

RESEARCH ARTICLE

# 자율주행 양파 정식기의 성능 및 경제성 평가

황재서<sup>1</sup>, 강영선<sup>2</sup>, 김완수<sup>1,3,4\*</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 농업생명과학대학 생물산업기계공학과, <sup>2</sup>충남대학교 친환경 수소·전기 농기계 연구소

<sup>3</sup>경북대학교 농업생명과학대학 스마트생물산업기계공학과, <sup>4</sup>경북대학교 밭농업기계개발연구센터

## Performance and economic evaluation of an auto-steering onion transplanter

Jae-Seo Hwang<sup>1</sup>, Young-Sun Kang<sup>2</sup>, Wan-Soo Kim<sup>1,3,4\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Bio-Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea

<sup>2</sup>Eco-friendly Hydrogen Electric Tractor & Agricultural Machinery Institute, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

<sup>3</sup>Department of Smart Bio-Industrial Mechanical Engineering, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea

<sup>4</sup>Upland Field Machinery Research Center, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea

\*Corresponding author: wansoo.kim@knu.ac.kr

### Abstract

The purpose of this study was to compare and evaluate the performance and economic of an auto-steering onion transplanter and a conventional transplanter to determine their applicability in actual agricultural environments. Performance evaluation was conducted by analyzing path-tracking accuracy through planting position deviations and measured working time, while economic feasibility was assessed by calculating cumulative operating costs based on field capacity. The results showed that the auto-steering transplanter reduced the maximum and average planting position deviations by 76.2% and 81.7%, respectively, compared to the conventional transplanter, and shortened straight-line and turning operation times by 8.4% and 25.0%, respectively, resulting in a 10.8% improvement in overall field capacity. The economic analysis showed that the cumulative cost of the conventional transplanter was lower for cultivated areas below 4.44 ha, and the auto-steering transplanter was lower for areas above 4.44 ha and based on time, it became more advantageous after approximately 2.52 years of operation for farms with the average onion cultivation area of 1.76 ha. These findings indicate that although the auto-steering transplanter requires a higher initial investment, long-term or large-scale use offsets this cost through accumulated savings from improved operational efficiency, thereby providing economic benefits. This study quantitatively demonstrates the technical performance and economic feasibility of the auto-steering transplanter, offering valuable baseline data for promoting mechanization and reducing labor demand in onion cultivation.

**Keywords:** Onion, Transplanting, Auto-steering, Performance evaluation, Economic analysis



### OPEN ACCESS

Journal of Agricultural Machinery Engineering  
5(3):89-98

DOI: <https://doi.org/10.12972/jame.2025.5.3.2>

Received: August 13, 2025

Revised: August 28, 2025

Accepted: September 01, 2025

Copyright: © 2025 Korean Society for Agricultural Machinery



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## Introduction

현재 국내 농업은 인구감소 및 고령화로 인해 심각한 노동력 부족 문제에 직면하고 있다 (Jo et al., 2023). 2000년 기준 약 403만 명이었던 농업 인구는 2024년 약 200.4만 명으로 50.3% 감소하여 심각한 인구감소가 나타났다 (Statistics Korea, 2020). 같은 기간 전체 농업인 중 65세 이상 고령자의 비율은 52.0%에 이르렀으며, 이에 따라 농촌 고령화 지수는 190.0에서 1,739.5로 급증하여 농업 인구의 고령화가 매우 심각한 수준인 것으로 나타났다 (Statistics Korea, 2024). 그러나 감소하는 농업 노동력에 비해 양파의 재배면적은 1980년 기준 7,714 ha에서 2025년 기준 17,677ha로 지속적으로 증가하고 있어 노동력 부족 문제가 더욱 심화되고 있다 (Statistics Korea, 2025). 이에 따라 농작업의 기계화 및 자동화 기술 도입의 필요성이 점차 확대되고 있으며, 밭농업 분야에서도 이러한 기술을 도입하기 위한 다양한 노력이 수행되고 있다 (Lee et al., 2024; Bagherpour and Talab, 2024).

양파 정식 작업은 모종을 두둑 위에 일정한 간격으로 심는 과정으로, 전체 재배 작업 중 약 26%의 노동 비중을 차지한다. 인력으로 정식 작업을 수행할 경우, 한 사람 기준 10a당 약 50시간이 소요되어 작업 능률이 낮고 피로도가 높다 (RDA, 2018). 반면 정식기를 통해 기계화할 경우 동일한 인력과 작업 면적 기준으로 소요 시간을 크게 단축할 수 있다 (Paudel et al., 2024). 그러나 양파 정식기는 타 작업기 대비 초기 투자비용이 높아 소규모 농가에서는 수익 회수에 상당한 기간이 소요되는 문제가 있어 도입 부담이 크다. 또한, 기존 정식기는 조향이 수동으로 이루어져 모종 배치가 불균일해지는 문제가 있으며, 이 문제는 두둑 폭이 좁은 소규모 농가에서 더욱 두드러진다. 좁은 두둑에서 모종 배치가 불균일할 경우 일부 모종이 두둑 밖으로 벗어나 생산량과 품질의 저하로 이어질 수 있다. 우리나라 양파 재배 농가 중 66.0%가 1ha 미만의 소규모 농가라는 점을 고려할 때 (Statistics Korea, 2025), 이러한 문제들은 정식 단계의 기계화 도입을 어렵게 만드는 주요 요인으로 작용하고 있다 (Kim et al., 2024).

