

RESEARCH ARTICLE

자탈형 콤바인의 고성능화를 위한 선별부 설계 및 성능평가

이명희¹, 우제근¹, 최일수¹, 최용¹, 김영근¹

¹농촌진흥청 국립농업과학원 발농업기계화연구팀

Performance Evaluation of Separation Part for High Performance of Head-feed Type Combine

Myung-Hee Lee¹, Jea-Keun Woo^{1*}, Il-Su Choi¹, Yong Choi¹, Young-Keun Kim¹

¹Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Jeonju, Korea

*Corresponding author: dnwpr1@korea.kr

Abstract

This study was conducted to analyze the factor experiment using a separation simulator and the work performance of each work speed of the 6 row type head feed combine to enhance the harvest performance of the head feed combine. The performance test was conducted by setting it to sieve rotational speed 422 rpm, blower rotational speed 800 rpm referring to the results of the factor experiment. It was confirmed that the working time became shorter as the working speed increased. In addition, when the work speed was 1.5 m/s, the complete grain ratio was high, but there were no significant results for each work speed in terms of the amount of discharging grain loss, the amount of unthreshed grain loss, the ratio of damaged grains, and the ratio of foreign material. It is judged that the separating part did not properly select a large amount of samples in a short time by setting a low rotation speed of the wind port to 800 rpm.

Keywords: Separating part, Unthreshed grain loss, Separation simulator, Head feed combine

Introduction

최근 우리나라 농가인구 현황은 '10년 4,031천명에서 '20년 2,314천명으로 지속해서 감소하고 있으며, 농가인구 중 65세 이상의 인구가 차지하는 고령화 비율은 '10년 31.8%에서 46.8%로 10년 만에 약 15% 증가하여 노동력 부족 현상이 심화되고 있는 실정이다. 또한 경지면적 대비 농가인구의 감소 폭이 더 크기 때문에 1인당 경지면적은 '11년 기준 57.4a에서 '21년 기준 71.9a로 점진적으로 증가 추세를 보인다. 따라서 영농현장에서 시간당 더 많은 작업을 수행할 수 있도록 기존 농업기계 기술의 고성능화를 요구하고 있다.



 OPEN ACCESS

DOI: <https://doi.org/10.12972/jame.20220001>

Received: October 27, 2021

Revised: December 01, 2021

Accepted: December 01, 2021

Copyright: © 2022 Journal of Agricultural Machinery Engineering



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.

우리나라 논 농업의 주요 재배작업 기계화율은 '21년 기준, 98.6%로 이 중 수확 작업은 1978년 농업기계화 촉진법 제정에 힘입어 콤바인 보급 활성화에 따라 100%로 조사되었다. 이와 더불어 앞서 서술한 1인당 경지면적의 증가추세로 6조 이상의 대형 콤바인 수요가 증가하고 있는 상황이다. 콤바인은 보통형과 자탈형으로 나누어지며, 자탈형 콤바인은 벼 수확 작업 후 벧단이 남아 이를 가축의 사료로 활용이 가능하다는 이점이 있다. 자탈형 콤바인의 원천기술을 보유한 일본은 고 성능화 연구를 지속적으로 진행해왔으며, 시간당 작업량 향상을 위해 엔진출력, 최대 작업속도, 탈곡통 길이 등을 증대시켰다. 국내의 경우 자탈형 콤바인의 탈곡부 설계요인 적정화를 위한 탈곡통의 토크, 곡립의 탈곡부 체류시간, 탈곡치형에 따른 탈곡성능을 분석하였으며(Nam et al, 1988), 배진구를 통해 유실되는 곡물의 양을 최소화하기 위한 모니터링 시스템 개발(Chung et al, 1990) 및 국내 영농현장에 적합한 자탈형 콤바인 선별부 모델 개발을 위한 곡물과 이물질의 분리 과정 모델링(Kim et al, 1994), 벼 포장 내의 위치별 수량 데이터 계측 및 데이터 기반 포장 관리 계획 수립을 위한 벼 유량측정 센서, 곡물 함수율 측정 센서, 데이터 수집·처리 및 가시화 장치 등으로 구성된 수확량 모니터링 시스템을 개발하였다(Lee et al, 2007). 이처럼 자탈형 콤바인의 기초연구에 대한 연구는 많이 수행되었으나, 주요 장치의 성능 향상을 위한 지속적인 연구는 찾아보기 힘든 실정이다.

