

## 폐쇄형 묘생산 시스템에서 감자 플러그묘의 생장에 미치는 광합성유효광양자속의 영향

김용현 김현준 이지원 김정만

### Growth of Potato Plug Seedlings as Affected by Photosynthetic Photon Flux in a Closed Transplants Production System

Y. H. Kim H. J. Kim J. W. Lee J. M. Kim

#### Abstract

This study was performed to analyze the distribution of air current speed, CO<sub>2</sub> concentration, and photosynthetic photon flux (PPF) in a closed transplants production system (CTPS) for producing quality transplants. And the effect of PPF on the growth of potato (*Solanum tuberosum* L. cv. *Dejima*) plug seedlings was analyzed. Uniformity of the air current speed in CTPS was improved by installing perforated floors in duct for air circulating and by adjusting of air flow rate of the fan connected to air conditioning unit used in this study. Measured CO<sub>2</sub> concentrations were measured 409±13, 950±25, and 1,550±35 μmol·mol<sup>-1</sup> for setting values of 400, 950, and 1,550 μmol·mol<sup>-1</sup>, respectively. Uniformity of PPF by adding each one the single fluorescent lamp of 20 W at both ends of the single fluorescent lamps of 40 W was highly improved. While the average PPF measured under the twin fluorescent lamps of 55 W installed at regular intervals of 10 cm was decreased by increasing the vertical distance from the lighting sources, the ratio of average PPF measured at both ends to PPF measured in the center was 74-79%. Five levels (100±9, 150±14, 200±17, 250±24 and 300±31 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>) of PPF were provided to investigate the effect of PPF on plant height, fresh weight and dry weight of potato plug seedlings produced in CTPS. Plant height was decreased by increasing PPF. Maximum fresh weight and dry weight were shown under PPF of 250 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>. Thus PPF of 250 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> was enough to produce quality potato transplants under air temperature, photoperiod, and relative humidity of 20°C, 16/8 h, and 70%, respectively. It was concluded that quality indices such as plant height, fresh weight and dry weight could be improved by illuminating of adequate PPF from artificial lighting sources.

**Keywords** : Closed transplants production system, Potato transplants, Artificial lighting, Photosynthetic photon flux

#### 1. 서론

식물묘(transplant)는 일정 기간의 육묘 과정을 거쳐 포장에 정식되는 묘를 의미한다. 묘소질은 묘가 지녀야할 속성으로

서 초장, 절간장, 엽색, 엽의 두께, 엽형, 괴근 형태 등은 묘의 외적 소질에 해당하며, 광합성속도, 근활력, 엽록소 함량 등은 내적 소질로서 생리적 묘소질로도 불리 운다(Kim, 2002). 소질이 우수한 묘, 즉 외관이 우수하며, 병충해에 오염되지 않

This study was carried out with the support of "On-Site Cooperative Agriculture Research Project (Project No. 20070201080040)", RDA, Republic of Korea. This article was submitted for publication on 2008-01-18, reviewed on 2008-02-22, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2008-03-26. The authors are Yong Hyeon Kim, KSAM member, Professor, Division of Bioresource Systems Engineering, Chonbuk National University (Institute of Agricultural Science and Technology), Hyun Jun Kim, Senior researcher, National Institute of Highland Agriculture, Ji Won Lee, Senior researcher, Research & Development Bureau, Rural Development Administration, and Jeong Man Kim, Senior researcher, Jeonbuk Agricultural Research and Extension Services. Corresponding author: Y. H. Kim, Professor, Division of Bioresource Systems Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, 561-756, Korea; E-mail: <yhkim@chonbuk.ac.kr>.

고, 생리적 또는 생태적 상태가 우수한 묘를 재배에 이용하면 정식 과정에서 쉽게 활착이 이루어지거나, 재배 과정에서 비료, 농약, 자재, 관리 노력 등을 적게 투입할지라도 수량이 증대되거나 품질 향상이 기대된다. 그러므로 향후 우량묘에 대한 수요가 크게 증가할 것이다(Kim and Park, 2002).

상토 준비, 파종, 발아, 환경 관리, 출하 등의 묘 생산과 관련된 작업이 일련의 작업이 이루어지는 묘생산 시스템은 시스템의 경계를 통한 열과 물질 출입의 제한성에 따라 크게 개방형과 폐쇄형으로 구분된다.

개방형 묘생산 시스템은 시스템 내부와 외부 사이에 열·공기·물 등의 교환이 가능한 시스템을 의미한다. 대부분의 플러그묘, 접목묘 및 삽목묘 등은 일사가 투과되는 온실 또는 묘포장에서 생산된다. 그러므로 온실 또는 묘포장을 이용한 기존의 육묘용 시설은 개방형에 해당한다. 개방형 시스템은 태양광을 최대한 활용할 수 있는 장점을 지니고 있다. 그런데 개방형 시스템 내의 기온, 상대습도, 광강도, 기류속도, CO<sub>2</sub> 농도 등과 같은 물리적 환경 요인은 외부의 기상 변동에 따라 변화하므로 시스템 내의 환경 요인을 정확하게 제어하기가 쉽지 않다. 때문에 품질이 균일한 묘의 계획적 생산이 근본적으로 불가능하다.

폐쇄형 묘생산 시스템은 태양광이 투과되지 않도록 벽체가 단열재로 둘러싸여 있으므로 시스템 내부와 외부 사이에 열·공기·물 등의 교환이 기본적으로 제한된다(Kozai et al., 2000). 이러한 시스템에서는 태양광의 이용이 불가능한 바, 녹색식물의 성장을 위한 인공광이 필요하다. 그러므로 폐쇄형 시스템은 인공광형 묘생산 시스템 또는 식물묘 공장으로도 불린다(Kim, 2000; Kozai et al., 2000). 외부의 기상 변동에 따른 영향을 받지 않고, 시스템 내부의 환경 제어에 대한 정확성이 높기 때문에 폐쇄형 시스템에서는 묘의 계획적 생산이 가능하다. 또한 시스템의 폐쇄도가 높아 병충해의 발생 가능성이 낮으므로 비료 또는 농약의 사용을 줄일 수 있다. 더구나 다단식의 구조로서 묘 생산이 가능하므로 시스템 내에서 공간의 활용도가 높다.

식물묘의 대량 생산 과정에 투입되는 자원과 에너지를 절감하고, 생력화하여 생산비를 낮추려면 기존의 개방형 묘생산 시설을 다소 개선하는 정도로서는 한계가 있다. 그러므로 현재의 기술 수준과 장래의 수요를 명확하게 평가하되, 묘소질 향상에 크게 기여할 수 있는 혁신적인 묘 생산 시스템의 개발이 바람직하다. 폐쇄형 시스템에서 묘를 생산하는 궁극적인 목적은 제어된 환경에서 우량묘를 생산하고, 우량묘의 정식 후 재배기간 동안 인위적 에너지와 자원의 사용량을 가능한 한 경감시키는 데 있다.

묘소질이 우수한 식물묘를 생산할 수 있는 폐쇄형 묘생산 시스템을 개발하고자 시도된 본 연구의 구체적인 목적은 폐쇄형 시스템 내의 기류속도 분포, CO<sub>2</sub> 농도 분포 및 형광등의 배열에 따른 광합성유효광양자속(photosynthetic photon flux, PPF) 분포를 분석하는 데 있다. 또한 폐쇄형 시스템 내에서 감자 플러그묘의 성장에 미치는 PPF의 영향을 구명하는 데 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 폐쇄형 묘생산 시스템의 구성

본 연구에서 개발된 폐쇄형 묘생산 시스템은 광원부, 육묘용 선반, 시스템 제어부, 기류속도 제어부, 공기조화부 및 CO<sub>2</sub> 농도 제어부 등으로 구성된다(Fig. 1).

