

콤바인 예취부 고장진단을 위한 예취 칼날부의 진단 시스템 개발 (I) - 진동 및 부하 신호 분석 -

최창현 김용주 김종혁 문정환

Development of Measurement System of Cutter Conditions for Combine Diagnosis (I)

- Analysis of Vibration and Load Signals -

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

Abstract

The purpose of this study is to develop a measurement system of cutter conditions for combine header diagnosis during rice harvesting. A load cell was installed at the locker-arm to measure load fluctuation and an acceleration sensor was used to monitor vibration signal of cutter bar. The data were collected from a paddy field during harvesting. The tests were conducted with a normal cutter, a loosened cutter, a broken cutter, and a worn-out connector pin at the field. The vibration signals converted by FFT (Fast Fourier Transformation), filtered, and normalized. The load data and peak values of vibration signals in four different frequency ranges were used to determine the cutting operation and the cutter conditions of combine. The multiple comparison tests showed that the load data and peak values of vibration signals were important to monitor the cutting operation and cutter conditions of combine header.

Keywords : Combine header diagnosis, Cutter conditions, Load, Vibration

1. 서론

농업기계를 이용한 작업은 대부분 포장에서 수행되므로 날씨 및 주변 환경에 노출되어 있어 고장의 예측이 어려우며, 기계고장 시 부품의 부재와 수리 인력의 부족으로 인한 수리 지연으로 농민의 경제적 부담을 가중하고 있다. Park 등(2003)은 와이בל 분포를 이용하여 트랙터의 전동라인을 구성하는 주요 부품에 대한 고장 특성과 신뢰도를 분석하여 각 부품의 수율을 예측하였으나 고장을 예방하기에는 한계가 있으므로 농업기계의 고장진단 시스템이 필요한 실정이다.

농업기계 중 고장 비율이 가장 높은 콤바인은 연간 작업일

수가 25일인 반면 수리횟수는 6.2회, 수리비는 1,079천원으로 보고되었으며(Shin 등, 2000), 특히 작물을 절단하는 예취 칼날과 칼날 구동축의 교환 빈도가 가장 높게 조사되었다(한국 소비자보호원, 2002). 예취 칼날과 칼날 구동축은 주로 사용 시간에 따라 교체되어지나 작물의 작황상태와 함수율, 장애물과의 충돌 등에 따라 칼날의 상태가 다르므로 교체시기를 예측하기는 어렵다(최우영, 2004). 국내에서 사용되는 예취 칼날은 상날과 하날로 구성된 이중형 날로 작업조건에 따라 날 사이의 이격 및 파손과 칼날 구동축이 마모되는데, 이러한 예취 칼날부의 사용은 작물을 절단하지 못하여 예취부의 막힘으로 인한 고장을 유발하고 낱알의 탈립손실 증가로 인한

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 April 2007, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in June 2007. The authors are Chang Hyun Choi, Professor, KSAM member, Yong Joo Kim, Researcher, KSAM member, Jong Hyuck Kim, Researcher, 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>.

수확량을 감소시키므로(Jeon 등, 2002) 칼날의 상태에 따른 적절한 시기의 교체가 요구된다. 또한 예취 칼날부의 상태는 예취부에서 절단된 벼를 이송하는 반송부와 탈곡 및 선별을 하는 탈곡부까지 영향을 미치므로 콤바인 고장진단을 위하여 필요한 항목이다.

농업기계 분야에서 예취 칼날부의 상태 진단에 관한 연구는 미비하며, Jeon 등(2002)이 예취날의 내구성 향상을 위하여 예취날에 고주파 열처리를 하였고, 박진우(2002)는 새 예취날과 사용 시간이 1년인 예취날 사이의 부하는 각각 평균 270 kgf, 290 kgf으로 칼날의 사용 기간에 따라 작용하는 칼날부의 부하가 변화한다고 하였으며, 콤바인 예취날의 피로수명 평가를 통해 최대응력 13 kgf/mm²에서 사용수명을 225시간으로 추정하였으나 수확작업 시 실시간 칼날부의 상태 예측은 불가능하여 이를 측정할 수 있는 시스템이 필요한 실정이다.