최근 노동력 부족을 대체하고 농작업 효율을 향상시키기 위해 자율주행 농기계 기술에 대한 관심이 증대되고 있다. 기존 연구에서는 트랙터, 이앙기, 콤팩트 등 주요 농기계를 중심으로 자동조향 및 자율주행 기술이 활발히 적용되고 있다. Yin et al. (2020) 은 트랙터, 이앙기, 방제기 등 3종의 농기계를 대상으로 듀얼 안테나 GNSS (Global Navigation Satellite System) 기반 자동항법 컨트롤러를 개발하였다. Lee et al. (2023) 은 이중 GPS (Global Positioning System) 안테나와 RTK-GNSS 기반 자율주행 시스템을 개발하여 콤팩트의 직진성을 향상시켰으며, 그 결과 작업 효율이 약 76.7% 개선되었다. An et al. (2024) 는 농업용 휠타입 차량의 자동조향을 위해 퍼지 제어 기반 전동 조향 시스템을 개발하였으며, 그 결과 트랙터와 이앙기 등 다양한 농기계에서 경로 추적 오차 4.39 cm, RMS 3.75 cm를 달성하였다. Martelli et al. (2024) 는 과수원 환경에서 농업 로봇 경로 계획 및 경로 추종 알고리즘을 적용하여 자율주행 기술을 적용하였으며, RTK-GPS 환경에서 경로 추종 성능을 평가하였다. 한편, 정식기에 자동조향 및 자율주행 기술을 적용한 연구는 매우 드물며, 원격 조종 기능과 부분 자동화를 구현하는 수준에 그쳤다. Yang et al. (2020) 은 소형 자동 정식기에 PLC (Programmable Logic Controller) 기반 제어 시스템을 적용하여 정식 과정을 자동화 하고, 무선 원격 조향 기능을 탑재하여 성능을 평가하였다. 위와 같은 선행연구는 대부분 트랙터, 이앙기, 콤팩트 등 주요 농기계에 집중되어 있으며, 정식기를 대상으로 한 연구는 미비하였다.

따라서, 본 연구의 목적은 양파 정식기에 자율주행 키트를 부착하여 관행 정식기와와의 성능을 비교하고, 경제성을 분석하여 실제 농업에서의 적용 가능성을 평가하는 것이다. 구체적으로, 1) 관행 정식기와 자율주행 키트가 부착된 정식기의 작업 직진성 및 작업 시간을 비교·평가하고, 2) 동일한 면적 작업 시 두 정식기의 투입 시간과 작업 능률을 분석 후, 3) 분석된 작업 능률을 기반으로 경제성을 산출하고, 손익분기점을 계산하여 농업 현장에서의 적용 가능성을 검토하는 것을 목표로 한다.

## Materials and Methods

### 실험 계획

본 연구는 자율주행 기능이 탑재된 정식기와 관행 정식기의 성능 및 경제성을 비교·평가하기 위해 수행되었다. 성능 평가는 동일한 포장에서 두 작업기의 작업 시간을 측정하여 작업 능률을 산정하고, 직진 주행 시 기준선에 대한 정식 위치 편차를 분석하여 주행의 직진성을 평가하였다. 경제성 분석은 측정된 작업 능률을 기반으로 작업 면적당 누적 발생 비용을 산출하여 비교하였다. Fig. 1은 전반적인 논문 구성 및 실험 설계를 표현한다.