이에 본 연구는 국산 자탈형 콤바인의 수확 성능 고도화를 위한 고속 작업속도에 적합한 선별부의 구동 조건 도출을 위해 선별부 성능 실험 장치와 자탈형 콤바인 시작기를 활용한 요인 실험을 수행하고 결과를 분석하였다.

Materials and Methods

선별부 성능 실험 장치 설계 및 제작

선별부는 선별체, 채프, 풍구, 수확이송 오거, 환원처리 오거로 구성되어 있다. 탈곡부에서 탈곡된 곡물이 선별체와 채프, 풍구를 거쳐 선별되어 수확이송오거로 이동하고, 추가 선별이 필요한 곡물은 환원처리 오거를 통하여 다시 선별체로 이송되며 곡립과 검불 등이 선별된다.

자탈형 콤바인 시작기를 이용한 수확 성능 시험에 앞서, 고속 작업에 적합한 선별부 주요장치의 적정 구동 조건 도출을 위해 국내 보급 중인 6조식 자탈형 콤바인의 선별부 성능 실험 장치를 설계 및 제작하였다. 선별체 및 풍구는 AC모터를 통해 구동되며 회전속도 조절을 위한 제어부를 적용하였으며, 선별부의 채프는 수동으로 열림각을 조절할 수 있도록 하였다. 선별 성능 분석을 위한 요인 시험 수행 시 선별체 및 풍구의 회전속도 측정을 위해 회전부가 노출되도록 하였다. 또한 곡물 투입에 따른 수집량 산출을 위해 수확이송 오거 및 환원처리 오거 부분에 수거망을 설치하였다. 제작된 성능 실험 장치의 모습은 Fig. 1과 같다.

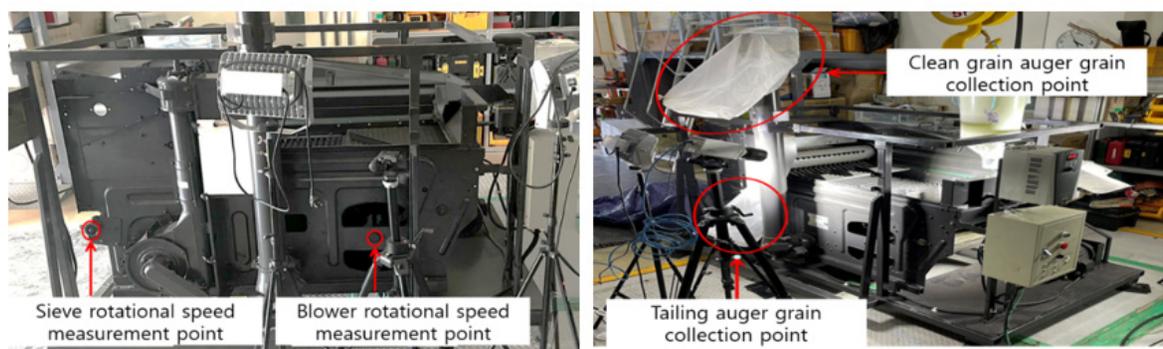


Fig. 1. 6 row type head-feed combine separation simulator.

선별부 성능 실험 장치 요인 실험

탈곡부에 투입된 벼가 선별부의 초기 1/3지점까지 전체 곡립의 약 70%가 유입되는 것을 고려하여(Kim et al, 2016), Fig. 2와 같이 선별체 강판을 기준으로 종방향 26.25 cm, 횡방향 36.25 cm 지점에 곡물 1 kg을 투입하였다. 자탈형 콤바인의 수확작업 시 발생하는 엔진 회전수 2,650 rpm, 2,750 rpm, 2,850 rpm에 따른 선별체 회전수 393 rpm, 408 rpm, 422 rpm를 선별체의 실험 요인으로 설정하였다. 풍구 회전속도 조건은 저속, 중속, 고속으로 구분하였으며, 채프 열림각은 45°로 고정하였다. 설정한 시험 요인 구현을 위해 접촉식 회전 태코미터(DT-207LR)를 이용하여 선별체 및 풍구의 회전수를 측정하였다. 실험 종료 후 수확이송 오거 및 환원처리 오거 부분에 수집된 곡물량을 측정하였으며, 곡물 손실률 측정을 위해 배진구 후방에서 배출되는 비산된 곡물을 수거하였다.

