

최 중
연구보고서

콤바인 예취부의 실시간 고장진단 시스템 개발

Development of Real-Time Diagnosis System

for the Combine Header

연구기관

성균관대학교

농림부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “콤바인 예취부의 실시간 고장진단 시스템 개발에 관한 연구”
과제의
최종보고서로 제출합니다.

2007 년 05 월 23 일

주관연구기관명 : 성균관대학교

총괄연구책임자 : 문 정 환

세부연구책임자 : 최 창 현

연 구 원 : 김 용 주

연 구 원 : 김 종 혁

연 구 원 : 문 용 균

연 구 원 : 송 유 환

연 구 원 : 김 효 신

연 구 원 : 오 승 일

연 구 원 : 김 윤 희

연 구 원 : 임 용 훈

연 구 원 : 이 동 빈

요 약 문

I. 제 목

콤바인 예취부의 실시간 고장진단 시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

콤바인은 연평균 3.1 회 수리를 받아 농업 기계 중 고장이 가장 많은 기종이며(농업공학연구소, 2005), 일시적인 고장으로 적기 영농을 추진하기 어려워 농업 기계의 사후 관리가 강조되고 있다. 하지만 국내의 사후 관리 체계는 아직도 고장 신고, 대리점 재고 파악, 방문 수리 순서의 근대적인 관리 체계로 운영되고 있으며, 이 조차도 농업인의 전문 지식 부족, 보관 관리 미숙, 고장 원인 파악의 어려움 및 부품 재고 부족으로 제대로 운영되지 못하는 실정이다. 따라서 콤바인의 고장 유무를 지속적으로 측정하고, 정보를 원격으로 전송하고 관리하여 농업인 및 수리원에게 제공할 수 있는 체계적인 사후 관리 시스템 개발의 필요성이 대두되고 있다.

따라서 본 연구에서는 콤바인의 고장 유무를 지속적으로 측정하고 정보를 원격 전송하여 농업기계의 고장유무 및 이력을 관리할 수 있는 원격 고장 진단 시스템을 개발하였다. 원격 고장 진단 시스템 개발을 위하여 수확 작업시 예취부의 예취높이, 러그의 파손, 칼날 및 칼날 구동축의 상태를 감지할 수 있는 계측 시스템을 개발하였으며, 개발된 콤바인 예취부의 고장 진단 시스템을 통해 상용화된 고장진단 시스템 개발의 가능성을 제시하고자 한다. 또한 임베디드 시스템, 서버 및 표준화된 네트워크 시스템을 이용하여 원격 전송 및 관리의 가능성을 판단하고 앞으로의 사후관리 시스템 개발의 기초자료를 제시하고자 한다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1차 년도 (2004)	센서장치와 임베디드 시스템 설계 및 제작	
	임베디드 시스템 설계 및 개발	센서 및 인터페이스의 개발
	임베디드 개발보드 선정 Embedded Operating system 및 Wireless NIC 세팅 임베디드 - 서버간 송·수신 모듈 개발	센서 구성 및 신호 처리부 모듈 개발 신호 변환을 위한 인터페이스 개발
2차 년도 (2005)	센서 시스템 개발, 데이터 취합 모듈 및 자료관리 모듈 개발	
	데이터 취합 모듈 및 자료관리 모듈 개발	센서 시스템의 성능 분석 및 측정 모듈 개발
	데이터 취합 모듈 개발. 자료관리 모듈 개발.	감지 모듈 개발 측정 모듈 제작 및 프로그램 개발
3차 년도 (2006)	시스템 통합 및 보완·분석	
	진단 및 시스템 제어 모듈 개발 및 시스템 통합	시스템 분석 및 보완
	진단 및 시스템 제어 모듈 개발. 시스템 통합.	시작품 실험 및 분석.
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> 전체 시스템간의 상호구동 성능 분석 </div>		

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

□ 고장 인지 센서 선정의 적절성

콤바인 고장진단을 위한 센서는 수확작업 시 발생하는 콤바인 진동에 대한 영향이 적어야 하며, 특히 센서의 크기가 작고 장착이 용이해야 한다. 또한 수확작업 시 작물의 영향이 최소화되는 지점에 센서를 장착해야 하므로 고장진단 센서의 선정에 있어서 선택의 폭이 극히 제한적이다. 본 연구에서는 측정 대상, 외부 환경의 영향, 크기 및 장착의 용이성을 고려하여 다양한 센서를 선정하여 콤바인의 고장진단에 적절히 사용하였으며, 장착된 다양한 고장진단 센서는 향후 외부 환경 따라 센서 선정이 제약적인 농업기계 분야에서 크게 활용이 가능할 것으로 판단된다.

□ 센서의 구성 및 신호 처리부 개발

고장진단 센서의 구성은 작물 및 설치 조건에 따라 접촉식 센서와 비접촉식 센서로 구성하여 각각의 측정항목에 맞게 적절히 구성하였다. 고장진단 센서의 장착을 위해서는 기존 콤바인 부품의 가공 등이 필요한데, 본 연구에서는 이러한 가공 및 부품의 재설계를 최소화하는 방법으로 고장진단 센서를 구성하였다. 엔진 및 미션의 회전속도 측정을 위해서 사용한 자성 광센서 및 근접센서는 엔진과 미션의 회전속도를 자성을 이용하여 간접적으로 측정하였으며, 이러한 측정 기술은 회전체의 속도 측정에 유용하게 쓰일 것으로 판단된다. 또한 칼날모듈을 제작하여 실제 수확작업 시 칼날부의 고장진단에 관한 예비실험을 하여 성공적인 고장진단 시스템 개발에 이바지 하였다.

□ 임베디드 시스템 개발 및 응용

본 연구에서 선정한 하드웨어는 하이버스 社 의 X-Hyper255B 개발 보드이다. X-Hyper255B 보드는 400MHz XScale 프로세서를 사용하였으며, 64MB의 램(RAM)을 사용하여 임베디드 운영체제를 설치, 운용할 수 있으며 이를 통해 기기의 효율적인 자원 사용이 가능하게 하였다. 또한 PCMCIA, CF, MMC 슬롯을 장착하여 McKinion 등(2004)이 운용한 무선랜 및 대용량 메모리의 설치가 가능하도록 설계되었다.

고장 진단 정보를 수집하기 위하여 COMFILE 社에서 개발된 Prome SD-202 모델을 사용하였다. Prome SD-202 모델은 2.4 GHz의 ISM 대역을 사용하며, RS-232C 프로토콜을 지원한다.

또한 실제 농지에서의 콤바인 신호를 게이트웨이로 무선으로 전송하기 위해서 BUFFALO 社에서 개발된 WLI-PCM-L11GP 모델을 사용하였으며 무선랜(Wireless LAN, Wireless 802.11b) 환경은 3Com 社의 액세스 포인트(Access Point)를 이용하여 구성하였다. 임베디드 시스템은 실시간 처리, 이동성, 기기의 독립성, 서비스의 안정성, 시스템의 확장성을 보장할 수 있는 장점을 가지고 있으므로, 다음과 같이 개발된 임베디드 시스템은 추후 농지에서의 전용 모니터링 기기, 제어기기, 서비스 제공 기기 등으로 응용될 것으로 기대된다. 또한 본 연구에서 개발한 임베디드 어플리케이션은 데이터의 취합, 처리, 전송이 가능하여 추후 연구될 여러 모니터링 시스템에 응용 가능할 것으로 예상된다. 특히 임베디드 시스템은 실시간 처리, 이동성, 기기의 독립성, 서비스의 안정성, 시스템의 확장성을 보장할 수 있는 장점을 가지고 있다.

□ 서버 송·수신 모듈 개발

서버의 입출력 수준을 향상시키기 위하여 개발된 송·수신 모듈은 자바 NIO를 이용하였다. 자바 NIO는 포인터 버퍼(Pointer Buffer), 채널(Channel), 선택터(Selector)가 내장되어 이를 이용하면 서버의 입출력 수준을 향상시킬 수 있다. 개발된 모듈은 클라이언트들의 모든 요청을 앞단의 큐(Queue)에 저장하고 큐를 모니터링하는 스레드에 이벤트를 보내도록 개발하였다. 큐를 모니터링하는 스레드는 큐에 저장된 요청의 종류를 구별하여 적절한 로직으로 보내주어 요청이 처리되게 하였다. 이를 이용하면 앞으로 농업 분야의 정보를 원격에서 취합, 관리하고 서비스 요청에 응답이 가능한 효율적인 상용화 서버를 개발 할 수 있을 것으로 기대된다.

□ 신호 분석 및 보정 모듈 개발

- 고장진단 센서의 신호 분석은 통계 분석 프로그램인 SAS의 기술통계로 센서 신호의 적합성에 대한 분석을 수행하여 연구개발 목표를 달성하였다. 특히 수확작업 시 선정된 고장진단 센서의 재현성을 분석하여 센서의 사용 가능성에 대하여 분석하였으며, 이러한 센서의 재현성에 관한 연구는 현장에서 자동 제어 및 계측에 사용되는 센서에 대한 분석 방법에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

□ 신호 변환을 위한 인터페이스 개발

- 신호 변환을 위한 IO 인터페이스는 고장진단 센서에 따라 측정이 용이하도록 구성하였고 고장진단 센서의 추가를 고려하여 여러 채널의 사용이 가능하도록 하여 연구개발 목표를 달성하였다. 다양한 센서에 대한 인터페이스의 통합 기술은 다양한 센서에 대한 실시간 계측 시스템에 유용하게 사용될 수 있으며, 특히 자동차 및 항공기 등의 복잡한 기계장비의 고장진단을 위한 센서 인터페이스에 사용이 가능할 것으로 판단된다.

□ 감지 및 측정 모듈 개발

- 센서 신호의 감지 및 측정은 PCI 버스로 고속의 데이터 전송이 가능한 임베디드 기반의 모듈을 사용하였으며, 제어 프로그램으로는 Labview 8.0으로 개발하였다. 본 연구에서 개발된 감지 및 측정 모듈은 TCP/IP와 UBS로 외부와의 데이터 송수신이 가능하도록 개발하여 연구개발 목표를 달성하였다. 또한 그래픽기반의 프로그램인 Labview를 이용하여 고장진단을 위한 유저인터페이스를 개발하여 콤팩트의 상태를 실시간 감지하도록 하였다. 본 연구에서 개발된 콤팩트 고장진단을 위한 임베디드 측정 모듈 및 고장진단을 위한 모니터링 프로그램은 현장에서 실시간 센서의 측정 및 진단 기술에 응용이 가능하며, 특히 농업기계 분야의 제어 및 측정 기술 발전을 가속화 시킬 것으로 판단된다.

□ 진단 및 제어 모듈 개발

콤팩트 고장진단 시스템은 여러 가지 센서 신호의 실시간 측정 및 분석이 필요하기 때문에 고속의 진단 및 제어 모듈이 필요하다. 본 연구에서는 영상처리 분야에서 주로 사용되는 FPGA(Field Programmable Gate Array)를 콤팩트의 고장진단 및 제어에 이용함으로써 연구과제의 완성도를 높였으며, 이러한 FPGA를 이용한 고속의 신호 분석 및 제어 기술은 자동차 및 항공기 등의 제어 분야에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

□ 측정 신호의 분석 기법 개발

- 본 연구에서는 콤팩트 고장진단을 위한 센서 신호의 진동으로 인한 오차를 줄이기 위하여 측정 신호의 예측이 가능한 칼만필터를 사용하였으며, 센서 신호를 분석하여 고장 진단 신호의 재현성 및 적합성을 분석하였다. 또한 고장 조건에 따른 각 센서 신호의 상관관계를 통계적 분석방법인 일원분산분석을 수행함으로써 연구개발의 완성도에 이바지 하였다. 가속도 센서의 주파수 신호와 로드셀의 부하 신호의 다중비교분석을 통한 고장진단 기술은 기존의 주파수 분석 방법에

서 한 단계 진보된 기술로 향후 진동 신호 분석에 용이하게 사용될 것으로 판단된다.

□ 활용에 관한 건의

콤바인은 연평균 3.1 회 수리를 받아 농업 기계 중 고장이 가장 많은 기종이며 (농업공학연구소, 2005), 일시적인 고장으로 적기 영농을 추진하기 어려워 농업 기계의 사후 관리가 강조되고 있다. 하지만 국내의 사후 관리 체계는 아직도 고장 신고, 대리점 재고 파악, 방문 수리 순서의 근대적인 관리 체계로 운영되고 있으며, 이 조차도 농업인의 전문 지식 부족, 보관 관리 미숙, 고장 원인 파악의 어려움 및 부품 재고 부족으로 제대로 운영되지 못하는 실정이다. 따라서 콤바인의 고장 유무를 지속적으로 측정 하고, 정보를 원격으로 전송하고 관리하여 농업인 및 수리원에게 제공할 수 있는 체계적인 사후 관리 시스템 개발의 필요성이 대두되고 있다. 본 연구에서는 콤바인 예취부의 고장을 진단하는 계측 시스템을 개발하고, 정보 모니터링이 가능한 임베디드 시스템과 서버 시스템을 개발하여 고장 정보의 전송 및 원격 관리가 가능한 원격 고장 진단 시스템을 개발하였다.

본 시스템에서 사용한 계측시스템, 모니터링 임베디드 시스템, 서버 시스템을 사용한 연구는 농업기계의 고장 부위 파악, 노외지에서의 모니터링 시스템 구현, 원격지 정보의 체계적 관리 시스템에 응용되어 사용될 수 있으며, 이와 관련한 개발과정은 관련 연구자들의 교육 및 지도에 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

SUMMARY

(영문 요약문)

The purpose of this study is to develop a measurement system for combine header diagnosis during rice harvesting and to design and implement a gateway for remote monitoring. Measurement system for combine header diagnosis consists of sensors to monitor the combine operation, I/O interface to convert the signals, and embedded module to control the system. Ground speed of combine, temperature of oil, angular velocities of rotating devices, height of header, indication of lugs, load and vibration of cutter were measured and analyzed. The data were collected from the paddy field during rice harvesting. The tests were conducted with normal cutter, loosened cutter, broken cutter, and worn-out connector pin at the field. The vibration signals from cutter bar were measured, converted by FFT(Fast Fourier Transformation), filtered, and normalized. The load data and the peak values of vibration signals in four different frequency ranges were used to determine the harvesting operation and the cutter conditions of combine. The multiple comparison tests were performed. The results showed that the

measured data were useful to monitor the proper operation of combine header during harvesting. The load data and the peak values of vibration signals were important to monitor the cutting operation and cutter conditions of combine header. To develop a real-time diagnosis system of combine header operation, the time required for signal processing during measurement should be reduced and optimal algorithm for malfunction of combine header is required.

And, We finished to develop monitoring system. To implement this system, we have developed a gateway with an embedded system including the XScale PXA255 processor and wireless network device and a server application with J2SDK. We have also built an embedded Linux kernel and several devices for monitoring. We developed an embedded application for monitoring a combine and this application is also capable of receiving signals from other clients and sending them to a server via Wireless LAN. Because, each machine have to be operated under on a guarantee of mobility and stability. The server is programmed with the J2SE development platform, in NIO and multi-thread structure. The system is capable of

receiving data simultaneously. A TCP/IP socket was used for the Ethernet connection. And, the JDBC was applied to connect with the database for the saving, searching and sampling of the data.

Finally, results of performance evaluation which measured CPU share and memory sizes have shown that it is possible to provide monitoring service stably.

