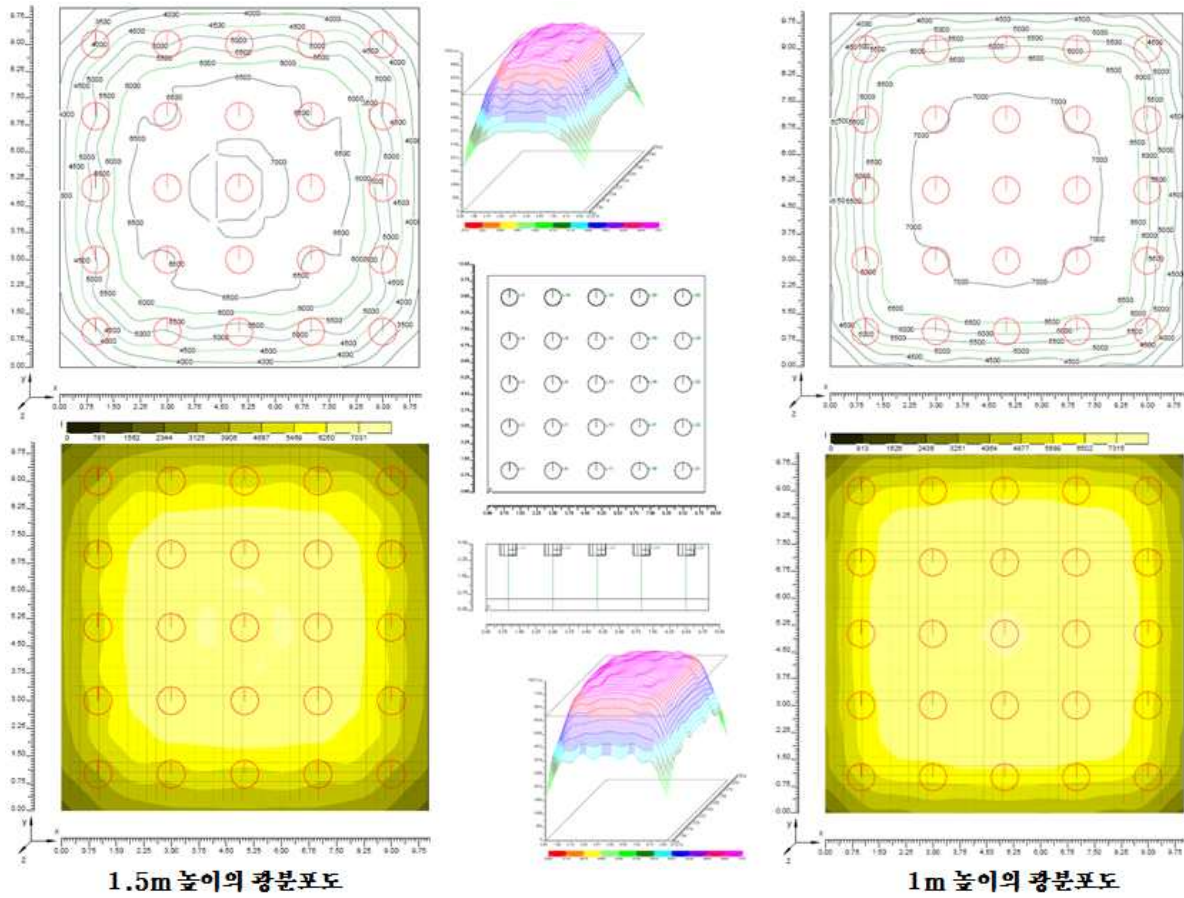


Fig. 38. 온실 인공광원 등기구/1.5평 설치시 온실의 인공광조도 분포도

#### 나. 플라스틱 하우스(고양 장미농가) 시험 분석

- 그림 39는 고양 장미농가(고양 화훼단지 내 소망농원)의 경우 실제 성장점에서의 광도를 측정  
 정한 결과 및 설치 후 4주경과 시점에서 장미의 성장상태를 보여주고 있다.



Fig. 39. 고양장미 농가 인공광원 설치에 대한 광량 비교

○ 그림 40은 2009년 2월 28일 고양장미 농가의 3개 지역(그림 37, 38 광조도 분포도 참조)에서 절화 후 25일 경과시 생장에 대한 비교사진이다. 1.5평 설치 지역은 200mm, 3평지역은 120mm, 무광 지역은 2mm의 성장 특성을 보이고 있다.



Fig. 40. 고양 장미 절화 후 25일 경과시 성장 비교

○ 용인 원삼 장미농가의 2개 품종에 대한 인공광원 설치 지역과 무광원 설치 지역에 대한 생장의 비교를 그림 41에 보여주고 있다. 무광원 지역에 비해 생산수량의 차이가 있음을 나타낸다.



Fig. 41. 용인원삼 장미농가 인공광원 설치 60일 경과후 성장 비교

○ 장미 농가의 설치 비교를 분석한 결과 시설농가에서 작물의 생산성 향상과 고품질화를 위해 인공광원은 절대적 필수 요소임을 보여주고 있다.

- 지금까지의 시설원예에서의 인공광원에 대한 연구방법은 사람의 가시광선대의 조도를 사용하여 약 3Klux를 기준으로 설치하였다. 사람의 가시광선 파장대는 450~650nm이며 정점인 550nm는 Green/Yellow 대역으로 광도측정 단위인 lux를 사용하여 표시하고 있다.(그림 13 ‘사람과 식물의 파장대’ 참조)
- 그림 42에서와 같이 식물의 광합성 대역은 400~700nm이며 광합성 광자선속밀도 (Photosynthetic Photon Flux Density : PPF or PFD)를 사용하여 표시하며 절화 장미의 경우 60~ 100 $\mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$ 을 권장하고 있다. 네델란드 Philips사에서 권고하는 경우 무광을 100%로 기준시 장미 50g/branch에 대해 150 $\mu\text{mol}$ 일 경우 생산량 증가가85%, 200 $\mu\text{mol}$ 일 경우 98% 증가를 보인 것으로 분석하였다.



Fig. 42. 광량별 성장특성비교

- 고양 장미 농가의 경우 인공광원을 사용한 경우 동절기 재배기간이 55일에서 45일로 약 10일이 단축 되었으며, 재배 수량은 약 2.5배가 증가 하였으나(표 9 참조), 무게가 감소 하여 실질적 생산 증가량은 1.5배의 증가가 되었다. 기대효과로 생산량 증가와 고품질화 및 계획적 시장공급 및 지속적 수출 증대가 예상되며, 인공광원에서 방사되는 열을 활용함으로써 난방유류 사용 절약에 따른 오염물질 배출감소에 의한 친환경 산업화가 가능하다고 보고했다.
- 인공광원을 활용한 부가적 기대효과로 엽온이 증가하여 불필요한 습기 제거에 따른 항균효과의 발생으로 농약 사용의 최소화 및 병충해 예방이 된다고 보고한다.

Table 9. 인공광원에 의한 재배와 무광 재배에 따른 생산성 비교

자료출처 : 고양시 U-화훼 생산환경 관리시스템 시범사업 결과 보고회 발표자료

구분		인공광원		무광		증가분
		수확횟수	수확량	수확횟수	수확량	
동절기	180일	4.0	28000.0	3.3	9240.0	
장마기	30일	0.7	4900.0	0.5	3500.0	
하절기	155일	3.4	24080.0	3.4	24080.0	
년간생산횟수		8.1		7.2		12%
년간생산수량			56980.0		36820.0	60%
수입금액	동절기		70,000,000		27,720,000	150%
	장마기		14,700,000		10,500,000	40%
	하절기		72,240,000		72,240,000	
	년수입		156,940,000		110,460,000	42%

다. 광 환경에서의 환경변화

인공광원을 사용하여 작물의 생산성을 향상시키는 데 기여하였지만 온실 내에서의 복합적인 환경관리가 필요하다. 그림 43은 광 조건에서 온실의 CO<sub>2</sub> 변화를 보여주고 있다.

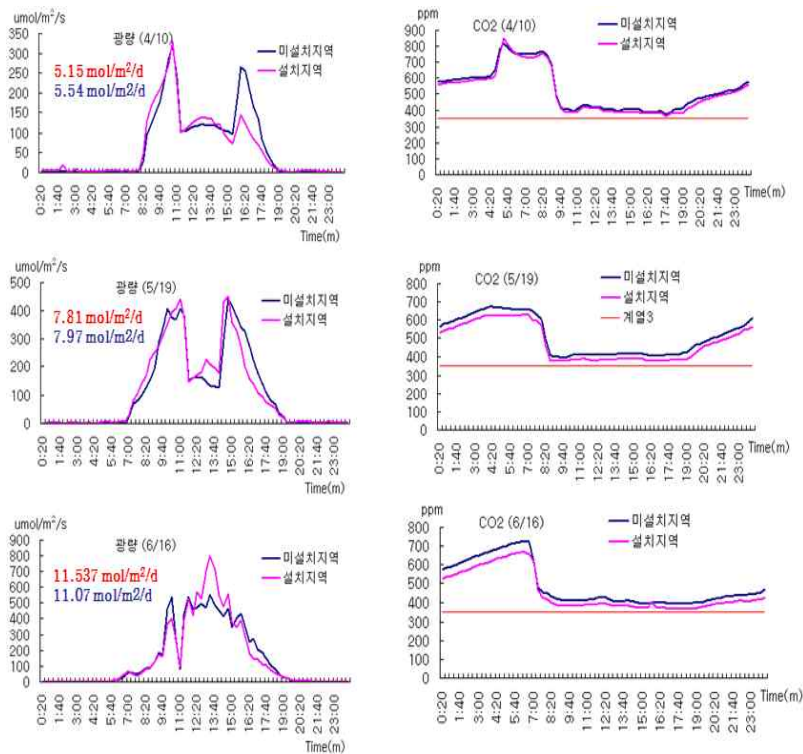


Fig. 43. 광조건에서의 CO<sub>2</sub> 변화



## 라. 시범 운영 결과고찰

- 절화 장미의 생산성과 품질을 향상시키기 위해서는 자연광과 더불어 인공광원의 광량, 광주기를 적절히 맞추며, 공기와 토양온도, 이산화탄소 농도, 양분, 식물밀도 등의 환경을 적합하게 이루어지도록 한다. 면적당 가지 수가 증가할 경우 광량이나 광도의 작은 변화에도 블라인드 슈트 발생률의 급격한 증가가 가능하므로 이에 대한 충분한 관찰이 필요하다. 시범운영에서 광 조건에서의 이산화탄소의 변화를 계측하여 연구 자료로 활용할 수 있게 되었다. 인공광원에 활용 시 이산화탄소를 보완하면 효과가 증가 한다.
- 인공광원의 설치 시 대상 작목에 적절한 광원의 종류, 광원의 세기 광주기 등에 대한 충분한 경제성의 검토가 필요하다. 광원의 세기는 약  $100\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 공급하며, 약광기의 광주기는 16~20 시간 정도로 조절하며 작물의 특성 및 환경 조건에 맞추어 조절한다. 또한 계절과 기후 변화 및 태양광의 조건에 따라 인공광원의 광주기를 조절한다. 과도한 인공광원의 사용은 잎마름병, 벤투네크, 잎과 꽃망울의 색깔 변화와 같은 식물의 장애 발생률을 증가 시키며, 호흡리듬의 불균칙성이 발생한다.
- 절화장미의 경우 광주기를 16~20 시간 정도로 조절하는 것이 권장사항이지만, 한농가에서 암기 없이 명기 24시간을 지속적으로 사용한 결과로, 면적당 가지 수가 약 2.5배 증가하였고 기간도 55일에서 45일로 단축되었지만 꽃잎수가 작아지고 무게가 줄어드는 결과를 보았다. 따라서 시장예측을 통한 적절한 광주기 제어를 통하여 생산량과 품질제어가 요구된다.

## 제3절. 수출토마토 생육에 인공광원이 미치는 영향 규명

### 1. 서언

식물 생장에 주요한 제한요소 중 한가지는 광에 의한 것이라고 알려져 있다 (Ferenions and Albright, 2005; Perez-Balibrea et al., 2008). 광은 식물의 광합성 작용뿐만 아니라 조직이나 기관의 분화, 종자의 발달 등 식물의 형태 형성에 관여하는 중요 요인 중 하나이다. 지금까지의 여러 시험결과에 따르면 시설재배에 있어 인공광에 의한 작물의 수량 및 생육이 증가 하였다는 보고가 있다 (Dorais et al., 1991; Mavoy and Janes, 1984). 인공광원으로는 주로 고압 나트륨등, 메탈할라이드등, 형광등이 사용되고 있으며, 고압나트륨등과 메탈할라이드등은 램프효율은 높으나 각각 청색광 또는 적색광이 부족하여 식물공장의 근접 조명용 단독 광원으로는 부적합하다고 보고 되었다 (김용현, 1998).

따라서, 본 연구는 토마토 재배에 있어 단독광으로서가 아닌 자연광에 더한 보조광으로서의 메탈할라이드등, 고압나트륨등, 형광등의 생육 및 수량에 미치는 영향을 조사하기 위한 것이다.

### 2. 연구 목표 및 방법

#### 가. 연구목표

토마토 육묘, 생산단계의 등기구 종류별 광환경 차이에 따른 생육 및 품질 반응을 연구하고, 파장대별 광환경 변화가 토마토의 묘 소질 및 생육에 미치는 효과를 구명하며, 식물생장용 인공광원이 토마토의 생장에 미치는 보광 효과를 구명하고자 시험을 추진하였다.

#### 나. 연구방법

##### (1) 토마토 육묘단계에서의 인공광원이 생육에 미치는 효과 구명

그림 44-45는 한마음플러그육묘장(화순)에 광원별 토마토 육묘의 생장 특성을 비교하고자 구성한 배치도 이며 HC250W(NH 식물생장용 - HPS 계열), MH250W(메탈할라이드), FL32W×3(형광램프)를 7m 간격으로 설치하여 각 영역별 광 간섭을 최소화하여 설치 후 토마토 육묘에서의 광원별 생장 영향을 시험하였다.

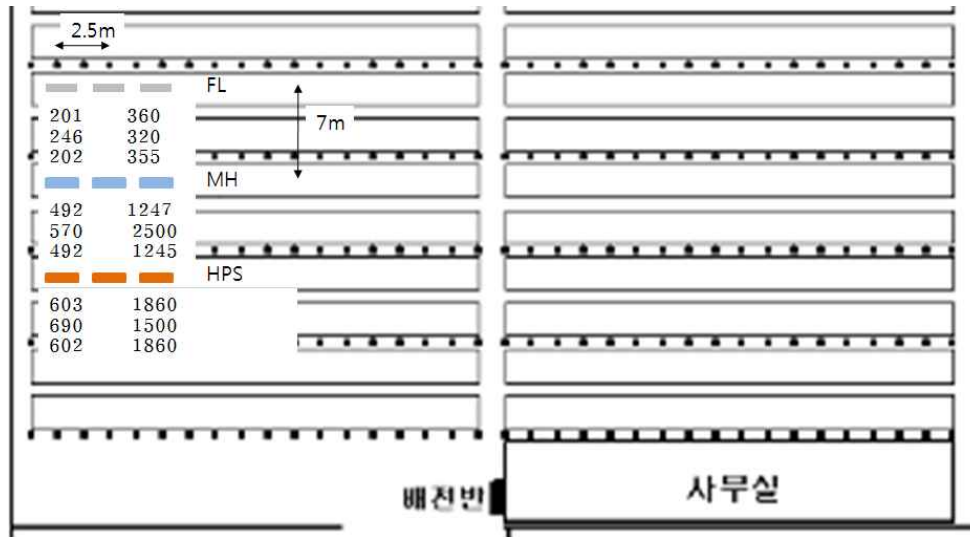


Fig. 44. 토마토 육묘의 인공광원 배치도 및 조도



Fig. 45. 토마토 육묘의 인공광원 설치

## (2) 토마토 생육단계에서의 인공광원이 생육에 미치는 효과 구명

그림 46-47은 한국온실작물연구소에 광원별 토마토 성장 특성을 비교하고자 구성된 배치도이며 HC250W(NA식물성장용 - HPS 계열), MH250W(메탈할라이드), FL32W×3(형광램프)를 2m 간격에 3개의 블록으로 나누어 설치하여 각 영역별 광간섭을 최소화하여 설치 후 토마토 생육단계에서의 광원별 성장 영향을 시험하였다.



- 인공광원 : MH250W, HC250W-T(식물생장용), 형광램프(Fluorescent-32W×3)를 각 처리구별로 12월 21일부터 오전 3시간, 오후 4시간 처리(6~8시, 17~20시)
- 생육조사 : 정식후 30일째부터 7일 간격으로 5회 조사하였으며 반복수는 처리구당 3개체였다. 조사항목은 단위 기간당 초장, 엽수, 엽면적, 경경, 최대엽의 엽장·폭, 생체중, 건물중 등을 조사
- 수확 및 품질조사 : 경제성 평가를 위하여 수경 후 69일째부터 수확과 조사 실시(매주1회 8주 실시), 총중량, 상품과수, 비상상품과수
- 당도 및 산도조사 : 각 과실의 과즙을 채취하여 굴절당도계(KATO)를 이용하여 Brix(%)를 측정, pH meter P-25(istek)를 이용하여 산도를 측정하였다.

### 3. 연구 결과 및 고찰

#### 가. 토마토 육묘단계에서의 인공광원이 생육에 미치는 효과 구명

토마토 묘의 생육에 미치는 인공광원의 영향을 알아보기로 하여 채소전용육묘장(화순한마음플러그육묘장, 7,000m<sup>2</sup>)에서 추진하였던 결과 생육상황은 그림 48과 같았으며, 표 10과 같이 모든 처리구에서 현저한 차이는 보이지 않았지만, metal lamp 처리구의 경우 초장, 엽수, 엽면적이 무처리구에 비하여 증가하였고, 생체중은 무처리구의 생육이 우세하였으나 기관별 건물중에는 유의적인 차이가 없었다.

