

# 식물공장 재배 공정 자동화 시스템의 경제성 분석

정민철<sup>1</sup> · 김한돈<sup>2</sup> · 김지민<sup>3</sup> · 최정민<sup>4</sup> · 장현승<sup>5\*</sup> · 조소운<sup>6</sup>

<sup>1</sup>서울과학기술대학교 건축과 석사과정 · <sup>2</sup>서울과학기술대학교 건축과 석사과정 · <sup>3</sup>서울과학기술대학교 건축학부 조교수 ·  
<sup>4</sup>농업회사법인 주식회사 샐리의 식탁 대표이사 · <sup>5</sup>서울과학기술대학교 건축학부 교수 · <sup>6</sup>서울과학기술대학교 건축공학과 학사과정

## Economic Analysis on the Automation System of the Cultivation Process in the Plant Factory

Jung, Mincheol<sup>1</sup>, Kim, Handon<sup>2</sup>, Kim, Jimin<sup>3</sup>, Choi, Jeongmin<sup>4</sup>, Jang, Hyounseung<sup>5\*</sup>, Jo, Soun<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Graduate Student, Architectural Engineering Program, School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology

<sup>2</sup>Graduate Student, Architectural Engineering Program, School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology

<sup>3</sup>Assistant Professor, Architectural Engineering Program, School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology

<sup>4</sup>CEO, Sallytable Co., Ltd. Agricultural Corporation

<sup>5</sup>Professor, Architectural Engineering Program, School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology

<sup>6</sup>Under Graduate Student, Architectural Engineering Program, School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology

**Abstract :** A plant factory is a facility that creates an artificial environment in a controlled space and produces plants systematically through automated facilities. However, automation in the cultivation process is insufficient compared to the internal environment control technology in plant factories. This causes the problem of an increase in operating costs due to the input of a large number of workers. Therefore, this study aims to evaluate economic feasibility by comparing before and after introducing automation in the cultivation process of plant factories. The target plant factory to be analyzed was selected, and the break-even point analysis method was used by comparing the cost required compared to the operating period. As a result, the break-even point was analyzed to be 3.4 years when automation was introduced into six processes for plant cultivation. Therefore, it can be judged that the introduction of automation is excellent in terms of economic feasibility when the target plant factory has been operated for more than 3.4 years. This study is expected to be used as basic data to analyze the economic feasibility of introducing automation in domestic and foreign plant factories.

**Keywords :** Plant Factory, Automation, Cultivation Process, Economic Evaluation, BEP (Break-Even Point) Analysis

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

환경과 기후의 변화로 농업은 고품질의 농작물을 안정적으로 확보할 수 있는 시설이 필요하다(Kang, 2021; Seo, 2019; Lee, 2010). 이러한 배경하에 등장한 식물공장(Plant Factory)은 스마트 농업의 한 분야로 통제된 공간에서 온도, 습도 등의 환경을 제어하는 시설이다(Kim, 2010). 이를 통해 외부 환경에 관계없이 식물을 계획적으로 생산할 수 있

다(Despommier and Ellingsen, 2008). 농업 기술이 종합적으로 적용된 식물공장은 재배 식물에 따라 최적의 환경을 조성하여 노지 및 하우스 시설과 비교했을 때, 효율적인 생산이 가능하다(Oh, 2019; Kim, 2017). 또한, 재배 과정의 자동화를 통해 체계적이고 안정적인 수확량을 확보할 수 있는 장점을 가진다(Cha et al., 2014; Choe et al., 2002).

하지만 국내 식물공장은 일본, 네덜란드 등의 선진화된 식물공장에 비해 기술 수준과 제어 시스템 적용이 미비한 수준이다(Ko & Kim, 2019; Lim, 2015). 또한, 기존 연구는 식물에게 최적의 환경을 제공하기 위한 내부 환경 제어를 중심으로 이루어졌고(Wang et al., 2019; Lee & Seol, 2019; Yeo et al., 2016; Ko & Park, 2011; Kwon & Lim, 2011) 특히 국내 식물공장은 내부 환경 제어 기술에 비해 근로자를 대체하는 재배 과정의 자동화 기술 적용이 미비한 상황이다(Kwon, 2014; Hwang et al., 2015). 이는 재배 과정에 다수

\* **Corresponding author:** Jang, Hyounseung, Professor, Architectural Engineering Program, School of Architecture, Seoul National University of Science & Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Korea  
**E-mail:** jang@seoultech.ac.kr

**Received** April 25, 2022; **revised** -

**accepted** May 16, 2022

의 근로자 투입으로 인한 운영비용 상승의 문제를 초래한다.

따라서 본 연구는 식물공장의 재배 과정에 자동화 도입에 따른 운영비용을 자동화 도입 전과 비교하여 자동화 도입에 따른 경제성을 평가하고자 한다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 식물공장에서 재배 과정에 근로자가 작업하는 경우와 자동화를 도입하는 경우, 두 가지 방안으로 경제성 평가를 진행하고자 하며 흐름은 <Fig. 1>과 같다.