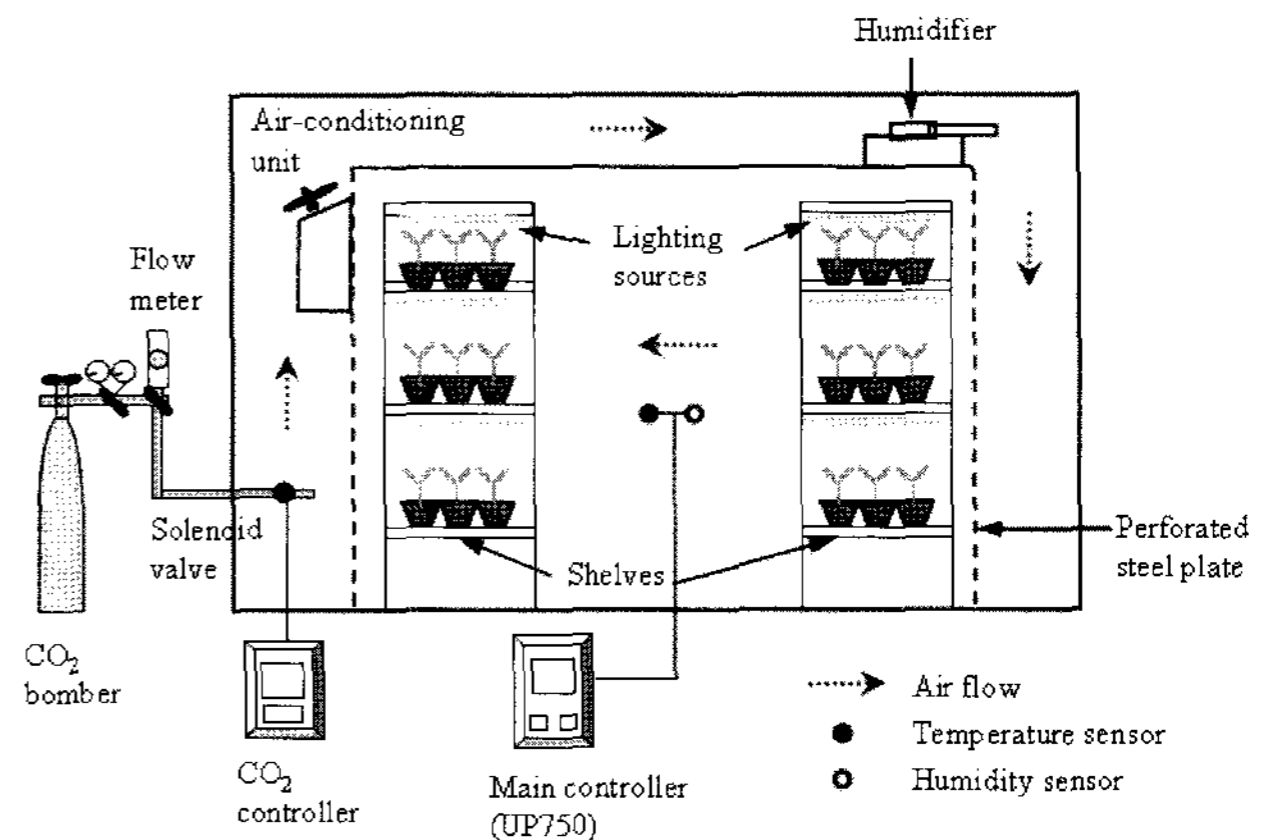


Fig. 1 Schematic diagram of a closed transplants production system developed in this study.

폐쇄형 시스템의 크기는 외부 4900(W) × 4700(D) × 3250(H), 내부 3400(W) × 3200(D) × 2500(H)이며, 벽체로서 폴리우레탄(polyurethane)을 단열재로 충전한 강판을 사용하였다. 시스템 내부에는 크기가 3100(W) × 580(W) × 2400(H)인 다단식 선반을 2조 설치하였다. 인공광원이 설치된 각 선반은 3단으로 구성되며, 상단, 중단 및 하단의 높이는 각각 0.4 m, 0.7 m, 1.18 m이다. 이와 같이 각 단의 높이를 다르게 설정한 것은 각 단에서 요구되는 광강도에 따라 다르게 활용하기 위함이다. 선반의 상단에는 4개의 40 W 형광등(FLR40EX-D/A, Keumho Electric Inc., Korea)을 16 cm 간격으로 배치하였고, 40 W 형광등의 양 끝단 부분에서 부족한 광강도를 보완하고자 20 W 형광등(FL20SEX-D/18, Keumho Electric Inc., Korea)을 1개씩 추가하였다(Fig. 2). 중단과 하단에는 각각 15개의 55 W 2중형광등(DULUXL55W/21-840, OSRAM, Germany)

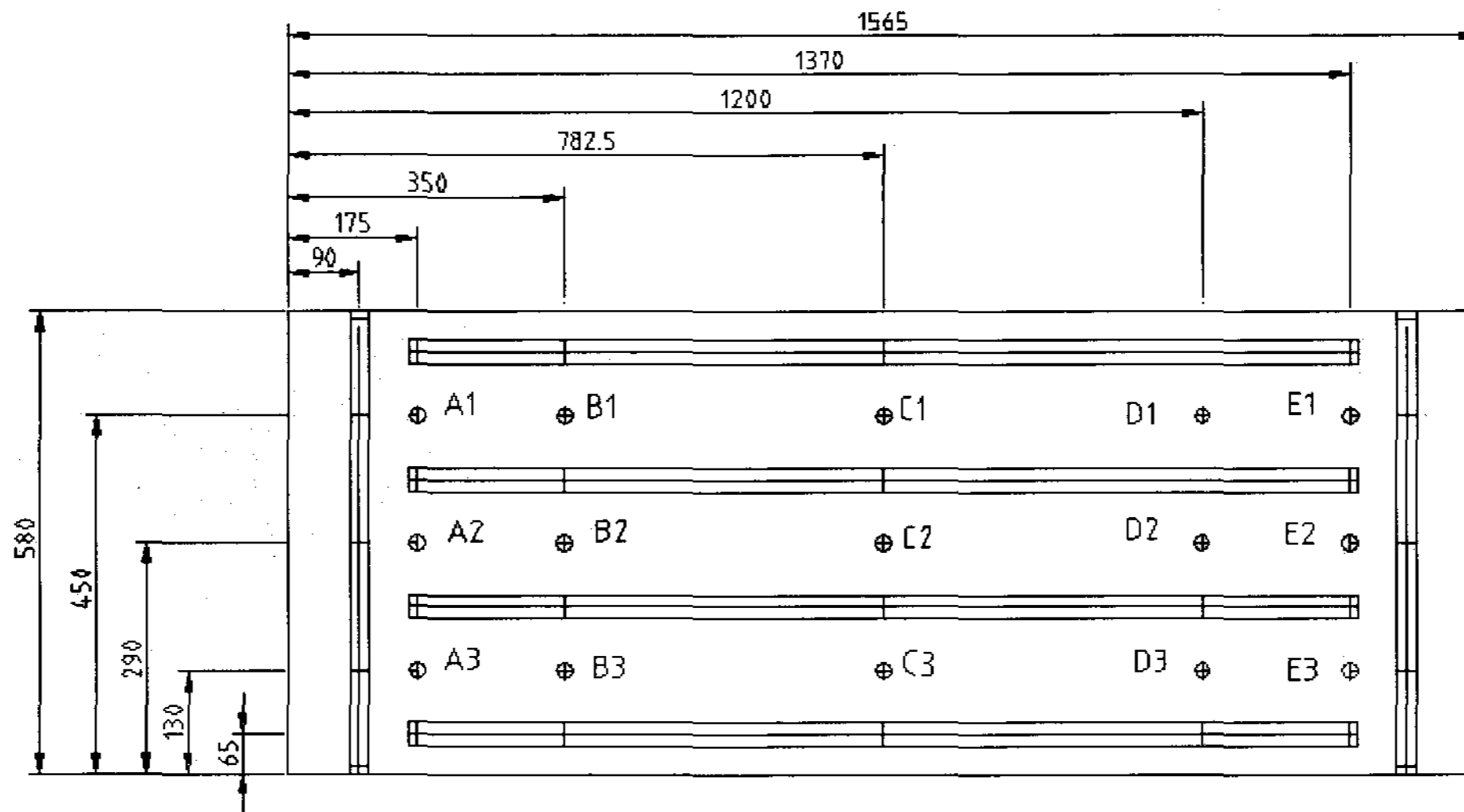


Fig. 2 Measuring points of light intensity under single 3-band fluorescent lamps as artificial lighting sources installed on upper shelves in a closed transplants production system (unit: mm).

