

# 근접조명용 인공광원으로 형광등하에서 육묘된 플러그묘의 생장 특성

## Growth of plug seedlings raised under fluorescent lamps as artificial light source for close illumination

김용현

전북대학교 농과대학 농업기계공학과

Kim, Yong-Hyeon

Dept. of Agricultural Machinery Engineering, College of Agriculture,

Chonbuk National University, Chonju, 561-756, Korea

### 1. 서론

인공광형 식물공장의 광원으로는 고압나트륨등, 메탈할라이드등, 형광등이 주로 사용되고 있다. 고압나트륨등과 메탈할라이드등은 램프효율은 높으나 각각 청색광 또는 적색광이 부족하여 식물공장의 근접 조명용 단독 광원으로서 부적합하다. 형광등은 고압나트륨등과 같은 고휘도 방전등에 비해서 광속은 낮으나 광이용효율이 높기 때문에 조직배양묘의 광원으로 널리 사용되고 있다. 이제까지 플러그묘의 생산을 위한 인공광원으로서 형광등을 사용한 예는 매우 드물다. 최근에 김과 古在(1996a, 1996b), Kim 등(1996)은 인공광하에서 플러그묘 개체군의 공기역학적 특성을 구명하고자 광원으로 형광등을 사용한 바 있으며, 가지 플러그묘의 생장에 미치는 기류속도의 영향을 살펴보기 위한 실험에서도 형광등을 광원으로 사용한 바 있다(김, 1998). 한편 국내에 보급되어 있는 형광등에 대해서는 광속 정도만 알려져 있을 뿐 식물생산과 관련된 분광 특성 및 광강도에 대한 정보와 근접조명 설계에 필요한 자료는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 국내에 보급되어 있는 주요 형광등의 분광 특성 및 광강도를 분석하고, 근접조명용 형광등하에서 육묘된 플러그묘의 생장 특성을 살펴보고자 수행되었다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 실험용 형광등

식물공장의 근접조명용 광원으로서 형광등의 광강도 및 분광 특성을 분석하고자 표 1에 제시한 바와 같은 4종류의 형광등을 선정하였다. 표1에서 FL 계통은 국내의 금호전기(주)에서 생산한 직관형 형광등이다. 이 가운데 FL20SD/18과

FL20SEX-D/18은 각각 일반 조명용 형광등(이하 “일반등”이라 칭함)과 이중3과장 형광등(이하 “이중3과장등”이라 칭함)에 해당되며, 광원색으로 주광색을 갖는다. 한편, FL20SPG/18는 식물재배용 형광등(이하 “PG등”이라 칭함)으로 사용되고 있다. DULUXL55W/21-840은 OSRAM에서 직관형을 브릿지(bridge) 기술로 결합시킨 3과장의 이중형광등(twin fluorescent lamp, 이하 “이중3과장등”이라 칭함)으로서 냉백색의 광원색을 갖는다.

Table 1. Specifications for fluorescent lamps tested in this study.

Model	Lamp <sup>1)</sup> wattage (W)	Dimension <sup>1)</sup>		Luminous <sup>1)</sup> flux (lm)	Light <sup>1)</sup> source colour	Luminous <sup>2)</sup> efficacy (lm W <sup>-1</sup> )
		Length (mm)	Diameter (mm)			
FL20SD/18	18	580	28	1,070	Daylight	59
FL20SEX-D/18	18	580	28	1,380	Daylight	77
FL20SPG/18	18	580	28	420	-	23
DULUXL55W/ 21-840	55	533	17.5	4,800	Cool-white	87

1) Specification is originated from the manufacturer's catalogue.

2) Luminous efficacy is defined as the ratio of luminous flux to lamp wattage.

#### 나. 측정 방법

실험용으로 선정된 형광등의 광강도로서 광합성유효광량자속밀도(photosynthetic photon flux density)와 조도(illuminance)를 측정하였으며 이를 위하여 광량자센서(LI-COR, LI-190SA), 조도센서(LI-COR, LI-210SA)가 사용되었다. 근접조명에 필요한 자료를 얻고자 60cm x 57cm 크기의 사각판에 형광등을 각 4분씩 등간격으로 배열하고, 광원으로부터 수직 방향으로 5~50cm 떨어진 지점에서 5cm 간격마다 광강도를 측정하였다. 이 때 사각판의 반사율을 높이기 위하여 한 겹의 알루미늄 호일을 씌웠으며, 외부로부터의 간섭을 차단하기 위해서 암조건에서 실험을 수행하였다. 광강도의 측정 센서가 놓여진 수평판의 크기는 광원이 부착된 사각판과 동일하며, 수평판을 9등분한 지점의 각 중앙에서 광강도를 측정하였다.

