

## 식물공장 각종광원의 방사조건과 LED조명의 활용에 관한 연구

(A Study on the Various Light Source Radiation Conditions and use of LED Illumination for Plant Factory)

윤철구\* · 최홍규\*\*

(Cheol-Gu Yoon · Hong-Kyoo Choi)

### Abstract

The artificial lights to be introduced for the plant factories is requiring the artificial light resources with minimizing the energy consumption to reduce the greenhouse gases which is a major cause of global warming, and maximizing the efficiency in photosynthesis effect light-wave range, in which the plants can be greatly grown and developed, and having the signal light-wave range for forming the light types. the best growing and developing environment for the plants has recently realized with utilizing the LED(Lighting Emitting Diode) lamps, as a environment-friendly green lamps, which can elevating the light efficiency with using only the specific light wave range, .In this study, to provide the necessary lights for the full artificial light type of the plant factory, the following research/study and experiments has been conducting. experiments of the spectrum for each light sources, and LED, The intensity of illumination, Irradiance, Photosynthesis Photon Flux Density.

Key Words : The Plants Factory, Photosynthesis, LED, Simulation

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

식물은 성장을 위해 자연광인 태양광의 이용이 가장 좋으나 기상이변으로 인한 자연광 부족이나 또는 성장효과를 높이는 등의 특별한 목적으로 인공조명을

사용한다. 최근 기후변화에 관계없이 농산물을 안정적으로 생산하는 식물공장이 도입되고 있다[1]. 식물 생육에 있어서 광환경이 제일 중요하다. 식물이 성장을 위해 사용하는 빛은 특정 파장대역으로 제한되어 있다. 식물재배에서 인공광원을 사용하려면 많은 기술이 필요하다. 특히 완전인공광 제어형의 경우에는 조명시설의 비용절감과 조명효율 향상이 제일 중요한 과제가 된다[2]. 조명시설의 경제성을 위해서 광합성 효율이 좋고 수명이 길며 에너지 소비가 적은 광원을 사용해야하며, 식물의 광조사 효율을 높이기 위하여 배광형태에 따른 조명방법도 고려되어야 한다. 본 연구에서는 식물재배용으로 기존에 사용하고 있는 각종광

\* 주저자 : 홍익대학교 대학원 전기공학과 박사과정 수료

\*\* 교신저자 : 홍익대학교 과학기술대학 전자·전기공학과 교수

Tel : 02-529-3880, Fax : 02-6008-7844

E-mail : mimiycg@hanmail.net

접수일자 : 2011년 8월 29일

1차심사 : 2011년 8월 30일

심사완료 : 2011년 9월 25일

원과 조명기구를 중심으로, 광원에서 발산하는 식물에 유효한 조명물리량 특성과 에너지성능 분석을 1차목표로 하였으며, 특히 국내 LED 제조사인 I사의 식물재배용 RB혼합형 단일 SMD Type 패키지를 이용하여 기존의 재배용 직관형 형광등과 동일형태의 직관형 LED램프를 제작하여 특성비교를 실시하여 장·단점을 분석하는데 2차적인 목적이 있다.

### 1.2 연구의 방법 및 측정항목

본 연구는 기존 식물공장에서 식물재배용 조명으로 가장 널리 사용되고 있는 광원과, 최근 들어 많이 사용되는 재배용 LED 조명을 실험대상으로 하여, 조명물리량을 기준으로 광원별 비교평가를 하고자 다음과 같은 방법으로 연구를 진행하였다.

- 1) 식물공장 각종광원에 대한 분광분석을 하여 색밸런스와 광효율등 조명물리량을 측정하여 비교하였다.
- 2) 식물재배용 직관형(G13 Base) Type의 형광등과 LED램프의 방사조건을 분석하고 식물공장에서 사용하는 방습형의 조명기구에 장착하여 배광특

표 1. 연구방법 및 측정항목  
Table 1. Research Methods and Measures

종류	측정항목
백열등	광속(광효율), 색밸런스 PPF, 색온도,
나트륨 메탈 램프	광속(광효율), 색밸런스 PPF, 색온도,
식물용 형광등	광속(광효율), 색밸런스 PPF, 색온도,
식물용 LED	광속(광효율), 색밸런스 PPF, 색온도,
식물용 LED	광속(광효율), 색밸런스 PPF, 색온도,
조명기구	광속(광효율), 효율, 조도시물레이션





성을 측정 후 시물레이션을 하여 비교 분석하였다.