첫째, 자동화 도입이 필요한 작업을 선정하기 위해 식물공장의 작업 과정을 파악한다. 파악된 작업 과정은 재배 식물의 생육 과정을 중심으로 나열하고 자동화를 도입할 작업을 선정한다. 둘째, 선정된 작업에 방안별 투입과 산출을 비교할 경제성 평가 방법을 설정한다. 셋째, 방안별 소요비용의 계산에 필요한 변수를 설정한다. 넷째, 방안별 소요비용의 산정을 위한 계산 식을 도출한다. 마지막으로 작업별 손익분기점을 분석하고 전체 작업에 대한 손익분기점을 통해 운영 기간에 따른 자동화 도입의 적절성을 확인한다.

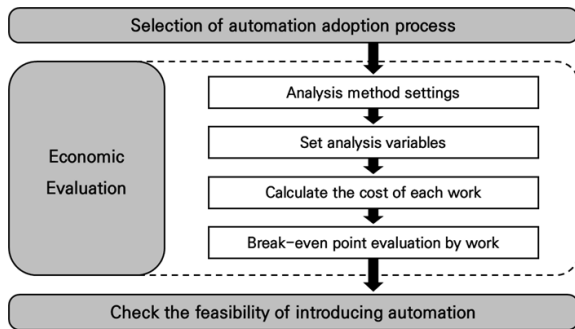


Fig. 1. Research Flow Chart

경제성을 분석할 대상은 시공 예정인 국내 식물공장으로 선정하였다. 대상 시설의 1층은 식물 재배를 위한 생육 공간과 작업 공간, 세척실, 작업준비실, 2층은 사무실, 작업자 휴게실 등으로 구성되어 있다. 1층의 전체 면적은 672㎡, 유효고는 6.5m이며 평면도는 <Fig. 2>와 같다.

## 2. 자동화 도입 작업 선정

자동화를 도입할 작업을 선정하기 위해 식물공장의 재배 과정을 분석하였다. <Fig. 3>을 보면 식물은 파종 전처리부터 발아, 이식, 수확 등의 과정을 거쳐 상품성을 선별하고 출하에 이른다(Rural Development Administration, 2018).

대상 식물공장은 다층 수경재배를 통해 엽채류를 재배하고 있다. 따라서 엽채류의 재배 과정을 식물 중심에서 확인하였다(Rural Development Administration, 2013). 공간은

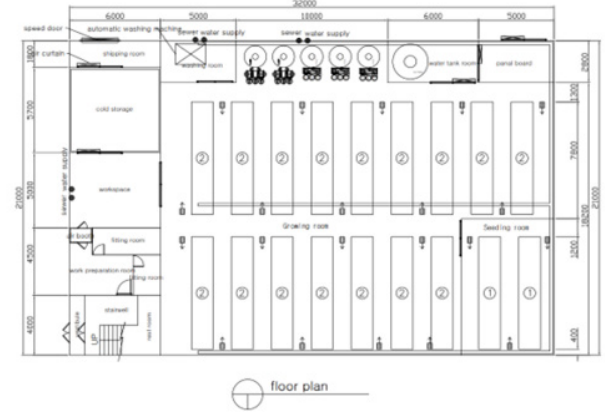


Fig. 2. Plant factory floor plan

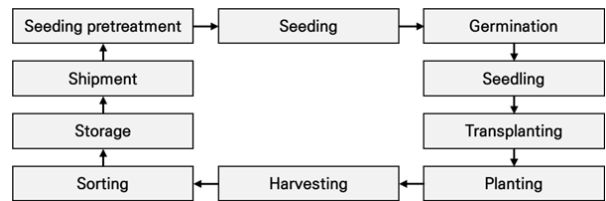


Fig. 3. Plant factory production process flow chart

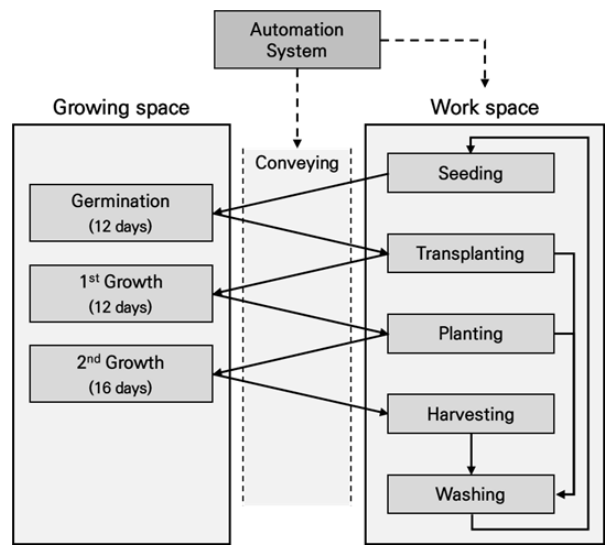


Fig. 4. Plant-centered cultivation process

생육 공간과 작업 공간으로 나누어 작업 및 생육과정과 이동 경로를 분석하였다(Fig. 4).

식물 재배를 위해 근로자는 먼저 베드<sup>1)</sup>에 파종을 진행하고 재배 공간으로 운반한다. 재배 공간에서 식물이 일정 크기 이상으로 자라면 베드를 작업 공간으로 가져와 이식을 진행하고 다시 재배 공간으로 운반한다. 이후 식물이 더 자라면 베드를 작업 공간으로 가져와 정식을 진행하고 재배

1) 작물을 심어서 재배하는 설비로서 작물을 지지하고 배양액을 수용하는 역할을 수행.