한편 각 광원의 분광 특성 측정에는 300~1,100nm의 파장 범위에서 분광 분석이 가능한 분광복사계(LI-COR, LI-1800)를 사용하였다. 이 때 광원으로부터 분광복사계의 센서부까지의 거리는 40cm로 고정하였다.

#### 다. 플러그묘의 육묘

본 연구에서는 접목에 필요한 공시 플러그묘로서 수박(감로, 흥농종묘)과 참박

(FR King, 흥농종묘)을 사용하였다. 수박과 참박의 발아는 기온, 상대습도, 기류속도, 광강도의 조절이 가능한 대형 growth room 내에서 이루어졌다. 인공광하에서 수박과 참박의 적정 발아 및 육묘 조건을 살펴보고자 표 2와 같이 명기에 2수준의 기온(25℃, 28℃)과 2수준의 광합성유효광량자속밀도(350 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , 540 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )를 조합하여 4개의 조건을 설정하였다. 명기와 암기에서의 상대습도는 70% $\pm$ 3%로 동일하게 조절하였다. 발아가 이루어진 후 명기와 암기의 기온차는 10℃로 동일하게 설정하였으며, 명기와 암기는 각각 12시간씩으로 설정하였다. 육묘용 인공광원으로는 이중3파장등을 사용하였으며, 인공광하에서 육묘된 수박과 참박의 생육 특성을 자연광 조건에서 육묘된 경우와 비교 분석하고자 조건 E를 설정하였다. 육묘용 양액으로는 육묘 전용의 복합비료(한방 A, B제; 코셀)를 희석하여 조성하였으며, 저면관수식으로 공급하였다. 조성된 양액의 pH와 EC는 각각 6.7, 1.2~1.4 mS/cm로 나타났다.

Table 2. Germination and raising conditions of watermelon and bottle gourd plug seedlings

Treatment	Environment conditions	Light sources
A	Air temp. : photoperiod 25℃, dark period 15℃ PPF : 350 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Fluorescent lamps
B	Air temp. : photoperiod 25℃, dark period 15℃ PPF : 540 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	"
C	Air temp. : photoperiod 28℃, dark period 18℃ PPF : 350 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	"
D	Air temp. : photoperiod 28℃, dark period 18℃ PPF : 540 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	"
E	Air temp. : photoperiod 27~33℃, dark period 24~26℃	Natural light

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 형광등의 분광 특성

형광등은 형광체의 선택 또는 조합에 따라 서로 다른 분광에너지 분포를 갖는다. 본 실험에서 사용된 형광등의 분광 특성이 그림 1과 2에 실려 있다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 일반등은 430nm에서 단위파장당 복사조도의 최고치가 나타났고, PG등은 660nm에서 최고치가 나타났으나, 500~600nm에 해당되는 황녹색광은 매우 적게 방출되었다. 이것은 녹색광이 적고 적색광이 차지하는 비중이 상대적으로 큰 PG등의 특성이라고 할 수 있는 바, PG등이 일반등에 비해서 조도는 낮

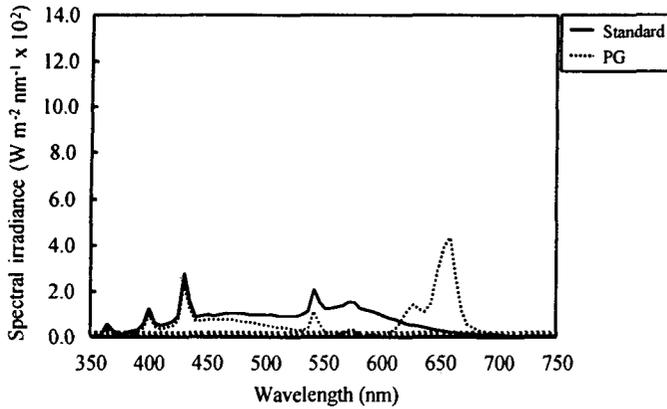


Fig. 1 Spectral characteristics for standard and PG fluorescent lamps.