Table 10 인공광원 처리에 따른 토마토 육묘의 생육특성

Light sources	Plant height (cm)	No. of leaves	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Stem diameter (mm)	Fresh weight(g)			Dry weight(g)		
					Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Control	27±0.9	10±0.8	287±24.4	7±0.5	12±4.5	6±0.5	2±0.2	0.7±0.09	0.4±0.06	0.1±0.05
Metal lamp	30±1.6	11±0.0	325±18.4	7±0.3	10±0.7	7±0.8	2±0.1	0.8±0.10	0.3±0.05	0.1±0.00
Na lamp	26±0.8	10±0.5	293±21.5	6±0.3	10±1.2	5±0.4	1±0.3	0.8±0.15	0.3±0.06	0.1±0.00
Fluorescent	27±1.9	10±0.5	282±17.5	6±0.2	10±0.6	5±0.4	2±0.1	0.8±0.06	0.3±0.05	0.1±0.00

\*Data were investigated on Nov. 25, 2008



{A; control plot, B; metal lamp, C; Na lamp, D; fluorescent lamp (Data were investigated on Nov. 25, 2008)}

Fig. 48. 인공광원 처리에 따른 토마토 육묘의 생육특성

#### 나. 토마토 생육단계에서의 인공광원이 생육에 미치는 효과 구명

광원이 다른 환경에서 생육시킨 토마토의 정식후 57일째 생육반응을 조사한 결과 표 11과 같이 3개의 모든 인공광원 처리구에서 무처리구에 비하여 초장이 현저하게 증가하였으며, 엽수 또한 더 많은 경향을 나타내었다. 특히, 엽면적 및 경경, 최장 엽장·엽폭은 Na-lamp 처리구에서 7,762cm<sup>2</sup>, 16mm, 50cm, 45cm로 가장 많이 증가한 것으로 나타났으며, 인공광원 처리에 따라 기관별 생체중 및 건물중이 증가한 결과를 보였으며, Na-lamp . metal lamp . 형광등 순으로 성장량이 크게 증가하였다.

Table 11. 인공광원 처리 57일째된 토마토 생육특성

Light sources	Plant height (cm)	No. of leaves	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Stem diameter (mm)	Leaf width (cm)	Leaf length (cm)	Fresh weight(g)			Dry weight(g)		
							Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Control	111±6.1	17±1.1	6558±516.2	14±1.4	39±1.7	36±0.8	238±20.2	129±15.4	14±2.1	20±2.0	9±1.3	1±0.2
Metal lamp	123±4.0	19±0.9	7762±403.1	13±0.9	48±2.7	45±3.2	283±12.6	154±7.9	14±0.4	25±1.9	12±1.2	2±0.1
Na lamp	129±2.6	18±1.1	7671±491.5	16±1.7	50±7.6	45±2.8	311±29.5	176±12.6	13±1.6	27±2.1	14±0.7	1±0.2
Fluorescent	119±2.6	18±1.1	6375±424.4	12±1.4	46±3.2	41±2.0	264±48.1	146±14.1	11±2.1	22±3.2	11±1.1	1±0.2

\* Data were investigated on Jan. 21, 2009

인공광원 처리에 따른 초장 성장반응을 경시적으로 나타낸 결과는 그림 49와 같이 3주 후 인공광원 처리 개시 1주후부터 생육에 차이를 보이기 시작하였으며, 3주후부터는 현저한 차이를 보였다. 인공광원 처리 기간이 길어짐에 따라 무처리구에 비하여 모든 인공광원 처리구의 생육이 증가하는 경향을 나타내었고, 이중 Na-lamp 처리구에서 초장 성장량이 크게 증가한 것으로 나타났다.

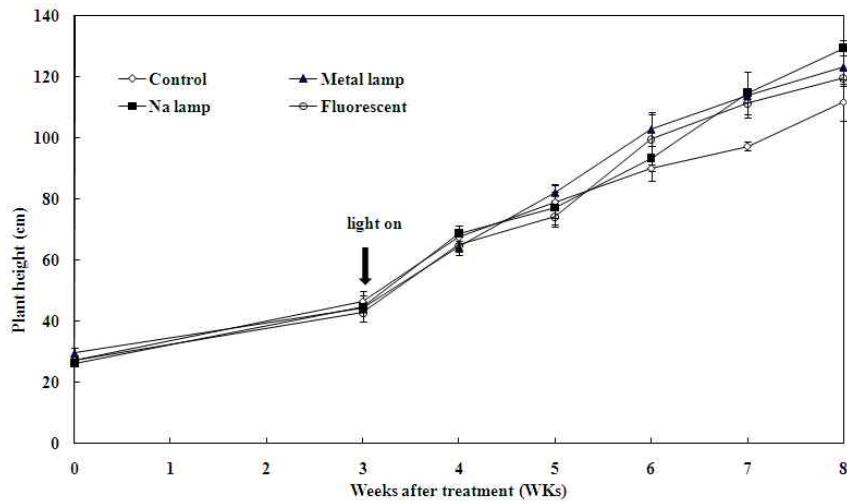


Fig. 49. 인공광원 처리에 따른 토마토의 경시적인 초장 성장반응 비교

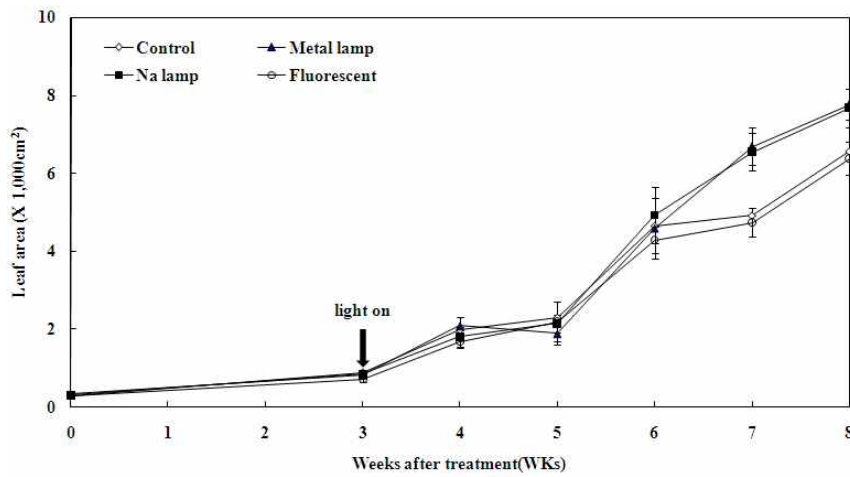


Fig. 50. 인공광원 처리에 따른 토마토의 엽면적 생육특성 비교

인공광원 처리 후 경시적인 엽면적 성장반응의 결과는 그림 50과 같이 처리 후 3주째까지는 4처리구 공히 비슷한 생육양상을 나타내었으나, 4주째부터는 무처리구와 fluorescent 처리구의 엽면적 증가율이 비슷한 생육양상을 나타내었다. 그러나, metal lamp와 Na-lamp 처리

구의 생육상태는 무처리구와 fluorescent 처리구에 비하여 엽면적이 급격히 증가하는 경향을 나타내었다.

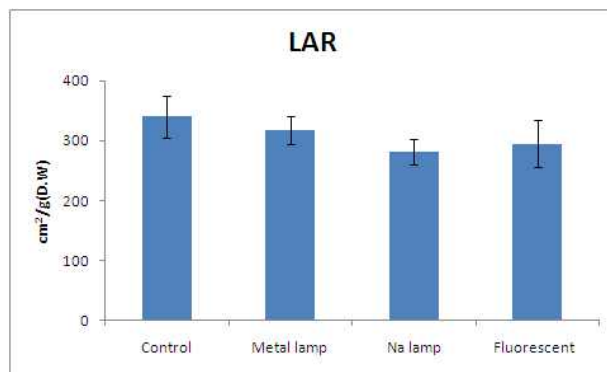
인공광원 처리 후 57일 쯤의 각 기관별 건물분배율(DMPR)을 분석한 결과는 표 12와같이 큰 차이는 보이지 않았지만 무처리구에 비하여 fluorescent 처리구는 엽으로의 건물분배가 다소 많았고, Na lamp 처리구는 엽으로의 건물분배가 많게 나와 광원의 광질에 따른 생육반응이 차이가 있음을 시사 하였다.

Table 12. 인공광원 처리에 따른 토마토의 건물분배율(DMPR) 비교

Light sources	Leaf	Stem	Root
control	64±2	31±1	5±0
Metal lamp	65±2	31±1	4±0
Na lamp	64±2	32±1	3±0
fluorescent	65±3	31±1	4±0

\*Data were investigated on Jan. 21, 2009

엽면적비율(LAR)을 분석한 결과 무처리구가 가장 높게 나타났고, Na lamp는 가장 낮은 값을 나타내었으며, metal lamp와 fluorescent은 비슷한 결과를 보여 광원의 종류에 따라서 엽면적과 엽건물중의 생장비율이 다르게 나타나고 있음을 알 수 있다(그림 51).



\*Data were investigated on Jan. 21, 2009

Fig. 51. 인공광원 처리에 따른 토마토의 엽면적비율(LAR) 비교

인공광원 처리별 생산성 비교를 위하여 주당 총 수확량과 상품과 및 비 상품과를 조사한 결과를 표 13과 같이 나타냈는데 1주당 과실의 수량은 인공광원 처리에 따라 현저하게 높아



졌으며, 이중 Na lamp 처리구에서 1,180.71g/plant로 무처리구에 비하여 1.98배 정도 수량이 증가하였으며, metal lamp 1.67배, fluorescent 처리구는 1.49배로 인공광원 처리에 의하여 1.5-2배의 생산성 증대 효과가 있는 것으로 조사되었다. 또한, 상품과율도 84.9%로 무처리구의 79.6%를 상회하는 결과를 나타내었으며, metal lamp의 상품과율도 무처리구보다는 높은 수치를 나타내어, 인공광원 처리에 따라 생산성 증대는 물론 품질향상 효과도 기대할 수 있었다.

Table 13. 인공광원 처리 토마토의 생산성 비교

Light sources	Fruit weight (g/plant)	Average fruit weight(g)	Marketable fruit ratio(%)	No. of fruits (ea)	
				Marketable	Nonmarketable
Control	595.03 <sup>C</sup>	11.01 <sup>C</sup>	79.6 <sup>b</sup>	4.3 <sup>C</sup>	1.1 <sup>C</sup>
Metal lamp	992.80 <sup>ab</sup>	13.60 <sup>ab</sup>	82.1 <sup>ab</sup>	6.0 <sup>b</sup>	1.3 <sup>b</sup>
Na lamp	1,180.71 <sup>a z)</sup>	12.60 <sup>b</sup>	84.9 <sup>a</sup>	7.9 <sup>a</sup>	1.4 <sup>b</sup>
Fluorescent	886.73 <sup>b</sup>	14.50 <sup>a</sup>	72.1 <sup>C</sup>	4.4 <sup>C</sup>	1.7 <sup>a</sup>

\*Data were investigated from Feb. 28 to Apr. 14, 2009.

z) DMRT at 95% level.

인공광원 처리별 누적과수 및 누적과중을 표시한 결과는 그림 52와 같이 인공광원 처리구에 따라 2주 정도 조기수확이 가능한 것을 확인할 수 있었다. 총과수는 무처리구에 비하여 인공광원 3처리구가 모두 많았으며 이중 Na lamp 처리구에서 가장 많았다. 총과중 또한 총과수와 비슷한 양상을 나타내어 인공광원 처리구가 무처리구에 비해 높은 것을 확인하였으며, 이중 Na lamp 처리구가 가장 높은 것으로 나타났다.

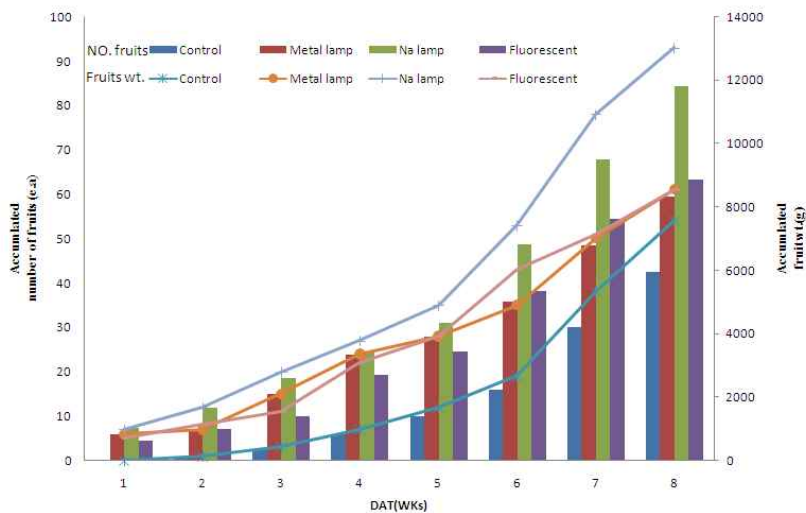


Fig. 52. 인공광원 처리 토마토의 누적과수 및 누적과중 비교

당 함유율은 표 14와 같이 무처리구에 비하여 metal lamp와 Na lamp 처리구가 낮은 양상을 나타내었고, 산도는 무처리구와 인공광원 처리구가 비슷한 양상을 나타내었다. 당/산비는 형광등처리구에서 가장 높았으나, Na-lamp, metal lamp 처리에 의하여 당도가 낮아지므로써 당/산비도 저하하는 결과를 보였으며, 인공광원 처리에 의하여 광합성량 증대가 가능하고, 그 결과 얻어지는 탄수화물이 과실에 집적되어 당도를 높일 수 있다는 기존의 생리학적 이론과는 상이한 결과를 보여 향후 인공조명의 광원과 광질에 따른 광합성, 탄수화물 전류 등에 대한 구체적인 mechanism이 구명되어야 할 필요가 있음을 시사한다.

Table 14. 인공광원 처리에 따른 토마토 과실의 당도(brix,%) 및 산도(pH,25℃) 분석

Light sources	Sugar Degree (Brix %)	Acidity (pH, 25℃)	Brix/pH
Control	6.67±0.44	4.17±0.07	1.59±0.12
Metal lamp	5.17±0.22	4.19±0.14	1.23±0.11
Na lamp	5.00±0.00	4.20±0.05	1.19±0.22
Fluorescent	6.67±0.88	4.14±0.05	1.61±0.21

\* Data were investigated from Feb. 28 to Apr. 14, 2009.

표 15은 인공광원 처리에 따른 토마토 생산성 증대에 따른 경제성 분석 결과를 나타낸 것으로 Na lamp, metal lamp, 형광등 처리구에서 각각 10a당 생산액이 31백만원, 16백만원, 13백만원 정도 증가하므로써 인공광원 설치비 및 감가상각비(5년 기준), 소비전력에 따른 비용 등을 산정하여 순수익 증가분을 계산한 결과, 품질향상에 따른 부가가치 증대효과를 제외하고도 전체적인 수익증대는 10a당 1작기에 9.4-28.2백만원 소득 증가가 기대되었다.

Table 15. 인공광원 처리에 따른 토마토 경제성 비교

Light sources	감가상각비(5년)		소비전력		생산성 증가량			순수익 (천원/1작기 /10a) C-B-A
	설치비 (천원/10a)	감가상각액 (천원/10a)(A)	Kw/10a	천원/10a (B)	g/plant	kg/10a	천원/10a (C)	
Control	0	0	0	0	0	0	0	0
Metal lamp	13,000	2,600	50	840	2,377.8	5,885	12,829	9,389
Na lamp	13,000	2,600	50	840	5,856.8	14,496	31,601	28,161
Fluorescent	13,000	2,600	24	403	2,917.0	7,220	15,740	12,737

(주1) 토마토 단가 : (2005-2008년 평균단가) 2,180원/kg 적용

(주2) MH 또는 NA 사용시 월 전기료 (50KWh × 28원 × 5h × 120일 = 630,000)

(주3) FL 사용시 월 전기료 (24KWh × 28원 × 5h × 120일 = 302,400)

## 제4절. 수출선인장 생육에 인공광원이 미치는 영향 규명

### 1. 서언

고부가가치 원예작물 생산을 위한 식물생장용 인공광원 및 등기구 연구개발 결과물을 활용하여 수출선인장을 대상으로 재배단계별 등기구, 파장대별 광원에 대한 시험연구를 추진한 후 보완하여 실용화 제품을 개발하고자 시험을 실시하였다. 수출이 유망한 선인장과 다육식물의 시설 내 광환경에 따른 생육 및 품질차이 구명을 위해 등기구 종류와 광환경 차이에 따른 생육 및 품질 반응을 조사하고 광원종류별 보광효과를 구명코자 실시되었다.

### 2. 연구목표 및 방법

#### 가. 연구목표

동계 저일조 시기에 광원종류별 보광처리를 실시함으로써 작목별 적합한 광원을 구명하여 수출 유망 선인장과 다육식물의 고품질 생산기술을 개발하고자 시험을 추진하였다.

