

# 콤바인 예취부의 고장진단을 위한 계측 시스템 개발

## Development of Measurement System for Combine Header Diagnoses

김종혁*	최창현*	김용주*	남은혜*	문정환*
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
J. H. Kim	C. H. Choi	Y. J. Kim	E. H. Nam	J. H. Mun

### 1. 서론

현재 산업은 급속도로 발전하여 왔으며 그에 따른 기계 장비와 자동화 기술은 더욱 빠르게 발전하며, 이러한 추세는 앞으로 더욱 가속화될 전망이다. 이와 같이 빠르게 진보하는 첨단 산업으로 기계 장비는 과거에 비해 현장에서 다양한 부분에 중요한 역할을 수행하고 있기 때문에 고장 시 생산성 감소로 인한 경제적 손실이 발생되므로 고장 상태를 정확하게 진단 할 수 있는 시스템 개발이 중요해 지고 있다. 특히, 농작업기의 경우 대부분이 포장에서 이루어지며, 날씨 및 주변 환경에 민감하여 고장상황에 대한 예측이 어려울 뿐만 아니라 고장 빈도가 높음에도 불구하고, 콤바인의 상태를 사전에 감지하여 부품 교환 및 정비를 받을 수 있는 여건이 부족한 상황이다. 또한 농기계 중에서 콤바인은 품질 보증 기간 내 고장 발생률이 50%가 넘으며, 특히 수확 시 벼의 최초 전처리, 절단, 이송 및 반송 작업을 하는 예취부의 고장 빈도가 가장 높게 조사되었다.(소비자 보호원, 2002) 뿐만 아니라, 콤바인의 경우 수확 시 작업 기간이 한정되어 있기 때문에 콤바인의 상태를 실시간 감지하여 고장을 사전에 진단하는 시스템이 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구의 목적은 콤바인 예취부의 이상 징후 발생 요인 및 고장 특성을 구명하고 각 부위의 특성에 맞는 고장 감지를 위한 센서를 선정하여 포장에서의 수확작업 시 선정된 센서들의 사용 가능성을 판단하고 콤바인의 실시간 고장 진단 시스템 개발을 위한 기초 자료를 제시하는데 있다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 콤바인 예취부의 고장 특성

콤바인 예취부는 크게 작업 시 벼를 일으켜 세우고 자세를 정렬 시키는 전처리부와 이송된 벼를 절삭하는 절단부가 있으며, 절삭된 작물을 탈곡부로 이송시키는 반송 및 이송부로 구성되어 있다. 표 1은 소비자 보호원 조사를 기준으로 예취부의 작업 특성에 따라 가장 빈번하게 발생하는 고장 부위 및 고장 시 발생하는 이상요인을 분석함으로써 고장 진단 항목을 나타내고 있다.

---

\* : 성균관대학교 생명공학부 바이오메카트로닉스 전공

† : 본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

Table 1 Major troubles of combine header.

예취부 구성	요인	고장 특성	진단 항목
전처리부	분초간의 휘어짐 인기러그의 파손	벼가 흐트러진 상태로 이송 탈곡부 입구가 막힘	인기러그의 파손 상태
절단부	칼날의 마모/이격 칼날의 부러짐	작물의 절삭 자세 및 상태 불량 예취부 및 탈곡부가 막힘	칼날의 부하와 진동
반송, 입력부	구동벨트의 장력 반송체인 장력	동력의 불안정 전달로 인한 예 취상태 불량	엔진, 미션, 칼날 구동부의 회전 속도
예취부 전체	부적절한 예취높이	분초간 및 예취부 전면부 손상 예취칼날이 휘어지거나 부러짐	포장과 예취부의 거리

콤바인 예취부 전처리부의 고장은 작업 시 포장내의 장애물이나 부적절한 예취부 높이 또는 사용자의 운전 미숙으로 인해 발생하며, 분초간의 휨이나 인기러그의 파손을 초래하게 되고 이로 인해 벼의 이송 자세가 불량하게 되어 예취부 및 탈곡부 입구가 막히는 현상이 나타나게 된다. 절단부는 작업 시 포장 내에 이물질이나 장애물로 인한 칼날의 파손, 또는 오랜 작업으로 인한 칼날의 마모 및 이격으로 작물을 완전히 자르지 못하고 반송부로 이동하게 되며 이 때 완전히 절삭되지 않은 벼로 인하여 예취부 및 탈곡부가 막히는 현상이 발생된다. 반송 및 입력부는 동력을 벨트나 체인으로 전달하기 때문에 오랜 작업으로 인하여 벨트나 체인이 이완되어 벼의 원활한 이송에 필요한 동력이 전달되지 못하여 탈곡부 입구가 막히는 현상이 나타나게 된다. 이러한 예취부의 막힘 현상은 단순히 벼의 정체에서 그치는 것이 아니라 각 예취부를 구성하는 축에 과부하를 걸리게 하여 체인의 이탈현상이나 예취부 축의 휘어짐을 발생시키고 더 나아가서는 예취부내의 구조물을 파손할 수 있기 때문에 예취부의 상태를 미리 진단하는 것이 중요하다.

