

## 콤바인 예취부의 고장요인이 예취날의 평균 속도, 반송 두께, 탈곡통의 회전 속도에 미치는 영향

김용주 최창현 문정환

### Effects of Defect Factors of Combine Header on Cutting Speed of Combine Header, Feeding Depth of Straw, and Cylinder Speed of Thresher

Y. J. Kim C. H. Choi J. H. Mun

#### Abstract

The purpose of this study is to analysis effects of defect factors of combine header for cutting speed of combine header, feeding depth of straw, and cylinder speed of thresher. Measurement system for defect factors was consists of sensors to monitor the combine operation and I/O interface to convert the signals. Cutting speed of combine header, feeding depth of straw, cylinder speed of thresher were measured and analyzed. The data were collected from three paddy field during rice harvesting. The tests were conducted at different grounding speeds, lug troubles, and cutter condition. The one way ANOVA and the multiple comparison tests were performed. The results showed that the measured data were useful to monitor the defect factors of combine during harvesting. The faults conditions of grounding speeds, lug troubles, and cutter conditions affected cutting speeds, feeding depths and cylinder speeds of the combine. The data seem to be useful to analysis the faults conditions of combine header.

**Keywords** : Defect factors, Cutting speed, Feeding depth, Cylinder speed

#### 1. 서론

콤바인은 벼의 예취, 반송, 탈곡의 복잡한 작업을 수행하는 농업기계로 연간 작업일수가 25일인 반면 수리횟수는 6.2회, 수리비는 1,079천원으로 높은 고장비율을 보이고 있다(Shin 등, 2000). 콤바인 고장에 관한 조치는 대부분 제조 회사의 정비 지침서에 명시된 점검 방법을 따르고 있으며(Kim 등, 2007), 콤바인 자체적으로 유압, 탈곡통, 짚 배출 등의 진단 시스템을 가지고 있으나 정확한 상태의 진단은 불가능하고 작동 유무만 감지하므로 전반적인 콤바인의 고장을 예측하기에는 한계가 있다(동양, 대동, 국제 콤바인 취급 설명서, 1998, 1999, 1998). 콤바인의 고장을 예측하기 위해서는 주요

부위의 작업 상태에 대한 측정이 필요하며, 예취부, 반송부, 탈곡부의 주요 부위에 대한 측정 항목으로는 칼날의 평균 절단속도, 절단된 벼의 반송 두께, 탈곡통의 회전속도 등이 있다. 예취부의 올바른 절단 작업을 위해서는 작업속도와 칼날의 평균 절단속도가 일정한 비례관계를 유지해야 하며(정과 김, 1997), 반송 두께는 예취된 벼의 상태 및 탈곡부 성능에 영향을 미치는 인자로 반송 두께의 증가는 반송부의 막힘으로 인한 고장의 지표가 되는 중요한 항목이다(Lee, 1992). 또한, 탈곡통의 회전속도는 수확된 벼의 탈곡 및 선별에 영향을 미치므로 탈곡통의 회전속도를 적정속도로 일정하게 유지하는 것이 필요하다(정, 1988).

콤바인 주요 부위의 고장은 각 부위의 작업 상태에 따라 복

This study was conducted by the research fund supported by the Agricultural R&D Center (ARPC), Ministry of Agriculture and Forestry. The article was submitted for publication in July 2007, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in October 2007. The authors are Yong Joo Kim, Researcher, KSAM member, Chang Hyun Choi, Professor, KSAM member, and Joung Hwan Mun, Associate Professor, KSAM member, Dept. of Bio-Mechatronic Engineering SungKyunKwan University, Suwon, Korea. Corresponding author: C. H. Choi, Professor, Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, SungKyunKwan University, Suwon, 440-746, Korea; Fax: +82-31-290-7829; E-mail: <chchoi@skku.ac.kr>.

합적으로 발생되며, 특히 최초 입력된 벼를 인기러그로 일으켜 세우고 칼날로 절단한 후, 탈곡부로 반송하는 예취부의 고장은 예취부 자체의 고장뿐만 아니라 반송부의 막힘 현상, 탈곡통의 부하 증가 등 콤바인 각 부위의 고장을 야기하므로 예취부의 고장에 따른 콤바인 주요 부위의 고장 특성에 관한 연구가 필요한 실정이다(Choi 등, 2007). 콤바인 예취부의 고장 특성에 관한 연구는 미비하며, Kim 등(2006)은 빠른 작업 속도, 인기러그의 파손, 칼날부의 상태를 예취부의 주요 고장 항목으로 하는 계측 시스템을 개발하였으나 예취부의 상태를 측정하였으므로 콤바인 주요 부위의 고장 특성을 예측하기에는 무리가 있다.

따라서 본 연구의 목적은 수확작업 시 콤바인 주요 부위인 칼날의 평균 절단속도, 반송 두께, 탈곡통의 회전속도를 감지할 수 있는 계측 시스템을 개발하여 예취부 작업속도, 인기러그의 상태, 칼날부의 상태가 각각의 주요 부위에 미치는 영향을 구명하는데 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 실험 장치

#### 1) 콤바인

콤바인 예취부의 고장요인에 따른 주요 부위의 계측 시스템을 개발하기 위하여 작업 폭이 1.2 m인 3조식 콤바인(KC300, 국제종합기계, Korea)을 이용하였다. 본 연구에서 사용된 콤바인은 국내에서 보편적으로 사용되는 기종으로 최대 작업속도 1.35 m/s로 수확작업이 가능하며, 각각 10개의 인기러그 두 쌍을 이용하여 도복된 벼를 일으켜 세운 후, 아래날이 고정날인 왕복형 날을 이용하여 벼를 절단하게 된다.