## 2. 실험 및 분석

### 2.1 실험개요

실험은 먼저 광속구에 의한 분광분석을 한 후, 구형 광속구(직경 2.5[m])의 중앙에 측정용 광원을 설치하고 광원으로부터 약 1.0[m] 전방에 광합성 유효광양자속 밀도 측정용 계측기 (SP-10)를 설치하여 외부광의 침입이 없도록 하였다. 표 2는 논문의 실험측정개요이다.

표 2. 실험측정 개요  
Table 2. Summary of experiment measurement

실험기간	2011년 7월 5일 ~ 2011년 8월 6일			
실험장소	M 사 부설 조명연구소			
실험기기				
	적분구 E사 (RMS80)	피토메타 E사 (SP-10)	배광시험기 L사(GOV)	열화상측정기 F사(Ti32)

본연구의 실험에 사용된 광원은 식물공장에서 식물생장용 조명으로 가장 많이 사용되고 있는 백열등, 고압나트륨램프, 메탈할라이드램프, 직관형 식물재배용램프, 그리고 이번 연구에서 처음으로 시도되는 직관형 G13베이스의 LED램프 등을 먼저 분광분석 및 피토메타를 이용한 광합성 광양자속밀도 등 조명 물리량에 대한 측정을 행하였다.

실험에 사용된 직관형 LED램프에 사용된 LED 패키지 소자는 국내 LED 제조업체 I사에서 실험용으로 제작한 제품을 제공받아 직관형 LED 램프(컨버터 외장형)의 KC (K20001 안전인증)인증기준에 따라서 외관, 베이스, 무게, 휨강도등을 동일하게 제작하였다.

표 3, 표 4는 실험에 사용된 각광원의 규격을 나타낸 것이다.

표 3. 실험광원의 규격  
Table 3. The specification of light sources

구분	종류	규격([W])	전원공급장치
재배용	백열등	60	-
	고압나트륨	150	자기식안정기
	메탈할라이드	175	자기식안정기
	식물용형광등	40	전자식안정기
	LED	25	컨버터DC35[V]
기구	방진, 방습형(IP 65), PC몸체, 투명PC커버		

표 4. 직관 LED 램프 규격  
Table 4. Tublar LED lamp specification

규격(w)	KC인증기준	실험제품
적용규격	K 20001	-
용도	일반조명용	식물생육용
베이스	G13	G13
길이(mm)	1,200	1,200
관경(Φ)	26	26
무게(g)	400이하	350
입력전압(v)	DC 32~49	DC35
입력전력(w)	-	25
온도상승(℃)	45K이하	41.7
구동장치	외장형 컨버터	외장형 컨버터
LED패키지	-	SMD Type
LED 구현색	백색	Red (430.670[nm])
Size(mm)	-	(5.4*5*0.9)
패키지 수량	-	132[ea]
CHIP	-	1 Chip
IF(mA)	-	60
VF(V)	-	3.0~3.2
View Angle	-	120 deg
확산커버	-	80[%] 투과율
컨버터	KC인증	KC인증품
가격(LAMP)	-	약 6~8만원

그림 1, 표 5는 실험에 사용된 직관형 LED램프의 구조 및 열 특성을 나타낸 것이다.

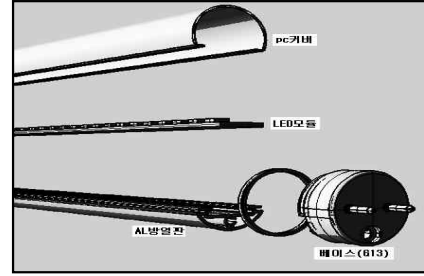


그림 1. 직관 LED 램프 구조  
Fig. 1. Tublar LED lamp Structure

표 5. LED 램프의 열 특성  
Table 5. The thermal characteristics of the LED lamp

종류	열화상	최고온도[℃] (주위온도 25[℃])	
재배용 직관형광등		최대=50.3 평균=37.8 최소=29.2	유리
재배용LED 램프		최대=29.8 평균=28.6 최소=28.0	PC
		최대=49.6 평균=42.3 최소=32.5	LED
		최대=36.7 평균=33.3 최소=31.7	AL

