

# 발광다이오우드를 이용한 인공광원의 광-전기 특성 및 원적색광의 부가에 관한 연구\*

## Enrichment of Far-red Light and Opto-electric Characteristics of Artificial Lighting Sources using Light-emitting Diodes(LEDs)

김용현<sup>1,2</sup> · 박현수<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>전북대학교 농과대학 생물자원시스템공학부

<sup>2</sup>전북대학교 농업과학기술연구소

Kim, Y.H.<sup>1,2</sup> · Park, H.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Division of Bioresource Systems Eng., Chonbuk National Univ., Chonju, 561-756

<sup>2</sup>The Institute of Agricultural Science & Technology, Chonbuk National Univ., Chonju, 561-756

### 서 론

광환경은 식물의 생체중, 건물중, 초장, 엽면적 등과 관계되는 광합성 작용과 화아형성, 발근, 종자발아, 잎의 전개 등과 관계 있는 광형태형성에 커다란 영향을 미친다.

식물생산 시설에 사용되는 형광등, 고압나트륨등, 메탈할라이드등, 백열등과 같은 인공광원에는 다양한 파장 영역들이 포함되어 있으므로 특정 파장의 선택적인 조사가 불가능하다. 최근 들어 식물의 성장 및 광형태형성 제어를 목적으로 소형의 단색광원인 발광다이오우드(light-emitting diode, 이하 "LED"로 표시함)에 대한 관심이 증대되고 있다. LED는 높은 신뢰성과 응답성을 지니고 있으며, 전력소모가 매우 작고, 현열 발생량과 장파복사의 방출량이 작기 때문에 식물생산의 인공광원으로 적합한 성질을 지니고 있다. 또한 점등 회로에서 전류의 제어만으로 광합성유효광량자속밀도(photosynthetic photon flux density, 이하 "PPF"라 칭함)의 효과적인 조절이 가능하며, 배열방법에 따라 점광원, 선광원 및 면광원으로서의 이용이 가능하다.

인공광원의 적색광(red light, R)과 원적색광(far-red light, FR)과의 비율(R/FR)을 조절하면 광형태형성 반응의 센서 역할을 담당하는 phytochrome의 광평형상태( $\Phi$ )를 변화시킬 수 있다.  $\Phi$ 가 크면 식물의 신장생장이 억제되며, 반대로  $\Phi$ 가 작게 되면 생장이 촉진되는 것으로 보고된 바 있다. 이러한 관계를 식물생산 시설의 광환경 설정에 적용하면 목적하는 바 식물의 형태 형성을 촉진하거나 균일한 형질 발현에 도움이 될 것이다.

LED를 식물묘의 성장 및 형태형성 제어용 인공광원으로 개발하고자 시도된 본 연구의 구체적인 목적은 청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED의 광-전기 특성을 분석하고, 원적색광의 부가에 필요한 기초 자료를 제시하는 데 있다.

---

\* 본 연구는 1997년도 농림부 농림기술관리센터의 첨단기술개발과제로 수행되었습.

## 재료 및 방법

### 1. 실험용 LED의 광-전기 특성

Table 1은 실험장치에 사용된 LED chip들의 광-전기 특성을 나타낸 것이다.

Table 1. Opto-electric characteristics of blue, green, red, and far-red LEDs.

LED	Model	Forward current (mA)	Forward voltage(V)		Power consumption (mW)	Dominant wavelength (nm)
			Typ.	Max.		
Blue	NSPB633S (Nichia)	20	3.6	4.0	3.0	470
Green	NSPG633S (Nichia)	20	3.5	4.0	2.0	525
Red	LNJ295PCDA (Matsushita)	20	1.8	-	-	660
Far-red	BCH-36 (Showa denko)	20	1.70	2.10	1.1	730

### 2. LED module의 구성

본 연구에서 제작된 LED module은 발광부, 전원 제어부, 지지용 프레임으로 구성되어 있다. 발광부는 LED stick이 배열된 LED array로 이루어진다. 1개의 LED stick은 48개의 같은 종류 LED로 구성되어 선광원을 이루고, 각각의 독립된 LED stick 들이 배열되어 면광원의 LED array를 이룬다. 전원 제어부는 직류전원장치로서, 전압 및 전류의 불륨을 조정할 수 있도록 제작하였다.