#### 2) 센서의 선정 및 장착

콤바인 예취 구동부의 크랭크축(O)은 칼날의 운동 직선상에 위치하지 못하므로 그림 1과 같이 회전 운동을 편심 크랭크

크 연결봉(d)으로 전달하여 칼날의 왕복운동으로 벼를 절단하게 된다. 이때, 칼날의 행정(S)은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며 편심 거리(e)는 편심 크랭크 연결봉의 길이에 비하여 상당히 작으므로( $e \approx 0$ ) 칼날의 평균 절단속도는 식 (2)와 같이 계산할 수 있다(정, 1997). 그러므로 칼날의 평균 절단속도는 크랭크축의 회전속도를 이용하여 측정하는 것이 일반적이거나 실제 수확작업 시 고속의 칼날 작업 및 장애물 등의 영향으로 인하여 센서의 장착이 불가능 하므로 본 연구에서는 그림 2와 같이 예취 크랭크축과 동일한 회전 속도비(1:1)를 갖는 예취 구동부에 엔코더(E40S, Autonics, Korea)를 장착하여 칼날의 평균 절단속도를 측정하였다.

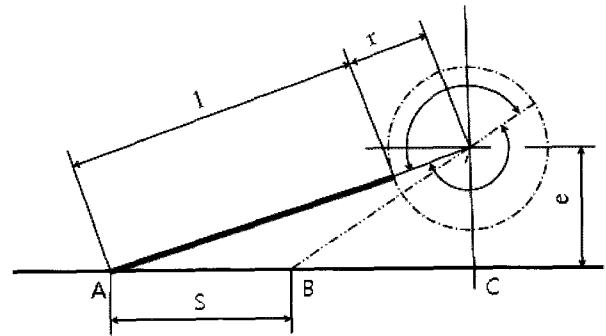


Fig. 1 Schematic of cutter system.

$$S = AC - BC = \sqrt{(d+r)^2 - e^2} - \sqrt{(d-r)^2 - e^2} = 2r \quad (1)$$

$$V = \frac{2 \cdot S \cdot n}{60} = \frac{r \cdot n}{15} \text{ m/s} \quad (2)$$

여기서,  $S$ : 칼날의 행정(m),  $d$ : 연결봉의 길이(m),  $r$ : 크랭크 반지름(m),  $e$ : 편심 거리(m),  $V$ : 칼날의 평균 절단속도(m/s),  $n$ : 크랭크축의 회전속도(rpm)

반송 두께는 그림 3(Left)과 같이 예취되어 탈곡부로 반송되는 부분의 두께를 측정해야하나 수확작업 시에는 벼의 압축 상태, 함수율 등에 따라 정확한 측정이 불가능하므로 그림

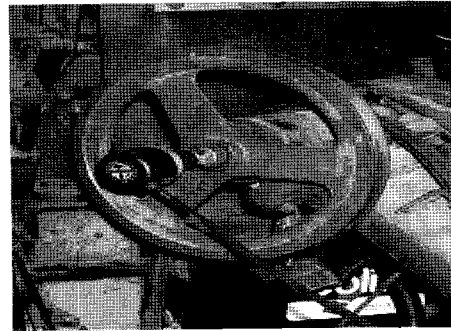
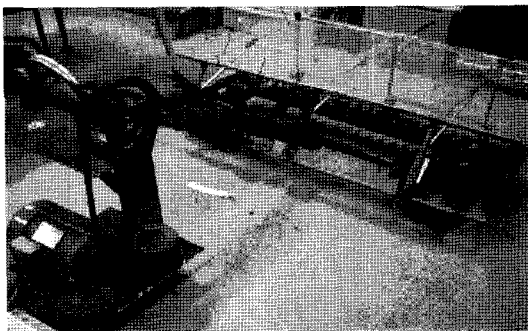


Fig. 2 Measurement of cutter speed by driving shaft of combine header (Left : driving shaft, Right : installation of encoder).

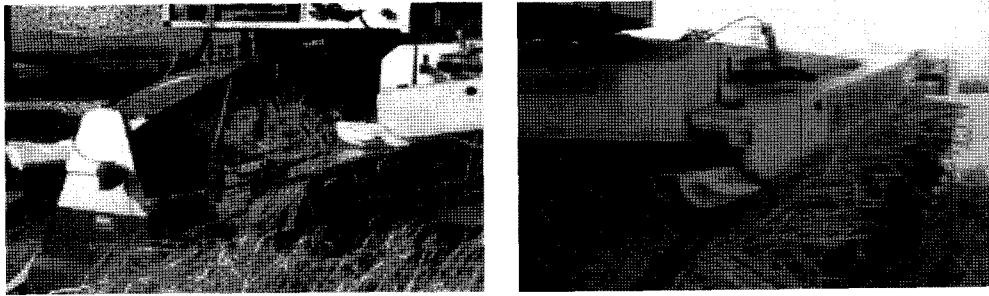


Fig. 3 Measurement of feeding (left) and measured depth (right).