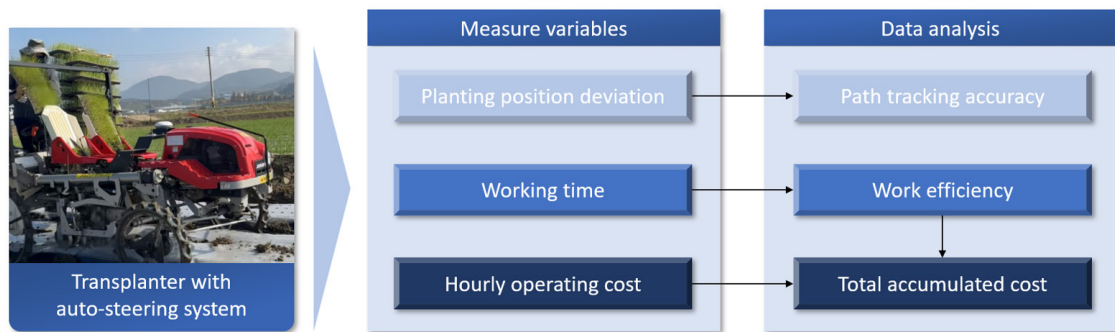


Fig. 1. Overview of the experimental design

### 실험 장비 구성 및 제원

본 연구에서는 양파 정식기의 자율주행 성능 평가를 위하여 승용식 8조식 정식기(JOPR-4/8, JUKAM M&C, Goheung, South Korea)와 자율주행 키트(F100, Sveaverken, Katrineholm, Sweden)를 사용하였다. Fig. 2은 실험 장비 사진을 나타내며, Table 1과 2는 각 장비의 세부 제원을 요약하여 보여준다.



Fig. 2. Experimental equipment used in this study ((a) transplanter, (b) auto-steering system)

**Table 1.** Detailed specifications of the transplanter

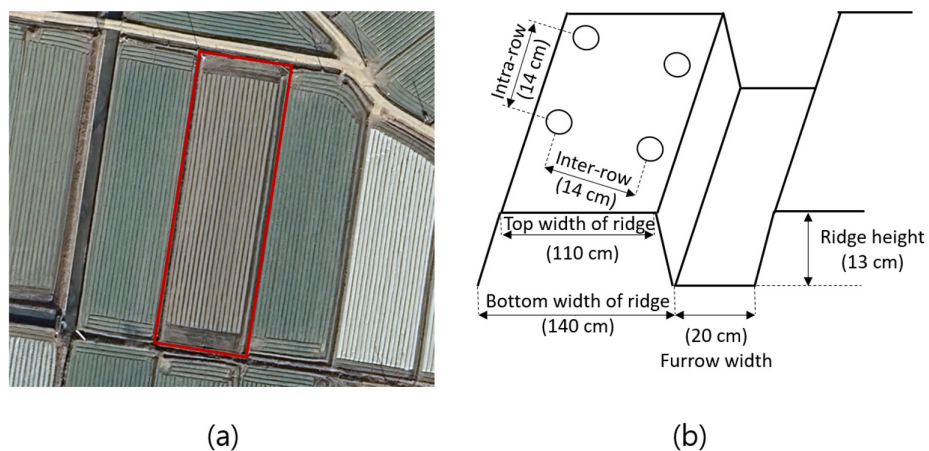
| Item               | Transplanter          |
|--------------------|-----------------------|
| Model              | JOPR-4/8              |
| Company            | JUKAM M&C             |
| Size (L×W×H, mm)   | 3,230 × 1,980 × 2,330 |
| Empty weight (kg)  | 728                   |
| Working width (mm) | 1,300                 |

**Table 2.** Detailed specifications of the auto-steering system

| Item             | Auto-steering system                                                                                                                                             |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Model            | F100                                                                                                                                                             |
| Company          | Sveaverken                                                                                                                                                       |
| Control terminal | Size (L×W×H, mm)<br>275×180×40<br>Power supply (V)<br>9 - 36                                                                                                     |
| GNSS receiver    | Size (L×W, mm)<br>162 × 78<br>Frequency<br>GPS : L1C/A, L2P(Y)/L2C, L5<br>GLONASS : G1, G2<br>BDS : B1I, B2I, B3I<br>Galileo : E1, E5a, E5b<br>QZSS : L1, L2, L5 |
| Steering wheel   | Size (D, mm)<br>410<br>Power supply (V)<br>12 / 24                                                                                                               |

## 실험 필드

본 실험은 대한민국 양파 주산지인 창녕군에 위치한 필드(35°33'44.54" N, 128°29'8.69" E)에서 수행되었다. 두둑 형상 및 재배 양식의 경우 윗두둑폭, 아랫두둑폭, 고랑폭, 두둑높이는 각각 110cm, 140cm, 20cm, 13cm로 설정하였으며, 주간, 조건 거리 및 줄수는 각각 14cm와 8줄로 설정하였다. 이는 사전에 진행된 한국 양파 재배 관행 조사와 현지 농가의 현장 설문조사를 바탕으로 결정하였다 (Hwang et al., 2024). Fig 3.은 실험 필드지 모습과 식재 규격 및 두둑 형상을 보여준다.

**Fig. 3.** Experimental field layout and ridge design ((a): field layout, (b): ridge design)



## 성능 평가

### 직진성 평가

직진성의 경우 각 정식기가 작업한 두둑에 대해서 약 20개의 모를 대상으로 측정을 진행하였다. 첫번째 모를 기준으로 두둑과 평행한 기준선을 설정하고, 해당 기준선과 모의 위치 편차를 측정하여 직진성을 평가하였다. Fig. 4는 정식 위치 편차 측정하는 실제 필드 모습과 모식도를 나타낸다.