#### 나. 고장진단 센서의 선정

콤바인 예취부의 고장진단을 위해 그림 1과 같이 인기러그의 파손상태를 감지할 수 있는 근접 센서와 칼날의 부하와 진동 측정을 위한 로드셀과 가속도 센서, 예취부 높이를 측정하기 위한 초음파 센서와 포텐쇼미터를 장착하였으며, 회전속도를 측정하기 위하여 엔코더, 포토 센서와 근접센서를 선정하였고 마지막으로 온도를 측정하기 위하여 서미스터를 선정하여 콤바인에 장착하였다.

인기러그의 파손 상태를 감지하기 위하여 러그의 회전 속도와 재질을 고려하여 비자성체 검출이 가능한 근접 센서(Model PR30-15DP, Autonics, Korea)를 선정 하였으며, 센서의 정확도를 고려하여 러그 하나에 대해 2개의 센서를 장착

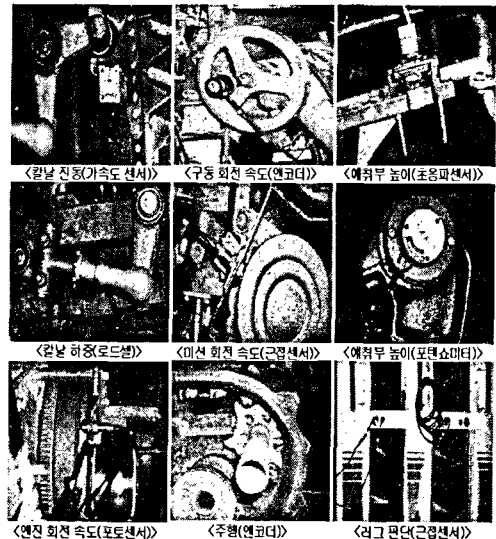


Fig. 3 Sensors used for combine header diagnoses

하였고, 오랜 작업으로 인해 파손 및 마모/이격 현상으로 칼날의 상태에 따라 작업 시 부하의 변화와 이상 진동이 발생하므로 칼날의 왕복 운동을 고려하여 인장력과 압축력을 동시에 측정할 수 있는 로드셀(Model Miniature Tension, 대흥, Korea)을 로커암 부분에 장착하였고, 진동을 측정할 수 있는 가속도 센서(4507B, B&K, Germany)를 작물의 영향과 진동에 대한 민감도를 고려하여 상날에 장착하였다. 반송 및 이송부의 동력 전달의 경우 각 축의 회전수를 측정하기 위해 엔코더(Model E40s, Autonics, Korea) 와 포토센서(Model BR-100DDT, Autonics, Korea)를 사용하였다. 특히 엔진과 미션의 경우 높은 회전수를 고려하여 포토 센서를 선정하였고 이물질에 의한 영향을 줄이기 위해 대상체와의 거리를 2mm로 하여 RPM을 측정을 하였다. 칼날 구동부는 낮은 회전수와 진동의 영향을 고려하여 주변 환경에 영향을 거의 받지 않는 엔코더를 사용하여 회전수를 측정하였으며, 주행부의 회전 속도를 측정하기 위하여 주행 구동축에 수확 작업 중 작물의 영향을 고려하여 엔코더를 장착하였다. 또한 예취부의 실시간 높이를 측정하도록 예취부 측면에는 초음파 센서(Model Massa 6500, Massa, USA)를 설치하여 실제 토양과의 높이를 검출할 수 있게 하였으며, 토양상태에 따라 오차를 보정하기 위하여, 예취부 측에 포텐쇼 미터를 설치하여 이동 각을 측정하였다. 유압 탱크내의 온도 변화를 측정하기 위해 재현성이 좋고 응답속도가 빠른 방수 처리된 서미스터(model 103JT, Thermistor, USA)를 사용하였다.

#### 다. 실험 방법

센서의 측정신호는 그림 2와 같이 I/O 인터페이스 모듈(Model SCXI, NI, USA)을 이용하여 변환되었으며, 변환된 신호들은 PXI-임베디드 시스템(Model PXI, NI, USA)을 이용하여 측정하였다. I/O 인터페이스 모듈은 최대 333kS/sec의 아날로그와 디지털 신호의 입·출력이 가능하며, 자체적으로 4Hz, 10Hz의 필터를 내장하고 있어 정확한 데이터를 측정할 수 있으며 PXI 시스템은 윈도우 기반의 임베디드 모듈로 PCI Bus를 사용하여 아날로그 및 디지털 신호의 처리가 빠른 장점이 있고 1.2 GHz Celeron Processor, Trigger bus, 512 SDRAM이 내장되어 있으며 시리얼 포트, USB 포트 등이 있어 외부와의 통신이 가능하다.