3(Right)과 같이 탈곡부 입구에 길이 변화 측정이 가능한 포텐시오미터(L08, Autonics, Korea)를 장착하여 탈곡부 투입 두께를 측정하였다. 탈곡부 투입 두께는 벼를 탈곡 체인에 따라 이동시키기 위해 탈곡 체인에 물리는 두께로 수확작업 시 탈곡부에 입력되는 벼의 반송 두께에 따라 스프링으로 자동 조절되므로 이때의 길이 변화를 측정하여 반송 두께를 예측할 수 있다.

탈곡부 투입 두께와 반송 두께는 그림 4와 같이 작물의 함유율 차이에 따른 측정 오차를 줄이기 위하여 오전(31.0%, w.b)과 오후(18.5%, w.b)로 나누어 실험하였으며, 수확작업을 정지하여 버니어캘리퍼스로 벼의 반송 두께를 측정 후, 재가동하여 포텐시오미터로 탈곡부 투입 두께를 측정하는 방

법으로 상관관계를 계산하였다. 탈곡부 투입 두께는 반송된 벼가 탈곡 체인에 의해 물려 들어가면서 압축되므로 실제 반송 두께 보다 작게 측정되었으며, 상관계수는 0.76으로 탈곡부 투입 두께를 이용하여 실시간 반송 두께의 예측이 가능함을 알 수 있다.

탈곡통의 회전속도는 엔코더(E40S, Autonics, Korea)를 이용하였으며, 탈곡되어 나오는 작물 및 장애물 등에 의하여 탈곡통 구동축에 직접적인 부착이 불가능하므로 그림 5와 같이 탈곡통 구동축과의 속도비(2.75:1)를 이용하여 탈곡부 입력축에서 측정하였다.

### 3) 계측 시스템 개발

포텐시오미터와 엔코더의 신호 측정 및 분석을 위한 장치는 표 1과 같은 I/O 인터페이스(SCXI, National Instruments, USA) 모듈과 제어부로 임베디드 모듈(PXI, National Instruments, USA)을 이용하였다. 포텐시오미터의 신호는 자체적으로 0.15 mA의 전류 공급원을 가지고 있어 길이 변화에 따른 저항 변화의 측정이 용이한 모듈(SCXI-1121)로 측정하였고 최대 80 MHz의 고속 펄스 신호를 측정할 수 있는 모듈(PXI-6602)을 이용하여 엔코더의 회전속도를 측정하였다. 포텐시오미터와 엔코더의 데이터 수집을 위한 샘플링 주파수는 고속의 갈날 절단속도를 고려하여 50 Hz로 설정하였으며, 각각의 인터페이스 모듈로 입력된 센서 신호는 임베디드 모듈에서 이동 평균법(Moving average)으로 잡음을 제거한 후,

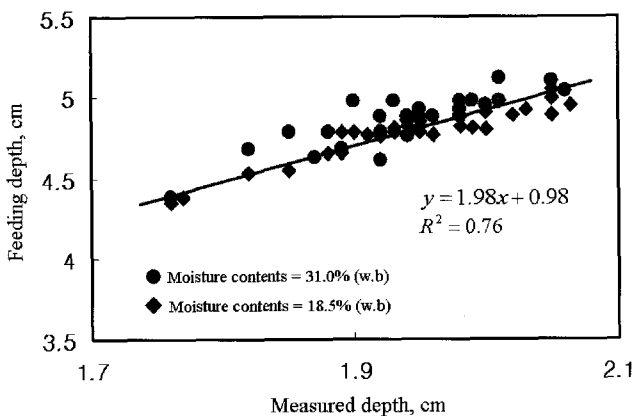


Fig. 4 Correlation between feeding depth and measured depth.

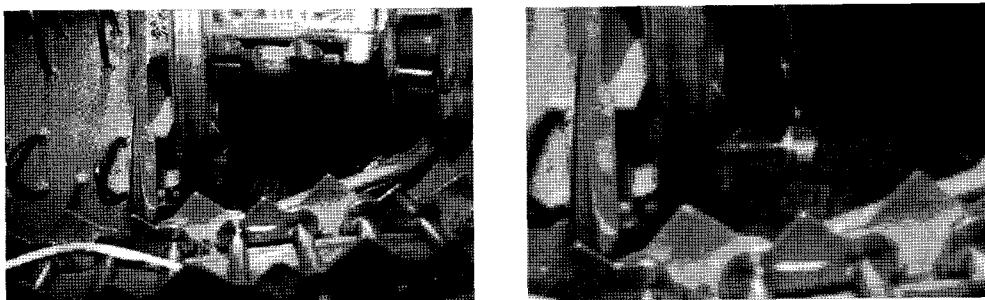


Fig. 5 Measurement of cylinder speed (Left : driving shaft, Right : installation of encoder).

칼날의 평균 절단속도, 반송 두께, 탈곡통의 회전속도를 분석하였다. 이때, 신호 측정 및 분석을 위한 계측 프로그램은 Labview(version 8.2, National Instrument, USA)를 이용하여 개발하였다.

