

# 콤바인 예취부의 진동 및 부하 신호 분석

## Analysis of Vibration and Loading Signals of Combine Header

최창현\* 김용주\* 김종혁\* 남은혜\*  
C.H.Choi\* Y.J.Kim\* J.H.Kim\* E.H.Nam\*

### 1. 서론

산업의 급속한 발전으로 기계 장비와 자동화 기술은 빠르게 진보하고 있으며, 이러한 추세는 가속화될 전망이다. 이와 같이 빠르게 진보하는 첨단 산업으로 기계 장비는 다양한 분야에서 중요한 역할을 수행하고 있기 때문에 고장 발생 시 생산성 감소로 인한 경제력 손실을 최소화하기 위해서는 고장 상태를 정확하게 진단 할 수 있는 시스템 개발이 필요한 실정이다<sup>6)7)</sup>. 특히 농작업기는 주로 포장에서 이루어지며 날씨 및 주변 환경에 민감하여 고장상황에 대한 예측이 어렵고 고장 빈도가 높아 농작업기의 상태를 사전에 감지하여 부품 교환 및 정비를 받을 수 있는 여건이 부족한 상황이다. 또한 농기계 중에서 콤바인은 품질 보증 기간 내 고장 발생률이 50% 이상이며, 수확 시벼의 전처리, 절단, 이송 및 반송 작업을 하는 예취부의 칼날과 칼날 구동부의 고장 빈도가 가장 높게 조사되어 이를 사전에 감지할 수 있는 시스템이 필요한 실정이다<sup>4)</sup>.

그러므로 본 연구의 목적은 콤바인 예취부의 고장진단 시스템 개발을 위한 기초연구로서 예취부 모형을 제작하고 칼날부의 진동과 하중을 감지할 수 있는 센서를 선정하여 칼날의 상태에 따른 센서 신호의 특성을 분석하고 콤바인 예취부의 고장진단 가능성을 제시하는데 있다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 예취부 실험 모형

센서의 탈부착 및 칼날의 상태에 따른 센서 신호를 용이하게 측정하기 위하여 실제 콤바인 예취부를 기본으로 그림 1과 같이 실험모형을 제작하였다. 예취부 실험모형은 예취프레임과 동력전달장치, 칼날부로 구성되며 가속도센서와 로드셀을 장착하여 실제 콤바인 수확 작업과 동일한 신호를 측정하였다. 동력전달 장치는 3상유도전동기 인버터를 사용하여 모터의 회전수 제어가 가능하도록 구성 하였다. 모터의 회전수는 콤바인 주행 3단과 동일하도록 900rpm으로 설정하였으며, 모터 구동축과 미션 구동축 비율은 1:3으로 하여 칼날 구동부의 속도를 적정 예취작업 속도인 약 300rpm으로 유지 하였다.

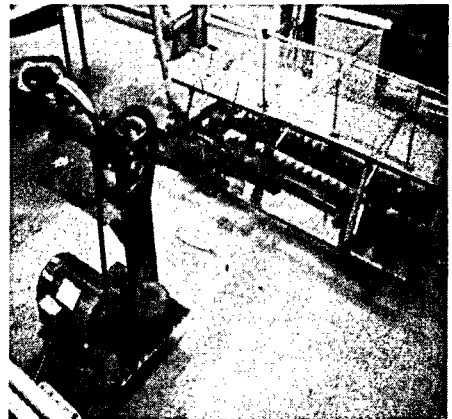


Fig. 2 Manufacture of experiment model

\* 성균관대학교 생명공학부 바이오메카트로닉스 전공

† 본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

## 나. 센서의 선정

칼날의 상태와 칼날 구동부의 마모 정도에 따른 이상 진동을 감지하기 위하여 그림 2(a)와 같이 1축 가속도 센서(Bruel&Korea, German)를 작물의 영향을 고려하여 별도의 케이스를 제작한 후, 예취 상날에 장착하고 수확 작업 시 진동변화를 감지하였다. 또한 칼날의 상태와 칼날 구동부의 마모에 따른 구동력의 변화를 감지하기 위하여 그림 2(b)와 같이 로드셀을 예취 구동부의 피트먼 암(Pitman arm)에 장착하였으며, 3조식 콤파인 수확량을 고려하여 허용용량을 500kgf로 하였다.

