

자탈형 콤바인용 벼 무게 측정시스템 개발

이충근 최 용 전현종 김학진 이상봉 류찬석

Development of a Rice Weighing System for Head-Feed Combine

C. K. Lee Y. Choi H. J. Jun H. J. Kim S. B. Lee C. S. Ryu

Abstract

Yield mapping is necessary for precision farming. An on-site rice weighing system for a head-feed combine was developed to measure the total weight of rice grain harvested while the combine was operated. A load cell system was used to monitor rice weights accumulated into the combine grain tank using a load cell. This method gave cumulative grain weight readings as a function of time. The system consisted of a load cell, two supporting brackets, and a computer-based data acquisition system. The weights measured with the system from two fields were compared with those obtained with a commercially available electronic balance. The response of the load cell to varying grain weights was linearly modeled, showing a coefficient of determination of 0.998 and a standard error of ± 4.09 kg.

Keywords : Paddy rice, Head-feed combine, Weighing system, Load cell, Grain tank

1. 서 론

포장내 또는 포장별 곡물의 수확량을 조사하고 공간변이를 파악하는 것은 정밀농업을 구현함에 있어서 중요한 요소 중의 하나이며 시작점이다. 포장내의 위치별 수량정보는 당해 년도의 재배결과에 대한 평가 자료가 될 수 있고, 다음년도의 포장관리 계획을 위한 기초정보를 제공한다. 이러한 이유로 밭작물(밀, 옥수수, 콩, 면화) 중심의 농업경영을 하고 있는 미국과 유럽 등의 서구에서는 콤바인에 곡물유량측정센서, 곡물함수율측정센서, 속도센서 그리고 GPS(Global Positioning System, 지구측위시스템) 등을 탑재하여 수확과 동시에 수량 및 함수율을 측정할 수 있는 수확량 측정시스템이 실용화 되어 사용되고 있다. 서구의 수확량 측정시스템은 대형 보통형 콤바인에 적합한 형태로 개발되어 있어 우리나라나 일본과 같이 자탈형 콤바인을 대부분 사용하는 실정에서는 그 적용

성이 제한된다. 여러 연구자들이 개발된 수확량 모니터를 자탈형 콤바인에 적용한 결과에 의하면, 곡물유량측정센서와 곡물함수율측정센서를 설치할 공간의 제약성과 자탈형 콤바인에서는 곡물 유량이 1 kg/s 전후로 적어 이러한 유량을 측정하기 위해서는 측정 정밀도가 향상되어야 한다는 점을 지적하였다(Chosa 등, 1998; Kobayashi 등, 1998; Chung 등, 1999; BRAIN, 2000; Reyns 등, 2002).

따라서, 국내에서 포장내 위치별 수확량을 모니터링하기 위해서는 서구에서 개발된 수확량 모니터링 시스템과는 차별화 될뿐만 아니라 자탈형 콤바인에 부착 가능한 수확량 측정 시스템의 개발이 요구된다. 수확량 측정 시스템 구성에 필요한 핵심기술은 크게 포장별 또는 구간별로 수확된 벼의 전체 무게를 측정하기 위한 벼 무게 측정센서, 포장내 위치별로 벼 수확량의 공간적 변이를 측정하기 위한 벼 유량측정센서, 수확된 벼의 함수율을 측정할 수 있는 함수율측정센서, 데이터

This study was supported in part by the Development Program for Agriculture and Forestry, Ministry of Agriculture and Forestry, Republic of Korea. The article was submitted for publication in September 2007, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in October 2007. The authors are Choung-Keun Lee, Yong Choi, Hyun-Jong Jun, Hak-Jin Kim, Sang-Bong Lee, Agricultural Researcher, KSAM Member, National Institute of Agricultural Engineering, RDA, and Chan-Seok Ryu, Teaching Associate, KSAM Member, Division of Environmental Science and Technology, Kyoto University, Japan. Corresponding author: S. B. Lee, Agricultural Researcher, National Institute of Agricultural Engineering, RDA, Suwon, 441-100, Korea; Tel: +82-31-290-1981; E-mail: <leesb@rda.go.kr>.