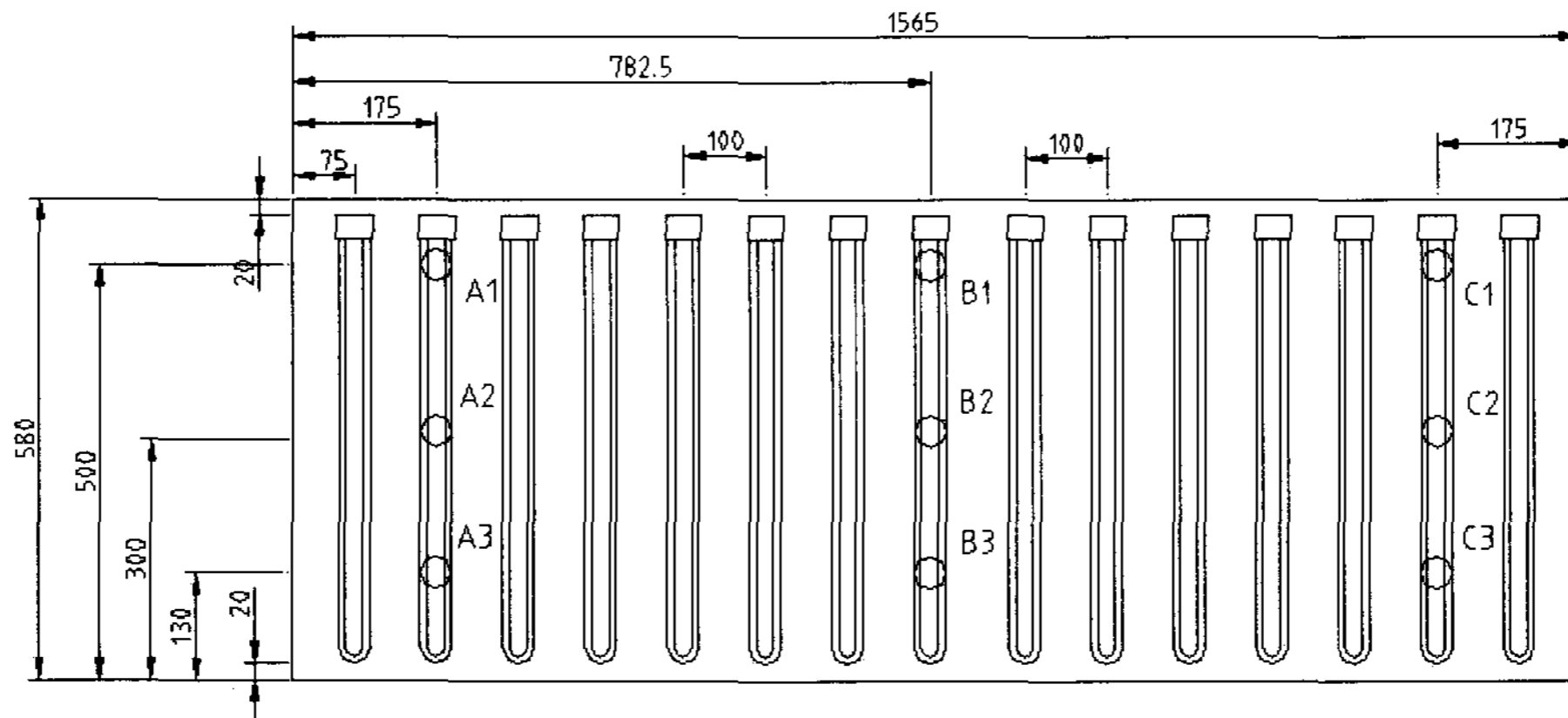


Fig. 3 Measuring points of light intensity under twin 3-band fluorescent lamps as artificial lighting sources installed on middle and lower shelves in a closed transplants production system (unit: mm).

을 10 cm 간격으로 배치하였다(Fig. 3).

폐쇄형 시스템 내의 기온, 상대습도, 광주기를 제어하고자 PID controller(UP750, Yokogawa Electric Co., Japan)를 사용하였다. 공기조화부는 호칭마력이 공랭식 응축기(DCS-030, Donghwa Co., Korea), 유닛쿨러(S-040, Donghwa Co., Korea), 3 kW 용량의 가열기 등으로 구성된다. 가변전압 가변주파수 방식의 인버터(SV-iG5, LS Industrial Systems, Korea)를 유닛쿨러에 부착된 송풍기(직경 450 mm, 풍량 63 m<sup>3</sup>·min)에 연결하고, 송풍기의 회전속도를 조절하는 방식으로 시스템 내의 기류속도를 조절하였다. 온도와 상대습도를 제어하고자 3선식의 백금 측온저항체와 유기고분자 박막 임피던스 변화 검출 방식의 습도센서(CHS-UPS, TDK, Japan)를 사용하였다. 시스템 내부의 기온과 습도 분포를 균일하게 하고자 상부에 공기 순환용 덕트를 설치하고, 덕트의 입구와 출구에 평균

유공비(opening ratio)가 20.9%인 다공철판(perforated steel plate)을 설치하였다.

CO<sub>2</sub> 농도 제어부는 CO<sub>2</sub> 가스분석계(Guardian plus, Topac Inc., USA), 액화 CO<sub>2</sub> gas bomber, 유량계, 전자밸브(AG31, CKD, Japan) 및 CO<sub>2</sub> 농도조절계 등으로 구성된다. 본 연구에 사용된 CO<sub>2</sub> 가스분석계는 비분산 적외선흡수 방식으로서, 측정 범위는 3,000 μmol·mol<sup>-1</sup>±2%이다. 본 연구를 위해 제작된 CO<sub>2</sub> 농도조절계의 특성은 다음과 같다. 측정된 CO<sub>2</sub> 농도의 하한값이 목표값에 비해서 3% 낮을 경우 CO<sub>2</sub> 농도 조절계로부터 제어 신호가 출력되어 액화 CO<sub>2</sub> gas bomber에 연결된 전자밸브를 열어준다. 반대로 CO<sub>2</sub> 농도의 측정의 상한값이 목표값의 3%를 초과할 경우 CO<sub>2</sub> 농도조절계로부터 제어 신호가 출력되어 전자밸브를 닫는다. CO<sub>2</sub> 농도 제어를 위한 목표, 상한 및 하한은 CO<sub>2</sub> 농도 조절계의 메뉴로부터

선택하여 입력할 수 있다. 이 때 CO<sub>2</sub> gas bomber로부터 공급되는 액화 CO<sub>2</sub>의 유량은 5~10 mL·min<sup>-1</sup>이다.

#### 나. 측정 및 방법

##### 1) 기류속도

가변전압 가변주파수 방식의 인버터를 사용하여 폐쇄형 시스템 내의 기류속도를 일정한 크기로 조절하였다. 즉 0~60 Hz의 입력 주파수를 0 Hz에서부터 10 Hz씩 증가시키면서 시스템 내의 기류속도를 측정하였다. 기류속도의 측정 지점은 시스템 내의 좌우 벽면 근처(벽면으로부터 0.4 m 떨어진 지점) 및 중앙의 3개 부위와 폭 방향 단면을 기준으로 각 부위의 수직방향으로 3점(묘 생산 시스템 내의 바닥으로부터 각각 0.4 m, 1.25 m, 2.1 m에 해당되는 높이), 즉 전부 9개 지점이다. 기류속도의 측정에 저속 정밀 측정용 풍속계(6521, KANOMAX, Japan)를 사용하였다.

##### 2) CO<sub>2</sub> 농도

폐쇄형 시스템 내의 기온과 상대습도를 각각 20°C, 70%로 제어하면서 3수준(400, 950, 1,550 μmol·mol<sup>-1</sup>)의 CO<sub>2</sub> 농도를 설정하고 10분 간격으로 CO<sub>2</sub> 농도를 측정하였다. 이때 인버터의 입력주파수는 30 Hz로 설정하였다. 폐쇄형 시스템 내에서 육묘되는 플러그묘의 수관부 근처 2곳에서 샘플링된 공기가 1개의 실리콘 튜브를 통하여 CO<sub>2</sub> 가스분석계를 통과하면서 시스템 내의 CO<sub>2</sub> 농도가 측정된다. 측정된 CO<sub>2</sub> 농도는 계측용 컴퓨터에 데이터 파일로 저장된다.

##### 3) 형광등하에서의 PPF

본 연구에서는 광양자센서(LI-COR, LI-190SA, USA)를 사용하여 형광등으로부터 조사된 PPF를 측정하였다. PPF의 측정지점은 다음과 같다. 40 W 형광등은 다른 종류의 광원에 비해서 램프가 길기 때문에 양 끝 부분에서의 PPF가 중앙에 비해서 매우 낮다. 그러므로 상면에서의 PPF 분포가 불균일하다. 이와 같은 문제점을 해소하고자 램프의 양 끝 부분에 20 W의 형광등을 각 1개씩 추가로 설치하였다(그림 2). 그림에서 측정 위치 A, B, C, D 및 E는 형광등의 좌측 경계, 좌측, 중앙, 우측 및 우측 경계에 해당한다. 각 위치별로 3지점에서 PPF를 측정하였으므로, PPF의 측정 지점은 전부 15점이다. 본 연구에서는 20 W 형광등을 추가로 설치하기 전후의 PPF를 측정하여, 상면에서의 PPF 분포를 비교하였다. 한편 55 W 형광등은 10 cm 간격으로 설치하였고, 3개 위치(A, B 및 C)의 3지점, 즉 9점에서 PPF를 측정하였다. 이 때 형광등과 선반 상면의 거리를 달리하면서 13.5~83.5 cm 범위에서 5

cm 간격으로 상면에서의 PPF를 측정하였다. 측정된 PPF에 대한 등고선 도표는 SigmaPlot V9.01(Systat Software Inc., USA)를 이용하여 작성하였다.