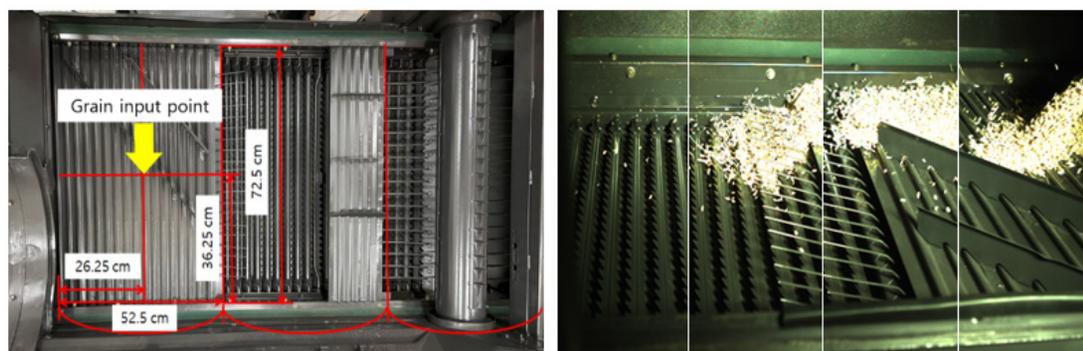


Fig. 2. Grain input for combine separation simulator factorial experiment.

자탈형 콤바인 시작기 구동조건 설정

벼 수확시기의 영농현장에서 선별부 구동 조건에 따른 선별 성능 측정을 위해 농업기계 전문 생산업체 D사의 협조를 통해 6조식 자탈형 콤바인 시작기(Fig. 3)를 사용하여 작업속도에 따른 시험을 수행하였다. 시간당 처리량 성능 향상을 위해 기존 선별부 대비 전장 1,689 → 1,916 mm, 높이 530 → 584 mm으로 크기를 증가시켰다. 선별부 성능 실험 장치 요인 실험 결과를 참고하여 선별체 회전수 422 rpm, 풍구 회전수 800 rpm, 채프 열림각 45°로 고정하였으며, 작업속도에 따른 선별 성능 측정 및 분석을 위해 1.5 m/s, 1.7 m/s, 1.9 m/s를 시험 요인으로 설정하였다.



Fig. 3. 6 row type head-feed combine pilot.

자탈형 콤바인 시작기 포장성능 시험

요인 시험은 경상남도 창원군 소재 농가 벼 재배 포장에서 수행하였다. 성능 시험 수행 전 벼의 생육상태를 측정하였으며 함수율은 15.37 g, 천립중은 28.26 g으로 나타났다(Table 1). 작업구간은 10 m로 설정하였으며, 시작기의 제동거리를 고려하여 작업구간 사이에 5 m의 간격을 두었다(Fig. 4). 곡물 손실량 측정을 위해 작업구간 내 임의로 설정한 1 m 구간에 떨어진 벧단으로부터 곡물이 벼 이삭으로부터 탈곡되지 않은 상태인 미탈립 손실량을 측정하였으며, 배진 손실량은 시작기 후 방으로부터 배출되는 검불과 벧단 등을 받아 조사하였다(Fig. 5). 곡물 손실률 산출은 아래 식 (1)과 같이 계산하였다.

$$L_t = \frac{G_u + G_c}{G_t} \times 100(\%) \quad (1)$$

Where, L_t = Total grain loss ratio (%)

$$G_t = G_u + G_c + G_h$$

G_u = Unthreshed grain (g)

G_c = Discharging grain loss (g)

G_h = Total yield of grain (g)



Fig. 4. View of factorial experiment in field & pilot harvest working.



Fig. 5. 6 Unthreshed grain measurement section (left) & discharging grain loss measurement section (right).