### 3. LED array의 분광 특성 및 광강도 측정

LED array의 분광특성을 측정하고자 300~1,100nm의 파장범위의 분광분석이 가능한 분광복사계(LI-1800, LI-COR)를 사용하였다. 청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED 1개에 공급된 전류가 각각 25, 20, 20, 20mA일 때 이들 LED의 점등 회로를 흐르는 정격전류는 각각 8, 6.4, 3.2, 2.4A이다. 이 때부터 약 0.5mA 간격으로 전류에 따른 광강도 변화를 측정하였다. LED의 광강도로서 PPF, 조도 및 복사조도를 측정하고자 광량자센서(LI-190SA, LI-COR), 조도센서(LI-210SA, LI-COR), 일사센서(LI-200SA, LI-COR)를 사용하였다. 광강도는 디지털 멀티미터(HC-3500T, HUNG CHANG)로서 측정하였으며, 이 경우 센서와 LED array 사이의 수직거리는 30cm로 고정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. LED의 분광 분석

Fig. 1은 LED의 파장별 상대 광강도를 나타낸 것이다. 청색, 녹색, 적색 및 원적색광 LED는 각각 460, 518, 654, 732nm의 파장 영역에서 최대치가 나타났다. Table 1에서 제시한 LED의 주파장과의 차이는 측정 기온, 점등 회로에 사용된 저항에 의한 전류의 손실로 판단된다.

### 2. LED의 광강도

#### (1) PPF

Fig. 2는 전류의 세기를 변화시키면서 PPF를 측정한 결과이다. 동일한 전류가 공급될 때 파장이 길수록 단위 에너지당 광량자수가 증가하는 데, 이러한 결과는 적색광 LED에서

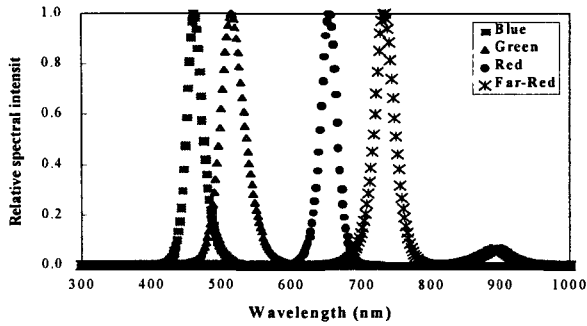


Fig. 1. Relative spectral intensity of blue, green, red, and far-red LEDs.

분명하게 나타났다. 한편 청색의 PPF가 녹색광의 PPF에 비해서 높게 나타난 것은 청색광 LED에 공급되는 전류가 25mA로 서 녹색광 LED의 20mA에 비해서 증가되었기 때문인 것으로 판단된다. 인공광하에서 접목묘의 활착 촉진 또는 식물의 조직배양 단계에서 요구되는 PPF가  $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  정도임을 감안하면(Infante 등,1989;kirdmanee 등,1995), 실험에 사용된 모든 LED는 접목묘의 활착 또는 식물의 조직배양을 위한 근접 조명용 광원으로 사용될 수 있을 것이다.

(2) 조도

Fig. 3에서 녹색광 LED의 조도가 가장 높았으며, 다음으로 적색, 청색광 LED의 순서로 나타남을 알 수 있다. 공급전류가 3A일 때 녹색, 적색, 청색광 LED의 조도는 각각 9502lx, 3569lx, 1550lx로서 녹색광이 적색광과 청색광에 비해서 각각 2.7배, 6.13배 높게 나타났다. 비시감도가 555nm에서 최고치를 나타내므로 파장영역이 550~570nm인 녹색광 LED에서 조도가 월등히 높게 나타나는 것은 당연한 결과이다.

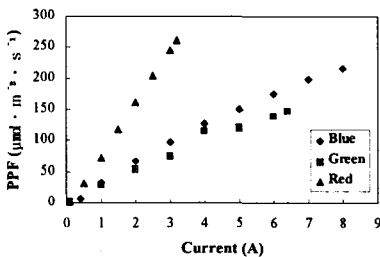


Fig. 2. Variation of photosynthetic photon flux(PPF) affected by the supplied current.

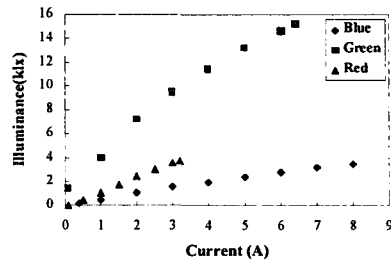


Fig. 3. Variation of illumination affected by the supplied current.