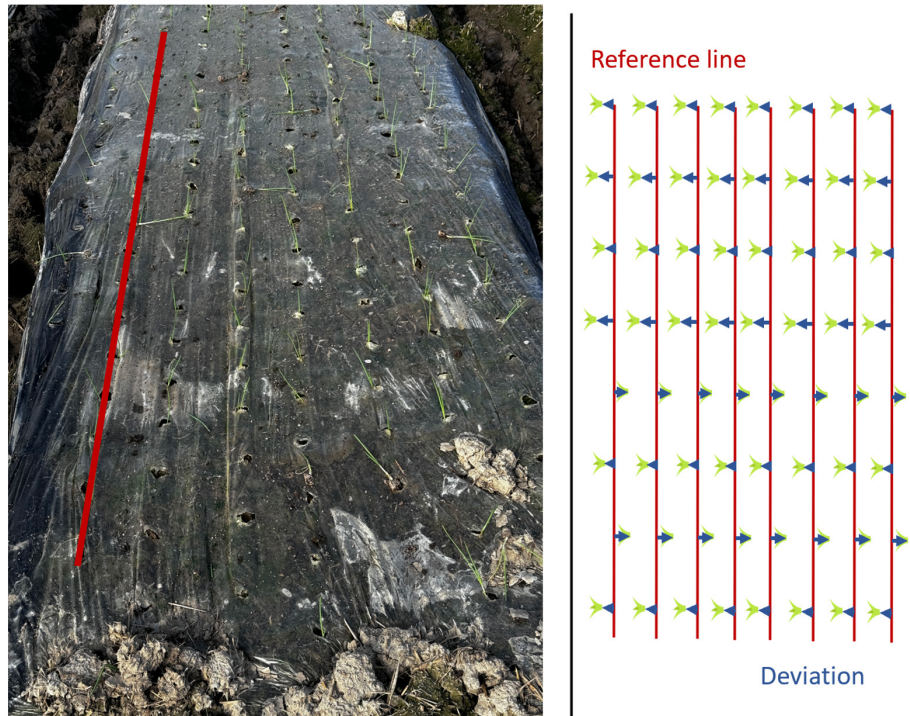


Fig. 4. Field and schematic layout for evaluating path tracking accuracy

### 작업 능력

카메라를 통해 각 정식기의 직진 주행과 선회 주행 시간을 촬영 및 측정하였으며, 작업 길이는 줄자를 통해 직접 측정하였다. 작업 능력 계산시에 작업 면적은 최소 작업 단위를 기준으로 산출하였다. 최소 작업 단위는 직진 주행 2회와 선회 주행 1회를 포함하는 두 개의 두둑으로 구성되었다. 해당 작업 단위에 대하여 총 작업 면적과 총 작업 시간을 작업 능력을 산출하였다.

이때, 정식기 별로 측정된 정식 위치 편차, 직진 주행, 선회 주행, 최소 작업 단위에 대한 총 작업 시간, 작업능률에 대해 개선율을 식 (1)을 통해 계산하였다.

$$\text{Improvement rate} = \frac{\text{Conventional} - \text{Autosteering}}{\text{Conventional}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

여기서, Improvement rate는 개선율을 의미하고, Autosteering은 자율주행 정식기를 사용하였을 때 작업시간, 작업능률, 정식 편차를, Conventional은 관행 정식기를 사용하였을 때 작업시간, 작업능률, 정식 편차를 의미한다.

## 경제성 분석

본 연구에서는 자율주행 정식기의 현장 적용 가능성을 평가하기 위해 각 작업기별 작업 면적에 따른 누적 발생 비용을 도출하여 경제성 분석을 진행하였다. 누적 발생 비용은, 작업기 별 시간당 고정비와 시간당 유동비를 포함한 시간당 발생 비용과 작업능률을 기반으로 도출하였다. 시간당 고정비는 기계 구매 비용, 사용 수명, 폐기 가치, 연간 감가상각비, 연간 수리비, 이자, 연간 사용 시간등을 포함하며, 시간당 유동비는 작업 방식에 따라 달라지는 비용을 의미하며, 인건비와 유류비가 포함된다. 자율주행 정식기의 경우 관행 정식기 비용에 자율주행 키트의 비용이 포함된 가격을 반영하였으며, 이외 내구 연한 및 연간 사용시간, 작업자 수, 시간당 연료 소모량, 연료 비용, 인건비 등은 동일하게 반영하였다. Table 3은 정식기 별 도출된 시간당 고정비, 시간당 유동비, 시간당 총 비용을 요약하여 보여준다.

