

형광등 배열과 광원으로부터의 수직 거리에 따른  
광합성유효광양자속의 분포<sup>+</sup>  
**Distribution of Photosynthetic Photon Flux as Affected by  
Arrangements of Lamps and Vertical Distance  
apart from Fluorescent Lamps<sup>+</sup>**

김용현\* · 김진국<sup>1</sup> · 이상현<sup>1</sup> · 최유화<sup>1</sup> · 이명규<sup>1</sup>

전북대학교 농과대학 생물자원시스템공학부 (농업과학기술연구소)

<sup>1</sup>전북대학교 대학원 농업기계공학과

Yong Hyeon Kim\* · Jin Kuk Kim<sup>1</sup> · Sang Heon Lee<sup>1</sup>

Yu Hwa Choi<sup>1</sup> · Myung Gyu Lee<sup>1</sup>

Division of Bioresource Systems Eng., Chonbuk National Univ., Jeonju, 561-756  
(The Institute of Agricultural Science & Technology)

<sup>1</sup>Dept. of Agricultural Machinery Eng., Graduate School, Chonbuk National Univ.,  
Jeonju, 561-756

## 서론

식물공장의 인공광원으로 고압나트륨등, 메탈할라이드등 또는 형광등이 주로 사용되고 있다. 이 가운데 고압나트륨등과 메탈할라이드등의 경우 램프효율은 높으나 각각 청색광 또는 적색광이 부족하여 단독으로 사용되지 않고 병행해서 보광용으로 사용되므로 근접 조명을 위한 단독 광원으로 사용하기가 부적합하다. 형광등은 고압나트륨등과 같은 고휘도 방전등에 비해서 광속은 낮으나 광이용효율이 높기 때문에 조직배양묘의 근접 조명용 광원으로 사용되고 있다. 최근 들어 국내외에서 플러그묘의 대량 생산 또는 접목묘의 활착촉진을 위한 인공광원으로서 형광등을 사용한 연구 결과가 보고되고 있다(김, 2000b; 김과 송, 1999; Kozai et al., 2000). 김과 이(1998)는 근접 조명용 광원으로서 형광등의 광강도와 분광 특성을 분석한 바 있으나, 폐쇄형 묘생산 시스템과 같이 다단 선반을 이용할 때 상면에서 균일한 광량 분포를 얻을 수 있는 광원의 배치, 광원과 식물체 사이의 적정 거리 등 근접 조명 설계에 필요한 자료는 부족한 실정이다. 본 연구의 목적은 국내에 보급되어 있는 주요 3과장 형광등을 대상으로 광원의 배치, 광원과 식물체 사이의 거리에 따른 광합성유효광양자속(photosynthetic photon flux, PPF) 분포를 해석하는 데 있다.

---

\* 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-00391)지원으로 수행되었음.

## 재료 및 방법

본 연구에 사용된 형광등 가운데 FL20SEX-D/18과 FLR40EX-D/A는 금호전기(주)에서 생산한 직관형 형광등으로서, 주광색의 광원색을 갖는다. 한편, DULUXL55W/21-840은 OSRAM에서 직관형을 브릿지(bridge) 기술로 결합시킨 이중형광등(twin fluorescent lamp)으로서 냉백색의 광원색을 갖는다(Table 1).

Table 1. Fluorescent lamps used as artificial lighting source in a closed transplant production system.

Model	Electric consumption <sup>z</sup> (W)	Length <sup>z</sup> (mm)	Diameter <sup>z</sup> (mm)	Luminous flux <sup>z</sup> (lm)	Luminous efficacy <sup>y</sup> (lm · W <sup>-1</sup> )
FL20SEX-D/18	18	580	28	1,380	77
FLR40EX-D/A	40	1,200	28	3,240	81
DULUXL55W/21-840	55	533	17.5	4,800	87

<sup>z</sup> Values are cited from the manufacturer's catalogue.

<sup>y</sup> Luminous efficacy is defined as the ratio of luminous flux to lamp wattage.