#### 나. 연구방법

(1) 실험장소 : 경기도농업기술원 선인장연구소 플라스틱온실(고양시)

(2) 실험재료

- 수출용 접목선인장 : 비모란(*Gymnocalycium mihanovichii* var. *friedrichii* “RED”, “YELLOW”, “PINK”, 산취(*Echinopsis silvestrii*)
- 수출유망 다육식물 : 미니염좌(*Crassula ovata* cv. *Minima*), 신화월 금(*Crassula obliqua* f. *variegata*), 벽어연(*Corpuscularia lehmannii*), 십이지권(*Haworthia fasciata*)

#### 다. 실험방법

(1) 시험구배치 : 완전임의배치 3반복

## (2) 처리내용

- Non treatment(Control)
  - MH(Metal halide) lamp : 400W
  - LED(Light emitting diode) : 80W(Red24 + Blue12 ea)
  - HPS(High pressure sodium) lamp : 400W
  - MH+HPS lamp : 300W(150+150W)
  - Improved HPS
- \* 인공광원 처리는 2009년 12월 20일부터 2010년 4월 10일까지 일장이 12시간 유지

## (3) 정식 및 수확

- 정식 : 2009년 12월 10일
- 최종조사 : 2010년 4월 10일(5개월간)

## (4) 주요조사항목

### (가) 생육조사

초장, 엽수, 생체중 등 농사시험연구조사기준(농촌진흥청)

### (나) 품질 및 수량조사

상품율, 결주율, 경도, 색도 등

### (다) 경도

RHEO METER COMPAC-100II -Sun Scientific, Japan

### (라) 색도

SPECTROPHOTOMETER CM-2600 - KONICA MINOLTA, Japan

### (마) 광원

SPECTRORADIOMETER LI-1800 (LI-COR, USA)

(5) 분석 : DMRT(5%) 유의성 검정(SAS ver. 9.2 )



Non tre.(Control)



MH lamp



LED



New(Improved HPS) lamp



HPS lamp



MIX(HPS+ MH) lamp

Fig. 53. Experimental apparatus(treatments of light sources)

### 3. 연구결과 및 고찰

#### 가. 광원종류별 하우스 내부 온도비교

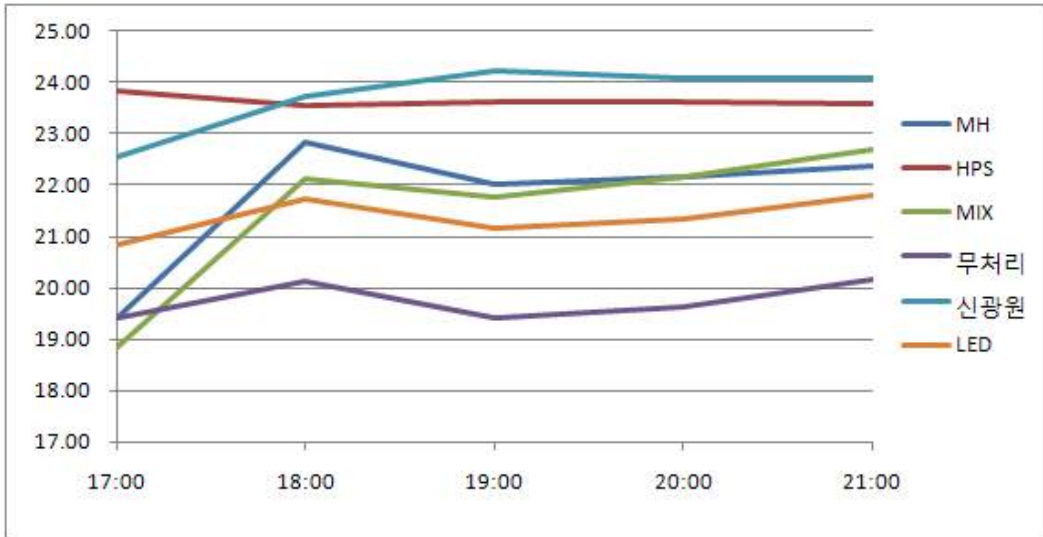


Fig. 54. Changes of inside air temperature during January (supplementary lighting 5 to 9 PM)

겨울철 하우스 내 최저온도를 20°C로 온수난방기를 설정하여 유지 관리하였다. 2010년 1월 한 달간의 보광시간대(17~21시) 평균 온도는 그림 54와 같다. 무처리의 경우 난방 설정온도를 유지하는 경향이었고 고압나트륨(HPS) 램프와 신광원의 경우 무처리에 비해 3°C 정도 이상 높게 유지되었다. 이는 그림 55에서 보는바와 같이 근적외부인 820nm 파장에서 광량이 많은 이유로 생각된다. 나머지 광원도 1~2°C 정도 높게 유지되었다.

#### 나. 광원종류별 광파장

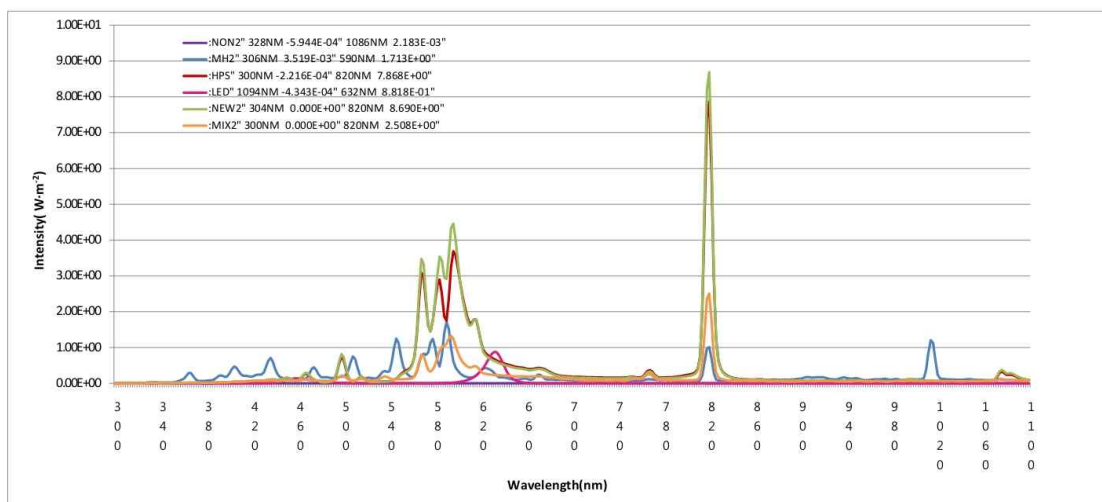


Fig. 55. Wavelength : 300 - 1100nm

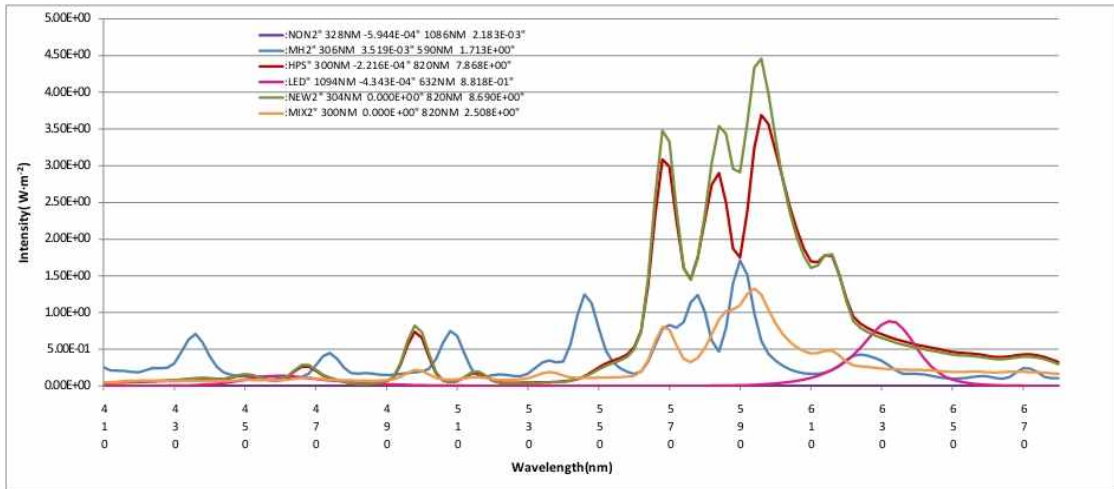


Fig. 56. Wavelength : 400 - 700nm

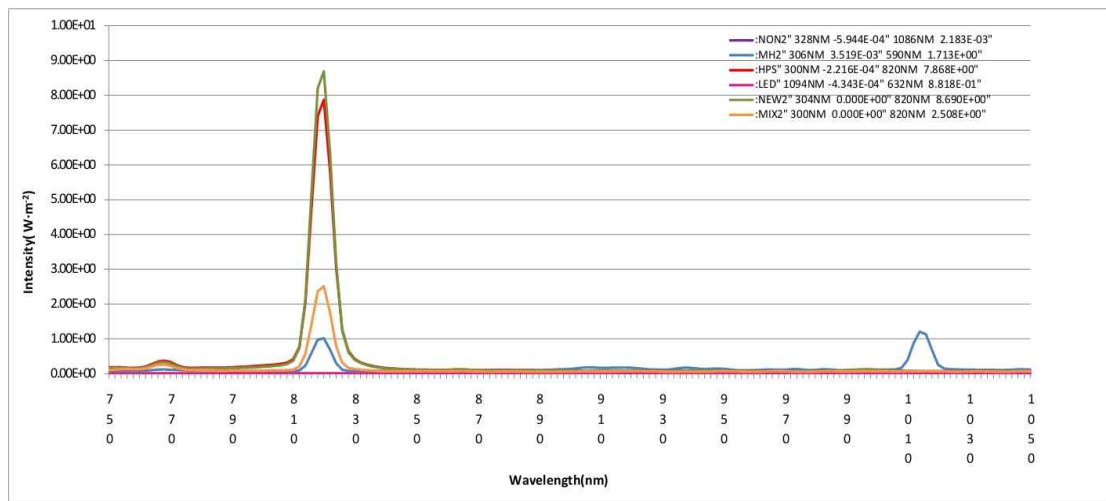


Fig. 57. Wavelength : 750 - 1050nm

#### 다. 광원 처리별 생육특성

광원처리별 비모란 Red의 구경은 MH 램프 처리가 31.2mm로 가장 컸고 LED 및 HPS램프 처리가 27.4~27.5mm로 적었으며 구고는 구경에 비례하는 경향이였다. 자구수는 보광처리가 무처리 0.7개/본에 비해 1.1개/본으로 많아 광원에 관계없이 보광처리가 자구수 증가에 영향을 미친 것으로 판단된다. 생체중 및 건물중도 구경에 비례하는 경향이였고 규격품 생산비율은 MH 램프 처리가 85.6%로 가장 높았고 LED가 낮게 나타났다(표 16).

Table 16. Effect of light sources on growth characteristics of *Gymnocalycium mihanovichii* var. *friedrichii* 'Red'

Treatment	Scion diameter (mm)	Scion height (mm)	Cormlet No. (ea)	Fresh weight(g)		Dry weight (g)	Percentage of missing plant* (%)	Ratio of sales production** (%)
				Total	Globe			
MH	31.2	19.1	1.7	28.4a <sup>y</sup>	8.4	3.6	2.5	90.6
LED	27.4	17.3	1.1	24.9ab	5.4	2.8	2.4	84.4
신광원	28.4	18.0	1.6	27.2ab	6.5	4.5	7.7	85.5
MH+ HPS	28.4	17.8	1.1	27.3ab	6.9	3.7	1.5	89.5
HPS	27.5	17.2	1.9	23.4b	5.2	2.7	4.3	85.5
Control	29.8	18.4	0.7	26.7a	7.3	4.3	8.5	87.3

\* 결주율 : (미발근+ 줄기썩음병)/전체 개체수×100

\*\* 규격품 생산비율 : 정식부터 출하시까지 5개월간 규격품 개체수/전체 개체수×100(구경 30±5mm)

<sup>y</sup>Mean separation within columns by DMRT at  $P = 0.05$

광원 처리별 비모란 Yellow의 구경은 신광원 및 MH 램프처리가 36.9~37.4mm로 굵었고 무처리가 가장 낮게 나타났다. 자구수는 Red와 유사한 경향으로 광도가 높을수록 많아지는 경향이였다. 결주율은 무처리가 가장 높았으며 규격품 생산비율은 신광원 처리구가 95.5%로 가장 높았으며 무처리가 낮게 나타났다(표 17).

Table 17. Effect of light sources on growth characteristics of *Gymnocalycium mihanovichii* var. *friedrichii* 'Yellow'

Treatment	Scion diameter (mm)	Scion height (mm)	Cormlet No. (ea)	Fresh weight(g)		Dry weight (g)	Percentage of missing plant* (%)	Ratio of sales production (%)
				Total	Globe			
MH	36.9	22.0	9.6ab <sup>y</sup>	28.4	11.2	5.1	0.5	93.6
LED	34.8	21.1	7.8ab	27.8	9.7	3.2	0.4	91.4
신광원	37.4	21.9	7.8ab	28.8	9.5	4.7	2.7	95.5
MH+ HPS	34.1	21.6	6.6ab	27.5	9.6	4.5	0.5	90.5
HPS	33.1	20.4	10.2a	25.0	7.8	2.8	3.3	88.5
Control	32.5	21.8	4.3b	28.2	8.1	3.0	4.5	86.3

\* 결주율 : (미발근+ 줄기썩음병)/전체 개체수×100

<sup>y</sup>Mean separation within columns by DMRT at  $P = 0.05$



Table 18. Effect of light sources on growth characteristics of *Gymnocalycium mihanovichii* var. *friedrichii* 'Pink'

Treatment	Scion diameter (mm)	Scion height (mm)	Cormlet No. (ea)	Fresh weight(g)		Dry weight (g)	Percentage of missing plant (%)	Ratio of sales production (%)
				Total	Globe			
MH	35.4	21.3a <sup>y</sup>	6.9ab <sup>y</sup>	27.5ab <sup>y</sup>	10.6	3.1	1.5	95.5
LED	34.5	21.1a	5.5abc	29.1a	10.7	2.9	5.6	92.3
신광원	33.9	20.5ab	8.1a	25.1bc	9.6	4.2	6.6	90.8
MH+ HPS	32.2	20.2ab	3.3cd	25.4bc	8.7	3.5	5.0	93.5
HPS	28.8	19.3b	3.6bcd	22.6c	6.8	3.3	6.9	88.0
Control	32.1	20.7ab	1.0d	26.1b	9.6	2.8	8.4	90.2

\* 결주율 : (미발근+ 줄기썩음병)/전체 개체수×100

<sup>y</sup>Mean separation within columns by DMRT at  $P = 0.05$

비모란 핑크는 고압나트륨 램프처리에서 구경이 가장 적었으며 나머지 처리에서는 32.1mm 이상이었고 구고는 구경에 비례하는 경향이였다. 자구수는 무처리에서 1.0개/주로 가장 적게 나타났다. 건물중은 강한 광도의 광원처리가 구경, 구고, 생체중 등이 적게 나왔지만 무처리나 LED 처리에 비해 높았다(표 18).

3종의 비모란에서 색상별로 구경의 크기 등 생육은 광원별로 다른 양상으로 나타났으나 공히 보광처리를 함으로서 자구수가 증가되었고 건물중이 높아져 동화양분의 축적이 증가한 것으로 사료된다.

Table 19. Effect of light sources on growth characteristics of *Echinopsis silvestrii*

Treatment	Globe diameter (mm)	Globe height (mm)	Cormlet No. (ea)	Fresh weight(g)		Percentage of missing plant (%)	Ratio of sales production (%)
				Total	Globe		
MH	17.9	30.5bc <sup>y</sup>	2.2a <sup>y</sup>	23.9	6.4	3.0	78.8
LED	17.2	35.8ab	1.9ab	23.8	5.9	3.8	85.6
신광원	17.0	28.9bc	1.5b	21.6	3.8	3.0	79.2
MH+ HPS	16.3	26.3c	0.5b	21.9	4.6	3.5	75.1
HPS	17.1	38.4a	1.3ab	21.3	6.5	2.5	81.3
Control	17.2	33.2abc	1.1ab	23.1	5.1	2.6	80.0

\* 결주율 : (미발근+ 줄기썩음병)/전체 개체수×100

<sup>y</sup>Mean separation within columns by DMRT at  $P = 0.05$

산취에서는 구고는 LED가 가장 높았고 자구수는 MH 램프 처리가 가장 많았다. 생체중과 건물중은 구고와 같은 경향이였고 상품율은 처리에 관계없이 85.6% 이하였다(표 19).

Table 20. Effect of light sources on growth characteristics of *Crassula ovata* cv. Minima

Treatment	Plant height (cm)	Leaf No. (ea)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Node No. (ea)	Stalk diameter (cm)	Branch No. (ea)	Fresh weight(g)			Dry weight (g)
								Total	Top	Root	
MH	8.7	17.9ab <sup>y</sup>	4.9	2.4	5.9	8.8a <sup>y</sup>	2.4	32.1	26.9	5.2	8.5
LED	7.8	14.7b	4.5	2.2	4.7	8.0ab	1.9	26.5	20.8	5.7	4.9
신광원	8.5	15.7b	4.6	2.2	5.5	8.4ab	1.9	29.6	24.7	4.9	8.3
MH+HPS	8.7	16.5ab	4.5	2.3	5.7	8.6a	2.1	29.6	24.7	4.9	6.8
HPS	8.4	21.1a	4.6	2.2	6.0	8.8a	2.7	41.7	35.3	6.4	8.5
Control	8.1	16.3ab	4.8	2.3	5.7	7.7b	2.3	29.9	25.0	4.9	5.2

<sup>y</sup>Mean separation within columns by DMRT at  $P = 0.05$

미니엽좌는 LED 처리구에서 초장이 가장 짧았고 엽수는 HPS 램프 처리가 가장 많았다. 엽장과 엽폭은 처리간에 큰 차이가 없었으며 마디수는 LED 처리 구에서 가장 적었다. 생체 중은 HPS 처리구에서 가장 무거웠으며 건물중은 강한 강도의 보광처리구에서 높게 나타났다.

