

식물공장 시스템의 배치와 통합운영에 관한 연구

Study on Layout and Integrated Operation of Plant Factory System

최선종* 류관희* 장유섭**
 정희원 정희원
S. J. Choe K. H. Ryu Y. S. Chang

1. 서론

한정된 노동력을 이용해 다양한 소비자의 욕구를 충족시키면서 수입 농산물의 가격에 대응할 수 있는 농업 구조를 갖기 위해서는 기존의 노동 집약적인 농산물 생산 체계를 기술 집약적으로 발전시켜야 한다. 우리나라에서도 첨단 유리온실의 시설재배를 통해 연중 신선하고 품질 좋은 청정채소를 공급하고 있으며 이러한 시설원예 산업은 빠르게 성장하고 있다.

대량으로 농산물을 생산해야 하는 식물공장 공정생산 시스템은 대규모의 기계화, 자동화 설비를 최소의 인원이 효율적으로 운영하는 것이 중요하다. 이때 고려해야 할 사항으로는 생산하는 작물의 재배주기, 각 생산공정의 성능, 한정된 공간 내에서 각 생산공정의 적절한 배치, 소요 노동력 등이 있다. 작물을 파종한 후 일정기간이 지나면 이식을 하게 되며 이식하고 난 후 얼마 동안 재배장치 위에서 키워야하는가에 따라 각 공정이 해야되는 작업량이 결정되기 때문이다. 또 이식기의 시간당 이식작업량이나 재배장치의 재배용량, 수확기의 수확 성능에 따라 각 장치의 수량을 결정하고, 한정된 공간에 필요한 수량을 적절히 배치해주어 각 장치간에 충돌이 없고, 유휴 장치도 없도록 해야 모든 장치를 최대한 활용할 수 있다. 마지막으로 이식할 작물을 이식기에 공급하거나 수확 후 포장까지 모두 끝난 작물을 처리할 노동력을 고려해야 할 것이다.

이상의 모든 것을 복합적으로 고려하여 각 장치를 적절히 배치하고, 개별 시스템의 성능을 극대화하며, 필요노동력을 최소로 한다면 식물공장 시스템을 가장 효율적으로 운영할 수 있다.

본 연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

- 1) 현재 연구, 개발되어 있는 실험실 규모의 식물공장 시스템의 이식성능, 재배용량, 수확성능을 분석하고 모델링한다.
- 2) 실용화 규모의 식물공장 시스템을 가정할 경우, 각 장치의 수량, 배치, 소요 노동력 등

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 농업기계전공

** 농업기계화연구소 생물생산기계과

을 고려하여 대규모 식물공장 공정생산 체제를 설계한다.

3) 다양한 조건 하에서 식물공장의 규모 및 생산능력들을 비교 분석해 본다.

2. 재료 및 방법

1. 식물공장 시스템

본 연구에서 대상으로 삼은 실험실 규모의 식물공장 시스템은 이식 및 보식, 재배흡통 반입부, 재배베드, 재배흡통 반출부, 수확 및 포장의 공정을 가지고 있으며 각 장치의 배치를 그림 1에서 나타내고 있다.

재배흡통의 길이를 작물의 주간 및 개수에 관한 수식으로 나타낼 수 있었으며, 이식 장치의 시간당 이식량, 재배베드의 길이, 수확 장치의 성능 등을 수식으로 나타낼 수 있었다. 재배베드의 조간을 결정하기 위해 작물의 성장모델 중 로지스틱(Logistic) 성장 모델을 적용하였다. 또 재배흡통 및 작물의 무게 등을 고려하여 재배베드를 구동하는데 필요한 동력을 구하고 필요한 구동장치 등을 계산할 수 있었다.

2. 식물공장의 규모 및 생산량 분석

본 연구에서는 완전제어형 공장의 개념설계와 경제성 평가에 대해 시도해 보았다. 이 과정은 어떤 순서로 설계해 가는가, 또 식물공장의 경제성에서 무엇이 중요한가를 검토하는 것이다.

분석의 순서는 먼저 식물공장의 대상 작물을 선택한다. 그리고 첫 번째 독립변수로 일 생산량을 결정한 다음 작물의 생육일 수와 주간 단계 및 재배흡통의 길이에 맞게 재배면적을 계산한다. 일 생산량에 맞춰 파종, 발아, 녹화에 필요한 공간을 계산하고 양액 장치와 기타 재배와 관련된 부분을 모두 결정한다. 마지막으로 수확 후 저장 공간 외 냉/난방 장비들의 공간, 사무실 등의 면적을 계산해 전체 식물공장의 면적을 결정하고 배치를 완성한다.