공간으로 운반한다. 충분히 식물이 자라면 베드를 작업 공간으로 가져와 수확을 진행한다. 앞서 이식, 정식, 수확을 마친 베드는 세척한다. 근로자는 작업공간에서 진행되는 파종, 이식, 정식, 수확, 세척, 재배 공간과 작업 공간을 오가는 운반의 작업까지 총 6개의 작업을 반복적으로 수행한다. 따라서 자동화를 도입할 작업은 해당 6가지 작업으로 선정하였다.

### 3. 경제성 평가

#### 3.1 분석 방법 설정

경제성 평가란 선택이 가능한 두 가지 이상의 방안에 대해 투입과 산출을 비교하는 방법이다. 투입이 동일하다면 더 큰 산출을 가져다주는 방안을, 산출이 동일하다면 더 적게 투입하는 방안을 선택함이 바람직하다(Health Insurance Review Agency, 2006). 식물공장의 수확량은 베드의 수량에 따라 결정된다. 자동화 도입에 따른 베드의 수량은 변동되지 않으므로 산출이 동일하다면 더 적게 투입할 수 있는 방안을 선택해야 한다(Sim, 2000).

경제성 평가는 손익분기점 분석법(Break Even Point)을 통해 진행한다. 손익분기점 분석법은 변수에 따른 투입과 산출을 비교하는 기법이다(Yoo & Kim, 2011). 자동화를 도입하여 식물을 재배하는 비용이 근로자가 작업하여 식물을 재배하는 비용보다 낮아지는 점을 손익분기점으로 파악한다(Yoo, 2014). 따라서 식물공장의 자동화 도입 전후를 운영기간에 따른 소요비용 그래프를 통해 비교하였다. 근로자 작업에 소요되는 비용보다 자동화 도입 후 소요되는 비용이 높은 기간까지 식물공장의 운영은 근로자가 작업하는 것이 바람직하다. 반대로 근로자 작업시 소요되는 비용보다 자동화 도입 후 소요되는 비용이 낮은 기간까지 식물공장을 운영하는 경우 자동화를 도입하는 것이 적합하다(Fig. 5).

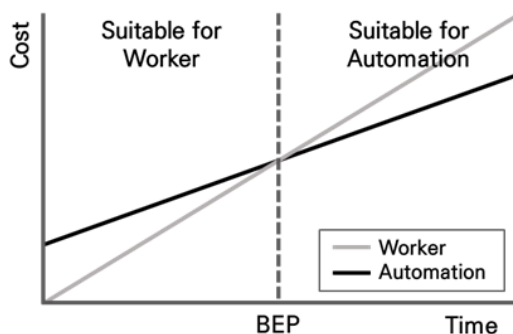


Fig. 5. Costs according to time

#### 3.2 분석 변수 설정

분석 시점은 2022년을 시작으로 7년 동안의 수익성을 분석한다. 소요비용에 영향을 주는 변수는 다음과 같이 설정하

였다(Table 1).

##### 1) 근로자 임금

식물공장에서 작업하는 근로자는 특수한 기술을 요구하지 않으므로 주휴 수당을 포함한 최저 시급을 기준으로 주 5일, 하루 8시간을 근로하는 조건으로 설정하였다. 주말 근로의 경우 평일 임금의 1.5배로 계산하였다. 근로자는 근로시간 동안 해당 작업을 마치면 다음 작업을 수행하므로 작업별 고정인원은 설정하지 않았다.

##### 2) 최저임금 인상률

근로자의 임금 인상률은 최저임금위원회의 최저임금 현황을 참고하여 2013년부터 2022년까지 10년간 인상률의 평균으로 설정하였다.

##### 3) 작업 효율 계수

작업 효율 계수는 근로자가 전체 근로시간 대비 실제 작업에 소요된 시간을 구하기 위한 계수이다. 근로시간 중 휴식 시간을 포함한 비근로 시간을 제외하기 위해 설정하였다.

##### 4) 전기요금

농업용 전기를 사용하는 식물공장은 여름, 겨울철과 봄, 가을철의 전기요금에 차이가 있어 연간 평균 요금으로 설정하였다.

##### 5) 전기요금 인상률

농업용 전기요금은 2019년보다 2022년 1월 기준 소폭 감소하였으나 KEPCO의 전기요금표에 따르면 2022년 4월, 2022년 10월 인상이 예정되어 있다. 또한, 기후위기에 대한 대응책의 일환으로 전기요금체계 개편에 따라 지속적으로 인상될 것으로 보인다(Jo, 2021). 따라서 전기요금 인상률은 2022년 4월과 10월 인상폭의 평균으로 설정하였다.

##### 6) 유지보수 비용

유지보수 비용은 국가연구시설장비진흥센터의 연구장비의 유지보수비 산정기준을 참고하여 자동화 및 이송 장비 분류의 컨베이어, 리프트 장비, 농작업장비, 자동화장비의 중형 평균으로 설정하였다.

##### 7) 자동화 설비 사용연한

식물 재배를 위한 자동화 설비는 농업용 기계장치 및 설비로 내용연수가 10년 이상이나 유지보수 및 시간의 흐름에 따른 신기술 도입을 고려하여 사용연한을 10년으로 설정하

Table 1. Set analysis variables

Worker wages (Weekday)	10,400 won/hr	Hourly wage increase	7.3 %/year
Work efficiency factor	1.2	Agricultural electricity rates	36 won/kW
Electricity rate increase	12.5 %/year	Maintenance cost	3.3 %/year
Machine life	10 year	Working days	365 day/year

였다(Kim et al., 2012).

