

소식재배용 이앙기 모판 이송간격에 따른 이앙정확도 분석

Analysis of Transplanting Accuracy of Rice Transplanter for Low density Planting According to Transfer Distance to Seedling Tray

김원경¹ · 이상희^{1*} · 최덕규¹ · 박석호¹ · 강연구¹ · 문석표¹ · 천창욱¹ · 장성혁¹

Won-Kyung Kim, Sang Hee Lee, Deok Gyu Choi, Seok Ho Park, Youn Koo Kang, Seok Pyo Moon, Chang Uk Cheon, Sung Hyuk Jang

Received: 6 Mar. 2024, Revised: 27 Mar. 2024, Accepted: 18 Apr. 2024

Key Words : Low Density Planting(소식재배), Rice Transplanter(이앙기), Transfer Distance(이송간격), Miss-Planted Rate(결주율)

Abstract: Domestic rice is more expensive than imported products, so it is necessary to reduce production costs to secure competitiveness. Low-density planting developed in Japan is a cultivation technology that reduces labor and production costs without yield loss. The area of low-density cultivation is continuously increasing. However, research on how rice transplanters adapt to low-density planting has not been conducted. Therefore, this study was carried out to determine the optimal working conditions of a rice transplanter for low-density planting. Three types of rice transplanters were used and treated based on 3 conveying distance levels. The number of picked seedlings, pick missing rate, the number of planted seedlings, and the mis-planted rate were investigated to evaluate planting accuracy according to the transfer distance to the seedling tray. The results showed that the number of planted seedlings was 4.31~4.95 EA with an L1 seedling tray transfer distance (horizontal 9 mm, vertical 8 mm), but the mis-planted rate was higher than in other conditions. At L2 (horizontal 9 mm, vertical 10 mm) and L3 (horizontal 11 mm, vertical 8 mm) transfer distance conditions, the number of planted seedlings were 4.89-5.68 EA and 4.69-5.66 EA, respectively, with a low mis-planted rate of less than 3%. The results showed that if the transfer distance is adjusted properly, a rice transplanter can be used for low-density planting with high planting accuracy.

기호 설명

P_{pm} : pick missing rate, %

P_{p0} : number of times 0 seedling picked out, times

P_{pn} : number of times total seedling picked out, times

P_m : miss-planted rate, %

P_0 : number of times 0 seedling planted, times

P_n : number of times total seedling transplanted, times

1. 서론

벼는 우리나라 주식으로 재배면적이 약 73만 ha에 달하는 주곡 작물이다¹⁾. 하지만, 국내산 쌀은 수입산에 비해 가격이 높아 경쟁력 확보를 위한 생산비 절감이 필요하다²⁻⁵⁾. 2022년 벼농사 기계화율은 99.3%로 모든 작업공정이 기계화 되어 있다⁶⁻⁷⁾. 따라서, 벼 생산비 절감을 위해서는 기계화 기술 외에 재배기술 개발이 필요하다.

벼 생산비를 낮추기 위해 육묘 생산에 필요한 비용 및 노동력을 줄이고자 직파 재배기술이 개발되었으나 재배 안정성이 낮아 활발히 보급되지 못하였다

* Corresponding author: shlee8868@korea.kr

1 Upland Mechanization Team, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea

2 Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

Copyright © 2024, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

8). 소식재배는 일본에서 개발된 재배기술로 이앙 간격을 넓히고 주당 이앙되는 재식본수를 줄여 이앙에 필요한 모판수를 줄임으로써 이앙에 소요되는 비용 및 노력을 절감하는 기술이다⁹⁾. 재식밀도를 관행 80주/3.3m² 내외에서 37~50주/3.3m² 까지 줄이고 재식본수를 관행 8~10개에서 3~5개로 줄여 육묘 및 이앙 노력을 줄이면서도 수량성은 표준재배와 차이가 나지 않는다는 결과들이 보고되면서 소식재배 면적은 지속적으로 증가 추세이다¹⁰⁾.

