

## 슬라이딩식 주간조절장치의 이용효과 Utilization Effect of Sliding Type Crop Row Spacing System

장유섭<sup>1\*</sup> · 김동억<sup>1</sup> · 김현환<sup>1</sup> · 김종구<sup>1</sup> · 유인호<sup>2</sup>

<sup>1</sup>농업공학연구소 생산기반공학과, <sup>2</sup>원예연구소 시설원예시험장

Yu Seob Chang<sup>1\*</sup> · Dong Eok Kim<sup>1</sup> · Hyun Hwan Kim<sup>1</sup>

· Jong Goo Kim<sup>1</sup> · In Ho Yu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Institute of Agricultural Engineering, RDA, Suwon 441-100,

Korea <sup>2</sup>Protected Horticulture Experiment Station, NHRI, RDA,

Busan 618-800, Korea

### 서 론

식물공장은 작물을 공장과 같이 파종에서 수확까지 일괄 자동 생산하는 것이다. 식물공장은 1957년에 덴마크의 크리스텐센농장에서 처음 시작되었으며, 그 후 유럽, 미국, 일본에서 식물공장에 관한 연구가 진행되어 왔다(Benoit 등 1997, Van Henten 1994, Tadashi 1996, Takatsuji 1997). 우리나라에서 양액재배 면적은 1992년 13.2ha에서 2004년 608.6ha로 크게 증가하였으며(농림부 2005), 우리나라에서 식물공장에 관한 기술개발은 연구초기 단계로서 작물재배·주간조절시스템·광원 등과 관련한 연구가 진행되어 왔다(농촌진흥청 2004, Park 등 1999, 장유섭 등 2004).

식물공장의 실용화를 위해서는 파종에서 수확·포장에 이르는 작업기술과 식물공장에 관련된 재배기술과 냉·난방, 습도조절, 광원관리 등 환경제어 기술, 그리고 작물주간조절 기술의 실용화가 이루어져야 한다.

특히 작물이 이동하는 주간조절장치는 작물의 밀식 재배가 가능하고, 작물이 성장함에 따라 주간을 조절하기 때문에 토지이용률이 높고, 연중 계획에 의해 정식과 수확시기를 임의로 조절할 수 있다. 주간조절장치는 식물공장시스템을 갖추기 위해 기본적으로 필요한 장치로 국내에는 농업공학연구소가 개발한 체인식 주간조절 장치(장유섭 등 2004)가 있으나, 주간조절 기술에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 슬라이딩식 주간조절장치를 설계제작하고 잎 상추의 점유폭을 조사

하여 주간조절단계를 설정하고 주간조절성을 검토하였다. 또한 시설원예시험장의 협조로 생산량과 작업시간을 조사하였고, 기계이용 효과를 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 주간조절장치

주간조절장치는 그림 1, 표 1에서 보는 바와 같이 슬라이더와 재배홈통 반출·반입 장치, 배양액공급 및 회수부로 구성되어 있다. 주간조절장치는 4~13단계 조절이 가능하고 재배홈통사이의 간격이 6~28cm범위가 되도록 설계 제작하였다. 슬라이더는 재배홈통을 지지하는 구조로, 재배홈통은 슬라이더 상부에서 미끄러짐 운동을 하도록 제작하였다. 슬라이더의 전후진과 스톱퍼 스윙은 공압실린더에 의해 작동하도록 구성하였다. 또한 배양액은 미세관을 사용하여 각각의 재배홈통에 공급하도록 하였으며, 잉여배양액은 회수 물받이에 의해 배양액 공급장치로 회수되도록 하였다.