수집·처리 및 가시화 장치 그리고 이러한 개별 장치를 시스템화해서 운영하기 위한 운영프로그램 등을 포함한다.

이 가운데 자탈형 콤바인에 의하여 수확된 벼 무게를 측정하기 위해 Chosa 등(2004)은 벼 저장통 내 하단부 즉, 배출오거 커버 위쪽에 로드셀을 설치하여 벼 저장통으로 유입되는 곡물량이 로드셀에 가해지는 하중 변화량에 미치는 관계를 구명하여 벼 무게를 측정하고자 하였다. Makino 등(2001)은 벼 저장통의 하단부 즉, 벼 저장통 바깥부분에 로드셀을 설치하여 벼가 저장통에 투입될 때마다 로드셀에 가해지는 하중 변화를 검출하여 벼의 무게를 측정하고자 하였다. 그러나, Chosa 등(2004)의 방식은 벼 저장통 내부의 하단부에 로드셀을 설치하였기 때문에 벼 저장통 내의 벼 무게를 정확하게 측정하기 위해서는 항상 일정량의 벼가 유입되었을 때만 가능하였다. 즉, 벼가 곡물통 내 배출오거 커버 위쪽까지는 담겨야 비로소 측정이 가능하였다. 그리고 Makino 등(2001)의 방식은 수확 후 벼를 배출오거로 배출하고 다시 수확작업을 할 경우 영점이 흔들리는 현상과 벼 저장통 하단부에 설치된 로드셀과 저장통과의 접촉 불량일 발생했을 경우 정밀도가 낮아져 현장에서 이용하는데 제약이 있는 것으로 나타났다.

이 연구에서는 자탈형 콤바인에 적합한 실시간 수확량 모니터링 시스템 개발을 위한 첫 단계로서 벼 저장통에 유입된 벼의 무게를 현장에서 측정할 수 있는 벼 무게 측정 시스템을 개발하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 측정 시스템 설계 및 제작

콤바인을 이용하여 벼를 수확한 후 벼의 무게를 측정하는 방법에는 여러 가지 방법이 있다. 이 연구에서는 그림 1 및 2와 같이 예취, 탈곡, 이송된 벼가 양곡 컨베이어를 통해서 저장통 내부로 유입된 벼에 의하여 저장통 바닥에 일정한 분포 하중을 가진다는 가정하에 시스템을 구성하였다. 이를 위해 벼 저장통 바닥면 밑단 최대의 변이각이 발생하는 곳에 로드셀을 설치하여 모멘트 변화에 의한 하중을 측정하는 방법을 이용하였다. 그림 2의 왼쪽 그림은 곡물 저장통 내부에 쌓이는 벼의 량에 따라 로드셀에 가해지는 하중변화를 개념적으로 나타낸 것이며, 오른쪽은 이를 개략화한 자유체 선도를 나타낸 것으로서 외팔보는 벼 저장통을 의미하며, 고정단은 벼 저장통이 콤바인 본체에 고정된 부분을 의미하며, 분포하중(w)은 곡물을 나타내며, 길이(l)는 벼 저장통 고정축에서 로드셀 설치 지점까지의 거리를 나타낸다.

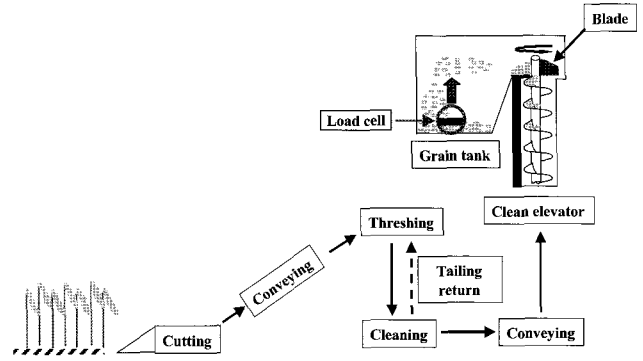


Fig. 1 Schematic diagram of grain flow in combine.

