

## 식물생산공장의 농작업기 및 재배장치 배치 Layout of Agriculture Facility Machine and Cultivation Equipment for Plant Factory

김현환\* · 장유섭\* · 김동억\* · 김종구\* · 이동현\*

\* 농촌진흥청 농업공학연구소

H. H. Kim, Y. S. Chang, D. E. Kim, C. G. Kim, D. H. Lee

### 서 론

식물생산공장시스템의 기원은 1957년 덴마크의 크리스텐센농장에서 개발한 싹채소류의 파종부터 수확까지 일관 자동생산하는 고압나트륨램프를 이용한 태양광 병용형의 식물생산 공장시스템이라고 할 수 있다. 그 후 유럽을 중심으로 연구개발이 진행되다가 1970년대 들어서 미국에서 완전제어형 식물생산공장이 개발되었으나 비용이 많이 들어가는 문제점을 안고 있다. 유럽에서는 크리스텐농장 이후 많은 연구 개발이 활발하게 진행되었다. 유럽의 대표적인 식물생산공장은 Swedeponic사에서 채소와 화훼를 용기에 재배하는 시스템을 표준화하여 벨기에, 네덜란드, 덴마크 등에서 생산하는 실용화된 시스템을 갖추고 재배되고 있다. 이 시스템은 대형유리온실에서 인공광을 가미한 태양광이용형 식물생산공장시스템이라 할 수 있다.

식물생산공장 농작업기는 파종, 발아, 녹화, 수확, 방제에 필요한 기계이며, 재배장치는 유리 온실, 플라스틱온실 두 유형 중에 어느 시설도 가능하며, 작물을 재배하는 주간조절장치, 재배 환경을 조절하는 환경제어장치로 구분된다.

이와같은 농작업기 및 재배장치를 적절히 배치하여 개별 성능을 극대화시켜, 식물생산공장 시스템을 가장 효율적으로 운영되도록 하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 식물생산공장의 농작업기 및 재배장치를 식물공장의 규모에 따라 배치하고 손익분기점을 분석하였다.

### 재료 및 방법

#### 가. 배치 개념설계 검토

식물생산공장은 온실과 농작업기, 재배작물, 환경장치 등으로 구분된다. 이 중에서 주간

조절장치는 식물생산공장에서 가장 중요한 일종의 베드이동장치이다. 식물생산공장을 구성하는 요소의 배치는 재배면적 등에 주간조절장치의 위치에 따라 달라진다. 농작업기의 배치는 주간 조절장치를 중심으로 정식에서 수확에 필요한 작업기는 작업 위치에 가까우면서 작업자가 이동하는 동선이 짧은 방향으로 배치하고 태양광병용형 공장에 알맞은 광투과율을 높이는 방안으로 검토하였다.

Table 1. Investigation of cultivation equipment for plant factory.

구 분	검 토 내 역
농작업기	파종기, 수확기, 방제기, 발아실, 녹화실 등
주간조절장치	재배상의 길이, 재배상면적, 녹화실면적, 발아실면적
작물생육	상추, 샐러디, 양상추
환경제어	난방, 냉방, 순환팬, 차광, 양액냉각, 기타제어

#### 나. 재배실 재배흡통 배열 및 발아실 녹화실 검토

재배흡통의 설치는 재배베드의 주간과 조간의 조절가능 여부에 따라 결정되어진다. 본 연구에서의 재배흡통은 조간이 작물에 따라 일정간격으로 고정되고 주간은 작물성장에 따라 조절이 가능한 시스템으로 채택되었다. 재배흡통의 규격은 작물의 종류나 재배양식, 작업성에 따라 폭이 결정되고, 길이는 배양액의 공급량과 회수량, 뿌리의 크기에 따라 흡수정도, 배양액의 공급량에 따라 결정된다. 재배흡통의 규격 결정은 재식주수의 극대화로 수확량을 최대화하는 방향으로 설계되어야 한다.