또한 본 연구에서는 직접 프로그래밍에 의해 몇 가지 제한 요소를 단순화하여 비교 분석을 수행하였다. 사용자의 편의를 위해 EXCEL을 이용하여, 앞에서 제시한 여러 변수들을 변화시키며 결과를 바로 확인할 수 있는 방법을 시도하였다. 그 모습을 그림 2에서 보여주고 있다.

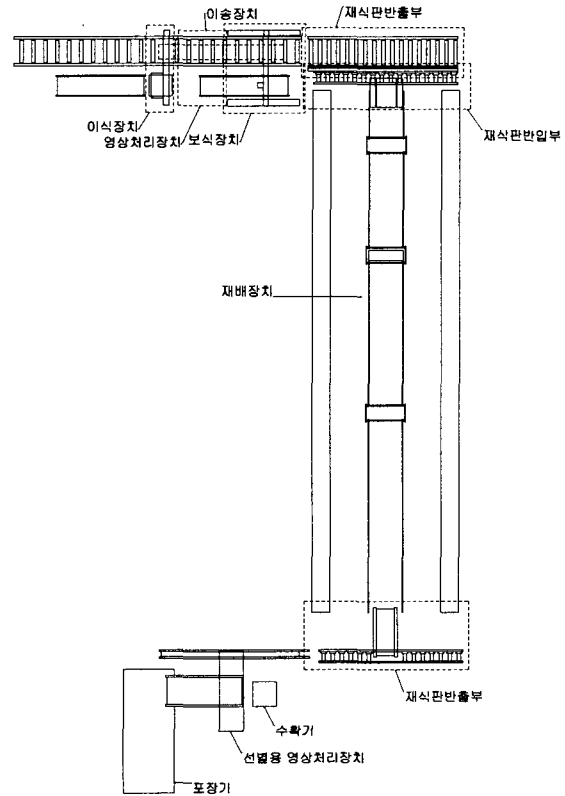


Fig. 1. Layout of laboratory-scale plant factory

3. 3-D 그래픽을 이용한 식물공장의 시각화

VRML(Virtual Reality Modeling Language)은 컴퓨터를 이용한 3-D 시뮬레이션 툴로써 사용자가 가상현실 공간을 걸어다니며 체험할 수 있도록 해주는 도구이다. 본 연구에서는 VRML 2.0을 사용하였다.

VRML을 이용한 모델링은 기존의 2차원 평면 설계도면이 아닌 3차원 시뮬레이션이므로 사용자에게 실물과 같은 모델을 컴퓨터를 통해 확인할 수 있도록 해준다. VRML은 shading, setting objects, projection, texture mapping과 같은 단순한 렌더링 기법을 이용하므로 OpenGL과 같은 복잡한 렌더링 수행하는 그래픽 라이브러리에 비해 렌더링 속도가 빠르다. 이러한 빠른 속성 때문에 WWW(World Wide Web)상에서 구동할 수 있어 Internet Explore(Microsoft)와 같은 HTML browser와 VRML browser를 이용하여 인터넷을 통해 가상현실을 체험할 수 있다.

본 연구에서는 VRML을 이용하여 가상의 식물공장을 만들어 시뮬레이션 한다. 앞서 설계한 식물공장의 면적과 개별 장치의 배치에 따라 VRML을 이용하여 가상 식물공장을 모델링하며, 재배홈통 위에 작물 모델을 얹어놓을 수 있다.

번호	설계	단위	수량	단위 가격	합계
1	재배홈통(1000mm)	50	0.25		
2	재배장치(1000mm)	5	827		
3	재배홈통(1000mm)	24	2097.5		
4	재배장치(1000mm)	10000	744500.0		
5	재배장치(1000mm)	6	600		
6	재배홈통(1000mm)	249999	27919.9		
7	재배장치(1000mm)	180	251895.7		
8	재배홈통(1000mm)	172.3	17462.4		
9	재배장치(1000mm)	85.7	82470.0		
10	재배홈통(1000mm)	6598.9	628195.0		
11	재배장치(1000mm)	15.3	145107.0		
12	재배장치(1000mm)	59.9			
13	재배장치(1000mm)	10429.5			