센서는 실험실에서 주어진 조건에 따라 각각 보정되었으며, 콤파인(Model KC-300, 국제, Korea)에 장착되었다. 고장진단을 위한 계측 시스템의 성능을 검증하기 위하여 길이 20m의 논 포장에서 수확작업을 수행하며 예취부에 장착된 센서의 신호를 측정하였으며, 정상상태에서 콤파인의 기준 값과 비교 하였다. 이때 콤파인의 주행속도는 표준 3단으로 고정하였으며, 수확 시 벼의 함수율은 40~50%로 나타났다.

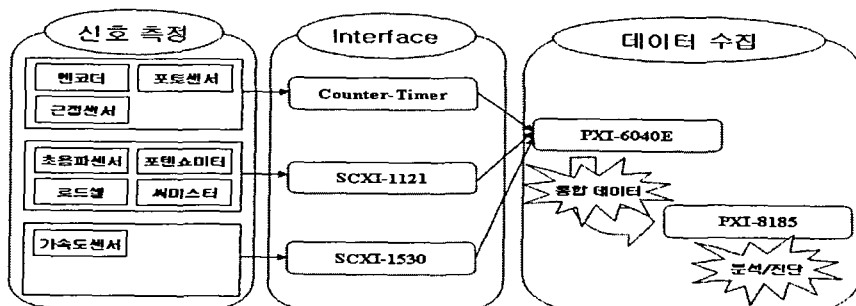


Fig. 4 Data-acquisition and embedded module of diagnoses system

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 신호 획득

포장에서 수확작업 시 정상적으로 작동되는 콤바인의 기준값과 센서의 측정결과는 표 2와 같다. 엔진, 미션, 칼날 구동부 회전수의 평균값은 각각 2,780rpm, 980rpm, 326rpm으로 측정되었으며, 주행속도 및 리그수의 평균값은 각각 0.8m/s, 10개로 측정되어 센서들이 콤바인의 작동상태 감지가 가능함을 보여주고 있다.

Table 2 Standard values and the measurement values during combine harvesting.

항목	표준	실험 데이터			
		Max.	Min.	Avg.	Std.
엔진 회전수(rpm)	2,800	2,900	2,841	2,780	50.1
미션 회전수(rpm)	1000	1050	996	980	44.6
칼날 구동부 회전수(rpm)	330	345	328	326	14.4
주행 속도(m/s)	0.8	0.9	1	0.8	0.1
리그의 개수(개)	10	10	10	10	0.5

그림 3은 콤바인의 주행 시 초음파 센서를 이용하여 예취부와 포장과의 거리를 측정된 것으로 포장의 상태에 따라 예취부와의 높이가 다르게 나타나고 있다. 그림 4는 주행 시 포텐쇼미터에 의한 예취부 축의 이동 각 변화를 예취부 높이로 환산하여 측정된 결과로 향후 예취부 보호를 위하여 두 가지 센서의 측정값을 상호 보완하여 사용하는 것이 필요함을 알 수 있다.

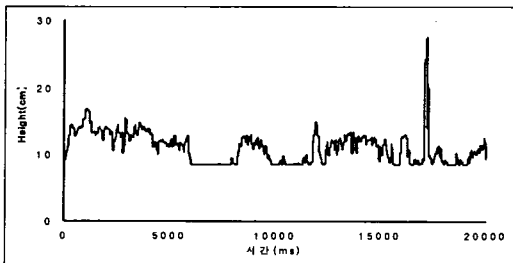


Fig. 3 Height of header by ultrasonic sensor

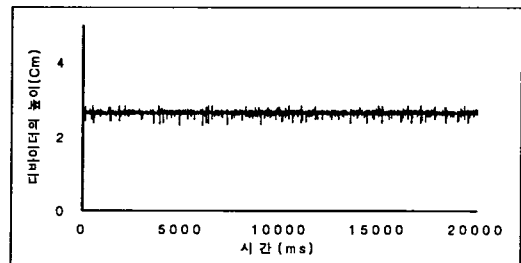


Fig. 4 Height of header by potentiometer

그림 5는 로드셀을 이용하여 콤바인 주행 시와 수확작업 시 칼날축의 부하를 측정된 결과이다. 주행 중 로드셀의 출력 신호 값은 약  $-0.02 \sim +0.02\text{mV}$ 로 전체 힘의 크기가 약 200N으로 측정되었고, 수확작업 중 출력 신호의 평균값은 대략  $-0.2 \sim +0.3\text{mV}$ 로 1.3kN이 측정되어 수확작업 중 큰 하중이 칼날 축에 작용되고 있음을 알 수 있다.