그러므로 본 연구는 수확작업 시 예취 칼날부의 상태를 진단하기 위한 기초연구로서 칼날의 이격 및 파손과 칼날 구동축의 마모에 따라 발생하는 진동과 칼날 부하의 변화를 측정할 수 있는 계측 시스템을 개발하여 칼날부의 상태에 따른 진동과 부하 신호의 특성을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험 장치

(1) 콤바인

예취 칼날과 칼날 구동축을 대상으로 수확작업 시 예취 칼날부의 진동 신호와 부하를 구명하기 위하여 최고 작업 속도 1.35 m/s이고 작업 폭이 1.2 m인 3조식 콤바인(KC300, 국제종합기계, Korea)을 이용하였다. 국내에서 사용되는 예취날은 상날과 하날이 동시에 절삭하는 상하 왕복형과 하날은 고정된 상태로 상날만으로 절삭하는 상날 왕복형이 있는데, 본 연구에서는 콤바인의 기종을 고려하여 상날 왕복형을 사용하였다.

(2) 센서의 선정 및 장착

콤바인 예취 구동축의 중심은 칼날의 운동 직선상에 위치하지 못하므로 회전운동을 편심 크랭크 연결봉으로 전달하여 칼날의 왕복운동으로 작물을 절삭한다. 이때 칼날의 이격 및 파손과 칼날 구동축의 마모는 칼날의 왕복운동에 따른 마찰력 변화에 의하여 이상 진동을 발생하며 예취 칼날의 부하에 변화를 준다. 본 연구에서는 표 1과 같이 예취 칼날부의 상태에 따른 칼날의 부하와 진동 변화를 측정하기 위하여 로드셀과 가속도 센서를 사용하였다. 로드셀(Miniature Tension, 대흥, Korea)은 칼날 상태에 따른 부하를 고려하여 허용용량을

Table 1 Specifications of accelerometer and loadcell

Sensor	Items	Specifications
Tension Loadcell	Rated capacity	500 kgf
	Excitation voltage	10 V
Accelerometer	Frequency range	0.3 to 6000 Hz
	Sensitivity	100 mV/g

500 kgf로 선정하였으며, 그림 1과 같이 예취부 구동부의 피트먼 암(Pitman arm)에 장착하여 인장력과 압축력을 동시에 측정하였다.

칼날의 고속 왕복운동을 고려하여 0~6,000 Hz 범위의 측정이 가능한 1축 가속도 센서(45078B, Bruel & Korea, Germany)를 사용하여 진동변화를 측정하였다. 진동 신호는 가속도 센서의 장착 위치에 따라 다르기 때문에 정확한 신호를 측정하기 위해서는 진단 신호를 얻고자하는 위치에 가속도 센서를 장착해야 한다(남진숙, 2003). 그러므로 가속도 센서는 장애물과의 충돌 및 작물의 영향을 고려하여 별도의 보호 케이스를 제작하여 그림 1과 같이 수확작업 시 작물이 유입되는 예취부 입구의 구동날과 고정날 표면을 장착 위치로 선정하였으며 그림 2와 같이 공회전 시 위치에 따른 주파수 스펙트럼의 첨도(Kurtosis)를 계산하여 최종 선정하였다. 첨도는 스펙트럼의 뾰족함을 나타내는 지표로 식 (1)과 같이 계산되어지며, 주파수 영역에서 첨도의 크기는 특정 주파수 영역에 대한 가중치가 크다는 것을 의미한다.

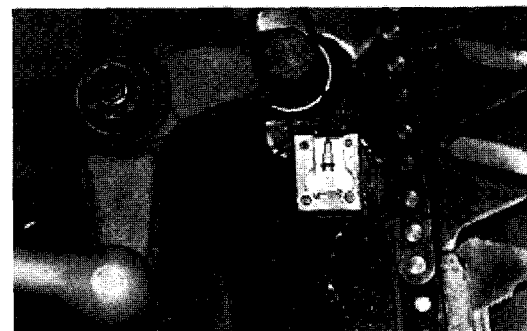
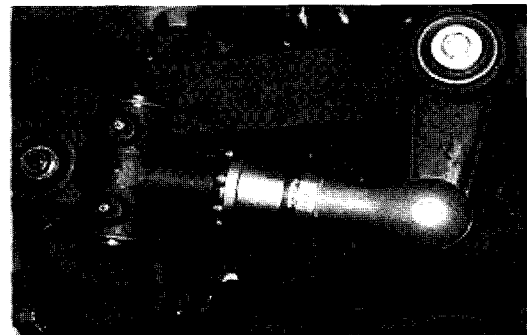


Fig. 1 Installation of loadcell (top) and accelerometer (bottom).