**Table 1** Specifications of embedded module for I/O interfacing

Signals	Module	Description
Depth signal	SCXI-1121	- 4 isolation amplifier - 0.15 mA excitation, Lowpass filter(4 Hz, 10 kHz)
RPM signal	PXI-6602	- Up to 32 bit counter/timers - 80 MHz maximum source frequency
Controller	PXI-8185	- 1.2 GHz celeron processor - 10/100 Base ethernet, USB/RS232C port

**나. 실험 재료**

실험에 사용된 벼는 경기도 수원시 성균관대학교 시험 포장에서 재배된 일반계의 추청벼로 도복에 따른 영향을 알아보기 위하여 표 2와 같이 입모각의 크기에 따라 3회 반복 측정하였다. 측정된 벼의 입모각은 도복된 정도에 따라 65.2~80.5도 까지의 범위를 나타내고 있으며, 벼의 길이, 본수, 곡립수, 함수율은 입모각에 관계없이 유사한 범위를 보여주고 있다.

**Table 2** Agronomic data of paddy used in the test

Variables	Paddy data (Average)		
	Chuchung		
	'06 Oct. 19	'06 Oct. 30	'06 Nov. 18
Standing angle (°)	80.5	76.3	65.2
Total length (mm)	851	855	854
Panicle length (mm)	18	18	19
No. of straw per hill	16	17	17
No. of grain per straw	97	94	93
Moisture contents (% , w.b)	37.6	30.5	31.0

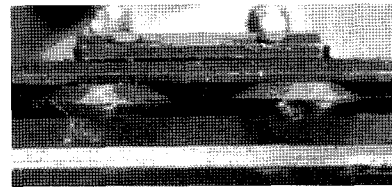
인기러그의 비작용 시간 증가에 따른 칼날의 평균 절단속도, 반송 두께, 탈곡통의 회전속도를 측정하기 위하여 인기러그의 상태는 그림 6과 같이 동일한 열의 러그를 차례로 파손하는 방법으로 정상 상태, 1개 파손, 2개 파손, 3개 파손으로 구성하였다.

칼날부의 상태는 콤바인 관리 지침(LG전선, 1993)을 기준으로 그림 7(a)와 같은 정상 칼날에 그림 7(b)와 같이 구동 칼날과 고정 칼날 사이의 간격이 5 mm 이상 생긴 것을 이격 칼날로 선정 하였으며, 벼가 입력되는 부위에 그림 7(c)와 같

이 하나의 구동 칼날을 파손한 것을 파손 칼날로 사용하였다.



**Fig. 6** Rug condition used for the test.



(a) Normal cutter



(b) Loosened cutter



(c) Broken cutter

**Fig. 7** Cutter condition used for the test.

**다. 실험 방법**

콤바인 수확작업 시 작업속도, 인기러그의 상태, 칼날부의 상태가 칼날의 평균 절단속도, 반송 두께, 탈곡통의 회전속도에 미치는 영향을 구명하기 위하여 2006년 10월에서 11월 사이에 성균관대학교 논 포장에서 수확작업을 수행하였다. 각각의 작업 조건에 따른 실험을 하기 위해 앞서 수확작업 시 계측 시스템의 사용 가능성을 알아보기 위하여 엔진 회전속도와 탈곡통 회전속도를 3조식 콤바인의 적정 속도인 2800 rpm, 520 rpm (국제 콤바인 취급 설명서, 1998)으로 설정하고 0.84 m/s의 작업속도로 각각의 센서 신호를 3회 반복 측정하였으며, 45초 동안 총 10 회에 걸쳐 작업 중인 콤바인을 정지시켜 실제 반송 두께를 측정하고 이때의 탈곡부 투입 두께를 이용하여 계산된 반송 두께와 비교하였다.

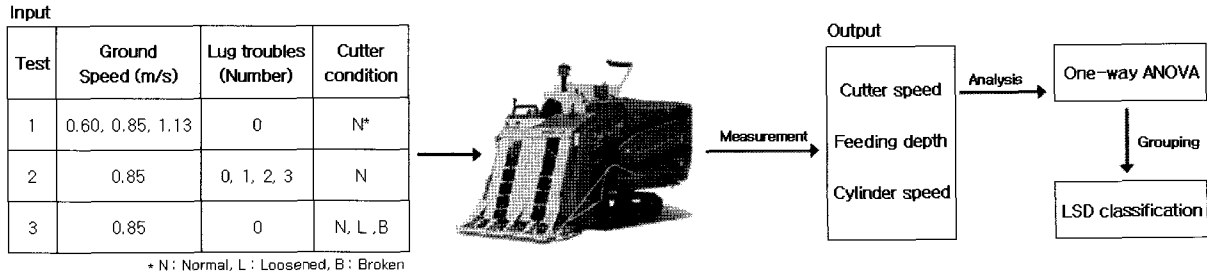


Fig. 8 Schematic of experimental design in the test.

콤바인의 작업조건이 칼날의 평균 절단속도, 반송 두께, 탈곡통의 회전속도에 미치는 영향을 구명하기 위하여 각각의 포장 조건에 대해 그림 8과 같이 작업속도 3 수준(1단 : 0.60 m/s, 3단 : 0.85 m/s, 5단 : 1.13 m/s), 인기러그의 상태 4 수준(정상, 1개 파손, 2개 파손, 3개 파손), 칼날부의 상태 3 수준(정상 칼날, 이격 칼날, 파손 칼날)으로 변화시키면서 칼날의 평균 절단속도, 반송 두께, 탈곡통의 회전속도에 미치는 영향을 측정하였다.

