

자탈형 콤바인의 실시간 벼 수확량 예측 시스템 개발

Development of Rice Yield Prediction System of Head-Feed Type Combine Harvester

이상희¹ · 신소영¹ · 최덕규¹ · 김원경¹ · 문석표¹ · 천창욱¹ · 박석호¹ · 강연구¹ · 장성혁^{2*}

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

Received: 9 Feb. 2024, Accepted: 14 May. 2024

Key Words : Yield Prediction(수확량 예측), Combine Harvester(콤바인), Rice Paddy(벼), Flow Sensor(유량센서), Grain-Weighing Sensor(총량센서), Field Test(성능시험)

Abstract: The yield is basic and necessary information in precision agriculture that reduces input resources and enhances productivity. Yield information is important because it can be used to set up farming plans and evaluate farming results. Yield monitoring systems are commercialized in the United States and Japan but not in Korea. Therefore, such a system must be developed. This study was conducted to develop a yield monitoring system that improved performance by correcting a previously developed flow sensor using a grain tank-weighing system. An impact-plated type flow sensor was installed in a grain tank where grains are placed, and grain tank-weighing sensors were installed under the grain tank to estimate the weight of the grain inside the tank. The grain flow rate and grain weight prediction models showed high correlations, with coefficient of determinations (R²) of 0.9979 and 0.9991, respectively. A main controller of the yield monitoring system that calculated the real-time yield using a sensor output value was also developed and installed in a combine harvester. Field tests of the combine harvester yield monitoring system were conducted in a rice paddy field. The developed yield monitoring system showed high accuracy with an error of 0.13%. Therefore, the newly developed yield monitoring system can be used to predict grain weight with high accuracy.

기호 설명

S_{of} : Sensor output of flow sensor, mV

G_f : Grain flow rate, kg/s

S_{ow} : Sensor output of grain tank weighing sensor, mV

G_{w2} : Grain weight estimated by grain tank weighing sensor, kg

G_{w1} : Real-time grain weight estimated by flow sensor, kg

e_m : Correction factor

G_w : Corrected real-time grain weight, kg

* Corresponding author: hhh342@naver.com

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.

1. 서 론

쌀은 우리나라 주식으로 2023년 재배면적이 76만 ha에 달하는 중요 작물이다¹⁾. 최근 시장개방이 확대되고 있는 상황에서 국내산 쌀의 경쟁력 향상을 위해 생산비 절감은 필수적이다²⁻⁴⁾. 정밀농업(Precision Agriculture)은 농작물 생산비를 절감하기 위한 방안

으로 최근 국내에서 뿐만 아니라 세계적으로 주목받고 있는 기술 중 하나이다⁵⁻⁷⁾. 정밀농업이란 필지 내에서 생육상황, 수확량 등의 변이정보를 파악하여 농약과 비료 등 투입되는 자원은 최소화하면서도 생산량은 향상시킬 수 있는 기술이다⁸⁾. 또한, 재배기술을 데이터화하여 처방을 내림으로써 농촌 인구감소, 고령화 등에 따른 재배 노하우의 손실을 방지하여 지속가능한 농업을 실현할 수 있는 방법 중 하나로 중요성이 높다⁹⁾.

수확량 정보는 다음연도 영농계획 수립 및 당해연도 영농결과에 대한 평가자료로 활용 가능하여 정밀농업에서 기초적, 필수적 정보라 할 수 있다¹⁰⁾. 미국 및 일본 등 농업 선진국의 경우 콤바인으로 작물을 수확하며 동시에 수확량을 측정할 수 있는 수확량 모니터링 시스템에 대한 연구가 수행되어 실용화되어 있다¹¹⁻¹⁶⁾. 미국의 경우 주로 보통형 콤바인의 버킷 엘리베이터 방식의 콤바인에 적용할 수 있는 수확량 모니터링 시스템을 개발하였다⁹⁾. 반면, 우리나라와 마찬가지로 쌀을 주식으로 하는 일본은 자탈형 콤바인에 수확량 모니터링 시스템을 적용하기 위한 연구를 수행하였다. 자탈형 콤바인의 곡물탱크 하단에 로드셀을 설치하여 수확되는 수확량을 측정하기 위한 연구를 수행하였다¹⁵⁻¹⁶⁾. 국내에서는 자탈형 콤바인에서 수직이송오거를 통해 곡물탱크로 유입되는 곡물의 유량을 측정하기 위해 충격판(Impact-Plate) 방식의 유량센서 개발 연구를 수행하였다^{9, 17)}. 또한, ultrasonic, optical array, laser 및 microwave 등 다양한 센서를 활용하여 이송되는 곡물의 유량을 측정하고자 하였으나 광학 센서의 경우 콤바인 내부 먼지로 인해 정밀도가 낮아 실용화에 이르지 못하였다¹⁸⁾.