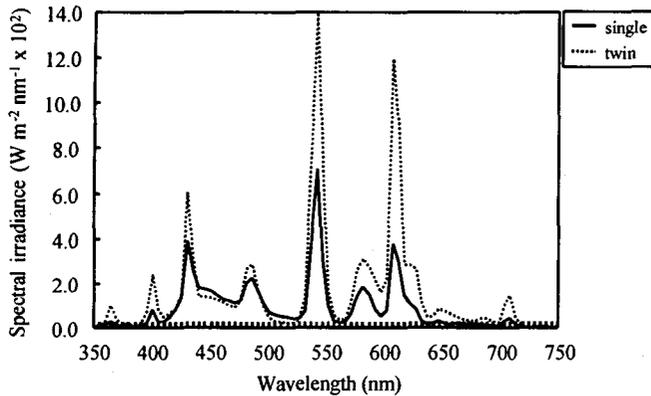


Fig. 2. Spectral characteristics for single and twin 3-band fluorescent lamps.

으나 PPF가 높기 때문에 식물재배용 광원으로 적합함을 암시하는 것이다. 실제로 단위에너지당 방출되는 광량자수는 파장이 길수록 많게 된다.

그림 2는 일중 및 이중3파장등에 대한 분광 특성을 나타낸 것으로서 단위파장당 복사조도는 545 nm의 녹색광에서 최고치를 나타내었고, 다음으로 610 nm, 435nm에서 높게 나타났다. 전체적으로 이중3파장등의 복사조도는 일중3파장등의 복사조도보다 높음을 알 수 있으며 특히, 610nm에서 복

사조도는 일중3파장등에 비해서 3배 이상 높게 나타났다.

#### 나. 형광등의 광강도

##### 1) 광합성유효광량자속밀도

광량자속밀도는 단위시간 · 단위면적당 입사된 광량자수로서, 파장 영역이 400~700nm인 복사, 즉 광합성 유효복사에 해당되는 광량자속밀도를 광합성유효광량자속밀도(이하“PPF”라 칭함)라 한다. 그림 3은 일반등, PG등, 일중 및 이중3파장등으로부터의 수직거리에 따른 PPF 변화를 나타낸 것이다. 광원으로부터 5cm 떨어진 지점에서 측정된 이중3파장, 일중3파장, PG, 일반등의 PPF는 각각  $580\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $265\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $217\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $174\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  였으며 광

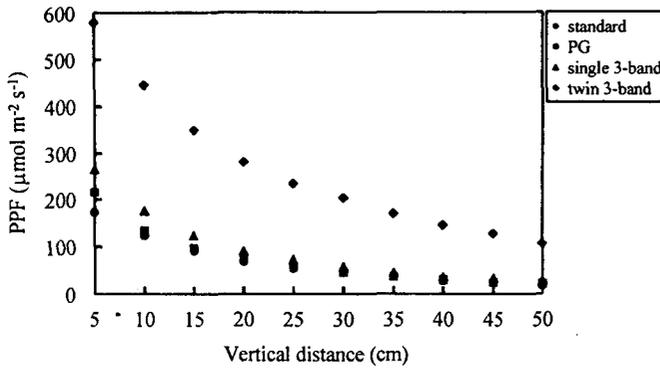


Fig. 3. Variation of photosynthetic photon flux density(PPF) affected by the vertical distance from the different fluorescent lamps as light source.

원으로부터의 수직거리가 증가함에 따라 PPF는 자연대수의 관계로서 감소하였다. 한편 표 1에 제시한 바와 같이 PG등의 광속은 일반등 또는 이중3파장등에 비해서 30~38%에 불과하나, PPF가 일반등보다 높고 이중3파장등보다

는 작은 특성을 갖고 있는 것으로 나타났다.

채소류 가운데 호광성을 제외한 상당 부분의 플러그묘를 육묘할 때 배지 표면에서의 적정 PPF는  $250 \sim 300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  이상이 확보되어야 한다. 이러한 수준의 PPF는 이중3파장등 4분을 나란하게 배열할 때 광원으로부터 20~25cm 떨어진 지점에서 얻을 수 있는 광강도이므로, 이중3파장등을 육묘 단계의 근접조명용 광원으로서 사용할 수 있음을 알 수 있다.