#### 다. 시스템의 평면 배치

육묘공정 모듈로는 파종기, 발아장치, 녹화장치(육묘장치)가 있으며, 재배공정인 주간조절장치 모듈로는 주간조절장치, 재배흡통, 입반출장치로 구분된다. 양액공급 모듈은 양액탱크, 원수탱크, 양액공급장치 등이 필요하다. 수확 모듈로는 수확기, 재배흡통세척기, 포장기, 저온저장고 등이 있다. 냉각실의 모듈로는 패드팬이나 히트펌프가 있다. 난방실의 모듈은 온풍난방이나 온수난방으로 구분된다. Fig. 1은 농업공학연구소 단동형 유리온실에서 재배장치를 배치하여 시험한 온실로 주요장치로는 주간조절장치, 파종기, 발아기, 녹화기, 수확기와 수확물 운반 컨베이어, 팬앤드패드장치, 온풍난방기, 양액공급장치를 설치한 배치도이다. Table 2는 주요시설과 재배장치와 환경제어장치의 300평과 3,000평의 필요면적을 환산하였다.

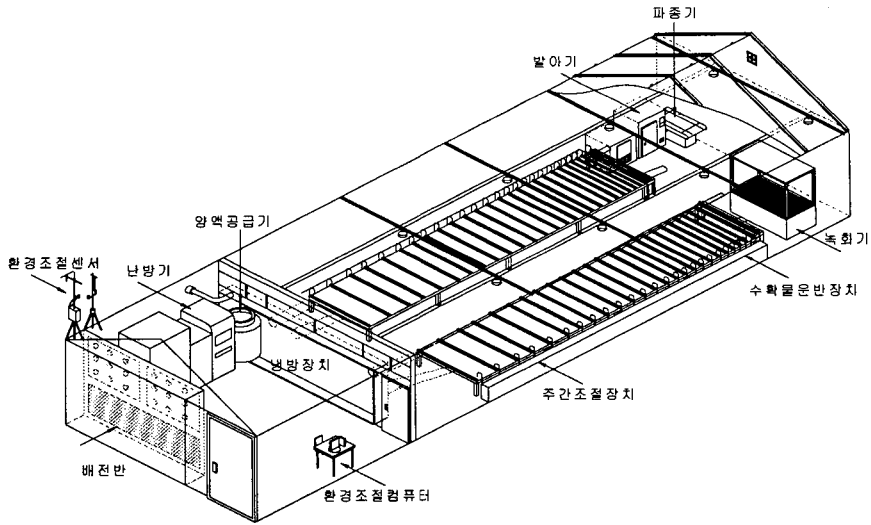


Fig. 1 Layout of plant factory.

Table 2. Demension of a cultivation equipment for plant factory (unit : pyeong).

구 분	주요시설		재배장치			환경제어장치	
	파종실	발아실	육묘실	재배실	수확실	난방실	냉방실
300평용	1.5	1.5	20	300	2	3	2
3,000평용	10	10	100	3,000	15	30	10

## 결과 및 고찰

### 가. 주요장치 평면 배치

식물생산공장의 주요장치의 평면배치로 300평형은 Fig. 2와 같이 온실의 길이방향으로 관리실에서 파종, 발아, 녹화 단계를 거쳐 재배가 시작되는 정식라인까지 순차적으로 배치하고 정식 후 재배공정을 거쳐 수확라인에 수확기와 포장기 등을 배치하여 수확하는 배치를 하였다. 300평형의 식물생산공장은 이동거리가 비교적 적게 할 수 있도록 배치하였다. 3,000평형의 식물생산공장은 Fig. 3과 같이 폭 방향에 파종, 발아, 녹화, 수확 등 재배공정에 필요한 모든 장치를 배치하여 정식라인까지는 컨베이어나 운반장치를 이용하여 운반하여 정식 후 재배되고 수확과 포장이 이루어지도록 배치하였다. 공장의 규모와 규격에 따라 다양한 배치가 가능하다. 검토한 배치방법은 가능한 작업실에서 재배실로 가는 통로와 가까운 곳에 파종 등 육묘장치를 배치하고 수확과 포장, 출하는 수확라인에 배치하여 작업자의 이동을 최소화 하였다.