CONTENTS

(영 문 목 차)

Chapter 1 Introduction	16
Section 1 Necessity of this research	16
Section 2 Objective of this research	23
Chapter 2 Present Status of Tele- Diagnosis System	25
Section 1 Domestic status of tele-diagnosis system	25
Section 2 Foreign status of tele-diagnosis system	30
Chapter 3 Method and Result	34
Section 1 Objective and Plan of this research	34
Section 2 Method and Result of this research	39
Chapter 4 Achievement of Goal and Contribution	160
Section 1 Objective of this research	160
Section 2 Achievement of goal	161
Section 3 Contribution	162

Chapter 5	Plan of Practical Usage	166
Section 1	Necessity of additional research	166
Section 2	Adaption of other research	168
Section 3	Plan of commercialization	174
Chapter 6	Technical Information Related This Study	178
Section 1	Development	178
Section 2	Papers	180
Chapter 7	References	194
Chapter 8	Appendix	204
Section 1	Document #1	204
Section 2	Document #2	224

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	16
제 1 절	연구개발 필요성	16
제 2 절	연구개발 목표 및 범위	23
제 2 장	국내외 기술개발 현황	25
제 1 절	국내 기술개발 현황	25
제 2 절	국외 기술개발 현황	30
제 3 장	연구개발 수행내용 및 결과	34
제 1 절	연구개발 수행목표 및 계획	34
제 2 절	연구개발 수행내용	39
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	160
제 1 절	연도별 연구목표 및 평가의 착안점	160
제 2 절	목표달성도	161
제 3 절	관련분야 기여도	162

제 5 장	연구개발결과의 활용계획	166
제 1 절	추가연구의 필요성	166
제 2 절	타 연구에의 응용	168
제 3 절	기업화 추진방안	174
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	178
제 1 절	국외 개발현황	178
제 2 절	국내외 학술논문	180
제 7 장	참고문헌	194
제 8 장	참고자료	204
제 1 절	<참고 1>	204
제 2 절	<참고 2>	224

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발 필요성

1.1 연구개발 배경

1960년대 이후의 지속적인 경제 성장 및 도시화 과정은 농촌 사회의 노동력 유출을 가속화 하였으며 노동 인구의 부족, 기존 인구의 노령화 및 부녀화를 초래하였다. 이러한 변화는 노임의 상승으로 이어져 농가의 부담은 가중되고 소득은 감소하였다. 따라서 정부는 ‘농업 기계화 기본계획’을 1980년부터 시행하여, 일반 기계화 촉진 사업, 생산비 절감 기계화 사업이 진행되었다.(농업기계연감, 2001) 이러한 사업은 농업 기계의 보급을 확대하였으며, 적기 영농을 실현하고, 식량의 안정적 생산을 가능하게 하였다. 2006년 국내 보급된 농업 기계는 트랙터 236,707 대, 이앙기 325,351 대, 콤바인 86,492 대로 벼농사 기계화율이 90%에 달한다(농림부, 2006).

그러나 농업기계의 보급 확대에 따라 잦은 기계 고장과 빈번한 안전사고 발생, 부실한 사후 봉사 등의 각종 소비자 문제가 발생하였다. 특히 콤바인은 연평균 3.1 회 수리를 받아 농업 기계 중 고장이 가장 많은 기종이며(농업공학연구소, 2005), 일시적인 고장으로 적기 영농을 추진하기 어려워 농업 기계의 사후 관리가 강조되고 있다. 하지만 국내의 사후 관리 체계는 아직도 고장 신고, 대리점 재고 파악, 방문 수리 순서의 근대적인 관리 체계로 운영되고 있으며, 이 조차도 농업인의 전문 지식 부족, 보관 관리 미숙, 고장 원인 파악의 어려움 및 부품 재고 부족으로 제대로 운영되지 못하는 실정이다. 따라서 콤바인의 고장 유무를 지속적으로 측정 하고, 정보를 원격으로 전송하고 관리하여 농업인 및 수리원에게 제공할 수 있는 체계적인 사후 관리 시스템 개발의 필요성이 대두되고 있다. 또

한 이를 위해서 각국의 여러 연구자들에 의해 다양한 방법이 시도되고 있으며 보고된 연구는 크게 고장 진단 시스템 분야와 네트워크 시스템 분야로 나뉜다. 고장 진단 시스템에 관한 연구는 주로 진동 특성에 관한 연구가 진행되어 왔으며, 이를 콤바인 설계 및 기계 진단에 응용하였다(김 등, 2001; 최 등, 2001; Li 등, 2007). 하지만 농업 기계는 대부분 포장에서 작업을 수행하므로 날씨 및 주변 환경에 노출되어 있어 고장 예측이 어렵다. 특히 앞서 언급한 바와 같이 농업 기계 중 콤바인은 수확 작업 시 곡물의 예취, 탈곡, 선별의 복잡한 작업을 수행하므로 고장빈도가 높다. 특히 예취부의 고장은 예취부에서 절단된 벼를 이송하는 반송부와 탈곡 및 선별을 하는 탈곡부까지 영향을 미치므로 자동화된 고장 진단 시스템 도입이 시급한 상태이다. 예취부의 고장은 크게 벼의 도복, 함수율 및 토양의 상태등 외부환경에 의한 경우와 작업자의 부주의에 의한 관리미숙으로 발생한다. 외부 환경에 따른 고장은 환경에 따라 발생 여부가 다르므로 이를 예측하기 위해서는 벼 이송에 따른 콤바인 각 부분의 계측이 필요하다. 작업자의 부주의에 의해 발생하는 고장은 주로 부적절한 예취높이, 파손된 리그의 사용과 칼날 및 칼날 구동축의 관리 소홀 등이 있으며 이것은 예취된 벼의 반송, 탈곡 깊이, 수확량에 영향을 미치게 된다(국제, 동양, 대동 콤바인 취급설명서, 1997, 2002, 2004). 이를 바탕으로 최 등(2007)은 콤바인 예취부의 고장 진단을 위하여 고장 특성에 관한 연구를 수행하였다. 보고된 연구는 리그 파손유무, 칼날 작동유무, 칼날 이격 및 구동축 마모의 상태 진단이 가능함을 나타내어 콤바인 고장 진단 가능성을 제시하였다.

네트워크 시스템에 관한 연구는 정보 수집을 위한 서버 시스템(Server System)과 전송을 위한 게이트웨이 시스템(Gateway System)으로 나뉘어 진행되어 왔으며, 농업기계의 자동화, 영상 수신, 곤충의 이주, 작물의 성장 상태 모니터링, 지리 정보 시스템에 응용되었다(Jensen 등, 2000; Chung 등, 2001; Drake 등, 2002; Stentz 등, 2002). 서버 시스템은 농업 분야뿐만 아니라 산업 전반에 응용되어 많은 연구가 진행되었다. 특히 최근의 연구(Mathiyalagan 등, 2005)는

원격지에서 전송된 정보를 수신하고, 웹(Web) 서비스를 통해 사용자에게 정보를 제공할 수 있는 서버 시스템을 개발의 가능성을 제시하였다. 그러나 보고된 서버 시스템을 사후 관리 시스템에 적용하기 위해서는 노외 지역에서의 정보 전송이 가능한 게이트웨이 시스템 개발이 선행되어야만 한다.

게이트웨이 시스템은 주로 서버 시스템과 연동하여 모니터링(Monitoring) 시스템에 응용되었다. 그러나 보고된 연구(Jensen 등, 2000; Chung 등, 2001; Drake 등, 2002)는 디지털 신호 기반의 표준화된 통신 방식을 사용하지 않아 각 노드(Node)간 동기화가 유지되기 어렵고, 타 기기와 호환되지 않으며, 노외 작업 중 발생하는 잡음에 큰 영향을 받는다는 한계점을 지닌다. 2004년 McKinion 등이 정밀 농업을 위하여 제시한 트랙터, 피커, 분사기, 콤바인 간 영상 전송 시스템은 2년 동안 성공적으로 운용하였다. 하지만 PC를 이용하여 게이트웨이 시스템을 구현하였기 때문에 입·출력부의 확장이 어렵고 안정적인 서비스가 불가능한 한계점을 지닌다. 따라서 노외 지역에서 정보 전송을 위해서는 노드 간 동기화를 유지할 수 있고, 타 기기와 연동이 가능하며, 통신 시 잡음을 최소화 할 수 있는 디지털 신호 기반의 표준화된 통신 방식을 사용해야 한다(Wei, 2005). 또한 임베디드 시스템을 이용하여 입·출력 부의 확장이 가능하도록 해야하며, 안정적인 서비스가 가능하도록 개발해야 한다(Samad 등, 2007).

1.2 연구개발의 필요성

1.2.1. 기술적 측면

- 콤바인 사용자의 고장내역 기록이 전무하여, 고장 및 수리 내용의 체계적인 데이터베이스화를 통한 통합 관리 기술이 필요한 실정이다.
- 2003 국가 정보화 정책의 목표는 농업 분야를 포함한 모든 산업분야의 정보화에 있으며, 이는 농업 분야의 정보화 역시 촉진 시킬 것으로 예상된다.
- 콤바인 고장율은 품질보증 기간 내에도 50% 이상을 나타내고 있으며, 이러한 고장율이 농업기계의 연간 이용율을 감소시키고 있는 상태이다.

Table 1.1 The incidence of combine troubles for the warranty period

품질 보증 기간내 콤바인 고장 발생율	대수(총420)	계
고장	231	54.8%
미 고장	189	45.2%

- 특히 사용자 과실 및 정비 불량에 의한 고장이 고장율의 38%를 차지하며 효율적인 농업기계 관리 기술 개발이 요구되는 실정이다.
- 소음, 진동 등을 발생시키는 농업 기계의 고장은 센서에 의한 감지가 가능하며, 인간에 의한 직접적인 사전 점검보다 높은 정확도를 가지고 있다.
- 콤바인의 주요고장 부위는 예취부이며, 지속적인 감시 및 이상 유·무 파악이 요구된다.

Table 1.2 The incidence of troubles by parts

콤바인 주요 고장 부위	고장율(%)
동력 전달 및 유압장치	16.2
예취부	35.1
엔진 및 전기부	13.5
탈곡부	18.9
선별 및 양곡부	13.5
기타	2.8

- 이상 유·무 판단이 가장 중요한 요소임을 감안할 때, 정확한 판단을 위한 센서, 임베디드 기술의 적용 및 정보의 데이터베이스화가 시급한 상태이다.

1.2.2. 경제·산업적 측면

- 콤바인의 일시적인 고장은 적기 영농을 추진하기 어려워 사후관리가 강조되고 있다.
- 국내의 사후관리 체계는 농업인의 전문 지식 부족, 보관 관리 미숙, 고장 원인 파악의 어려움 및 부품 재고 부족으로 제대로 운영되지 못하는 실정이다.
- 따라서 콤바인의 고장 유무를 지속적으로 측정하고, 정보를 원격으로 전송하고 관리하여 농업인 및 수리원에게 제공할 수 있는 체계적인 사후 관리 시스템 개발의 필요성이 대두되고 있다.
- 고령화된 농민을 대상으로 한 교육효과보다 자동화된 사전 점검 및 진단이 비용 및 효율성 측면에서 우수하다.
- 2005년까지 80%이상 보급률이 예상되는 초고속 인터넷망을 이용하여 원격 사후 관리 체계를 구축하면, 기존의 인프라를 이용하므로 신규 구축비용을 절감할 수 있을 것으로 예상된다.
- 농가의 수리비에 대한 경제적 부담감을 감안할 때, 고장 예방 및 진단 시스템을 적용하여 고장 발생률을 감소시켜야 한다.

Table 1.3 The farmer's response about the repairing charges

수리비 부담에 관한 반응	계
너무 비싸다	51.2%
비싼 편이다	31.0%
적정하다	14.7%
싼편이다	3.1%
계	100.0%

- 농업 기계의 고장 패턴 및 원인에 대한 체계적인 데이터베이스를 구축하여 신규 농업 기계의 설계 및 개발에 반영하여야 한다.
- 또한 농업 기계 수리에 필요한 부품의 수요를 쉽게 예측할 수 있으며, 수급을 원활히 하고 재고를 감소시킬 수 있다.

Table 1.4 The state of parts supply

사후봉사업소에서 부품공급이 원활한가?	비율
원활이 공급된다.	12.0%
비교적 갖추어 있는 편이다.	46.5%
갖추어 있지 않아 부품구하기가 힘들다.	41.5%

1.2.3. 사회·문화적 측면

- 농가 인구의 고령화 추세와 농업기계에 대한 낮은 교육률로 인한 고장 발생률 증가는 자동화된 사전 점검 및 진단을 필요로 한다.

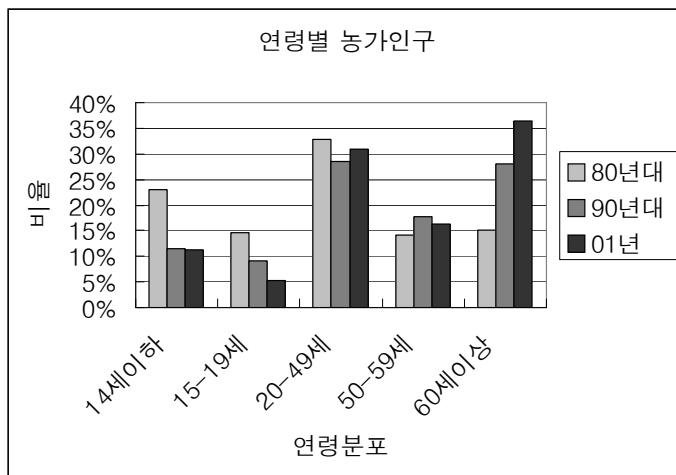


Fig. 1.1 The spread of farmer population by age

- 자동화된 사전 점검 및 진단은 고령화 되고 있는 농민의 농업기계 이용의 효율성 및 편리성을 증대시킬 수 있다.
- 특히 농업기계의 원격 고장진단 시스템을 개발하면 중앙통제센터에서의 고장 데이터 분석을 통한 일괄적이고, 객관적이며, 신뢰성 있는 서비스가 가능하다.
- 무선 네트워크 장비(Access Point)는 콤팩트 내의 고장 진단 장비 뿐만 아니라, 일반 PC 또한 사용가능하므로, 인터넷 보급율을 높여 농가 정보화에 기여할 수 있다.
- 농업기술과 정보기술의 결합을 통한 '선진 농업'의 실현하고자 한다.

제 2 절 연구개발 목표 및 범위

앞서 제시한 연구 배경 및 필요성에 따라 본 연구에서는 콤바인의 고장 유무를 지속적으로 측정하고 정보를 원격 전송하여 농업기계의 고장유무 및 이력을 관리할 수 있는 원격 고장 진단 시스템을 개발하였다. 원격 고장 진단 시스템 개발을 위하여 수확 작업시 예취부의 예취높이, 러그의 파손, 칼날 및 칼날 구동축의 상태를 감지할 수 있는 계측 시스템을 개발하였으며, 개발된 콤바인 예취부의 고장 진단 시스템을 통해 상용화된 고장진단 시스템 개발의 가능성을 제시하고자 한다. 또한 임베디드 시스템, 서버 및 표준화된 네트워크 시스템을 이용하여 원격 전송 및 관리의 가능성을 판단하고 앞으로의 사후관리 시스템 개발의 기초자료를 제시하고자 한다.

1.1 연구개발 목표

- 콤바인의 고장 유무를 지속적으로 측정하고 정보를 원격으로 전송하고, 관리하여 농업인 및 수리원에게 제공할 수 있는 사후 관리 시스템 개발.
- 콤바인 예취부의 주요 고장 및 작동상태 실시간 계측기술 설정.
- 임베디드 시스템, 무선랜 기술 및 서버 시스템의 농업기계 적용.

1.2 연구개발 범위

- 고장 감지를 위한 센서의 구성 및 신호 처리부 개발
- 센서의 작동상태 감지 모듈 개발
- 측정 모듈의 제작 및 측정 프로그램 개발
- 센서 신호의 변환을 위한 인터페이스 개발

- 임베디드 시스템 하드웨어 선정
- 측정 모듈을 고려한 데이터 취합 모듈 개발
- 이상징후, 고장 판별을 위한 진단 모듈 개발
- 무선랜 (IEEE 802.11b)을 이용한 데이터 송·수신 모듈 개발
- 체계적인 데이터 저장을 위한 자료관리 모듈 개발
- 시스템 관리자를 위한 제어모듈 개발

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

1.1 고장 진단 시스템

국내의 고장 진단 시스템에 관한 연구 및 개발은 크게 세 가지로 구분할 수 있다.

1.1.1 고장 진단 시스템을 위한 전문가 시스템 개발

국내에서 진단, 고장 요인의 분석 및 스케줄링 등의 문제를 해결하기 위한 방법으로 전문가 시스템이 많이 응용되고 있다. 전문가 시스템은 특정 영역 전문가의 전문 지식과 경험을 체계적으로 컴퓨터에 입력시켜, 전문가와 같은 수준의 처리를 제공해줌으로써 비전문가도 전문가처럼 문제 해결에 이를 수 있도록 해주는 지능적 컴퓨터 프로그램이라 정의할 수 있다. 고장 진단 시스템을 위하여 이러한 전문가 시스템에 관한 개발 및 연구가 여러 분야에서 진행되었다.

국내의 전력소에서 관내 무인 변전소 고장진단 및 정전복구를 위한 전문가 시스템이 개발되었다. 또한 센서와 마이크로 프로세스에 관한 기술의 발전에 따라 냉방시스템의 부분고장을 실시간으로 검출하고 진단할 수 있는 고장 검출 및 진단(FDD : Fault Detection and Diagnosis System) 시스템이 개발되어 불필요한 에너지 사용을 억제하고 심각한 고장을 미연에 방지할 수 있어 사용자의 불편과 경제적 부담을 최소화 시킬 수 있게 되었다. 구조물에도 적용이 되어 복잡한 구조물의 고장진단을 위한 사례 기반 전문가 시스템이 개발되었다. 통신 분야에서는 근거리 통신망에서 발생하는 고장요인을 추론하는 전문

가시스템이 개발되었다. 자동차 산업에서는 자동차 산업에서 사용하는 제조 장비 중 프레스의 고장 원인과 고장 부위를 조기에 발견하여 신속한 보전작업을 수행할 수 있도록 하는 고장 진단 전문가 시스템이 개발되었다.