일본에서는 소식재배 보급 확산에 맞춰 재식밀도를 37주/3.3m² 까지 줄일 수 있고, 주당 재식본수를 줄이기 위해 모판 횡이송 및 종이송 간격을 좁히고, 식부침의 폭을 줄인 소식재배용 이앙기를 개발하여 보급 중이다¹¹⁾. 국내에서도 소식재배에 적용이 가능한 이앙기를 선보였으나¹²⁻¹³⁾, 주당 재식본수를 3~5개로 낮추기 위한 이앙기의 적정 작업조건에 대한 연구는 미흡하다¹⁴⁾.

따라서, 본 연구는 소식재배에서 낮은 결주율로 적정 재식본수를 유지할 수 있도록 모판의 횡이송 및 종이송 간격에 따른 재식본수와 결주율을 조사하여, 소식재배 이앙기의 최적 작업조건을 구명하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1 이앙기

본 실험에서는 국내에서 현재 개발되어 보급 중인 국산 A사, B사 소식재배용 이앙기 2기종, 국내에 수입되어 판매되고 있는 일본산 C사 소식재배용 이앙기 1기종을 사용하였다. 각 이앙기는 재식밀도를 37

Table 1 Specifications of rice transplanter used in experiment

Item		Specifications		
		Company A	Company A	Company C
Body	L×W×H (mm)	3,300×2,600×2,250	3,410×2,200×1,800	3,300×2,100×1,600
	Weight (kg)	820	779	785
Planting density (seedling/3.3m ²)		37, 43, 50, 60, 70, 80	37, 45, 50, 60, 70, 80	37, 43, 50, 60, 70, 85
Planting spacing (mm)		30, 25, 22, 18, 16, 14	30, 24, 22, 18, 16, 14	30, 26, 22, 18, 16, 13
Transfer distance (mm)	Horizontal	9, 11, 14, 16	9, 11, 14, 16	9, 11, 14, 16
	Vertical	8~17	8~17	5~12

주/3.3m² 까지 이앙이 가능하며, 모판 횡이송 간격은 9 mm, 종이송 간격은 8 mm 까지 이송이 가능하다. 각 이앙기의 상세 제원은 Table 1과 같다.

2.2 모소질

시험에 사용된 모는 300 g/모판의 파종량으로 파종된 모를 사용하였다. 모소질은 초장, 발아율 및 각 횡이송, 종이송 간격에 따른 면적별 모 본수를 조사하였다. 초장은 3개의 모판에서 각 모판별로 20주를 임의로 선발하여 조사하였으며, 발아율은 각 모판에서 3개의 30 mm × 30 mm 면적을 임의로 샘플링하여 조사하였다. 횡이송, 종이송 간격에 따른 면적별 모 본수 또한 각 모판에서 각 면적별로 3개의 구간을 임의로 샘플링하여 조사하였다. 조사 결과는 Table 2와 같다. 발아율은 91%, 초장은 114.9 mm로 일반적인 모판 발아율 및 이앙시기 초장과 유사한 수준으로 조사되었다. 각 이송간격에 따른 면적별 본수는 가로 9mm, 세로 8 mm에서 5.95개, 가로 9 mm, 세로 10 mm에서 6.24개, 11 mm × 8 mm의 면적에서는 6.33개로 조사되었다. 각 면적별 본수를 조사한 결과 표준편차는 2.07~2.96으로 나타났다.

Table 2 Characteristics of seedling used in experiment

Germination rate (%)		91 ± 2.88
Height of seedling (mm)		114.9 ± 27.1
No. of seedling according to transfer distance (EA)	9·8 ¹⁾ (mm·mm)	5.95 ± 2.69
	9·10	6.24 ± 2.07
	11·8	6.33 ± 2.96

¹⁾ horizontal transfer distance-vertical transfer distance of seedling tray

2.3 모판 횡이송 및 종이송 간격

횡이송 및 종이송 간격은 Fig. 1과 같이 이앙기에서 모매트를 이송하는 거리로 횡·종이송 간격에 따라 매트에서 취출되는 모의 본수가 달라지게 된다.