Table 21. Effect of light sources on growth characteristics of *Crassula obliqua f. variegata*

Treatment	Plant height (cm)	Leaf No. (ea)	Leaf length (cm)	Leaf width (mm)	Node No. (ea)	Stalk diameter (cm)	Branch No. (ea)	Fresh weight(g)			Dry weight (g)
								Total	Top	Root	
MH	10.5a <sup>y</sup>	58.5a <sup>y</sup>	4.9	26.7	13.4a <sup>y</sup>	9.5a <sup>y</sup>	3.8a <sup>y</sup>	54.9	50.7	4.2	10.9
LED	8.2b	38.2b	4.7	23.0	10.9c	7.2b	2.1b	32.8	31.2	1.6	6.7
신광원	9.0ab	51.9ab	4.7	25.9	11.3bc	8.8ab	2.5b	49.6	46.8	2.8	9.2
MH+HPS	9.8ab	51.7ab	4.6	23.6	12.5ab	8.5ab	2.5b	40.5	37.2	3.3	7.0
HPS	9.8ab	49.8ab	4.3	22.9	12.2ab	8.8ab	2.8b	49.5	46.7	2.8	9.7
Control	9.0ab	41.1ab	4.6	23.9	10.2c	7.8ab	2.0b	37.9	36.3	1.6	5.7

<sup>y</sup>Mean separation within columns by DMRT at  $P = 0.05$

신화월 금은 초장, 엽수, 엽장, 엽폭에서는 처리간에 유의성이 없었으나 마디수는 MH 광원처리구에서 가장 많았고 분지수도 다른처리에 비해 많았다. 생체중 및 건물중은 신광원, HPS 및 MH 처리구에서 무거웠다.

Table 22. Effect of light sources on growth characteristics of *Corpuscularia lehmannii*

Treatment	Plant height (cm)	Leaf No. (ea)	Leaf length (cm)	Leaf width (mm)	Node No. (ea)	Stalk diameter (cm)	Branch No. (ea)	Fresh weight(g)			Dry weight (g)
								Total	Top	Root	
MH	9.3c <sup>y</sup>	98.8ab <sup>y</sup>	1.9a <sup>y</sup>	8.7c	6.1	3.7	3.0a <sup>y</sup>	28.6	24.3	4.3	9.2
LED	16.2b	84.3c	1.9ab	9.2b	5.9	3.8	2.2b	26.0	23.2	2.8	7.0
신광원	9.7bc	103.7a	1.8ab	9.0bc	6.2	3.4	2.7ab	31.9	27.2	4.7	10.5
MH+HPS	9.9bc	96.1ab	1.8b	9.3b	6.0	3.6	2.9a	27.5	24.4	3.1	8.0
HPS	9.4c	97.5ab	1.9ab	9.1b	6.1	3.7	2.6ab	29.5	25.1	4.4	7.7
Control	11.2a	88.2bc	1.9a	9.6a	6.0	3.6	2.5ab	27.3	24.5	2.8	8.8

<sup>y</sup>Mean separation within columns by DMRT at  $P = 0.05$

벽어연은 무처리구와 LED 처리구에서 초장이 각각 11.2, 16.2cm로 길었으며 나머지 보광처리에서는 9.9cm 이하였다. 엽수도 초장과 비슷한 경향이었는데 이는 광처리를 실시함으로써 도장되지 않아 품질이 향상되는 것으로 판단된다. 엽장과 엽수는 처리간에 차이가 없었다. 분지수는 MH 처리구가 가장 많았으며 생체중과 건물중은 신광원 처리에서 가장 무거웠다.

Table 23. Effect of light sources on growth characteristics of *Haworthia fasciata*

Treatment	Plant height (cm)	Plant width (cm)	Leaf No. (ea)	Leaf length (cm)	Leaf width (mm)	Branch No. (ea)	Fresh weight(g)			Dry weight (g)
							Total	Top	Root	
MH	6.6b <sup>y</sup>	7.0b <sup>y</sup>	53.6	4.6	12.3	1.9	47.6	32.3	15.3	10.4
LED	7.2a	8.0a	50.3	4.7	12.2	1.7	50.7	38.9	11.8	10.5
신광원	7.0a	7.4ab	51.9	4.7	12.3	2.6	47.6	32.5	15.1	10.5
MH+HPS	7.1a	7.4ab	58.1	4.6	12.1	3.2	51.2	35.7	15.5	10.6
HPS	7.2a	7.4ab	54.0	4.5	12.0	3.1	48.9	34.8	14.1	10.0
Control	7.4a	7.9a	48.2	4.7	11.8	1.7	49.8	39.1	10.7	9.1

<sup>y</sup>Mean separation within columns by DMRT at  $P = 0.05$

십이지권의 초장은 MH 램프처리구에서 가장 짧았고 초폭은 광도가 낮은 LED와 무처리에서 약간 넓었다. 엽수는 무처리에 비해 보광처리를 함으로써 증가하는 경향이었고 엽장과 엽폭은 차이가 없었다. 분지수는 적색계통의 광원인 HPS 램프가 포함된 처리구에서 높은 경향을 나타냈으며 생체중 및 건물중은 처리간 차이가 없었다.

라. 광원 처리별 품질 조사

Table 24. Effect of light sources on hardness of *Gymnocalycium mihanovichii* var. *friedrichii* 'Red'

Treatment	Max. stress(g)	strength(g/cm <sup>2</sup> )	hardness(g/cm <sup>2</sup> )
Control	3461	1.76E+ 04	7.07E+ 04
MH	3922	2.00E+ 04	9.14E+ 04
LED	3507	1.79E+ 04	7.98E+ 04
신광원	3921	2.00E+ 04	8.12E+ 04
MH+ HPS	3357	1.71E+ 04	7.45E+ 04
HPS	3813	1.94E+ 04	7.97E+ 04

Table 25. Effect of light sources on hardness of *Gymnocalycium mihanovichii* var. *friedrichii* 'Yellow'

Treatment	Max. stress(g)	strength(g/cm <sup>2</sup> )	hardness(g/cm <sup>2</sup> )
Control	3479	1.78E+ 04	6.87E+ 04
MH	4341	2.21E+ 04	7.55E+ 04
LED	3857	1.97E+ 04	7.18E+ 04
신광원	4356	2.22E+ 04	7.47E+ 04
MH+ HPS	3399	1.73E+ 04	6.27E+ 04
HPS	3981	2.03E+ 04	6.75E+ 04

Table 26. Effect of light sources on hardness of *Gymnocalycium mihanovichii* var. *friedrichii* 'Pink'

Treatment	Max. stress(g)	strength(g/cm <sup>2</sup> )	hardness(g/cm <sup>2</sup> )
Control	3870	1.97E+ 04	6.28E+ 04
MH	4481	2.29E+ 04	7.14E+ 04
LED	3868	1.97E+ 04	6.01E+ 04
신광원	4330	2.21E+ 04	7.04E+ 04
MH+ HPS	3523	1.80E+ 04	6.25E+ 04
HPS	4083	2.08E+ 04	6.01E+ 04

수출 접목선인장의 최대응력, 강도 및 경도는 표 24-26과 같다. 최대응력은 비모란 구색에 관계없이 MH, 신광원 및 HPS 램프처리구에서 공히 높게 나타났으며 강도 또한 최대응력과 비슷한 경향으로 나타났다. 단위면적당 경도는 비모란 적색에서 MH 램프처리가 가장

높았다. 황색에서는 적색계통의 광질인 HPS, 혼합 및 신평원 처리에서 약간 높게 나타났다. 핑크에서는 백색계열인 MH 램프가 가장 높게 나타났다.

수출유망 다육식물의 최대응력, 강도 및 경도는 표 27과 같다. 미니엽좌의 최대응력은 무 처리에 비해 보광처리가 높아지는 경향이었고 강도 및 경도도 비례하는 경향이였다. 신평원 금, 벽어연도 미니엽좌와 비슷한 경향이였으나 십이지권은 광원처리 유무에 관계없이 비슷하였다.

Table 27. Effect of light sources on hardness of succulent plants

Treatment	Max. stress(g)	strength(g/cm <sup>2</sup> )	hardness(g/cm <sup>2</sup> )
<i>Crassula ovata</i> cv. Minima			
Control	2748	1.40E+ 04	3.04E+ 04
MH	2803	1.43E+ 04	3.00E+ 04
LED	3069	1.56E+ 04	3.26E+ 04
신평원	2984	1.52E+ 04	3.23E+ 04
MH+ HPS	2806	1.43E+ 04	3.10E+ 04
HPS	3053	1.55E+ 04	3.15E+ 04
<i>Crassula obliqua</i> f. variegata			
Control	1972	2.51E+ 05	2.82E+ 05
MH	2255	2.87E+ 05	2.95E+ 05
LED	2000	2.55E+ 05	2.78E+ 05
신평원	2251	2.87E+ 05	2.85E+ 05
MH+ HPS	2075	2.64E+ 05	2.77E+ 05
HPS	2172	2.77E+ 05	2.83E+ 05
<i>Corpuscularia lehmannii</i>			
Control	459	5.85E+ 04	8.90E+ 04
MH	557	7.09E+ 04	8.97E+ 04
LED	503	6.41E+ 04	8.60E+ 04
신평원	572	7.28E+ 04	9.26E+ 04
MH+ HPS	459	5.85E+ 04	7.94E+ 04
HPS	586	7.46E+ 04	9.50E+ 04
<i>Haworthia fasciata</i>			
Control	4452	2.27E+ 04	5.09E+ 04
MH	4553	2.32E+ 04	5.14E+ 04
LED	4314	2.20E+ 04	4.94E+ 04
신평원	4446	2.26E+ 04	4.85E+ 04
MH+ HPS	4411	2.25E+ 04	4.46E+ 04
HPS	4571	2.33E+ 04	5.11E+ 04

수출용 접목선인장의 광원처리별 구색의 특성은 표 28과 같다. 비모란 적색의 명도(L값)는 무처리에 비해 MH, 신광원, HPS 램프처리가 밝았으며 적색광, 신광원 및 HPS 램프가 적색 방향인 a값이 높게 나타났으며 황색방향인 b값은 HPS 램프에서 높게 나타났다. 비모란 황색의 명도 L값은 LED를 제외한 나머지 광원에서 높았으며 황색선인장으로 황색방향인 b값이 높은 MH, 신광원, HPS 램프가 선명한 색상으로 나타났다.

비모란 분홍의 명도는 Red 및 Yellow와 비슷한 경향이었으며 적색방향인 a값이 높은 처리구는 LED, 신광원 및 혼합처리로 나타났다. 이상의 결과에서 선명한 구색의 선인장을 생산하기 위해서는 비모란의 색상별로 공히 식물성장 전용등(신광원)이 우수한 것으로 판단되었다.

Table 28. Comparison of light sources on scion colours of exportable grafted cactus

Treatment	CMC(l:c)(D65)	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dL*(D65)	da*(D65)	db*(D65)	dE*ab(D65)
<i>Gymnocalycium mihanovichii</i> var. <i>friedrichii</i> 'Red'								
Control	-----	30.67	33.94	11.34	-----	-----	-----	-----
MH	3.70	33.25	32.29	13.36	2.58	-1.65	2.02	3.67
LED	1.16	31.52	33.75	10.61	0.85	-0.19	-0.73	1.14
신광원	2.61	32.28	36.77	13.42	1.60	2.83	2.08	3.86
MH+ HPS	0.65	30.44	34.10	10.59	-0.23	0.16	-0.75	0.80
HPS	5.33	34.17	36.22	15.96	3.50	2.28	4.63	6.23
<i>Gymnocalycium mihanovichii</i> var. <i>friedrichii</i> 'Yellow'								
Control	-----	55.67	7.97	45.29	-----	-----	-----	-----
MH	5.23	60.48	8.33	52.89	4.81	0.37	7.60	9.00
LED	2.56	58.41	7.73	47.37	2.74	-0.24	2.08	3.45
신광원	6.07	61.60	8.90	53.12	5.93	0.93	7.83	9.86
MH+ HPS	4.96	60.71	8.42	50.97	5.04	0.46	5.68	7.61
HPS	5.18	60.47	8.37	52.77	4.80	0.41	7.48	8.90
<i>Gymnocalycium mihanovichii</i> var. <i>friedrichii</i> 'Pink'								
Control	-----	40.68	35.91	-4.14	-----	-----	-----	-----
MH	3.46	43.95	35.77	-2.95	3.27	-0.14	1.20	3.48
LED	1.96	41.68	39.30	-3.31	1.00	3.38	0.83	3.63
신광원	4.10	44.21	39.59	-2.94	3.54	3.68	1.20	5.24
MH+ HPS	1.55	41.39	38.90	-4.33	0.71	2.98	-0.19	3.07
HPS	5.74	46.13	36.26	-2.38	5.46	0.35	1.76	5.74

\* L : lightness

a : red direction, -a : green direction

b : yellow direction, -b : blue direction

dL, da 및 db : 무처리 대비 차이값

수출용 유망 다육식물의 광원처리별 엽색의 특성은 미니염좌의 경우 MH와 HPS 램프 처리구에서 명도인 L값이 높았고 혼합광원에서 적색방향인 a값이 낮았다(표 29).

신화월금, 벽어연 및 십이지권도 미니염좌와 비슷한 경향이었으며 적색방향인 a값은 MH, 신광원, HPS 램프가 높은 것으로 나타났다. 이상의 결과로 보광처리를 함으로서 무늬 종의 경우 선명한 엽색을 유지할 수 있었고 녹색엽의 경우에도 색상이 우수하여 품질향상적인 측면에서 유리할 것으로 생각되었다.

Table 29. Comparison of light sources on leaf colours of succulent plants

Treatment	CMC(l:c)(D65)	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dL*(D65)	da*(D65)	db*(D65)	dE*ab(D65)
<i>Crassula ovata</i> cv. Minima								
Control	-----	53.44	-2.40	26.55	-----	-----	-----	----
MH	9.64	58.81	7.12	23.54	5.36	9.51	-3.01	11.33
LED	8.30	52.46	6.21	20.48	-0.99	8.61	-6.07	10.58
신광원	8.78	56.71	7.25	25.20	3.27	9.64	-1.34	10.27
MH+ HPS	3.59	55.13	1.31	24.81	1.68	3.70	-1.74	4.43
HPS	7.21	58.80	3.90	25.31	5.35	6.30	-1.24	8.36
<i>Crassula obliqua</i> f. variegata								
Control	-----	50.09	-4.78	24.72	-----	-----	-----	----
MH	6.18	49.42	1.99	19.75	-0.67	6.78	-4.97	8.43
LED	1.50	50.22	-4.05	22.07	0.13	0.74	-2.65	2.75
신광원	4.28	50.56	0.02	21.35	0.46	4.80	-3.37	5.89
MH+ HPS	3.09	49.18	-2.24	20.37	-0.91	2.54	-4.35	5.12
HPS	4.26	51.23	-0.19	21.16	1.14	4.59	-3.56	5.92
<i>Corpuscularia lehmannii</i>								
Control	-----	42.40	-6.23	7.30	-----	-----	-----	----
MH	3.49	44.59	-7.28	10.21	2.19	-1.06	2.92	3.79
LED	0.31	42.67	-6.29	7.46	0.27	-0.06	0.17	0.32
신광원	7.24	46.89	-8.29	13.47	4.49	-2.07	6.17	7.90
MH+ HPS	0.68	42.74	-6.55	7.90	0.34	-0.32	0.60	0.76
HPS	6.46	46.37	-8.12	12.81	3.97	-1.90	5.51	7.05
<i>Haworthia fasciata</i>								
Control	-----	43.91	-9.83	26.60	-----	-----	-----	----
MH	2.10	45.91	-9.66	27.86	1.99	0.16	1.27	2.37
LED	3.32	40.96	-9.15	23.59	-2.96	0.68	-3.01	4.27
신광원	2.16	45.91	-8.81	27.31	1.99	1.02	0.72	2.35
MH+ HPS	2.37	41.85	-9.15	24.34	-2.06	0.68	-2.26	3.13
HPS	3.31	47.06	-9.29	28.42	3.15	0.53	1.83	3.68

Table 30. Comparison of cash income between various light sources on succulent plants

Cultivar	Treatment	ratio of sales production (%)	Yield (ea/10a)	Unic price (won)	Gross receipts (won)	Management expenditure (won)	Income (won)	Index
<i>Gassia oata</i> cv. <i>Mina</i>	Control	78.5	35,325	700	24,727,500	11,000,000	13,727,000	100
	MH	94.6	42,570	900	38,313,000	14,270,000	24,043,000	175
	LED	80.4	36,180	800	28,944,000	16,700,000	12,244,000	89
	신광원	90.8	40,860	900	36,774,000	14,270,000	22,504,000	164
	MH+ HPS	85.0	38,250	900	34,425,000	14,270,000	20,155,000	147
	HPS	92.9	41,805	900	37,624,500	14,270,000	23,354,000	170
<i>Gassia obliqua</i> f. <i>variegata</i>	Control	72.4	32,580	700	22,806,000	11,000,000	11,806,000	100
	MH	87.3	39,285	900	35,356,500	14,270,000	21,086,500	179
	LED	70.8	31,860	800	25,488,000	16,700,000	8,788,000	74
	신광원	82.9	37,305	900	33,574,500	14,270,000	19,304,500	164
	MH+ HPS	80.0	36,000	900	32,400,000	14,270,000	18,130,000	154
	HPS	85.0	38,250	900	34,425,000	14,270,000	20,155,000	171
<i>Corpuscularia lehmannii</i>	Control	84.2	37,890	700	26,523,000	11,000,000	15,523,000	100
	MH	94.5	42,526	900	38,273,400	14,270,000	24,003,400	155
	LED	84.0	37,800	800	30,240,000	16,700,000	13,540,000	87
	신광원	95.2	42,840	900	38,556,000	14,270,000	24,286,000	156
	MH+ HPS	88.6	39,870	900	35,883,000	14,270,000	21,613,000	139
	HPS	94.0	42,300	900	38,070,000	14,270,000	23,800,000	153
<i>Haworthia fasciata</i>	Control	79.5	35,775	700	25,042,500	11,000,000	14,042,500	100
	MH	85.1	38,295	900	34,465,500	14,270,000	20,195,500	144
	LED	80.9	36,405	800	29,124,000	16,700,000	12,424,000	88
	신광원	84.2	37,890	900	34,101,000	14,270,000	19,831,000	141
	MH+ HPS	82.2	36,990	900	33,291,000	14,270,000	19,021,000	135
	HPS	84.2	37,890	900	34,101,000	14,270,000	19,831,000	141

주1) 다육식물 10a당 수량(직경 10cm pot) : 45,000분

주2) 단가는 선인장직판장 2009년 평균가격 적용

주3) MH, HPS 전기사용료 : 50KWh×28원×4hr×120일=670,000원

주4) 경영비중 보광시설 설치에 따른 감가상각비(5년) : MH, HPS 2,600천원/10a, LED 5,500천원/10a

수출용 접목선인장은 품질기준이 정립되어 있지 않고 단가결정이 주로 해외 바이어에 의해 좌우되기 때문에 구경, 경도 등의 품질이 향상되어도 현재로서는 단가를 높일 수 있는 방안이 없는 실정이다. 추후 품질고급화 및 적정 과원과 광도를 구명함으로써 단가를 높일 수 있다고 생각된다.