최종적으로 작업 면적에 따른 누적 발생 비용은 식 (2)를 통해 도출되었다.

$$TCC_a \text{ (KRW)} = IIC + \frac{A}{F} \times C_h \quad (2)$$

여기서,  $TCC_a$ 는 작업 면적에 따른 누적 발생 비용(Total cumulative cost, TCC)을 의미하고, IIC는 초기 투자 비용(Initial investment cost, IIC), A는 작업 면적, F는 작업 능률,  $C_h$ 는 시간당 발생 비용을 의미한다.

추가적으로, 경상남도 주요 양파 주산지에서 기계화 재배를 실시하는 농가의 평균 재배 면적인 1.76ha를 기준으로 연도별 누적 발생 비용을 산출하여 시간 경과에 따른 경제성을 분석하였다. 연도별 누적 발생 비용은 식 (3)을 통해 도출되었다.

$$TCC_t \text{ (KRW)} = IIC + (C_y \times Y) \quad (3)$$

여기서,  $TCC_t$ 는 시간에 따른 누적 발생 비용(Total cumulative cost, TCC)을 의미하고, IIC는 초기 투자 비용(Initial investment cost, IIC),  $C_y$ 는 연간 발생 비용, Y는 년수를 의미한다.

**Table 3.** Detailed specifications of the transplanter

| Items                       |                                   | Conventional transplanter | Auto-steering transplanter |
|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Fixed cost per hour         | Transplanter price (KRW)          | 49,000,000                | 49,000,000                 |
|                             | Auto-steering system price (KRW)  | -                         | 9,500,000                  |
|                             | Service life (yr)                 | 5                         | 5                          |
|                             | Salvage value (KRW)               | 2,450,000                 | 2,925,000                  |
|                             | Annual depreciation cost (KRW/yr) | 9,310,000                 | 11,115,000                 |
|                             | Annual repair cost (KRW/yr)       | 2,940,000                 | 3,510,000                  |
|                             | Annual interest (KRW/yr)          | 1,225,000                 | 1,462,500                  |
|                             | Annual working time (h/yr)        | 33.5                      | 5.8                        |
| Variable cost per hour      | Number of workers                 | 2                         | 2                          |
|                             | Hourly fuel consumption (L/h)     | 5                         | 5                          |
|                             | Fuel cost (KRW/L)                 | 1,047                     | 1,047                      |
|                             | Daily labor cost (KRW/day)        | 152,335                   | 152,335                    |
|                             | Daily working time (h)            | 8                         | 8                          |
|                             | Hourly fuel cost (KRW/h)          | 4,931                     | 4,931                      |
|                             | Hourly labor cost (KRW/h)         | 38,084                    | 38,084                     |
| Total cost per hour (KRW/h) |                                   | 445,254                   | 523,239                    |