## 2.2 실험결과

### 2.2.1 광색 밸런스와 광효율

현재 대부분의 광원은 인간에 필요한 시감도를 고려하여 개발되어 있으므로 눈의 감도로 보정된 단위를 많이 사용하고 있다. 식물의 기본적인 광특성은 광질(light quality), 광량(light quantity), 광주기(timing : photoperiod)를 가지고 있다. 본연구에서는 광질은 주로 광색밸런스, 광량은 광의세기 즉 광합성 광양자밀도의 세기로 나타냈다. 광주기는 식물마다 고유로 가지고 있는 광조사시간을 의미한다. 식물에서 광합성의 최대감도와 인간의 눈의 감도와 관련이 적다. 인간의 눈에 최대감도가 되는 555[nm]의 녹색 빛은 엽록소가 흡수하는 파장보다 작은 영역에 들어간다. 반대

로 광합성에 있어서 녹색 빛 보다 더 중요한 450[nm]의 청색 빛의 비시감도는 0.038로 같은 에너지라 해도 녹색 빛의 4[%]정도만 눈으로 느낄 수 있다. 인간의 눈에 시감도가 있듯이 식물에도 동일한 폭넓은 광합성 작용 곡선이 있다. 이 작용 곡선의 광색 밸런스는 청색광 24[%], 녹색광 32[%], 적색광 44[%]로, 적색 빛의 작용이 높고 청색 빛의 작용이 낮은 것을 나타내 보이고 있다[3]. 실험광원에 대한 청색, 녹색, 적색광의 광색밸런스 그래프를 측정하고 분석해보면 식물공장 재배용 광원으로 필요한 적색(670[nm] 부근)의 비율이 백열등 28.5[%], 나트륨 26.9[%], 메탈램프 5.4[%], 재배용 형광램프 33.3[%]. 그리고 재배용 LED 램프는 45.9[%]의 광색을 나타냈다. 그림 2, 표 6은 측정결과를 나타낸 것이다. 직관형 LED램프의 실험결과에서 보면 모듈상태에서 확산커버(PC)가 없는가와 확산커버가 있는가의 차이는 광속 값에서는 투과율 차이가 있으나 광색밸런스의 차이가 0.4[%] 정도이므로 거의 무시할 수 있는 수치를 나타냈다.

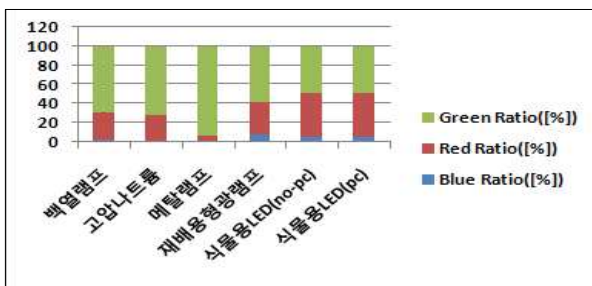


그림 2. 실험 광원의 빛 조성밸런스  
Fig. 2. Lighting balance of various light sources

표 6. 실험 광원의 빛 조성밸런스  
Table 6. Lighting balance of various light sources

Model	Red Ratio(%)	Green Ratio(%)	Blue Ratio(%)
백열램프	28.5	69	2.5
고압나트륨	26.9	72.2	0.9
메탈램프	5.4	92.6	2
재배용형광램프	33.3	58.3	8.5
LED(no-pc)	45.7	48.5	5.8
LED(pc)	45.9	48.4	5.7

광효율에 대한 실험결과분석은 고압 나트륨램프가 80.1[lm/w], 메탈램프 54.6[lm/w], 재배용LED 28.4[lm/w], 재배용 형광램프 16.0[lm/w], 그리고 백열등이 10.8[lm/w]를 나타냈다. 인간의 시감효율로 나타낸 광효율은 나트륨램프가 가장 좋다. 표 7은 측정결과를 나타낸 것이다. 색온도 분석에서는 백열등, 나트륨, 재배용 LED램프 등은 2,000~2,600[K] 정도이나 메탈램프, 재배용 형광램프는 4,500~5,200[K]으로 그 차이가 확연하게 차이가 났다. 연색성은 백열램프가 Ra 99로서 자연광에 가까우며 재배용 LED램프 Ra 20, 메탈램프 Ra 39 그러나 나트륨램프와 재배용 형광등은 Ra 15, Ra 7로 연색성이 좋지 않은 것으로 나타났다. 연색성과 색온도는 인간의 시각에서의 조명물리량하므로 식물조명에서는 중요치 않다.