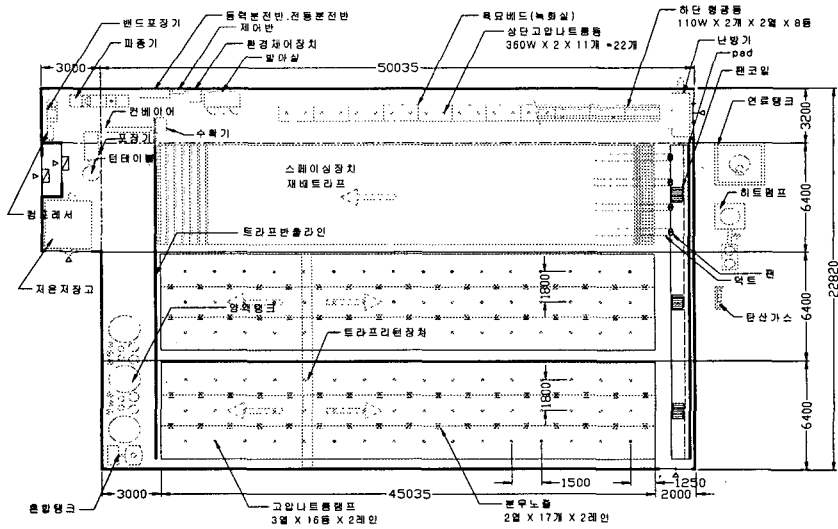


Fig. 2 Layout of a cultivation equipment for plant factory per 1,000m<sup>2</sup>.

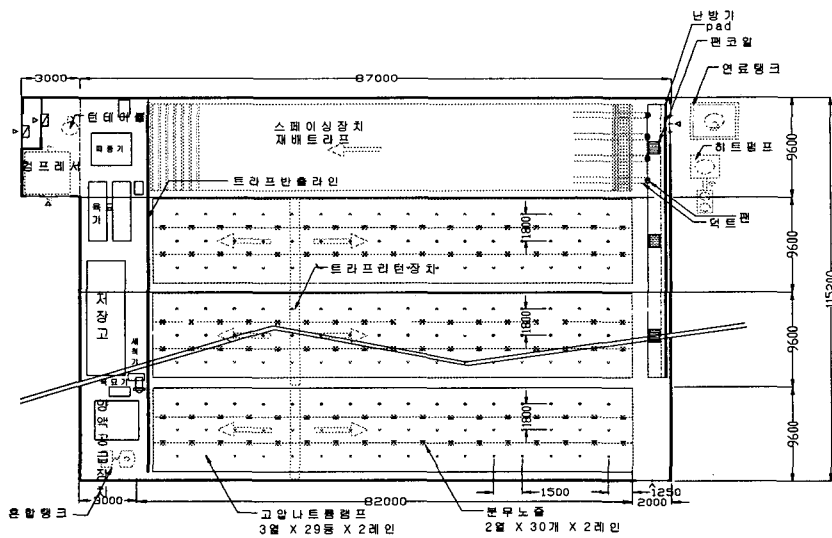


Fig. 3 Layout of a cultivation equipment for plant factory per 10,000m<sup>2</sup>.

### 나. 재배함통 이동경로

식물생산공장에서 재배함통의 이동경로는 Fig. 4, 5와 같다. 재배함통은 정식라인에서 이식된 재배함통이 재배장치 위에 올려져 설정한 간격별로 이동되면서 관리되어 최종 수확라인에서 수확이 완료되면 정식라인으로 이동되어 재순환되는 방식으로 설계되었다. 작물은 파종에서 시작하여 발아, 육묘가 끝나면 이식되어 재배상에 올려져 수확 후 저장고를 거쳐 출하되게 된다.

태양광 인공광형 식물공장의 레이아웃

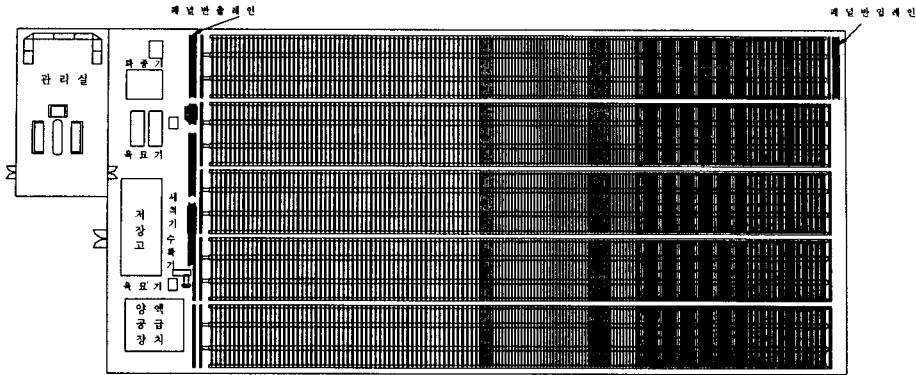


Fig. 4 Layout of plants on the cultivating troughs for plant factory per 1,000m<sup>2</sup>.