(3) 복사조도

Fig. 4로부터 PPF와 마찬가지로 파장이 긴 광원에서 복사조도가 높게 나타남을 알 수 있다. 공급전류가 3A일 때 복사조도는 적색, 녹색, 청색광 LED의 순서로 각각 53.26, 14.49,  $14.03 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 로 나타난다.

PPF, 조도 및 복사조도가 점등 회로를 흐르는 전류의 변화에 따라 직선적으로 증가하였다. 이것은 전류의 조절을 통하여 LED 광강도의 제어가 가능함을 의미하는 것이다.

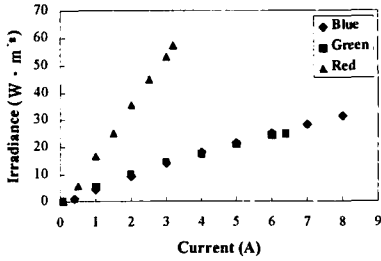


Fig. 4. Variation of irradiance affected by the supplied current.

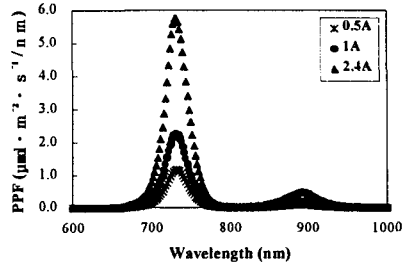


Fig. 5 Spectral PPF of far-red LEDs affected by the supplied current.

### 3. 원적색광의 부가

일반적으로 사용되는 광량자센서로서 측정 가능한 파장 범위는 400~700nm이므로 광량자센서를 이용하여 원적색광 LED의 PPF를 측정하는 것은 불가능하다. 그러므로 본 연구에서는 분광복사계(LI-1800, LI-COR)를 사용하여 Fig. 5와 같은 원적색광 LED의 분광 PPF를 얻었다. 분광복사계로 측정된 적색광 LED의 PPF 데이터에 대한 수치적분의 결과와 광량자센서(LI-190SA, LI-COR)에 의한 PPF 측정치가 Fig. 6에 실려 있다. Fig. 6으로부터 적색광 LED에 대한 수치적분의 결과와 광량자 센서를 이용한 측정치가 거의 유사하게 나타남을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 적색광의 PPF 뿐 만 아니라 원적색광의 부가 정도를 결정할 때 광량자 센서로서는 불가능하나, 원적색광의 부가에 분광복사계의 적용이 가능함을 의미하는 것이다. 한편 일사센서(LI-200SA, LI-COR)를 사용하여 청색, 녹색 및 적색광 LED에 대한 복사조도의 측정치와 분광복사계로 측정된 데이터의 수치적분 결과를 비교하였다. 이 경우 복사조도의 측정치와 수치적분의 결과는 공급 전류가 커질수록 차이가 증가하는 것으로 나타났다. 그러므로 원적색광의 부가에 일사센서를 사용하는 것은 부적합 것으로 판단된다. 실제로 본 연구에서 사용된 일사센서는 자연광 조건에서 응답이 제대로 이루어지도록 제작된 바 자연광 조건이 아닌 경우에는 사용하지 않는 것이 바람직하다.

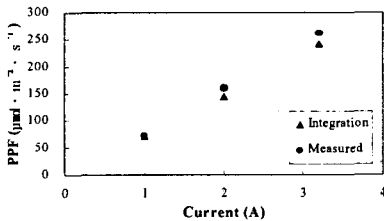


Fig. 6. Comparison of photosynthetic photon flux(PPF) between the result of numerical integration and the measured data for red LEDs.

### 인용문헌

1. 김용현. 1999. 인공광원으로 발광다이오드를 이용한 묘생산 시스템에서 식물생장 및 형태형성 제어.-발광다이오드의 분광특성 및 광강도-. 한국농업기계학회지 24(2):115-122.
2. Infante, R., E. Magnanini and B. Righetti. 1989. The role of light and CO<sub>2</sub> in optimizing the conditions for shoot proliferation of *Actinidia deliciosa* in vitro. *Physiol. Plant.* 77:191-195.
3. Kirdmanee, C., Y. Kitaya and T. Kozai. 1995. Effects of CO<sub>2</sub> enrichment and supporting material in vitro on Photoautotrophic growth of *Eucalyptus* Plantlets in vitro and ex vitro. *In Vitro Cell Dev. Biol.-Plant* 31:144-149.