1.1.2 실시간 고장진단 시스템 개발

고장 검출 및 진단 시스템은 전체 시스템의 운전 상황을 감시하고, 고장이 발생된 시스템의 성능 저하를 미리 검출하거나 이상 동작의 원인이 되는 고장과 발생위치를 신속히 검출하여 고장의 정도를 분석하여 진단함으로써 운영자에게 적절한 처리방법에 대한 정보를 제공하는데 목적이 있다. 따라서 실시간 고장진단 시스템의 개발의 중요성이 강조되고 있다. 그 예로 선박엔진 통합 시스템의 실시간 고장진단 기법에 관한 연구가 있다. 선박엔진 고장진단 시스템이란 모니터링 시스템에서 수집한 선박 기관실내의 모든 기기들에 대한 실시간 데이터를 이용하여 현재의 선박 기관실의 고장을 어떻게 신속, 정확히 판단하는가에 대한 문제를 해결하는 것을 목표로 하는 시스템이다. 또한 통계적 패턴인식기법을 이용한 고장 진단 기법을 실제 운전 중인 공조 시스템에 적용하여 실시간 고장 진단 기법의 실제 적용가능성을 확인하였다.

1.1.3 고장 진단 및 처리 알고리즘 개발

고장 검출 및 진단을 효과적으로 하기 위해 알고리즘에 관한 연구가 활발하게 진행되었다. 그 예로 시스템 멀티 에어컨을 대상으로 냉방기에 발생할 수 있는 다양한 고장 중에서 냉매량 부족 고장, 실내기 오염 고장, 실외기 오염 고장을 대상으로 이들 고장들의 복잡성과 비선형성에 대한 검출 및 진단을 효과적으로 수행할 수 있는 퍼지논리를 이용한 고장 검출 및 진단 시스템이 개발되었다. 또한 건물의 최적 운용에 의한 에너지 절약을 달성하기 위해 건물 설비의 최적제어와 함께 설비의 성능 저하를 유발하는 고장이나 노후에 따른 시스템의 점진적인 성능 저하를 적절하게 예측 또는 감지하는 시스템이 요구

됨에 따라 전문가 규칙을 기반으로 이루어진 공조기의 고장 검출 및 진단 알고리즘이 개발되었다.

이처럼 국내에서 고장 진단 시스템에 관하여 다양한 연구 및 개발이 이루어져왔다. 하지만 농업관련 임베디드 시스템과 무선 랜 기능을 이용한 고장 진단 시스템의 개발은 전무한 상태이다. 그리고 농업공학 연구소에서 농기계 종합 정보 시스템을 운영하여 고장 진단 요령 및 수리정비 콘텐츠를 제공하고 있지만 관련 지식이 부족한 농민에게는 이용이 부담이 되고 있는 실정이다.

1.2 모니터링 시스템

국내의 모니터링 시스템에 관한 연구 및 개발은 크게 세 부분으로 나눌 수 있다.

1.2.1 무선 센서 네트워크를 이용한 모니터링 시스템 구현

유비쿼터스 센서 네트워크 기술은 새로운 컴퓨팅 패러다임인 유비쿼터스 컴퓨팅의 핵심 분야로서 무선 센서 네트워크를 이용한 상황정보 모니터링 시스템에 적합한 기술이다. 이 기술을 모니터링 시스템에 적용하면 열악한 환경에 간편하고 저렴한 비용으로 실시간으로 발생된 상황 데이터를 수집 및 분석하여 즉각적인 상황대처와 사용자가 원하는 환경의 조건을 효율적으로 수행할 수 있다. 따라서 군 작전, 인명구출, 지능형 홈 네트워크, 물류관리, 건물 모니터링 등 매우 광범위한 응용 분야에 사용될 수 있다.

그 예로 건물에 센서 모듈을 설치하여 데이터를 습득하는 지능형 건물 환경 모니터링 시스템이 개발되었다. 또한 유비쿼터스 센서 네트워크 환경에서 RF 센서와 Mica 플랫폼의 무선 센서 보드를 이용하여 지정 영역의 사용자 신원 정보 및 조도를 센싱하여 취득된 값의 변화를 사용자에게 보여줄 수 있는 상황정보 모니터링 시스템이 구현되었다. 진동 모니터링 시스템에도 이용되어

무선 센서 네트워크를 이용한 진동 모니터링 시스템이 구성되었다. 그리고 기존 인프라가 존재하지 않는 지역에서 센서 네트워크를 사용하여 인프라를 구성하고, 저전력 계수장비를 사용하여 사람들의 통행량을 조사할 수 있는 장비가 개발되었다. 또 무선 센서 네트워크를 사용한 자동 인원 계수와 환경 정보 모니터링 시스템이 개발되었다. 정보 통신 분야에서는 이동 중 무선망을 통하여 인터넷 서비스에 액세스하고 정보를 제공받을 수 있는 무선 인터넷을 통해 실시간 시스템 성능 모니터링 시스템이 구현되었다.

1.2.2 웹 기반의 원격 모니터링 시스템 개발

모니터링 시스템의 종류는 DAS(Data Acquisition System), SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition System) 등의 시스템과 PC-based 시스템을 이용하는 방법이 있다. 그러나 이 모니터링 기술은 시스템간의 호환성 문제, 전용 프로그램에 의한 모니터링 등으로 인해 모니터링 대상 시스템의 변화에 대한 유동적인 대응이 어렵고 시간과 공간의 제약을 받는다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 최근 웹을 이용한 모니터링 시스템의 개발이 활발히 연구되고 있다. 웹을 이용한 모니터링 시스템은 시간과 공간상의 제약을 극복할 수 있고 또한 이미 구축되어진 통신 인프라나 브라우저 등의 소프트웨어 등을 이용함으로써 비용절감 효과를 얻을 수 있다. 웹을 이용한 모니터링 시스템의 예로 리눅스를 운영체제로 사용한 임베디드 시스템을 이용하여 원격지의 실험환경 상태를 언제, 어디서든 인터넷을 통하여 실시간으로 전송 받아, 그 상태를 종합적으로 검사 및 분석할 수 있는 양어장 모니터링 시스템이 개발되었다. 또한 태양광 발전 시스템의 정상운전 여부를 확인하고 문제점이 발생하였을 때 신속하게 조치를 취할 수 있는 웹을 이용한 모니터링 시스템이 개발되었으며 원격지에서 실시간으로 인터넷을 통하여 소음 데이터를 받아 볼 수 있도록 제품이 개발되었다. 소규모 실습실을 대상으로 한 웹 기반 트래픽 모니터링 시스템이 구현되었으며 1930년대 준공된 철도

연결 구간의 철도 터널 구조물의 재사용 시 장기적으로 관찰할 필요가 있는 라이닝의 균열을 웹 기반의 원격계측 시스템을 이용한 모니터링 시스템이 개발되었다.

1.2.3 임베디드 모니터링 시스템 개발

최근 가정, 자동차, 사무실등 많은 장소에서 임베디드 장치를 쉽게 찾아볼 수 있다. 이렇듯 많은 분야에서 임베디드 장치가 사용됨에 따라 모니터링 시스템에서 임베디드를 이용한 개발이 늘어나고 있다. 그 예로 ARM 프로세서에 임베디드 리눅스와 웹서버를 포팅해 웹 서버를 구축하고, 자동차의 ECU 단자를 연결하여 웹상에서 실시간으로 자동차를 모니터링하는 시스템이 개발되었다. 이는 자동차를 원격 주행제어 할 수 있는 기초적인 여건을 마련하였으며, 차량의 환경을 감시하고 제어하게 되어 무인 운전이나 지능형 순항제어와 같은 곳에 도움이 될 수 있다. 또한 발전소의 발전기 운전 중 전력 계통의 전력 품질 개선을 위한 터빈 조속기의 속도 조절을 특성을 임베디드를 이용하여 실시간으로 감시하는 시스템이 개발되었다.

이처럼 국내에서 모니터링 시스템에 관하여 다양한 연구 및 개발이 이루어져왔다. 하지만 대부분의 모니터링 시스템에 구성된 무선 네트워크는 이동통신 기술을 사용하여 비싼 비용과 소용량의 데이터 전송의 한계점이 있었으며 고장 진단 기술과 마찬가지로 농업관련 임베디드 시스템을 이용한 기술 개발은 적용 사례를 발견할 수 없었다.

제 2 절 국외 기술개발 현황

2.1 고장 진단 시스템

국외의 고장 진단 시스템에 관한 연구 및 개발은 크게 세 가지로 구분할 수 있다.

2.1.1 고장 진단 시스템을 위한 전문가 시스템 개발

대만에서 CNC 기계의 진단을 위한 방법을 전문가 시스템을 이용하여 개발되었다. 러시아에서는 가스 터빈 연소 챔버의 고장 진단 및 모니터링을 위한 전문가 시스템이 개발되었다. 브라질에서 해안 석유 생산을 위한 고장 진단 전문가 시스템이 개발되었으며 재배 환경에 따른 농기계 고장 예방 및 진단 시스템에 관한 연구가 수행되었다. 캐나다에서는 태양열 시스템의 고장 진단을 위한 전문가 시스템이 개발되었다. 전문가 시스템은 태양열 시스템에서 관찰되는 오류를 진단하기 위해 귀납적이고 일반적인 지식을 사용하였다.

2.1.2 실시간 고장 진단 시스템 개발

대만에서 CNC 기계의 진단을 위한 방법을 전문가 시스템을 이용하여 개발되었다. 러시아에서는 가스 터빈 연소 챔버의 고장 진단 및 모니터링을 위한 전문가 시스템이 개발되었다.

2.1.3 고장 진단 및 처리 알고리즘 개발

중국에서 작동기와 센서의 고장 진단을 위한 알고리즘이 개발되었다. 고정된 감지 관측기와 적응력 있는 진단 관측기는 고장을 찾아내고 진단하기 위해 독립적으로 구성되었다. 적응력 있는 진단 관측기에 대한 오류 방정식의 새로운 방식이 공식화 되고 구성되었다. 이는 직접적으로 적용할 수 모델 참조로

부터 증가된 오류 신호 기술의 사용, 제어를 통해 얻어질 수 있는 진단상의 적응력 있는 알고리즘이다. 또 캐나다에서는 증거 이론에 기초를 두는 엔진 진단 시스템의 다중 센서 기술이 개발되었다.

이처럼 국외에서 역시 고장 진단 시스템에 관하여 다양한 연구 및 개발이 이루어져왔다. 농업과 관련하여 브라질에서 재배 환경에 따른 농기계 고장 예방 및 진단 시스템에 관한 연구가 진행되었지만 농업관련 임베디드 시스템과 무선 랜 기능을 이용한 고장 진단 시스템의 개발은 국내와 마찬가지로 전무한 상태이다.

2.2 모니터링 시스템

국외의 모니터링 시스템에 관한 연구 및 개발은 크게 두 부분으로 나눌 수 있다.

2.2.1 무선 센서 네트워크를 이용한 모니터링 시스템 구현

미국에서 센서 네트워크를 이용하여 Grea Duck Island에 서식하는 바다 제비의 생태와 서식 환경을 감시하기 위한 원격 생태 모니터링 시스템이 개발되었다. 이 시스템은 배터리 기반 센서 노드를 섬의 특정 지점에 배치하고 멀티홉 애드혹 네트워크를 구성하고 각 센서 노드의 환경 정보를 수집하고 데이터를 기지국에 전송하도록 구성되었다. 기지국에 수집된 데이터는 데이터베이스에 저장되고 등대에 설치된 위성 안테나를 통해 California Berkeley에 있는 서버에 전송하게 되고 최종 클라이언트에게 실시간 수집 정보를 인터넷을 통해 제공받을 수 있도록 구성되었다. 또 센서 네트워크를 이용하여 UC Botanicla Garden에서 미국 캘리포니아 주의 주목인 삼나무 성장 환경을 모니터링하고 삼나무 성장에 안개가 미치는 영향을 조사한 연구가 진행되었다. 특수하게 제작된 센서 노드를 삼나무 한 그루에 수십개를 서로 다른 높이에 장착하여 삼나무 높이별 수분 상태가 삼나무 숲의 생태계에 어떤 영향을 미치는지를 조사

하는 연구이다. 이 같은 연구는 센서 네트워크를 이용하여 시간적, 공간적 제약으로 센싱하기 어려웠던 분야에 대한 적용 가능성을 보여주었다. 하지만 대부분 연구는 연구위주로 머물러 있으며 실 사용자나 일반인에게 도움이 될 수 있는 서비스 수준에는 이르지 못한 한계를 보였다. 농업에도 무선 센서 네트워크를 이용한 시스템이 개발되었다. 미국 플로리다에서 무선 센서 네트워크를 이용한 농업 기계의 무인 주행 시스템이 운영되었다. 기계의 위치 측정 결과 외에 경로 추적, 장애 탐지가 플로리다의 작은 숲에서 시행되었다. 또한 WLAN을 이용한 영상 전송 시스템을 농장에 적용하였다. 농장에서 기지국과 세 개의 중계소를 사용하며 기지국 무선 방송 장비, 위성 인터넷 장비, 그리고 컴퓨터 워크스테이션이 농장 중앙 사무소에 위치한다. 양방향성 위성 인터넷 접시형 안테나는 사무소의 지붕위에 설치되어 있다. 관측기는 농장 중앙의 컴퓨터와 양방향으로 통신할 수 있고 모두 WLAN으로 연결되어 있기 때문에 PDA를 이용하여 농기계 운전 중에 파일을 다운로드/업로드 할 수 있다. 이 시스템을 이용하여 2년 동안 성공적으로 관찰 결과 이미지를 다운로드 할 수 있었다. 벨기에에서는 CANbus 네트워크 시스템을 이용하여 콤팩트 자동 주행 시스템이 개발되었다. CAN(Control Area Network)은 직렬 네트워크내에서 작동기와 센서를 연결하는 실시간 통신 프로토콜이다. 센서와 작동기와 같은 서로 다른 장치는 CANbus 네트워크에 연결될 수 있고 메시지 교환에 의해 서로 통신할 수 있다.

2.2.2 웹 기반의 원격 모니터링 시스템 개발

오스트레일리아에서 웹을 이용한 해충 감시 시스템이 운영 중이다. 해충 감시 레이더는 특별한 장소에서 해충의 이동에 관한 질적이고 양적인 정보를 모두 제공하기 위하여 개발되어 온 특별한 목적의 자동적인 레이더이다. 레이더는 IMR(Insect Monitoring Radars) 제어 컴퓨터 및 노드 컴퓨터 내의 모뎀을 사용하여 공중 전화 네트워크를 경유하여 기본 실험실에 연결된다. 연결은 요

청될 때만 수행되고 전형적으로 하루에 한 번 데이터 개요를 갱생하거나 태스크 서비스를 수행한다. IMR로 부터의 분석 결과는 네트워크 허브 컴퓨터에 저장되고 인터넷에 연결되어 서비스된다. 또 영국에서는 농부가 농업 업무를 효율적으로 하기 위하여 웹을 통해 언제 어디서든 컨설턴트, 은행, 소비자에 접근 할 수 있는 시스템을 개발하였다.

다음과 같이 국외에서 모니터링 시스템에 관하여 다양한 연구 및 개발을 제시하였다. 농업과 관련한 모니터링 시스템은 주로 농기계의 무인 주행 모니터링 기술의 개발이 주를 이루었다.

하지만 농업기계의 고장 진단 모니터링 기술 개발에 관한 연구는 진행되지 상태이며, 기존의 모니터링 연구를 참고하여 본 고장 진단 모니터링 시스템에 적용, 개선하였다.

제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

제 1 절 연구개발 수행목표 및 계획

1.1 연구개발 목표

- 콤바인의 고장 유무를 지속적으로 측정하고 정보를 원격으로 전송하고, 관리하여 농업인 및 수리원에게 제공할 수 있는 사후 관리 시스템 개발.
- 콤바인 예취부의 주요 고장 및 작동상태 실시간 계측기술 설정.
- 임베디드 시스템, 무선랜 기술 및 서버 시스템의 농업기계 적용.