충격판식 유량센서의 경우 벼의 함수율 등 물성 조건에 따라 보정이 필요한 단점이 있다. 따라서, 본 연구는 Lee 등(2022)⁹⁾이 개발한 충격판식 유량센서를 이용함과 동시에 곡물탱크 하단에 총량센서를 활용하여 수확 작업 중 유량센서를 보정할 수 있는 방식의 벼 수확량 예측 시스템을 개발하고자 수행하였다.

2. 수확량 모니터링용 센서 개발

2.1 시스템 개요

본 연구에서는 곡물탱크에 투입되는 곡물의 유량을 측정하기 위한 유량센서와 유량센서를 보정하기 위해 곡물탱크의 무게를 측정하는 총량센서로 시스템을 구성하였으며, 6조 자탈형 콤바인 DXM120

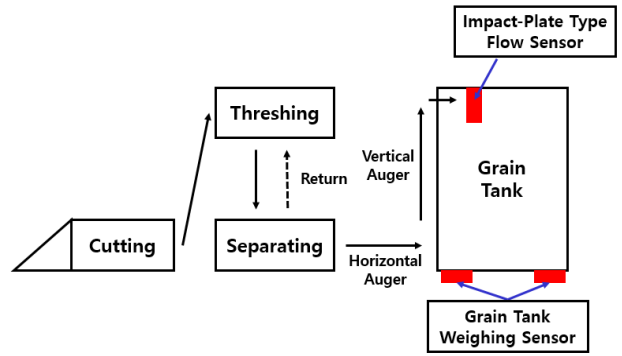


Fig. 1 Schematic diagram of sensors of combine harvester rice yield prediction system

(Daedong, Korea) 모델에 적용하였다. 벼는 Fig. 1과 같이 콤바인의 전면부에서 예취되어, 탈곡 및 선별과정을 거친 후 선별된 곡물만 이송오거에 의해 탱크로 이송된다. 충격판식 유량센서는 곡물탱크 유입부에 배치된다. 곡물이 탱크로 투입되면서 충격판에 충돌하여 유량이 측정되며, 총량센서는 곡물탱크 하단에 설치되어 곡물탱크의 총 무게를 측정하도록 시스템이 구성된다.

2.1.1 유량센서

유량센서는 충격판 방식의 센서로 Fig. 2와 같이 곡물이 충돌하는 충격판과 충돌하는 힘을 측정하기 위한 로드셀로 구성되어 곡물탱크 내부에 곡물이 투입되는 부분에 설치된다. 충격판식 유량센서에서는 충격판에 곡물이 충돌할 때 발생하는 힘의 크기를 측정하여 환산식에 의해 곡물의 무게를 계측하게 되고 샘플링 간격을 고려하여 측정된 값을 유량으로 표현한다.

사용된 로드셀(PC22, Flintec, U.K.)은 6조 콤바인의 유량이 최대 2kg/s 내외인 것을 고려하여 용량이 10

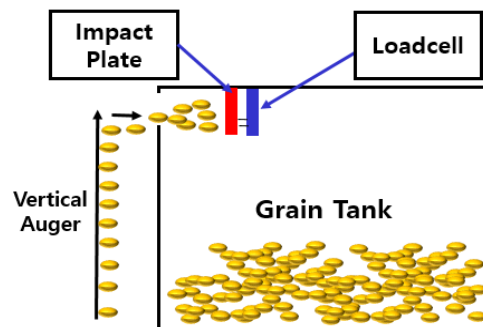


Fig. 2 Schematic diagram of impact-plate type flow sensor

Table 1 Specifications of loadcell used in flow sensor

Item	Specifications
Model Number	PC22
Company/Nation	Flintec/UK
Maximum Capacity (kg)	10
Combined Error (%)	± 0.02
Rated Output (mV/V)	$2\pm 1\%$