예취 칼날부 상태에 따른 예취부의 진동변화와 구동력의 변화를 측정하기 위하여 표 1과 같이 실험 조건을 정상 칼날, 이격 칼날, 파손 칼날과 정상 구동축 및 마모 축으로 구성하였다. 정상 칼날은 예취 작업을 거의 하지 않은 칼날로 정상적인 예취 작업이 가능하며, 이격 칼날은 오랜 수확 작업으로 칼날과 날 누르개의 마모로 인하여 5mm이상의 공차가 발생한 날이다. 또한 파손 칼날은 자갈 등의 외부 장애물에 인한 충격으로 칼날이 부러진 날을 의미하며, 예취부의 오랜 사용으로 예취부 구동축의 커넥터 로드와 핀 사이에 공차가 발생하는 마모축은 심하면 예취 칼날부 전체의 파손을 야기 시킨다.

## 다. 신호 분석

가속도 센서에 의해 측정된 최초 데이터를 푸리에(FFT : Fast Fourier Transform)변환을 이용하여 신호를 분석하였다. 진동 신호를 분석하는데 있어서 주어진 임의의 파형을 서로 다른 주파수를 가진 정현파들의 합으로 나타내는 푸리에 변환은 현재 주파수 분석에서 가장 널리 사용되고 있는 기법이며, 가장 효과적인 방법으로 알려져 있다<sup>15)</sup>. 또한 푸리에 변환 이외에 보간법을 이용하여 최초 얻어진 데이터를 재구성함으로써 진동 신호 분석을 용이 하게 하였다<sup>213)</sup>.

## 라. 계측 시스템의 구성

가속도 센서와 로드셀의 신호 측정과 작동부의 제어를 위한 자료수집 및 제어장치는 표 2와 같이 I/O 인터페이스(SCXI, National Instruments, USA)를 이용하였다. 로드셀의 신호는 동시에 8 채널의 입력 신호를 받아 처리 할 수 있고 별도의 증폭기가 장착 되어 있어 센서 신호의 증폭이 용이한 SCXI-1121로 측정하였다. 또한 SCXI-1530은 자체적으로 4mA의 전류 공급원을 가지고 있어 가속도 센서의 진동 신호를 수신 받아 처리하기에 적합하다.

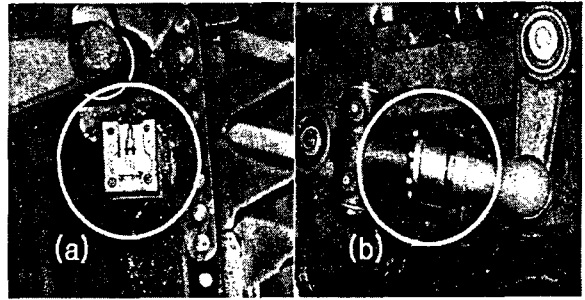


Fig. 3 Installation of sensors ((a)loadcell (b)accelerometer)

Table 1 State of knife type and connector pin

Type	Image
Normal cutter	
Interval cutter	
Broken cutter	
Normal connector pin	
Worn connector pin	

Table 2 Specifications of data acquisition system and PXI embedded module

	Module	Description
SCXI	SCXI-1121	-4 isolated input channels -4 isolated excitation channels
	SCXI-1530	-Accelerometer input modules -4mA current source, 24V compliance
PXI	PXI-8185	-1.2 GHz Celeron processor -Internal PXI trigger bus routing -Watchdog timer
	PXI-6040E	-NI-DAQ Measurement Services simplifies configuration and measurement. -Up to 64 analog input -Up to 32 digital I/O lines(TTL/CMOS)

SCXI에서 수집된 센서 정보를 보정 및 변환하기 위한 인터페이스로 임베디드 모듈인 PXI(National Instruments, USA)을 사용하였다. PXI 시스템은 진동 및 외부 환경에 영향이 적어 산업용으로 사용되고 있는 윈도우 기반의 임베디드 모듈로 자체적으로 PCI Bus를 사용하고 있어 센서 신호의 입력 및 처리가 빠른 장점이 있다. 특히 중앙처리장치는 1.2 GHz celeron processor로, trigger bus, 512 SDRAM이 내장되어 있으며, 시리얼 포트, UBS포트 등이 있어 외부와의 통신이 가능하다. 그러므로 SCXI를 통하여 입력된 로드셀과 가속도 센서의 신호는 그림 3과 같이 각각의 신호 변환을 거쳐 PXI 모듈에 입력되며, 신호 처리 과정을 통하여 칼날의 상태에 따른 진동 신호와 구동력의 변화를 측정하게 된다. 이때 신호의 수집 및 제어장치의 작동프로그램은 Labview(7.1, National Instrument, USA)를 이용하여 작성하였다<sup>8)9)</sup>.