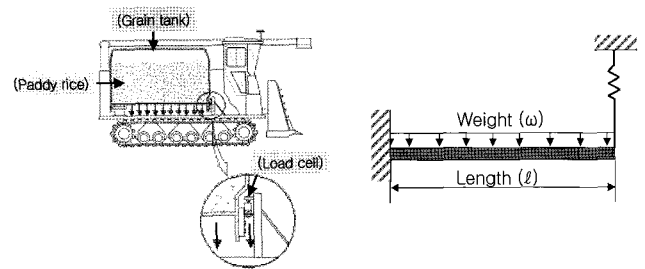


Fig. 2 Operational concept of rice weighing system using a load cell.

이를 위하여 그림 3과 같이 지지 브라켓을 이용하여 벼 저장통 측면과 콤바인의 베이스 프레임에 로드셀을 체결시켰으며 측정된 로드셀의 신호는 그림 4와 같이 컴퓨터를 이용하여 수집하였다.

데이터 취득방법은 그림 4와 같이 로드셀에서 출력되는 신호를 신호증폭기(LCT-V010, CAS, Korea)를 통해서 수신한 다음 A/D변환을 통해서 주 제어기로 입력한 다음 RS 232로 출력시켜 컴퓨터에서 실시간으로 신호를 측정하는 방식을 취했다. 신호 샘플링 주기는 양곡오거에 의해 벼 저장통으로 벼가 배출되는 주기가 약 15 Hz이기 때문에 신호해석을 위해 30 Hz로 설정하였다.

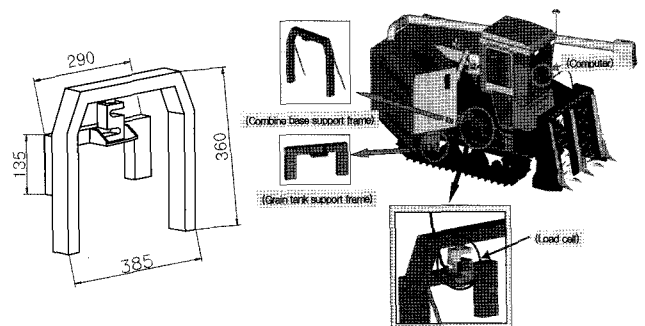


Fig. 3 Components of paddy rice weighing system.

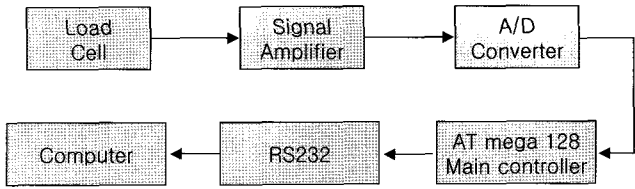


Fig. 4 Block diagram for computer-based data acquisition system.

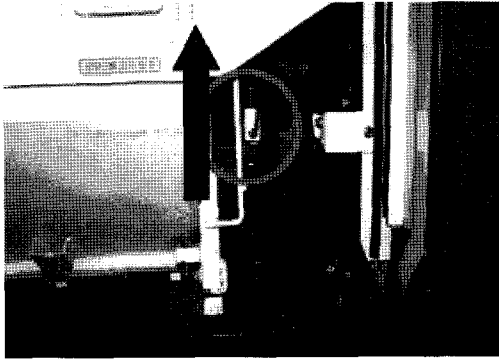


Fig. 5 Attachment of rice weighing system to head-feed combine.