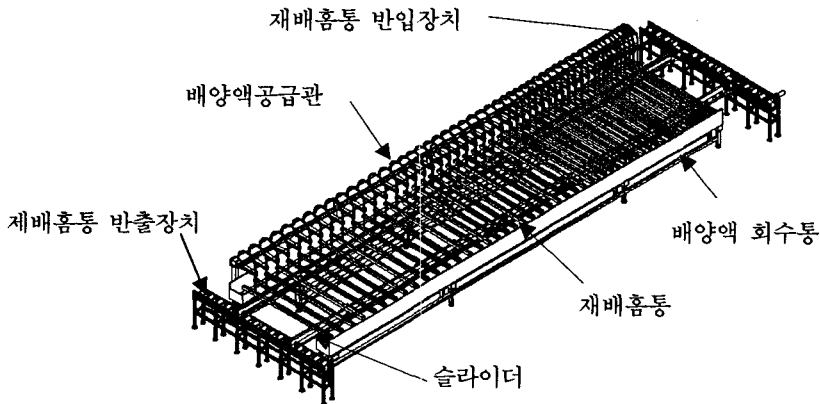


Fig. 1 Figure of row-spacing system.

Table 1 Specification of the row-spacing system.

| Item                    | Specification                        |
|-------------------------|--------------------------------------|
| Size(L×W×H, cm)         | 1100×2800×120                        |
| Stage of row-spacing    | 4~13 stages possible                 |
| Distance between troghs | 6~28cm                               |
| Controllor              | K7M-DR30S, logic controllor (LS co.) |

## 2. 시험장치 및 방법

배양액을 공급하는 미세관의 공급 유량을 측정하기 위하여 배양액 공급 튜브별로 공급유량을 측정하였다. 배양액 공급 및 회수장치는 그림 2에서 보는 바와 같이 배양액 컨트롤러와 공급 및 회수펌프, 배양액공급 미세관 및 회수로 등으로 구성되어 있으며, 각 튜브별로 공급되는 유량은 250ml의 비이커에 받아 2kg용 디지털 저울로 측정하였고 5회 반복 실시하였으며, 분당 유량으로 환산하였다.

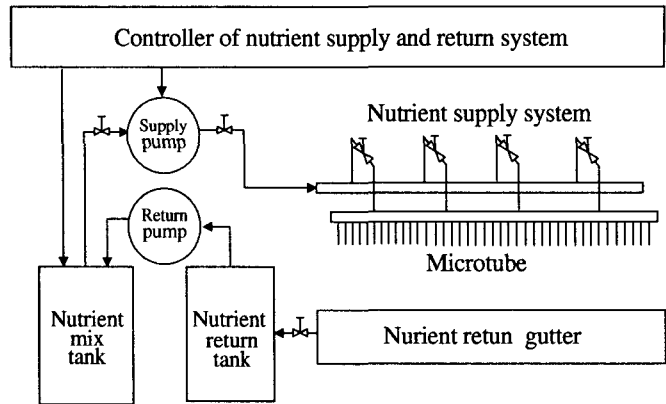


Fig. 2. Schematic diagram of nutrient supply and return system.

주간조절장치의 배양액 공급은 AMI-900(Volmatic co.)를 사용하였으며, 5분 간격으로 3분간 급수하였다. 배양액은 야마자키 상추배양액으로 조성하였으며, EC는 1.2~1.4mS/cm의 범위로 제어하였다. 2003년 3월에서 6월에 재배한 잎 상추인 청치마상추의 작물점유폭을 측정하고 생장곡선을 구하여 슬라이딩식 주간조절장치의 주간조절단계를 설정하였다.

주간조절 장치의 성능시험은 정식된 재배흙통을 주간조절 장치에 입상시킨 후에 전진과 주간간격조절 및 후진이 자동으로 작동되도록 설정하고 주간조절성을 측정 검토하였다. 실험은 3회 반복 정식한 후 재배흙통의 중앙에서 중앙선까지의 거리를 측정하여 평균하였다.