## 2) 조도

조도는 단위면적·단위시간당 입사된 복사에너지를 표준비시감도에 기초하여 평가한 것이다. 그림 4는 본 실험에 사용된 형광등으로부터의 수직거리에 따른 조도 변화를 나타낸 것이다. 광원으로부터 5cm 떨어진 지점에서 측정된 이중3파

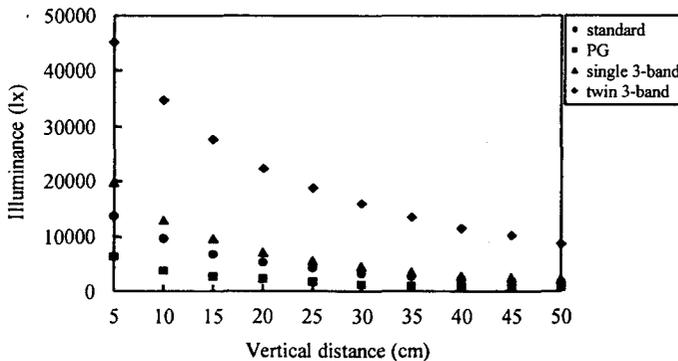


Fig. 4. Variation of illuminance affected by the vertical distance from the different fluorescent lamps as light source.

장등, 이중3파장등, 일반등, PG등의 조도는 각각 45,000lx, 20,000lx, 14,000lx, 6,000lx 로 나타났다. PG등에서 조도가 가장 작게 나타난 것은 나머지 형광등과는 달리 PG등에 녹색광이 상대적으로 작게 들어 있기 때

문이다. 녹색광의 파장 영역이 500~570nm이고, 비시감도가 555nm에서 최고치를 나타내므로 녹색광이 부족하면 조도는 당연히 감소하게 된다.

다. 플러그묘의 생장 특성

표 2의 조건에 따라 2매의 자엽이 완전하게 전개되었을 때 측정한 수박과 참박의 발아 및 육묘 특성이 표 4와 표 5에 실려 있다. 인공광하에서 명기의 기온이 28℃일 때 육묘된 수박은 25℃에서 육묘된 경우에 비해서 배축길이, 초장, 엽면적 등이 다소 크게 나타났으나, 자연광하에서 육묘된 경우에 비해서는 매우 작게 나타났다. 배축직경은 350 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 PPF에 비해서 540 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 높은 PPF에서 높게 나타났다. 한편, 참박의 발아 및 육묘 특성은 수박의 경우와 유사하게 나타났다. 그러므로 고온기에 인공광하에서 PPF와 기온을 각각 540 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , 28℃로 유지하고 명기와 암기의 기온차를 10℃로 유지하면 수박과 참박의 도장을 억제하면서 묘소질이 우수한 육묘가 가능함을 알 수 있다.

자연광 조건, 즉 조건 E에서 육묘된 수박은 발아 직후부터 배축이 급격하게 도장되고 자엽의 전개가 늦게 이루어지는 등 묘소질이 인공광하에서 육묘된 것에 비해서 현격하게 저하되었다. 이러한 결과는 참박에서도 마찬가지로 나타났다.

이와 같이 자연광하에서 육묘된 수박과 참박의 도장이 이루어진 것은 근본적으로 자연광 조건의 제어가 불가능하기 때문이다. 더구나 자연 기후의 영향을 받

Table 4. Germination and growth characteristics of watermelon plug seedlings.

Treatment	Stem length (mm)	Stem dia. (mm)	Plant height (mm)	Cotyledon length (mm)	Cotyledon width (mm)
A	23.0b <sup>x</sup>	2.27ab	37.2c	29.2a	21.4a
B	23.4b	2.31ab	36.0c	24.8ab	16.4c
C	28.5b	2.13ab	48.2b	28.4a	20.4ab
D	27.4b	2.45a	37.6c	25.0ab	18.2ab
E	81.5a	2.01b	90.3a	22.9b	15.4c

Treatment	Leaf area (mm <sup>2</sup> · plant <sup>-1</sup> )	Fresh weight (g · plant <sup>-1</sup> )	Dried weight (g · plant <sup>-1</sup> )	Days after seeding
A	750.1ab	0.435b	0.039a	13
B	744.7b	0.449ab	0.041a	9
C	793.5ab	0.471a	0.043a	9
D	798.3a	0.453ab	0.043a	9
E	621.0c	0.398c	0.031b	14

Table 5. Germination and growth characteristics of bottle gourd plug seedlings.