1.2 연구개발 범위

1) 계측장비

- 고장 감지를 위한 센서의 구성 및 신호 처리부 개발
- 센서의 작동상태 감지 모듈 개발
- 측정 모듈의 제작 및 측정 프로그램 개발
- 센서 신호의 변환을 위한 인터페이스 개발

2) 임베디드 시스템

- 임베디드 시스템 하드웨어 선정
- 측정 모듈을 고려한 데이터 취합 모듈 개발
- 이상징후, 고장 판별을 위한 진단 모듈 개발

3) 통신 시스템

- 무선랜 (IEEE 802.11b)을 이용한 데이터 송·수신 모듈 개발

4) 서버관리

- 체계적인 데이터 저장을 위한 자료관리 모듈 개발
- 시스템 관리자를 위한 제어모듈 개발

1.3 연차별 연구개발 목표와 내용

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차 년도 (2004)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고장 감지를 위한 센서 및 인터페이스의 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 콤바인 예취부의 이상 징후 발생 요인 및 고장 특성 분석 ○ 예취부의 고장 감지를 위한 센서의 구성 및 신호 처리부 개발 (시작품 제작) ○ 센서의 측정 신호 분석 및 보정 모듈 개발 (자료 수집) ○ 센서 신호의 변환을 위한 인터페이스 개발 (시작품 제작)
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 임베디드 시스템 개발 및 송·수신 모듈 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 임베디드 시스템 하드웨어의 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 임베디드 시스템 설계 - 임베디드 보드모델 선정 - Embedded Operating system 설치 - Wireless LAN NIC 설치 ○ 임베디드 시스템 - 서버 전송 모듈 개발 (시작품제작) <ul style="list-style-type: none"> - 사설 전송 프로토콜 설계 - TCP/IP 기반의 전송모듈 설계 및 제작 ○ 서버 - 임베디드 시스템 수신 모듈 개발 (시작품제작) <ul style="list-style-type: none"> - 사설 수신 프로토콜 설계 - TCP/IP 기반의 수신 모듈 설계 및 제작

2차 년도 (2005)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 센서 시스템의 성능 분석 및 측정 모듈 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 센서의 작동상태 감지 모듈 개발 및 작동 성능 분석 (시작품 제작 및 성능 평가) ○ 인터페이스 제어 알고리즘 개발 (모델정립) ○ 측정 모듈의 제작 및 측정 프로그램 개발 (시작품 제작) ○ 측정 모듈의 성능 검증 및 평가 (성능 평가)
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 데이터 취합 모듈 개발 및 자료관리 모듈 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 임베디드 측 데이터취합 모듈 개발 (시작품제작) <ul style="list-style-type: none"> - 측정 모듈을 고려한 데이터취합 모듈 알고리즘 설계 - 데이터취합 모듈 설계 및 제작 ○ 서버 측 자료관리 모듈 개발 (시작품제작) <ul style="list-style-type: none"> - 수신 데이터의 저장을 위하여 DB와의 연동 가능한 모듈 개발 - 체계적인 데이터 저장을 위한 알고리즘 개발 (모델정립) - 수신데이터 중 고장 데이터 판별 알고리즘 개발 (모델정립)

3차 년도 (2006)	○ 진단 모듈, 시스템 제어 모듈 개발 및 시스템 통합	<ul style="list-style-type: none"> ○ 측정 모듈의 신호 분석 기법 개발 ○ 임베디드 측 진단 모듈 개발 (시작품제작) <ul style="list-style-type: none"> - 이상 징후, 고장 판별을 위한 모듈 설계 - 진단모듈의 설계 및 제작 ○ 서버 측 제어 모듈 개발 (시작품 제작) <ul style="list-style-type: none"> - 총괄 데이터 제어 알고리즘 개발 - 관리자를 위하여 수신 및 데이터 저장에 할 수 있는 제어모듈 개발 ○ 최종 시스템 통합 (시작품제작) <ul style="list-style-type: none"> - 센서 시스템, 임베디드 시스템, 서버시스템의 시스템 통합
	○ 전체 시스템의 성능분석 및 보완	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전체 시스템간의 상호 구동성능 분석 (성능평가) <ul style="list-style-type: none"> - 실시간 성능을 평가하기 위한 측정, 통합, 전송, 수신, 저장의 소요시간 분석 및 평가 - 측정 이후 데이터 손실을 평가 ○ 실제 주행 중 통합관리 시스템의 시작품 실험, 분석 및 보완 (성능평가 및 문제점 보완) <ul style="list-style-type: none"> - 비정상 상황에서의 센서 및 감지 모듈의 성능평가 - 이상징후 판별을 분석 - 실시간 측정을 평가하기 위한 소요시간 분석 - 데이터 손실을 평가

제 2 절 연구개발 수행내용

1. 콤바인 예취부의 고장 감지 시스템 개발

1.1. 고장감지를 위한 인터페이스 개발

1.1.1. 콤바인 예취부의 이상징후 발생 요인 및 고장특성 분석

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.

Table 1.1 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 탈곡깊이
절단부	칼날의 마모/이격 칼날의 부러짐	작물의 절삭 자세 및 상태 불량 예취부 및 탈곡부가 막힘	칼날의 부하와 진동
반송,입력부	구동벨트의 장력 반송체인의 장력	동력의 불안정 전달로 인한 예취상태 불량	엔진, 미션, 칼날 구동부의 회전 속도
예취부 전체	부적절한 예취높이	분초간 및 예취부 전면부 손상 예취칼날이 휘어지거나 부러짐 탈곡통 부하로 인한 미탈립 발생	포장과 예취부의 거리 탈곡깊이

표 1.1은 소비자 보호원 조사를 기준으로 예취부의 작업 특성에 따라 가장 빈번하게 발생하는 고장 부위 및 고장 시 발생하는 이상 요인을 분석하여 고장 진단 항목으로 나타내고 있다.

콤바인 예취부 전처리부의 고장은 작업 시 포장내의 장애물이나 부적절한 예취부 높이 또는 사용자의 운전 미숙으로 인해 발생하며, 분초간의 휨이나 인기러그의 파손을 초래한다. 낮은 예취높이는 수확 중 포장과의 충돌로 인한 예취부 전체의 파손을 야기하고 절삭 시 벼의 길이를 길게 하여 탈곡부 입구에서의 부하를 증가시키며, 높은 예취높이는 탈곡깊이를 얇게 하여 미탈립의 발생 등 선별에 영향을 미친다. 또한, 러그의 파손은 벼를 정렬하지 못하고 반송하여 예취부 부하 증가 및 막힘 현상을 초래하고 탈곡깊이에도 영향을 미쳐 탈곡부 부하를 증가시킨다. 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 이때 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 단순한 벼의 이동 정체는 물론 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.

1.1.2. 예취부 고장감지를 위한 센서의 구성 및 신호처리부 개발

가. 예취부 모형장치

센서의 탈부착 및 칼날의 상태에 따른 센서 신호를 용이하게 측정하기 위하여 실제 콤바인 예취부를 기본으로 그림 1.1과 같이 실험모형을 제작하였다. 예취부 실험모형은 예취프레임과 동력전달장치, 칼날부로 구성되며, 가속도 센서와 로드셀을 장착하여 실제 콤바인 수확 작업과 동일한 신호를 측정할 수 있도록 제작하였다. 동력전달 장치는 3상유도전동기 인버터를 사용하여 모터의 회전수 제어가 가능하도록 구성하였다. 모터의 회전수는 콤바인 주행 3단과 동일하도록 900 rpm으로 설정하였으며, 모터 구동축과 미션 구동축은 1:3으로 하여 칼날 구동부의 속도를 적정 예취작업 속도인 약 300 rpm으로 구동하도록 제작되었다.

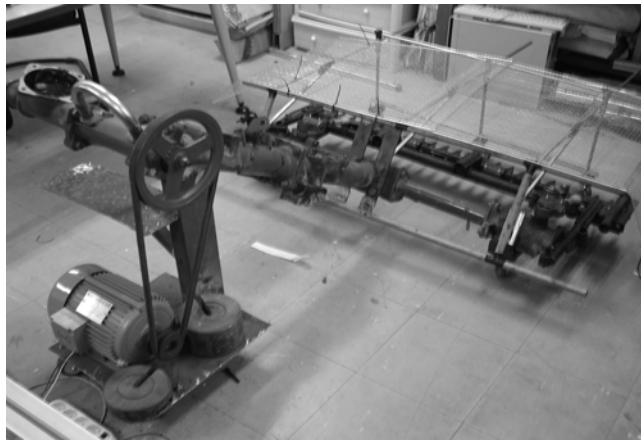


Fig. 1.1 Experiment model for combine cutterbar

나. 콤바인

본 연구에서 대상으로 한 콤바인은 국제종합기계에서 제작한 KC300 모델로, 최고속도는 2.06 km/hr이며, 3조식으로 한 번 주행으로 약 120 cm의 폭으로 수확작업을 할 수 있다. 표 1.2는 본 연구에서 대상으로 한 콤바인의 주요 사양을 보여주며, 실제 콤바인의 모습은 그림 1.2와 같다.



Fig. 1.2 Combine with measurement system

Table 1.2 Specifications of the combine.

Model		KC300	
Total Length		3985 mm	
Total Width		1680 mm	
Total Height		1995 mm	
Running Speed	Forward	Lodging	0 ~ 0.64 km/hr
		Normal	0 ~ 1.45 km/hr
		Running	0 ~ 2.06 km/hr
	Reward	Lodging	0 ~ 0.64 km/hr
		Normal	0 ~ 1.45 km/hr
		Running	0 ~ 2.06 km/hr
Speed Change Type		HST	
Number of Speed Change Stage		continuously variable × secondspeed change 3 stage	
Reaping Part	No. of Reaping Row		3
	Reaping Width		1150 ± 50 mm
	Speed Change		running speed synchronized × control 2 stages

다. 전처리부

전처리부는 벼를 일으켜 세우고 자세를 정렬시키는 작업을 하는 곳으로 인기러그가 중요한 역할을 한다. 따라서 인기러그의 파손 상태를 감지하기 위하여 러그의 회전 속도와 재질을 고려하여 비자성체 검출이 가능한 근접 센서 (Model PR30-15DP, Autonics, Korea)를 선정하였으며, 정확한 측정을 위하여 인기러그 하나에 대해 2개의 센서를 장착하였다. 표 1.3은 근접 센서의 사양을 나타내며, 그림 1.3은 콤바인에 장착된 센서를 보여주고 있다.

Table 1.3 Specifications of proximity switch.

Item	Specification
Range	15mm±10%
Power	12~24V
Source current	15mA
Frequency	50Hz

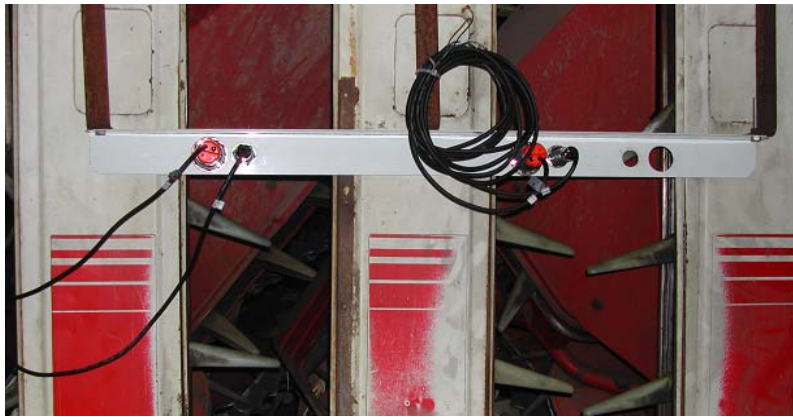


Fig. 1.3 Installation of proximity switch

라. 절단부

절단부는 벼를 절삭하는 부분으로 크게 칼날과 칼날 구동부로 이뤄져 있으며, 작물을 절삭하기 때문에 오랜 작업으로 인한 마모나 이물질 유입으로 인한 파손이 가장 많이 발생하는 부분이다. 칼날의 오랜 작업으로 인해 파손 및 마모/이격 현상으로 칼날의 상태에 따라 작업 시 부하의 변화와 이상 진동이 발생한다. 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 구동날과 고정날을 장착위치로 선정

하였다. 표 1.4는 로드셀과 가속도 센서의 사양을 나타내며, 그림 1.4와 그림 1.5는 콤바인에 장착된 로드셀과 가속도 센서를 보여주고 있다.

Table 1.4 Specifications of loadcell and accelerometer.

Sensor	Item	Specification
Tension loadcell	Rated capacity (R.C)	500 <i>kgf</i>
	Rated output (R.O)	2 <i>mv/v</i> ±0.4%
	Zero balance	±2% of R.O.
	Excitation recommended	10V
	Safe overload	150% R.C
Accelerometer	Sensitivity	10 (<i>mV/ms</i> ⁻²)
	Sensitivity Tolerance	±5 (%)
	Measuring Range	700 (<i>ms</i> ⁻²)

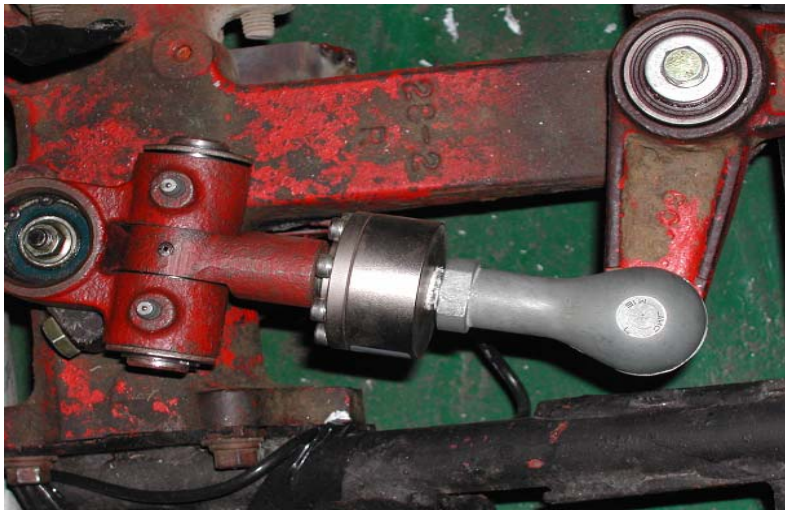


Fig. 1.4 Installation of loadcell

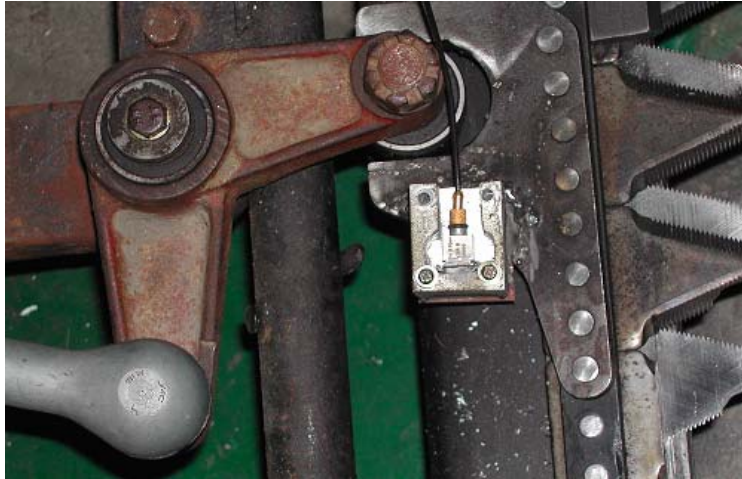


Fig. 1.5 Installation of accelerometer

마. 반송 이송부

반송 및 이송부는 절단된 벼를 탈곡통으로의 입력을 담당하는 부분으로 각 동력 전달 부분이 벨트로 연결되어 있다. 동력 전달의 상태를 보기 위해 각 축의 회전수를 측정하였으며, 측정 센서는 엔코더(Model E40s, Autonics, Korea) 와 포토센서(Model BR-100DDT, Autonics, Korea)를 사용하였다. 엔진과 미션의 경우 높은 회전수를 고려하여 포토 센서를 선정하였고 이물질에 의한 영향을 줄이기 위해 대상체와의 거리를 1mm 로 선정하여 회전속도를 측정하였다. 칼날 구동부는 상대적으로 낮은 회전수와 진동의 영향을 고려하여 주변 환경에 영향을 거의 받지 않는 엔코더를 사용하여 회전 속도를 측정하였으며, 작업 시 콤바인의 주행 속도를 측정하기 위해 작업 방향을 고려하여 우측 주행 축에 엔코더를 장착하였다. 표 1.5는 포토 센서와 엔코더의 사양이며, 그림 1.6은 사용된 센서들의 설치 상태를 보여주고 있다.