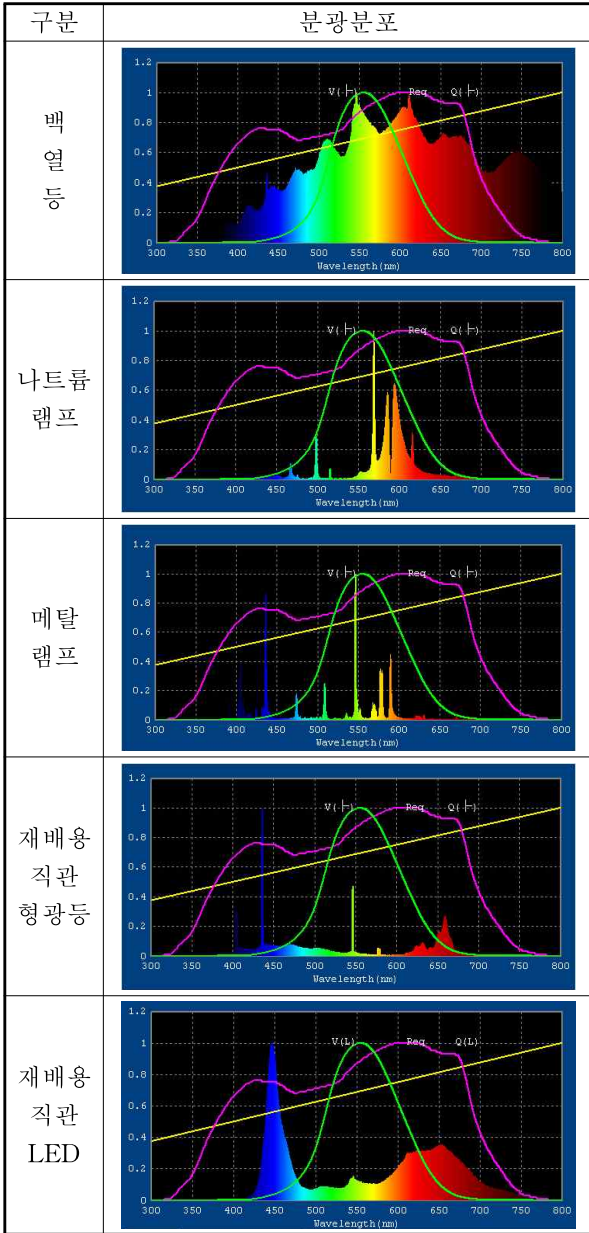
표 7. 실험 광원의 특성  
Table 7. The characteristics of light sources

구분	광속	광효율	색온도	연색	전력
	(lm)	(lm/w)	K	Ra	W
백열램프	646	10.8	2654	99	60
나트륨	12015	80.1	1948	15	150
메탈램프	9555	54.6	4597	39	175
형광램프	641	16.0	5299	7	40
LED램프	711	28.4	2031	20	25

### 2.2.2 광합성 광양자속밀도(PPFD)

광합성 스펙트럼등 에너지선, 등광양자선과 비시감도 곡선의 유사관계를 살펴보면 식물은 기본적으로 광양자 단위로 반응한다[3]. 식물에 유효한 방사에는 생리적 유효방사(300~800[nm])와 광합성 유효방사(400~700[nm])가 있다. 생리적 유효방사는 광형태 형성 등 생리적 효과가 있고, 광합성 유효방사는 광합성의 에너지원이 되어 생장에 관여하며, 강한 광도를 필요로 한다. 식물의 생장에 효율적인 빛은 사람의 눈에 비치는 시감도에 따른 것이 아니라 광밸런스와 광합성에 관여하는 파장의 세기인 PPFD(Photosynthetic Photon Flux Density)에 의하여 결정된다[3]. 식물에 대한 광량(빛 에너지)이나 광도의 단위는 각각의 광합성 광양자속밀도 [ $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]를 기본으로 한다. 생

표 8. 실험 광원의 분광분포  
Table 8. The spectral distributions of light sources



활에서 사용하는 단위인 광속([lm])이나 조도([lux]), 전력([w]) 도 자주 사용되므로 여러 가지 광원에 대한 조도와 광합성 환산계수도 필요하다. 본 연구에서는 식물공장 각종 광원의 식물 광합성에 관련하는 빛의 세기를 측정한다. 구형 광속구(직경 2.5[m])의 중앙에 실험 광원을 설치하고 광원으로부터 약 1.0[m] 전방에

광합성 광양자속 밀도(PPFD) 측정용 계측기 (SP-10)를 설치하여 외부광의 침입이 없도록 하였다.