소식재배에서는 주당 재식본수를 3~5본으로 적게 이앙해야 한다. 모판에서 3~5본을 취출하기 위해 횡이송 및 종이송 간격에 따라 모의 본수를 조사한 결과 Table 2과 같이 횡이송 및 종이송 간격이 가장 낮은 9×8 mm에서 본수가 5.95개 분포하는 것으로 조사되었다. 따라서, 횡이송 간격 8 mm, 종이송 간격 9 mm에서 이송간격을 변경하며 Table 3과 같이 3수준의 이송조건에서 이앙 정밀도 시험을 실시하였다.

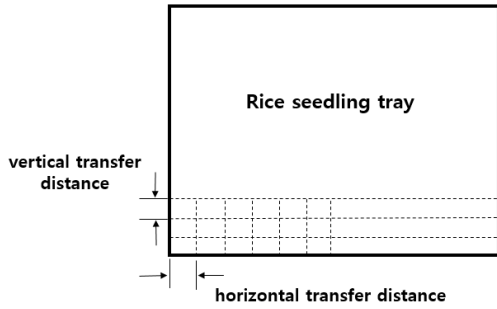


Fig. 1 Horizontal and vertical transfer of seedling tray

Table 3 Horizontal and vertical transfer distance controlled in experiment

	Transfer distance (mm)	
	Horizontal	Vertical
Level 1 (L1)	9	8
Level 2 (L2)	9	10
Level 3 (L3)	11	8

2.4 시험방법

시험은 전라북도 완주군 국립식량과학원에 위치한 논에서 실시하였다. 3개 기종을 각 이송간격 3수준으로 처리하였으며, 각 처리구별로 5 m 구간씩 3반복으로 모취량, 미취출율, 재식분수 및 결주율을 조사하였다. 이앙기의 재식밀도는 37주/3.3m²에서 실험을 실시하였다. 시험구는 각 기종별로 Fig. 2와 같이 배치하였으며, 시험모습은 Fig. 3과 같다.

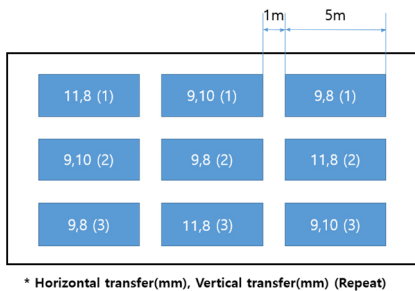


Fig. 2 Plot design diagram



Fig. 3 View of experiments

2.4.1 모취량 및 미취출율

모취량은 식부침에 의해 모판에서 취출된 모의 본수로 실제 이앙을 하지 않고 논 밖에서 이송간격에 따라 모를 취출한 후 본수를 조사하였다. 미취출율은 총 취출 횟수 중 모취량이 0개인 것의 비율로 아래 식과 같다.

$$P_{pm} = \frac{P_{p0}}{P_{pn}} \times 100 \quad (1)$$

여기서 P_{pm} 는 미취출율, P_{p0} 는 모취량이 0개인 횟수, P_{pn} 는 모를 취출한 총 횟수이다.

2.4.2 재식분수 및 결주율

재식분수 및 결주율은 실제 논에서 각 처리구별로 이앙을 한 후 조사하였다. 재식분수는 주당 심겨진 본수로 정의하였으며, 결주율은 재식분수가 0개인 것의 비율로 아래 식과 같다.

$$P_m = \frac{P_0}{P_n} \times 100 \quad (2)$$

여기서 P_m 는 결주율, P_0 는 재식분수가 0개인 횟수, P_n 는 모를 이식한 총 횟수이다.

2.4.3 통계분석

SAS 9.4(SAS Institute Inc., USA)는 데이터를 통계적으로 처리하고 분석할 수 있는 소프트웨어이다¹⁵⁾. 본 실험의 데이터는 SAS(v9.4, SAS Institute Inc., USA)를 이용하여 유의수준 5%에서 최소유의차 검정을 실시하였으며, 모취량, 미취출율, 재식분수 및 결주율 간의 상관분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 모취량 및 미취출율

각 모판 이송조건별 모취량을 조사한 결과는 Table 4와 같다. L1에서 A, B, C사 3기종의 모취량은 각각 5.75개, 5.06개, 6.34개로 B사의 모취량이 가장 적게 나타났으며, L3에서는 C사 이앙기의 모취량이 7.22개로 가장 많이 나타났다. LSD 검정 결과 B사 L1, C사 L3 처리구에서 모취량의 차이가 있는 것으로 분석되었으나, 이는 모판 균일도가 일정하지 않았기 때문인 것으로 판단되었으며 기계적으로 모취면적은 동일하기 때문에 기계적 차이는 아닌 것으로 판단되었다.