Table 1.5 Specifications of sensors for angular velocity measurements.

	Item	Specifications
Photo sensor	Distance	100mm
	hysteresis	Max.20%
	Response time	1ms
	Power supply	12~24V
	Light source	Infrared LRD
Encoder	Supply Voltage	DC 4.5 ~ 13.2V
	Requirement	80mA 이하
	Output Voltage	1V~Supply Voltage
	Maximum OutputCurrent	20mA MAX
	Maximum Frequency Response	200kHz
	Maximum RPM	6000r/min

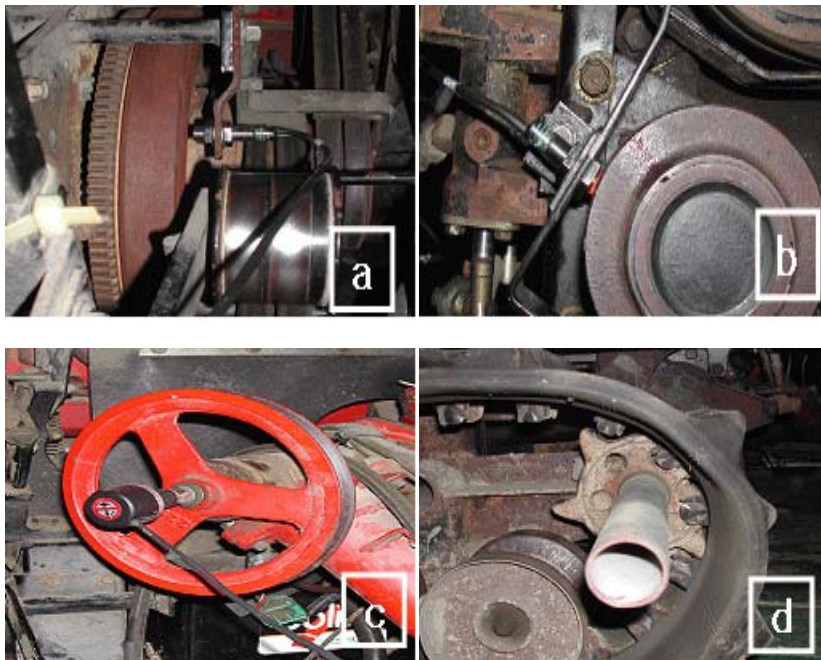


Fig. 1.6 Installation of photo-sensor and encoder
 (a : engine b : transmission c : driving-shaft d :running-device)

바. 예취부 높이

사용자의 사용 미숙으로 인해 예취부 높이가 부적절 할 수 있으며, 높이가 너무 낮으면 예취부가 눈 토양에 박히는 경우가 발생할 수 있고, 높이가 너무 높은 경우 벼의 절삭 높이가 높아 유입 시 자세 불량으로 인한 고장을 유발 하기도 한다. 작업 시에 콤바인 예취부의 실시간 높이를 측정하도록 예취부 측면에는 초음파 센서(Model Massa 6500, Massa, USA)를 설치하여 실제 토 양과의 높이를 검출할 수 있게 하였으며, 토양상태에 따라 오차를 보정하기 위하여, 예취부 축에 포텐쇼미터를 설치하여 이동 각을 측정하였다. 표 1.6은 초음파 센서와 포텐쇼미터의 사양이며 그림 1.7은 센서의 설치 상태를 나타내 고 있다.

Table 1.6 Specifications of ultrasonic and potentiometer.

Sensor	Item	Specifications
Ultrasonic sensor	Frequency	220 kHz
	Detection	10mm~1 m
	Resolution	0.25 mm
	Power	12~28 V
Potentiometer	Electrical Angle	350°
	Total Resistance	1 k, 2 k, 5 k, 10 k and 20 k OHMS
	Total Resistance Tolerance	±15%
	Linearity(Independent)	±0.3%(±0.1% AVAILABLE)
	Repeatability	±0.003%
	Insulation Resistance	100 megOHMS MIN.@1,000Vdc
	Mechanical Angle	360°
Torque	18 g-cm(0.25 in-oz)	

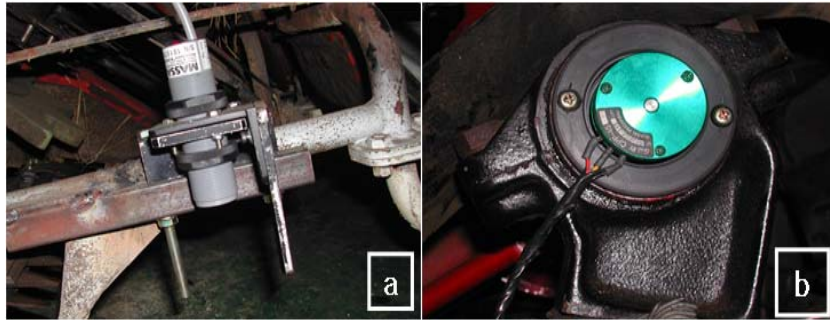


Fig. 1.7 Installation of ultrasonic sensor and potentiometer
(a : ultrasonic-sensor b : potentiometer)

사. 유압 탱크의 온도

유압 탱크내의 온도는 조향 장치와 예취부의 작동에 밀접한 관계가 있기 때문에 온도 변화는 콤파인 작동에 영향을 미친다. 온도 변화가 급하거나 80℃ 이상에서 작동이 되면 예취부 전체가 오작동을 할 수 있다. 유압 탱크 내 온도 변화를 측정하기 위해 표 1.7과 같이 재현성이 좋고 응답속도가 빠른 방식 처리된 서미스터(model 103JT, Thermistor, USA)를 사용하였다.

Table 1.7 Specification of thermistor.

Item	Specification
Thermal time(s)	5
Power at 25℃(mW)	3.5
Temperature range(℃)	-50~90

아. 탈곡 깊이

예취부는 벼를 절단 및 반송하는 역할을 하므로 예취부의 고장은 탈곡부 입구의 벼의 상태에 영향을 미치게 된다. 그러므로 예취부의 정상적인 작동 유·무를 파악하기 위해서는 탈곡부 입구의 탈곡 깊이에 대한 감지가 필요하다. 탈곡 깊이 센서는 주로 벼의 길이에 따라 탈곡부 입력 깊이를 조정해 주

는 역할을 하며, 이것은 벼의 상태에 따른 탈곡부의 부하를 감소하는 역할을 한다. 러그의 파손, 예취 높이, 반송 상태 등 부적절한 예취작업은 탈곡 깊이에 영향을 미치므로 본 연구에서는 벼의 밑 감지, 줄기 감지, 이삭 감지 센서에 그림 1.8과 같이 리미트 스위치를 장착하여 입력되는 센서의 ON/OFF 신호에 따라 벼의 길이를 감지하여 예취상태를 진단하였으며, 사용한 리미트 스위치의 사양은 표 1.8과 같다.



Fig. 1.8 Installation of limit switch

Table 1.8 Specification of limit switch.




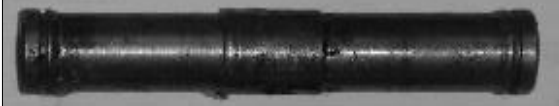
항목	내역
Approach speed	0.1 ~ 1 mm/sec
Switching frequency	120times/minute
Contact residen	25mΩ Max
Vibration	10 ~ 55Hz

1.1.3. 센서의 측정신호 분석 및 보정 모듈 개발

가. 예취부 모형 장치

예취 칼날부 상태에 따른 예취부의 진동변화와 구동력의 변화를 측정하기 위하여 표 1.9와 같이 실험 조건을 절삭 칼날의 상태와 구동축의 연결 핀 마모 상태에 따라 구분하였다. 칼날의 상태는 정상 핀에 정상 칼날, 이격 칼날, 파손 칼날로 구성하였고 마모 축에 정상칼날로 구성하였다. 정상 칼날은 예취 작업을 거의 하지 않은 칼날로 정상적인 예취 작업이 가능하며, 이격 칼날은 오랜 수확 작업으로 칼날과 날 누르개의 마모로 인하여 5mm 이상의 공차가 발생한 날이다. 파손 칼날은 자갈 등의 외부 장애물에 인한 충격으로 칼날이 부러진 날을 의미한다. 예취부의 오랜 사용으로 예취부 구동축의 커넥터 로드와 핀 사이에 공차가 발생하는 마모축은 심하면 예취 칼날부 전체의 파손을 야기 시킨다.

Table 1.9 Conditions of cutter type and connector pin.

Type	Image
Normal cutter	
Loosened cutter	
Broken cutter	
Weared connector pin	

나. 로드셀 부하 신호

로드셀은 그림 1.9와 같이 인장과 압축력을 동시에 측정 할 수 있기 때문에 인장력의 평균 값과 압축력의 평균 값으로 나타나므로 로드셀의 신호는 전체 평균 힘으로 변환하여 측정하였다.

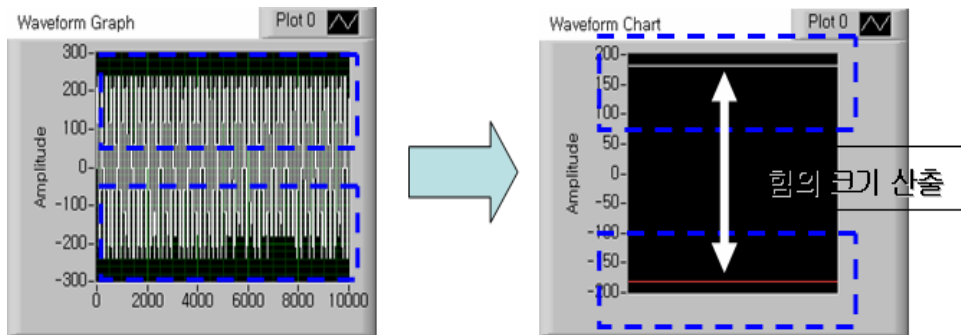


Fig. 1.9 Analysis of load signal

다. 진동 신호 분석

진동 신호의 분석은 시간영역의 센서의 입력을 주파수 영역으로 변환하는 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform : FFT)를 이용하여 분석하였다. 고속 푸리에 변환은 통한 스펙트럼 연산은 상관함수를 구하지 않고 직접 스펙트럼을 계산할 수 있다는 장점이 있으며, 길이 N 개의 시계열 x_0, x_1, \dots, x_{N-1} 의 유한 푸리에 변환은 식(1.1), (1.2)와 같이 표현할 수 있다. 여기서 A_k 와 B_k 는 N 개의 등간격 표본치에 대한 시계열 x_0, x_1, \dots, x_{N-1} 의 유한역현 푸리에 변환 및 유한정현 푸리에 변환계수를 가리킨다. 그러나 이 방법은 표본피의 개수 N 이 증가하면 N^2 에 비례하여 계산시간이 증가하는 단점이 있다.

$$A_k = \frac{2}{N} \sum_{j=0}^{N-1} x_j \cos \frac{2\pi}{N} k_j \quad (k = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} - 1, \frac{N}{2}) \quad \dots\dots\dots(\text{식 1.1})$$

$$B_k = \frac{2}{N} \sum_{j=0}^{N-1} x_j \sin \frac{2\pi}{N} k_j \quad (k = 1, 2, \dots, \frac{N}{2} - 1) \quad \dots\dots\dots(\text{식 1.1})$$

$$x_j = \frac{A_0}{2} + \sum_{k=1}^{\frac{N-1}{2}} [A_k \cos \frac{2\pi k j}{N} + B_k \sin \frac{2\pi k j}{N}] + \frac{A_{N/2}}{2} \cos \frac{2\pi(N/2)j}{N}$$

$$(j = 0, 1, 2, \dots, N-1) \quad \dots\dots\dots(\text{식 1.2})$$

1) 스펙트럼 밀도함수 (Spectrum density function)

일반적으로 함수 $x(t)$ 의 푸리에 변환은 $x(t)$ 의 적분이 전 영역, 즉 $-\infty < t < \infty$ 안에서 존재하므로 이러한 상태를 만족하기 위해서는 절단 함수 $x_T(t)$ 의 정의가 필요하며, $x_T(t)$ 는 식 (1.3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_T(t) = \begin{cases} x(t) & -T < t < T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots\dots\dots(\text{식 1.3})$$

또한 절단함수 $x_T(t)$ 를 고려한 평균에너지는 식 (1.4)와 같다.

$$\overline{P}_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-\infty}^{\infty} x(t)^2 dt \quad \dots\dots\dots(\text{식 1.4})$$

만약 푸리에 변환을 radians per second(rps) 대신에 cycle per second(cps)인 주파수 f의 향으로 유도하면 식 (1.5)와 같이 나타낼 수 있으며, 평균에너지는 식 (1.6)과 같다.

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^2(t)dt = \int_{-\infty}^{\infty} |X(f)|^2 df \dots\dots\dots(\text{식 1.5})$$

$$P_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{4\pi T} \int_{-\infty}^{\infty} |X_T(w)|^2 dw \quad \text{for frequency } w \quad \dots\dots\dots$$

$$= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-\infty}^{\infty} |X_T(f)|^2 df \quad \text{or frequency } f$$

.....(식 1.6)

불규칙과정 $x(t)$ 의 스펙트럼 밀도함수는 식 (1.7)과 같으며

$$S(w) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2\pi T} |X_T(w)|^2 \dots\dots\dots(\text{식 1.7})$$

주파수 f 의 경우에는 식 (1.8)과 같이 정의할 수 있다.

$$P(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} |X_T(f)|^2 \dots\dots\dots(\text{식 1.8})$$

그러므로, 스펙트럼 밀도함수 식에서 함수식의 면적은 시간에 관계되는 불규칙과정의 평균에너지와 같다.

2) RMS값 (Root Mean Square)

RMS 값은 어떤 시스템에 대해 진 주파수대에 걸친 진동의 크기가 문제될 경우 구조 변경으로 인한 진동의 전체 크기의 변화를 파악할 수 있다. 시스템 결합에 의해 진동이 증가할 경우 RMS 값의 변화 추이를 관측하여 그 시점을 파악하는 결합 진단에 사용된다.

3) PTP (Peak To Peak)

진폭의 PTP는 진동의 심한 정도를 나타내는 특성인 진폭을 정량화 할 수 있으며, 신호의 최대 변화를 나타내기에 편리하다.

그러므로, 본 연구에서는 가속도 센서에 의한 진동 신호를 그림 1.10과 같이 측정된 신호를 FFT로 변환한 후 노이즈 제거를 위하여 필터링(Filtering)과 정규화(Normalize)처리를 한 신호를 저장하여 분석에 이용하였다. 측정된 신호는 0~100Hz, 100~250Hz, 250~400Hz, 400~500Hz의 4개의 주파수 영역으로 구분하여 분석 되었다.

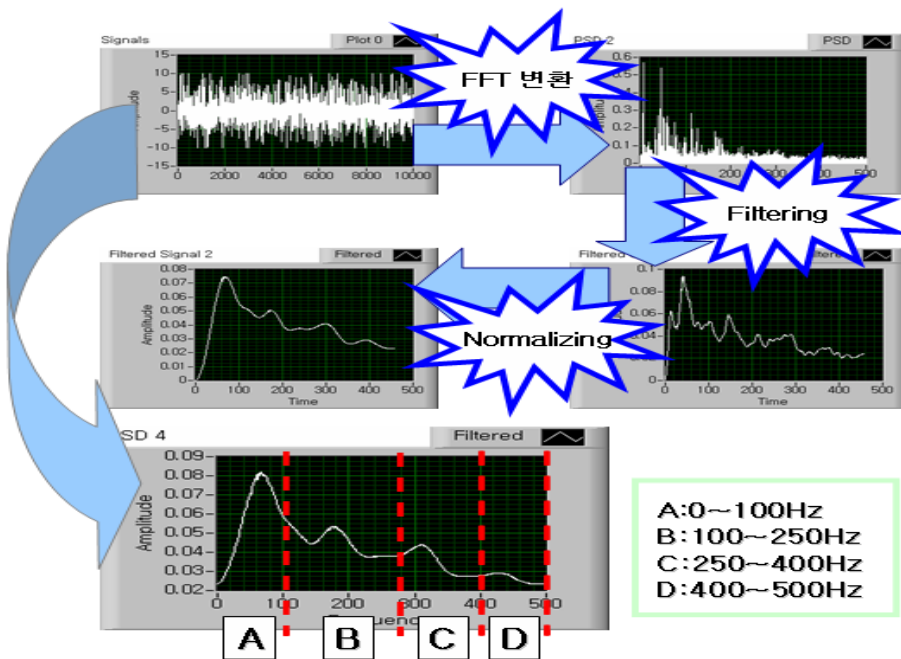


Fig. 1.10 Analysis of vibration signal

라. 센서 신호의 보정

모형 실험 및 실제 콤파인 작업 실험을 하기 전에 센서들은 각각의 특징에

따라 교정되었으며, 콤바인의 작업 조건을 고려하여 측정된 센서의 신호를 분석하였다. 센서의 성능 분석 결과는 그림 1.11에서 그림 1.14와 같이, 상관계수가 0.9 이상으로 높은 상관관계를 보여주고 있다.