광합성 광양자속 밀도(PPFD)[ $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ], 조도 [lx], 그리고 조도와 광합성광양자속밀도와의 환산계수  $E[\text{lx}] / E_{\text{mol}}[\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}]$  등을 측정하고 분석하였다. 표 9는 실험결과를 나타낸 것이다. 식물생육조명으로 사용되고 있는 실험광원에 대한 분석결과 단위전력당 광양자속밀도가 백열등 0.117로 가장 낮은 것으로 나타났으며, 나트륨램프 0.431, 메탈램프 0.331, 재배용형광등 0.235, 재배용 LED램프 0.492로 재배용 LED 램프가 소비전력대비 광합성 광양자속밀도가 가장 높은 것으로 나타났다. 광도를 광양자의 에너지 단위로 나타내지 않으면 광합성에 대한 빛의 효과를 올바르게 평가할 수 없다. 파장  $\lambda$ 인 1개의 광양자 에너지 E는 다음 식과 같다.

$$E = hc / \lambda$$

h : 프랑크상수:  $6.626 \times 10^{-34} [\text{J} \cdot \text{s}]$ ,  
c : 빛의 속도 :  $3 \times 10^8 [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

광양자수는 보통  $\mu\text{mol}$  단위로 표현되어 1개의 광자의 에너지는 매우 작다. 따라서 실제 사용시는 1개 광자 에너지에 아보가드로수( $N=6.023 \times 10^{23} \text{ photons mol}^{-1}$ )를 곱해주는 것이 편리하다. 그 입자의 밀도가 높은지 낮은지를 나타낸 것이 방사속밀도나 광양자 밀도라고 하는 단위이다. 식물공장의 식물생육조명으로 사용하는 광원에 대한 광합성 광양자속밀도를 측정할 수 없을 때는 표 9에 표시된 환산계수를 곱하여 광합성 광양자속밀도를 구하면 된다.

- 1) 백열등 적용시
  - 평균조도 1,000(lux) 일때의 광합성 광양자속밀도  $1,000 (\text{lux}) \div 44.07 = 22.69(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$
- 2) 나트륨램프 적용시
  - 평균조도 30,000(lux)일때의 광합성 광양자속밀도  $30,000 (\text{lux}) \div 86.14 = 348.3(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$
- 3) 메탈 램프를 적용시
  - 평균조도 20,000(lux)일때의 광합성 광양자속밀도  $20,000 (\text{lux}) \div 71.50 = 279.7(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$

표 9. 각종광원의 방사속밀도, 광양자밀도, 조도, 연색성

Table 9. Various light sources radiant flux density, photon density, illuminance,

종류	소비전력	광속	광효율	PPFD	PPFD/W	조도(E)	환산치	환산치
	[W]	[lm]	[lm/w]	[ $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ]	[ $\mu\text{mol}/\text{W}$ ]	[lux]	E/PPFD	PPFD/E
백열등	60	646	10.8	7.00	0.117	308	44.07	0.0227
나트륨 램프	150	12,015	80.1	64.60	0.431	5565	86.14	0.0116
메탈램프	175	9,555	54.6	58.29	0.331	4168	71.50	0.0140
재배용형광등	40	640	16.0	9.38	0.235	296	31.55	0.0317
재배용LED	25	711	28.4	12.3	0.492	413	33.58	0.0300

4) 식물재배용 형광램프를 적용시

- 평균조도 1,000(lux) 일때의 광합성 광양자속밀도  
 $1,000 \text{ (lux)} \div 31.55 = 31.69(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$

5) 재배용 LED램프를 적용시

- 평균조도 1,000(lux) 일때의 광합성 광양자속밀도  
 $1,000 \text{ (lux)} \div 33.58 = 29.77(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$

현재 식물공장에서 생산되는 식물은 야채중 새싹야채류, 잎야채류, 과채류 등이며, 이들 작물의 광합성 광양자속밀도 필요량은 7~15[ $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ], 잎야채류 200~300[ $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ], 과채류500[ $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ]이상이다 [4]. 위의 작물들을 실험에 적용된 나트륨램프로 조명설계시는 새싹야채류가 602~1,291[lux], 잎야채류 17,228~25,842[lux]가 필요하다. 이것을 직관형 LED 램프로 조명설계시에 새싹류의 평균조도는 235~504(lux), 잎야채류는 6,716~10,074(lux), 과채류는 16,790(lux)로 광원에 따라서 차이가 난다.