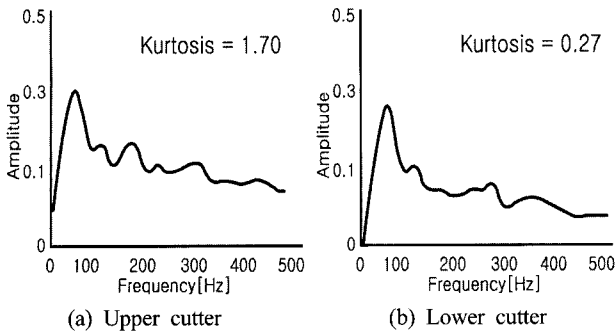


Fig. 2 FFT spectrum by position of accelerometer.

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^4}{[\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2]^2} - 3 \quad (1)$$

K = 첨도, Y_i : 변량, \bar{Y} : 평균

가속도 센서의 장착 위치에 따른 스펙트럼의 피크는 구동날의 왕복운동에 의한 진동 주파수의 증가로 구동날이 더 높게 나타났으며 스펙트럼의 패턴은 장착위치에 따라 다소 차이를 보이고 있다. 스펙트럼의 첨도는 구동날은 1.70, 고정날은 0.27로 측정되어 구동날에 센서를 장착하는 것이 칼날부의 상태에 따른 진동 신호를 분석하는데 유리하므로 본 연구에서는 예취 구동날을 가속도 센서의 장착 위치로 선정하였다.

(3) 계측 시스템의 구성

가속도 센서와 로드셀의 신호 측정 및 분석을 위한 장치는 표 2와 같은 I/O 인터페이스(SCXI, National Instruments, USA)와 임베디드 모듈(PXI, National Instruments, USA)을 이용하였다. 로드셀의 신호는 별도의 증폭기가 장착되어 증폭이 용이한 모듈(SCXI-1121)로 측정하였고 자체적으로 4 mA의

전류 공급원을 가지고 있는 모듈(SCXI-1530)를 이용하여 가속도 센서의 진동 신호를 측정하였다. 임베디드 모듈은 진동 및 외부 환경에 영향이 적은 윈도우 기반의 모듈로 자체적으로 PCI Bus를 사용하고 있어 센서 신호의 입력 및 분석이 빠른 장점이 있으며, TCP/IP, 시리얼 및 USB 포트가 있어 분석된 신호의 외부 전송 가능하다. 가속도 센서와 로드셀의 신호는 그림 3과 같이 인터페이스 모듈로 입력되어 각각의 신호 변환 과정을 거쳐 임베디드 모듈의 신호 처리 과정을 통하여 칼날부 상태에 따른 진동 신호와 부하의 변화를 분석하게 된다. 이때 신호 수집 및 분석을 위한 계측 프로그램은 Labview version 8.2(National Instrument, USA)를 이용하여 개발하였다.

(4) 칼날 및 칼날 구동축

본 연구에서는 예취 칼날부의 상태에 따른 예취부 진동 및 부하 변화를 측정하기 위하여 실험조건을 예취 칼날의 상태 3 수준(정상칼날, 이격칼날, 파손칼날), 칼날 구동축의 상태 2 수준(정상 구동축, 마모 구동축)으로 구성하였다. 정상칼날과 정상 구동축은 예취 작업을 하지 않은 정상적인 수확작업이 가능한 새 것으로 하였으며, 이격칼날은 콤바인 관리 지침(LG 전선, 1993)을 기준으로 구동칼날과 고정칼날 사이의 간격이 5 mm 이상의 공차가 생긴 것으로 하여, 이때 사용된 구동축을 마모 구동축으로 하였다. 수확작업 중 부러진 날은 사용시간에 따른 칼날 사이의 간격도 늘어나 칼날의 파손에 따른 정확한 진동 및 부하의 변화를 측정하기 어려우므로 임의로 구동칼날의 한 부분을 파손하여 파손칼날을 제작하여 실험하였다.