그림 5는 벼 무게 측정시스템을 실제 콤바인에 장착한 모습을 나타낸 것으로서 자탈형 콤바인에 설치가 용이하도록 하기 위해 설치구조 및 벼 저장통의 열고 닫기 작업의 편리성 등을 고려하여 설계·제작하였다. 벼 저장통 측면에 부착한 지지 브라켓과 콤바인 본체 프레임에 부착한 지지대는 벼 저장통에 벼가 가득 찼을 때의 최대 하중을 견딜 수 있고, 수확 작업시 비틀림 등이 발생되지 않도록 하기 위해 폭 50 mm, 높이 30 mm, 두께 2.3 mm의 4각형 강관(Carbon steel pipe)을 이용해 제작 설치하였다.

로드셀은 벼 저장통에 담기는 벼의 최대량이 1,200 L이고, 수확기 벼의 산물밀도가 약 620 kg/m³ 인 점(Shin Heung, 2003)과 설치공간의 제약 등을 고려하여 최대 측정범위가 9,810 N인 인장 로드셀(SBA-1T, CAS, Korea)을 선정하였다. 표 1은 로드셀 주요사양을 나타내고 있다.

설계·제작된 벼 무게 측정시스템은 4조 자탈형 콤바인(KC 575G-CP 산물형, Kukje, Korea)에 탑재하였으며, 표 2는 콤바인 주요사양을 나타내고 있다.

Table 1 Specifications of the Load cell used in the study

Model No.	SBA-1T	Input resistance	400.3 Ω
Rated load	9810 N	Output resistance	351.4 Ω
Rated output	2.9994 mV/V	Compensated temperature range	-10~40 °C
Zero balance	-0.0044 mV/V	Operating temperature range	-30~80 °C

Table 2 Specifications of the head-feed combine used in the study

Model No.	KC575GCP, KUKJE		
Dimension	Length (mm)	4,330	
	Width (mm)	1,860	
	Height (mm)	2,320	
	Weight (mm)	2,740	
Engine	Model	4TNE84T	
	Type	4 cycle, 4 cylinders	
	Displacement (cc)	1,995	
	Power (kW) / Speed (rpm)	40/2,800	
Transmission	Center distance of crawler (mm)	1,025	
	Width of crawler (mm)	450	
	Length of ground contact (mm)	1,485	
	Average pressure of ground contact (kg/cm ²)	0.20	
	Speed change type	HST	
	Travelling speed (m/sec)	Forward	0~2.26
Reverse		0~2.26	
Reaping parts	Reaping width (mm)	1,485	
Threshing parts	Threshing drum	Diameter×width (mm)	420×710
		Speed (rpm)	520
Grain tank capacity (L)	1,200		

나. 시험방법

1) 측정시스템 측도설정

이 시스템의 측도설정을 위해 그림 5와 같이 시스템을 콤바인에 설치한 후, 2005년 10월 27일 경기도 수원시 입북동 소재 일반농가 포장에서 추청벼를 대상으로 시험을 실시하였다. 실내에서 측도설정 시험을 실시하지 않고 포장에서 직접 시험을 실시한 이유는 실제 수확물 유입에 의해 측도설정이 용이하고, 진동에 의한 오차도 함께 고려되는 측도설정 모델 설정이 가능하기 때문이었다. 대상포장의 크기는 약 0.4 ha (40×100 m)로서 경운, 기비살포, 이앙, 방제, 추비, 수확 등 관행적인 방법으로 농사를 짓고 있는 포장이었다. 수확량 정보 외에 수확한 곡물의 함수율 측정이 같이 이루어졌다. 벼 함수율은 수확된 벼를 곡물 함수율 15%로 환산했을 때의 양으로 나타내기 위해 측정하였으며, 측정방법은 수확된 벼 가운데 약 300 g을 채취하여 채취된 일정량을 오븐(다솔과학사 DS-80) 건조법(135℃에서 24시간 건조 후 105℃로 보정)으로 함수율을 측정하였다(Shin Heung, 2003). 수확작업은 관행의 수확작업과 동일하게 실시하였으며, 로드셀에 걸리는 하중 변화를 주기 위해 예취폭 조절을 통해 벼 저장통에 쌓이는 벼의 양을 순차적으로 증가시켰다. 로드셀의 측도설정 방법은 벼 저장통에 배출된 벼의 전량을 콤바인 배출오거를 통해 산물포대에 담아 미리 준비된 전자저지저울(Hookace-β, Bongsin, Korea)을 이용하여 측정하였다. 이 값과 시스템에서 취득한 최종 값과의 비교를 통해서 벼 무게 측정시스템의 검량식을 산출하였다.