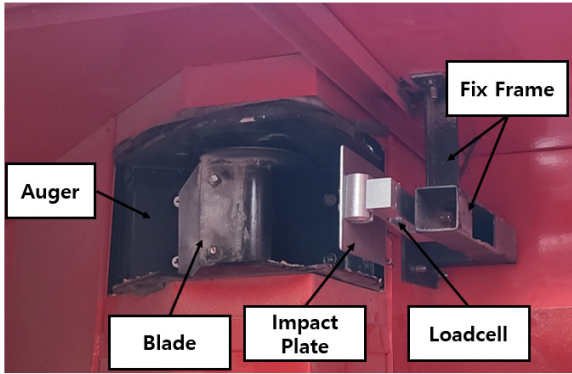


Fig. 3 Impact-plate type flow sensor installed in grain tank

kg인 모델로 선정하였으며, 상세제원은 Table 1과 같다. 충격판은 선행연구를 고려하여 가로길이 100 mm, 세로길이 90 mm, 두께 1.5 mm로 제작하였다⁹⁾.

제작된 충격판식 유량센서는 Fig. 3과 같이 곡물탱크 내부 확산판 전면에 설치하였으며, 진동을 줄이기 위해 곡물탱크 측면과 상단에 2축으로 고정하였다.

2.1.2 총량센서

곡물탱크의 무게를 측정하기 위한 총량센서는 로드셀을 Fig. 4와 같이 곡물탱크 하단에 설치하였다. 곡물이 쌓이는 형상에 따른 측정 오차를 줄이기 위해 총 2개의 로드셀을 탱크 양쪽에 설치하였으며, 설치된 모습은 Fig. 5와 같다.

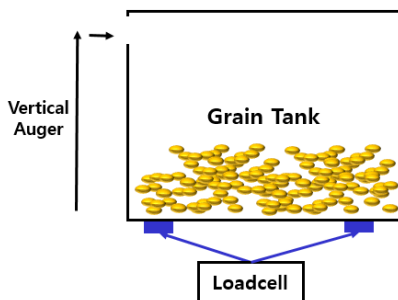
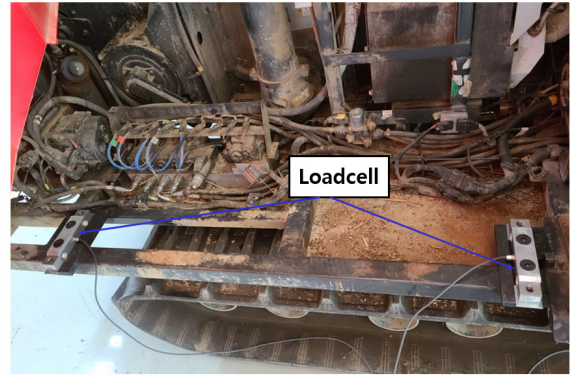
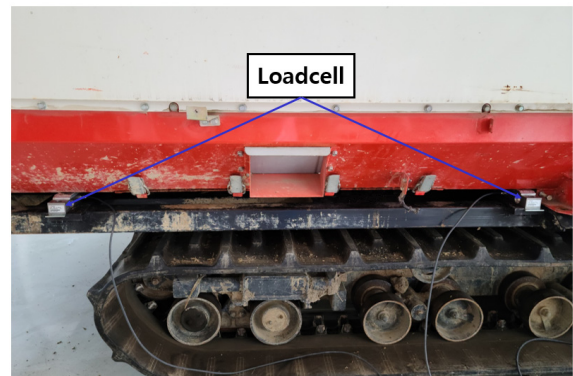


Fig. 4 Schematic diagram of grain tank weighing sensor



(a)



(b)

Fig. 5 Installed grain tank weighing sensors (a) top view (b) side view

Table 2 Specifications of loadcell used in grain tank weighing system

Item	Specifications
Model Number	DSB7
Company/Nation	Flintec/UK
Maximum Capacity (t)	2
Combined Error (%)	± 0.15
Rated Output (mV/V)	$2\pm 1\%$
Material	Stainless Steel

로드셀은 곡물탱크의 무게 및 용량을 고려하여 오차 0.15%, 용량 2,000 kg의 DSB7(Flintec, UK) 모델을 사용하였으며, 사용된 로드셀의 상세제원은 Table 2와 같다.