수출유망 다육식물은 보광처리를 함으로서 상품화율을 향상시킬 수 있었고 품질향상에 따른 가격 상승시키는 요인으로 작용될 수 있었다.





Fig. 58. Comparison of growth and quality on treatment of light sources

## 제 4 장    목표달성도 및 관련분야에의 기여도

연구기간	연구 목표	평가의 착안점 및 기준	연구목표 달성도	관련분야 기술발전 기여도
2008.6.25~ 2009.6.24	온실용 인공광원 등기구 설계 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 온실용 등기구 제작</li> <li>○ 시제품 제작 및 시험</li> </ul>	100%	100%
	식물의 파장대에 적합한 인공광원 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 램프 개발</li> <li>○ 파장대 시험</li> </ul>	100%	100%
	식물성장용 인공광원 및 등기구 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 요소부품 설계 개발을 통한 식물성장용 램프 제품화</li> <li>○ 토마토 육묘온실 및 재배농가의 현장시험</li> <li>○ 토마토 파장대별 광환경에 따른 생육 효과 구명 시험</li> </ul>	100%	100% (U-화훼성장환경 관리시스템 구축사업 적용)
2009.6.25~ 2010.6.24	식물의 파장대에 적합한 인공광원 설계 보완	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 인공광원 방진관 설계, 시제품 제작 및 PAR 특성 분석</li> <li>○ 식물성장용 램프와 온실용 등기구 배광특성, 광분포 및 광도가 식물생육에 미치는 영향 구명</li> </ul>	100%	100% (U-화훼성장환경 관리시스템 확산사업 적용)
	식물성장용 인공광원 및 등기구 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수출선인장 광환경에 따른 생육 및 품질구명</li> <li>○ 수출선인장 시설내 등기구 종류별 광환경에 따른 생육 및 품질구명 시험</li> </ul>	100%	100%

# 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

## 1. 실용화·산업화 계획(기술실시등)

구분	핵심기술명
램프	① 식물생장용 램프 220V 250W
램프	② 식물생장용 램프 220V 400W
램프	③ 식물생장용 램프 220V 600W
등기구	④ 시설온실용 등기구(안정기 일체형) - 2.5M형
등기구	⑤ 시설온실용 등기구(안정기 일체형) - 2.0M형
등기구	⑥ 시설온실용 등기구(안정기 분리형) - 2.5M형
등기구	⑦ 시설온실용 등기구(안정기 분리형) - 2.0M형

## 2. 교육·지도·홍보 등 기술화산 계획

- 2008년 경기도 U-화훼 성장환경 관리 시스템 구축 시범사업 식물생장용 인공광원 분야 참여(6개 농가, 1260대)



- KBS1 7시 뉴스네트워크 방송분(20090414) : 첨단·친환경 기술로 승부



- 2009년 경기도 U-화훼 성장환경 관리 시스템 확산사업 식물생장용 인공광원인공광원 공급 (1650대)



- 2009 화훼 품질향상기술 시범사업 참여(경기도농업기술원, 용인시농업기술센터) : 보광재배시설 0.26ha 시설설치, 보광에 의한 분화류 개화촉진 및 품질향상



3. 특허, 품종, 논문 등 지적재산권 확보계획 등

1) <특허.

2) <논문(전문 학회지). : 1건

- 인공광 처리가 토마토 생육 및 수량에 미치는 영향(계제예정, 한국생물환경조절학회지)

4. 추가연구, 타연구에 활용 계획 등

5. 기타

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 온실 작물을 위한 보광등
2. 식물에 좋은 광원으로 보조 광원으로써 식물재배에 적합한 형광등이 있지만 아직까지 LED 등의 광원의 연구가 더 필요함을 밝힘(Laurie, Kiplinger, 1979, 2001)
3. 광량제어를 위하여 고휘도 LED의 문제점 보완하여 광출력 특성을 응용한 조명분야와 환경 등에 부분적 연구 진행(Lawrence G. C. 2002)
4. 북미 기후조건에서 온실장미 생산(M. J. Tsujita, 1998)
5. 온실작물 생산의 인공조명(Hostel Tuorla, Piikkiö, Finland, 2003)
6. 환경제어 - 온도, 습도, 광제어(Colorado 주립대학)

## 제 7 장      참고문헌

- 고재영, 김규원. 2004. 수출용 스프레이 국화의 최적 광조건 구명 및 상품성 향상을 위한 보광 기술 개발. 농촌진흥청 연구보고서
- 김용범. 2005. 동계 시설내 보광이 수경재배 착색단고추(*Capsicum annuum* L.)의 생육에 미치는 영향. 전남대학교 대학원 박사논문
- 김용현. 1998. 근접조명용 인공광원으로 형광등하에서 육묘된 플러그묘의 생장 특성. 한국생물환경조절학회 1998년도 임시총회 및 학술논문발표요지: 47-54
- 박혜경. 2000. 인공광의 광질에 따른 몇몇 실내 지피식물의 적응성에 관한 연구. 상명대학교 대학원 석사논문 Demers, D.A., M. Dorais, C.H. Wien, and A. Gosselin. 1998. Effects of supplemental light duration on greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants and fruit yields. *Scientia Horticulturae* 74:295-306.
- 정재운. 2003. 보광 및 양액농도가 분화장미의 생육 및 개화에 미치는 영향. 한국원예학회(원예과학기술지, Vol.21, No.2s) Dorais, M., A. Gosseli, and M.J. Trudel. 1991. Annual greenhouse tomato production under a sequential intercropping system using supplemental light. *Scientia Horticulturae* 45:225-234.
- 허정욱, 이춘우, 백기엽. 2000. 발광다이오드를 이용한 광질과 일장조적이 '딕시화이트'미니 시클라멘의 개화와 생장에 미치는 영향. 충북대학교 첨단원예기술개발연구센터 연구보고서. 160-165
- Biran, I., and A. M. Kofranek. 1976. Evaluation of Fluorescent Lamps as an Energy Source for Plant Growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101(6):625-628
- Brown, C. S. and Schurger, A. C. 1995. Growth of pepper, lettuce and cucumber under light emitting diodes. *Plant Physiology*(Abstr.), 102:808-813
- Cathey, H. M., Campbell and R. W. Thimijan. 1978. Comparative Development of 11 Plants Grown under Various Fluorescent Lamps and Different Duration of Irradiation With and Without Additional Incandescent Lighting. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103(6):781-791
- Conover, C. A., R. T. Poole and T. A. Nell. 1982. Influence of Intensity and Duration of Cool White Fluorescent Lighting and Fertilizer on Growth and Quality of Plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107(5):817-822

- Ferentions, K.P., and L.D. Albright. 2005. Optimal design of plant lighting system by genetic algorithms. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 18:473-484.
- Mavoy, R.J., and H.W. Janes. 1984. The use of high pressure sodium lights in greenhouse tomato crop production. *Acta Horticulturae* 148:877-888.
- Park, Kuen-woo, Shin, Young-Ju, Lee, Yong-Beom. 1992. Effect of various light sources on the growth. (*J. Bio. Fac. Enw.*) 1(2):135-141
- Perez-Balibrea, S., D.A. Moreno, and C. Garcia-Viguera. 2008. Influence of light on health-promoting phytochemicals of broccoli sprouts. *Journal of The Science of Food and Agriculture* 88:904-910.

## 시험성적서

접수번호 : F-0911020

신청인  성 명 : 이채운

사업자등록번호 : 130-81-83320  
(주민등록번호)

주 소 : 경기도 평택시 청북면 고잔리 47-1

형식 및 규격 : 220 Vac, 60 Hz

상 호 : (주)금오전기

시험기준 : 의뢰자 제시 기준

시 료 명 : 식물성장용등기구[KOFHC150-400T1]  
식물성장용램프[HC 400]

수 량 : 1개

시험방법 : 의뢰자 요구에 의한 시험방법

접수일자 : 2009. 11. 03

시험일자 : 2009. 10. 31 ~ 2009. 11. 04

용 도 : 자체보관용

시험항목 : 배광,분광분포,색온도,조도,진광속,램프전력  총 pages : 10

시험결과

### 별 첨

비고) 시험 중 주위 온도는  $(24 \pm 3) ^\circ\text{C}$ , 습도는  $(45 \pm 20) \% \text{ R.H.}$

본 성적서는 의뢰자가 당 연구소에 제출한 시험품에 국한된 결과이며, 복사 또는 용도 이외의 사용은 무효임.

2009년 11월 04일

한국조명기술연구소장



경기도 부천시 원미구 도당동 187-7 대우테크노파크 A-403

Daewoo Technopark A-403, #187-7 Dodang-dong, Wonmi-gu, Bucheon-City, Gyeonggi-do, Korea

<http://www.kilt.re.kr>

TEL : 032) 670 - 8888

FAX : 032) 670 - 8889



## 시 험 결 과

접수번호	F-0911018	시료번호	n1	품명	식물성장용등기구 [KOFHC150-400T1]	시험규격	의뢰자 제시 규격
------	-----------	------	----	----	------------------------------	------	-----------

시험항목	단위	시험결과	비고
배광	-	별첨 참조	-
분광분포	-	별첨 참조	
색온도	K	2 055	
조도	-	별첨 참조	
전광속	lm	48 550	
램프전력	W	434.9	

○ 본 시험은 의뢰자가 제시한 식물성장용등기구[KOFHC150-400T1]를 시험한 결과임. 끝.

시 험 요 원 : 김 정 수 (의뢰)

기술 책임자 : 이 영 주 (시험)

## Distribution Photometry Report

Report Number: *KOFHC150-400T1*

Date: *03-11-2009*

Catalog Number: *KOFHC150-400T1*

Description: *KUMO  
KOFHC150-400T1  
NH400W  
Test Distance: 12.189m  
LOR: 104%  
Mains Test Parameters: Voltage: 220.0 V, Current: 2.114 A, Power: 457.6 W*

Filename: *KOFHC150-400T1.ies*

Total Uncertainties of Measurement:  
(As estimated at the 95% confidence interval)

Luminous Intensity	+/- 4%
Angle	+/- 0.1
Voltage	+/- 0.05%
Current	+/- 0.05%

PhotometricCentre v4.14 Copyright (C) Photometric Solutions International 2004-2009

# KiLT

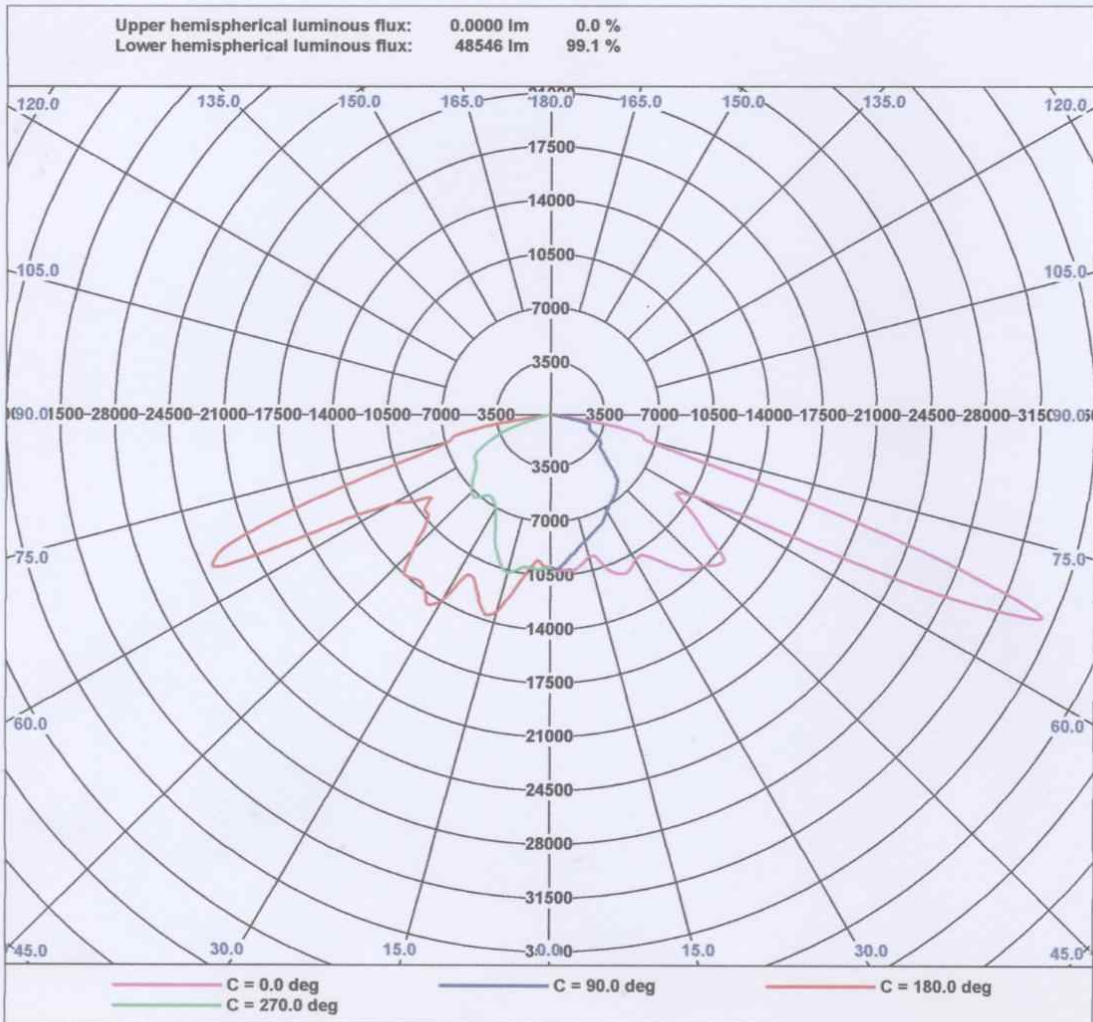
Korea Institute of Lighting Technology  
Daewoo Technopark A-4/3, #187-7, Douang-dong, Wonmi-gu  
Bucheon-City, Gyeonggi-do, Korea, 420-130  
Tel: +82 32 670 8888  
Tel: +82 32 670 8889  
www.kilt.re.kr

Luminaire: **KUMO**  
 Type: **KOFHC150-400T1**  
 Lamp: **NH400W**  
 No. of lamps: **1**  
 Lamp flux (lm): **49000**  
 Output ratio (%): **99.1**  
 Comment:

Re**KOFHC150-400T1**  
 Name: **KUMO**  
 Date: **03-11-2009**

File name: **KOFHC150-400T1**  
 Power (W): **457.60**  
 Tilt angle ( deg): **0**  
 Length (m): **0.400**  
 Width (m): **0.300**  
 Height (m): **0.100**

## Polar Luminous Intensity Distribution



All luminous intensity values (shown radially from centre) are in cd.  
 Elevation angle values are shown around the outside of the graph.