#### 다. 폐쇄형 묘생산 시스템에서 감자 플러그묘의 생산

##### 1) 감자 식물체의 배양

무병 감자(*Solanum tuberosum* L. cv. *Dejima*)의 shoot 생장점을 채취하여 8주간 MS+GA 0.1 ppm에 Kinetin 0.1 ppm이 첨가된 배지에서 배양을 실시한 후 250 mL의 삼각 플라스크를 이용하여 액체 진탕 배양을 실시하였다. 이 때 배양실의 기온은 20°C이고, 연속 조명이 이루어진 배양실의 PPF는 약 40 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>이었다. 다음으로 액체 증식 배양을 위해서 유식물체를 1 cm 정도의 크기로 절단하고 100 mL 삼각플라스크 내의 MS배지(3%의 sucrose를 함유)에 치상하였다. 발근을 목적으로 1.5 cm 정도의 크기로 절단된 유식물을 시험관(직경과 길이가 각각 1.0 cm, 10 cm) 내에서 14일간 배양하였다. 배양 환경은 기온 20°C, 상대습도 60~70%, 광주기 16/8 h(명기 16 h, 암기 8 h), PPF 40 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>이며, 배지에는 100 ppm의 IAA를 첨가하였다.

##### 2) 모주의 생장

시험관 내에서 발근된 감자 배양묘를 육묘용 혼합 배지(BM2, Berger Peat Moss, Canada)가 충전된 50셀의 플러그 트레이(Bumnong Co., Korea)에 이식한 후 약 20일 동안 폐쇄형 시스템에서 관리하면 삼수 채취가 가능한 모주로 생장한다. 이 단계에서의 기온, 상대습도, PPF 및 광주기를 각각 20°C, 70%, 50 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 16/8 h로 제어하였다. 한편 삼수가 절단된 모주를 50 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>의 PPF에서 약 20일 동안 생장시키면 새로운 측지가 발생되어 모주로 활용할 수 있다. 더구나 모주에서 1개의 마디에 잎이 1개 부착된 단절체(single node cutting)를 절단하여 육묘용 혼합배지에 옮겨 심으면 발근과 더불어 새로운 줄기가 형성되기 때문에 보다 많은 삼수를 얻을 수 있다(Kim et al., 2002).

##### 3) 감자 플러그묘의 생산

감자 '대지' 모주에서 삼수를 절단하여 육묘용 혼합 배지가 충전된 50셀의 플러그트레이에 옮겨 심었다. 경삽 후 초기 5일 동안 삼수의 위조를 방지하면서 원활한 발근을 위해 상대습도와 PPF를 각각 90%, 50 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>로 유지하였으며, 6일째부터 양질의 감자 플러그묘를 생산하고자 상대습도를 70%로 낮추고, PPF를 200 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 정도로 증가시켰다. 기온과 광주기가 각각 20°C, 16/8 h로 조절된 조건에서 약 2

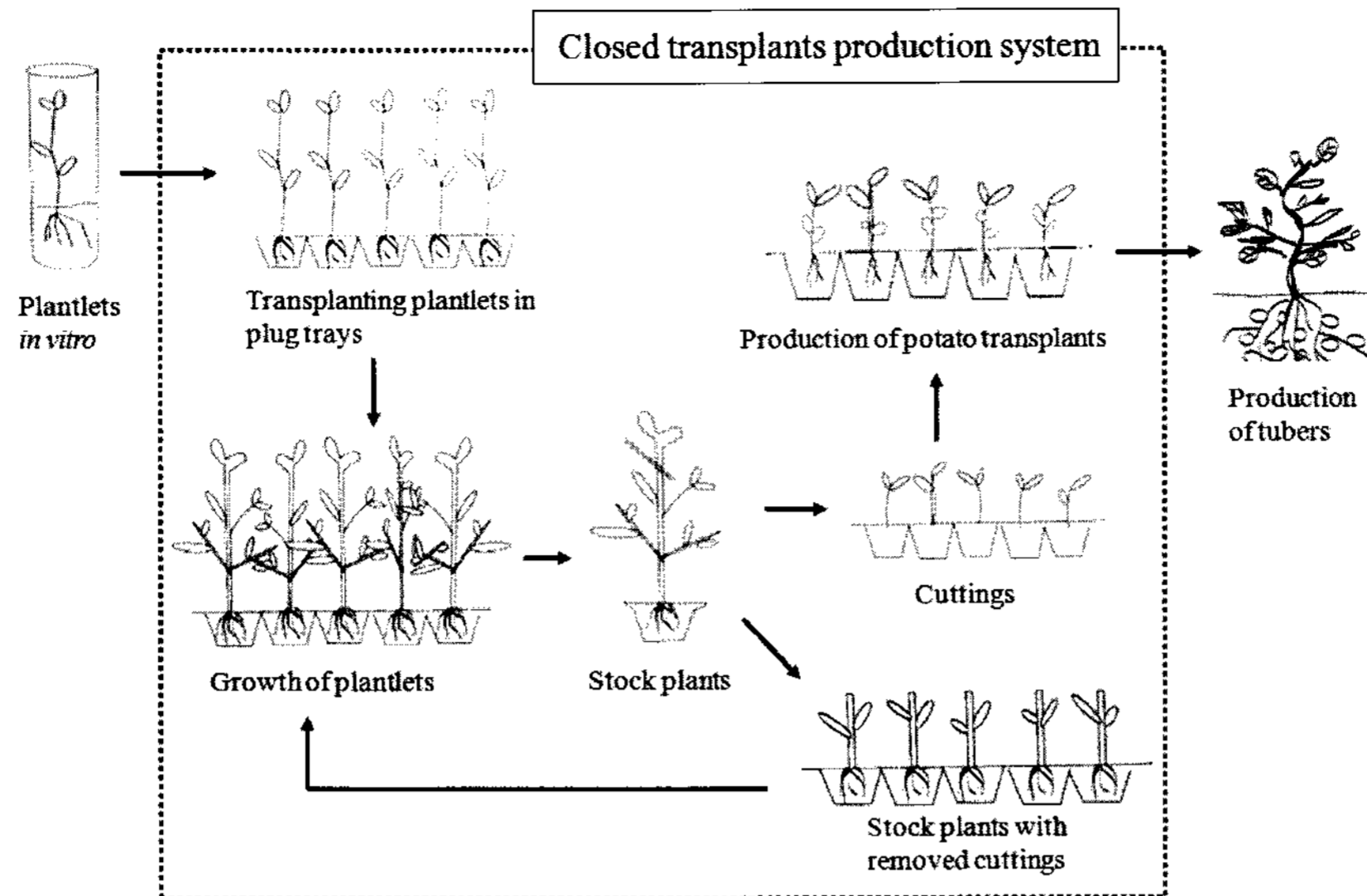


Fig. 4 Schematic diagram of potato transplants production.

주간 육묘된 삽수는 묘소질이 우수한 감자 플러그묘로 완성되며(Fig. 4), 상기 과정을 반복함으로써 감자 플러그묘를 대량으로 생산할 수 있다.

#### 4) 감자 플러그묘의 생장에 미치는 PPF의 영향

경삽 후 초기 5일간 삽수(5주에 대한 평균 생체중과 건물중은 각각  $0.688 \pm 0.187$  g,  $0.062 \pm 0.016$  g)의 위조를 방지하면서 원활한 발근을 위해 상대습도와 PPF를 각각 90%,  $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 유지하였으며, 6일째부터 묘소질이 우수한 감자 ‘대지’ 플러그묘를 생산하고자 상대습도를 70%로 낮추고, PPF를 다르게 처리하였다. 형광등과 상면의 거리를 달리하면서 5수준( $100 \pm 9$ ,  $150 \pm 14$ ,  $200 \pm 17$ ,  $250 \pm 24$  and  $300 \pm 31 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )의 PPF를 처리한 가운데, 경삽 후 6일째부터 ‘대지’ 플러그묘의 생장에 미치는 PPF의 영향을 검토하였다. 이때 기온, 상대습도, 광주기는 각각  $20^\circ\text{C}$ , 70%, 16/8 h로 조절되었다. 경삽 후 14일째에 감자 플러그묘의 초장, 생체중 및 건물중을 측정하고자 처리별로 5주씩 샘플링하였다. 성장량에