40W와 55W 형광등하에서 근접조명에 필요한 PPF 자료를 얻고자 광양자센서(LI-COR, LI-190SA)를 사용하였으며, 40W 형광등하에서의 측정지점이 Fig. 1에 실려 있다. 40W 형광등은 다른 종류의 램프에 비해서 램프 길이가 길기 때문에 양 끝 부분에서의 광강도가 중앙에 비해서 매우 낮다. 그러므로 상면에서의 PPF 분포가 불균일하게 나타나는 바, 이러한 문제점을 해소하고자 형광등의 소켓 부분에 20W의 형광등을 각 1개씩 설치하였다. Fig. 1에서 측정 위치 A, B, C, D 및 E는 형광등의 좌측 경계, 좌측, 중앙, 우측 및 우측경계에 해당하고, 각 위치별로 3 지점에서 측정이 이루어진 바 전부 15 지점에서 PPF를 측정하였다. Fig. 1에서 A, B, C, D, E점은 소켓으로부터 각각 0cm, 17.5cm, 60cm, 102.5cm, 120cm 떨어진 지점에 해당한다. 본 연구에서는 20W 형광등을 추가로 설치하기 전후의 PPF를 측정하여, 상면에서의 광량 분포를 비교하였다. 한편 55W 형광등하에서의 측정 지점은 Fig. 2에 실려 있다. 55W 형광등이 10cm 간격으로 설치된 바, 3개 위치(A, B 및 C)의 3지점에서 측정한 바 전부 9개 지점에서 측정이 이루어졌다. Fig. 2와 같이 배열된 55W 형광등하에서 B1, B2, B3점은 소켓으로부터 각각 6cm, 26cm, 43cm 떨어진 지점에 해당한다. 형광등으로부터의 수직거리에 따른 광량 변화를 살펴보고자 40W 형광등의 경우 8.5~33.5cm의 수직거리에서 5cm 간격으로, 55W 형광등에서는 13.5~111.5cm의 수직거리에서 5cm 간격으로 PPF를 측정하였다.