8) 운영일수

식물공장의 운영 특성상 주말에도 식물 재배를 위한 작업이 필요하기에 연중무휴인 365일로 설정하였다.

3.3 작업별 소요비용 계산

운영기간에 따른 작업별 누적 소요비용 계산을 위한 식을 산정하였다(Jung et al., 2021). 특정 작업에 자동화를 도입하더라도 식물 재배에 필요한 작업 필요 횟수는 동일하게 계산하였다.

3.3.1 근로자 작업시

1회 작업시간과 일 작업 필요 횟수를 통해 하루 작업시간을 산정한다. 작업시간에 근로자 시급과 작업 효율 계수를 통해 연차별 누적 소요비용을 계산한다. 연차별 근로자 시급은 7.3%씩 인상되며 다수의 근로자를 통한 연간 365일 운영을 가정하였다. 1회 작업시간은 국내 식물공장 근로자의 실제 작업시간과 20대 후반 남녀의 작업 시뮬레이션을 통해 산정한다. 이를 종합하여 식 (1)을 통해 근로자 작업시 연차별 누적 소요비용을 계산한다.

$$\sum_{k=1}^7 (T_w \times N \times M \times 365 \times R \times (1 + 0.073(k-1))) \quad (1)$$

$T_w$ : 1회 작업시간  
 $N$ : 일 작업 필요 횟수  
 $M$ : 근로자 시급  
 $R$ : 작업 효율계수  
 $k$ : 연차

3.3.2 자동화 도입시

1회 작업시간과 일 작업 필요 횟수를 통해 하루 가동 시간을 산정한다. 가동시간에 시간당 전기소모량과 농업용 전기요금을 통해 연차별 누적 소요비용을 계산한다. 자동화 도입 비용은 최초 1년차에 한해 적용한다. 연차별 농업용 전기요금은 12.5%씩 인상되며 유지보수 비용은 매년 자동화 도입 비용의 3.3%로, 연간 365일 운영을 가정하였다. 자동화 도입 기준 1회 작업시간은 대상 식물공장의 작업 동선에 기반한 시뮬레이션을 통해 산정한다. 이를 종합하여 식 (2)를 통해 자동화 도입시 연차별 누적 소요비용을 계산한다.

$$A + \sum_{k=1}^7 (T_A \times N \times C \times E \times 365 \times (1 + 0.125(k-1)) + 0.033A) \quad (2)$$

$A$ : 도입 비용  
 $T_A$ : 1회 작업 시간  
 $N$ : 일 작업 필요 횟수  
 $C$ : 농업용 전기요금(원/kW)  
 $E$ : 시간당 전기소모량  
 $k$ : 연차

3.4 작업별 손익분기점 평가

3.4.1 파종

파종은 베드에 식물의 위치를 고정시키기 위한 배지를 넣고 씨앗을 뿌리는 작업이다. 대상 식물공장은 파종 가능 수량이 36,000개, 이식 가능 수량이 32,400개, 정식 가능 수량

이 36,864개로, 가장 적은 수량인 이식 가능 수량에 맞춰 파종을 진행한다. 1베드당 300개의 파종이 가능하므로 총 108베드에 파종이 필요하다. 파종에서 이식까지의 발아 과정은 12일이 소요되므로 하루 당 9베드에 파종을 진행한다.

파종 작업에 근로자는 1베드당 약 150초, 자동화를 도입하면 1베드당 약 36초가 소요된다. 자동화 도입에 따른 비용과 전력 소비량은 <Table 2>와 같으며 이를 기반으로 손익분기점 분석을 진행하였다. 파종 과정은 자동화 도입 후 1회 작업시간이 75% 이상 감소하였다. 손익분기점은 6.5년으로 분석되었다(Fig. 6).

Table 2. Seeding process condition

Worker	1 working time	150 sec	Amount of work required	108 bed
	1 working time	36 sec		
Automation	Introduction cost	13,000,000 won	Power consumption	5.5 kW/hr

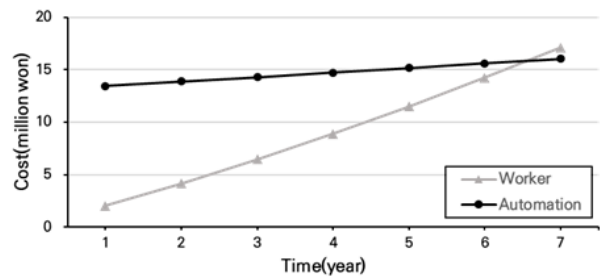


Fig. 6. Seeding process BEP

3.4.2 이식

이식은 식물이 원활하게 성장하기 위해 기존 베드에서 식물 간 간격이 넓은 베드로 옮겨주는 작업이다. 파종 이후 12일간의 발아과정 동안 식물이 성장하여 3~4개의 잎이 자라났을 시기에 수행한다. 대상 식물공장의 이식 가능 수량은 파종과 동일한 32,400개로, 1베드당 100개의 이식이 가능하므로 총 324베드에 이식을 진행한다. 이식에서 정식까지의 성장 과정은 12일이 소요되므로 하루당 27베드에 이식을 진행한다.