Fig. 2. Display of analysis

3. 결과 및 고찰

1. 식물공장의 배치 및 재배홈통의 제작

실례로 설계한 식물공장에서 재배홈통의 흐름은 그림 3과 같다. 5개의 재배홈통은 동시에 이식 시스템을 지나간다. 이식이 끝난 재배홈통은 가장자리까지 이동하여 리프트에 의해 올려지고 재배장치의 가장 끝까지 옮겨진다. 여기서 5개의 재배홈통은 순서대로 각 열로 이동하고 재배장치 위에 올려진다. 이와 동시에 수확할 재배홈통은 반대편에서 모아지고 수확시스템을 향해 차례로 진입하며, 수확이 끝난 재배홈통은 세척기를 지나 다시 이식 시스템으로 들어가는 순환식으로 설계하였다.

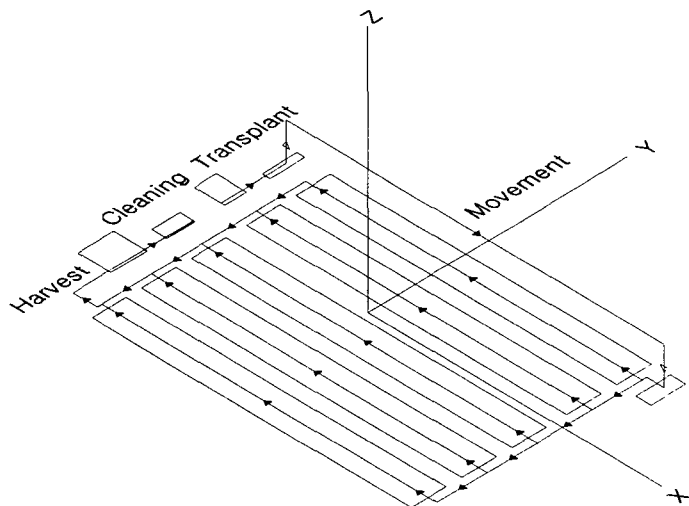


Fig. 3. Schematic diagram of trough flow

2. 식물공장 규모의 비교분석

식물공장에서는 휴일 없이 생산하는 것을 기본으로 한다. 재배용량을 20~27만 포기로 변화시킬 때 재배용량에 따른 식물공장의 전체 면적의 변화는 그림 4와 같다. 여기서 재배용량의 길이, 일 생산량 등 다른 조건은 모두 동일하게 설정하였다. 식물공장 대부분의 면적을 차지하는 것이 재배장치이므로 재배용량에 따라 식물공장의 면적도 커지는 것을 알 수 있다.

재배일 수, 재배용량 등 모든 조건을 동일하게 설정하고 재배용량의 길이만 변화시킬 때 식물공장의 전체 면적의 변화는 그림 5와 같다. 재배용량의 길이가 곧 재배용량 당 작물 수이며, 길이를 7.5~12m로 다양하게 설정할 때 길이가 길어질수록 식물공장의 전체 면적이 작아짐을 확인했다. 그러나 면적이 작아지는 폭은 점점 작아져 10m 이상에서는 큰 차이를 나타내지 않았다.

재배장치의 열 수를 3~7열로 변화시킬 때 식물공장의 전체 면적의 변화는 그림 6과 같다. 재배장치 열 수는 5~6 열이 가장 적당한 것으로 판단되며 7열 이상으로 증가시키면 전체 면적이 오히려 커졌다. 그 이유는 열 수를 증가시키면 식물공장의 폭이 넓어져 재배장치 외 기타 면적도 같이 커질 수밖에 없어 불필요한 공간이 증가하기 때문이다.

재배용량을 20~27만 포기로 변화시킬 때 1000포기 당 소요 면적은 그림 7과 같다. 재배용량이 커짐에 따라 1000포기 당 차지하는 면적은 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 식물공장의 구성에는 재배장치가 대부분이지만 그 외 파종에서 이식, 수확 등 여러 요소들도 있으며, 이러한 기타 요소들이 차지하는 면적은 재배용량의 변화에 비례적으로 커지지 않는 거의 일정한 편이다. 따라서 재배용량이 커져도 이들 기타 요소의 면적은 크게 변화하지 않기 때문에 단위 작물 당 소요 면적이 작아지는 것으로 판단된다.