2) 측정시스템 성능시험

성능시험은 표 3에 표시한 것과 같이 2005년도(시험 1)와 2006년도(시험 2)에 2차례 실시하였다. 시험 1은 2005년 10월 31일 경기도 수원시 입북동 소재 일반 농가포장에서 추청벼를 대상으로 실시하였다. 대상포장의 크기는 0.35 ha(100×35 m)로서 경운, 기비살포, 이앙, 방제, 추비, 수확 등 관행적인 재배방법으로 농사를 짓고 있는 포장이었다.

시험 2는 2006년 10월 14일과 26일에 경기도 평택시 오성면 창내리에 위치하고 있는 일반 농가 포장 2개소와 경기도 수원시 입북동에 위치하고 있는 일반 농가 포장 2개소에서 실시하였다. 경기도 평택시 오성면 창내리에 위치하고 있는 대상포장의 크기는 각각 0.3 ha와 0.45 ha로서 두 포장 모두 추청벼를 재배한 포장이다. 그리고 경기도 수원시 입북동에 위치하고 있는 대상포장의 크기는 각각 0.4 ha와 0.25 ha로서 대안벼와 주남벼를 재배한 포장이다. 추청벼, 대안벼 그리고 주남벼를 재배하고 있는 포장을 시험포장으로 선정하게 된 이유는 이 품종들이 전국적으로 많이 재배되고 있는 중만생종의 대표적인 품종이며 또한 고품질 품종의 벼이기 때문이었다. 데이터 취득방법은 측도설정 시험 때와 동일하게 하였으며 수확작업은 관행의 수확작업과 동일하게 작업을 하였다. 벼 함수율 측정 및 무게 측정 방법은 측도설정 시험 때와 동일하게 실시하였다. 그림 6의 왼쪽사진은 성능시험 광경이며 오른쪽 사진은 벼 저장통에서 배출한 벼의 무게를 현장에서 측정하는 장면을 나타내고 있다.

Table 3 Information on fields tested in the study

Test date	Field name	Field area (ha)	Variety	Name of field test
Oct. 31. 2005	Suwon	0.35	Chuchung	Test 1
Oct. 14. 2006	Pyeongtaek	0.30	Chuchung	Test 2
"	"	0.45	Chuchung	
Oct. 26. 2006	Suwon	0.40	Dacan	
"	"	0.25	Junam	



Fig. 6 Four rows head-feed combine (left) and measurement of rice weight using an electronic balance (right).

3. 결과 및 고찰

가. 측도설정

측도설정은 13단계의 다른 수량에 대한 전기신호 측정을 통하여 수행하였으며 수확된 벼의 함수율 범위는 17.2~19.5%였으며, 각 시험단계에서 벼 저장통으로 유입되는 벼의 무게는 28.8~588.8 kg이었다. 그림 7은 벼 무게 측정 시스템을 콤바인에 설치하여 관행적인 방법과 동일하게 수확작업을 1회 수행했을 때의 벼 무게 측정 시스템으로부터 획득한 결과를 나타낸 그래프이다. 벼 저장통에 수확된 벼가 누적됨에 따라 시스템의 출력값이 순차적으로 증가함을 나타내고 있다. 이러한 각각의 데이터들을 취득한 후 노면의 진동과 노이즈 등의 영향을 최소화하기 위해 이동 평균값을 취했다. 그 이동 평균값 중에 각 시험에 있어서 최종 평균값과 벼 저장통에 배출된 벼 무게와의 비교를 수행한 결과가 그림 8이다.