### 3. 실험 방법

칼날부의 상태에 따른 칼날부의 진동 변화와 구동력의 변화를 구명하기 위하여 정상 칼날, 이격 칼날, 파손 칼날과 정상 구동축 및 마모 축에 대하여 실제 콤팩트 수확작업과 유사하도록 절삭 실험을 수행하였다. 실험은 정상 칼날을 예취부 실험 모형에 장착한 후, 벧단을 자르지 않는 무부하 실험과 절단하는 부하 실험을 각각 5번 반복하여 각각의 가속도 센서의 진동 신호와 로드셀에 걸리는 부하 신호를 측정하였다. 또한 이격 칼날, 파손 칼날과 정상 구동축 및 마모 축에 대하여 각각 동일한 방법으로 실험하였다. 예취부 실험모형을 이용한 절삭 작업은 지면이 평탄한 성균관대학교 농업기계사에 일정량의 실험용 쪼단을 칼날의 동일한 부분에 입력하여 절삭하였으며, 이때 벧단의 함수율은 30%로 측정되었다.

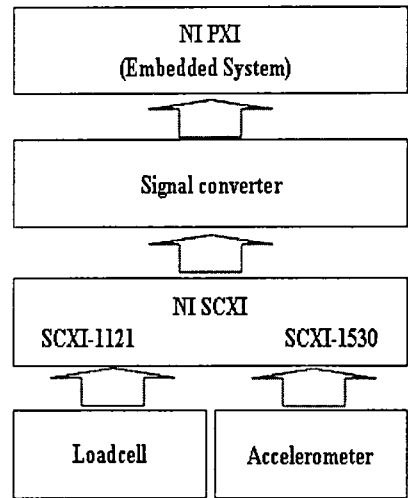


Fig. 3 Flowchart of interface module

## 4. 결과 및 고찰

### 가. 로드셀의 신호 분석

칼날부의 상태에 따른 로드셀에 걸리는 인장력과 압축력을 평균내어 평균부하를 측정한 결과 표 3과 같이 무부하 시 평균 힘의 크기는 이격날, 마모축, 정상날, 파손날 순서로 측정되었다. 또한 절삭 작업 시 평균 힘은 파손날, 정상날, 마모축, 이격날 순서로 측정되어 칼날부의 상태에 따라 그 형태를 구별하기 어려운 것으로 판단되었으며, 무부하 시 평균 힘은 약 199N, 작물 절삭 시 평균힘은 약 522N의 부하가 걸리는 것으로 측정되었다.

Table 3 Load for status of knife type and connector pin

	Avg.	
	unload(N)	load(N)
Normal cutter	204.6	535.5
Interval cutter	178.8	578.0
Broken cutter	218.5	415.3
Wearied connector pin	193.2	559.5
Avg.	198.78	522.08

### 나. 진동 신호 분석

무부하 상태에서의 각각의 상태에 대한 진동 분석 결과는 그림 4와 같다. 정상 칼날은 50Hz, 120Hz, 250Hz, 400Hz 영역 부근에서 주파수 피크가 집중되어 나타났다. 이격 칼날은 칼날과 날누르게 사이에 공차로 인하여 100Hz 이하 영역과 450Hz 영역에서 주파수 피크가 검출되었다. 파손 칼날은 100Hz 이하 영역과 350Hz 영역 부근에서 주파수 피크가 나타났는데, 이것은 칼날부의 질량 변화에 따른 마찰이 감소되었기 때문으로 판단된다. 또한 마모축의 주파수 특성은 50Hz, 300Hz, 500Hz 영역 부근에서 발생했으며, 커넥터 핀의 마모로 칼날 구동부의 운동 반경이 증가하여 날누르게와 구동 연결부가 충돌하였기 때문이다.

절삭 작업 시 주파수 분석 결과 그림 5와 같이 무부하 상태에서의 주파수 특성과 유사한 경향을 보여주고 있다. 이것은 절삭을 위한 벧단의 양이 예취부 칼날의 절삭력에 영향을 미칠 수 있는 양에 비해 적기 때문에 전체 주파수 결과에는 크게 영향을 미치지 못했기 때문으로 판단된다.