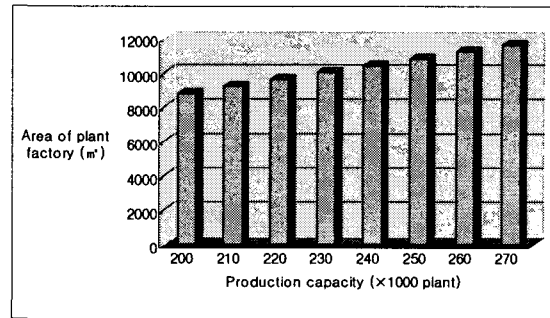


Fig. 4. Comparison of production capacity and area of plant factory

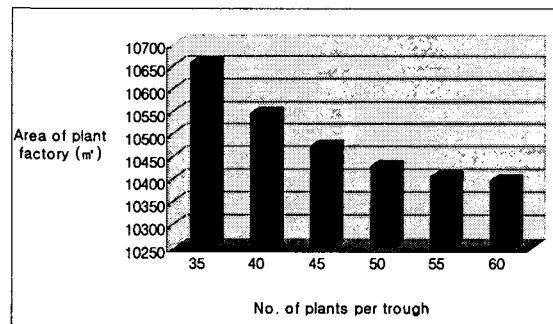


Fig. 5. Comparison of length of trough and area of plant factory

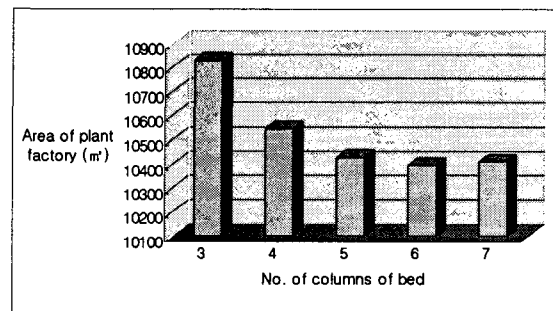


Fig. 6. Comparison of No. of growing bed columns and area of plant factory

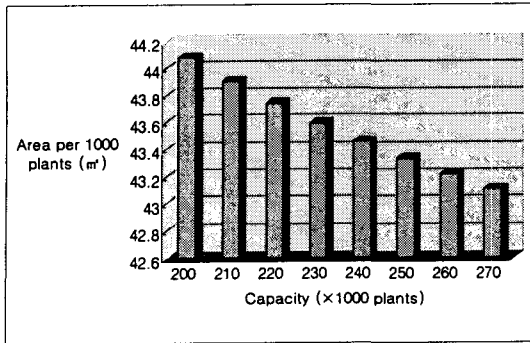


Fig. 7. Comparison of capacity and area of plant factory per 1000 plants

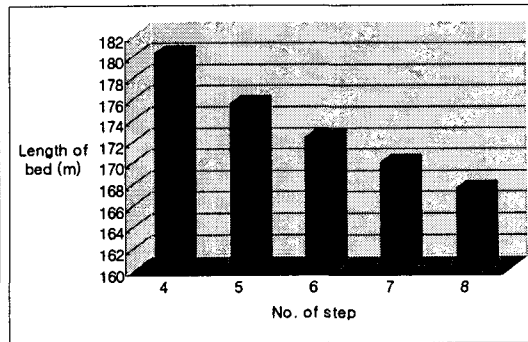


Fig. 8. Comparison of No. of steps and length of growing bed

재배장치의 단계 수를 4~8단계로 변화시킬 때 재배장치의 길이 변화는 그림 8과 같다. 단계를 늘일수록 길이가 감소함을 알 수 있다. 단계 수가 커지는 것은 작물의 성장에 따라 조건을 더 세밀하게 조절해 주는 것이므로 작물 사이에 생기는 잉여공간을 많이 줄일 수 있기 때문에 단계가 커질수록 재배장치의 길이도 줄어든다.

3. VRML을 이용한 가상 식물공장

VRML을 이용해 본 연구에서 설계한 식물공장을 영상 화면으로 제시하였다. 3차원 공간의 가상 식물공장은 사용자가 걸어다니듯 둘러 볼 수 있었으며, WWW을 이용해 인터넷을 통해서도 확인할 수 있었다. 가상 식물공장을 통해 각 장치의 배치와 규모를 사용자에게 더욱 사실적으로 나타낼 수 있었다. 그림 9는 가상 식물공장의 모습을 나타낸 것이다.