PhotometricCentre v4.14 Copyright (C) Photometric Solutions International 2004-2009

# KiLT

Korea Institute of Lighting Technology  
 Daewoo Technopark A-4C3, 187-7, Doung-dong, Wonmi-gu  
 Bucheon-City, Gyeonggi-do, Korea, 420-130  
 Tel: +82 32 670 8888  
 Tel: +82 32 670 8889  
 www.kilt.re.kr

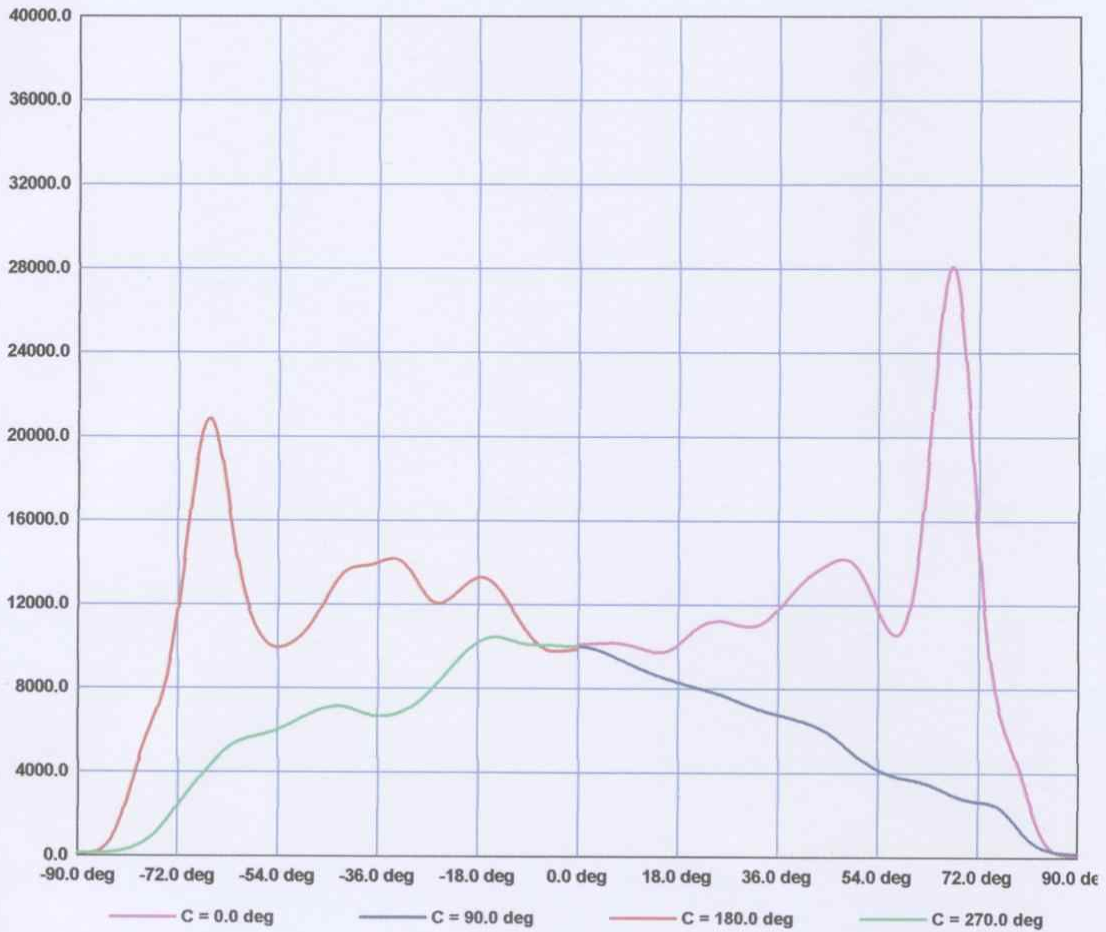
Luminaire: **KUMO**  
 Type: **KOFHC150-400T1**  
 Lamp: **NH400W**  
 No. of lamps: **1**  
 Lamp flux (lm): **49000**  
 Output ratio (%): **99.1**  
 Comment:

Ref: **KOFHC150-400T1**  
 Name: **KUMO**  
 Date: **03-11-2009**

File name: **KOFHC150-400T1**  
 Power (W): **457.60**  
 Tilt angle ( deg): **0**  
 Length (m): **0.400**  
 Width (m): **0.300**  
 Height (m): **0.100**

## Cartesian Luminous Intensity Distribution

Upper hemispherical luminous flux: **0.0000 lm 0.0 %**  
 Lower hemispherical luminous flux: **48546 lm 99.1 %**



PhotometricCentre v4.14 Copyright (C) Photometric Solutions International 2004-2009

# KiLT

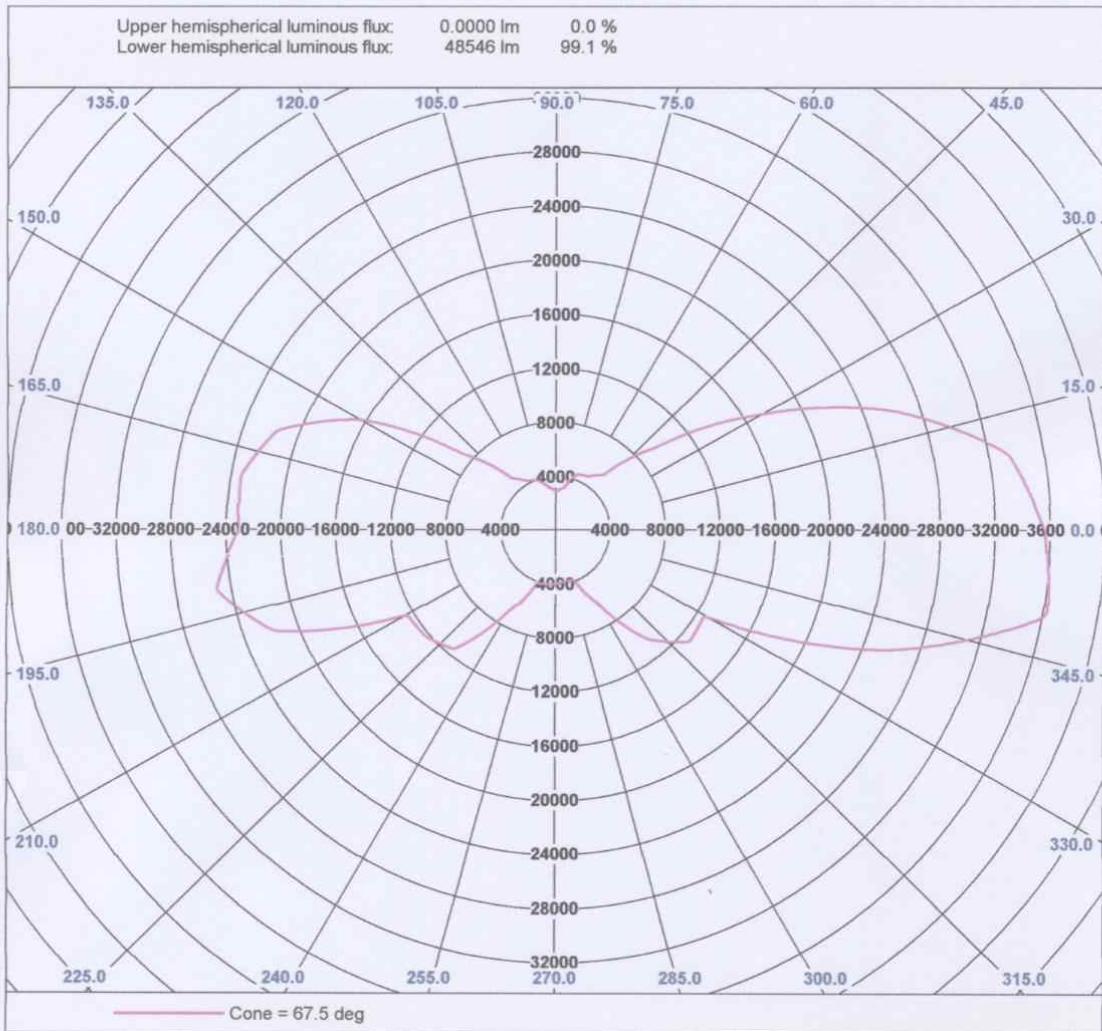
Korea Institute of Lighting Technology  
 Daewoo Technopark A-4C3, #187-7, Dolang-dong, Wonmi-gu  
 Bucheon-City, Gyeonggi-do, Korea, 420-130  
 Tel: +82 32 670 8888  
 Tel: +82 32 670 8889  
 www.kilt.re.kr

Luminaire: **KUMO**  
 Type: **KOFHC150-400T1**  
 Lamp: **NH400W**  
 No. of lamps: **1**  
 Lamp flux (lm): **49000**  
 Output ratio (%): **99.1**  
 Comment:

ReKOFHC150-400T1  
 Name: **KUMO**  
 Date: **03-11-2009**

File name: **KOFHC150-400T1**  
 Power (W): **457.60**  
 Tilt angle (deg): **0**  
 Length (m): **0.400**  
 Width (m): **0.300**  
 Height (m): **0.100**

## Cone Intensity Distribution



All luminous intensity values (shown radially from centre) are in cd.  
 C-Plane angle values are shown around the outside of the graph.

PhotometricCentre v4.14 Copyright (C) Photometric Solutions International 2004-2009

# KiLT

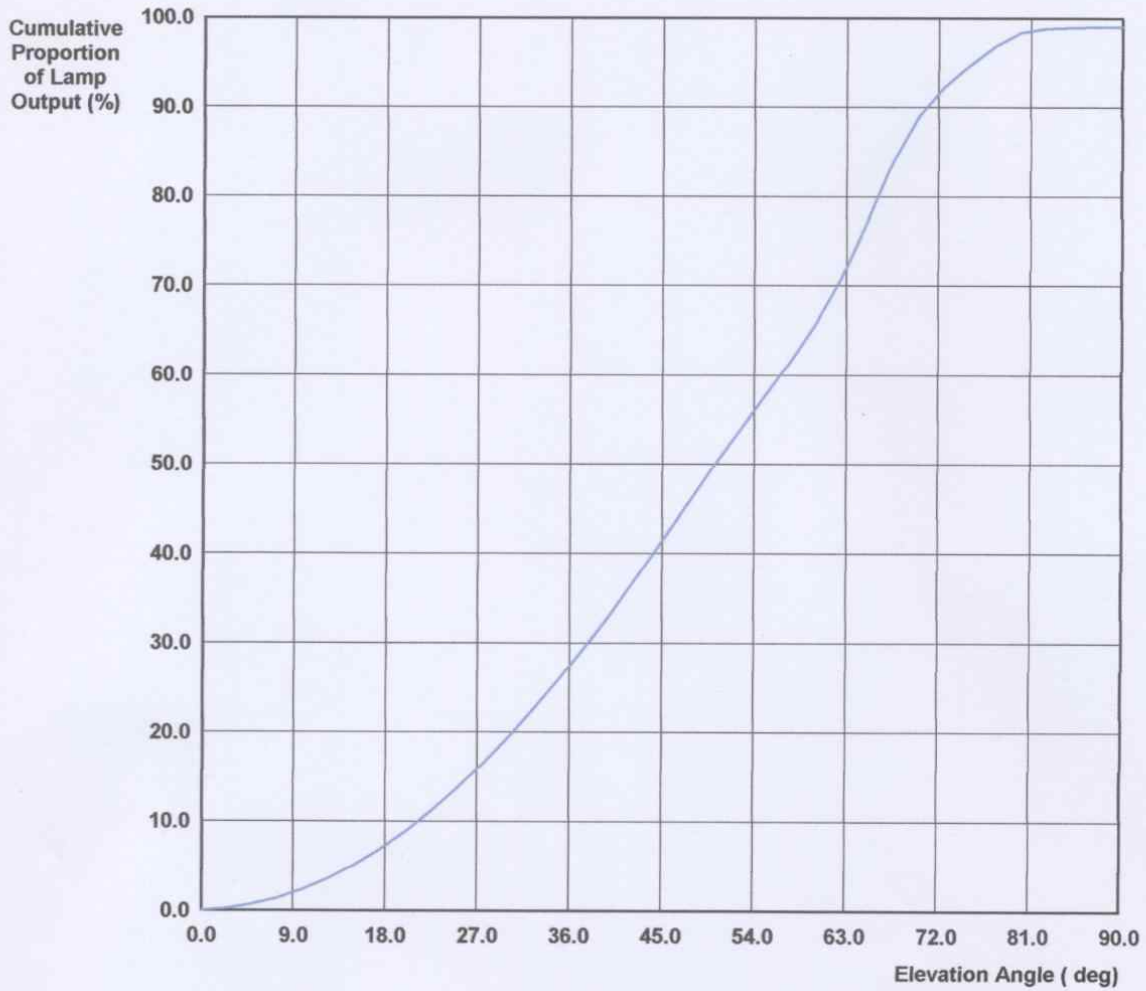
Korea Institute of Lighting Technology  
 Daewoo Technopark A-4C3, 187-7, Douang-dong, Wonmi-gu  
 Bucheon-City, Gyeonggi-do, Korea, 420-130  
 Tel: +82 32 670 8888  
 Tel: +82 32 670 8889  
 www.kilt.re.kr

Luminaire: *KUMO*  
Type: *KOFHC150-400T1*  
Lamp: *NH400W*  
No. of lamps: *1*  
Lamp flux (lm): *49000*  
Output ratio (%): *99.1*  
Comment:

Re*KOFHC150-400T1*  
Name: *KUMO*  
Date: *03-11-2009*

File name: *KOFHC150-400T1*  
Power (W): *457.60*  
Tilt angle ( deg): *0*  
Length (m): *0.400*  
Width (m): *0.300*  
Height (m): *0.100*

## Zonal Flux Diagram



PhotometricCentre v4.14 Copyright (C) Photometric Solutions International 2004-2009

# KiLT

Korea Institute of Lighting Technology  
Daewoo Technopark A-403, #187-7, Doqang-dong, Wonmi-gu  
Bucheon-City, Gyeonggi-do, Korea, 420-130  
Tel: +82 32 670 8888  
Tel: +82 32 670 8889  
www.kilt.re.kr

Luminaire: **KUMO**  
 Type: **KOFHC150-400T1**  
 Lamp: **NH400W**  
 No. of lamps: **1**  
 Lamp flux (lm): **49000**  
 Output ratio (%): **99.1**  
 Comment:

Ref: **KOFHC150-400T1**  
 Name: **KUMO**  
 Date: **03-11-2009**

File name: **KOFHC150-400T1**  
 Power (W): **457.60**  
 Tilt angle ( deg): **0**  
 Length (m): **0.400**  
 Width (m): **0.300**  
 Height (m): **0.100**

## Illumination Levels

y (m)	24.1	26.4	28.6	31.0	33.0	37.0	41.4	42.2	40.2	38.5	36.1	37.8	39.9	46.1	47.6	41.6	35.7	32.7	29.7	27.8	25.7
5.0	29.7	33.2	37.5	41.0	44.5	48.0	53.5	56.2	55.0	54.1	52.5	54.1	57.0	62.3	59.7	52.9	47.9	42.9	39.7	36.4	32.9
4.0	49.0	62.5	76.8	86.9	81.8	88.2	96.3	106	112	113	113	112	121	122	108	98.1	89.2	95.6	86.8	72.3	55.3
3.0	66.6	92.3	129	128	123	121	141	161	169	177	164	168	188	181	160	133	136	142	142	108	77.0
2.0	142	242	284	267	227	273	405	514	507	550	538	520	503	470	451	352	254	276	314	284	184
1.0	194	311	324	271	303	392	694	920	949	1050	861	869	892	728	705	549	347	280	396	387	257
0.0	238	340	344	316	380	493	973	1320	1500	1720	1370	1360	1420	1070	951	713	439	312	410	452	333
-1.0	262	370	365	339	396	544	1060	1620	1880	2320	1970	1810	1820	1360	1130	820	460	321	415	493	386
-2.0	279	412	431	371	433	590	989	1650	2160	2800	2410	2120	2090	1410	1160	777	396	348	469	531	416
-3.0	268	386	440	406	415	477	779	1300	1690	1980	1400	1350	1370	1080	950	690	391	437	475	491	388
-4.0	229	325	388	441	446	404	583	950	1220	1230	843	860	967	786	732	577	477	488	386	390	323
-5.0	180	234	289	391	458	387	410	611	739	744	635	617	584	557	521	472	475	404	300	276	260
-5.0	117	141	195	301	401	372	322	356	397	425	386	373	356	360	380	392	399	303	198	173	170
-5.0	79.7	99.5	144	215	287	324	263	241	259	251	247	234	244	249	270	304	274	217	154	127	106
-5.0	60.4	73.1	101	146	193	205	178	165	166	169	172	158	161	166	171	186	177	145	106	83.7	71.5
-5.0	42.2	52.8	72.8	102	120	121	113	97.7	106	113	115	108	102	94.0	103	108	110	100	75.4	54.6	44.4
-5.0	32.5	38.5	51.7	65.9	72.5	71.9	67.8	61.3	68.0	72.2	72.7	69.8	64.5	57.9	61.3	62.6	66.7	64.9	52.7	39.1	32.0
-5.0	25.9	30.0	35.2	42.8	46.8	46.1	42.6	41.7	43.8	46.5	47.5	44.9	41.1	38.2	37.5	39.5	40.6	40.2	35.0	29.3	24.5
	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0										

Horizontal Illuminance  
 All illuminance values in lux  
 Table Average: 389 Table Maximum: 2930 Table Minimum: 24.1  
 Mounting Height = 2.0 m

PhotometricCentre v4.14 Copyright (C) Photometric Solutions International 2004-2009



Korea Institute of Lighting Technology  
 Daewoo Technopark A-4C3, #187-7, DoCang-dong, Wonmi-gu  
 Bucheon-City, Gyeonggi-do, Korea, 420-130  
 Tel: +82 32 670 8888  
 Tel: +82 32 670 8889  
 www.kilt.re.kr

Luminaire: *KUMO*  
 Type: *KOFHC150-400T1*  
 Lamp: *NH400W*  
 No. of lamps: *1*  
 Lamp flux (lm): *49000*  
 Output ratio (%): *99.1*  
 Comment:

Re*KOFHC150-400T1*  
 Name: *KUMO*  
 Date: *03-11-2009*

File name:*KOFHC150-400T1*  
 Power (W): *457.60*  
 Tilt angle ( deg): *0*  
 Length (m): *0.400*  
 Width (m): *0.300*  
 Height (m): *0.100*