Table 4 Number of picked seedling according to transfer distance of seedling tray

Transfer distance	Variety of rice transplanter	Number of picked seedling (EA)
L1 ¹⁾	Company A	5.75±2.06b*A**
	Company B	5.06±2.1cB
	Company C	6.34±2.31bB
L2	Company A	6.2±2.00bA
	Company B	5.9±2.39bA
	Company C	5.82±2.59bB
L3	Company A	5.98±2.08bA
	Company B	5.81±2.98bA
	Company C	7.22±2.57aA

¹⁾ L1 : horizontal transfer, vertical transfer = 9, 8mm

L2 : horizontal transfer, vertical transfer = 9, 10mm

L3 : horizontal transfer, vertical transfer = 11, 8mm

* Among 3 transfer distance, means with the same small letters are not significantly different.

** Among 3 different rice transplanters, means with the same capital letters are not significantly different.

각 조건별 모취량의 분포를 보면 B사 L1 처리구의 경우 3~5개의 비율이 48.9%로 가장 높게 나타났으며, B사 L1 처리구를 제외하고 3기종 모두 3수준의 모취면적에서 6~8개의 비율이 37.3~50.9%로 가장 높은 것으로 나타났다. 시험 결과는 Fig. 4와 같다.

미취출율을 조사한 결과는 Table 5와 같다. 3수준의 모취면적에서 미취출율은 0~1.11%로 조사되었다. 모취면적이 줄어들수록 미취출율은 증가하는 경향을 보였으나, 최소유의차 검정 결과 3수준의 면적에서 미취출율은 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다.

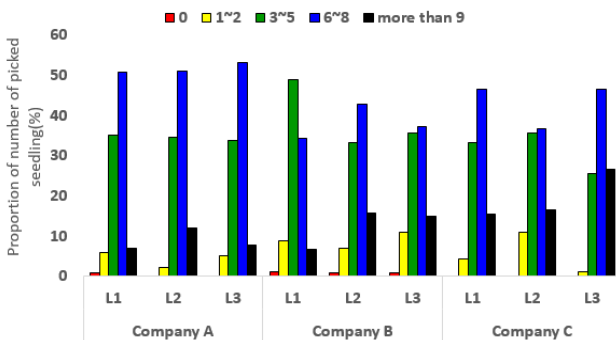


Fig. 4 Proportion of number of picked seedling

Table 5 Pick missing rate according to transfer distance of seedling tray

Transfer distance	Variety of rice transplanter	Pick missing rate (%)
L1	Company A	0.93a*A**
	Company B	1.11aA
	Company C	0aAA
L2	Company A	0aA
	Company B	0.79aA
	Company C	0aA
L3	Company A	0aA
	Company B	0.79aA
	Company C	0aA

* Among 3 transfer distance, means with the same small letters are not significantly different.

** Among 3 different rice transplanters, means with the same capital letters are not significantly different.

모취량과 미취출율과의 상관관계를 분석한 결과 상관관계수(r)은 -0.685로 음의 상관관계를 보였으므로, 모취면적을 줄일수록 미취출율 또한 증가할 것으로 판단되었다.

3.2 재식본수 및 결주율

주당 재식본수를 조사한 결과는 Table 6과 같다. 3기종 모두 L1의 모취면적에서 재식본수가 4.31~4.95개/주로 가장 낮게 나타났으며 L2와 L3에서는 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 6 Number of planted seedling according to transfer distance of seedling tray

Transfer distance	Variety of rice transplanter	Number of planted seedling (EA)
L1	Company A	4.46±2.25b*B**
	Company B	4.31±2.57bB
	Company C	4.95±2.83bA
L2	Company A	4.97±2.26aA
	Company B	4.89±1.81aA
	Company C	5.68±2.52aB
L3	Company A	5.07±1.99aA
	Company B	4.69±1.83aA
	Company C	5.66±2.45aA

* Among 3 transfer distance, means with the same small letters are not significantly different.