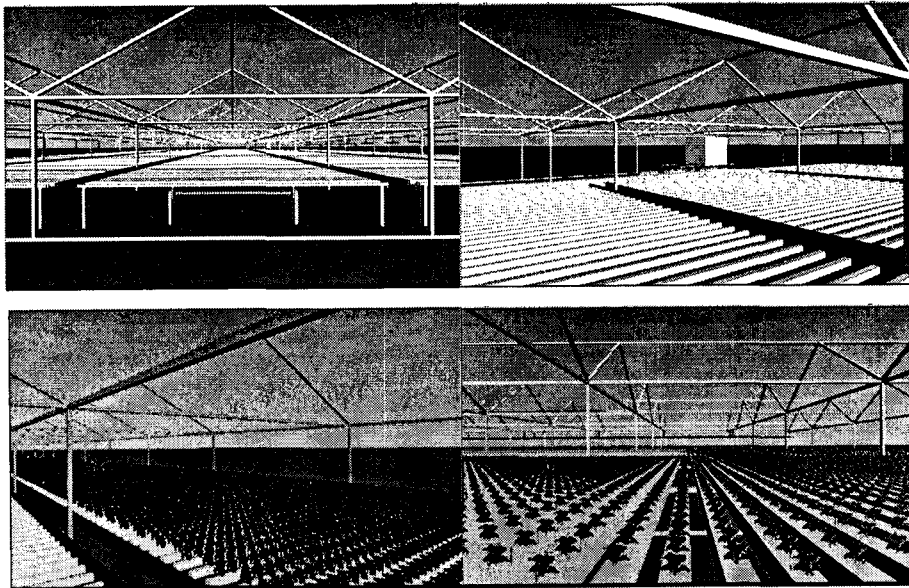


Fig. 9. Display of virtual plant factory by VRML

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 선행연구에서 개발한 식물공장 시스템을 확장하여 가상의 식물공장을 설계하고 운영하는 시뮬레이션을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 식물공장의 개별 장치들의 성능과 크기에 관한 수학적 모델을 구하였으며 작물의 로지스틱 성장 모델에 따라 재배장치를 배열하였다.
2. 동일조건 하에서 여러 가지 변수를 변화시키며 식물공장의 면적, 재배장치의 길이 등을 시뮬레이션 해보았으며 또한 식물공장의 연간 고정비 및 소득도 비교했다.
3. VRML을 이용하여 3차원 컴퓨터 그래픽을 이용한 가상의 식물공장을 만들어 사용자가 가상현실 속에서 둘러볼 수 있었으며, 가상 식물공장은 인터넷을 통해 WWW으로 제공할 수 있었다.

5. 참고문헌

1. 농촌진흥청. 1999. 식물공장생산시스템 - 연구동향분석과 금후연구방향.
2. 서울대학교. 2000. 청정채소 공정생산 자동화 시스템 개발. 농림부.
3. 한국농업기계협동조합, 2000, 농업기계가격
4. 한국종묘협회, 1996, 채소품종등록현황. (사단법인 한국종묘협회)
5. 류관희, 김기영, 류찬석, 한재성. 1999. 다수의 그리퍼를 이용한 육묘용 로봇이식기 개발. 한국농업기계학회 1999년 동계학술대회 논문집.
6. 류관희, 김기영, 박정인. 1998. 육묘용 로봇이식기 그리퍼의 개발 및 토양 상태에 따른 성능평가. 한국농업기계학회 1998년 하계학술대회 논문집.
7. 류찬석. 2000. 식물공장용 포트묘 보식 시스템 개발. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
8. 장유섭. 2000. 식물공장의 작물조간조절시스템 개발. 충북대학교 대학원 박사학위논문.
9. 장유섭, 송현갑. 2000. 식물공장의 작물조간조절장치 개발(I) -작물조간조절장치의 제작 및 성능평가. 한국농업기계학회 2000년 하계학술대회 논문집.
10. 장유섭, 송현갑, 김동역. 2000. 식물공장의 작물조간조절시스템 개발(II) -주간조절시스템 성능검정. 한국농업기계학회 2000년 하계학술대회 논문집.
11. 한재성. 1998. 식물공장용 포트묘 로봇 이식기 개발. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
12. Honjo, T., N. Kohira and E. Lim. 2000. Visualization of greenhouse environment by VRML. Bio-Robotics II : 236-241