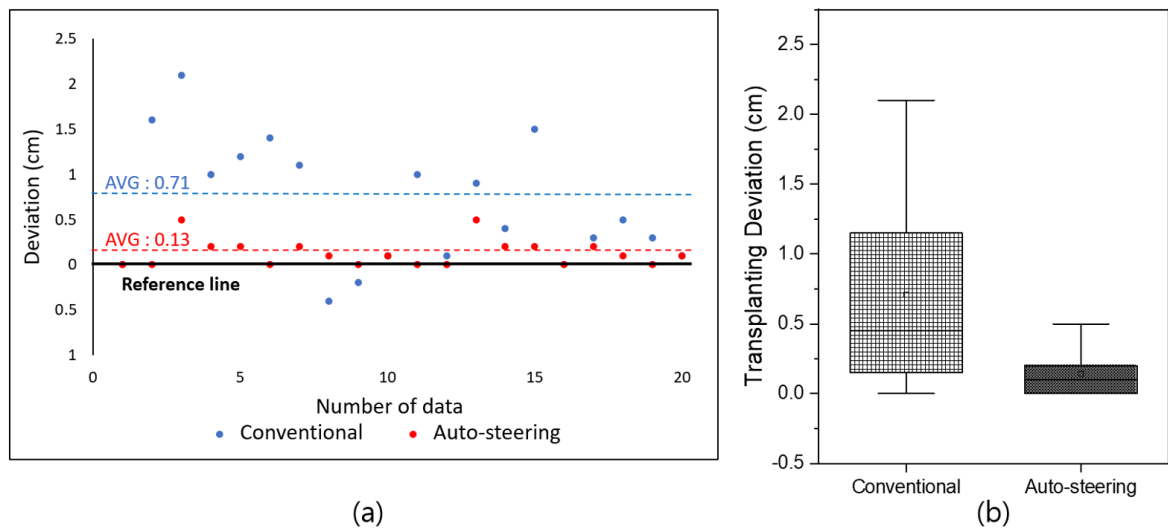
## Results and Discussion

### 정식기 작업 성능 평가

#### 정식 위치 편차 및 직진성 평가

정식기 별 정식 위치 편차 측정 결과를 통계 분석한 결과, 관행 정식기의 최대값, 평균, 표준편차는 각각 2.1cm, 0.71cm, 0.62cm, 상대 표준편차는 87.3%로 나타났으며, 자율주행 정식기의 최대값, 평균, 표준편차는 각각 0.5cm, 0.14cm, 0.13, 상대 표준편차는 92.9%로 나타났다. 두 정식기의 정식 편차 통계 분석 결과 값의 차이와 개선율을 각각 분석한 결과, 자율주행 정식기를 사용하였을 때 정식 위치 편차의 최대값과 평균 각각 1.6cm, 0.57cm 감소하였으며, 이때 개선율은 각각 76.2%, 80.3%로 나타났다. 이는 자율주행 기능이 직진 주행의 일관성을 높여 정식 위치의 정확도를 개선하였음을 보여준다. 이러한 결과는 자율주행 시스템이 단순히 작업의 자동화를 넘어, 정식 품질의 균일성과 직진성 향상에도 긍정적인 영향을 미쳤다는 점에 의미가 있다. Table 4는 정식기 유형 별 정식 위치 편차 값을 통계 분석한 결과를 보여준다.

Fig. 5(a)는 각 정식 위치 편차 값을 시각적으로 나타낸 것이며, Fig. 5(b)는 박스 플롯을 통해 정식 위치 편차의 분포 및 변동성을 보여준다. 이 두 그림은 자율주행 정식기를 활용할 경우 정식기의 직진성, 정식 위치의 일관성이 향상됨을 명확하게 나타낸다.



**Fig. 5.** Visual comparison of transplanting position deviations by transplanter type: (a) individual deviation values, (b) boxplot of deviation distribution.

**Table 4.** Statistical analysis results of planting position deviations by transplanter type

| Statistical indicator | Planting position deviations (cm) |                            | Difference (cm) | Improvement rate (%) |
|-----------------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------|----------------------|
|                       | Conventional transplanter         | Auto-steering transplanter |                 |                      |
| Max.                  | 2.1                               | 0.5                        | 1.6             | 76.2                 |
| Avg.±Std.             | 0.71±0.62                         | 0.14±0.13                  | 0.57            | 80.3                 |
| RSD (%)               | 87.3                              | 92.9                       | -               | -                    |

\* An independent samples t-test revealed that the difference between the conventional and auto-steering types was statistically significant ( $t=4.00$ ,  $p<0.001$ )

### 작업 시간 및 작업 능력 평가

정식기 별 직진 주행, 선회 주행, 최소 작업 단위에 대한 총 작업 시간을 측정한 결과, 관행 정식기의 경우 각각 879s, 149s, 1,907s가, 자율주행 정식기의 경우 각각 805s, 112s, 1,722s가 소요된 것으로 나타났다. 이에 따른 자율주행 정식기의 작업 시간 개선율은 각각 8.4%, 25.0%, 9.7%로 나타났으며, 이는 모든 작업 과정에서 자율주행 기능이 작업 시간 단축에 기여함을 나타낸다. 정식기 별 작업 능력을 계산한 결과 관행 정식기와 자율주행 정식기 각각 0.0566 ha/h, 0.0627 ha/h로 나타났으며, 이때 개선율은 10.8%로 나타났다. 이는 일정한 주행 경로를 유지하여 전체 작업 시간을 단축함으로써 작업 능력 향상에 기여한 것으로 판단된다. Table 5는 정식기 별 작업 시간 및 작업 능력 측정 결과를 보여준다.

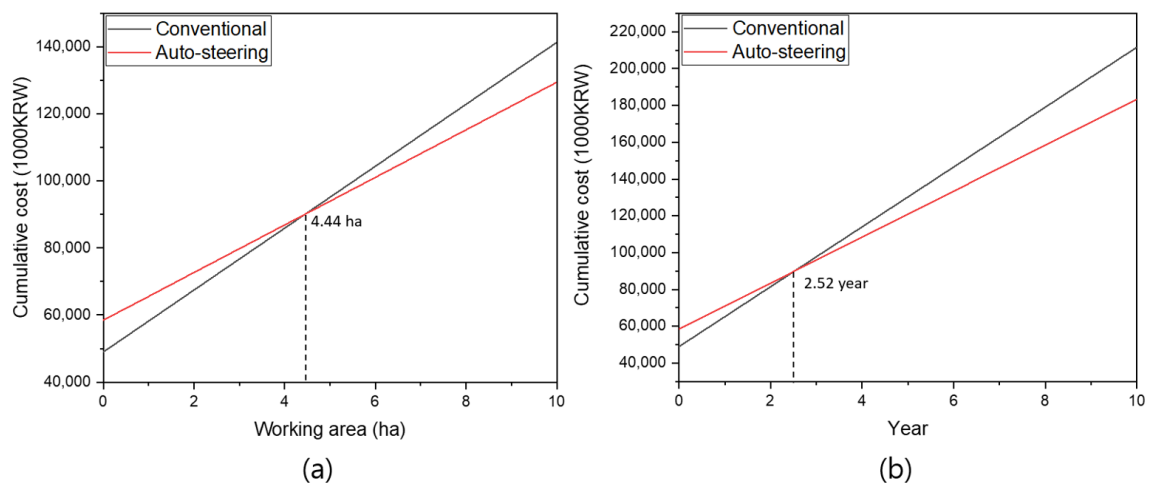
**Table 5.** Results of working time and field efficiency measurements by transplanter type