2.3 배광특징에의한 시뮬레이션 비교평가

식물공장의 재배방식은 크게 3가지로 분류한다. 평면이동식 재배와 재배면적을 증가시키기 위한 피라미드 형태의 트라이앵글식, 5~10단의 선반식방법으로 분류한다[5]. 이 중에서 평면이동재배와 트라이앵글식 재배는 넓은 면적에 광조사가 필요하고, 강한 광출력을 요하므로 고압방전등(나트륨 · 메탈램프 혼광사용)으로 조명을 한다. 다단식 재배는 광조사거리가 짧기

표 10. 배광곡선

Table 10. distribution curve of luminous intensity


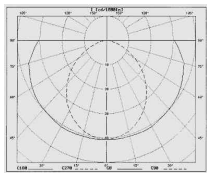
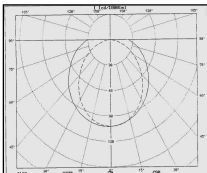
조명기구		몸체 : PC 커버 : 투명PC IP등급 : 65
재배용 직관형광등		소비전력 : 40[W] 광속 : 499[lm] 광효율 : 12[lm/w] 기구효율 : 78[%]
재배용LED 램프		소비전력 : 25[W] 광속 : 640[lm] 광효율 : 25.5[lm/w] 기구효율 : 90[%]

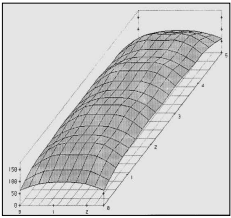
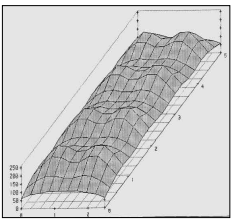
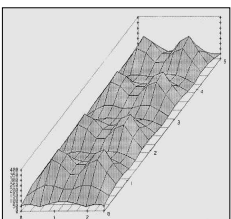
표 11. 시뮬레이션 공통적용 조건

Table 11. Common application conditions of simulation

Room length	5.0[m]
Room width	2.5[m]
Height of working plane	0[m]
Maintenance factor	0.90
r(ceiling)	70[%]
r(wall)	0[%]
r(work)	10[%]

때문에 형광등이나, LED조명을 채용한다[2]. 본 연구에서 조도 시뮬레이션은 식물재배용 직관형 형광등(G13베이스)과 직관형 LED램프(G13베이스)를 식물재배용 방진, 방습형(IP 65)의 조명기구에 장착하여 선반식의 식물공장을 기준으로 비교분석하였다. 먼저 각광원별로 조명기구 장착 시에 배광특성을 측정(LMT)하고 IES 파일을 생성시켜 시뮬레이션하였다. 설치조건은 길이5.0[m], 폭 2.5[m], 높이 1.0[m], 0.7[m], 0.5[m]로 변경하면서 조명기구를 각각 8 SET를 설치하였다. LMT GOV-1900 프로그램을 이용하여 조도를 시뮬레이션하고, 광합성 광양자속밀도(PPFD)는 조도환산치를 적용하여 분석하였다.

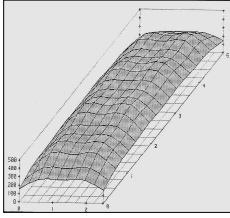
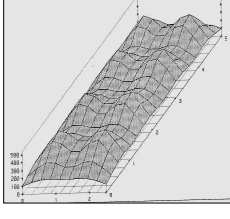
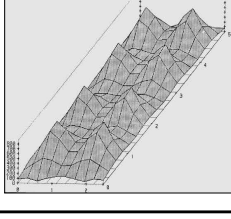
표 12. 시뮬레이션 결과(1)  
Table 12. The Results of simulation (1)

구분	시뮬레이션		
	Lighting Fixture height 1.0[m]		
재배용		평균조도	143[lx]
		PPFD	4.5[μmol]
		균제도	1:1.9(0.52)
		lm /m <sup>2</sup>	1792
		조명밀도	25.6[lm/w]
Lighting Fixture height 0.7[m]			
직관형광등 ↓ 40w		평균조도	178[lx]
		PPFD	5.6[μmol]
		균제도	1:2.3(0.44)
		lm /m <sup>2</sup>	1792
		조명밀도	25.6[lm/w]
Lighting Fixture height 0.5[m]			
40w		평균조도	209[lx]
		PPFD	6.6[μmol]
		균제도	1:3.4(0.30)
		lm /m <sup>2</sup>	1792
		조명밀도	25.6[lm/w]