## IESNA Coefficients of Utilisation Table

Ceiling Cavity Reflect.:	80%			70%			50%			30%			10%			0%
Wall Reflect.:	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%
Room Cavity Ratio	<b>Coefficients of Utilisation for 20% Effective Floor Cavity Reflectance</b>															
0	1.18	1.18	1.18	1.15	1.15	1.15	1.10	1.10	1.10	1.05	1.05	1.05	1.01	1.01	1.01	0.99
1	1.04	1.00	0.97	1.02	0.98	0.95	0.98	0.95	0.92	0.94	0.91	0.89	0.90	0.88	0.87	0.85
2	0.92	0.85	0.80	0.90	0.84	0.79	0.86	0.82	0.77	0.83	0.79	0.76	0.80	0.77	0.74	0.72
3	0.81	0.73	0.67	0.79	0.72	0.67	0.77	0.71	0.66	0.74	0.69	0.64	0.71	0.67	0.63	0.61
4	0.72	0.64	0.57	0.71	0.63	0.57	0.68	0.61	0.56	0.66	0.60	0.55	0.64	0.59	0.55	0.53
5	0.64	0.56	0.49	0.63	0.55	0.49	0.61	0.54	0.49	0.59	0.53	0.48	0.58	0.52	0.48	0.46
6	0.58	0.49	0.43	0.57	0.49	0.43	0.55	0.48	0.43	0.54	0.47	0.42	0.52	0.46	0.42	0.40
7	0.53	0.44	0.38	0.52	0.44	0.38	0.50	0.43	0.38	0.49	0.43	0.38	0.48	0.42	0.37	0.36
8	0.48	0.40	0.34	0.48	0.40	0.34	0.46	0.39	0.34	0.45	0.39	0.34	0.44	0.38	0.34	0.32
9	0.44	0.37	0.31	0.44	0.36	0.31	0.43	0.36	0.31	0.42	0.35	0.31	0.41	0.35	0.31	0.29
10	0.41	0.34	0.28	0.41	0.33	0.28	0.40	0.33	0.28	0.39	0.33	0.28	0.38	0.32	0.28	0.26

PhotometricCentre v4.14 Copyright (C) Photometric Solutions International 2004-2009



Korea Institute of Lighting Technology  
 Daewoo Technopark A-4C3, #187-7, Dochang-dong, Wonmi-gu  
 Bucheon-City, Gyeonggi-do, Korea, 420-130  
 Tel: +82 32 670 8888  
 Tel: +82 32 670 8889  
 www.kilt.re.kr





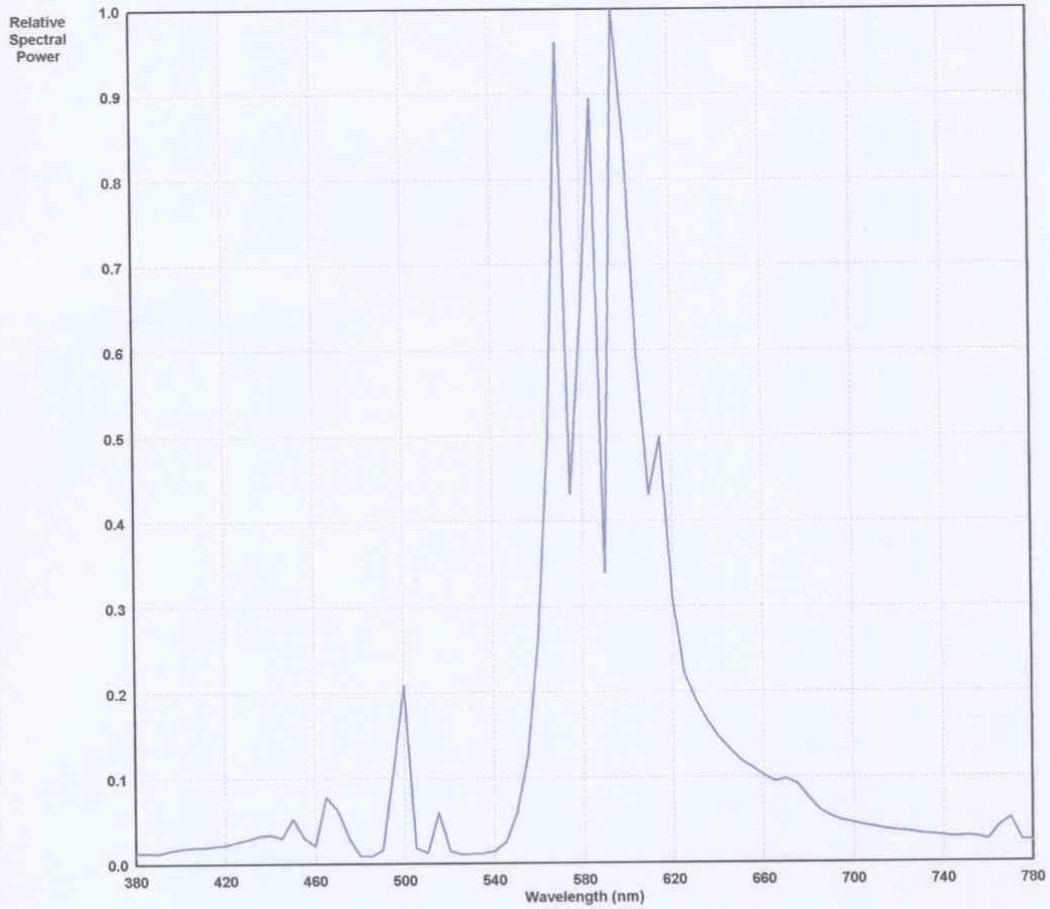
(財)韓國照明技術研究所

Korea Institute of Lighting Technology

Report No.: -  
Test On.: KOFHC150-400T1

Date: 2009-11-03  
Catalogue No.: KOFHC150-400T1  
Manufacturer: KUMO

### Spectral Power Distribution



% Spectral Power >= 600.00 nm: 44.1%

LFReport v2.12 KILT Copyright (C) Photometric Solutions International 2004-6

Checked by \_\_\_\_\_ Page 1 of 1

**Korea Institute of Lighting Technology**  
Daewoo Technopark A-403, #187-7 Dodang-dong  
Wonmi-gu, Bucheon City, Gyeonggido, Korea  
Tel: +82 32 670 8888-9



# 시험 성적서

## KILT 한국조명기술연구소

Korea Institute of Lighting Technology

경기도 부천시 원미구 도당동 187-7  
 대우테크노파크 A-403  
 Tel : 032-670-8888 Fax : 032-670-8889  
 www.kilt.re.kr (email : kilt@kilt.re.kr)

성적서번호 : F-0910071

페이지 ( 1 ) / ( 총 2 )



1. 의뢰인

- 기관명 : (주)금오전기
- 주소 : 경기도 평택시 청북면 고잔리 47-1번지
- 의뢰일자 : 2009. 10. 09

2. 시험성적서의 용도 : 자체보관용

3. 시험대상품목

- 제품명 : 반사판
- 모델명 : KORE001
- 제조자명 : (주)금오전기

4. 시험기간 : 2009. 10. 09 ~ 2009. 10. 13

5. 시험방법 : KS A 0066 : 2003

6. 시험환경 : 온도 : (24 ± 3) °C , 습도 : (45 ± 20) % R.H.

7. 시험결과 : 불임참조

이 성적서 위의 내용은 시험의뢰인에 의해 제공된 시료에 한하며, 용도이외의 사용을 금합니다.

확 인	시험자	기술책임자
	성 명 :    천 석 희	성 명 :    임 종 민

2009. 10. 13

**한국조명기술연구소장(인)**



위 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.

양식-1090-20-01

# 시험 결과

접수 번호	F-0910071	시료 번호	n1	품명	반사판 (KORE001)	시험 규격	KS A 0066
----------	-----------	----------	----	----	------------------	----------	-----------

## 1. 시험결과

시험항목	단위	시험 결과	비고
		n1	
시각반사율 (380~780nm)	%	96.78	

## 2. 측정시료



별첨 2 : 시설은실 광분포 시뮬레이션



은실조명 설계(측정높이:1.0M)  
Kumoh Electric Co.,Ltd.

13/11/2008  
Tel : +031) 683-2255 Fax : +031) 683-2992

<b>General Info</b>	<b>1</b>
<b>1. Project Data</b>	
1.1 General Notes	2
1.2 Uniformity Installation Parameters	2
<b>2. Project Views</b>	
2.1 Working Plane 2D View and Calculation Grid	3
2.2 2D Plane View	4
2.3 Lateral View	5
2.4 Front View	6
<b>3. Luminaire Data</b>	
3.1 Luminaire/Measurements Info	7
3.2 Lamps Info	7
<b>4. Results Table</b>	
4.1 Horizontal Illuminance Values on the Working Plane	8
4.2 Illuminance Values on:Working Plane	9
4.3 Isolux Curves on:Working Plane_1	10
4.4 Illuminance Spot Diagram on:Working Plane_1_1	11
4.5 Illuminance Three-dimensional Values on :Working Plane_1_1_1	12

## 온실조명설계(측정높이:1.0M)

Installation Notes:

Customer:

Project Code:

Date: 13/11/2008

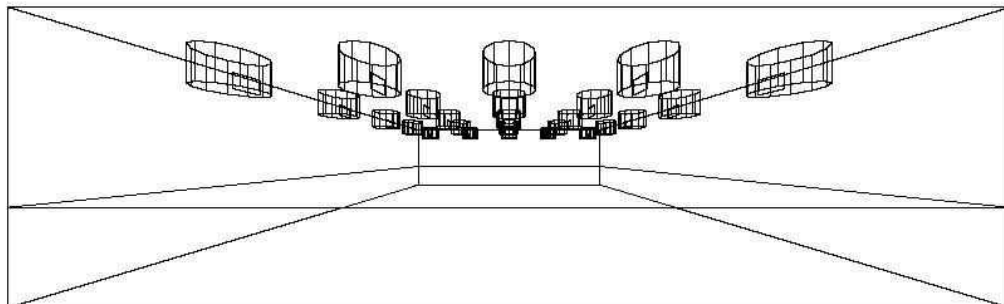
Notes:

\* 온실높이 : 3M

\* 등기구설치높이 : 2.5M

\* 등기구간격 : 2Mx2M

\* LAMP : 400W



DESIGNER NAME:

Kumoh Electric Co., Ltd.

Address:

Tel.-Fax:

Tel: +031) 683-2255 Fax: +031) 683-2992

Remarks:

## 1.1 General Notes

Surface	Dimensions [m]	Angle[?]	Color	Coefficient Reflectance	Average Illum. [lux]	Ave.Luminance [cd/m <sup>2</sup> ]
Ceiling	10.00x10.00	Plane	RGB=255,255,255	80%	0.34	0.09
Wall 4	3.00x10.00	-90	RGB=244,164,96	55%	2580	451.67
Wall 3	3.00x10.00	-180	RGB=244,164,96	55%	2580	451.67
Wall 2	3.00x10.00	90	RGB=244,164,96	55%	2580	451.67
Wall 1	3.00x10.00	0	RGB=244,164,96	55%	2580	451.67
Floor	10.00x10.00	Plane	RGB=126,126,126	40%	4551	579.40

Dimensions of Room Bounding Box [m]: 10.00x10.00x3.00  
 Calculation Points Grid of Bounding Box [m]: direction X 0.83 - Y 0.83 - Z 0.25  
 Working Plane Specific Wattage [W/m<sup>2</sup>]: 100.000  
 Specific Lighting Power of the Working Plane [W/(m<sup>2</sup> \* 100lux)]: 1.806  
 Total Wattage [kW]: 10.000

## 1.2 Uniformity Installation Parameters

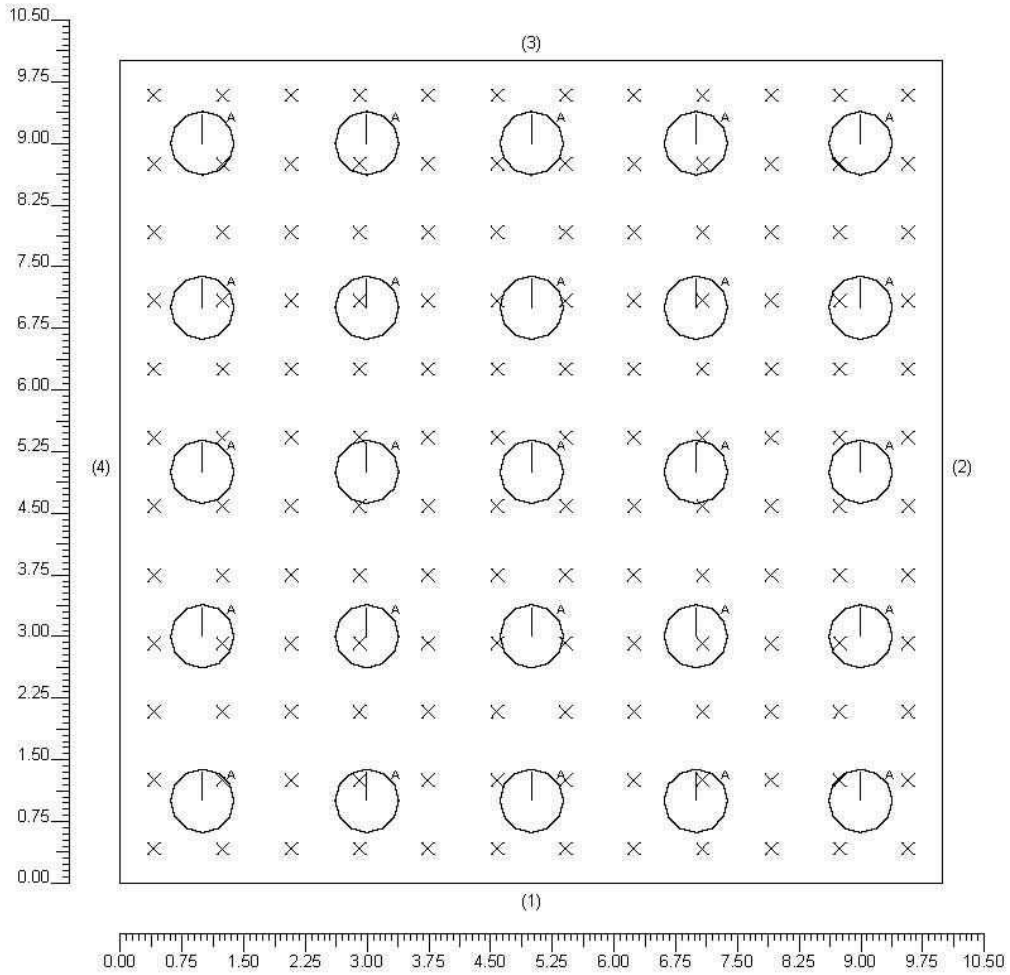
Surface	Results	Average	Minimum	Maximum	Min/Ave	Min/Max	Ave/Max
Working Plane (h=1.00 m) Floor	Horizontal Illuminance (E)	5536 lux	2818 lux	7031 lux	0.51	0.40	0.79
	Horizontal Illuminance (E)	4551 lux	2276 lux	6215 lux	0.50	0.37	0.73

Calculation Type

Only Dir. + Fumit. + Shad.

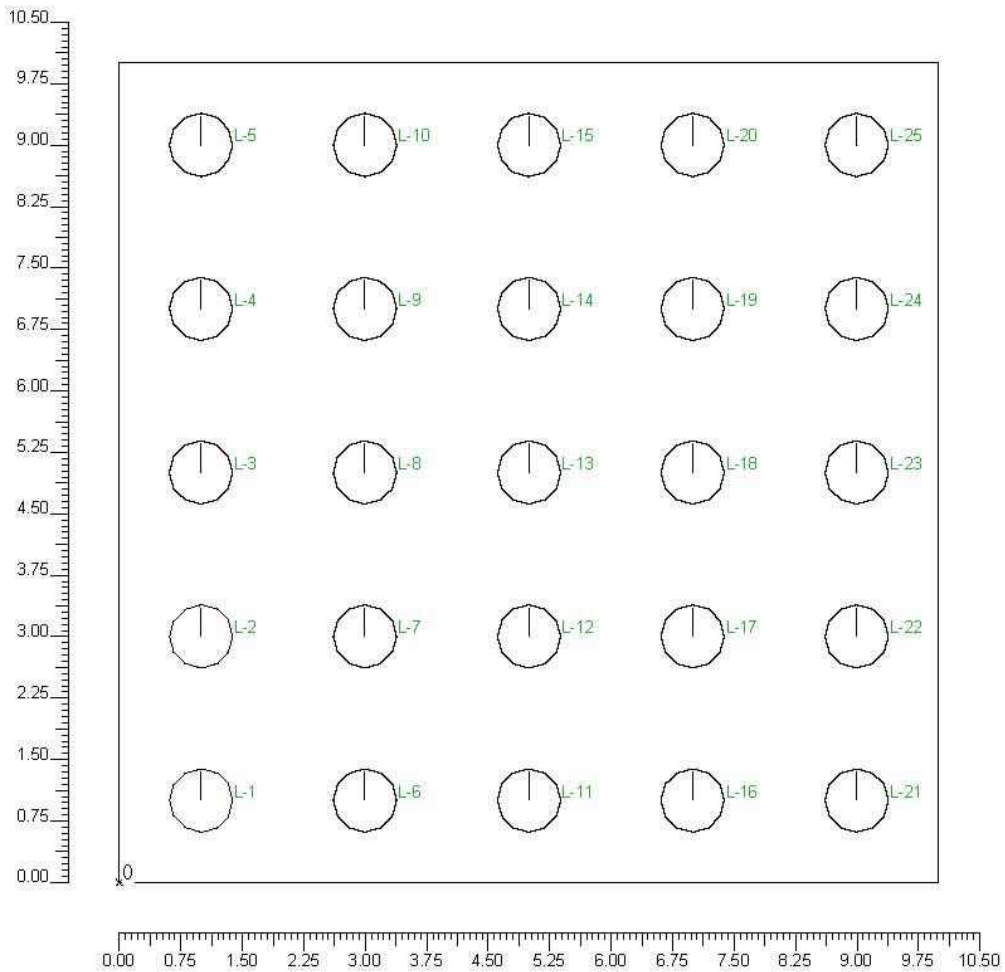
**2.1 Working Plane 2D View and Calculation Grid**