** Among 3 different rice transplanters, means with the same capital letters are not significantly different.

재식본수의 분포를 보면 3기종 모두 L1에서 3~5개/주의 비율이 가장 높은 것으로 나타났으며 시험결과는 Fig. 5와 같다. 모취량과 재식본수의 상관계수는 0.697로 양의 상관관계를 보였으며, 모취량보다 재식본수가 약 1개 정도 적은 것은 이앙 시 뜬모가 발생되었기 때문으로 판단되었다.

결주율은 0.93~3.7%로 3수준의 모취면적에서 유의미한 차이는 나타나지 않았으며 모취면적에 따른 결주율을 분석한 결과는 Table 7과 같으며, 이앙 상태는 Fig. 6과 같다. 하지만, A사와 B사 이앙기에서 모취면적이 L1일 때 결주율이 3.7%로 이앙기 검정기준인 결주율 3%를 초과하여 한국농업기술진흥원의 농기계 검정기준에 적합하지 않은 것으로 나타났다¹⁶⁾. 따라서, L1의 모취면적에서 이앙을 하는 것은 적합하지 않은 것으로 판단되었다.



Fig. 6 Planted status

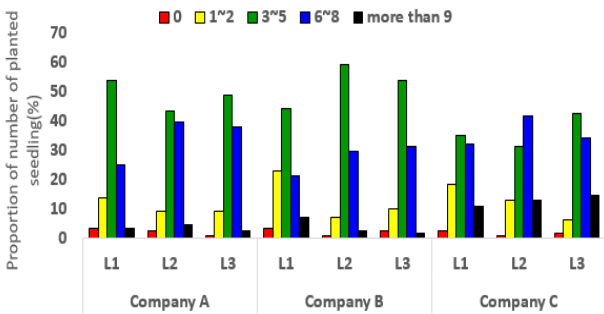


Fig. 5 Proportion of number of planted seedling

Table 7 Miss-planted rate according to transfer distance of seedling tray

Transfer distance	Variety of rice transplanter	Miss-planted rate (%)
L1	Company A	3.7a*A**
	Company B	3.7aA
	Company C	2.78aA
L2	Company A	2.78aA
	Company B	0.93aA
	Company C	0.93aA
L3	Company A	0.93aA
	Company B	2.78aA
	Company C	1.85aA

* Among 3 transfer distance, means with the same small letters are not significantly different.

** Among 3 different rice transplanters, means with the same capital letters are not significantly different.

Table 8 Result of correlation analysis

	Number of picked seedling	Pick missing rate	Number of planted seedling	Miss-planted rate
Number of picked seedling	1.0000			
Pick missing rate	-0.6847	1.0000		
Number of planted seedling	0.6973	-0.8095	1.0000	
Miss-planted rate	-0.3095	0.5139	-0.7095	1.0000

결주율과 재식본수의 상관관계를 분석한 결과 상관계수는 -0.71로 강한 음의 상관관계를 보여(Table 8) 재식본수를 줄이기 위해 모취면적을 줄이면 결주율은 지속적으로 증가할 것으로 판단되었다. 따라서, L2와 L3의 모취면적으로 이앙 시 결주율 3% 이하로 안정적인 이앙이 가능한 것으로 판단된다.

4. 결론

본 논문에서는 소식재배에서 낮은 결주율로 적정 재식본수를 유지할 수 있도록 모판의 횡이송 및 종이송 간격에 따른 재식본수와 결주율을 조사하여 소식재배 이앙기의 최적 작업조건을 구명하고 수행되었다. 이앙기는 국산 소식재배용 이앙기 2기종, 일본산 소식재배용 이앙기 1기종을 사용하였고, 3개 기종

을 각 이송간격 3수준으로 처리하였으며 각 처리구 별로 5 m 구간씩 3반복으로 모취량, 미취출율, 재식 본수 및 결주율을 조사하였다.