2.2 센서 측도설정

2.2.1 유량센서 시험방법

유량센서 측도 설정을 위해 충격판식 유량센서의 출력과 곡물 유량간의 관계를 분석하였다. 시험에 사용된 콤바인은 6조 자탈형 콤바인으로 DX120 모델

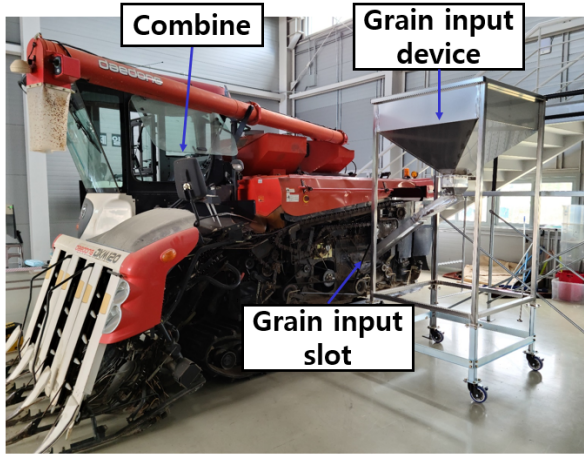


Fig. 6 Experiment equipment of combine harvester and grain input device

(Daedong, Korea)을 사용하였다. 실내 실험을 위해 콤바인 측면에 가로이송오거 투입구로 벼를 직접 투입할 수 있도록 Fig. 6과 같이 별도의 벼 투입장치를 제작하였으며, 벼 투입장치는 호퍼 개폐량을 조절하여 유량을 0.5~2.5 kg/s까지 조절할 수 있도록 하였다.

측도설정 시험은 6조 콤바인의 유량이 최대 2kg/s인 것을 고려하여 투입되는 벼 유량을 0.5 kg/s부터 0.5 kg/s 간격으로 2.5 kg/s까지 5수준으로 조절하며 벼를 투입하였다. 각 유량 조건별로 곡물을 1분간 투입하여 3반복으로 센서 출력값을 획득하였다. 획득한 데이터는 중간부분 30초 동안의 값을 평균하여 곡물 유량별 센서 출력값을 계산하였다. 측정된 데이터는 SAS 9.4(SAS Institute Inc., USA)를 이용하여 회귀분석을 실시하였다.

2.2.2 유량센서 시험결과

시험결과 곡물의 유량 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 kg/s에서 센서 출력값은 각각 0.0223, 0.0298, 0.0380, 0.0473, 0.0631 mV로 측정되어, 유량이 증가할수록 출력값은 증가하는 것으로 나타났다. 회귀분석 결과 Fig. 7과 같이 결정계수(R^2)는 0.9979로 곡물 유량과 센서 출력값은 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, 예측 모델식은 식 1과 같다. 따라서, 예측 모델식을 통해 센서 출력값을 이용하여 곡물의 유량을 추정할 수 있을 것으로 판단되었다.

$$S_{of} = 0.01665 \times G_f + 0.01325 \quad (1)$$

여기서 S_{of} 는 유량센서 출력값, G_f 는 곡물 유량이다.

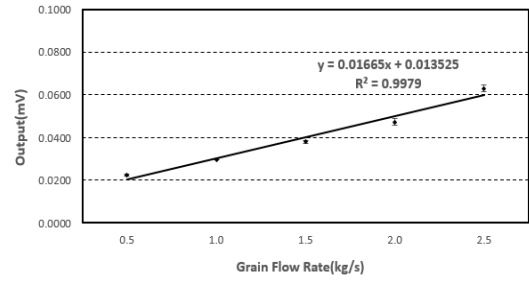


Fig. 7 Relationship between grain flow rate and flow sensor output

2.2.3 총량센서 시험방법

총량센서 측도설정 시험 또한 유량센서 시험과 동일한 콤바인과 벼 투입장치를 이용하였다. 벼 투입장치를 이용하여 100 kg 씩 콤바인에 곡물을 투입하며 0~800 kg 까지 100 kg 간격으로 센서의 출력값을 30 s 동안 획득한 후 평균하였다. 측정된 데이터는 SAS 9.4(SAS Institute Inc., USA)를 이용하여 회귀분석을 실시하였다.