Scale 1/75



**2.2 2D Plane View**

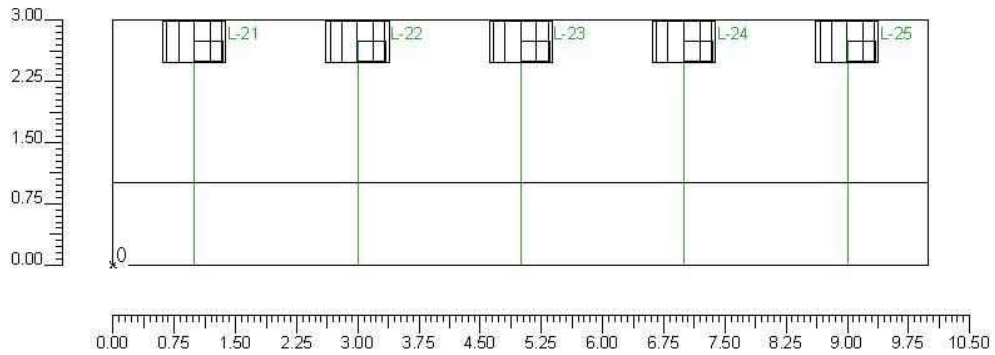
Scale 1/75





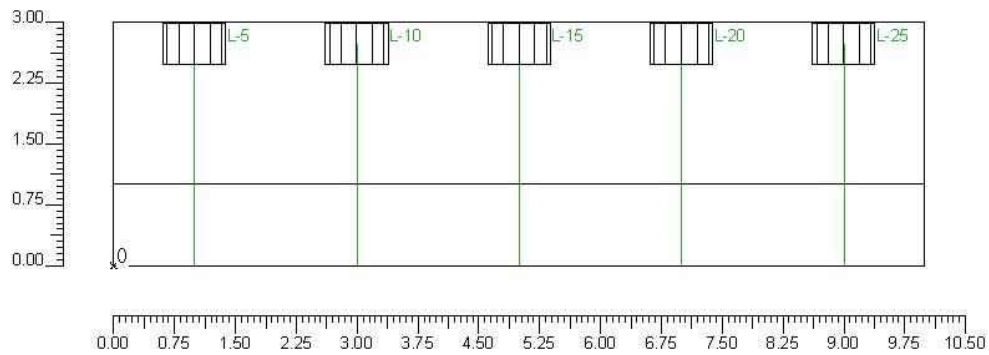
### 2.3 Lateral View

Scale 1/75



## 2.4 Front View

Scale 1/75



### 3.1 Luminaire/Measurements Info

Ref.	Line	Luminaire Name (Measur. Name)	Luminaire Code (Measur. Code)	Luminaires N.	Ref.Lamps	Lamps N.
A	GE CONSERVA 400	CON440S (CON440S)	CON440S (CON440S)	25	LMP-A	1

### 3.2 Lamps Info

Ref.Lamps	Type	Code	Flux (lm)	Wattage (W)	Color (K)	N.
LMP-A	ST LU400T	LU400/T/40	50000	400	2000	25

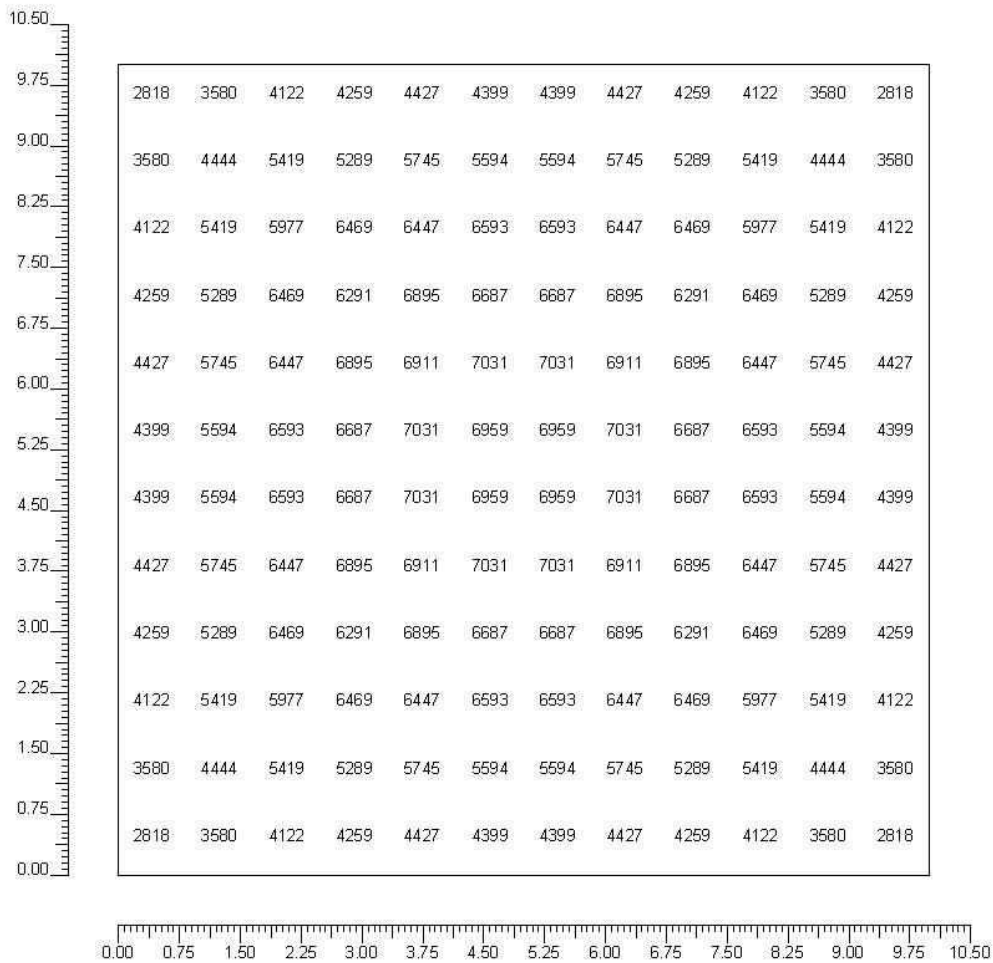
#### 4.1 Horizontal Illuminance Values on the Working Plane

O (x:0.00 y:0.00 z:1.00)	Results	Average	Minimum	Maximum	Min/Ave	Min/Max	Ave/Max
DX:0.83 DY:0.83	Horizontal Illuminance (E)	5536 lux	2818 lux	7031 lux	0.51	0.40	0.79

Calculation Type

Only Dir. + Fumit. + Shad.

Scale 1/75



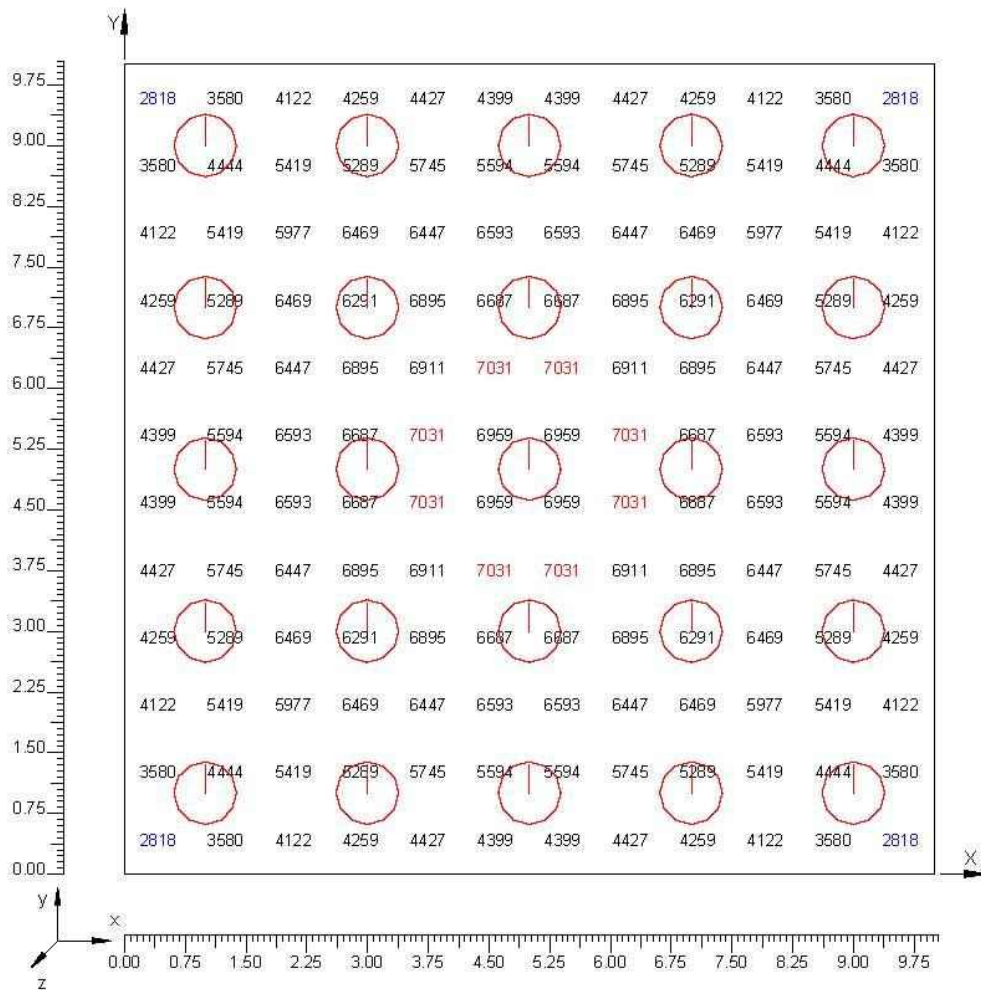
#### 4.2 Illuminance Values on: Working Plane

O (x:0.00 y:0.00 z:1.00)	Results	Average	Minimum	Maximum	Min/Ave	Min/Max	Ave/Max
DX:0.83 DY:0.83	Horizontal Illuminance (E)	5536 lux	2818 lux	7031 lux	0.51	0.40	0.79

Calculation Type

Only Dir. + Fumit. + Shad.

Scale 1/75



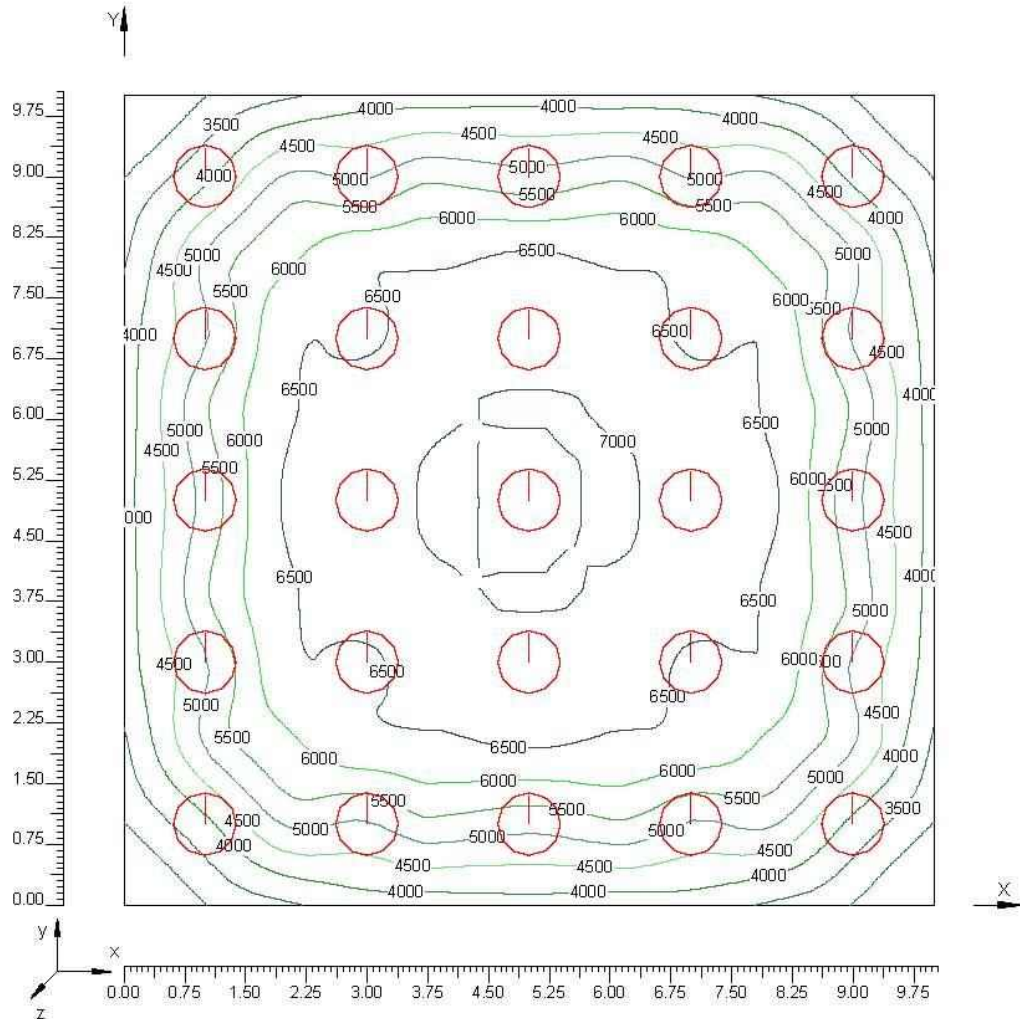
**4.3 Isolux Curves on:Working Plane 1**

O (x:0.00 y:0.00 z:1.00)	Results	Average	Minimum	Maximum	Min/Ave	Min/Max	Ave/Max
DX:0.83 DY:0.83	Horizontal Illuminance (E)	5536 lux	2818 lux	7031 lux	0.51	0.40	0.79

Calculation Type

Only Dir. + Fumit. + Shad.

Scale 1/75



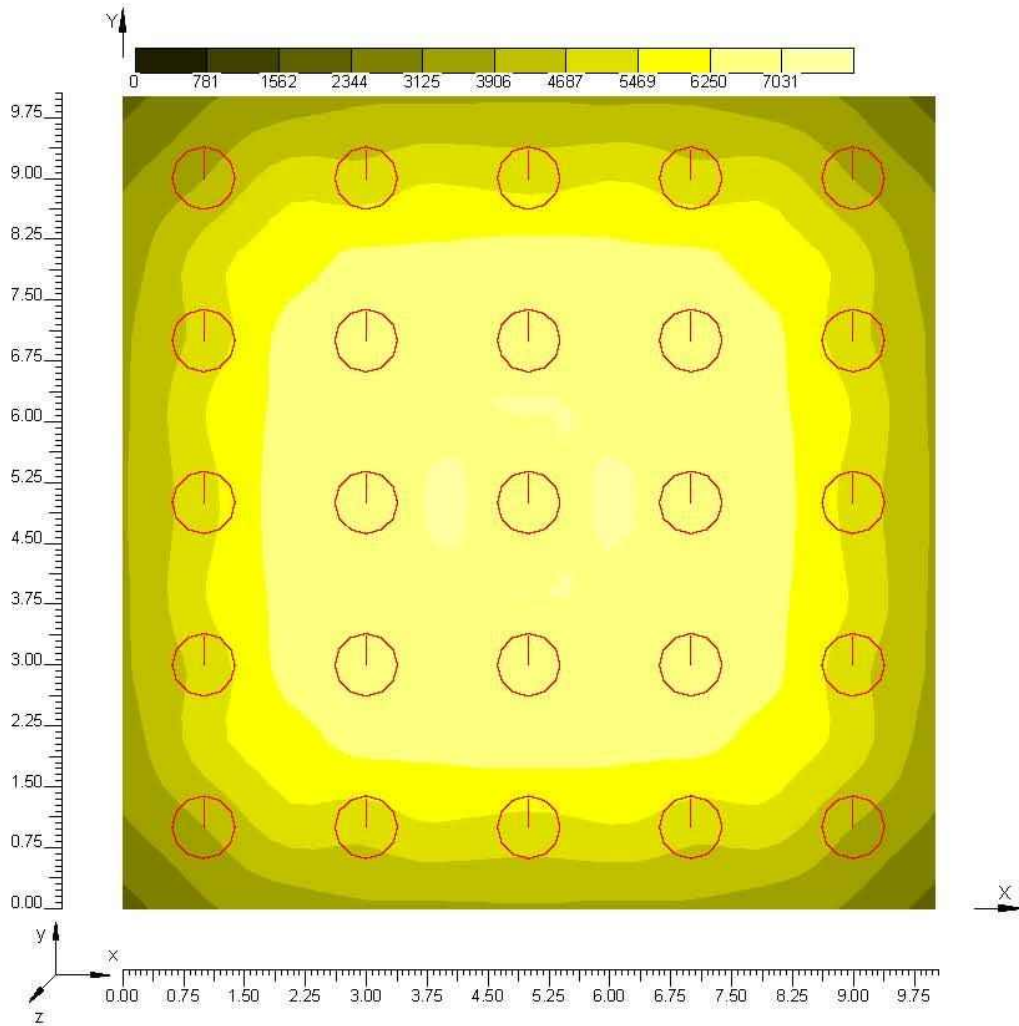
**4.4 Illuminance Spot Diagram on:Working Plane 1 1**

O (x:0.00 y:0.00 z:1.00)	Results	Average	Minimum	Maximum	Min/Ave	Min/Max	Ave/Max
DX:0.83 DY:0.83	Horizontal Illuminance (E)	5536 lux	2818 lux	7031 lux	0.51	0.40	0.79

Calculation Type

Only Dir. + Fumit. + Shad.

Scale 1/75



**4.5 Illuminance Three-dimensional Values on :Working Plane\_1\_1\_1**

O (x:0.00 y:0.00 z:1.00)	Results	Average	Minimum	Maximum	Min/Ave	Min/Max	Ave/Max
DX:0.83 DY:0.83	Horizontal Illuminance (E)	5536 lux	2818 lux	7031 lux	0.51	0.40	0.79

Calculation Type Only Dir. + Fumit. + Shad.