이식 작업에 근로자는 1베드당 약 130초, 자동화를 도입하면 1베드당 약 100초가 소요된다. 자동화 도입에 따른 비용과 전력 소비량은 <Table 3>과 같으며 이를 기반으로 손익분기점 분석을 진행하였다. 손익분기점은 3.1년으로 나타났다(Fig. 7).

Table 3. Transplanting process condition

Worker	1 working time	130 sec	Amount of work required	27 bed
	1 working time	100 sec		
Automation	Introduction cost	15,000,000 won	Power consumption	13 kW/hr

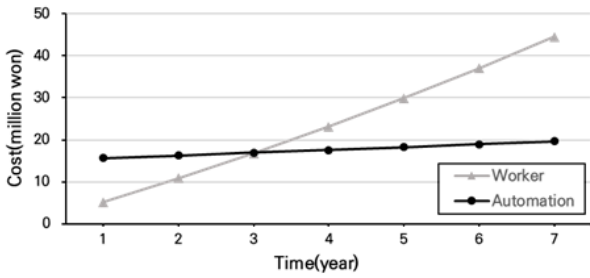


Fig. 7. Transplanting process BEP

### 3.4.3 정식

정식은 수확이 가능한 크기까지 성장하기 위해 기존 베드에서 식물 간 간격이 넓은 베드로 옮겨주는 작업이다. 식물이 이식된 후 12일간 성장하여 일정한 크기 이상으로 자라났을 시기에 수행한다. 대상 식물공장의 정식 가능 수량은 이식과 동일한 32,400개로, 1베드당 12개의 정식이 가능하여 총 2,700베드에 정식을 진행한다. 정식에서 수확까지의 성장 과정은 16일이 소요되므로 하루당 약 169베드에 정식을 진행한다.

정식 작업에 근로자는 1베드당 약 24초, 자동화를 도입하면 1베드당 약 18초가 소요된다. 자동화 도입에 따른 비용과 전력 소비량은 <Table 4>와 같으며 이를 기반으로 손익분기점 분석을 진행하였다. 손익분기점은 3.1년으로 분석되었다 <Fig. 8>.

Table 4. Planting process condition

Worker	1 working time	24 sec	Amount of work required	169 bed
	1 working time	18 sec		
Automation	Introduction cost	18,000,000 won	Power consumption	13 kW/hr

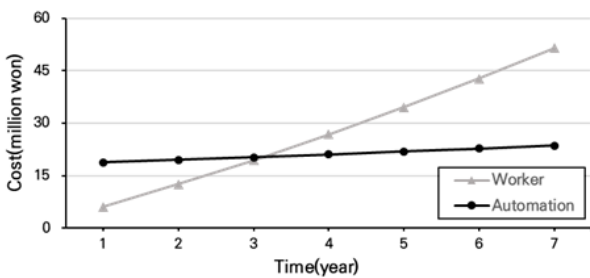


Fig. 8. Planting process BEP

### 3.4.4 수확

수확은 가공 및 판매를 위해 베드에서 식물을 분리하고 뿌리를 자르는 작업이다. 식물이 정식 이후 16일간 성장하여 충분한 상품성을 갖춘 크기까지 자란 시기에 수행한다. 대상 식물공장의 일일 수확량은 약 2,000단으로 하루당 정식과 동일한 169베드에 수확을 진행한다.

수확 작업에 근로자는 1베드당 약 64초, 자동화를 도입하면 1베드당 약 55초가 소요된다. 자동화 도입에 따른 비용과 전력 소비량은 <Table 5>와 같으며 이를 기반으로 손익분기점 분석을 진행하였다. 수확 과정은 1회 작업시간이 길고 작업할 베드가 많은 특징을 가지고 있다. 손익분기점은 2.3년으로 분석되었다 <Fig. 9>.

Table 5. Harvesting process condition

Worker	1 working time	64 sec	Amount of work required	169 bed
	1 working time	55 sec		
Automation	Introduction cost	35,000,000 won	Power consumption	18 kW/hr

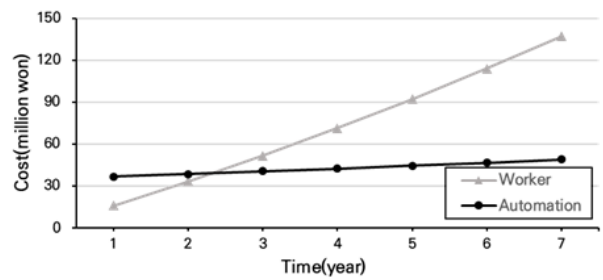


Fig. 9. Harvesting process BEP

### 3.4.5 세척

세척은 식물이 성장하여 이식, 정식, 수확을 마친 베드를 다시 밭아, 이식, 정식 작업에 사용될 수 있도록 식물의 잔뿌리, 양액으로 인한 침전물 등을 제거하는 작업이다. 대상 식물공장의 파종(9베드), 이식(27베드), 정식(169베드)의 하루 작업 필요량을 더한 총 205베드에 세척을 진행한다.