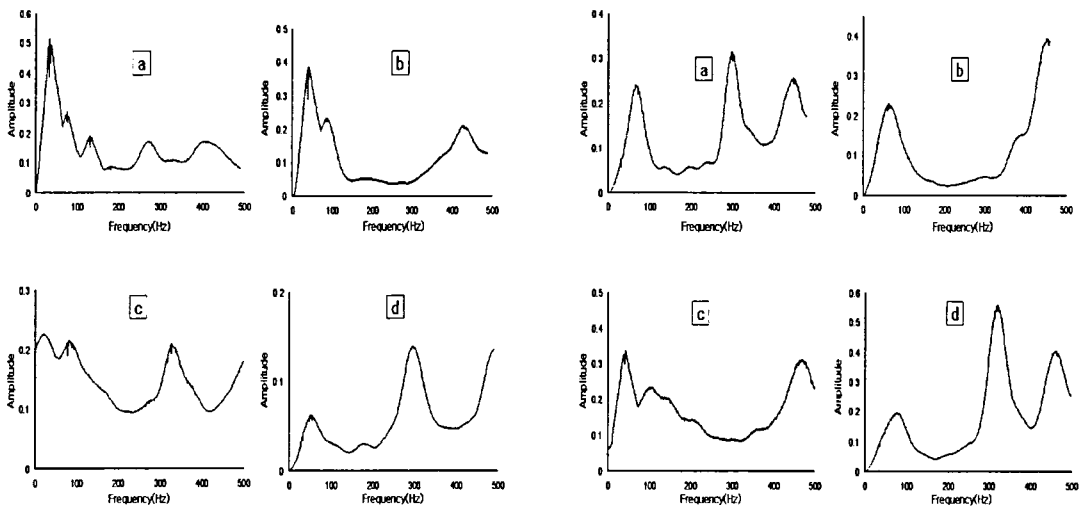


Fig. 4 Results of FFT analysis of combine cutter bar vibration (left : unload, right : load)  
((a)normal (b)interval (c)broken (d)normal cutter with wearied-pin)

## 5. 요약 및 결론

본 연구는 콤바인 예취부의 고장진단 시스템 개발을 위한 기초연구로서 예취부 모형을 제작하고 가속도 센서와 로드셀을 장착하여 진동 및 부하 신호 분석을 통한 콤바인 예취부의 고장진단 가능성을 제시하기 위하여 수행되었다. 칼날의 종류에 따른 센서의 탈부착과 센서 신호의 정확한 측정을 위하여 예취부 모형을 제작하였으며, 칼날부의 구동 속도는 콤바인의 작업 속도인 표준/주행 3단과 동일한 속도로 고정하여 실험을 하였다. 정상 칼날, 이격 칼날, 파손 칼날과 정상 구동축 및 마모 축에 대하여 무부하 시와 절삭 작업 시 가속도 센서와 로드셀을 이용하여 진동 신호와 부하 신호를 I/O 인터페이스 모듈인 SCXI 와 PXI를 통해 획득하였다. 또한 획득 된 데이터는 Labview 프로그램을 이용하여 분석에 용이한 결과 값으로 변화하였고 진동 신호의 경우 푸리에 변환을 사용하여 각각의 칼날에 대해 특성을 구명하였다.

로드셀 신호 분석 결과 무부하 시와 절삭 시 각각의 칼날에 인가된 부하의 크기 차이가 작아 각 칼날을 구분하는데 다소 무리가 있었으며, 진동신호 분석 결과 무부하 시에는 파손 칼날과 마모축의 주파수 패턴 유사하게 측정되었으나, 다른 상태에 대해서는 고유한 주파수 패턴을 보여주고 있다. 또한 절삭 시 정상 칼날과 마모축의 패턴이 유사하게 나타나 진동 분석결과로 각 칼날을 구분하는 데는 다소 무리가 있었으나 칼날부 모형의 개선과 다양한 센서를 통한 다른 알고리즘들을 적용한다면 각각의 상태에 따른 고유한 주파수 특성의 검출이 가능할 것으로 판단된다.

## 6. 참고 문헌

1. 박순재, 이신영, 2003, 작동음의 분석을 이용한 펌프의 고장진단, 한국공작기계학회논문집 Vol.12 No.6.
2. 배범원, 최연선, 2000, 진동신호를 이용한 기어체인의 고장진단, 대한기계학회 논문집 A 제24권 7호, pp. 1731~1739.
3. 신준, 이태연, 2003, 지능진단기법에 의한 원심펌프의 고장진단에 관한 연구, 한국공작기계학회논문집 Vol.12 No4.
4. 소비자 보호원, 2002, 농기계 사후 실태 조사.
5. 최중섭, 2001, 스펙트럼 해석에 의한 자탈형 콤바인의 진동 특성 고찰, 한국농업기계학회지 제 26권 제1호 pp. 11~20
6. Asakura, T., T. Kobayashi, B. Xu and S. Hayashi, 2000, Fault Diagnosis System for Machines Using Neural Networks. JSME International journal, Series C, Vol. 43 pp.364~371.
7. Huang Xiao-Guang, etc, 2003, Gas turbine fault diagnosis based on the BP algorithm.
8. Lin. J., and L. Qu, 2000, Feature Extraction Based on Morlet Wavelet and Its Application for Mechanical Fault Diagnosis, Journal of Sound and Vibration, Vol. 234, pp. 135~148.
9. Yi, J. and K. U. Kim. 2001, Investigation of transmission characteristics of tractor seat vibration using vibration path analysis method. Journal of the KSAM 26(3) 237~244.