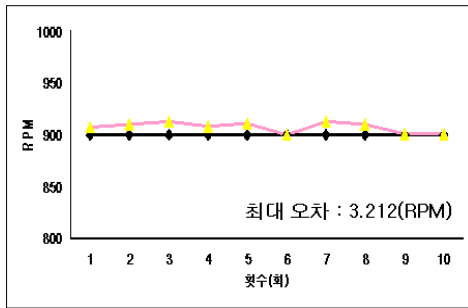


Fig. 1.11 Measured RPM by encoder

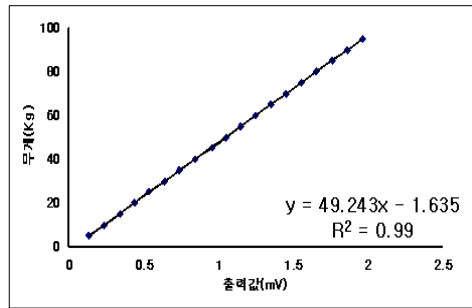


Fig. 1.12 Condition results of loadcell

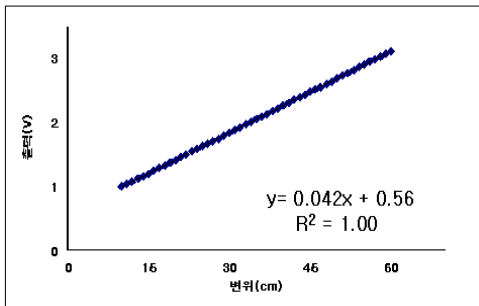


Fig. 1.13 Condition results of ultrasonic sensor

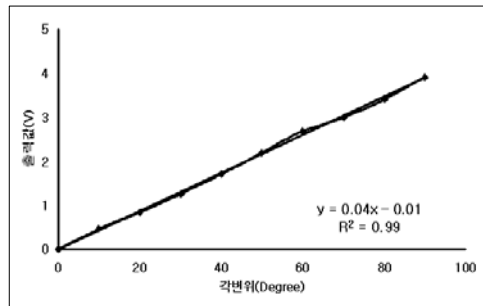


Fig. 1.14 Condition results of potentiometer

마. 칼날 모듈의 부하 신호 분석

칼날부의 상태에 따른 로드셀에 걸리는 인장력과 압축력을 평균하여 평균 부하를 측정된 결과 표 1.10과 같이 벚짚을 절삭하지 않은 상태의 평균 힘의 크기는 이격날, 마모축, 정상날, 파손날 순서로 측정되었으며, 벚짚을 절삭작업 하였을 때의 평균 부하는 파손날, 정상날, 마모축, 이격날 순서로 차이가 있는 것으로 나타났다. 칼날부의 상태에 따라 그 형태를 구별하기 어려운 것

으로 판단되었으며, 무부하시 평균 힘은 약 199N, 작물 절삭 시 평균힘은 약 522N의 부하가 걸리는 것으로 측정되었다.

Table 1.10 Load data by conditions of cutters and connector pin.

	Condition	
	No cutting(N)	Cutting(N)
Normal cutter	204.6	535.5
Loosened cutter	178.8	578.0
Broken cutter	218.5	415.3
Weared connector pin	193.2	559.5
Avg.	198.78	522.08

바. 칼날 모듈의 진동 신호 분석

가속도 센서의 장착위치 선정은 진동 신호 분석에 큰 영향을 미치므로 정확한 진동 신호를 측정하기 위해서는 진단 신호와 가까운 위치에 가속도 센서를 장착해야 한다(남진숙, 2003). 그러므로 수확작업 시 작물이 유입되는 예취부 입구의 구동날과 고정날 표면에 대하여 그림 1.15와 같이 공회전 시 위치에 따른 주파수 스펙트럼의 첨도(Kurtosis)를 계산하여 최종 선정하였다. 첨도는 스펙트럼의 뾰족함을 나타내는 지표로 식 (1.9)와 같이 계산되며, 주파수 영역에서 첨도의 크기는 특정 주파수 영역에 대한 가중치가 크다는 것을 의미한다.

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^4}{[\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2]^2} - 3 \dots\dots\dots (\text{식 1.9})$$

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.

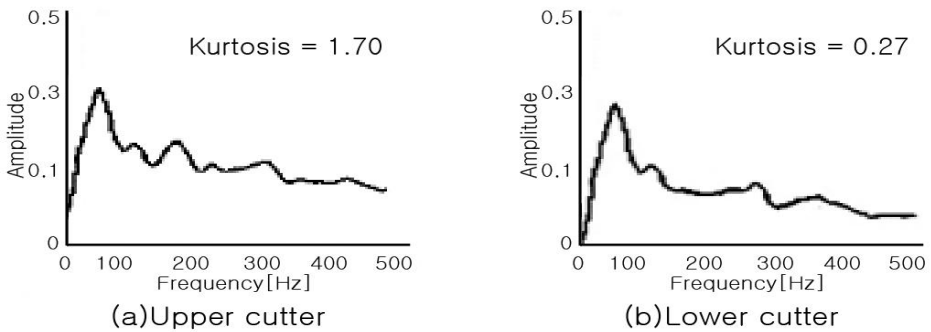


Fig. 1.15 FFT spectrum by position of accelerometer

벗짚을 절삭하지 않는 상태에서의 정상 칼날, 이격 칼날, 파손 칼날과 정상 구동축 및 마모 축에 대한 진동 분석 결과는 그림 1.16과 같다. 정상 칼날은 50 Hz, 120 Hz, 250 Hz, 400 Hz의 주파수 영역에서 최대 피크(Peak)가 집중되어 나타났다. 이격 칼날은 칼날과 날누르게 사이에 공차로 인하여 100 Hz 이하 영역과 450 Hz 영역에서 주파수 피크가 검출되었다. 파손 칼날은 100

Hz 이하 영역과 350 Hz 영역 부근에서 최대 피크가 나타났으며, 이것은 칼날 부의 질량변화에 따른 마찰이 감소되었기 때문으로 판단된다. 또한 마모축의 최대 피크는 50 Hz, 300 Hz, 500 Hz 영역 부근에서 발생했으며, 커넥터 핀의 마모로 칼날 구동부의 운동 반경이 증가하여 날누르게와 구동 연결부가 충돌하였기 때문으로 판단된다. 절삭 작업 시 정상 칼날, 이격 칼날, 파손 칼날과 정상 구동축 및 마모 축에 대한 주파수 분석 결과 그림 1.17과 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 영역의 피크값에는 크게 영향을 미치지 못했기 때문으로 판단된다.

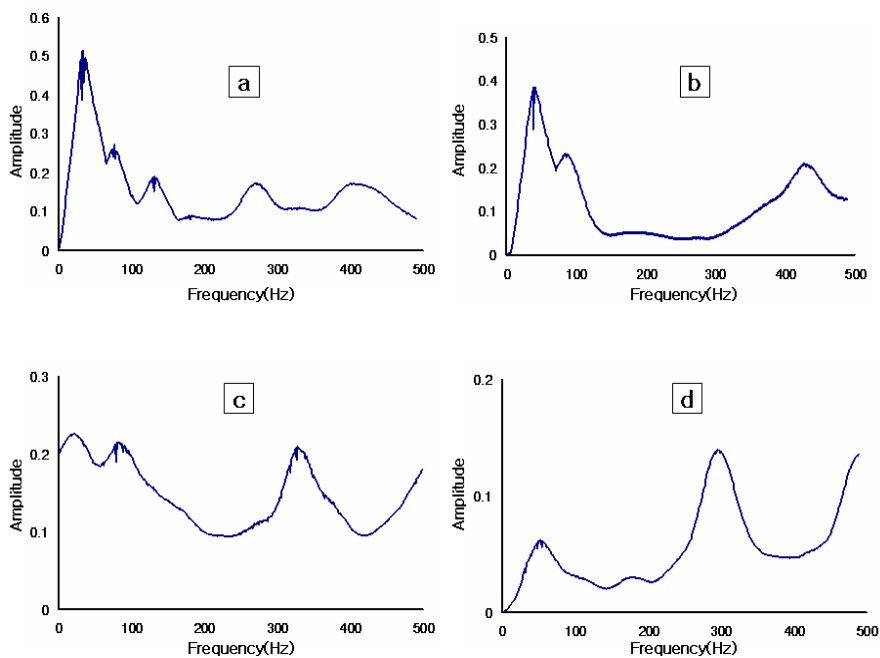


Fig. 1.16 Results of cutting bar vibration without rice cutting operation
 (a : normal b : loosened c : broken d : cutter with worn-pin)

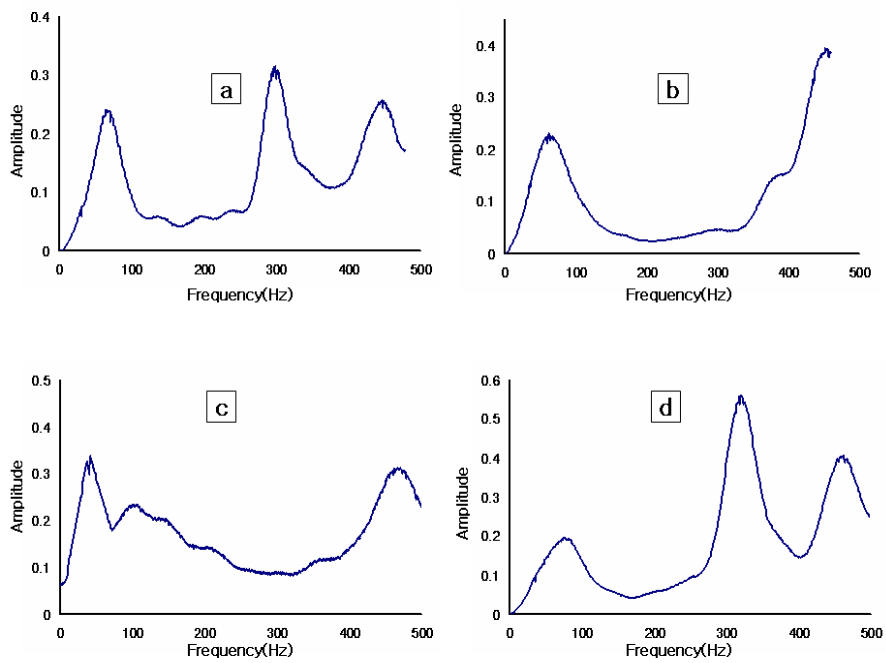


Fig. 1.17 Results of cutting bar vibration with rice cutting operation
 (a : normal b : loosened c : broken d : cutter with weared-pin)

진동신호의 경우 표 1.11과 같이 절삭 작업을 하지 않았을 때와 절삭 시 주파수 피크 출현 영역대와 최대 주파수 출현 영역대를 비교하면 어느 정도 칼날의 형태에 따른 특성 분석이 가능하다.

Table 1.11 Vibration maximum peak by cutter condition.

Operation	Condition	Frequency range of peak			
		0~100Hz (A)	100~250Hz (B)	250~400Hz (C)	400~500Hz (D)
No cutting	Normal				
	Loosened				
	Broken				
	Weared pin				
Cutting	Normal				
	Loosened				
	Broken				
	Weared pin				

1.1.4. 센서의 신호변환을 위한 인터페이스 개발

센서의 신호변환을 위한 인터페이스는 고장진단 시스템을 구성하기에 앞서 센서의 성능 및 고장진단 가능성을 판단하기 위하여 다양한 종류의 센서에 대한 인터페이스가 가능하도록 구성하였다. 각 센서로 입력되는 신호와 작동부의 제어신호를 위한 자료수집 및 제어장치는 National Instruments SCXI(Signal Conditioning eXtensions for Instrumentation) 계열의 I/O 인터페이스와 신호조정기를 이용하여 개발하였다. 자료수집 및 제어장치는 I/O 인터페이스를 포함하여 4개의 신호조정기를 장착할 수 있는 별도의 체이스로 구성되어 있으며 배터리로서 전원을 공급할 수 있어 포장에서 사용하기 용이하다. 표 1.12는 사용된 I/O 인터페이스의 사양을 나타내고 있다. I/O 인터페이스는 마이크로컴퓨터의 병렬 포트에 연결되어 20k 샘플을 전송할 수 있으며, 아날로그 입력 및 출력, 디지털 입력 및 출력, 카운터 등의 기능을 가지고 있다. 자료 수집 및 제어장치에는 자료의 입출력을 위한 I/O 인터페이스는 물

론, 고장 진단을 할 수 있는 각 센서의 입력 신호를 처리하기 위하여 별도의 증폭기가 장착된 8 채널의 아날로그 신호조정기, 근접센서와 엔코더 신호 입력을 위한 32 채널의 디지털 출력변환기, 작동부의 제어상태를 감지하기 위한 32 채널의 디지털 입력변환기를 사용하였다. 자료수집 및 제어장치의 작동프로그램은 Graphical 프로그램인 Labview(Version 7.1, National Instrument, USA)로 작성하였다.

Table 1.12 Specifications of SCXI interface module.

Specifications		Range
Analog input	Number of channels	8 single-ended, 4 differential
	Resolution	12 bits
	Sampling rate	20KS/s in SPP mode
	Module gain	1, 2, 5, 10, 20, 50 and 100
	Module range	0~10V, ±5V
Analog output	Number of channels	2 voltages
	Resolution	12 bits, 1 in 4,096
	Maximum update rate	1KS/s in SPP mode
	Data transfers	interrupts, programmed I/O
Digital I/O	Number of channels	8 I/O, 7 input, and 5 output
	Compatibility	TTL
	Data transfers	Programmed I/O, interrupts
Counter/Timers	Number of channels	3 counter/timers
	Resolution counter/timers	16 bits
	Compatibility	TTL

1.2 고장진단 센서 시스템의 성능 분석 및 측정모듈 개발

1.2.1. 고장진단 센서의 작동상태 감지 모듈 개발 및 작동 성능 분석

각 센서들의 성능을 분석하기 위하여 2005년 10월경 성균관대학교 부지인 논 포장에서 길이 20m의 수확작업을 수행하며 예취부에 장착된 센서의 신호를 측정하였으며 신호의 정확성을 분석하기 위하여 콤바인 메뉴얼의 정상상태 기준 값과 비교 하였다. 이때 콤바인의 주행속도는 표준 3단으로 고정하였으며 수확 시 벼의 함수율은 40~50%로 나타났다. 포장에서 수확작업 시 정상적으로 작동되는 콤바인의 기준값과 센서의 측정결과는 표 1.13과 같다. 엔진, 미션, 칼날 구동부 회전수의 평균값은 각각 2,780rpm, 980rpm, 326rpm으로 측정되었으며 주행속도 및 러그수의 평균값은 각각 0.8m/s, 10개로 측정되어 센서들이 콤바인의 작동상태 감지가 가능함을 보여주고 있다.

Table 1.13 Standard values and the measurement values during combine harvesting.

Item	Standard	Measurements			
		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
러그의 개수(개)	10	10	10	10	0.5

주행 시 근접센서를 이용하여 그림 1.18과 같이 인기러그의 상태를 실시간 감지가 가능하였고 그림 1.19와 같이 서미스터를 이용하여 유압의 온도를 측정한 결과 42.6~44.7°C의 비교적 안정된 온도 변화를 보이고 있다.

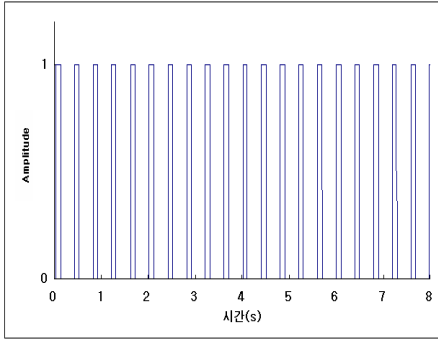


Fig. 1.18 Condition of rug by proximity sensor

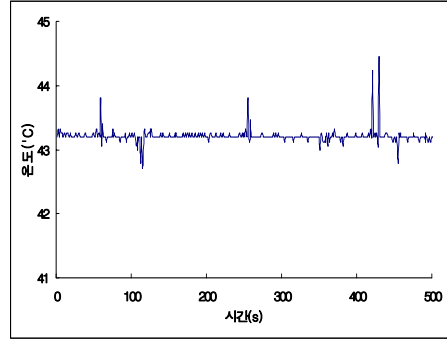


Fig. 1.19 Hydraulic oil temperature by thermistor

콤바인의 주행 시 초음파 센서를 이용하여 예취부와 포장과의 거리를 측정 한 결과 그림 1.20과 같이 포장의 상태에 따라 예취부의 높이가 다르게 나타나고 있으며 포텐쇼미터를 이용하여 예취부 축의 이동 각 변화를 예취부 높이로 환산하여 측정 한 결과 그림 1.21과 같이 주행 시 진동에 의하여 이동 각의 오차가 발생하여 향후 예취부 보호를 위하여 초음파 센서와 포텐쇼미터의 측정값을 상호 보완하는 것이 필요함을 알 수 있다.

