

식물공장의 작물조건조절시스템 개발(2)

- 주간조절시스템 성능검정-

Development of a Row Spacing System for Plant Factory(2)

- Performance Test of Row-Spacing System-

장유섭* 송현갑** 김동역*
정회원 정회원 정회원
Y. S. Chang H. G. Song D. E. Kim

1. 서 론

식물공장의 작물재배시스템은 종자가 파종되는 우레탄 큐브, 재배용 포트와 재배홈통으로 조합된 재배자재, 조건조절장치, 재배홈통에 배양액을 공급하는 양액공급장치로 구성되며, 미세관에 의해 배양액이 재배홈통으로 개별 공급되는 방식으로 작물이 재배된다. 미세관에 의해 공급된 양액은 재배홈통을 거쳐 재회수되어 배양액의 농도가 재조절 되어 공급되는 완전 순환식 양액재배방식이 채택되고 있다.

이러한 것은 식물공장에 관한 연구로 많이 수행되었으며, 작물이 재배되는 동안 실내 온도, 광, 탄산가스 등 지상부 환경, 액온과 배양액농도 등 지하부 환경관리도 저에너지와 저비용에 관련하여 많은 연구가 수행되고 있다. 국내에서는 온실환경관리에 관한 많은 연구가 수행되어 왔으나, 식물공장에 사용되는 재배홈통과 재배홈통재배연구가 거의 수행된 바가 없다.

따라서 본 연구에서는 식물공장용으로 개발된 작물조건조절장치에서 재배홈통으로 상추를 시험 재배하여 NFT재배와 성장정도, 수확량을 비교 검토하여 조건조절장치와 재배홈통의 재배성능을 검증하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험장치

조건조절장치의 재배성능을 검정하기 위하여 그림 1과 같이 측정기기를 설치하여 실험하였다. 실험에서 온도, 습도, 일사 등의 기상측정용 기기와 배양액의 pH, EC, 액온 등의 측정용 기기를 설치하여 상추를 재배하는 기간동안의 온실내의 기상과 배양액의 변화를 측정 분석하였다.

+ 이 연구는 1996~1999년 농림부 농림기술관리센터 연구비로 수행된 것임

* 농업기계화연구소 생물생산기계과, ** 충북대학교 농과대학 농업기계공학과

나. 실험방법

(1) 공시재료

조간조절장치에서 작물을 재배하기 위하여 농업기계화연구소 유리온실에서 '99. 9~10월 기간동안 재배시험을 하였으며, 재배품종은 청치마이다.

(2) 측정장치

재배기간동안 온실의 지상부 환경을 측정하기 위하여 그림 1에서 보는 바와 같이 온·습도, 일사센서를 온실에 설치하였다.

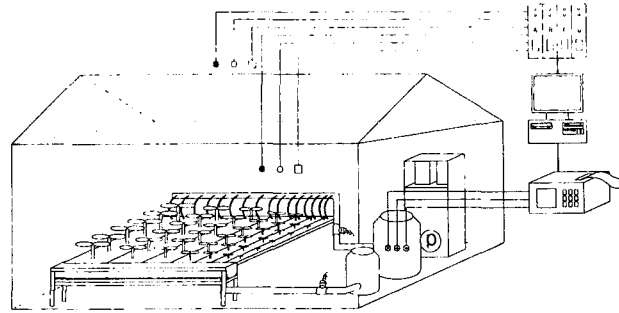
(3) 배양액 공급장치

조간조절장치에서 배양액 작물재배를 위하여 사용된 배양액 공급장치는 농업기계화연구소에서 '98에 개발한 것으로 공급시간, pH, EC, 수위, 배양액 공급 및 회수 등의 기능이 있으며, 주요시스템의 구조와 측정장치의 제원은 그림 2에서 보는 바와 같다.