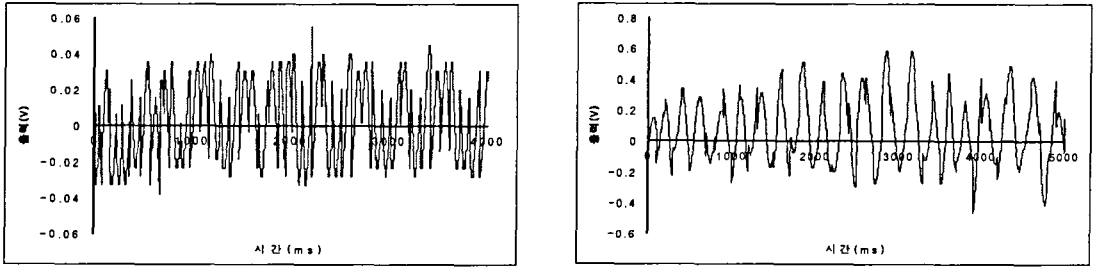


Fig. 6 Load of pitman-arm using loadcell(left : unload, right : load)

그림 6은 가속도 센서를 이용하여 콤바인 주행 시와 수확작업 시의 진동 신호를 측정하고, FFT 변환 및 필터 처리를 한 결과이다. 진동신호는 주행 중 무부하 상태에서는 50Hz, 200Hz, 300Hz와 400Hz 부근에서 피크 값이 측정되었고, 수확작업 중에는 50Hz와 300Hz 부근에서 주파수 피크 값이 측정되었다.

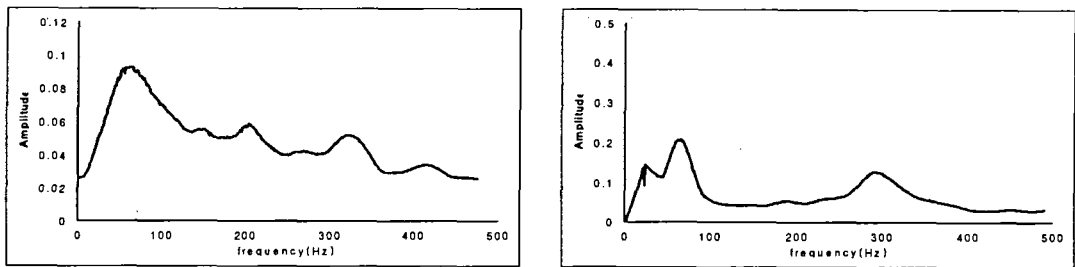


Fig. 7 Results of FFT analysis of combine knife vibration.(left : unload, right : load)

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 콤바인의 실시간 고장 진단 시스템 개발을 위한 기초 연구로서 콤바인 예취부의 고장 부위와 고장 요인을 구명하고 각 고장 상태를 감지할 수 있는 센서를 선정하여 콤바인에 장착하고 수확작업 시 정상적으로 작동되는 콤바인의 기준값과 센서에서 측정된 값을 비교·분석하였다.

엔진, 미션, 칼날부의 회전속도 및 콤바인의 주행 속도는 실제 기준 값과 유사하게 측정되었다. 예취부의 높이를 일정하게 유지하기 위하여서는 초음파 센서와 포텐쇼미터의 두 가지 신호를 동시에 처리하는 알고리즘의 개발이 필요하다. 부하 및 진동 신호는 독립적으로 고장 진단에 직접 적용하기에는 어려우나 두 신호의 상관관계를 이용하면 칼날의 고장 진단이 가능할 것으로 예상된다.

## 5. 참고 문헌

1. LG전선. 1993년. 콤파인 주요기능부 진단 및 조치.
2. 농촌진흥청. 2002년. 콤파인 부품 수리 수요 실태 조사.
3. 신준, 이태연. 2003. 지능진단기법에 의한 원심펌프의 고장진단에 관한 연구, 한국공작기계학회논문집 12(4):29-35.
4. 김상철. 2001. 로드셀을 이용한 고속 감자 증량계량법. 제주대학교 첨단기술연구소 논문집 12(2):9-16.
5. 이홍주, 김홍윤, 홍중호, 이성범. 1995. 콤파인 예취장치의 절단특성에 관한 연구(II). 한국농업기계학회지 20(1):13~21.
6. Lin, J., and L. Qu. 2000. Feature Extraction Based on Morlet Wavelet and Its Application for Mechanical Fault Diagnosis. *Journal of Sound and Vibration* 234:135~148.