| Items                    | Conventional | Auto-steering | Improvement rate (%) |
|--------------------------|--------------|---------------|----------------------|
| Straight operation (sec) | 879          | 805           | 8.4                  |
| Turning operation (sec)  | 149          | 112           | 25.0                 |
| Total operation* (sec)   | 1,907        | 1,722         | 9.7                  |
| Work efficiency (ha/h)   | 0.0566       | 0.0627        | 10.8                 |

\*The work field consisted of two ridges, each 88m long, with a total area of approximately 0.03 ha

### 경제성 분석

Fig. 6는 각 작업기 별 누적 발생 비용을 작업 면적과 작업 시간에 따라 비교한 결과를 나타낸다. 분석 결과, 작업 면적이 좁은 구간에서는 초기 투자 비용이 높은 자율주행 정식기의 누적 발생 비용이 관행 정식기 보다 높게 나타나 경제적으로 불리한 것으로 분석되었다. 그러나, 작업 면적이 증가함에 따라 자율주행 정식기의 시간당 비용이 낮아지면서 누적 발생 비용의 증가 속도가 완만해졌고, 결과적으로 약 4.44ha를 기준으로 자율주행 정식기의 누적 발생 비용이 낮게 산정되어 경제적으로 더 유리한 것으로 나타났다. 이는 자율주행 정식기의 초기 비용 부담에도 불구하고, 작업 효율성 향상을 통해 일정 규모 이상의 농가에 한해서 경제적 이점을 확보할 수 있음을 나타낸다. 또한, 평균 양파 재배면적(1.76ha)을 기준으로 분석한 결과, 자율주행 정식기는 약 2.52년 이상 사용 시 경제적으로 유리한 것으로 나타났다. 이는 장기간 운용할수록 작업 효율성 향상으로 인한 비용 절감 효과가 누적되어, 추가 투자비용을 상쇄함을 의미한다.



**Fig. 6.** Economic analysis results by transplanter type ((a): cumulative cost by working area, (b): cumulative cost by working years)



## Conclusion

본 연구에서는 관행 정식기와 자율주행 정식기의 성능 및 경제성을 비교·평가하여 농업 현장에서의 적용 가능성을 검토하였다. 작업 성능 평가 결과, 자율주행 정식기는 관행 정식기에 비해 정식 위치 편차의 최대값과 평균값이 감소하여 각각 76.2%, 80.3%여의 개선율을 보였으며, 이에 따라 직진 주행 시간이 단축되어 직진 주행에서의 8.4%의 작업 개선율을 보였다. 또한, 자율주행 정식기의 경우 선회 주행에서 불필요한 경로 이동을 최소화하여 선회 주행에서의 25.0%의 작업 개선율을 보였다. 자율주행 정식기의 경우 직진, 선회 주행 시간 모두 단축되어 전반적인 작업 능률이 10.8% 향상된 것으로 나타났다.

경제성 분석 결과, 작업 면적이 4.44ha 이상일 경우 자율주행 정식기의 누적 발생 비용이 관행 정식기보다 낮게 산정되어, 일정 규모 이상의 농가에서는 자율주행 기술 도입이 경제적으로 유리함을 확인할 수 있었다. 또한, 평균 양파 재배면적 (1.76ha)을 기준으로 분석하였을 때 약 2.52년 이상 사용 시 자율주행 정식기가 경제적으로 유리한 것으로 나타났다. 이는 자율주행 정식기의 경우 자율주행 키트의 도입으로 관행 정식기에 비해 초기 투자 비용이 증가하였음에도 불구하고, 작업 시간 단축에 따른 작업 능력 향상과 그로 인한 시간당 총 발생 비용이 감소하여 일정 면적 또는 일정 기간 이상에서는 경제적 이점이 발생한 것으로 판단된다.