세척 작업에 근로자는 1베드당 약 22초, 자동화를 도입하면 1베드당 약 8초가 소요된다. 자동화 도입에 따른 비용과 전력 소비량은 <Table 6>과 같으며 이를 기반으로 손익분기점

Table 6. Washing process condition

Worker	1 working time	22 sec	Amount of work required	205 bed
	1 working time	8 sec		
Automation	Introduction cost	22,500,000 won	Power consumption	11 kW/hr

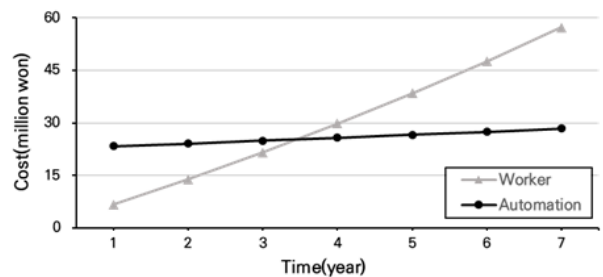


Fig. 10. Washing process BEP

점 분석을 진행하였다. 세척 작업은 1회 작업시간이 적으나 작업할 베드의 수가 많은 특징이 있으며 자동화 도입시 1회 작업시간이 60% 이상 감소하였다. 손익분기점은 3.5년으로 분석되었다(Fig. 10).

### 3.4.6 운반

운반은 발아, 이식, 정식, 수확 작업의 진행을 위해 베드를 생육공간과 작업공간으로 이동시키는 작업이다. 대상 식물공장의 파종(9베드), 이식(27베드), 정식(169베드)의 하루 작업 필요량을 더한 205베드에 운반을 진행한다. 수확과 세척 작업은 근접한 작업공간에서 작업이 이루어지며 수확, 세척, 파종의 작업은 식물 성장의 과정 없이 연계적으로 이루어지기 때문에 비교적 짧은 거리를 운반하여 운반 작업에서 제외하였다. 파종, 이식, 정식 작업의 베드 1개당 생육공간에서 작업공간으로, 작업공간에서 성장공간으로, 2번씩 운반하여 총 410번의 작업이 필요하다.

다른 작업과 달리 운반 작업은 베드의 위치가 매번 달라지기 때문에 운반거리 및 1회 작업시간이 일정하지 않다. 따라서 각기 다른 1회 작업시간 전체를 더해 총 작업 필요 횟수인 410회로 나누어 평균 작업시간을 설정하였다. 운반 작업에는 근로자는 1베드당 약 32초, 자동화를 도입하면 1베드당 약 38초가 소요된다. 운반 작업은 근로자 작업시와 비교하여 자동화 도입시 1회 작업시간이 증가하였다. 이는 식물의 안전을 위해 자동화 도입에 따른 설비의 운반 속도가 근로자보다 느리기 때문이다. 자동화 도입에 따른 비용과 전력 소비량은 (Table 7)과 같으며 이를 기반으로 손익분기점 분석을 진행하였다. 운반 작업은 식물 재배에 필요한 작업 중 자동화 도입 비용이 가장 높으며 하루에 작업할 베드의 수가 많다는 특징이 있다. 손익분기점은 4.1년으로 분석되었다(Fig. 11).

Table 7. Conveying process condition

Worker	1 working time	32 sec	Amount of work required	410 bed
	1 working time	38 sec		
Automation	Introduction cost	72,000,000 won	Power consumption	26 kW/hr

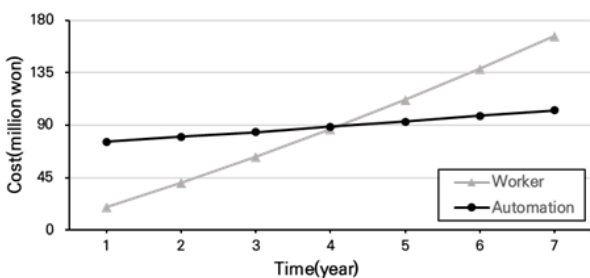


Fig. 11. Conveying process BEP

### 3.5 전체 작업의 손익분기점 평가

식물 재배에 필요한 6가지 작업의 연차별 소요비용을 더해 전체 과정의 소요비용을 산정하였다. 또한, 연차별 소요비용을 누적하여 전체 작업의 운영기간 대비 누적 소요비용을 산정하였다(Table 8). 이를 통한 손익분기점 분석 결과 손익분기점은 3.4년으로 분석되었다(Fig. 12). 따라서 식물공장을 3.4년 이상 운영할 경우, 자동화 도입은 경제성이 우수하다고 판단할 수 있다.

Table 8. Annual cost

(Unit : 1,000 won)

Time (year)	Worker		Automation	
	Cost	Cumulative cost	Cost	Cumulative cost
1	55,564	55,564	183,725	183,725
2	59,620	115,185	8,529	192,255
3	63,677	178,862	8,834	201,089
4	67,733	246,596	9,138	210,227
5	71,789	318,386	9,442	219,670
6	75,845	394,232	9,746	229,417
7	79,902	474,134	10,051	239,468

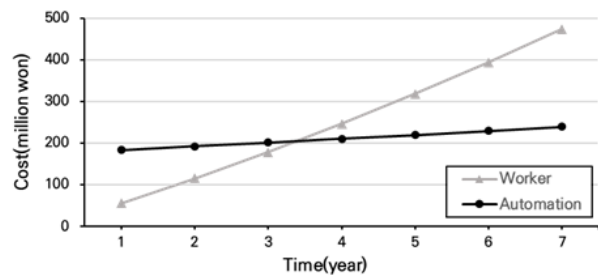


Fig. 12. Total process BEP

## 4. 결론

본 연구는 식물공장에서 식물 재배에 자동화 도입에 따른 경제성 평가를 진행하였다. 경제성 평가를 진행할 작업은 식물공장의 작업 과정과 대상 식물공장에서 재배할 업체류 중심의 작업 과정 분석을 통해 6가지 작업을 선정하였다. 경제성 평가는 운영기간 대비 소요비용의 비교를 통한 손익분기점 분석법을 활용하였다. 분석 결과, 전체 작업에 대한 자동화 도입시 손익분기점은 근로자 작업시 대비 3.4년으로 분석되었다.