2.3.1 배광특성 및 시뮬레이션 조건

배광의 형태에서 LED재배용 직관램프와 비교하면 형광램프 조명 기구에서는 전반 확산 배광형태를 나타낸다. 이는 비추고자 하는 목적물에 집중되기보다는 기본 조명으로 전반조명용에 더 적합하다. 보완하기 위한 고효율 반사판 등을 채용하는 것이 필요하다.

표 13. 시뮬레이션 결과(2)  
Table 13. The Results of simulation(2)

구분	시뮬레이션		
	Lighting Fixture height 1.0[m]		
재배용		평균조도	277[lx]
		PPFD	8.25[μmol]
		균제도	1:2.0(0.50)
		lm /m <sup>2</sup>	1600
		조명밀도	16.0[lm/w]
Lighting Fixture height 0.7[m]			
직관 LED ↓ 25w		평균조도	335[lx]
		PPFD	9.97[μmol]
		균제도	1:2.5(0.39)
		lm /m <sup>2</sup>	1600
		조명밀도	16.0[lm/w]
Lighting Fixture height 0.5[m]			
40w		평균조도	383[lx]
		PPFD	11.4[μmol]
		균제도	1:4.2(0.24)
		lm /m <sup>2</sup>	1600
		조명밀도	16.0[lm/w]

2.3.2 조도 시뮬레이션

시뮬레이션 결과 식물재배용 LED조명이 형광등에 비하여 같은수량으로 평균조도는 약 89%, 광합성 광양자속밀도는 약 78% 더 높은 것으로 분석된다. 조명시설의 경제성에서 중요한 조명밀도를 보면은 식물재배용 형광등이 25.6[w/m<sup>2</sup>], 식물용직관형 LED 조명

기구가 16[w/m<sup>2</sup>]로서 37.5[%] 높은 것으로 분석된다. 등기구 설치높이를 변경하면서 시뮬레이션한 결과는 높이가 줄어들었을 때 균제도(최소/최대)는 조명기구가 식물에 가까울수록 크게 벌어지는 것으로 나타난다.

**표 14. 시뮬레이션 결과 분석**  
**Table 14. The Results of simulation analysis**

구 분		1.0[m]	0.7[m]	0.5[m]
형광등	조도(lx)	143	178	209
	균제도	1: 1.9	1: 2.3	1: 3.4
	PPFD	4.5	5.6	6.6
LED	조도(lx)	277	335	383
	균제도	1: 2.0	1: 2.5	1: 4.2
	PPFD	8.25	9.97	11.4

### 3. 결 론

본 연구에서는 식물재배용으로 기존에 사용하고 있는 식물생육용 각종광원과 조명기구를 중심으로, 광원에서 발산하는 식물에 유효한 조명물리량 특성과 에너지성능 분석을 1차목표로 하였으며, LED조명 활용으로는 국내 LED 제조사인 I사의 식물재배용 RB혼합형 단일 SMD Type 패키지(YAG 유기화합물: InGaN (BLUE)Chip+LuAG+CaAlSiN<sub>3</sub> eu)를 이용하여 기존의 재배용 직관형 형광등(G13 베이스)과 동일형태의 직관형 LED램프를 제작하여 특성비교를 실시하여 장·단점을 분석하는데 2차적인 목적을 가지고 진행하였다. 식물공장에서 조명시설의 경제성이 무엇보다도 중요하다. 이는 별도의 식물재배용 LED전용조명기구를 제작하지 않아도 기존 형광램프를 사용하는 조명기구에 그대로 적용 가능한 장점을 가진다. 다음은 분석결과를 요약한 것이다.

- 1) 광합성 작용 곡선의 광색 밸런스는 식물공장 재배용 광원으로 필요한 적색(670nm부근)의 비율이 백열등 28.5[%], 나트륨 26.9[%], 메탈램프 5.4[%], 재배용 형광램프 33.3[%]. 그리고 재배용

LED램프는 45.9[%]의 광색비율로 나타났다.