이 배양액 주제어장치인 마이크로 컴퓨터는 Chips & Technology사의 F8680ACPU를 탑재한 16bit의 TUR-PC86 보드가 사용된 것이다. 조간조절장치의 trough에 공급되는 배양액의 농도는 EC 1.2mS/cm, pH는 6.2로 조성하도록 설정하였고, 배양액의 농도측정은 pH로 측정범위가 0~14pH(FS 0.35)인 SD-10G센서와 DPH-1전송기와 EC는 측정범위가 0~5mS/cm(FS 0.05)인 SCF-01A센서와 DCF-1전송기가 사용되었다.

(4) 성장조사방법

상추의 생산량은 조간조절장치와 NFT재배에 45주씩 상추를 정식하고 45주를 수확하여 전체무게를 측정하였으며, 이때에 작물 폭, 엽장, 엽폭, 엽수 및 엽중 등 성장정도를 조사하여 작물조간조절장치와 NFT재배를 상호비교였다.



- : Temperature sensor
- : Relative humidity sensor
- : Radiation sensor
- ⊕ : Temperature sensor
- ⊗ : EC sensor
- ⊙ : pH sensor
- A : Data logger (LI-1000)
- B : Data logger (HOBO)
- C : EC meter (CM-11P)
- D : pH meter (HM-11P)

(Glasshouse : height 4.5 * width 7 * wall height 3 m)

Fig. 1. Schematic diagram of the glasshouse instruments used for cultivation experiment

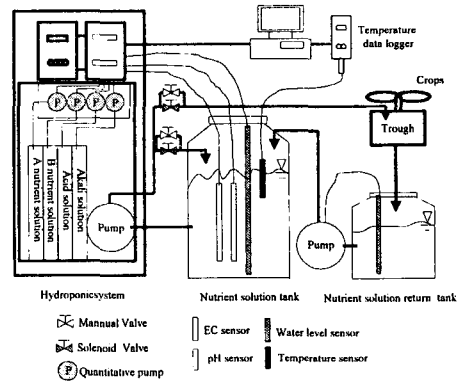


Fig. 2. Schematic diagram of the hydroponic unit.

3. 결과 및 고찰

가. 상추생장시험

작물조간조절장치의 작물재배 적응성을 검정하기 위하여 9월말에 정식한 청치마상추를 10월 10일 조간조절장치로 옮겨 재배하기 시작하였다. 작물조간조절장치의 이송은 조간조절장치의 1단계에 재배용통을 5개씩 투입하여 작물이 성장함에 따라 3~4일 주기로 조간조절을 하였다.

그림 3, 4에서 보는 바와 같이 작물이 자람에 따라 1단계에서 4단계로 상추가 이송되어 수확시기에 이르는 것을 볼 수 있다. 상추의 주간은 설계 제작된 값으로 정확하게 잘 조절되었다



Fig. 3. View of the experiment of cultivating leaf lettuce



(a) 1st stage (b) 2nd stage (c) 3rd stage (d) 4th stage

Fig. 4. View of the cultivation experiment with the row-spacing control system

나. 온·습도 및 일사변화

그림 5에서 보는 바와 같이 수확시기의 기온변화는 3.5~24℃로 온도가 매우 낮으며, 이 기간동안의 실내온은 주간 14~30℃, 야간의 온도는 4~12℃범위에서 변화하여 주간에는 상추적온관리 10℃이상을 유지하는 데에 큰 영향을 미치지 않

았으나 야간에는 다소 온도가 낮은 것으로 나타났다.

외부 상대습도는 야간에는 주간에는 20~45%RH, 60~95%RH이상이었으며, 온실내 상대습도는 주간에는 25~55%RH, 야간에는 65~95%RH 범위에서 변화하여 외기보다 다소 높게 유지되었다.

외부 최대순간 일사량은 400~800W/m² 범위에서, 온실내 최대 일사량은 250~550W/m² 범위에서 변화하였다.