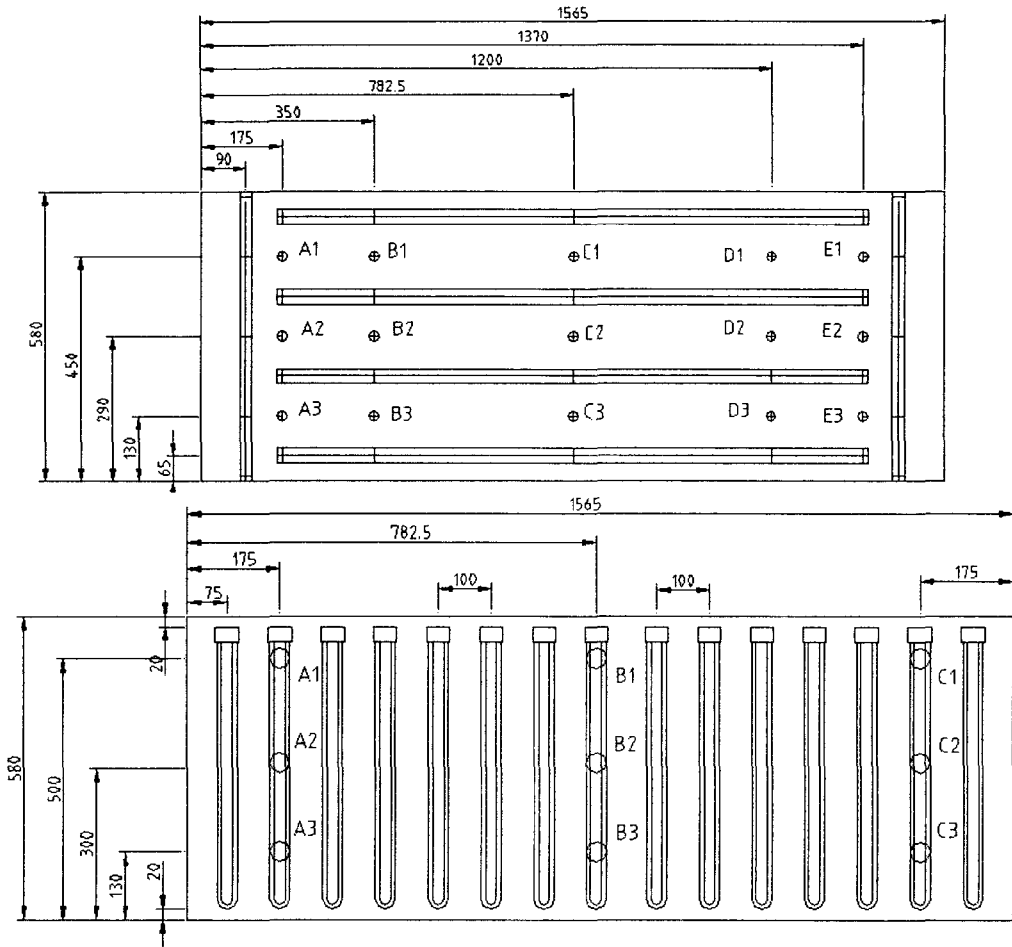


Fig. 2. Measuring points for light intensity under twin 3-band florescent lamps.

## 결과 및 고찰

40W 형광등하에서 수직거리에 따른 PPF 변화가 Fig. 3에 실려 있다. 백색 원으로 표시된 데이터는 선반에 40W 형광등만이 설치된 경우(40W)에 해당하고, 흑색원으로 표시된 것은 상면에서의 균일한 광량 분포를 얻고자 40W 형광등의 양 끝단에 해당하는 소켓 부분에 20W 형광등을 1개씩 추가한 경우(40/20W)에 해당한다. 광원으로부터의 8.5cm 떨어진 지점에서의 평균 PPF는 40/20W에서  $84.1\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 40W의 경우  $65.9\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로서 20W 형광등의 추가로 인하여  $18.2\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 PPF 증가가 이루어졌다. 이러한 경향은 광원으로부터의 거리가 23.5cm에 이르기까지 지속되었으며, 이후에는 20W 형광등의 추가에 의한 PPF의 증가 효과가 감소하였다. 조직배양 단계에서의 대략 4,000~500lx(PPF로 환산하면 대략  $40\sim50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에 해당함)의 광량이 요

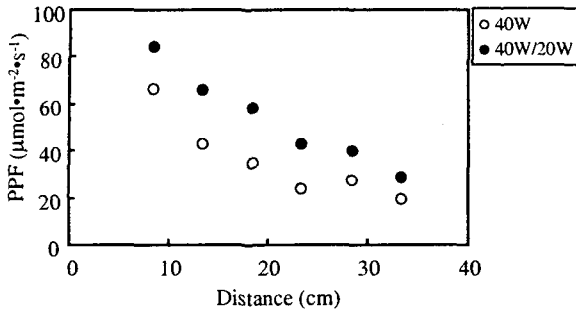


Fig. 3. PPF of single 3-band fluorescent lamps as affected by the vertical distance from lighting source.

포가 불균일하게 나타날 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 배열된 40W 형광등하에서 소켓으로부터 떨어진 거리가 각기 다른 지점, 즉 A, B, C, D, E에서의 PPF를 측정하였다. 형광등으로부터의 수직거리가 28.5cm인 조건에서 점 A, B, C, D, E

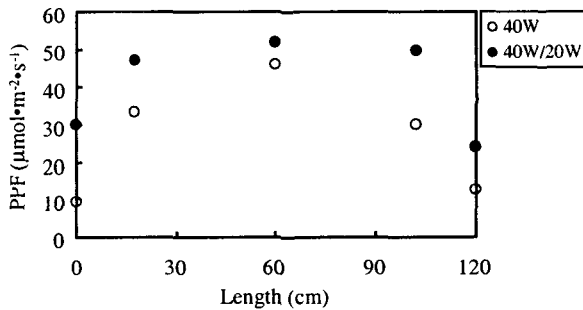


Fig. 4. PPF distribution under single 3-band fluorescent lamps as affected by the vertical distance from lighting source.