수집된 계측 시스템의 센서 신호는 각각의 작업조건을 인자로 하는 일원분산분석(One-way ANOVA)을 수행하였으며, 그룹 간의 평균 차이에 의한 검증 방법인 최소 유의차 방법(Least Significant Difference : LSD)을 이용하여 고장요인이 콤바인 주요 부위에 미치는 영향을 분석하였다. 이때, 통계 분석은 SAS(version 9.1, SAS Institute, USA)를 사용하여 유의수준 1%로 그룹 간의 차이를 검증하였다. 일원분산분석은 상호 독립적인 요인에 따른 집단 간의 차이를 구분하는데 용이하며(Guiard 등, 2000), 최소 유의차 방법을 이용한 검증은 콤바인 신호와 같이 외란 등에 인하여 자료의 오차가 큰 집단 간의 민감한 평균 차이를 판별하는데 적합한 장점이 있다(Chen 과 Dominik, 2004).

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 계측 시스템의 신호 측정 결과

수확작업 시 계측 시스템의 측정 가능성을 알아보기 위하여 표 3과 같이 칼날의 절단속도, 반송 두께, 탈곡통의 회전속도를 반복하여 측정하였다. 칼날의 평균 절단속도는 0.81~0.85 m/s의 범위를 보이고 있으며, 평균 0.84 m/s, 표준편차 0.03 m/s로 측정되어 수확작업 중 칼날의 평균 절단속도의 측정이 가능함을 알 수 있다. 반송 두께는 4.95~5.21 cm로 나타났으며, 평균 5.12 cm, 표준편차 0.14 cm로 수확작업 시 반송 두께가 일정한 범위를 유지하고 있음을 알 수 있다. 탈곡부 투입 두께를 이용하여 반송 두께를 환산한 결과 그림 9

와 같이 실제 반송 두께와 유사한 변화를 보이고 있어 탈곡부 투입 두께로 반송 두께의 실시간 측정이 가능함을 알 수 있다. 탈곡통의 회전속도는 501~518 rpm의 범위를 보이고 있으며, 평균 509 rpm, 표준편차 4.51 rpm 으로 수확작업 시 입력되는 벼에 의한 부하증가로 실험 시 설정한 520 rpm 보다 다소 낮게 측정되고 있음을 알 수 있다.

Table 3 Statistical data of measured values

Variables	Measurement			
	Max.	Min.	Avg.	Std.
Cutter speed (m/s)	0.85	0.81	0.84	0.03
Feeding depth (cm)	5.21	4.95	5.12	0.14
Cylinder speed (rpm)	518	501	509	4.51

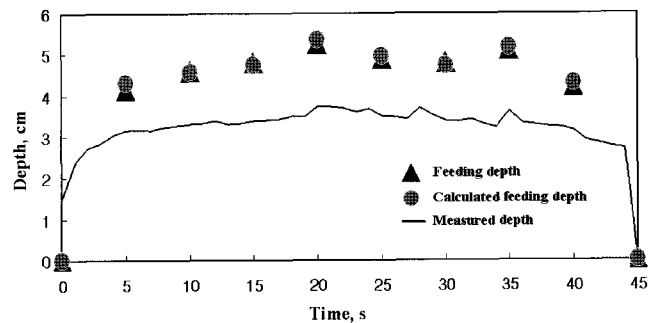


Fig. 9 Prediction of feeding depth during harvesting.

#### 나. 포장상태에 따른 신호 측정 결과

콤바인 수확작업 시 작업속도, 인기러그의 상태, 칼날부의 상태가 칼날의 평균 절단속도, 반송 두께, 탈곡통의 회전속도에 미치는 영향을 구명하기 위하여 입모작에 따른 각각의 시험포장에 대해 표 4와 같이 측정하였다.

작업속도가 증가함에 따라 칼날의 평균 절단속도는 0.57 m/s, 0.84 m/s, 1.12 m/s로 작업속도와 유사한 비율로 증가하였고 반송 두께는 5.13 cm, 5.12 cm, 5.11 cm로 일정한 범위를 유지하고 있으며, 탈곡통의 회전속도는 515 rpm, 509 rpm, 473 rpm