다. 배양액농도와 온도변화

작물조간조절장치의 재배흡통에 공급되는 배양액의 농도는 EC1.2mS/cm, pH6.2로 설정하여 재배작물에 배양액을 공급하였으며, 설정값과 재배흡통에 공급되는 배양액의 농도와 온도를 측정된 결과는 그림 6, 7에 나타내었다.

그림 6에서 보는 바와 같이 야간의 기온이 낮아져 10℃까지 하강하였으며, 배양액온도는 기온하강에 따라 점차 낮아져 히터 설정온도인 18℃까지 하강하다 해가 뜨기 시작하면서 상승하는 기온의 영향으로 배양액의 온도가 상승하였다. 측정된 시간대에서 배양액온도는 18℃~24℃범위에서 점차 상승하다가 하강하는 경향을 보여 히터의 배양액의 온도설정값보다 높게 나타났다.

그림 6에서 보는 바와 같이 EC농도는 설정값 1.2범위에서 9:00~13:00에는 1.15범위를 유지하다가 13:00~19:00에는 1.2범위에 근접하는 것으로 나타났으며, 이것은 기온이 낮은 오전에는 EC가 다소 낮아진 것은 EC센서의 온도보정에 다소 문제가 있었던 것으로 판단되며 기온이 높은 오후에는 EC설정값에 근접하여 정상적으로 배양액농도가 조성되었다.

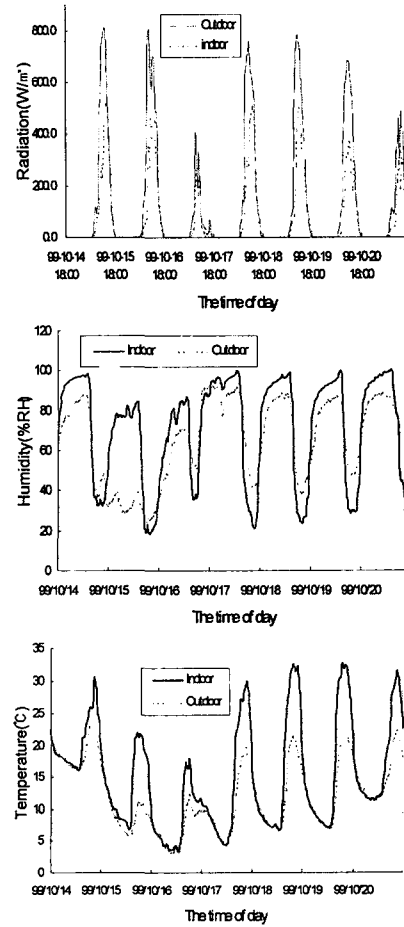


Fig. 5. Change in outdoor and indoor temperature, relative humidity and solar radiation

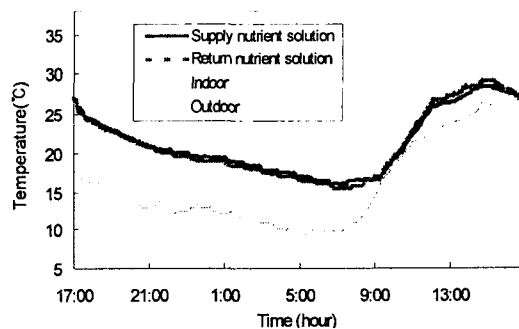


Fig. 6. Change in temperature of the nutrient solution and the indoor and outdoor atmospheres.