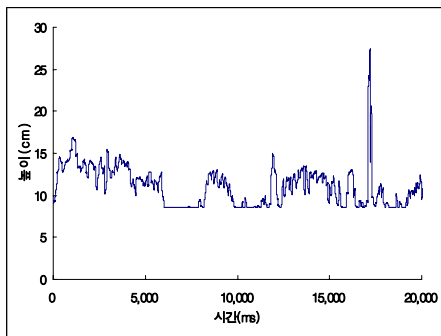


Fig. 1.20 Height of header by ultrasonic sensor

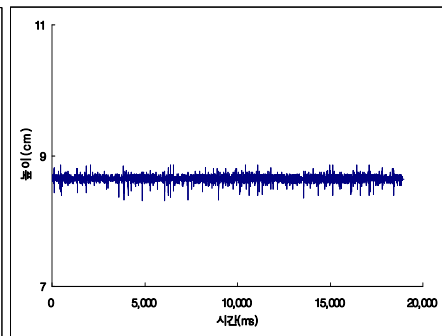


Fig. 1.21 Height of header by potentiometer

로드셀을 이용하여 콤바인 주행 시와 수확작업 시 칼날축의 부하를 측정 한 결과 그림 1.22와 같이 주행 중 로드셀의 출력 신호 값은 약 $-0.02 \sim +0.02\text{mV}$ 로 전체 힘의 크기가 약 200N 으로 측정되었고, 수확작업 중 출력 신호의 평균값은 대략 $-0.2 \sim +0.3\text{mV}$ 로 1.3kN 이 측정되어 수확작업 중 큰 하중이 칼날축에 작용되고 있음을 알 수 있다.

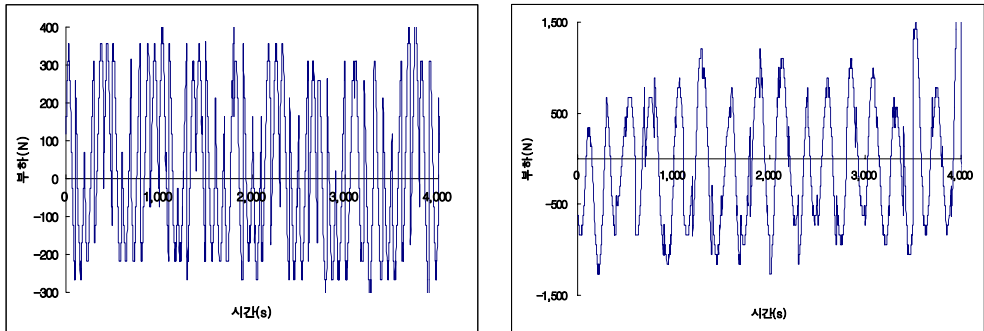


Fig. 1.22 Load of pitman-arm using loadcell(left : unload, right : load)

그림 1.22는 가속도 센서를 이용하여 콤바인 주행 시와 수확작업 시의 진동 신호를 측정하고 FFT 변환, 필터 처리와 평활화한 결과이다. 진동 신호는 주행 중 무부하 상태에서 50Hz , 200Hz , 300Hz 와 400Hz 영역에서 피크 값이 측정되었고 수확작업 중에는 50Hz 와 300Hz 영역에서 주파수 피크 값이 측정되었다.

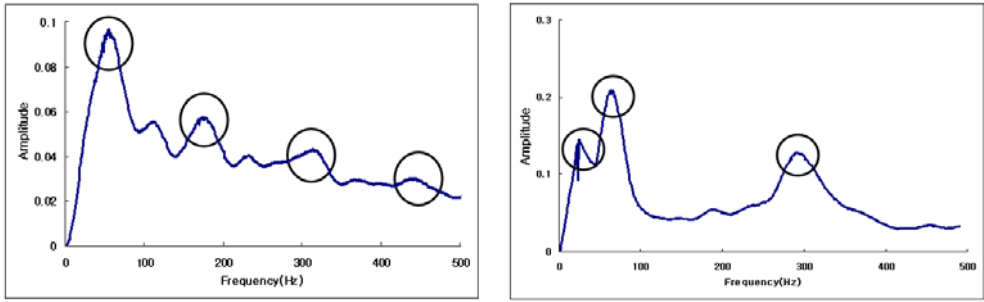


Fig. 1.23 FFT analysis of combine knife vibration (left : unload, right : load)

1.2.2. 인터페이스 제어 알고리즘 개발

고장진단 시스템의 센서 신호는 그림 1.24와 같이 I/O 인터페이스 모듈을 통하여 각각의 신호에 적합한 신호처리 방법을 이용하여 측정하였고 PXI-embedded system을 이용하여 측정된 센서 신호를 취합하였다.

콤바인의 주행속도는 예취작물의 절삭 및 반송에 영향을 미치므로 수확작업 시 콤바인의 주행속도를 측정하였으며, 콤바인 궤도의 회전수를 엔코더를 이용하여 Counter/Timer 모듈인 PXI-6602로 회전각에 따른 펄스를 계산하는 방식으로 콤바인의 주행속도를 측정하였다.

수확작업 시 예취부를 보호하기 위하여 아날로그 신호 입력모듈인 SCXI-1121로 초음파 센서와 포텐쇼미터의 신호를 측정하였다. 이때 초음파 센서는 예취부와 포장과의 상관관계를 측정하였으며 포텐쇼미터는 예취부 축의 이동각을 측정하여 실시간 예취부의 높이를 측정하였다.

인기러그의 상태를 측정하기 위하여 디지털 입력 모듈인 SCXI-1162로 하나의 러그에 대하여 각각 2개의 근접센서를 사용하였으며 러그 끝쪽의 센서 신호가 나오지 않는 경우에 대해서는 인기 러그의 마모로 간주하였고 2개의 센서 신호가 동시에 나오지 않는 경우에 대해서만 인기러그의 파손으로 측정하였다.

근접센서와 포터센서로 반송 및 이송부의 동력전달 상태를 감지하기 위하여 자체적으로 Counter/Timer를 내장하고 있는 PXI-6602를 이용하여 각각의 축에 대해 회전수를 측정하여 예취부 동력전달 벨트의 이상 유·무를 판단하였다.

콤바인 수확작업 중 탈곡깊이는 자체적으로 부착하고 있는 탈곡깊이 조절 센서(밑 감지, 줄기 감지, 이삭 감지 센서)에 의하여 자동으로 조정되므로 각각의 센서에 ON/OFF 센서를 부착하여 탈곡깊이를 예측하였고 이때 탈곡깊이를 일정하게 유지하기 위하여 탈곡깊이 자동조절장치를 사용하지 않았다.

절단부의 경우 아날로그 입력 모듈인 SCXI-1121을 이용하여 로드셀 신호를 측정하였으며 측정된 인장력과 압축력의 크기에 따라 수확작업 상태를 판단하였고 절단부의 이상상태로 인한 진동을 측정하기 위하여 가속도 센서 모듈인 SCXI-1530으로 시간에 대한 진동의 크기를 측정하였다. 측정된 진동 신호는 칼날 모듈 실험과 동일한 방법으로 고속 푸리에 변환을 통한 주파수 스펙트럼 분석을 사용하여 각각의 칼날 상태에 대한 진동 특성을 구명하였고 콤바인 수확작업 시 발생하는 진동에 따른 노이즈를 제거하기 위하여 필터와 전처리 기법인 평활화를 이용하였다.

유압의 온도 측정은 자체적으로 정전류 공급이 가능한 SCXI-1121 모듈을 이용하여 서미스터의 저항변화를 온도변화로 측정하였으며 큰 온도 변화가 발생하는 경우 경고음을 발생하도록 제작하였다.

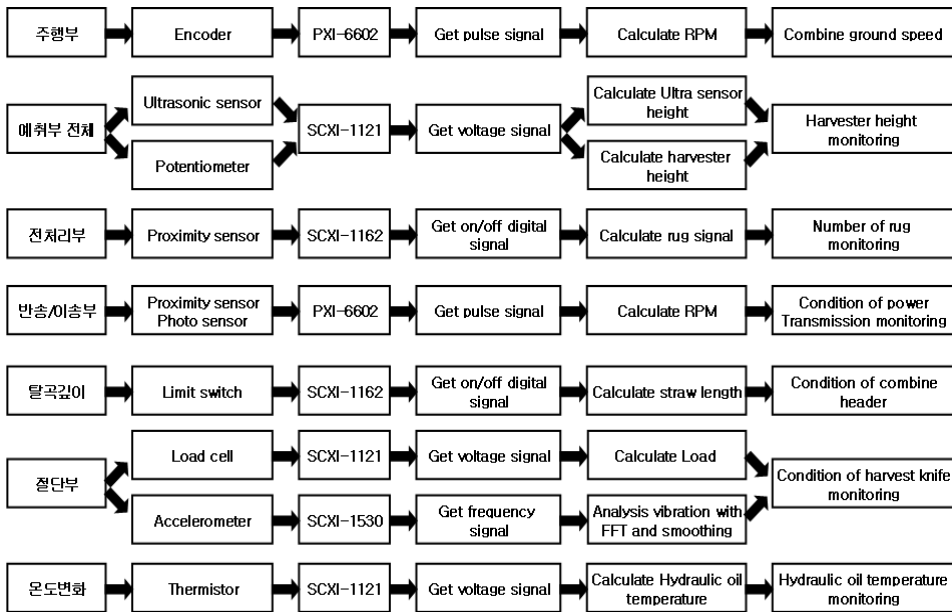


Fig. 1.24 Flowchart of sensor signal for combine header diagnoses

1.2.3. 측정모듈의 제작 및 측정 프로그램 개발

고장진단 센서 신호의 측정은 표 1.14와 같이 National Instrument사의 신호처리 보드인 SCXI(Signal Conditioning eXtensions for Instrumentation) 계열의 I/O 인터페이스 모듈을 사용하는 PXI(PCI eXtensions for Instrumentation) 계열의 임베디드 시스템을 이용하여 개발하였다. 초음파 센서, 포텐쇼미터와 서미스터의 신호를 측정하기 위해 사용된 SCXI-1121 아날로그 입력 모듈은 별도의 증폭기와 저역통과 필터가 내장되어 수확작업 시 진동 신호에 대한 노이즈 제거가 가능하며 자체적으로 정전압과 정전류 전원을 가지고 있어 서미스터, 측온저항체 등의 온도 센서 측정에 용이한 장점이 있다. 가속도 센서의 진동 신호 측정을 위하여 사용된 SCXI-1530 가속도 센서 모듈은 자체적으로 4mA의 전원을 가지고 있으며 Bessel 필터를 내장하고 있어 미세한 칼날 상태 변화에 대한 정확한 진동 신호의 측정이 가능하다. 근

접센서의 On/Off 디지털 신호는 SCXI-1162 디지털 입력 모듈을 이용하여 측정하였으며 최대 42채널의 디지털 신호 입력이 가능하다. 반송 및 이송부의 고속의 회전속도를 측정하기 위하여 사용된 PXI-6602는 32비트 카운터/타이머 모듈로 자체적으로 최대 80MHz의 주파수 신호를 내보낼 수 있어 고속의 회전체의 정확한 측정이 가능하다.

I/O 인터페이스 모듈에 의하여 측정된 각각의 센서 신호를 취합하기 위해 사용된 PXI-6040E 데이터 획득보드는 아날로그 16채널, 디지털 8채널의 입력 채널을 가지고 있으며 최대 500KS/s3 의 샘플링이 가능하여 여러 센서들의 신호를 동시에 획득하여 처리할 수 있다.

Table 1.14 Specification of PXI-embedded control module.

	Module	Channels	Description
PXI-Embedded System	PXI-8185	Control Board	1.2GHz Celeron processor 512MB SDRAM Internal PXI trigger bus 10/100 Base TX fast ethernet USB/RS-232 Serial
	PXI-6040 E	16 Single ended input 8 Digital input 2 Analog output	12 bits resolution $\pm 10V$ Input Range 500KS/s ³ Sampling rate 1MS/s Output rate
	PXI-6602	8channels counter/timer	32bit counter/timer 80MHz max. source frequency
I/O Interface	SCXI-112 1	4 isolated input 4 isolated excitation	1 to 2000 Programmable gain 4Hz, 10KHz lowpass filter 3.33V, 10V excitation 0.15mA, 0.45mA excitation
	SCXI-153 0	4 single ended input	1 to 100 Programmable gain 4 mA excitation Programmable lowpass bessel filter(2.5, 5, 10 and 20kHz) $\pm 50mA$ to $\pm 5V$ Accelerometer
	SCXI-116 2	32chanel medium voltage TTL/CMOS digital input	Isolated digital input TTL/CMOS input

PXI-8185 컨트롤 보드는 각각의 측정된 센서 신호에 대하여 1.2GHz의 Celeron processor, 512MB SDRAM과 PXI-Bus를 이용하여 고속의 신호처리가 가능하며 USB통신과 시리얼 통신 등을 이용하여 외부와의 통신이 가능하다.

고장진단 시스템의 센서 신호 수집 및 제어를 위한 프로그램은 LabVIEW 7.1 (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)을 이용하여 개발하였다. LabVIEW는 다른 프로그래밍 시스템들이 코드를 생성하기 위하여 텍스트 기반의 언어를 사용하는데 반하여 여러 가지 문법적인 사항들을 없애고 블록 다이어그램이라 불리는 흐름도를 사용하여 프로그램을 생성할 수 있으며 모양이나 작동이 실제의 계측 장치와 매우 유사한 장점이 있다. 또한 대화식의 사용자 인터페이스와 소스 코드를 가지고 있으며 그들 사이에 데이터를 주고받을 수 있는 프론트 패널(Front Panel), 블록 다이어그램 (Block Diagram), 아이콘과 커넥터 (Icon and Connect)로 구성되어 진다.

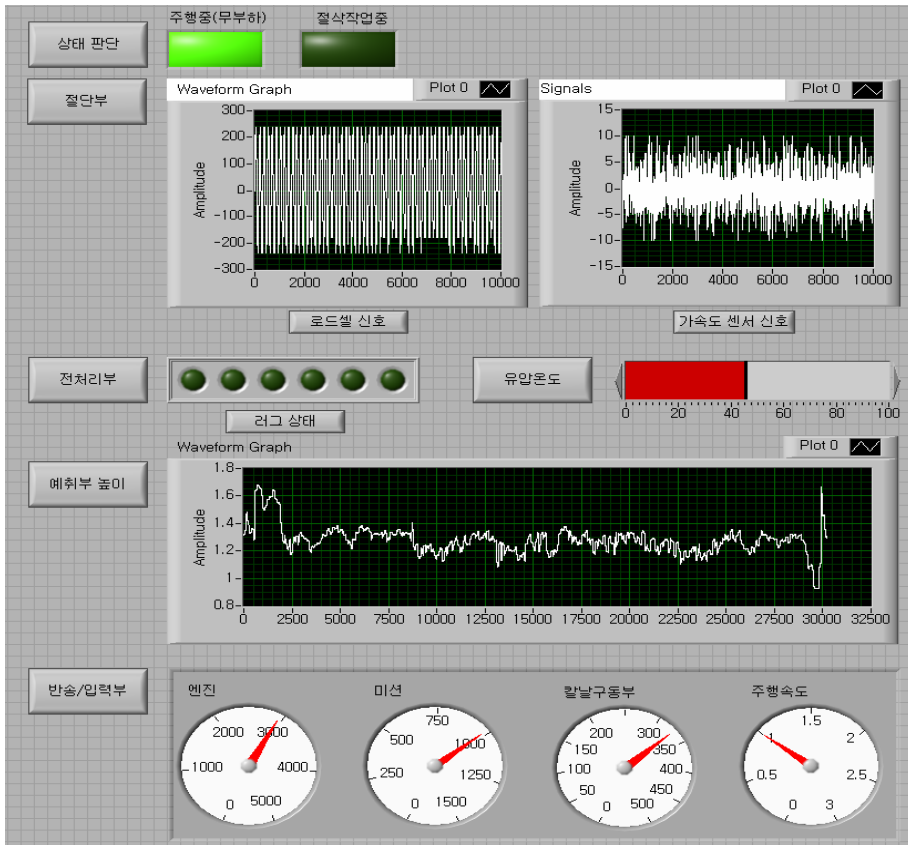


Fig. 1.25 Control program for combine header diagnosis

그림 1.25는 고장진단 시스템의 프론트 패널로 주행 상태와 예취 상태에 대한 감지와 절단부의 로드셀 신호와 가속도 센서의 신호를 측정하여 FFT 분석으로 칼날의 실시간 상태 변화에 대한 측정이 가능하다. 또한 수확작업 시 러그의 수 및 유압 온도의 변화에 대한 측정이 가능하고 예취부 자체 보호를 위하여 실시간 예취부의 높이를 측정하여 일정 높이 이하로 내려가면 경고음을 발생하도록 하였고 엔진부, 미션부, 칼날 구동부 및 콤바인의 실제 주행속도를 통하여 예취부의 동력전달 상태를 측정하여 동력전달 장치의 이상 유·무에 대한 판단이 가능하도록 설계하였다.