Table 1. Properties of the rice in test field

Number of hills per 3.3 m ²	Panicle number per hill	Height (cm)	Length of ear (cm)	Moisture of grain (wb,%)	Weight (g/1,000 grains)
74±15	18±7.22	86.83±4.95	20.40±5.85	15.37±0.43	28.65±1.05

Results and Discussion

선별체 및 풍구 구동조건에 따른 선별 성능 분석

성능 실험 장치에 투입되는 곡물은 창녕 소재 농가 포장의 벼를 탈곡한 것으로, Table 2에 실험 작물의 물성치를 나타내었다. 실험 전 곡물 수분측정계를 이용하여 시료의 함수율을 측정하였으며 함수율 평균은 13.42%(wb, %)로 나타났다. 또한 시료의 천립중은 25.57 g이었다. 이를 이용하여 진행한 실험 결과는 Table 3과 같다. 풍구 회전속도가 증가할수록 수확이송 오거의 곡물 수집률 감소에 따른 환원처리 오거 곡물 수집률 증가가 나타났으며, 풍구 회전속도 저속 기준으로 각 선별체 회전수에 따른 곡물 손실률은 모두 농업기계 검정기준(KOAT, 2021.) 곡물 손실률 2% 이하를 충족하는 것으로 나타났다. 선별부 성능 실험 장치 구동 조건 중, 선별체 회전수 408 rpm - 풍구 회전속도 저속 조건일 때 곡물 손실률이 0.69%로 가장 낮은 손실률을 나타내었지만, 고속 수확 작업이 가능한 자탈형 콤바인 개발을 위해 손실률 1.08%로 낮은 수준을 보이며 시간당 더 많은 곡물을 선별할 수 있는 선별체 회전수 422 rpm - 풍구 회전속도 저속의 구동조건이 자탈형 콤바인 시작기를 활용한 포장 성능 시험 수행에 적합하다고 판단하였다.

Table 2. Properties of the rice for combine separation simulator factorial experiment

Height (mm)	Length (mm)	Width (mm)	Moisture of grain (wb,%)	Weight (g/1,000 grains)
7.04±0.34	3.11±0.15	2.18±0.11	13.42±0.47	25.57±1.66

Table 3. Result of combine separation simulator factorial experiment

Sieve rotational speed (rpm)	Blower rotational speed (rpm)	Clean grain auger collection (g)	Tailing auger collection (g)	Grain loss (g)	Grain loss ratio (%)
393	740.33±0.58	866.79±76.11	69.71±8.66	8.42±1.43	0.84±0.14
	936.00±1.73	852.68±12.05	128.77±16.07	24.16±3.43	2.42±0.34
	1,116.07±13.00	789.75±25.22	164.81±10.23	56.77±4.15	5.68±0.41
408	777.12±3.61	888.55±46.21	76.63±2.23	6.86±0.79	0.69±0.08
	972.22±4.70	788.70±20.04	151.32±16.16	32.52±3.06	3.25±0.31
	1,154.40±9.01	719.18±24.15	196.84±19.30	79.01±2.94	7.90±0.29
422	791.00±9.54	910.17±14.72	72.49±9.33	10.84±3.52	1.08±0.35
	1,012.00±4.58	864.22±22.64	132.82±21.72	35.78±2.77	3.58±0.28
	1,186.20±4.01	746.02±36.10	163.72±25.29	71.94±5.89	7.19±0.59

자탈형 콤바인 작업속도에 따른 선별 성능 분석

작업속도에 따른 선별 성능에서 손실률은 작업속도 1.9 m/s일 때 1.25%로 가장 낮게 나타났고, 작업속도 1.7 m/s로 작업하였을 때 1.79%로 작업속도 3조건 중 가장 높게 나타났다(Table 4). 이때 분산분석을 5% 유의성에서 실시한 결과 p-value가 0.16인 것으로 나타났다. 따라서 작업속도의 증감에 따라 손실률이 차이가 유의미하지 않은 것으로 확인되었다. 이때 배진 손실보다 미탈립손실이 전체적으로 높게 측정되었으며, 이는 포장에서 작업하였을 때 곡물과 헝잡물이 유입되는 양에 비해 선별부의 풍구 회전속도가 낮아 선별 처리 능력이 떨어져 미탈립이 발생한 것으로 생각하였다. 또한 풍구 회전속도는 800 rpm으로 고정하여 실험을 진행하여 풍구의 회전수가 낮아 짧은 시간에 다량으로 유입된 헝잡물을 효과적으로 배출하지 못해 선별부 내 충돌이 잦아 실험 결과가 일관적이지 않을 것으로 사료된다.