불균일하게 분포됨을 알 수 있다. 이와 같은 PPF의 불균일한 분포로 인하여 배양중인 식물체의 성장 차이가 나타날 수 있는 바, 이를 해소하고자 40W 형광등의 소켓 부분에 20W 형광등을 1개씩 추가한 결과(40/20W) 불균일한 광분포가 상당히 개선되었다. 즉 40/20W 형광등의 중앙에서 PPF는  $51.8\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로서 최고치를 나타냈으며, 형광등의 양 끝단에서 PPF는  $25\sim 30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로서, 평균 PPF는  $40.5\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 나타났다. 양 끝단에 20W 형광등의 추가로 말미암아 중앙에서의 PPF에 대한 양 끝단에서의 PPF가 47~58%에 이르러 소켓으로부터의 거리에 따른 PPF의 불균일한 분포가 개선됨을 알 수 있다.

광원으로부터 떨어진 수직거리에 따른 55W 형광등의 PPF 분포가 Fig. 5에 실려 있

구됨을 고려할 때 본 연구에서 사용된 40W 형광등을 광원으로 사용하여 배치할 경우 조직배양 또는 순화과정에서 요구되는 PPF를 광원으로부터 18.5~28.5cm 떨어진 지점에서 충분히 확보할 수 있을 것이다.

조직배양용 인공광원으로 널리 사용되는 40W 형광등의 길이는 1.2m이므로, 소켓으로부터의 거리에 따라 광량 분

포에 해당하는 PPF 분포가 Fig. 4에 실려 있다. 40W 형광등의 경우 중앙에서  $46.1\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로서 PPF의 최고치가 나타났으나, 소켓으로 접근할수록 PPF가 감소하는 가운데 40W 형광등의 양 끝단에서 PPF는  $9\sim 12\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이며, 평균 PPF는  $26.3\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 나타났다. 결국 형광등 양 끝단에서의 PPF는 중앙에서의 PPF에 비하여 20~28%에 불과하여 소켓으로부터의 거리에 따라 PPF가 매우

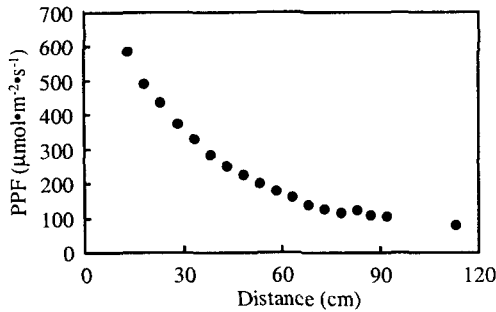


Fig. 5. PPF of twin 3-band fluorescent lamps as affected by the vertical distance from lighting source.

2000a), 이와 같은 PPF는 55W의 3과장 이중형광등으로부터 30~50cm 떨어진 지점에서 충분하게 확보할 수 있는 광량에 해당한다.

40W 형광등에서와 마찬가지로 55W 형광등의 소켓으로부터 거리에 따른 광량 분포가 Fig. 6에 제시되어 있다. 55W 형광등하에서의 PPF가 B2점 > B3점 > B1점의 순서로 나타났으나, 소켓으로부터의 거리에 따른 PPF의 분포는 40W 형광등에 비해서 상대적으로 균일하게 나타났다. 이것은 55W 형광등이 이중 형광등을 이루며, 형광등의 길이가

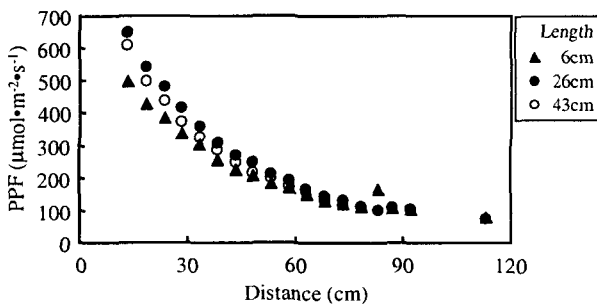


Fig. 6. PPF distribution under twin 3-band fluorescent lamps as affected by the length apart from the socket of lamps.