식물공장에서 근로자는 식물의 재배를 위한 다양한 작업을 수행한다. 그러나 근로자는 단순 반복적인 업무를 주로 수행하며 식물공장의 운영비용에 큰 부분을 차지한다. 자동화를 도입하면 단순 반복적인 업무를 짧은 시간 안에 수행할 수 있고 시간과 관계없이 연속적인 작업이 가능하다. 또한, 식물공장의 특징인 장기적인 운영을 고려하면 자동화의

도입은 근로자의 작업으로 인한 높은 운영비용 문제를 해결할 수 있다. 더불어 식물 재배에 효율적이며 일정한 작업 과정을 제공하여 재배 식물의 품질 향상 및 수확량 증대의 효과를 기반으로 식물공장의 생산성 향상에 기여할 수 있다.

본 연구는 식물공장에 자동화 도입에 따른 손익분기점을 분석함으로써 국내외 다양한 식물공장의 자동화 도입에 따른 경제성 분석을 위한 기초 자료로 활용 가능할 것으로 판단된다. 향후 수행될 연구는 자동화 도입에 적절한 식물공장의 기준을 선정하고 효율적인 자동화 도입 방안을 수립하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행된 결과의 일부임.

## References

- Cha, M.K., Kim, J.S., and Cho, Y.Y. (2014). "Growth Model of Common Ice Plant (*Mesembryanthemum Crystallinum* L.) Using Expolinear Functions in a Closed-type Plant Production System." *Horticultural Science & Technology*, Korean Society of Horticultural Science, 32(4), pp. 493-498.
- Choe, S.J., Ryu, K.H., and Chang, Y.S. (2002). "Study on Layout and Integrated Operation of Plant Factory System." *Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery Conference*, Korean Society for Agricultural Machinery, pp. 180-185.
- Despommier, D., and Ellingsen, E. (2008). "The Vertical Farm: The sky-scraper as vehicle for a sustainable urban agriculture." CTBUH 8<sup>th</sup> World Congress, pp. 2-8.
- Health Insurance Review Agency. (2006). "Pharmaceutical Economic Evaluation Guidelines." Health Insurance Review Agency.
- Hwang, S.I., Joo, J.M., and Joo, S.Y. (2015). "ICT-Based Smart Farm Factory Systems through the Case of Hydroponic Ginseng Plant Factory." *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Korean Institute of Communication Sciences, 40(4), pp. 780-790.
- Jo, S.H. (2021). "Controversy over agricultural electricity rates - Focusing on litigation cases -" *Agricultural Research*, Center for food, Agricultural & Rural Policy, 76(0), pp. 159-174.
- Jung, M.C., Kim, H.D., Cho, H.S., Oh, D.G., Choi, S.U., Kim, J.M., and Jang, H.S. (2021). "Development of Automation System Framework for Efficient Operation of Smart Plant Factory." *Proceedings of KICEM Annual Conference*, KICEM, 20, pp. 93-94.
- Kang, D.H. (2021). "Climate Change and the Future of Indoor Agriculture." *Korean Horticultural Society Academic Presentation Summary*, Korean Society for Horticultural Science, 39(2), p. 41.
- Kim, J.W. (2010). "Trend and Direction for Plant Factory System." *Journal of Plant Biotechnology*, The Korean Society of Plant Biotechnology, 37(4), pp. 442-455.
- Kim, J.Y., Song, E.J., and Kim, T.H. (2012). "Analysis of useful lives of depreciable assets in major countries." *Tax Law Research Center*, Korea Institute of Public Finance.
- Kim, S.C. (2017). "4th Industrial Revolution and Smart Farm Technology Development." *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers*, The Korean Society of Agricultural Engineers, 59(2), pp. 10-18
- Ko, D.S., and Park, W.S. (2011). "The Study for Design of Growth Environment Monitoring System of Vertical Farm." *Proceedings of KIIT Conference*, The Korean Institute of Information Technology, 11(5), pp. 372-375.
- Ko, J.H., and Kim, H.C. (2019). "PLC Automation Control for IoT Hydroponic Plant Factory." *Information and Control Symposium*, The Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 149-150.
- Korea Electric Power Corporation. (2022). "Korean electricity bill" Korea Electric Power Corporation, <<http://home.kepco.co.kr>> (Jan, 7, 2022).
- Kwon, H.M., Jeong, S.H., Kang, J.W., and Yang, J.H. (2014). "The measured field survey for the improvement of the working environment of workers in the plant factory." *Journal of the Korean Solar Energy Society*, The Korean Solar Energy Society, 34(5), pp. 43-52.
- Kwon, S.Y., and Lim, J.H. (2011). "Design and Implementation of Smart Farm Monitoring System Based on USN" *Proceedings of the KAIS Fall Conferences*, The Korea Academia-Industrial cooperation Society, pp. 701-703.
- Lee, J.K., and Seol, B.M. (2019). "Intelligent Smart Farm A Study on Productivity: Focused on Tomato farm Households." *Asia-Pacific Journal of Business Venturing and Entrepreneurship*, The Korean Society of Business Venturing and Entrepreneurship, 14(3), pp. 185-199
- Lee, S.U. (2010). "Plant factory and plant cultivation using LED artificial light." *Optical Science and Technology*, Optical Society of Korea, 14(3), pp. 12-19.
- Lim, G.J. (2015). "A Design of IT-Convergence Plant Factory System Using the Renewable Energy." *The Journal of Korean Institute of Communication and Information*