Treatment	Stem length (mm)	Stem dia. (mm)	Plant height (mm)	Cotyledon length (mm)	Cotyledon width (mm)
A	25.0c	2.78b	44.4d	41.2ab	25.2ab
B	24.0c	3.14b	45.8d	35.4b	20.8b
C	37.2b	4.39a	73.6b	44.6a	27.4a
D	34.9b	3.94a	65.2c	39.4ab	23.6ab
E	77.5a	3.02b	89.4a	38.5ab	21.3b

Treatment	Leaf area (mm <sup>2</sup> · plant <sup>-1</sup> )	Fresh weight (g · plant <sup>-1</sup> )	Dried weight (g · plant <sup>-1</sup> )	Days after seeding
A	2175.6a	1.235c	0.101b	13
B	1814.7b	1.329b	0.106b	9
C	2208.3a	1.271bc	0.102b	9
D	2128.9a	1.427a	0.121a	9
E	2058.7ab	1.289bc	0.103b	14

기 때문에 주간에 광강도가 일정하지 않으며, 야간에도 기온이 24~25℃ 정도의 고온을 유지하였기 때문에 묘소질이 저하된 것으로 판단된다. 결국 수박과 같은 강광성 식물을 고온기에 자연광 조건에서 육묘를 할 때 묘의 도장을 억제하기 위한 세심한 관리가 요구됨을 알 수 있다. 그러므로 인공광하에서 명기와 암기에서의 기온차를 달리한 DIF제어를 병행하면 묘의 광형태형성 반응을 다양하게 제어하면서 고온기에 보다 튼튼한 묘 생산이 가능할 것으로 판단된다.

#### 4. 요약 및 결론

식물공장의 근접조명용 인공광원으로서의 가능성을 탐색하기 위해 주요 형광등의 분광 특성, PPF, 조도를 분석하였다. 또한 분광 특성 및 광강도 분석에 사용된 형광등 가운데 이중3과장등하에서 육묘된 접목용의 수박과 참박의 성장 특성을 분석하였다. 고온기에 인공광하에서 PPF와 기온을 각각 540μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 28℃로 유지하고 명기와 암기의 기온차를 10℃로 유지하면 수박과 참박의 도장을 억제하면서 묘소질이 우수한 육묘가 이루어짐을 확인하였다.

## 5. 참고문헌

- 1) 김용현, 이종호. 1998. 식물묘공장의 근접조명용 인공광원으로서 형광등의 광강도 및 분광 특성. 한국농업기계학회 하계 학술대회 논문집 3(2):122-128.
- 2) 김용현. 1998. 인공광하의 풍동내에서 기류속도가 가지 플러그묘의 생장에 미치는 영향. 한국물생산시설환경학회지 7(1):9-14.
- 3) 김용현. 1997. 식물생산과 관련한 광의 물리학적 용어 및 개념. 한국농업기계학회지 22(4): 503-512.
- 4) 김용현, 古在豊樹. 1996. 인공광하의 공정육묘용 풍동설계 및 공정묘 개체군상의 공기역학적 특성. 한국농업기계학회지 21(4):429-435.
- 5) 김용현, 古在豊樹. 1996. 기류속도가 인공광하에서 공정묘 개체군의 미기상에 미치는 영향. 한국생물생산시설환경학회지 5(2):160-166.
- 6) Kim, Y.H., T. Kozai, Y. Kitaya and C. Kubota. 1996. Design of a wind tunnel for plug seedlings production under artificial lighting. Acta Horticulturae 440:153-158.
- 7) 금호전기(주) 램프종합카탈로그.
- 8) OSRAM. Indoor and outdoor lighting '95/96 Catalogue.
- 9) 渡部一郎, 板木利隆. 1990. 電氣利用による野菜の育苗と栽培. 社團法人農業電化協會.