다. 광원으로부터의 13.5cm 떨어진 지점에서 평균 PPF는  $583.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로서 매우 높으며, 광원으로부터의 수직거리가 멀어질수록 PPF가 대수적으로 감소하는 가운데 수직거리로 각각 20cm, 40cm, 60cm 떨어진 지점에서의 평균 PPF는 약  $450 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $270 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $170 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 나타났다. 일반적으로 식물 종류에 따라 차이가 있으나 묘생산에 요구되는 적정 PPF는 대개  $200 \sim 350 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 인 바(김, 2000a), 이와 같은 PPF는 55W의 3과장 이중형광등으로부터 30~50cm 떨어진 지점에서 충분하게 확보할 수 있는 광량에 해당한다. 40W 형광등에서와 마찬가지로 55W 형광등의 소켓으로부터 거리에 따른 광량 분포가 Fig. 6에 제시되어 있다. 55W 형광등하에서의 PPF가 B2점 > B3점 > B1점의 순서로 나타났으나, 소켓으로부터의 거리에 따른 PPF의 분포는 40W 형광등에 비해서 상대적으로 균일하게 나타났다. 이것은 55W 형광등이 이중 형광등을 이루며, 형광등의 길이가 0.533m로서 40W 형광등 길이의 절반에도 미치지 못하는 구조적인 특성 때문인 것으로 판단된다. 그러므로 55W 형광등의 경우 소켓 부근에 보광용 형광등을 추가로 설치하면 상면에서의 광량 분포를 보다 균일하게 확보할 수 있으나, 보광용 형광등의 추가 설치 필요성이 40W 형광등에 비해서 떨어짐을 알 수 있었다.

## 요약 및 결론

소비전력이 각각 40W, 55W인 3과장 형광등하에서 광원의 배치, 광원과 식물체 사이의 거리에 따른 PPF 분포를 검토하였다. 40W 형광등의 경우 양 끝단에서의 PPF가 중앙에서의 PPF에 비하여 20~28%에 불과하여 PPF 분포가 매우 불균일하게 나타났다. 이러한 문

제를 해결하고자 40W 형광등의 소켓 부분에 20W 형광등을 1개씩 추가한 결과 PPF의 불균일 분포가 상당히 개선되었다. 한편 55W 형광등하에서 PPF의 분포는 40W 형광등에 비해서 상대적으로 균일하게 나타났다. 이것은 55W 이중 형광등의 구조적인 특성 때문인 것으로 판단된다. 묘생산에 요구되는 적정 PPF가  $200\sim 350\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 임을 고려할 때 이러한 PPF는 55W의 3과장 이중형광등으로부터 30~50cm 떨어진 지점에서 충분히 확보할 수 있었다.

## 인용문헌

1. 김용현. 2000a. 농업기계공학분야에서 바이오테크놀러지의 응용-폐쇄형 식물묘 생산 시스템 개발을 중심으로-. 한국농업기계학회지 25(4):311-326.
2. 김용현. 2000b. 인공광을 이용한 집목묘 활착촉진 시스템의 시작품 설계 - 활착촉진 시스템 내의 기온과 상대습도 분포에 미치는 기류속도의 효과 -. 한국농업기계학회지 25(3):213-220.
3. 김용현, 송대빈. 1999. 인공광하에서 CO<sub>2</sub> 농도와 기류속도 제어가 플러그묘의 생육에 미치는 효과. 생물환경조절학회지 8(4):275-280.
4. 김용현, 이종호. 1998. 식물묘공장의 근접조명용 광원으로서 형광등의 광강도 및 분광 특성. 한국농업기계학회지 23(6):591-598.
5. Kozai, T., C. Kubota, C. Chun, K. Ohyama and F. Afreen. 2000. Necessity and c of the closed transplant production system. International Symposium on T Production in Closed System for Solving the Global Issues on Enviro Conservation, Food, Resources and Energy. Feb. 28 - Mar. 3, 2000, Chiba Uni Japan.