나. 실험 방법

실험조건은 칼날의 상태를 측정하기 위한 정상 구동축에 따른 정상칼날, 이격칼날, 파손칼날과 구동축 마모를 측정하기 위한 마모 구동축에 따른 정상칼날로 모두 4수준으로 구

Table 2 Specifications of I/O interface and PXI embedded module

Signals	Module	Description
Load	SCXI-1121	- 4 isolated input channels - 0.15 mA excitation, Lowpass filter (4 Hz, 10 kHz)
Vibration signal	SCXI-1530	- High speed accelerometer input module - 4 mA current source
Embedded module	PXI-8185	- 1.2 GHz celeron processor, Internal PCI bus - 10/100 Base ethernet, USB/RS232C port

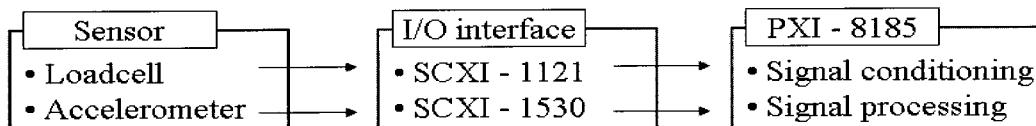


Fig. 3 Flowchart of measurement system of cutter conditions.

성하여 작업조건(공회전, 수확작업)에 따른 센서 신호를 수집하였다. 수확작업은 각각의 조건에 대하여 길이 20 m, 폭 1.4 m의 논 포장에서 0.8 m/s(표준 3단)으로 변속하여 3회 반복 실험 하였으며, 이때 벼의 함수율은 40~50 %로 측정되었다.

구동축의 로드셀 신호는 그림 4와 같이 인장력과 압축력의 형태로 나타나므로 칼날의 상태에 따른 부하 변화를 구명하기 위하여 인장력과 압축력에 대한 평균값을 전체 부하의 크기로 산출하여 분석하였다(Schoen, 1995). 진동 신호는 칼날 부의 상태 및 여러 요인에 의하여 합성되어 나타나지만 각각의 상태에 따른 가진력 주파수와 고유 진동수에 의하여 일정한 진동 주파수를 가지고 있으므로 푸리에 변환을 통하여 중첩되어 나타나는 칼날부 진동 신호의 성분을 분리할 수 있다(남진숙, 2003). 측정된 진동 신호는 그림 5와 같이 고속 푸리에 변환(FFT: Fast Fourier Transform)을 이용하여 주파수 영역으로 변환하였으며, 스펙트럼 신호의 피크검출(Peak detection)을 통하여 주파수 영역에 따른 최대 피크의 크기를 검출 하였

다. 최대 피크의 크기는 0~100 Hz, 100~250 Hz, 250~400 Hz, 400~500 Hz의 4개 영역으로 구분하여 각 영역에서 최대 피크(PA, PB, PC, PD)를 검출하여 분석하였다. 또한 콤팩트 수확작업 시 칼날의 진동 신호는 주행에 따른 진동 및 외부 환경에 의하여 일정한 최대 피크를 가지기 어려우나 주파수 영역의 진동 패턴은 유사하게 나타나므로, 0~100 Hz 영역의 피크(PA)를 기준으로 다른 영역의 피크비(PB/PA, PC/PA, PD/PA)를 산출하여 분석에 함께 이용하였다.