이 결과, 벼 무게를 실제 측정한 값과 개발된 시스템으로 측정된 값과의 관계는 결정계수가 0.998이었으며, 표준오차는 4.09 kg으로서 높은 직선적인 관계를 나타내어 얻어진 측

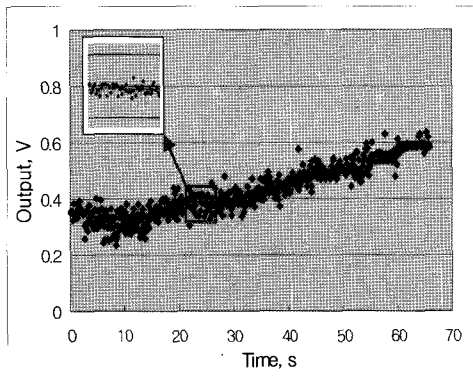


Fig. 7 Samples of the raw signal from the load cell during calibration.

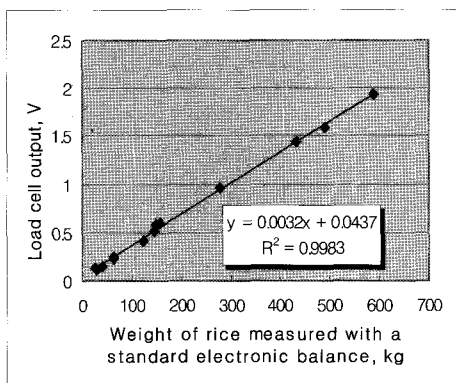


Fig. 8 Relationship between load cell output and weight of rice measured with a standard electronic balance.

도설정 식은 수확 작업시 포장내 수확된 벼의 무게를 정확하게 측정할 수 있을 것으로 판단되었다.

나. 성능시험

측도설정을 통하여 얻어진 예측모델 식을 이용하여 포장에서 제작된 무게 측정 시스템의 성능을 검증하였다. 성능시험의 측정횟수는 시험 1이 7회, 시험 2가 총 19회였다.

수확된 벼의 함수율 범위는 시험 1의 경우 16.5~18.7%였으며, 시험 2에서는 18.3%~26.5%였다. 시험단계별 벼 저장통에 배출되는 벼의 무게는 시험 1의 경우 183~502.5 kg였으며, 시험 2에서는 115~678 kg였다. 이 값과 시스템으로부터 취득한 결과 값과의 비교를 통해서 벼 무게 측정시스템의 포장성능 및 품종 간 차이를 검토해 보았다.

그림 9는 포장시험에 있어서 시스템의 출력신호를 나타내고 있다. 그림 10과 11은 시험 1과 시험 2에서의 시스템 성능 평가를 위해 비교된 실제 측정값과 개발된 시스템에 의해서 측정된 값의 관계를 나타낸 것이다.

시험 1의 경우, 시스템에 의해 산정한 벼 무게와 실제 측정

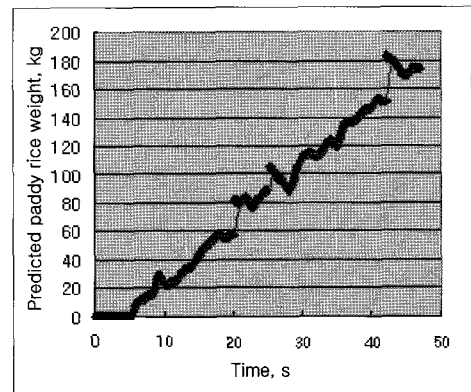


Fig. 9 Samples of the raw signal from the load cell during performance tests.