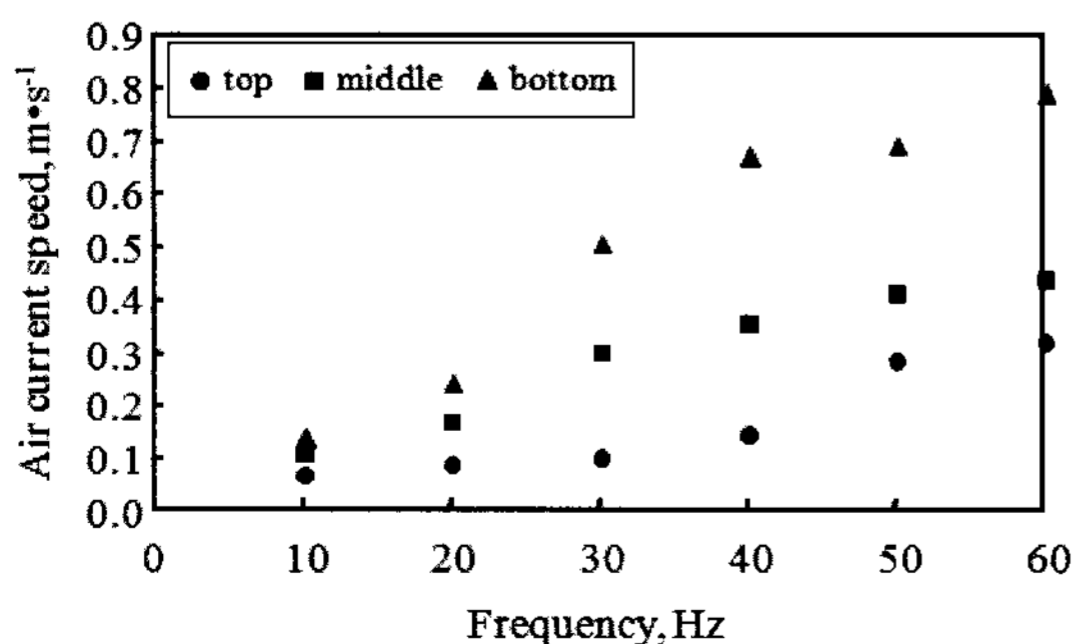
대한 통계처리를 위해서 SAS V9.1(SAS Institute Inc., USA)를 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

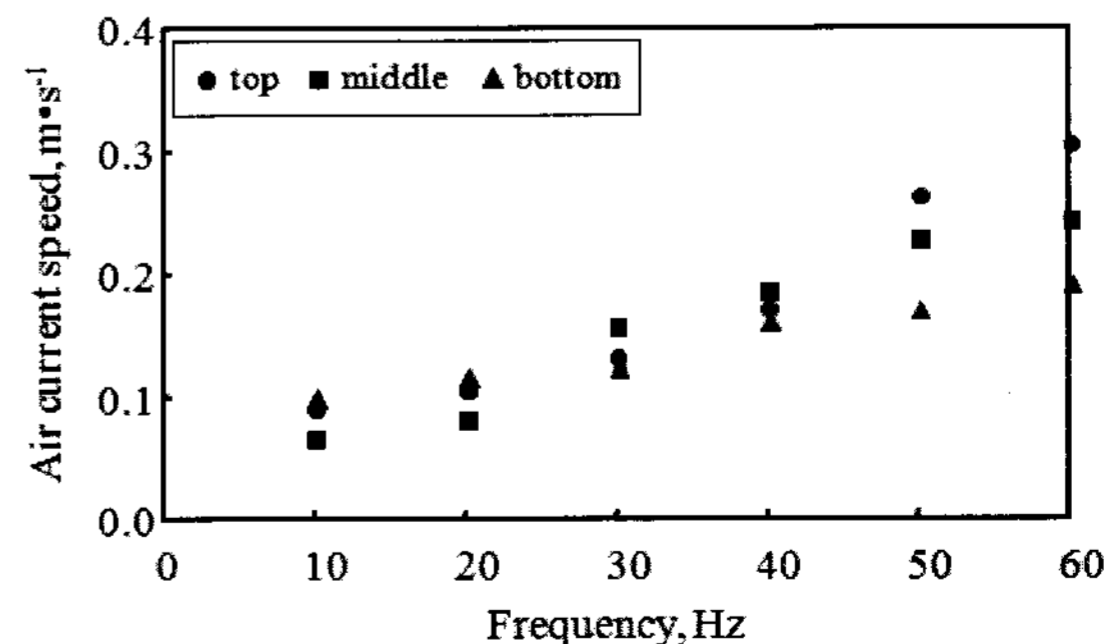
#### 가. 폐쇄형 시스템 내의 기류속도, CO<sub>2</sub> 농도 및 PPF 분포

##### 1) 기류속도 분포

폐쇄형 시스템 내에서 공기 순환용 덕트의 입구와 출구에 설치된 다공철판의 유무에 따른 평균 기류속도 분포는 그림 5와 같다. 인버터 입력 주파수의 증가에 따라 시스템 내의 기류속도가 증가하였다. 다공철판이 설치되지 않은 경우 시스템 내의 기류속도는 바닥 면에서 낮게 나타났고, 상부로 향할수록 기류속도가 증가하였다. 30~50 Hz의 주파수에서 시스템의 상층과 하층에서의 기류속도는 각각  $0.51 \sim 0.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $0.1 \sim 0.29 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로서 높이에 따른 차이가 크게 나타났다. 한편 다공철판이 설치된 경우 시스템 내의 상층과 하층에서의 기류속도는 각각  $0.13 \sim 0.26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $0.13 \sim 0.17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 로서 차이가



(a) Without perforated steel plate



(b) With perforated steel plate

Fig. 5 Air current speed as affected by frequency applied to an inverter in a closed transplants production system.



감소하였다. 결국 다공철판의 설치로 인하여 시스템 내의 기류속도 분포가 균일하게 나타났다. 더구나 다공철판이 설치된 조건에서 시스템 내의 기류속도가 인버터의 입력 주파수에 따라 거의 직선적으로 증가하여 인버터를 이용한 기류속도 제어가 효과적인 것으로 나타났다. 실제로 송풍기의 회전속도는 입력 주파수에 비례하고, 전동기의 고정자 극수에 반비례한다.

2) CO<sub>2</sub> 농도 분포

폐쇄형 시스템 내의 기온과 상대습도를 각각 20°C, 70%로 조절한 가운데 3수준의 설정값에 따라 10분 간격으로 측정된 CO<sub>2</sub> 농도 제어 결과는 그림 6과 같다. 제어 목표를 각각 400, 950, 1,550 μmol·mol<sup>-1</sup>로 설정하였을 때 시스템 내에서 측정된 CO<sub>2</sub> 농도는 각각 409±13, 950±25, 1,550±35 μmol·mol<sup>-1</sup>로 나타났다. 스템 내의 CO<sub>2</sub> 농도를 제어하기 위해서 ON-OFF 식 CO<sub>2</sub> 농도조절계를 제작하여 사용했는데, 측정된 CO<sub>2</sub> 농도가 비교적 균일하게 분포하여 본 연구에서 제작된 CO<sub>2</sub> 농도조절계가 유효한 것으로 판단한다. 일반적으로 식물생산과 관련된 CO<sub>2</sub> 농도를 측정할 때 사용되는 CO<sub>2</sub> 가스분석계의 측정 범위는 2,500~3,000 μmol·mol<sup>-1</sup>이며, 측정 오차는 full scale을 기준으로 ±3~5%에 해당한다.