수집된 로드셀과 가속도 센서의 신호는 각각의 신호처리 과정을 거친 후, 작업조건과 칼날부의 상태에 따른 부하와 진동 신호를 인자로 하는 다중비교분석을 수행하였으며, SNK (Student Newman Keuls) 방법을 이용하여 칼날부의 상태를 비교·분석하였다. 통계분석 시 유의수준은 1%로 하였으며, 통계분석을 위한 프로그램은 SAS(9.1, SAS Institute, USA)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 칼날 구동축의 부하 측정

칼날부의 상태에 따른 로드셀에 작용하는 부하는 표 3과 같이 공회전 시 342 N, 수확작업 시 1,211 N으로 나타났으며, 수확작업 시 칼날의 구동축에 큰 부하가 작용되고 있음을 알 수 있다. 파손칼날의 평균 부하는 칼날 구동 시 발생하는 마찰의 감소로 공회전 시와 수확작업 시 각각 217 N, 828 N으로 가장 작게 나타났으며, 칼날 구동축의 마모에 따른 공차 증가로 인하여 마모 구동축의 평균 부하는 각각 425 N, 1,577 N으로 가장 큰 부하가 작용하는 것을 보여주고 있다. 정상칼날과 이격칼날의 부하변동은 공회전 시에는 각각 418 N, 308 N로 정상칼날이 이격칼날 보다 작게 나타났으나, 수확작업 시에는 각각 1,179, 1,260 N으로 유사한 부하 변동을 보여주고 있다.

표 4는 로드셀의 부하 신호를 이용하여 SNK 방법으로 다중비교분석을 수행한 결과를 보여주고 있다. 공회전 시와 수확작업 시의 부하 차이는 크게 나타나 작업조건을 구분할 수

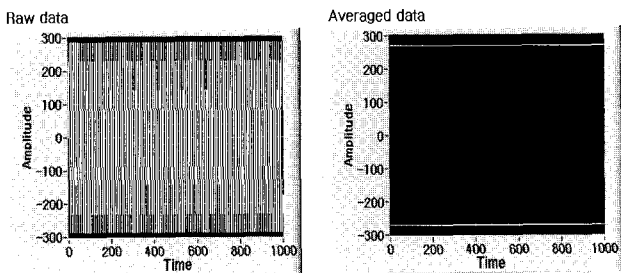


Fig. 4 Processing of loadcell signal.

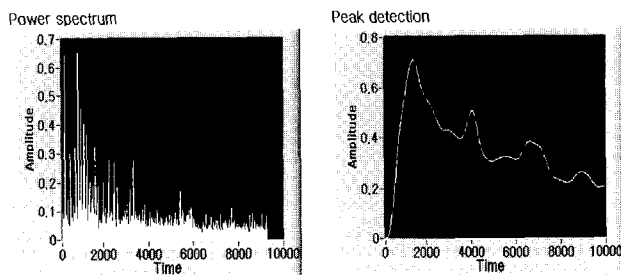


Fig. 5 Processing of accelerometer signal.

Table 3 Loads for cutter conditions and connector pin

(Unit: N)

Conditions	Operation					
	None			Cutting		
	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.
Normal cutter	420	416	418	1,196	1,161	1,179
Loosened cutter	339	277	308	1,268	1,252	1,260
Broken cutter	246	187	217	940	715	828
Worn-out connector pin	465	410	425	1,792	1,100	1,577
Average			342			1,211

있었다. 칼날부 상태의 판별은 부하신호를 이용하여 파손칼날과 마모 구동축의 구분이 가능한 것으로 나타났으나, 정상칼날과 이격칼날은 부하의 크기가 유사하게 나타나 부하 신호만으로는 판별이 어려운 것으로 판단된다.