Table 4 Statistical data of measured values by standing angle

Condition	Level	Data Standing angle (°)	Variables												
			Cutter speed (m/s)				Feeding depth (cm)				Cylinder speed (rpm)				
			80.5	76.3	65.2	4.0 (Avg.)	80.5	76.3	65.2	74.0 (Avg.)	80.5	76.3	65.2	74.0 (Avg.)	
Grounding speed (m/s)	0.60	Avg.	0.58	0.57	0.57	0.57	5.15	5.10	5.13	5.13	513	516	515	515	
		Std.	0.02	0.03	0.02	0.02	0.12	0.13	0.14	0.13	3.69	4.21	4.20	4.03	
	0.85	Avg.	0.84	0.83	0.84	0.84	5.12	5.09	5.16	5.12	508	510	509	509	
		Std.	0.03	0.03	0.03	0.03	0.13	0.13	0.15	0.14	4.16	4.69	4.68	4.51	
	1.13	Avg.	1.12	1.12	1.11	1.12	5.09	5.15	5.10	5.11	471	475	473	473	
		Std.	0.04	0.04	0.04	0.04	0.14	0.15	0.14	0.14	3.77	4.28	4.26	4.10	
Lug troubles (Number)	0	Avg.	0.84	0.84	0.84	0.84	5.12	5.11	5.12	5.12	510	510	509	510	
		Std.	0.03	0.03	0.03	0.03	0.12	0.12	0.13	0.12	4.17	5.22	4.66	4.68	
	1	Avg.	0.83	0.84	0.84	0.84	5.11	5.10	5.08	5.10	510	511	510	510	
		Std.	0.03	0.03	0.03	0.03	0.18	0.18	0.21	0.19	4.17	5.22	4.69	4.69	
	2	Avg.	0.83	0.83	0.82	0.83	5.12	5.05	4.99	5.05	512	516	518	515	
		Std.	0.04	0.03	0.04	0.04	0.23	0.27	0.30	0.27	4.18	4.71	4.71	4.53	
	3	Avg.	0.85	0.84	0.84	0.84	5.11	4.95	4.87	4.98	512	523	524	520	
		Std.	0.03	0.04	0.03	0.03	0.25	0.31	0.35	0.30	4.73	5.26	5.78	5.26	
	Cutter condition	Normal	Avg.	0.84	0.83	0.84	0.84	5.12	5.12	5.13	5.12	509	510	509	509
			Std.	0.04	0.04	0.04	0.04	0.11	0.13	0.12	0.12	4.15	4.70	4.16	4.34
		Loosened	Avg.	0.65	0.65	0.66	0.65	5.13	5.11	5.13	5.12	511	509	509	510
			Std.	0.03	0.03	0.03	0.03	0.13	0.15	0.13	0.14	4.67	4.18	4.70	4.52
Broken		Avg.	0.84	0.85	0.84	0.84	3.54	3.57	3.50	3.54	520	521	521	521	
		Std.	0.04	0.03	0.04	0.04	0.16	0.17	0.17	0.17	4.22	4.23	3.68	4.04	

으로 작업속도에 따라 감소하였다. 또한 작업속도에 따른 칼날의 평균 절단속도, 반송 두께, 탈곡통의 회전속도는 포장조건에 관계없이 유사한 범위의 평균값 및 표준편차를 보이고 있다.

인기러그의 파손이 증가함에 따라 칼날의 평균 절단속도는 약 0.84 m/s로 측정되었고 포장조건에 관계없이 유사한 범위의 평균값 및 표준편차를 보이고 있다. 반송 두께는 그림 10 과 같이 입모각이 큰 경우에는 인기러그의 파손에 관계없이 유사한 범위를 보이고 있으나 인기러그의 파손이 증가하고

입모각이 작아질수록 반송 두께는 감소하고 표준편차에 의한 변동계수(Coefficient of variance)는 증가하여 인기러그는 도복된 벼의 수확작업 시 반송부로 입력되는 벼의 양에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 탈곡통의 회전 속도는 인기러그의 파손과 입모각에 따른 반송 두께의 감소에 따라 510 rpm, 510 rpm, 515 rpm, 520 rpm으로 증가하였다.

칼날의 상태에 따른 평균 절단속도는 정상 칼날과 파손 칼날의 경우 0.84 m/s로 측정되었으나 이격 칼날은 0.65 m/s로 낮은 절단속도를 보이고 있다. 반송 두께는 정상 칼날과 이격

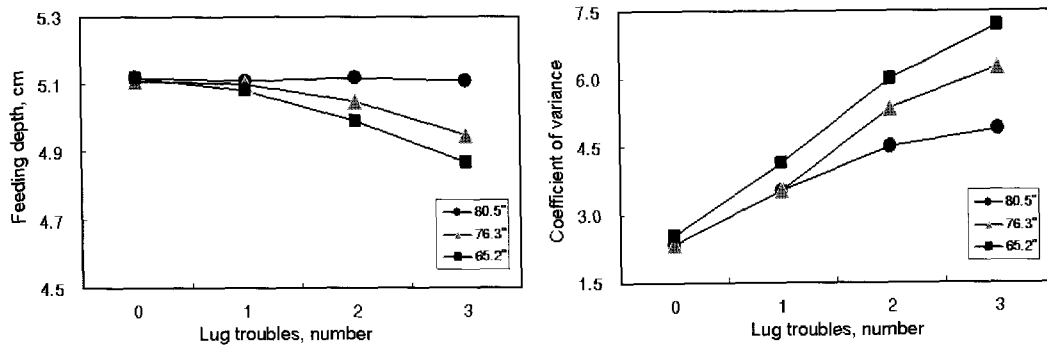


Fig. 10 Feeding depth and Coefficient of variance by lug troubles and standing angle.