- 2) 식물생육조건인 광합성과장역의 단위전력당 광양자속밀도가 백열등이 0.117로 가장 낮은 것으로 나타났으며, 나트륨램프 0.431, 메탈램프 0.331, 재배용형광등 0.235, 재배용 LED램프 0.492로 재배용 LED 램프가 소비전력대비 광합성 광양자속밀도가 가장 높은 것으로 나타났다.
- 3) 시뮬레이션 결과에서 식물재배용 직관형 형광등과 동일형태의 직관형 LED조명기구의 조명밀도를 보면은 재배용형광등 25.6[w/m<sup>2</sup>], 식물재배용 직관형 LED 조명기구가 16[w/m<sup>2</sup>]로서 식물용 LED가 37.5[%] 높은 것으로 분석된다.
- 4) 등기구 설치높이를 변경하면서 시뮬레이션 한 결과 조명기구를 식물에 가까이 할수록 광의 세기는 증가하나 평균조도 및 PPFD 값은 거리 역자승 법칙으로 증가하지 않으며, 광분포를 고려할 때 식물과 직관형 LED 램프장착 조명기구의 거리가 가까울수록 균제도가 나빠진다.

본 연구에서 얻어진 식물공장 각종광원 및 LED램프의 조명 물리량 및 PPFD의 특성은 향후 식물공장의 식물재배형태에 따라서 필요한 적정분포의 광 공급을 위한 광원의 선택과 적절한 배치를 결정하는데 이용될 수 있으며 적정 광량을 공급하기위한 광원의 높이 등을 결정하는데 유용하게 이용될 수 있다. 식물공장 인공조명을 이용한 식물재배에서 LED를 이용하여 광환경을 조절하는 것이 가장 좋으나 경제성을 고려해야 하므로 강한 광을 요구하는 작물보다 광 요구도가 낮은 음지성 고부가가치 식물을 선택하여 재배하는 것이 조명시설 면에서 경제적이다. 본 연구에 사용한 식물재배용 직관형(G13베이스)LED램프는 본 연구와 관련하여 M사에서 전기용품 안전기준 K 20001 (직관형 LED램프-컨버터 외장형)에 의하여 식물생육조명으로 임의로 제작한 것이다. 추후 연구에서는 다양한 식물재배용 LED 램프의 확보와 실험 등을 통해서 조명물리량의 실험오차를 최소화해야 할 것이다.



본 연구는 2011학년도 홍익대학교 교내 연구비로 수행 되었음.

### References

- [1] 강희찬, 기후변화에 대응한 농업의 진화 : 식물공장, SERI 경제보고서 제255호 삼성경제 연구소, PP 1-13, 2009.
- [2] 강승원, 백준필, 서상규, 박권우, 이용범, 김선형공역, Wordscienc,식물공장 ,제2장 식물공장에 있어서의 환경요 인과 성장, 제5장 완전제어형 식물공장의 실제,pp 27-37, pp79-91, 2010.
- [3] 이기명, 일일사, 생물생산 시설환경 제어 및 실습 ,제4장 작물의 생리생태와 최적 환경, 제5장 지상부 환경제어 및 실습,pp 53-100, pp 105- 130, 2009.
- [4] 남상훈, 안성대출판부, 농업환경조절공학,제6장 식물생산 과 환경조절,pp.77-88, 2000.
- [5] 데이코, 주목받는 식물공장 개발동향과 향후전망,II 국내 식물공장 사업동향 과 전망,II.3 식물공장 관련기술 과 설비동향,pp 28-94, pp146-155, 2011.
- [6] 한국전자 통신 연구원, 지능형 그린하우스 개발,제2장 식 물성장을 위한 선별파장 투과 발전기술개발, 제5장 광합 성 유효광역대 조사 및 실험 분석,pp 45-75, pp 109-118, 2010.
- [7] 충북대학교 첨단원예기술연구센터,농림부,원예식물의 생 장 및 광형태형성에 미치는 LED의효과,pp18-23, 2003.
- [8] 문현희,장승호,전남대농생과대,다양한 파장대의 LED에 대 한 거리에 따른 광량자속밀도 특성,pp 4-5, 2010.

### ◆ 저자소개 ◆



**윤철구 (尹喆九)**

1962년 7월 7일생. 2002년 한양대학교 공학대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 홍익대학교대학원 전기공학과 박사수료.



**최홍규 (崔洪圭)**

1950년 1월 7일생. 현재 홍익대학교 과 학기술대학 전자·전기공학과 교수.