나. 칼날의 진동 신호 분석

칼날부의 상태에 따른 스펙트럼의 피크를 검출한 결과는 그림 6과 같다. 수확작업 시 주파수 스펙트럼의 값은 벼의 절삭 작업에 따른 다양한 진동 주파수의 증가로 전체적인 주파수 영역에서 상대적으로 낮은 피크를 보이고 있다. 칼날의 상태에 따른 최대 피크는 대부분 0~100 Hz 영역에서 나타났으며, 마모 구동축은 250~400 Hz 영역에서 최대 피크를 보여주고 있다. 100 Hz 영역의 피크(PA)는 작업조건과 칼날부의 상태에 상관없이 검출되어 칼날의 왕복운동에 따른 공진 주파수임을 알 수 있다. 공회전 시 공진 주파수를 제외한 정상칼날의 피크는 100~250 Hz, 250~400 Hz와 400~500 Hz 영역에서 나타났으며, 이격칼날은 400~500 Hz 영역에서, 파손칼날은 250~400 Hz 영역에서, 마모 구동축은 250~400 Hz, 400~500 Hz 영역에서 피크를 보이고 있다. 수확작업 시 공진 주파수를 제외한 정상칼날의 피크는 250~400 Hz 영역에서 나타났으며, 이격칼날은 400~500 Hz 영역에서, 파손칼날은 100~250 Hz와 400~500 Hz 영역에서, 마모 구동축은 250~400 Hz와 400~500 Hz 영역에서 피크를 보여 벼의 절삭 및 외부 환경 등에 따른 외부 진동의 발생으로 공회전 시의 주파수 범위와 다른 형태를 보이고 있다.

표 5는 0~100 Hz, 100~250 Hz, 250~400 Hz, 400~500 Hz 영역에서의 피크 PA, PB, PC, PD를 변수로 설정하여 SNK 다중비교분석을 수행한 결과를 보여주고 있다. 공진 주파수 영역의 피크(PA)를 이용하면 작업조건의 판별이 어려우나 다른 영역의 피크인 PB, PC, PD를 이용하면 작업조건의 구분이 가능한 것으로 나타났다. 칼날부 상태의 판별은 각 영역 피크만을 이용하여 구분하기 어려운 것으로 나타났으나, 250~400 Hz 영역의 피크(PC)를 이용하면 정상칼날과 다른 칼날의 상태를 구분할 수 있으며 400~500 Hz 영역의 피크(PD)를 이용하면 파손칼날을 제외한 정상칼날, 이격칼날, 마모 구동축의 판별이 가능한 것으로 나타났다.

진동 신호를 4개의 영역으로 분류한 각 영역의 피크값을 이용하여 칼날의 상태 및 마모 구동축을 정확히 판별하기는 어려운 것으로 나타나, 공진 주파수 영역인 0~100 Hz의 피크를 기준으로 각 영역의 피크비(PB/PA, PC/PA, PD/PA)를 이용하여 분석하였다. 표 6은 피크비를 이용하여 SNK 다중비교분석을 수행한 결과를 보여주고 있다. 공회전과 수확작업의 판별은 250~400 Hz 영역의 피크비(PC/PA)를 이용하면 가장 우수한 것으로 나타났다. 칼날 상태의 판별은 400~500 Hz 영역의 피크비(PD/PA)를 이용하면 고장요인이 되는 이격칼날, 파손칼날, 마모 구동축의 분류가 용이한 것으로 나타났다.

콤바인의 수확작업과 수확을 하지 않는 공회전 시의 판별은 구동축의 부하 신호를 이용하여 판별이 가능하였다. 정상칼날과 고장난 칼날의 상태는 250~400 Hz 영역의 피크값(PC)을 이용하여 구분할 수 있었으며, 고장이 발생된 이격칼