2.2.4 총량센서 시험결과

시험결과 곡물의 무게 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 kg에서 센서 출력값은 각각 0.000895, 0.001891, 0.002669, 0.001863, 0.002363, 0.004341, 0.006214, 0.007345, 0.006014 mV로 측정되었다. 회귀분석 결과 Fig. 8과 같이 결정계수는 0.9991로 곡물탱크 내 곡물의 무게와 총량센서 출력값은 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, 예측 모델식은 식 2와 같다. 따라서, 예측 모델식을 통해 센서 출력값을 이용하여 곡물탱크 내 곡물의 무게를 추정할 수 있을 것으로 판단되었다.

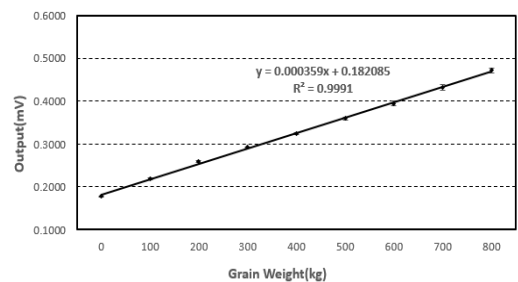


Fig. 8 Relationship between grain weight and grain tank weighing sensor output

$$S_{ow} = 0.000359 \times G_{w2} + 0.182085 \quad (2)$$

여기서 S_{ow} 는 총량센서 출력값, G_{w2} 는 총량센서로 계측된 곡물탱크 내 곡물의 무게이다.

3. 수확량 모니터링 시스템 개발

3.1 컨트롤러

3.1.1 신호처리 개요

수확량 모니터링 시스템의 신호처리 개략도는 Fig. 9와 같다. 유량센서의 출력값은 콤바인의 진동에 의한 노이즈를 제거하기 위해 Lowpass filter를 통과하게 되며, 작업 유무를 판단하기 위하여 Threshold 값이 하가 되면 수확을 하고 있지 않은 것으로 판단하여 수확량이 0으로 처리된다. 다음으로 Threshold 값 이상의 출력값은 앞서 구명한 유량 회귀식에 따라 식 3과 같이 유량으로 환산된다.

$$G_f = \frac{S_{of} - 0.013525}{0.01665} \quad (3)$$

여기서 S_{of} 는 유량센서 출력값, G_f 는 곡물 유량이다.

유량센서에서 측정된 실시간 수확량은 실시간 곡물의 유량과 샘플링 간격의 곱으로 식 4와 같다.

$$G_{w1} = \int G_f dt \quad (4)$$

여기서 G_{w1} 은 유량센서로 측정된 실시간 수확량, G_f 는 곡물 유량이다.

총량센서의 출력값은 앞서 구명한 총량센서 보정식에 따라 식 5와 같이 무게로 환산된다.

$$G_{w2} = \frac{S_{ow} - 0.182085}{0.000359} \quad (5)$$

여기서 S_{ow} 는 총량센서 출력값, G_{w2} 는 총량센서로 측정된 곡물탱크 내 곡물의 무게이다.

유량센서에서 측정된 실시간 수확량 값은 벼의 함수율, 품종 등 작업시기, 조건 등에 따라 오차가 발생한다. 따라서, 곡물탱크에 수확된 곡물의 무게인 총량센서 측정값을 이용하여 유량센서의 오차를 보정하도록 하였다. 작업 시작부터 종료까지 유량센서에서 측정된 실시간 수확량의 적산값과 총량센서에