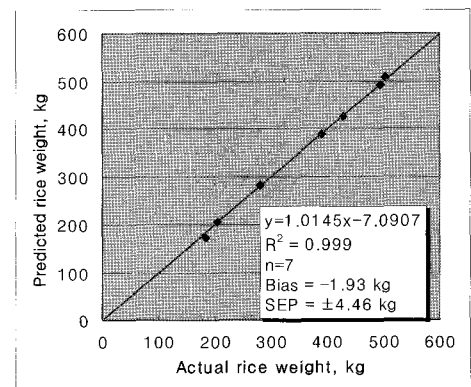


Fig. 10 Relationship between rice weight of field I (2005) determined by the load cell system and by standard method.

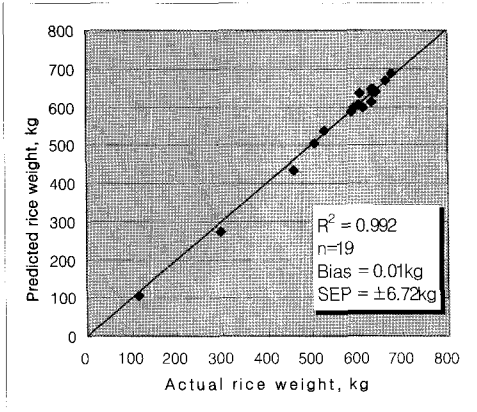


Fig. 11 Relationship between rice weight of field II (2006) determined by load cell system and by standard method.

한 벼 무게와의 관계는 직선적인 관계로 나타났으며 결정계수는 0.999였으며, 예측표준오차는 ±4.46 kg, 편이는 -1.93 kg으로 나타났다. 시험 2의 경우, 시스템에 의해 산정한 벼 무게와 실제 측정된 벼 무게와의 관계는 결정계수가 0.992였으며, 예측표준오차는 ±6.72 kg, 편이는 0.01 kg으로 나타나 두 번의 포장시험 결과, 개발된 측정시스템은 높은 예측성능을 가지고 있는 것으로 나타났다.

또한, 그림 12에 보는 바와 같이 시험 1과 2를 통합한 결과, 시스템에 의해 산정한 벼 무게와 실제 측정된 벼 무게와의 관계는 결정계수가 0.996로 나타났으며, 예측표준오차는 ±11.64 kg, 편이는 -0.56 kg으로 나타나 두회에 걸쳐 유사한 시험결과를 얻을 수 있었다. 그림 13은 품종간 차이를 나타낸 것으로서 품종간의 차이는 나타나지 않았다. 이는 본 시스템이 벼의 전체 무게를 측정하는 시스템이기 때문에 품종간의 영향은 없는 것으로 판단되었다.

따라서, 개발한 자탈형 콤바인용 벼 무게 측정시스템을 사

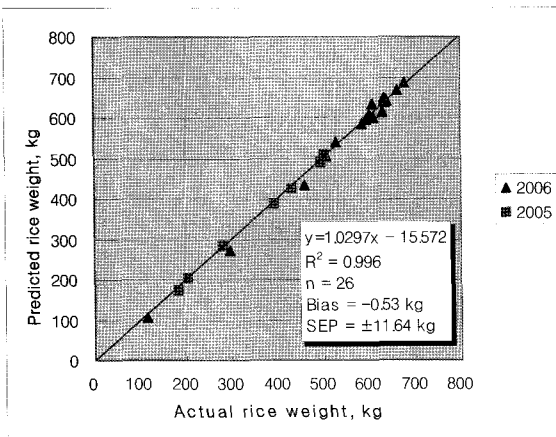


Fig. 12 Relationship between rice weight of field I and field II determined by load cell system and by standard method.