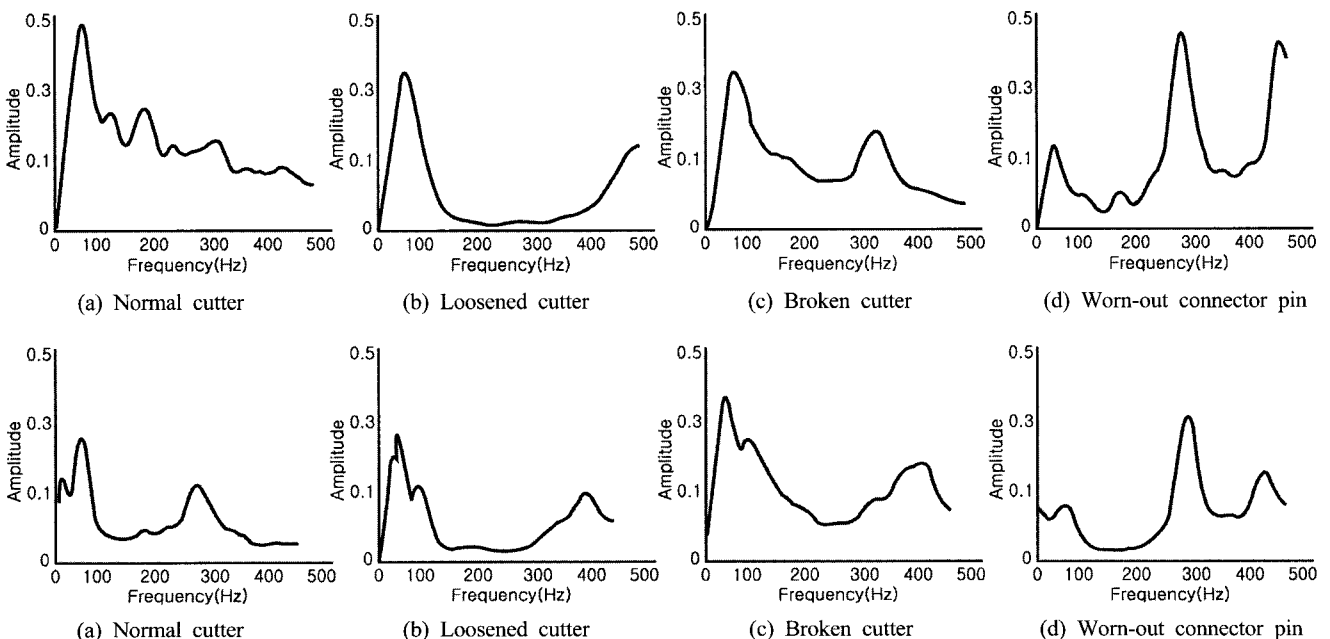


Fig. 6 Vibration signals by cutter conditions (top: idle operation, bottom: cutting operation).

Table 5 SNK classification by using peak values of frequency ranges

Variable	Operation	Mean	N	SNK grouping	Conditions	Mean	N	SNK grouping
PA (0~100 Hz)	None	0.395	28	A	Normal	0.209	14	B C
					Loosened	0.659	14	A
	Cutting	0.289	28	A	Broken	0.356	14	B
					Worn-out	0.146	14	A
PB (100~250 Hz)	None	0.264	28	A	Normal	0.099	14	B
					Loosened	0.434	14	A
	Cutting	0.156	28	B	Broken	0.228	14	B
					Worn-out	0.078	14	B
PC (250~400 Hz)	None	0.406	28	A	Normal	0.111	14	B
					Loosened	0.333	14	A
	Cutting	0.147	28	B	Broken	0.289	14	A
					Worn-out	0.373	14	A
PD (400~500 Hz)	None	0.270	28	A	Normal	0.049	14	C
					Loosened	0.468	14	A
	Cutting	0.170	28	B	Broken	0.117	14	B C
					Worn-out	0.246	14	B

Table 6 SNK classification by using ratios of peak values

Variable	Operation	Mean	N	SNK grouping	Conditions	Mean	N	SNK grouping
BA (PB / PA)	None	0.794	28	A	Normal	0.592	14	B
					Loosened	0.674	14	B A
	Cutting	0.650	28	A	Broken	1.012	14	A
					Worn-out	0.610	14	B
CA (PC / PA)	None	1.651	28	A	Normal	0.604	14	B C
					Loosened	0.513	14	C
	Cutting	1.156	28	B	Broken	1.710	14	B A
					Worn-out	2.788	14	A
DA (PD / PA)	None	0.942	28	A	Normal	0.310	14	C D
					Loosened	0.741	14	B
	Cutting	0.749	28	B	Broken	0.325	14	C
					Worn-out	1.963	14	A

날, 파손칼날, 마모 구동축의 분류는 400~500 Hz 영역의 피크비(PD/PA)를 이용하여 판별할 수 있었다. 그러므로, 콤바인 구동축의 부하 신호와 진동신호를 이용하여 콤바인 고장 진단을 위한 작업조건 및 칼날부의 상태를 판단할 수 있었다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 칼날부의 상태를 진단하기 위하여 콤바인 작업 시 칼날의 이격 및 파손과 칼날 구동축의 마모에 따라 발생하는 부하와 진동을 측정하고 유의수준을 1%에서 다중비교분석을 수행하여 칼날부의 상태를 판별하였으며 주요결과를 요

약하면 다음과 같다.