본 연구는 자율주행 기술이 정식 작업에서 작업 정밀도와 능력을 향상시킬 수 있음을 확인하였으며, 일정 면적 이상의 농가에서는 경제적인 측면에서도 충분한 현장 적용 가능성이 있음을 확인하였다. 이는 심각한 노동력 부족 문제를 겪고 있는 한국 농업에서 자율주행 정식기의 도입이 노동력 절감뿐만 아니라 안정적인 작업 성능과 경제성 확보 측면에서도 효과적인 대안이 될 수 있음을 보여준다. 따라서, 본 연구는 자율주행 정식기의 기술적 성능과 경제성을 정량적으로 입증함으로써, 향후 농가의 자율주행 정식기 도입 의사결정에 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

다만, 본 연구는 특정 지역 및 재배 조건을 기반으로 수행되었기 때문에, 다양한 지역의 토양 환경을 반영한 후속 연구가 요구된다. 또한, 작업 성능 평가의 경우 정식 위치 편차 외에 정식 품질 요소 (식재 방향, 결주 수 등)가 반영되지 못했다는 한계가 있다. 또한, 정식기 운행 과정에서 육묘 판 투입 시간과 이에 따른 추가 인력 소요 역시 고려되지 않았다. 이러한 요소들은 실제 재배 결과에 영향을 미칠 수 있는 중요한 지표로, 향후 연구에서는 보다 종합적인 정식 품질 평가 체계를 마련하여 한계점을 개선할 예정이다.

## Acknowledgements

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 발농업 기계화 촉진기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2023-00230838)

## References

- Cho SH, Lee CY, Jeong HJ, Kang SW, Lee DH. 2023. Estimation of two-dimensional position of soybean crop for developing weeding robot. *Journal of Drive and Control*. 20(2):15-23. <https://doi.org/10.7839/ksfc.2023.20.2.015>
- Statistics Korea. 2020. Trends in the number of farm households and farm population. [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_1NG0001&conn\\_path=I2](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1NG0001&conn_path=I2) [in Korean].
- Statistics Korea. 2024. Farm population by age and gender. [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_1EA1040&conn\\_path=I2](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1EA1040&conn_path=I2) [in Korean].

- Statistics Korea. 2025. Cultivated area of open-field vegetables. [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_1ET0013&conn\\_path=12](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0013&conn_path=12) [in Korean].
- Lee SH, Kim WK, Eo JW, Lee SB, Choi DG, Park SH, Kang YK, Cheon CU. 2024. Field Test of Harvesting Mechanization Technology of Onion at Shinan Area. *Journal of Drive and Control*. 21(3):20–27. <https://doi.org/10.7839/ksfc.2024.21.3.020>
- Bagherpour H and Talab MMS. 2024. Design, Construction, and Evaluation of a Precision Vegetable Reaper to Use in Small Plots. *Journal of Biosystems Engineering*. 49:41–51.
- Rural Development Administration (RDA). Technical Development for Improving Bulb Productivity in Mechanical Transplanting of Onion: Final Report for General Project (Project No. PJ011788); RDA: Jeonju, Korea, 2018.
- Paudel B, Basak JK, Jeon SW, Deb NC, Karki S, Kim HT. 2024. Development and field testing of biodegradable seedling plug-tray cutting mechanism for automated vegetable transplanter. *Journal of Agricultural Engineering*. 55:1566. <https://doi.org/10.4081/jae.2024.1566>
- Statistics Korea. 2025. Number of farms by harvested crops (rice, barley, soybean, pepper, garlic, onion, sesame) by cultivated area. [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_1EA1036&conn\\_path=13](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1EA1036&conn_path=13) [In Korean]
- Kim JH, Lee CY, Cho YH, Yu Z, Kim KM, Yang YJ, Nam JS. 2024. Potato farming in the United States and South Korea: Status comparison of cultivation patterns and agricultural machinery use. *Journal of Biosystems Engineering*. 49:252–269. <https://doi.org/10.1007/s42853-024-00231-2>
- Yin X, Wang Y, Chen Y, Jin C, Du J. 2020. Development of autonomous navigation controller for agricultural vehicles. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 13(4):70–76. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20201304.5470>
- Lee K, Choi H, Kim J. 2023. Development of path generation and algorithm for autonomous combine harvester using dual GPS antenna. *Sensors*. 23:4944. <https://doi.org/10.3390/s23104944>
- An G, Zhong Z, Yang S, Yang L, Jin C, Du J, Yin X. 2024. EASS: An automatic steering system for agricultural wheeled vehicles using fuzzy control. *Computers and Electronics in Agriculture*. 217:108544. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108544>
- Martelli S, Mocera F, Somà A. 2024. Autonomous driving strategy for a specialized four-wheel differential-drive agricultural rover. *AgriEngineering*. 6:1937–1958. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6030113>
- Yang Q, Huang G, Shi X, He M, Ahmad I, Zhao X, Addy M. 2020. Design of a control system for a mini-automatic transplanting machine of plug seedling. *Computers and Electronics in Agriculture*. 169:105226. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105226>
- Hwang, JS; Kang, YS; Kim, WS. 2024. A Study on Cultivation Models and Mechanization Rates for Onion Cultivation Standardization: Focusing on the Gyeongsangnam-do. *Korean Journal of Agricultural Science*. 51: 787–800. <https://doi.org/10.7744/kjoas.510428>