주간조절장치의 생산효율성을 검토하기 위하여 2004년 시설원예시험장에 설치한 주간조절 장치와 박막수경재배, 토양재배방식과의 생산량과 작업시간을 시설원예시험장의 협조로 조사하였다. 또한 주간조절장치를 이용하게 됨으로써 발생하는 손실적 요소와 이익적 요소를 부분 예산법에 의해 시산하여 기계이용의 효과를 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 배양액 공급튜브별 유량

배양액 공급튜브별 유량을 측정하기 위하여 배양액공급압력 0.04~0.32kg/cm<sup>2</sup>범위에서 5등분하여 배양액을 공급하였다. 46개의 각 공급튜브별 공급량 변화를 측정한 결과는 그림 3에서 보는 바와 같이 배양액공급관의 압력이 낮을수록 공급튜브별로 공급량의 분포는 고른 것으로 나타났으며, 배양액 공급압력이 0.31kg/cm<sup>2</sup>이상에서는 압력이 증가하여도 압력에 따른 공급량 변화는 없는 것으로 나타났다.

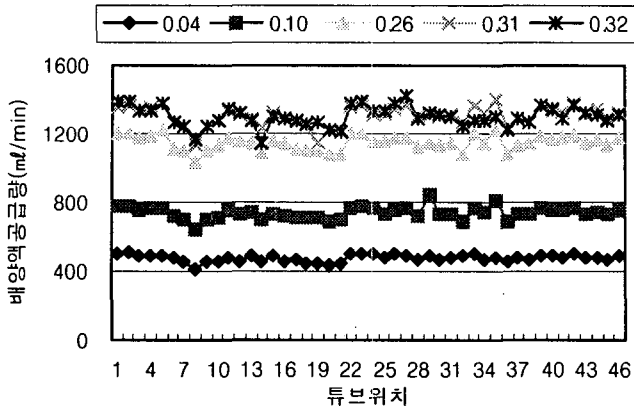


Fig. 3. Variations of nutrient supply volume by position of microtube.

## 2. 식물생산공장용 주간 조절단계설정

주간조절단계를 설정하기 위하여 3월에서 6월에 재배한 잎 상추인 청치마상추의 작물점유폭을 측정하고 성장곡선을 구하였다. 그림 4는 정식후 수확할 때까지의 성장일별 작물폭을 측정하여 작물폭을 근거로 한 성장곡선이다. 작물폭에 의한 성장곡선은 지수함수로 표현되며  $y = 6.7472e^{0.0843t}$  ( $r^2 = 0.9641$ ), 이식으로 생육일수에 따른 잎상추의 작물폭을 예측할 수 있다.

표 2에서 보는 바와 같이 예측모델에 의한 계산 값을 기간이 일정하게 배분되도록 조정하였다. 이 조정값과 실제 설치한 값이 차이가 발생한 것은 재배함통의 폭이 6cm이고 재배함통의 재식포트 삽입구멍이 지그재그형으로 배치됨에 따라 재배함통의 간격을 좁혀서 더 많은 작물이 입식되도록 주간조절간격을 배치했기 때문이다.

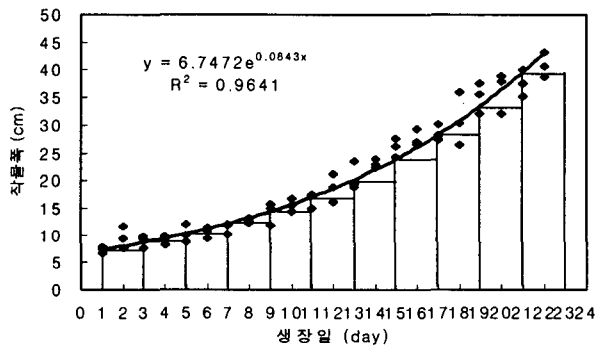


Fig. 4. Growth curve by growing days (leafy lettuce : cheongchima).