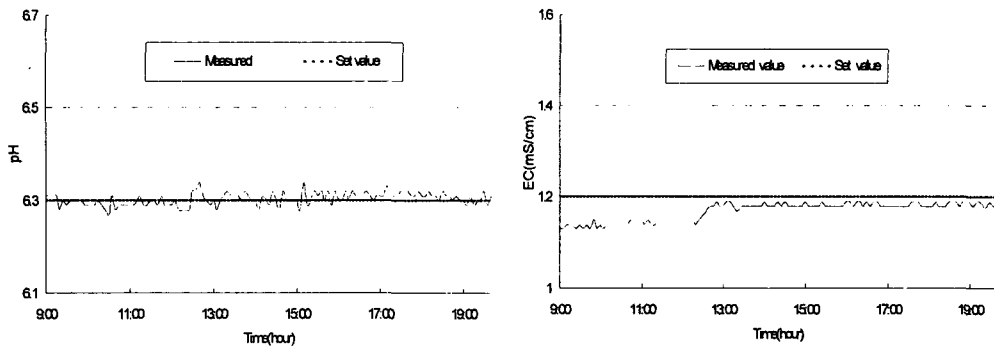


Fig. 7. Change in pH and EC of the nutrient solution

라. 상추의 성장량

(1) 성장일수별 작물 폭, 엽장, 엽폭의 변화

작물주간장치에 재배함에 정식한 상추의 성장량의 조사는 작물 폭, 엽장, 엽폭, 엽수가 조사되었으며, 상추의 성장을 조사한 결과는 그림 8, 9에 나타내었다.

그림 8에서 보는 바와 같이 새로 정식한 상추에서 정식일이 10일 경과한 상추의 작물 폭이 6.8~10.4cm, 엽장이 4.5~5.7cm, 엽폭이 4.5~5.7cm로 성장량이 매우 적다가 정식일이 22일 경과한 후에는 작물 폭 13.3~32.1cm, 엽장 6.7~18.7cm, 엽폭 4.4~10.8cm로 급속히 성장한 것을 볼 수 있다.

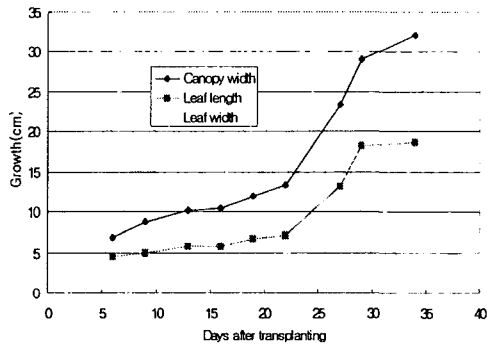


Fig. 8. Growth of lettuce over the growing period

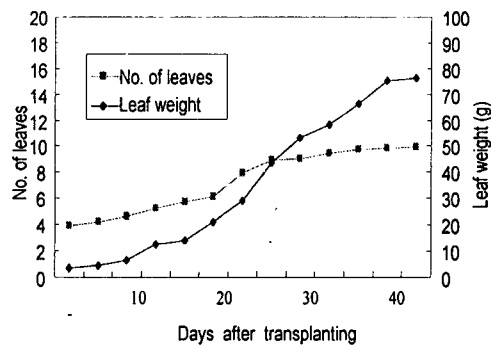


Fig. 9. Change in plant weight and number of leaves over the growing period

(2) 조건조절장치와 NFT재배의 성장량 비교

조건조절장치에서 청축면상추를 재배하고 NFT양액재배장치에서 재배하여 작물 폭, 엽장, 엽폭, 엽수 등을 비교한 결과는 그림 10, 11, 12, 13에 나타내었다.

재배 실험한 결과 작물 폭은 NFT재배가 32.1cm 조건조절장치가 32cm로 나타났고, 엽장은 각각 18cm내외로 두 시스템에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

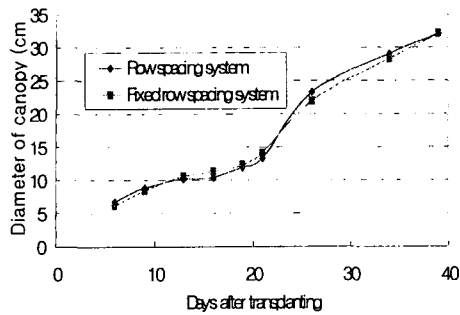


Fig. 10. Comparison of the diameter of canopy for the row spacing control system and the fixed row-spacing system