- Sciences, The Korean Institute of Communications and Information Sciences, 40(4), pp. 769-779.
- Minimum Wage Commission Republic of Korea. (2022). "Minimum Wage Determination Status by Year." Minimum Wage Commission Republic of Korea, <<http://www.minimumwage.go.kr>> (Jan, 7, 2022).
- National Research Facilities and Equipment Center. (2014). "Research equipment maintenance cost calculation standard" MANUAL No.17, National Research Facilities and Equipment Center.
- Oh, D.G., and Cho, Y.Y. (2019). "Growth Modeling of Carrot Tops in a Closed-type Plant Factory System." *Journal of Subtropical Agriculture and Biotechnology*, The Research Institute for Subtropical Agriculture and Biotechnology of Jeju National University, 35(1), pp. 23-27.
- Rural Development Administration. (2013). "Agricultural Technology Guide 71 hydroponics." Rural Development Administration.
- Rural Development Administration. (2018). "Agricultural Technology Guide 191 Plant Factory." Rural Development Administration.
- Seo, D.U. (2019). "New Business in Agricultural Civil Engineering According to Changes in the Agricultural Environment." *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers*, The Korean Society of Agricultural Engineers, 61(2), pp. 46-53.
- Sim, S.M. (2000). "How to evaluate the economic feasibility of lighting systems." *The Proceedings of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers, 14(4), pp. 69-74.
- Wang, Y., Kong, L., Yang, H., Li, J., Xia, P., Gong, L., and Liu, C. (2019). "Building Unmanned Plant Factory with Modular Robotic Manipulation and Logistics Systems." *Recent Developments in Intelligent Computing, Communication and Devices*, pp. 11-19.
- Yeo, U.H., Lee, I.B., Kwon, K.S., Ha, T.H., Park, S.J., Kim, R.W., and Lee, S.Y. (2016). "Analysis of Research Trend and Core Technologies Based in ICT to Materialize Smart-farm." *Journal of Bio-Environment Control*, The Korean Society for Bio-Environment Control, 25(1), pp. 30-41.
- Yoo, I.G. (2014). "Optical Choice and Analysis of the Various Economic Evaluation Methods." *Journal of the Korea Management Engineers Society*, Korea Management Engineers Society, 19(1), pp. 147-160.
- Yoo, J.H., and Kim, H.G. (2011). "Study on subsidy policy of Electric Vehicle Using Break-Even Analysis." *Journal of Energy Engineering*, The Korean Society for Energy, 20(1), pp. 54-62.

---

**요약 :** 식물공장은 통제된 공간에서 인공적인 환경을 조성하고 자동화 설비를 통해 식물을 계획적으로 생산하는 시설이다. 하지만 식물공장은 내부 환경 제어 기술에 비해 재배 과정의 자동화 도입이 미비한 상황이다. 이는 다수의 근로자 투입으로 인한 운영비용 상승의 문제를 초래한다. 따라서 본 연구는 식물공장의 재배 과정에 자동화 도입 전후를 비교하여 경제성을 평가하고자 하였다. 첫째, 자동화 도입이 필요한 작업을 선정하기 위해 식물공장의 작업 과정을 파악하였다. 파악된 작업 과정은 재배 식물의 생육 과정을 중심으로 나열하고 자동화를 도입할 작업을 선정하였다. 둘째, 선정된 작업에 방안별 투입과 산출을 비교할 경제성 평가 방법을 설정하였다. 셋째, 방안별 소요비용의 계산에 필요한 변수를 설정하였다. 넷째, 방안별 소요비용의 산정을 위한 계산식을 도출하였다. 마지막으로 작업별 손익분기점을 분석하고 전체 작업에 대한 손익분기점을 통해 운영 기간에 따른 자동화 도입의 적절성을 확인하였다. 분석 결과, 식물 재배를 위한 6가지 작업에 자동화를 도입할 경우 손익분기점은 3.4년으로 분석되었다. 이는 대상 식물공장을 3.4년 이상 운영할 경우 자동화 도입은 경제성 측면에서 우수하다고 판단할 수 있다. 본 연구는 식물공장에 자동화 도입에 따른 손익분기점을 분석함으로써 국내외 다양한 식물공장의 자동화 도입에 따른 경제성 분석을 위한 기초 자료로 활용 가능할 것으로 판단된다. 향후 수행될 연구는 자동화 도입에 적절한 식물공장의 기준을 선정하고 효율적인 자동화 도입 방안을 수립하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

**키워드 :** 식물공장, 자동화, 재배 공정, 경제성 평가, 손익분기점 분석

---