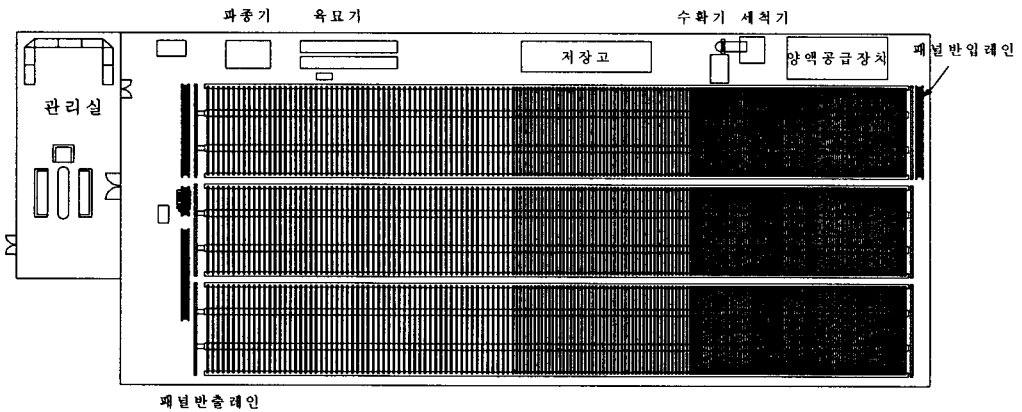


Fig. 5 Layout of plants on the cultivating troughs for plant factory per 10,000m<sup>2</sup>.

#### 다. 식물생산공장 모듈 설계

식물생산공장의 모듈 설계는 생산량을 고려하여 일일 정식되는 작물수와 생육일 수에 따른 재배면적이 결정되어야 전체 모듈을 결정할 수 있다. 재배실은 주간조절장치가 설치 곳으로 주간조절장치에 재식된 상추의 재식주수는 재배흙통길이에서 조간재식거리로 나누고 1을 뺀 후에 총 재배흙통 수를 곱하면 총 재식주수가 환산된다. 재배면적은 주간조절장치의 단계별로 재배흙통수에 재배흙통간격을 곱하여 합산하고 재배흙통길이를 길이를 곱하면 환산된다. 발아실면적은 총재식주수에 발아일수를 곱하고 재배기간을 나눈 후 1주당 차지하는 면적을 곱하고 1.2를 곱해 발아 중에 손실되는 손실률을 산정하여 환산한다. 녹화실면적은 총재식주수에 녹화일수를 곱하고 재배기간을 나눈 후 1주당 차지하는 면적을 곱하여 환산한다.

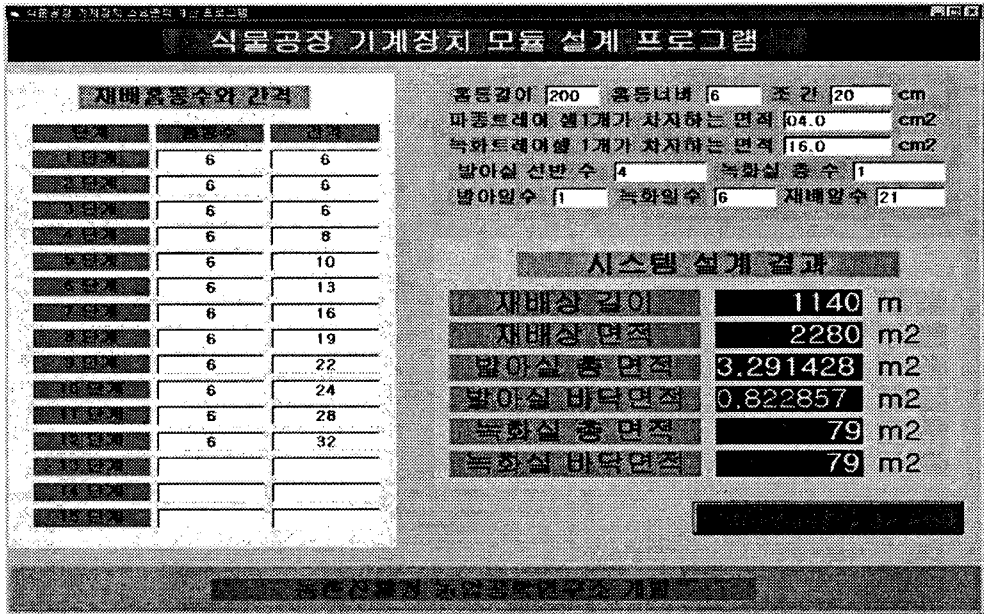


Fig. 6 Module program of machinery design for plant factory.