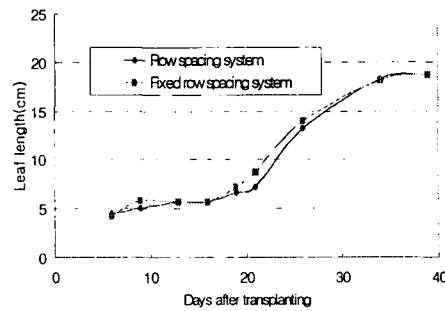


Fig. 11. Comparison of leaf length for the row spacing control system and the fixed row-spacing system

한편 작물의 엽수는 조간조절장치의 재배에서 정식초기에는 3엽으로 NFT재배 시스템의 4.5엽보다 적은 것으로 나타났다. 이것은 NFT재배는 우레탄 배지에 육묘된 상추를 배양액이 있는 스티로폼베드에 정식한 초기에 근발육이 좋았고, 조간조절장치에서는 작은 포트에 우레탄배지를 넣어 과중하고 재배함통에 정식하여 초기 근발육이 저하되었기 때문이다.

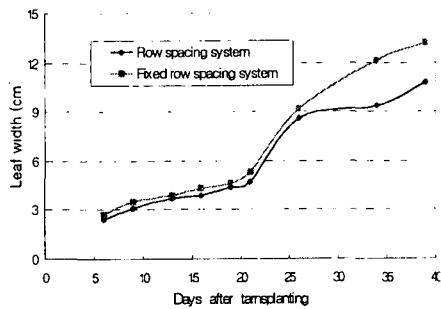


Fig. 12. Comparison of leaf width for the row spacing control system and the fixed row-spacing system

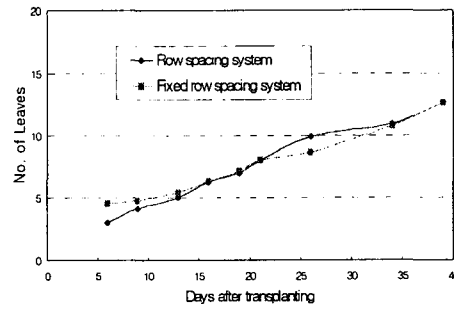


Fig. 13. Comparison of number of leaves for the row spacing control system and the fixed row-spacing system

(3) 수확후 성장정도 비교

표 1에서 보는 바와 같이 사항목별로 살펴보면, 상추의 작물 폭은 조간조절장치가 32.1cm, NFT재배가 33cm, 엽폭은 조간조절장치가 10.8cm, NFT재배가 13.2cm로 작물 폭과 엽폭이 NFT재배가 넓게 발달한 것으로 나타났다. 엽장은 각각 18.7cm, 18.8cm로 큰 차이가 없었으며, 엽수는 NFT재배가 조간조절장치보다 1

있 더 많았다. 한편 상추잎의 생체중은 조간조절장치가 52.2g , NFT재배가 53.7g 로 NFT가 무거웠으나, 뿌리의 생체중은 조간조절장치가 더 발달한 것으로 나타났다.

Table 1. Comparison of the growth characteristics of leaf lettuce for the two different row-spacing system

System	Growth	Canopy diameter (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves	Fresh weight(g)	
						leaf	root
Row-Spacing control system		32.1	18.7	10.8	12.7	52.2	7.5
Fixed row-spacing system		33.0	187.8	13.2	13.6	53.7	6.9

(4) System의 생산량 비교

조간조절장치에서 재배하는 상추의 재배면적을 기준하여 NFT재배와 상추의 생산량을 비교 분석한 결과는 표 2와 같다.

조간조절장치와 NFT재배 시스템에서 재배한 상추 1주의 평균무게는 각각 52.2g, 53.7g로 10a로 환산하여 비교하면 조간조절장치는 10a당 1372kg을 생산할 수 있고, NFT재배는 1074kg을 생산할 수 있게 되어 조간조절장치가 28%이상의 생산량을 높일 수 있다.