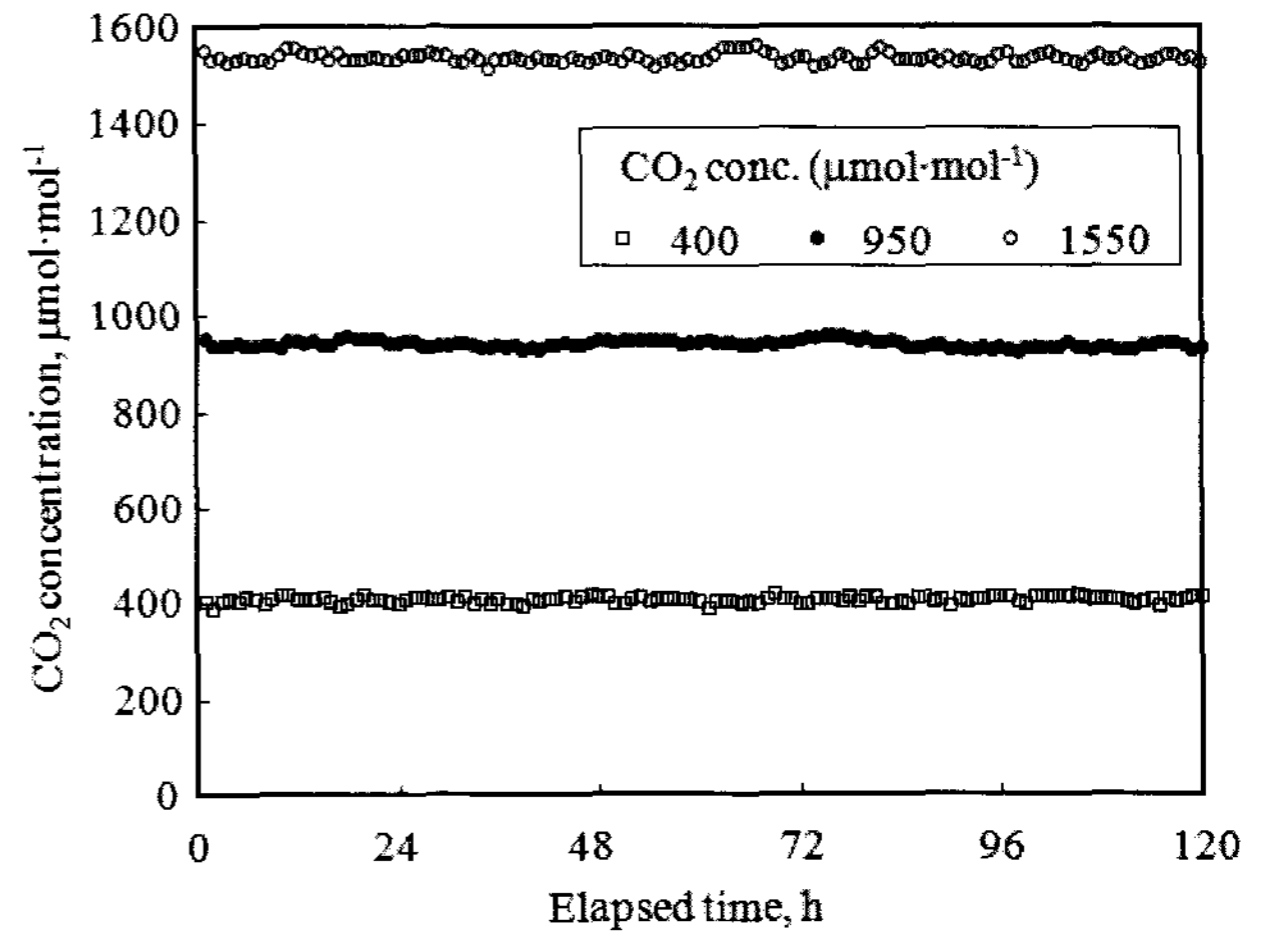


Fig. 6 Variation of CO<sub>2</sub> concentration in a closed transplants production system.

3) 형광등하에서의 PPF 분포

4개의 40 W 형광등만을 설치한 경우에 광원으로부터의 수직거리가 23.5 cm인 떨어진 선반 면에서의 PPF 분포는 그림 7과 같다. 이 경우 선반 중앙부에서의 PPF는 50 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 정도의 최고치가 나타났으나, 양 끝단으로 향할수록 PPF가 급격하게 감소하면서 10 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 이하로 나타났다. 그 결과 양 끝단에서의 PPF는 중앙부에서의 PPF에 비하여 19~

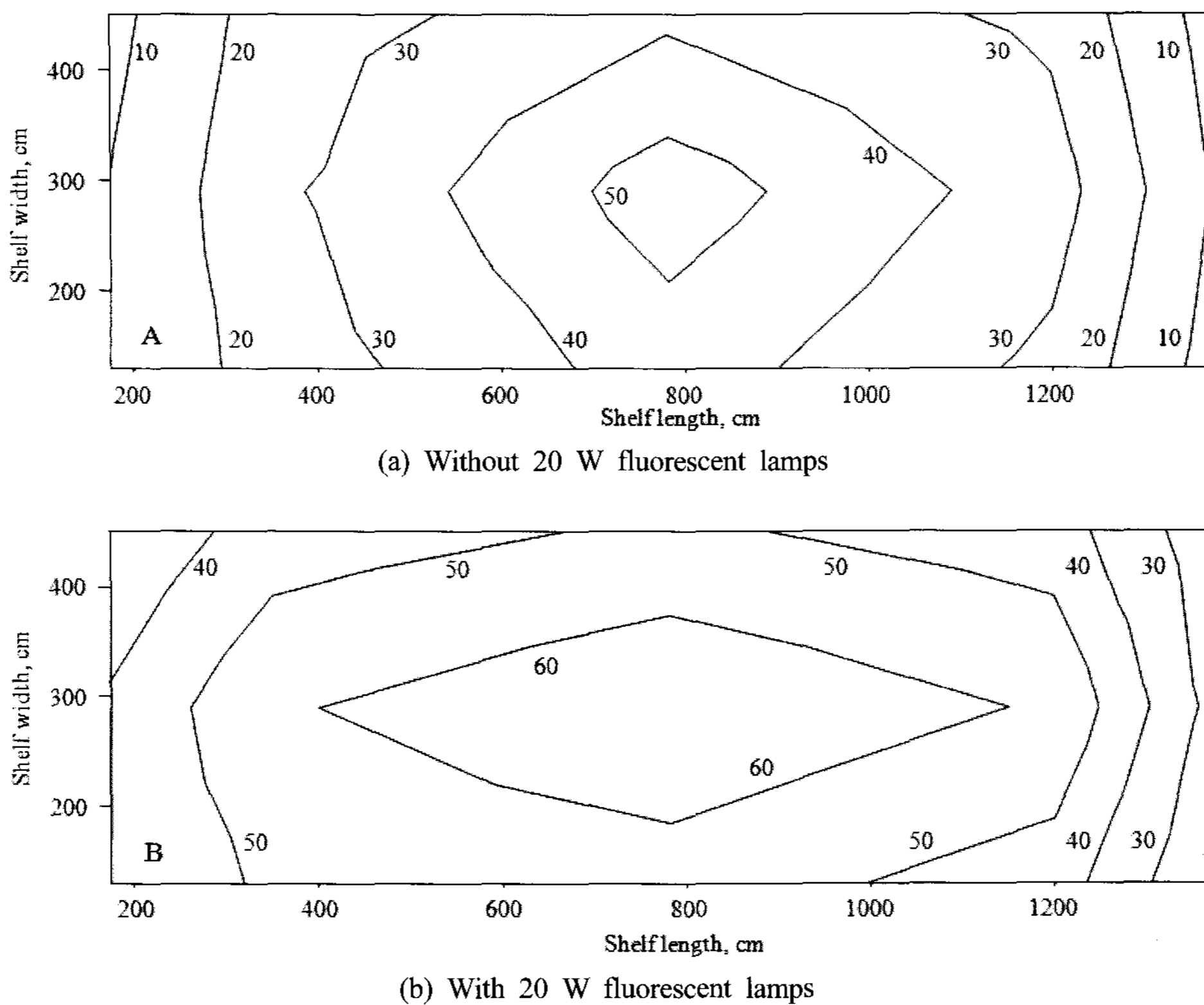


Fig. 7 Contour lines of PPF measured at a distance 23.5 cm apart from 40 W fluorescent lamps without (a) or with (b) 20 W fluorescent lamps. Numbers written in two figures represent PPE (μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>) levels.

26%에 불과하며 형광등의 길이 방향으로 PPF가 불균일하게 나타났다. 이와 같은 PPF의 불균일한 분포로 인하여 동일한 상면에서 성장되는 식물체에서 성장 차이가 나타날 수 있다. 그러므로 이를 해소하고자 40 W 형광등의 소켓 부분에 20 W 형광등을 추가하여 PPF 분포를 측정하였다. 4개의 40 W 형광등의 양 끝단에 20 W 형광등을 각각 1개씩 추가한 경우에 중앙부에서  $60 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  이상의 PPF가 넓게 나타났고, 양 끝단에서의 PPF는  $21\sim 24 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에 이르렀다. 양 끝단에 20 W 형광등의 추가로 말미암아 중앙부에서의 PPF에 대한 양 끝단에서의 PPF가 약 41~65%로서 형광등의 길이에 따른 PPF의 불균일한 분포가 상당히 개선되었다.

55 W의 이중형광등을 그림 3과 같이 설치하고, 형광등으로부터의 수직거리가 각각 28.5 cm, 38.5 cm, 48.5 cm 및 58.5 cm일 때 선반의 길이 방향으로 측정된 3점(A, B, C)에서의 평균 PPF는 그림 8과 같다. 형광등으로부터의 수직거리가 28.5 cm일 때 선반의 길이 방향으로 A와 C점에서의 평균 PPF는 각각  $332\sim 333 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로서, 중앙부에 해당하는 B점에서의 평균 PPF  $455 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 73% 정도이다. 광

원으로부터의 수직거리가 증가할수록 평균 PPF 분포는 줄어들으나, B점에서의 PPF에 대한 A와 C점에서의 PPF가 차지하는 비율은 74~79%로서 거의 일정한 값을 유지하였다. 그러므로 55 W의 이중형광등을 10 cm 간격으로 일정하게 배치할 경우 선반의 중앙부와 좌우측 양단에서의 평균 PPF는 21~27%의 차이가 나타났다.