라. 손익분기점 분석

(1) 식물생산공장 모든 재배장치 구비시 (손익분기점 : 2,576원/kg)

식물생산공장의 재배장치는 파종기, 발아기, 녹화기, 주간조절장치, 수확기, 저장고, 난방장치, 냉방장치, 보광시설, 양액공급장치 등으로 구분된다. 상추의 연중 수확량은 36,584kg/1,000m<sup>2</sup>이었으며, 이때 모든 재배장치가 구비된 경우의 손익분기점은 Fig. 7과 같이 치마상추 상품가격의 3년간 평균가격인 2,634원/kg · 1,000m<sup>2</sup>보다 낮은 2,576원/kg · 1,000m<sup>2</sup>으로 경제성이 있는 것으로 분석되었다.

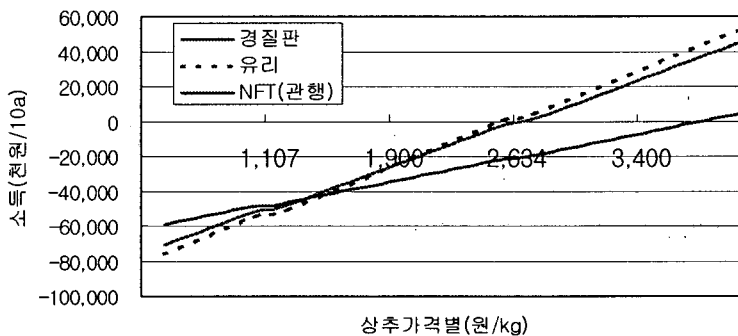


Fig. 7 The profit and loss of all cultivation equipment for plant factory.

(2) 식물생산공장 재배장치 중 주간조절장치 만 구비시(손익분기점 : 2,331원/kg · 1,000m<sup>2</sup>)  
 식물생산공장의 재배장치 중에서 주간조절장치 만 구비한 경우의 손익분기점은 Fig. 8과  
 같이 치마상추 상품가격의 3년간 평균가격인 2,634원/kg · 1,000m<sup>2</sup>과 모든 재배장치를 구비한  
 경우의 2,576원/kg · 1,000m<sup>2</sup>보다 낮은 2,331원/kg · 1,000m<sup>2</sup>으로 분석되었다.

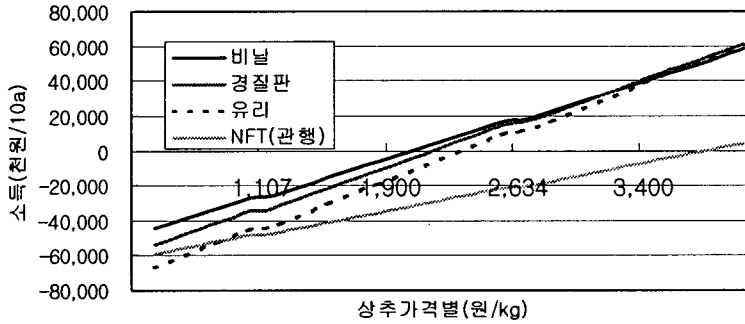


Fig. 8 The profit and loss a row spacing system for plant factory.

### 요약 및 결론

본 연구에서는 식물생산공장의 농작업기와 재배장치의 적절한 배치와 손익분기점을 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 개념설계시 재배상길이, 재배실, 녹화실, 발아실의 면적과 식물생산공장의 모듈별 평면배치를 검토하였음
2. 유리온실 식물생산공장에서 상추재배시의 손익분기점은 재배자동화 시스템 중에서 주간조절장치 만 설치시는 2,331원/kg · 1,000m<sup>2</sup>, 재배자동화 시스템 전 장치 설치시는 2,576원/kg · 1,000m<sup>2</sup>으로 분석됨

### 인 용 문 헌

1. 농촌진흥청. 1999. 식물생산공장생산시스템 - 연구동향분석과 금후연구동향.
2. 최순호. 2002. 식물공장 시스템의 배치와 통합운영에 관한 연구. 한국농업기계학회 동계 학술대회 논문집 Vol.7(1) pp.180-185, 2002
3. 高辻正基. 1987. 植物工場入門. オ-ム社. 東京.