Table 2. Comparison of lettuce production for the two different row-spacing systems

System	growth	Canopy diameter (m ²)	No. of plants	Weight per plant(g)	Yield of leaf lettuce (kg/10a)
Fixed row-spacing system		15.4	308	53.7	1074 (100)

※ () : numerical index

4. 결 론

본 연구는 식물공장용 조간조절장치와 재배홈통을 개발하고 작물을 재배함으로써 시스템의 작동과 재배성능을 검정하고, 품종이 청치마 상추를 대상으로 재배 실험하여 기존의 NFT재배와 시스템을 비교분석하기 위하여 수행하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 외기온의 변화에 따라 조간조절장치의 재배에 사용된 재배홈통(trough)의 온도도 변화되는 것으로 나타나 단열재의 필요성이 인정되었고, 실험에 이용된 유리온실의 광투과율은 62~68%로 상추를 재배한 적합하였으나 흐린 날에는 다소 광이 부족하여 보광이 필요하여 광에 관한 연구가 요구되었다

- 나. 배양액을 조성하고 공급하는 배양액공급장치는 pH6.3, EC 1.2로 조성하여 실험한 결과 설정값과 거의 일치하게 조성되어 조간조절장치에 공급하여 식물공장용 배양액공급장치로 활용이 가능한 것을 확인하였다.
- 다. 조간조절장치의 재배흙통 위에서 재배되는 상추는 생육이 정상적이었으며, NFT재배에 비하여 작물 폭, 엽폭, 엽수가 미소한 차이가 있었으나 엽장에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 엽생체중이 52.2g로 NFT재배의 53.7g보다 다소 적었으나 작물재배에 적용가능성이 확인되었다.
- 라. 작물조간조절장치와 NFT재배의 생산성비교는 조간조절장치가 실험재배면적 15.4m² 에서 405주를 재배하고 NFT재배는 308주를 재배할 수 있었으며, 10a 면적에서 생산하는 량을 추정한 결과 작물조간조절장치는 1372kg을 생산할 수 있고 NFT재배는 1074kg을 생산하여 작물조간조절장치가 28%이상 생산량 증가를 가져오는 것으로 나타났다.
- 마. 양액재배에 작물조간조절장치를 이용하면 생산성 증대와 온실면적을 충분히 활용할 수 있는 장점이 있으며, 식물공장용 조간조절장치의 실용화 가능성이 있음을 확인하였다.

5. 참고문헌

- 1) 金承熙, 李公仁, 張裕燮, 洪性基. 1998. 養液 自動調節 供給裝置 開發. RDA Journal of Farm Management & Agri-Engineering, 40(2), p149~156.
- 2) 농업기계화연구소. 1986. 農業機械化研究所報告書. p141~142.
- 3) 農村振興廳. 1995. 農事試驗研究調查基準, p303~307.
- 4) 朴權瑀, 申榮周, 李龍範. 1992. 엽채류 환경제어 모델 연구. 생물생산시설환경(J. Bio. Fac. Env), 1(1), p21~27.
- 5) Benoit F., and N Ceustermans. 1989. GROWING LAMB'S LETTUCE (VALERIANELLA OLITORIA L.) ON RECYCLED POLYURETHANE (PUR) HYDROPNIC MATS. Acta Horticulturae, 242, p297~303.
- 6) Benoit F., and N. CEUSTERMANS. 1989. RECOMMENDATIONS FOR THE COMMERCIAL PRODUCTION OF BUTTERHEAD LETTUCE IN NFT. SOILLESS CULTURE, 5(1), p1~12.
- 7) 星岳彦, 岡野利明, 關山哲雄, 高辻正基. 1994. 自動化植物工場のための植物移動システムの開發. 日本植物工場學會誌 5(2)/6(1) p15~22.
- 8) 今泉寛. 1975. M式装置による野菜の水耕栽培 [2]. 農業および園藝, 50(1), P35~38.