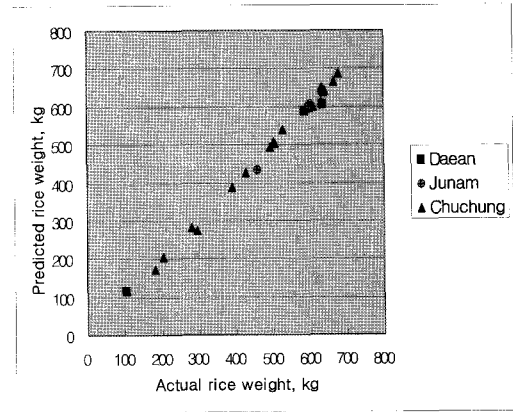


Fig. 13 Investigation of the effect of rice variety on the accuracy of weight measurement using the load cell.

용한다면 수확과 동시에 수확된 벼의 무게를 실시간으로 측정할 수 있을 것으로 판단되었다.

4. 요약 및 결론

자탈형 콤바인용 벼 무게 측정시스템을 개발하여 측도설정과 성능시험을 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 가. 자탈형 콤바인에 적용 가능한 수확과 동시에 벼 무게를 측정할 수 있는 벼 무게 측정 시스템을 개발하였다.
- 나. 개발된 벼 무게 측정시스템의 출력신호와 실제 벼 저장통에 배출된 벼 무게와의 관계는 직선적인 관계로 나타났으며, 결정계수는 0.998 이었으며 김량선 표준오차는 4.09 kg으로서 콤바인 수확작업시 수확된 벼의 무게를 충분히 측정할 수 있을 것으로 판단되었다.
- 다. 포장성능시험을 2회에 걸쳐 실시한 결과, 시험 1의 경우 시스템에 의해 산정한 벼 무게와 실제 측정된 벼 무게와의 관계는 결정계수가 0.999 였으며, 예측표준오차는 ±4.46 kg, 편이는 -1.93 kg으로 나타났으며. 시험 2의 경우, 시스템에 의해 산정한 벼 무게와 실제 측정된 벼 무게와의 관계는 결정계수가 0.992 였으며, 예측표준오차는 ±6.72 kg, 편이는 0.01 kg을 보여 측정 정밀도가 모두 높게 나타났다.
- 라. 시험 1과 2를 통합한 결과, 시스템에 의해 산정한 벼 무게와 실제 측정된 벼 무게와의 관계는 결정계수가 0.996 였으며, 예측표준오차는 ±11.64 kg, 편이는 -0.56 kg로 나타나 선형성이 확인 되었으며, 벼 품종별로는 시스템의 성능차이가 나타나지 않았다.

참고 문헌

1. BRAIN. 2000. Investigation reporter for precision agricultural mechanization technology in USA.
2. Chung, S. O., W. K. Park, Y. C. Chang, D. H. Lee and W. P. Park. 1999. Yield mapping of a small sized paddy field. J. of KSAM 24(2):135-144. (in Korean)
3. Chosa, T., K. Kobayashi and M. Daikoku. 1998. Investigation of the deviation of the yield in a direct sowing paddy field. Japanese Journal of Farm works research 33 Extra Issue 1:27-28. (in Japanese)
4. Chosa, T., Y. Shibata, M. Omine, K. Toriyama, and K. Araki. 2004. A study on yield monitoring system for head-feed combine (part 3) - Systemmization of data acquisition, analysis and mapping -, Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery 66(2):137-144 (in Japanese)
5. Kobayashi, T., Y. Kanetani, Y. Ogura, Y. Sasaki and K. Tasaka. 1998. Prototype yield monitoring combines(head-feed type). Japanese J. of Farm Work Research 33 Extra Issue 1: 29-30. (in Japanese)
6. Makino, E., T. Sugiyama, T. Ichikawa, I. Kitagishi, M. Kawanaka, K. Hamada and H. Kato. 2001. Development of the yield information monitoring unit. Proceedings of 60th Annual Meeting of JSAM:391-392. (in Japanese)
7. Reyns, P., B. Missotten, H. Ramon and J. D. Baerdemaeker. 2002. A review of combine sensors for precision farming. Precision Agriculture3:169-182.
8. Shin Heung Industry Co., 2003. Postharvest technology series. (in Korean)