이중형광등으로부터의 수직거리가 38.5 cm일 때 선반 면에서 측정된 PPF 분포는 그림 9와 같다. 중앙부에서의 PPF가  $362.9 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 최대치를 나타냈고, 양 끝단으로 향할수록 일정한 비율로 감소하였다. 이러한 결과는 형광등을 10 cm의 일정한 간격으로 배치하였기 때문인 것으로 판단되며, 향후 55 W의 이중형광등을 광원으로 사용할 경우 상면에서 일정한 PPF를 얻기 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

#### 나. 감자 플러그묘의 생장에 미치는 PPF의 영향

경상 후 6일째부터 9일간 5수준( $100\pm 9, 150\pm 14, 200\pm 17, 250\pm 24, 300\pm 31 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )의 PPF 처리에 따른 감자 '대지' 플러그묘의 초장, 생체중 및 건물중에 미치는 PPF의 처리 효과가 분명하게 나타났다(Fig. 10). PPF가 증가할수록 초장은 감소하였다. 묘소질이 우수한 식물묘는 마디 간격이 짧고, 적절한 크기의 초장을 갖는다(Styler and Koranski, 1998). 지상부와 지하부의 생체중과 건물중은 PPF가  $250 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에 도달할 때까지 증가하였고,  $300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 PPF에서는  $250 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 경우와 유사하거나 다소 작게 나타났다. 광독립영양배양에 의해서 배양된 감자 소식물체는 PPF가 증가할수록 초장이 감소하였고, 건물중은 증가하였다(Kitaya et al., 1995). 일반적으로 식물체는 광포화점에 도달하기까지 PPF가 증가할수록 광합성속도가 증가하며, 이로 인하여 식물체의 건물중이 늘어난다.

상기의 결과를 고려할 때 기온, 광주기 및 상대습도가 각각

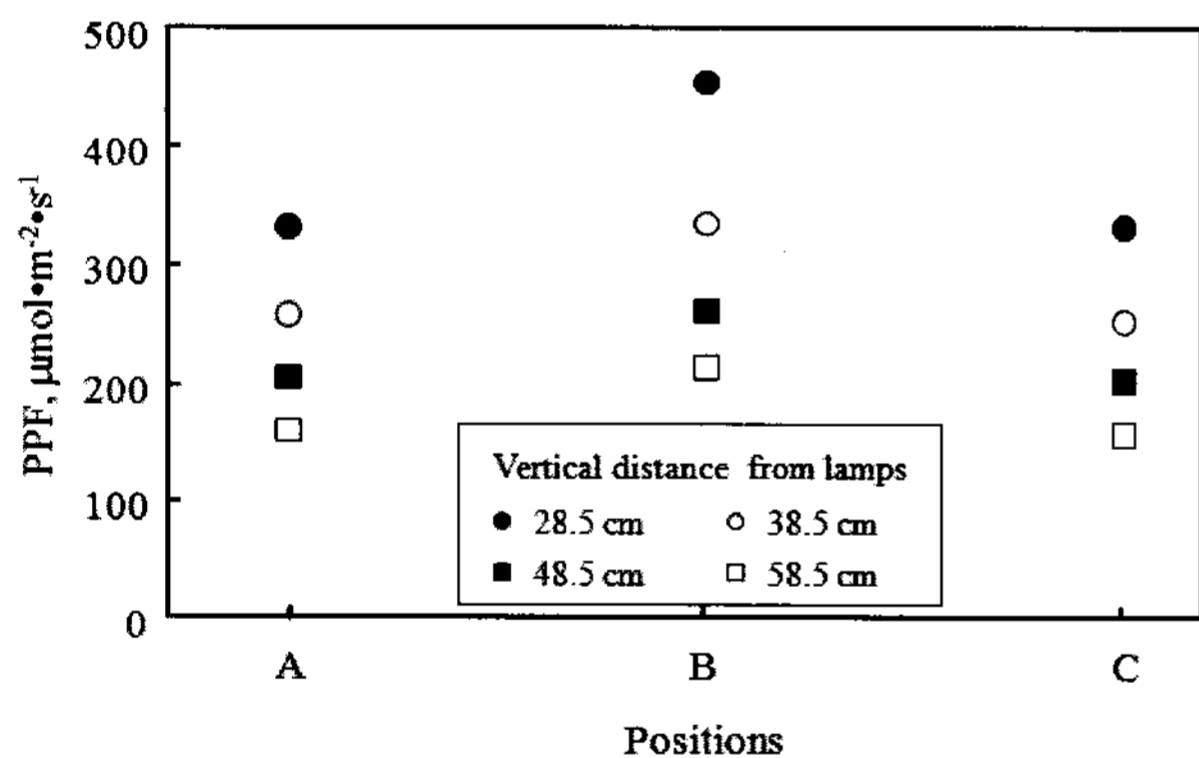


Fig. 8 Average PPF measured at different positions under twin 3-band fluorescent lamps.

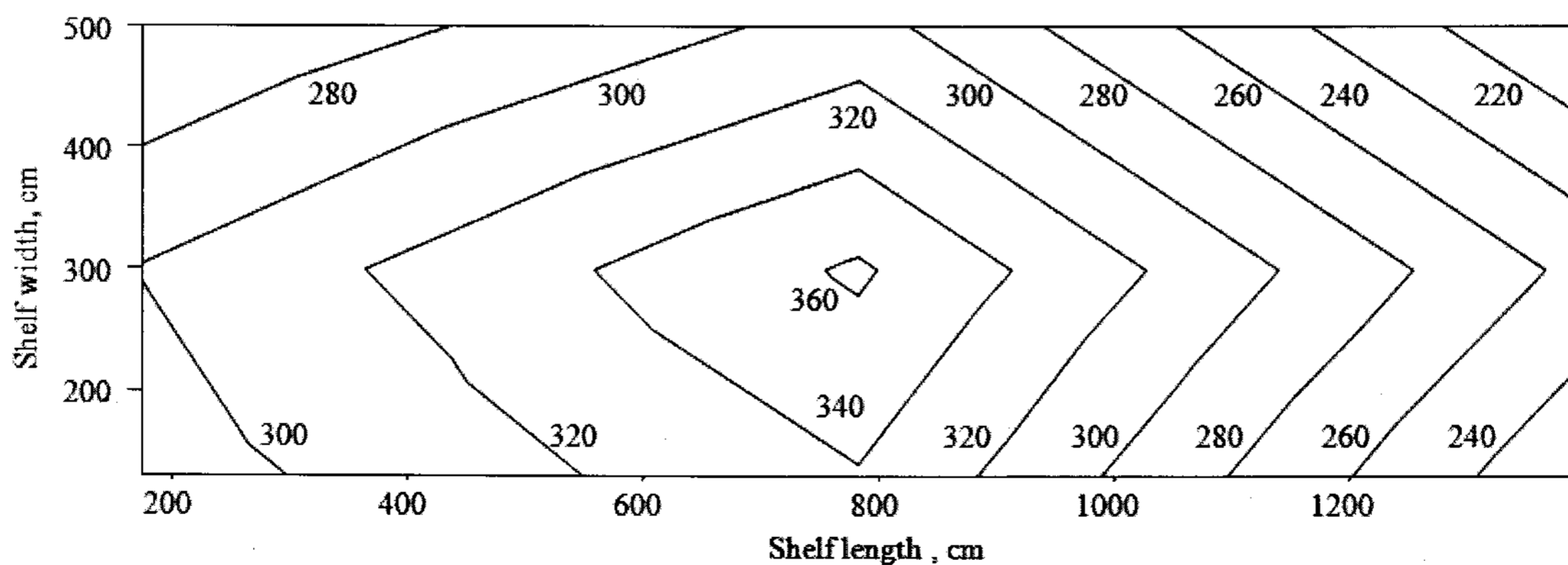


Fig. 9 Contour lines of PPF measured at a distance 38.5 cm apart from twin 3-band fluorescent lamps. Numbers written in a figure represent PPE ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) levels.