칼날의 경우 약 5.12 cm로 유사한 범위를 보이고 있으며, 파손 칼날은 3.54 cm로 낮게 측정되었다. 탈곡통의 회전속도는 정상칼날과 이격칼날이 각각 509 rpm, 510 rpm으로 유사한 범위를 보이고 있으며, 파손칼날의 경우 521 rpm으로 다소 높게 측정되었다. 또한 칼날의 상태에 따른 칼날의 평균 절단 속도, 반송 두께, 탈곡통의 회전속도는 포장조건에 관계없이 유사한 범위의 평균값 및 표준편차를 보이고 있다.

**다. 일원 분산 분석**

콤바인 작업조건이 각각의 콤바인 주요 부위에 미치는 영향을 분석하기 위하여 각각의 포장 조건에 대한 측정값을 평균 내어 표 5와 같이 최소 유의차 방법으로 검증하였다. 콤바인의 작업속도를 0.60 m/s, 0.85 m/s, 1.13 m/s으로 증속하며 평균 절단속도를 측정한 결과, 작업속도의 증가에 따라 평균 절단속도는 각각 0.57 m/s, 0.84 m/s, 1.12 m/s로 증가하여 유의 수준 1% 이내에서 구분이 가능하였다. 이것은 콤바인이 예취부 및 반송부의 막힘을 방지하기 위하여 변속 수준에 따라 작업속도와 예취부의 속도가 비례적으로 변화도록 설계되었기 때문이다. 또한 작업속도와 예취부 및 반송부의 속도가 비례하므로 반송 두께는 작업속도 변화에 상관없이 일정하게 나타났다. 탈곡통의 회전속도는 유의 수준 1% 이내에서 작업속도의 증가에 따라 각각 515 rpm, 509 rpm, 473 rpm으로 순차적으로 감소하여 정확한 구분이 가능하였으며, 이것은 작업속도 증가에 따라 콤바인 탈곡부에 벼가 상대적으로 빠르게 입력되어 탈곡통의 부하 증가하였기 때문이다(Choi 등, 1991).

인기러그의 파손에 따라 평균 절단속도, 반송 두께, 탈곡통

의 회전속도를 측정한 결과, 평균 절단속도는 인기러그의 파손에 관계없이 일정하게 나타나 인기러그의 파손에 따른 벼의 자세 불량은 칼날의 평균 절단속도에 영향을 미치지 못하는 것을 알 수 있다. 반송 두께는 정상인 경우 5.12 cm에서 인기러그의 파손이 증가할수록 감소하여 파손 수준이 2개와 3개인 경우에 각각 5.05 cm, 4.98 cm로 구분이 가능하였으며, 이것은 인기러그의 파손이 벼의 자세에 영향을 미쳐 미예취의 발생 및 반송 중 누출이 발생하였기 때문으로 판단된다. 또한 인기러그 파손에 따른 탈곡통 회전속도는 정상인 510 rpm에서 파손 수준이 2개와 3개인 경우에 각각 515 rpm, 520 rpm으로 구분이 가능하였는데, 이는 인기러그의 파손에 따라 반송 두께가 감소하여 탈곡통에 작용하는 부하가 상대적으로 줄어들었기 때문이다.

칼날의 상태에 따른 평균 절단속도는 유의 수준 1% 이내에서 정상 칼날과 파손 칼날은 모두 0.84 m/s, 이격 칼날은 0.65 m/s로 감소하여 칼날의 이격 시 절단속도 감소에 따른 구분이 가능함을 보여주고 있으며, 이것은 구동날과 고정날 사이의 간격 증가로 인하여 칼날의 왕복 운동에 따른 벼와의 마찰력이 증가하였기 때문으로 판단된다. 반송 두께는 유의 수준 1% 이내에서 정상 칼날과 이격 칼날의 경우 각각 5.12 cm, 5.12 cm로 나타나 구분이 어려웠으며, 파손 칼날을 사용하면 벼를 절단하지 못함에 따라 미예취 벼가 증가하므로 반송 두께가 3.54 cm로 크게 감소하여 다른 칼날과의 구분이 가능하였다. 또한 탈곡통의 회전속도는 반송 두께 감소에 따라 탈곡통에 작용하는 부하가 상대적으로 줄어들었기 때문에 파손 칼날의 구분이 가능하였다.

**Table 5** One-way ANOVA and LSD classification for experimental condition

Condition	Level	Variables								
		Cutter speed (m/s)			Feeding depth (cm)			Cylinder speed (rpm)		
		F-value (Pr > F)	Mean	LSD	F-value (Pr > F)	Mean	LSD	F-value (Pr > F)	Mean	LSD
Grounding speed (m/s)	0.60		0.57	a		5.13	-		515	a
	0.85	5855.5 (<.0001)	0.84	b	0.22 (0.20)	5.12	-	617 (<.0001)	509	b
	1.13		1.12	c		5.11	-		473	c
Lug troubles (Number)	0		0.84	-		5.12	a		510	a
	1	0.22 (0.15)	0.84	-	7.36 (0.05)	5.10	a	8.17 (0.03)	510	a
	2		0.83	-		5.05	d		515	c
Cutter condition	3		0.84	-		4.98	d		520	d
	N*		0.84	a		5.12	a		509	a
	L	674.75 (<.0001)	0.65	b	670.80 (<.0001)	5.12	a	1.90 (0.33)	510	a
	B		0.84	a		3.54	c		521	c

\* N : Normal cutter, L : Loosened cutter, B : Broken cutter

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 수확작업 시 예취부의 작업조건이 칼날의 평균 절단속도, 반송 두께, 탈곡통의 회전속도에 미치는 영향을 구명하기 위하여 계측 시스템을 개발하고 각각의 작업조건을 인자로 하는 일원 분산분석 및 최소 유의차 방법으로 그룹간의 차이를 분석하였다.