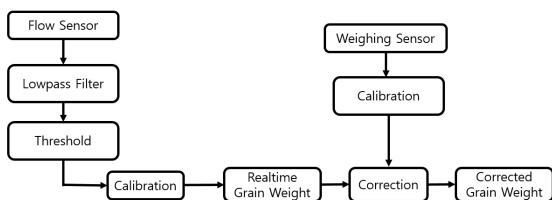


Fig. 9 Schematic diagram of signal processing of rice yield prediction system

서 측정된 수확량을 비교하여 식 6과 같이 보정계수를 산출하게 되고, 보정계수를 유량센서의 실시간 수확량 값에 곱하여 최종적으로 식 7과 같이 수확량을 산출하였다.

$$e_m = \frac{G_{w1}}{G_{w2}} \quad (6)$$

여기서 e_m 은 보정계수, G_{w1} 은 유량센서로 측정된 실시간 수확량, G_{w2} 는 총량센서로 측정된 곡물탱크 내 곡물의 무게이다.

$$G_w = e_m \times G_{w1} \quad (7)$$

여기서 G_w 보정된 실시간 수확량, e_m 은 보정계수, G_{w1} 은 유량센서로 측정된 실시간 수확량이다.

3.1.2 컨트롤러

메인 컨트롤러는 콤바인의 배터리에서 전원을 공급받을 수 있도록 DC 12V로 개발하였으며, RS232통신을 통해 유량센서와 총량센서의 출력값을 수신 받을 수 있도록 하였다. 또한, USB to Serial Comport를 통해 PC와 USB로 연결하여 데이터를 전송할 수 있도록 개발하였으며, 설계 회로도와 제작된 컨트롤러는 Fig. 10과 같다.

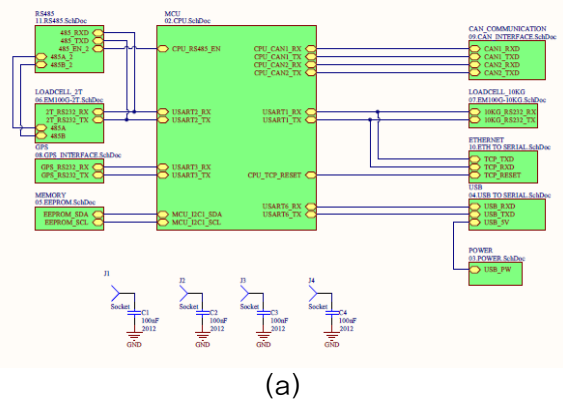


Fig. 10 Main controller of rice yield prediction system (a) design (b) main controller

3.2 통합 시스템

개발된 유량센서, 총량센서 및 메인 컨트롤러는 6조 콤바인에 적용하였으며, 수확량 모니터링 시스템이 적용된 모습은 Fig. 11과 같다.

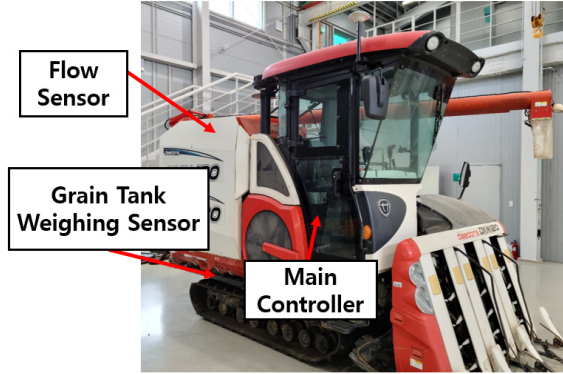


Fig. 11 Head-feed type combine harvester adjusted rice yield prediction system

4. 시스템 성능분석

4.1 시험방법

실시간 수확량 모니터링 시스템이 적용된 콤바인을 이용하여 2022년 10월 22일 전라북도 군산시에 위치한 벼 재배포장에서 성능시험을 실시하였다.

시험 전 곡물탱크를 비우고 작업속도 1.4 m/s에서 수확량을 측정하며 100 m 구간을 작업하는 방식으로 3반복 실험을 수행하였다. 각 반복별 작업 후 곡물탱크에 수확된 벼를 배출한 후 중량을 실측하여 수확량 예측값과 비교하였으며 시험모습은 Fig. 12와 같다.