- (1) 칼날부 상태에 따른 칼날의 부하를 측정한 결과, 평균 부하는 공회전 시 342 N, 수확작업 시 1,221 N이 작용하였다. 정상칼날과 이격칼날은 유사한 범위의 부하를 보여 주었고, 파손칼날의 부하는 칼날 구동 시 발생하는 마찰의 감소로 가장 적게 나타났으며, 마모 구동축은 칼날 구동축의 마모로 인한 공차 증가로 가장 큰 부하가 작용하였다.
- (2) 칼날부의 부하를 이용하여 작업조건과 칼날부의 상태를 판별한 결과, 공회전 시와 수확작업시의 구분은 가

능하였으나, 칼날부 상태에 대한 판별은 정상칼날과 이격칼날의 부하가 유사하게 나타나 파손칼날과 마모 구동축의 분류만 가능하였다.

- (3) 0~100 Hz, 100~250 Hz, 250~400 Hz, 400~500 Hz 영역에서의 피크 PA, PB, PC, PD를 변수로 하여 작업조건과 칼날부 상태를 다중비교분석한 결과, PB, PC, PD를 이용하여 작업조건이 구분 가능하였다. 칼날부 상태의 판별은 PC를 이용하면 정상칼날과 다른 칼날의 상태를 구분할 수 있었으며, PD를 이용하면 정상칼날, 이격칼날, 마모 구동축의 구분만 가능하였다. 각 영역의 피크만으로는 정확한 칼날 상태의 진단이 어려워 공진 주파수 영역인 0~100 Hz의 피크를 기준으로 각 영역의 피크비(PB/PA, PC/PA, PD/PA)를 이용하여 분석하였다. 공회전과 수확작업의 판별은 250~400 Hz 영역의 피크비(PC/PA)가 가장 우수하였으며, 400~500 Hz 영역의 피크비(PD/PA)를 이용하면 이격칼날, 파손칼날, 마모 구동축의 분류가 가능하였다.
- (4) 구동축의 부하 신호와 진동신호를 이용하여 콤바인 예취부 고장진단을 위한 작업조건 및 칼날부의 상태를 판단할 수 있었다. 콤바인 수확작업과 공회전 시의 구분은 구동축의 부하 신호를 이용하면 가능하였으며, 정상칼날과 고장난 칼날은 250~400 Hz 영역의 피크값(PC)을 이용하여 구분할 수 있었다. 고장난 칼날의 구분은 400~500 Hz 영역의 피크비(PD/PA)로 이격칼날, 파손칼날, 마모 구동축의 분류가 가능하다.

참고 문헌

1. Jeon, J. K., K. W. Kim, J. W. Yun, H. K. Cho, I. B. Lee and H. S. Seong. 2002. Analysis on the characteristics of combine cutters heated by a high frequency induction heater through field test. Proceeding of the Korean Society for Agricultural Machinery Conference 7(2):27-32. (in Korean)
2. Park, Y. J., Y. S. Lee and K. U. Kim. 2003. Analysis of Failure characteristics and estimated replacement demands of tractor driveline parts. J. of the Korean Society of Agriculture Machinery 28(6):537-544. (in Korean)
3. Schoen, R. R. and T. G. Habetle. 1995. Effect of time varying loads on rotor fault detection in induction machine. IEEE Trans. IA 31(4):900-906.
4. 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)
5. 남진숙. 2003. 진동신호를 이용한 회전기계의 고장진단. 군산대학교 석사학위 논문.
6. 박진우. 2002. 콤바인 예취날의 피로수명 평가. 창원대학교 석사학위 논문.
7. 최우영. 2004. 콤바인 예취날의 구조가 벧짚절단저항에 미치는 영향. 경북대학교 석사학위 논문.
8. 한국소비자보호원. 2002. 농기계 사후실태조사.
9. LG 전선. 1993. 콤바인 주요기능부 진단 및 조치.