Table 2. Row-spacing distances of growth curve and adjusted value

| Stages             | 1 | 2   | 3   | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   |
|--------------------|---|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Growing day        | 0 | 1   | 3   | 5    | 7    | 9    | 11   | 13   | 15   | 17   | 19   |
| Growing curve(cm)  | 6 | 7.3 | 8.7 | 10.3 | 12.2 | 14.4 | 17.1 | 20.2 | 23.9 | 28.3 | 33.5 |
| Adjusted value(cm) | 6 | 7   | 8   | 10   | 12   | 14   | 17   | 20   | 24   | 28   | 34   |
| Actual value(cm)   | 6 | 6   | 6   | 8    | 10   | 13   | 16   | 19   | 22   | 26   | 34   |

### 3. 주간조절성

주간조절장치의 조절성능은 표 3에서 보는 바와 같이 1~3단계의 오차는 0.03~0.05cm, 4,5단계는 0.02~0.07cm, 6~9단계는 0.05~0.15cm로 나타났다. 편차가 다소 있는 곳은 주간조절러그와 위치고정러그의 설치 편차에 의해 발생한 것이다. 따라서, 주간조절장치의 설계량과 실측량 간의 편차는 0.03~0.15 범위로 거의 무시할 정도로 적게 나타났으며, 그림 5와 같이 주간조절이 매우 우수한 것으로 나타났다.

Table 3. The troughs distance row-spaced by the row-spacing system

| Stage                             | 1    | 2    | 3    | 4    | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10   | 11   |
|-----------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| Row-space(cm)                     | 6    | 6    | 6    | 8    | 10    | 13    | 16    | 19    | 22    | 26   | 34   |
| Average of measuring distance(cm) | 6.03 | 6.05 | 6.03 | 7.93 | 10.02 | 13.07 | 16.15 | 19.07 | 21.95 | 26.0 | 34.0 |

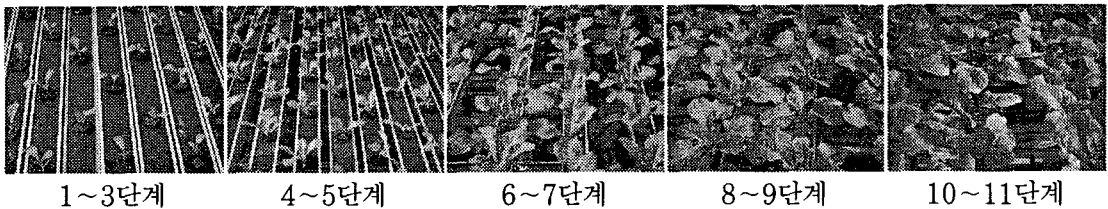


Fig. 5. Figure of the troughs row-spaced by the row-spacing system

### 4. 상추생산량과 작업시간

주간조절장치의 생산효율성을 검토하기 위하여 토양재배, 수경재배와의 상추생산량과 작업시간을 비교하였다. 그 결과 그림 6, 7에서 보는 바와 같이 매일 파종, 정식, 수확이 이루어지는 식물공장(주간조절장치)가 생산량이 36,584kg/10a로 가장 많았으며, 그 다음은 박막수경재배가 18,052kg/10a이었으며, 토경재배가 11,709kg/10a로 가장 적었다. 작업시간에 있어서는 토양재배, 식물공장, 수경재배방식 순으로 나타났다.

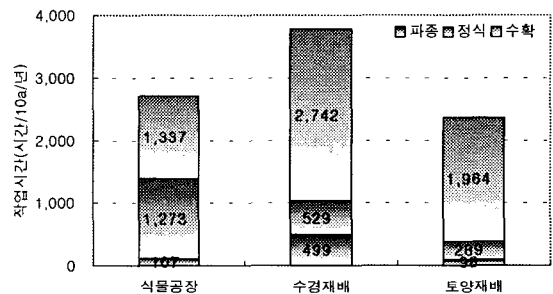
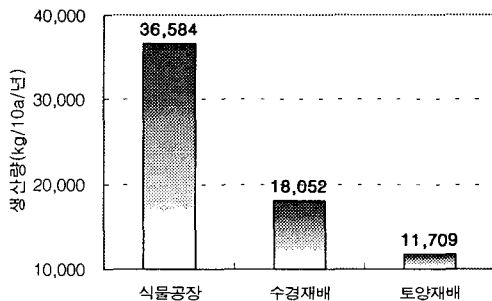


Fig. 6 Yield by cultivation method.