1) 각 모판 이송조건별 모취량 조사 결과, B사-L1이 5.06개로 가장 적게 나타났고 C사-L3가 7.22개로 가장 많이 나타났다. 또한 3수준의 모취면적에서 미취출율을 조사한 결과 0~1.11%로 조사되었다. 모취량과 미취출율의 상관관계를 분석한 결과 상관계수는 -0.685로 모취면적을 줄일수록 미취출율 또한 증가할 것으로 판단된다.

2) 주당 재식본수를 조사한 결과는 3기종 모두 L1의 모취면적에서 4.31~4.95개/주로 가장 낮게 나타났고 결주율은 0.93~3.7%로 3수준의 모취면적에서 유의미한 차이는 나타나지 않았다. 모취면적에 따른 결주율을 분석한 결과 A사-L1, B사-L1의 결주율이 3.7%로 이앙기 검정기준인 결주율 3%를 초과하므로 L1의 모취면적에서 이앙을 하는 것은 적합하지 않은 것으로 판단되었다. 또한 재식본수와 결주율의 상관관계를 분석한 결과 상관계수는 -0.71로 재식본수를 줄이기 위해 모취면적을 줄이면 결주율은 지속적으로 증가할 것이며, L2와 L3의 모취면적으로 이앙 시 결주율 3% 이하로 안정적인 이앙이 가능할 것으로 판단된다.

후 기

이 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ01450905)의 지원으로 수행되었음.

이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

저자는 이 논문과 관련하여 이해관계 충돌의 여지가 없음을 명시합니다.

References

- 1) G. Yi, "Analysis of Chronological Variation in Pedigree and Agronomic Traits of 325 Korean Rice Varieties", *Plant breeding and biotechnology*, Vol.8, pp. 426-433, 2020.
- 2) K. H. Park, *et al.*, "A Research on None Covering of Top-soil for Rice Seedling Nursery for Sparse Machine Transplanted Rice", *Journal of Practical*

- Agriculture & Fisheries Research*, Vol.21, Issue 2, pp. 77-86, 2019.
- 3) J. K. Woo, *et al.*, "Design and Performance Evaluation of a Variable Control Type Fresh Corn Harvester", *Journal of Drive and Control*, Vol.20, No.2, pp. 40-46, 2023.
- 4) I. S. Choi, *et al.*, "Design Manufacture and Performance Evaluation of Gathering Type Garlic Harvesting Machine", *Journal of Drive and Control*, Vol.20, No.4, pp. 64-70, 2023.
- 5) J. K. Woo, *et al.*, "Field Test for Regional Adaptability Improvement of Garlic Harvesting Mechanization Technology", Vol.20, No.4, pp. 107-114, 2023.
- 6) 2022 Utilization status of agricultural machinery, Rural Development Administration, 2023.
- 7) H. N. Lee, *et al.*, "Development of a multi-purpose driving platform for Radish and Chinese cabbage harveste", *Jorunal of Drive Control*, Vol.20, No.3, pp. 35-41, 2023.
- 8) W. H. Hwang, *et al.*, "Proper Growing Regions and Management Practices for Improving Production Stability in Direct-seeded Rice Cultivation", *Korean Journal Of Crop Science*, Vol.64, No.4, pp. 336-343, 2019.
- 9) W. H. Hwang, *et al.*, "Seeding Rate and Days for Low-density Transplant Cultivation", *KOREAN JOURNAL OF CROP SCIENCE*, Vol.66, No. 2, pp. 112-119, 2021.
- 10) W. H. Hwang, *et al.*, "Change in Yield Characteristics by Transplanting Density in Major Cultivated Rice", *KOREAN JOURNAL OF CROP SCIENCE*, Vol.68, No.1, pp. 1-7, 2023.
- 11) YANMAR HOLDINGS CO., LTD., 2019, www.yanmar.com
- 12) TYM Corporation, 2023, <http://tym.world/ko>
- 13) Daedong, 2023, ko.daedong.co.kr
- 14) S. H. Lee, *et al.*, "Analysis of Transplanting Accuracy According to Push Timing of Push-Rod of Rice Transplanter", *Proceedings of Korean Society for Agricultural Machinery*, Vol.24, No.2, pp.98, 2019.
- 15) SAS Institute Inc., 2022, www.sas.com
- 16) Agricultural Machinery Qualification Criteria, KOAT, 2023.