Fig. 12 View of experiments

4.2 시험결과

수확량 모니터링 시스템의 성능시험 결과는 표 3과 같다. 수확작업 후 곡물탱크의 벼를 배출한 뒤 저울을 이용하여 실측한 수확량은 154.5 kg으로 측정되

Table 3 Results of field test of rice yield prediction system

Actual grain weight (kg)	Estimated grain weight (kg)	Error (%)
154.5	154.7	0.13

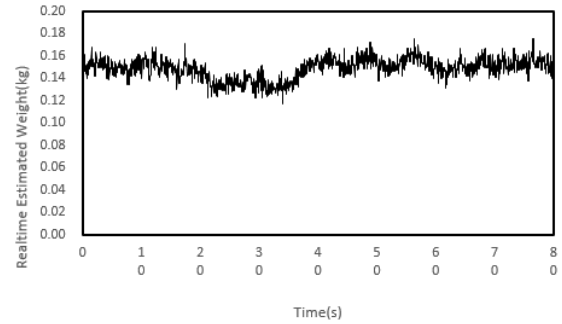


Fig. 13 Real-time grain weight acquired by rice yield prediction system in field test

었다. 수확량 모니터링 시스템을 이용하여 측정한 수확량은 154.7 kg으로 조사되어 실측값과 예측값의 오차는 0.13%로 조사되었으며, 수확 작업 중 획득된 실시간 수확량의 그래프는 Fig. 13과 같다. 따라서, 개발된 수확량 모니터링 시스템을 이용하여 콤바인 수확작업 중 실시간 수확량 측정이 가능한 것으로 판단되었다.

5. 결론

본 연구는 콤바인 수확 작업과 동시에 수확량을 측정하기 위한 실시간 수확량 모니터링 시스템을 개발하고자 수행되었다. 개발된 수확량 모니터링 시스템은 곡물탱크로 투입되는 곡물의 유량을 측정하기 위한 충격판식 유량센서, 곡물탱크의 무게를 측정하여 유량센서를 보정하는 총량센서, 데이터 처리를 위한 메인 컨트롤러로 구성하여 6조식 자탈형 콤바인에 적용하였으며 주요 결과는 다음과 같다.

1) 유량센서 개발을 위해 충격판과 로드셀로 구성된 충격판식 유량센서를 제작하여 곡물탱크에 곡물이 투입되는 부분 측면에 설치하였다. 설치된 충격판식 유량센서의 측도설정을 위해 곡물의 유량에 따른 센서 출력값을 측정하여 회귀분석을 실시한 결과 결정계수는 0.9979로 높은 선형관계를 나타내었다. 따라서, 유량센서의 출력값을 이용하여 투입되는 곡물 유량 측정이 가능한 것으로 판단되었다.

2) 총량센서 개발을 위해 곡물탱크 하단 양쪽에 로드셀을 2개 설치하였다. 로드셀 2개로 구성된 총량센서의 측도설정을 위해 곡물 투입량과 총량센서 출력값을 측정된 결과 결정계수가 0.9991로 나타나, 총량센서 출력값을 이용하여 곡물탱크 내부의 곡물 무게를 예측할 수 있을 것으로 판단되었다.

3) 유량센서와 총량센서에서 얻은 출력값을 이용하여 수확량을 측정하는 메인 컨트롤러를 개발하였다. 메인 컨트롤러에서 유량센서 출력값은 콤바인 진동에 의한 노이즈 제거를 위해 Lowpass filter를 통과하며, 설정된 Threshold 값 이상의 출력값은 유량으로 환산된다. 총량센서의 출력값은 총량센서 보정식에 따라 무게로 환산되며, 유량센서에서 측정된 실시간 수확량의 적산값과 총량센서에서 측정된 수확량을 비교하여 보정계수를 산출하고 유량센서의 측정값을 보정하여 최종적으로 수확량을 산출한다.

4) 개발된 유량센서, 총량센서 및 메인 컨트롤러로 구성된 수확량 모니터링 시스템을 6조식 자탈형 콤바인에 적용하였다. 콤바인을 이용하여 벼 재배 포장에서 성능시험을 실시한 결과 실측 수확량은 154.5 kg, 수확량 모니터링 시스템을 이용하여 측정된 수확량은 154.7 kg으로 조사되었다. 실측값과 예측값의 오차는 0.13%로 조사되어 개발된 수확량 모니터링 시스템을 이용하여 콤바인 수확작업 중 실시간 수확량 측정이 가능한 것으로 판단되었다.