Table 4. Average grain loss based on working speed

Working speed	1.5 m/s	1.7 m/s	1.9 m/s
Discharging grain loss	48.49±14.09 g	59.83±4.18 g	61.01±6.50 g
Unthreshed grain	184.73±27.5 g	243.67±20.72 g	166.83±21.85 g
Total grain loss ratio	1.43%	1.79%	1.25%

Conclusion

본 연구는 자탈형 콤바인의 수확 속도 향상을 위해 선별 성능 실험 장치를 이용한 요인 실험과 개발 중인 6조식 자탈형 콤바인의 작업속도에 따른 작업성능을 분석하고자 실시하였다. 요인 실험 시 선별체 회전수 408 rpm, 풍구 회전수 저속 조건일 때 곡물 손실률이 0.69%로 가장 낮은 손실률을 나타내었으나, 처리시간을 고려하여 선별체 회전수 422 rpm, 풍구 회전수 저속의 구동 조건을 적정 시험 조건으로 판단하여 포장 성능시험을 진행하였다. 시작기 포장 성능시험을 실시한 결과 작업시간은 작업속도가 증가할수록 짧아지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 작업속도 1.5 m/s일 때 완전립 비율이 높은 것으로 나타났지만, 미탈립손실량, 배진손실량, 손상립 비율, 헐잡물 비율 등에서 작업속도별 유의미한 결과를 가지진 않았다. 이는 선별부에서 풍구의 회전속도를 800 rpm으로 낮은 회전속도를 설정하여 단시간에 다량으로 유입된 시료를 적절히 선별하지 못한 것으로 판단된다.

Acknowledgements

본 연구는 산업통상자원부 및 한국산업기술평가관리원의 기계산업핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [20007832, 콤바인의 고속 수확작업을 위한 지능형 작업기주행구동 통합 시스템 개발]

References

- Choe JS, I Eiji. 2001. A Study on the Vibration Characteristics of a Heed - Feeding Combine by Spectral Analysis. *Journal of biocystems Engineering* 26(1):11-20.
- Choi Y, CK Lee, HJ Jun, HJ Kim, SB Lee, CS Ryu. 2007. Paper : Information Processing and Interdisciplinary Technology ; Development of a Rice Weighing System for Head-Feed Combine. *Journal of biocystems Engineering* 32(5):332-338.
- Choi YS, SN Yoo. 2017. Harvesting Performance of the Experimental Pick-up Type Pulse Crop Harvester for Red Bean. *Journal of Agriculture & Life Sciences* 51(1):213-221
- Chung CJ, JS Choe, YS Choi. 1989. Research Paper : Chaff - outlet Grain Loss of Head - feed Combine - Development of a Monitor for Detecting Chaff - outlet Grain Loss of Head - feed Combine -. *Journal of biocystems Engineering* 14(4):251-261.
- Chung CJ, JS Choe, YS Choi, SI Chung. 1990. Research Paper : Chaff - outlet Grain Loss of head - feed Combine - Changes in chaff - outlet grain loss on the variety , location of chaff - outlet loss control plate and traveling speed -. *Journal of biocystems Engineering* 15(4):310-318.
- Jo JS, HJ Jung, BO Jin, MH Lee, MI Kim, CH Kim, TJ Park, MH Heo, HT Kim. 2015. Optimization of Speed model for cutting performance in Half Feed Combine. *Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery Conference* 20(2):92-93

- Kim SH, SI Nam, SN Ryu. 1984. Study on the Characteristics and Separating Performance of Oscillating Sieve for Optimization of Separating Losses of Combine. *Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery* 9(2):48-57
- Kim SH, WS Kang, James M Gregory. 1994. Research Paper : Cleaning Model of Head - feeding Combine. *Journal of biocystems Engineering* 19(1):22-32.
- KOSIS.2022. Farms of Crop in <https://kosis.kr/> on 12 April 2022.
- Lee MH, IS Choi, TG Kim, JK Woo, SH Yu, DK Choi, YK Kim, CK Lee, CS Shin, Y Choi. 2021. Analysis of 6 Row Type Head-Feed Combine Separation Performance according to Separation Condition. *Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery Conference* 26(1):117
- MOTIE (Ministry of Trade, Industry and Energy). 2016. Development of 55kW full feed type combine for paddy field. [in Korean]
- Nam SI, CJ Chung. 1988. Research Paper : Optimizing the design factors of the head-feed type combine(2) -Threshing characteristics of the head-feed threshing teeth-. *Journal of biocystems Engineering* 13(4):9-19.