Fig. 7 Working hours by cultivation method.

## 5. 기계이용 효과

주간조절장치를 사용하게 됨으로써 발생하는 손실적 요소와 이익적 요소로하여 추정수익액을 산정한 결과 표 4에서와 같이 기계적 비용증가가 18,210,295원인 반면, 증가되는 수입이 노동력 감소에 의해 발생하는 비용 5,001,618원, 생산량 증가에서 발생하는 증가액 19,983,564원으로 6,774,887원의 수익이 증가하는 것으로 분석되었다.

Table 4. Estimated incomes of raising seedlings (unit : 10a)

| 손실적요소(B)                            | 이익적요소(A)  |
|-------------------------------------|---|
| ○ 증가되는 비용<br>-기계적 비용증가 : 18,210,295 | ○ 증가되는 수입<br>- 노동력감소 : 5,001,618<br>- 생산량증가액 : 19,983,564 |
| ○ 추정수익액 (A-B) : 6,774,887           |   |

※ 상추 kg당 가격 : 1107원, 연간 생산량 : NFT 18,052kg, 주간조절 : 36,584kg  
연간 작업시간 : NFT 3,770시간, 주간조절 : 2,717시간

## 요약 및 결론

본 실험은 슬라이딩식 주간조절장치의 주간조절단계를 설정하고 주간조절성을 검토하고 기계이용 효과를 분석하고자 하였다. 시험 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 46개의 각 공급튜브별 공급량 변화를 측정한 결과, 배양액공급관의 압력이 낮을수록 공급튜브별로 공급량의 분포는 고른 것으로 나타났다.
2. 주간조절장치의 설계량과 실측량 간의 편차는 0.03~0.15 범위로 거의 무시할 정도로 적게 나타나 주간조절이 매우 우수한 것으로 나타났다.
3. 재배방식별 생산량은 식물공장(주간조절장치)가 36,584kg/10a로 가장 많았으며, 그 다음은 박막수경재배가 18,052kg/10a이었으며, 토경재배가 11,709kg/10a로 가장 적었다. 작업시간에 있어서는 토양재배, 식물공장, 수경재배방식 순으로 나타났다.
4. 주간조절장치를 이용를 사용하게 됨으로써 발생하는 기계이용 효과는 10a당 6,775천원의 수익이 증가하는 것으로 분석되었다.

## 인 용 문 헌

1. 농림부. 2005. 2004 채소재배용 온실현황.
2. 농촌진흥청. 2004. 신선엽채소 주년안정생산을 위한 식물생산공장시스템 개발.

3. 장유섭, 송현갑, 김동억. 2004. 식물공장용 체인 컨베이어식 작물 조간조절장치 개발. 한국생물환경조절학회 13(2) : 90-95.
4. Benoit, F. 1997. The Mobil Gully System (MGS) for leafy vegetables and herbs. In: Technical communications. Belgium: European Vegetable R&D Centre, February 1997. 4p
5. Park, M. H. and Y. B. Lee. 1999. Effects of Light Intensity and Nutrient Level on Growth and Quality of Leaf Lettuce in a Plant Factory. J. Bio-Environment Control 8(2) : 108-114
6. Tadashi Takaura. 1996. State-of-the-art factory-style plant production systems. In: Practical plant factories toward the 21<sup>st</sup> century. Korea: Korean Society for Bio-Environment Control. p3-10.
7. Takatsuji Masamoto. 1997. Handbook of plant factory, 1st ed. Japan: Tokai University Press. p 3-9. (in Japanese)
8. Van Henten, E. J. and G. Van Straten. 1994. Sensitivity analysis of dynamic growth model of lettuce. J. Agric. Engng. Res. 59: 19-31.