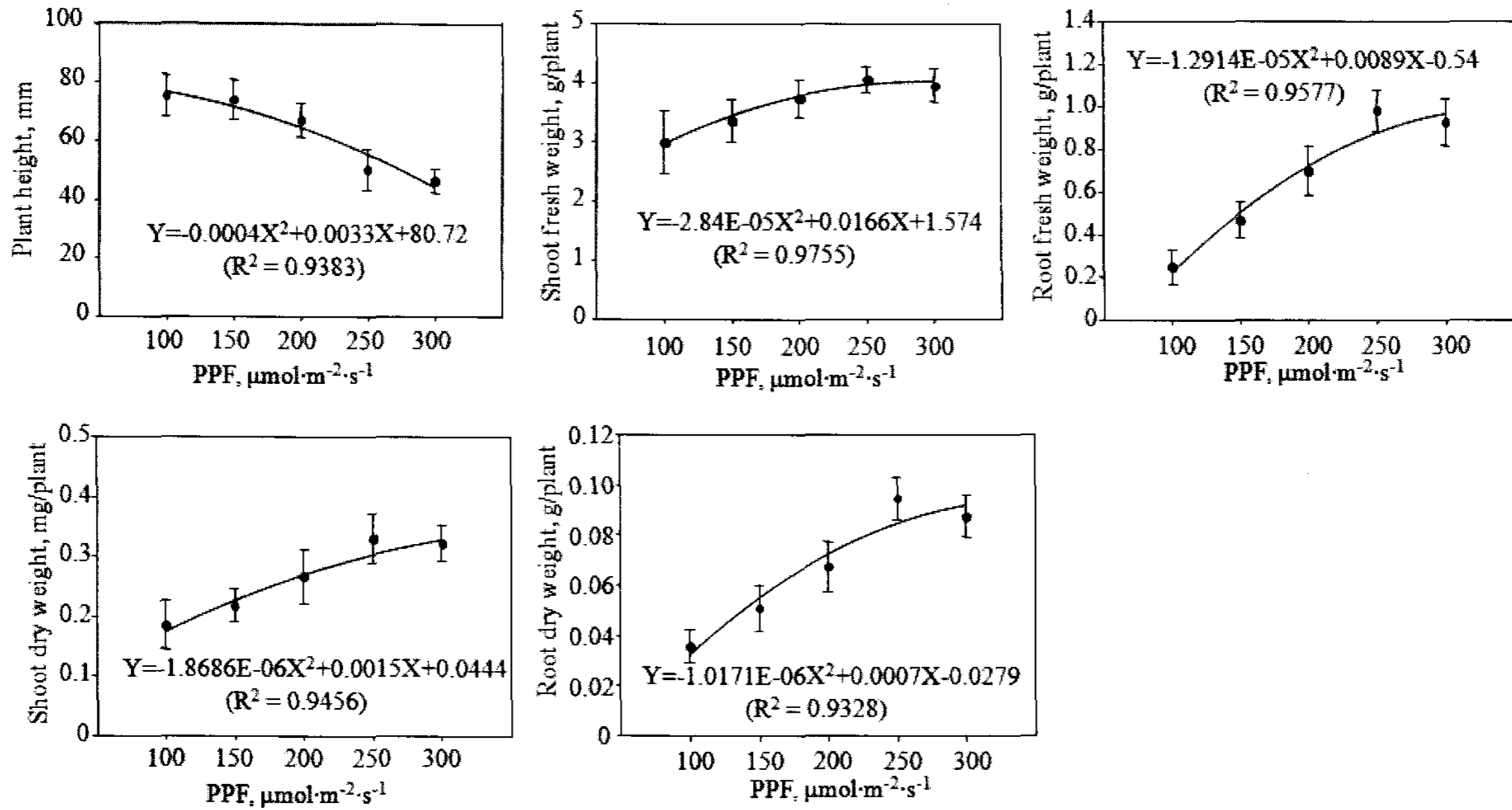


Fig. 10 Plant height, fresh weight and dry weight of potato plug seedlings as affected by photosynthetic photon flux.

20°C, 16/8 h, 70%로 제어되는 조건에서 감자 플러그묘의 생산에 요구되는 적정 PPF는 250~300  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 판단된다. 또한 PPF의 변화에 따른 감자 플러그묘의 초장, 생체중 및 건물중에 대한 회귀분석에서 결정계수가 0.9328~0.9755로 매우 높게 나타났다. 이러한 결과는 폐쇄형 묘 생산 시스템 내의 PPF를 조절함으로써 감자 플러그묘의 초장, 생체중 및 건물중과 같은 묘소질의 제어가 가능하며, 궁극적으로 폐쇄형 시스템을 이용한 우량 식물묘의 생산이 가능함을 뒷받침하는 것이다.

#### 4. 요약 및 결론

묘생산 시스템 내에서 물리적 환경 요소의 불균일한 분포로 인하여 묘 생장의 차이가 나타날 수 있다. 묘소질이 우수한 식물묘를 생산할 수 있는 폐쇄형 묘생산 시스템을 개발하고자 시도된 본 연구에서는 폐쇄형 시스템 내의 기류속도 분포, CO<sub>2</sub> 농도 분포 및 형광등의 배열에 따른 PPF 분포를 분석하였다. 또한 감자 ‘대지’ 플러그묘의 초장, 생체중 및 건물중에 미치는 PPF의 효과를 분석하였다.

폐쇄형 시스템 내의 공기 순환용 덕트에 설치된 다공철판과 공기조화부에 부착된 송풍기의 회전속도 조절로 인하여 시스템 내의 기류속도 분포가 균일하게 나타났다. 시스템 내에서 CO<sub>2</sub> 농도의 제어 목표를 각각 400, 950, 1,550  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 로 설정하였을 때 측정된 CO<sub>2</sub> 농도는 각각 409±13, 950±25, 1,550±35  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 로 나타났다. 측정된 CO<sub>2</sub> 농도가

비교적 균일하게 분포하여 본 연구에서 제작된 CO<sub>2</sub> 농도조절계가 유효한 것으로 판단한다.

4개의 40 W 형광등만을 설치한 경우 선반 중앙부에 비해서 양 끝단에서의 PPF는 19~26%에 불과하며 형광등의 길이 방향으로 PPF가 불균일하게 나타났다. 이를 해소하고자 40 W 형광등의 소켓 부분에 20 W 형광등을 1개씩 추가한 결과 중앙부에서의 PPF에 대한 양 끝단에서의 PPF가 약 41~65%로서 형광등의 길이에 따른 PPF의 불균일한 분포가 상당히 개선되었다. 55 W의 이중형광등을 10 cm 간격으로 배치하고, 광원으로부터의 거리에 따른 PPF 분포를 측정하였다. 광원으로부터의 수직거리가 증가할수록 상면에서의 평균 PPF는 줄어드나, 중앙부에 비해서 양단에서의 PPF가 차지하는 비율은 74~79%로서 거의 일정하게 나타났다. 이러한 결과는 형광등을 광원으로 사용할 경우 상면에서 일정한 PPF를 얻기 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

‘대지’ 플러그묘의 초장, 생체중 및 건물중에 미치는 PPF의 처리 효과가 분명하게 나타났다. PPF가 증가할수록 초장은 감소하였다. 생체중과 건물중은 PPF가 250  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에 도달할 때까지 증가하였다. 따라서 폐쇄형 묘생산 시스템 내의 PPF를 조절함으로써 감자 플러그묘의 초장, 생체중 및 건물중과 같은 묘소질의 제어가 가능할 것이다.

#### 참고 문헌

1. Kim, Y. H. 2000. Application of biotechnology in the field



- of agricultural machinery engineering -Development of closed system for transplant production-. J. of the Korean Society for Agricultural Machinery 25(4):311-326. (In Korean)
2. Kim, Y. H. 2002. Quality improvement of transplants using artificial lighting. Proceedings of the International Symposium on Automation and Mechatronics of Agricultural and Bio-production Systems. pp.522-528, Nov. 3-7, National Chiayi University, Chiayi, Taiwan.
  3. Kim, Y. H. and H. S. Park. 2002. Growth of cucumber plug seedlings as affected by photoperiod and photosynthetic photon flux. J. of Bio-Environment Control 11(1):40-44. (In Korean)
  4. Kim, Y. H., J. K. Kim, S. H. Lee, Y. H. Choi, M. G. Lee and H. J. Kim. 2002. Production of potato transplants under controlled environment. ASAE Paper No. 024114.
  5. Kitaya, Y., O. Fukuda, T. Kozai and C. Kirdmanee. 1995. Effects of light intensity and lighting direction on the photoautotrophic growth and morphology of potato plantlets in vitro. Scientia Horticulturae 62:15-24.
  6. Kozai, T., C. Kubota, C. Chun, K. Ohyama and F. Afreen. 2000. Necessity and concept of the closed transplant production system. In: C. Kubota and C. Chun (eds.) Transplant Production in the 21st Century, pp.3-19, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
  7. Styler, R. C. and D. S. Koranski. 1997. Plug & Transplant Production, pp.241-257, Ball Publishing, Batavia, USA.