5) 본 연구에서는 유량센서와 총량센서를 이용한 콤바인 수확량 모니터링 시스템을 개발하였다. 정밀 농업에서 필지 내 수확량 정보를 활용하기 위해서는 수확량 정보와 위치 정보가 결합된 지점별 수확량 정보가 필요하다. 따라서, 획득한 수확량 정보와 위치 정보를 결합하기 위해서는 콤바인에서 벼를 예취, 탈곡, 선별하여 곡물탱크에 곡물이 도달하기까지의 지연시간에 대한 보정이 필요하다. 또한, 사용자가 획득된 데이터를 한눈에 보고 판단할 수 있도록 획득된 위도, 경도, 수확량 값을 가시화하여 수확량 분포를 가시화할 수 있는 기술 개발이 추가적으로 필요하다고 판단된다.

후 기

이 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 연구개발사업(과제번호: PJ016192012022)의 지원으로 수행되었음.

이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

저자는 이 논문과 관련하여 이해관계 충돌의 여지가 없음을 명시합니다.

References

- 1) Census of Agriculture, Forestry and Fisheries, KOSIS, 2023, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1EB001&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=K1_15&scrId=&seqNo=&lang_mode=ko&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE&path=%252FstatisticsList%252FstatisticsListIndex.do
- 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) S. H. Cho, *et al.*, "Estimation of two-dimensional position of soybean crop for developing weeding robot", *Journal of Drive and Control*, Vol.20, No.2, pp. 15-23, 2023.
- 4) 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.
- 5) R. Bongiovanni, *et al.*, "Precision Agriculture and Sustainability", *Precision Agriculture*, Vol.5, pp. 359-387, 2004.
- 6) Y. T. Kim, *et al.*, "Technology Trend on Autonomous Agricultural Machinery", *Journal of Drive and Control*, Vol.19, No.1, pp. 95-99, 2022.
- 7) H. S. Kim, *et al.*, "Technological Trends of Intelligent Agricultural Machinery", *Journal of Drive and Control*, Vol.20, No.4, pp. 80-91, 2023.
- 8) T. Kurtoglu, *et al.*, "A functional failure reasoning methodology for evaluation of conceptual system architectures", *Research in Engineering Design*, Vol.21, pp. 209-234, 2010.
- 9) S. H. Lee, *et al.*, "Development of Impact-Plate Type Flow Sensor for Rice Yield Monitoring", *Journal of the Korea Academia-Industrial*, Vol.23, Issue 9, pp. 304-311, 2022.
- 10) C. K. Lee, *et al.*, "Development of a Rice Weighing System for Head-Feed Combine", *Journal*

- of Biosystems Engineering, Vol.32, Issue 5, pp. 332-338, 2007.
- 11) BRAIN. Investigation reporter for precision agricultural mechanization technology in USA, 2000.
 - 12) T. Chosa, *et al.*, "Investigation of the deviation of the yield in a direct sowing paddy field", Japanese Journal of Farm works research, Vol.33, Extra Issue 1, pp. 27-28, 1998.
 - 13) K. Kobayashi,, *et al.*, "Prototype yield monitoring commines(head -feed type)", Japanese Journal of Farm works research, Vol.33, Extra Issue 1, pp. 29-30, 1998.
 - 14) P. Reyns, *et al.*, "A Review of Combine Sensors for Precision Farming", Precision Agriculture, Vol.3, pp. 169-182, 2002.
 - 15) T. Chosa, *et al.*, "A Study on Yield Monitoring System for Head-Feeding Combine (Part3)", Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, Vol.66, Issue 2, pp. 137-144, 2004.
 - 16) E. Makino, *et al.*, "Development of the Yield information Monitoring Unit", Proceedings (of 60th annual meeting of) JSAM, pp. 391-392, 2001.
 - 17) C. K. Lee, *et al.*, "The basic study for grain flow sensor development of head-feeding combine (part1)", Proceedings of Korean Society for Agricultural Machinery, pp. 67-72, 2002.
 - 18) M. C. Choi. "Development of a Grain Yield Monitoring System for 55kW Full-Feed Type Multi-Purpose Combine", Master's thesis, Chungnam National University, 2016.