- (1) 칼날의 평균 절단속도와 탈곡통의 회전속도는 각각 예취부 구동축(1:1)과 탈곡통 입력축(2.75:1)의 속도비를 이용하여 측정하였으며, 반송 두께는 탈곡부 투입 두께와의 상관관계를 계산하여 수확작업 중 콤바인의 절단, 반송, 탈곡 상태 예측이 가능한 계측 시스템을 개발하였다.
- (2) 작업속도가 콤바인 수확작업에 미치는 영향을 분석한 결과 콤바인 변속 장치 설계에 따라 칼날의 평균 절단속도는 작업속도와 비례하여 변하였으며, 단위 시간당 반송 두께는 작업속도에 관계없이 일정하게 나타났다. 탈곡통의 회전속도는 작업속도의 증가에 따라 탈곡부에 벼가 상대적으로 빠르게 입력되어 탈곡통의 부하가 증가하여 실험 시 설정된 탈곡통의 회전속도인 520 rpm를 기준으로 각각 515 rpm, 509 rpm, 473 rpm으로 순차적으로 감소하였다.
- (3) 인기러그의 상태가 콤바인 수확작업에 미치는 영향을 분석한 결과 반송 두께는 입모각이 큰 경우에는 인기러그의 파손에 따른 구분이 어려웠으나 입모각이 작아질수록 감소하여 인기러그는 도복된 벼의 수확작업 시 반송부로 입력되는 벼의 양에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 탈곡통의 회전 속도는 반송 두께의 감소에 따라 탈곡통에 작용하는 부하가 상대적으로 줄어들었기 때문에 인기러그의 파손에 따라 510 rpm, 510 rpm, 515 rpm, 520 rpm으로 증가하여 구분이 가능하였다.
- (4) 칼날의 상태가 콤바인 수확작업에 미치는 영향을 분석한 결과 평균 절단속도는 정상 칼날과 파손 칼날 모두 0.84 m/s로 측정되었고 이격 칼날은 0.65 m/s로 감소하여 다른 칼날과의 구분이 가능하였다. 파손 칼날은 벼를 절단하지 못함에 따라 미예취 벼가 증가하므로 반송 두께가 크게 감소하여 다른 칼날과의 구분이 가능하였으며, 이에 따라 탈곡통에 작용하는 부하는 상대적으로 줄어들어 파손 칼날의 사용 시 탈곡통의 회전속도는 감소하였다.

#### 참고문헌

1. Chen, P. L. and R. Dominik. 2004. Monitoring a three-armed clinical trial with survival endpoints -Fisher's least significant difference approach. J. of Biopharmaceutical Statistics 14(3): 791-801.
2. Choi, C. H., Y. J. Kim, J. H. Kim and J. H. Mun. 2007. Development of measurement system of cutter conditions for combine diagnosis(I) -Analysis of vibration and load signals. J. of the Korean Society of Agriculture Machinery 32(3): 190-196. (In Korean)
3. Choi, K. H., K. H. Ryu, Y. K. Choi and P. K. Park. 1991. A forward speed control of head-feed combine using continuously variable v-belt transmission (I) - Combine load characteristics. J. of the Korean Society of Agriculture Machinery 16(2):124-132. (In Korean)
4. Guiard, V., G. Herrendorfer, D. Sumpf and G. Nurnberg. 2000. About optimal designs for estimating variance components with ANOVA in one-way classification under non-normality. J. of Statistical Planning and Inference 89(1): 269-285.
5. Kim, H. K., W. O. Lee, S. Y. Shin, C. H. Nam, Y. B. Kim and S. O. Seo. 2007. Development of web service system for the inspection and maintenance of combine harvesters. Proceeding of the Korean Society for Agricultural Machinery Conference 12(2):338-341. (In Korean)
6. Kim, J. H., C. H. Choi, Y. J. Kim, E. H. Nam and J. H. Mun. 2006. Development of measurement system for combine diagnosis. Proceeding of the Korean Society for Agricultural Machinery Conference 11(1):98-103. (In Korean)
7. Lee, W. S. 1992. Computer aided design of plant-mass conveyor of head-feed combine. The Graduate School of Seoul University. (In Korean)
8. Shin, S. Y., Y. B. Lee, I. S. Oh, B. G. Kim and H. J. Kim. 2000. Study on the breakdowns and repairs of major agricultural machinery. Proceeding of the Korean Society for Agricultural Machinery Conference 5(2):156-162. (In Korean)
9. 국제종합기계 주식회사. 1998. 국제 콤바인 취급설명서.
10. 동양물산기업 주식회사. 1998. 동양 콤바인 취급설명서.
11. 대동공업 주식회사. 1999. 대동 콤바인 취급설명서.
12. 정창주. 1988. 농작업기계학. 서울대학교출판부.
13. 정창주, 김경옥. 1997. 농작업기계학 원론. 서울대학교출판부.
14. LG 전선. 1993. 콤바인 주요기능부 진단 및 조치.