1.2.4. 측정 모듈의 성능 검증 및 평가

가. 진동에 따른 센서의 성능 실험

고장 진단 시스템에 장착된 대부분의 센서들은 외부 환경 조건에 영향을 받으며 특히 콤팩트 진동은 센서 신호의 정확도에 영향을 미쳐 고장 진단 시 오작동을 유발하게 된다. 특히, 광학적 엔코더, 광센서, 초음파 센서, 근접 센서 등의 비접촉 센서는 진동에 민감하므로 콤팩트 진동에 대한 성능 분석이 필요하다. 본 연구에서는 콤팩트 주행 시 진동이 각각의 센서에 미치는 영향을 구명하기 위하여 공회전 시의 센서 신호와 콤팩트 수확작업 시 센서 신호를 측정하여 비교하였다. 실험은 기존 실험과 동일한 방법으로 성균관대학교 논 포장에서 콤팩트 변속을 표준 3단으로 하여 길이 20 m의 논 포장을 주행하여 각각의 센서 신호를 저장하는 방식으로 2005년 10월경 2차 실험을 수행하였다.

나. 통계적 분석 방법

고장 진단 센서의 진동에 따른 영향을 구명하기 위하여 공회전 시와 수확작업 시 측정된 센서 신호에 대해 기술통계를 수행하였으며, 가속도 센서의 경우 진동 신호는 주파수 분석을 통한 무부하 시와 수확작업 시의 분류가 가능하고 로드셀의 부하신호도 구분이 가능하므로 본 실험에서는 제외하였다. 기술통계는 자료수집, 자료정리, 자료의 해석의 과정을 통하여 모집단의 특성을 규명하는 방법과 표본에서 얻은 통계량을 기초로 해서 모집단의 특성을 추론하는 방법으로 센서 신호의 특성을 하나의 수치로 나타낼 수 있는 장점이 있다. 기술통계는 통계분석 전용 소프트웨어인 SAS(Version 9.1, SAS Institute)를 사용하여 분석하였으며, 각각의 센서 신호에 대한 입력 변수는 통계분석 시간 및 고장 진단 주기를 고려하여 측정된 신호에 대한 중앙값을 추출하여 분석에 이용하였다.

다. 진동에 따른 센서의 성능 평가

공회전 시와 수확작업 시의 센서 신호를 기술통계로 분석하여 표 1.15와 같이 나타내었다. 엔진의 회전속도는 2,991 rpm 으로 표준 3단에서 동일한 평균값을 보이고 있으나, 표준편차는 공회전 시 36.02 rpm, 수확작업 시 59.92 rpm으로 나타났으며, 산포도는 각각 1.20, 2.00으로 수확작업 시 포장에서의 주행에 따른 진동 증가로 포토센서의 오차가 증가함을 알 수 있었다. 미션 회전속도의 평균값은 공회전 시 931 rpm, 수확작업 시 934 rpm으로 유사한 범위를 보이고 있으며, 콤바인 주행 시 포장에 따른 진동 증가로 자성체를 중복 검출하여 표준편차는 각각 48.01 rpm, 71.66 rpm 으로 나타났으며, 산포도는 5.16, 7.67 로 센서의 측정 신호가 진동의 많은 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

Table 1.15 Statistical analysis of sensors for combine header diagnosis.

Variable	Condition	N	Mean	Std Deviation	Coeff Variation
엔진 회전 속도(RPM)	공회전	100	2,991	36.02	1.20
	수확작업	100	2,991	59.92	2.00
미션 회전 속도(RPM)	공회전	100	931	48.01	5.16
	수확작업	100	934	71.66	7.67
예취구동부 회전속도(RPM)	공회전	100	331	1.59	0.48
	수확작업	100	331	2.39	0.72
주행속도 (m/s)	공회전	100	0.81	0.10	12.35
	수확작업	100	0.81	0.12	14.81
러그검출속도 (RPM)	공회전	100	17.50	0.55	3.14
	수확작업	100	17.49	0.59	3.37
예취높이(cm)	공회전	100	8.64	1.41	16.32
	수확작업	100	8.63	1.84	21.32
유압온도(℃)	공회전	100	43.22	0.04	0.09
	수확작업	100	43.22	0.04	0.09

공회전 시와 수확작업 시 예취구동부의 평균 회전속도는 331 rpm으로 표준편차는 1.59 rpm, 2.39 rpm, 산포도는 0.48, 0.72로 측정되었으며, 주행속도는 0.81 m/s로 표준편차는 각각 0.10 m/s, 0.12 m/s, 산포도는 각각 12.35, 14.81로 측정되어 수확작업 시 오차가 다소 높게 측정되었다. 예취구동부와 주행속도의 측정 시 사용한 엔코더는 진동에 의하여 오차가 증가하는 현상을 보이고 있으나, 엔코더의 중심축 및 고정축의 설치에 따라 측정 오차를 줄일 수 있으므로 엔코더 설치 시 기구부의 보정이 필요하다. 러그의 검출속도 측정을 위하여 사용한 근접센서는 센서와 검출부와의 검출거리를 작게 하여 공회전 시와 수확작업 시 평균 검출 속도는 각각 17.50 rpm, 17.49 rpm 으로 측정되었으며, 표준편차는 각각 0.55 rpm, 0.59 rpm, 산포도는 각각 3.14, 3.37로 유

사한 측정 범위를 보이고 있다. 초음파 센서를 이용한 예취높이의 측정은 예취부의 높이를 약 8 cm로 하여 측정하였으며, 측정결과 예취부 높이의 평균값은 공회전과 수확작업 시 각각 8.64 cm, 8.63 cm로 유사하게 측정되었고 표준편차는 각각 1.41 cm, 1.84 cm로 산포도는 1.62, 21.32로 수확작업 시 먼지 등에 의하여 러그 속도의 검출 시 오차가 증가하는 것을 알 수 있다. 서미스터를 이용한 유압온도를 측정한 결과 유압온도는 동일한 온도 범위를 보여 공회전 시와 수확작업 시 평균 43.22 °C로 측정되었으며, 표준편차와 산포도도 각각 0.04 °C, 0.09로 동일한 온도 분포를 보여주고 있다.

라. 부하 신호 분석

고장진단 측정 모듈의 성능을 평가하기 위하여 2005년 11월경 길이 30m의 논 포장에서 3차 실험으로 칼날과 카터로드 커넥터 핀에 대해 수확작업을 수행하여 예취부에 장착된 센서의 신호를 측정하였다. 이때 각각의 칼날과 커넥터 로드는 절단부의 이상 상태에 대한 진동 및 부하의 특징을 구명하기 위하여 칼날 모듈 실험과 동일한 방법으로 칼날과 날누르개의 마찰로 발생하는 마모/이격날, 수확작업 중 이물질 등의 외부 충격으로 칼날이 부러지는 파손날과 칼날부와 칼날 구동부를 연결해 주는 커넥터 핀의 마모로 인한 마모축으로 구성하였다.

Table 1.16 Distribution of load by cutter condition.

Operation	Cutter	Load(N)												
		250	300	350	400	450	500	~	1000	1200	1400	1600	1800	2000
No cutting	Normal													
	Interval													
	Broken													
	Weared													
Cutting	Normal													
	Interval													
	Broken													
	Weared													

표 1.16은 로드셀을 이용하여 콤팩트 주행 시와 수확작업 시 칼날축의 부하를 칼날의 형태 별로 측정된 결과이다. 주행 중 로드셀의 전체 힘의 크기가 약 500N 이하로 측정되었고, 수확작업 중 출력 신호의 평균값은 1.0 kN 이상으로 측정되어 수확작업 중 큰 하중이 칼날 축에 작용되며 로드셀의 부하 신호만으로는 칼날의 형태를 정확히 구별하기 어려우나, 콤팩트의 작업 상태를 파악 할 수 있음을 알 수 있었다.

마. 진동 신호 특성

주행 시 절삭 작업을 하지 않는 상태에서의 정상 칼날, 이격 칼날, 파손 칼날과 정상 구동축 및 마모 축에 대한 진동 분석 결과는 그림 1.26과 같다. 정상 칼날은 50 Hz, 120 Hz, 300 Hz, 430 Hz 영역 부근에서 피크(Peak)가 집중되어 나타났으며 최대 피크는 100 Hz 이하 영역에서 나타났다. 이격 칼날은 칼날과 날누르게 사이에 공차로 인하여 100 Hz 이하 영역과 500 Hz 영역에서 피크가 검출되었으며 최대 피크는 100 Hz 이하에서 나타났다. 파손 칼날

은 100 Hz 이하 영역과 320Hz 영역 부근에서 피크가 나타났으며 최대 피크는 100 Hz 이하 영역에서 나타났는데, 이것은 칼날부의 질량변화에 따른 마찰이 감소되었기 때문으로 판단된다. 또한 마모축의 주파수 특성은 50 Hz, 300 Hz, 500 Hz 영역 부근에서 피크가 발생했으며 최대 주파수는 250~400 Hz 영역에서 나타났다. 이것은 커넥터 핀의 마모로 칼날 구동부의 운동 반경이 증가하여 날누르게와 구동 연결부가 충돌하였기 때문이라고 판단된다.

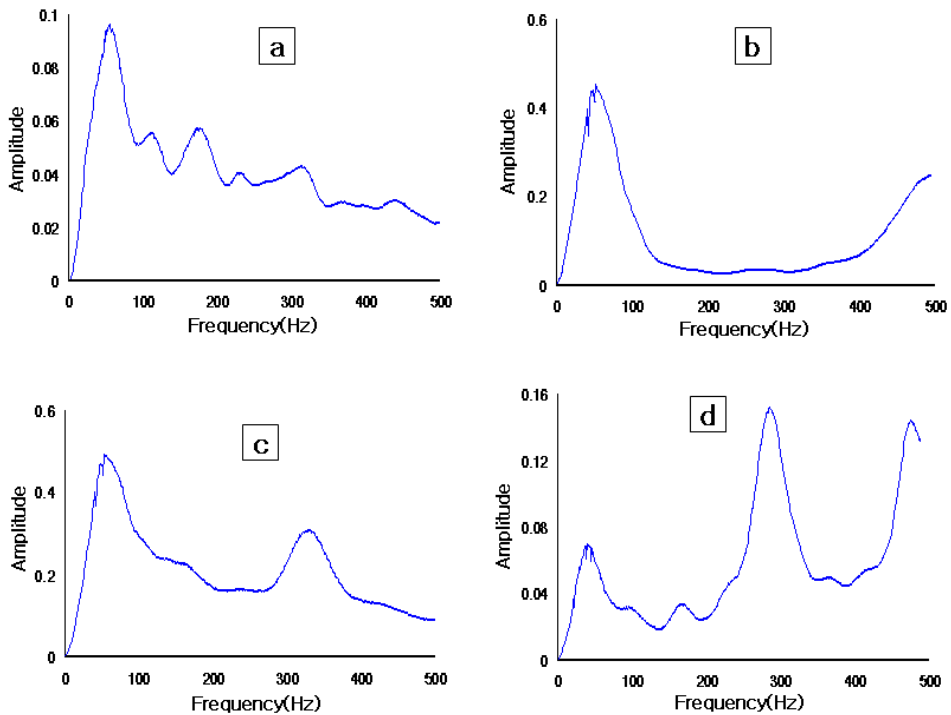


Fig. 1.26 Results of cutter vibration without rice cutting operation
 (a : normal b : loosened c : broken d : normal cutter with worned-pin)

절삭 작업 시의 정상 칼날, 이격 칼날, 파손 칼날과 정상 구동축 및 마모축에 대한 진동 분석 결과는 그림 1.27과 같으며 절삭 시 주파수 특성은 칼날 모듈의 실험 결과와 다소 차이가 있었다. 또한 주행 시의 결과와 비교 하면

마모/이격 날과 마모 축의 주파수 패턴은 유사하게 측정 되었으나, 정상 날의 피크는 50 Hz 와 300 Hz에서 나타났으며, 최대 피크는 100 Hz 이하 영역에서 나타났다. 또한 마모축의 주파수 특성은 50 Hz, 300 Hz 영역 부근에서 피크가 발생했으며 최대 피크는 250~400 Hz 영역에서 나타났다.

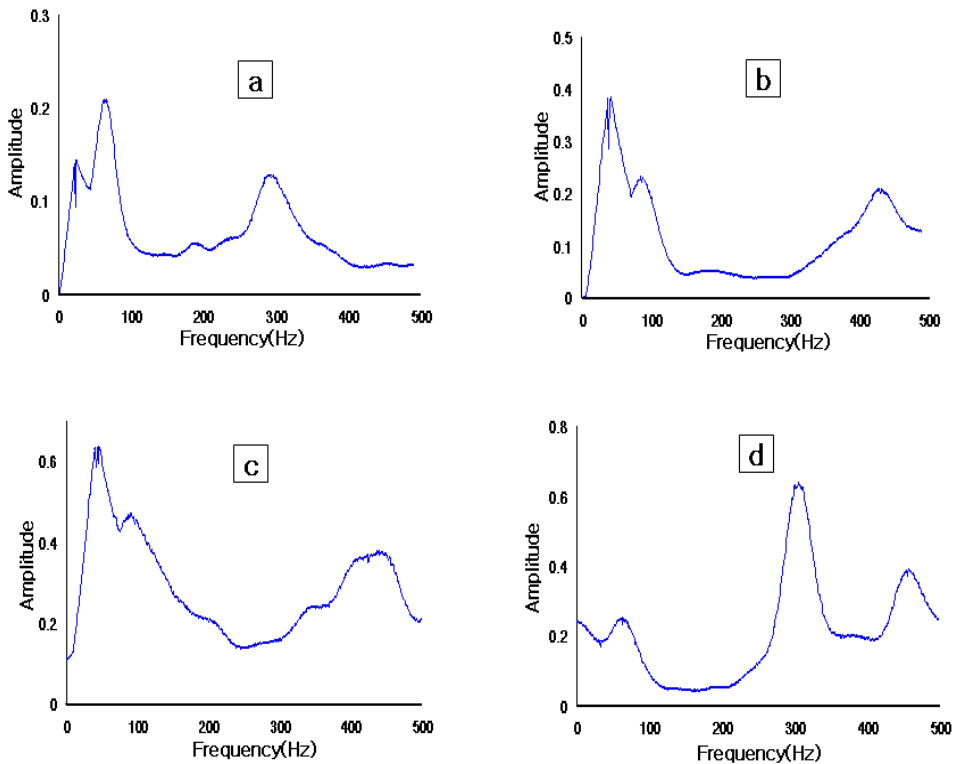


Fig. 1.27 Results of cutter vibration with rice cutting operationd
(a : normal b : loosened c : broken d : normal cutter with worn-pin)

콤바인의 주행 시와 절삭 시 진동 특성은 표 1.17과 같으며, 무부하시 파손 날과 마모축의 피크가 발생한 주파수 영역은 유사하지만 최대 피크가 나타난 영역은 다르게 나타났다. 절삭 시는 칼날 모듈과 다른 패턴이 나타나며 주행 시의 피크 발생 패턴과도 다르게 나타난다. 그러나 주행 시와 절삭 시 최대

피크 발생 영역은 동일하게 나타났다.

전체적인 절단부의 알고리즘은 그림 1.28과 같이 크게 로드셀의 부하 신호에 의하여 주행 중과 수확작업을 구별할 수 있으며 각각의 칼날 상태에 대한 판단은 가속도 센서의 진동 경향에 의하여 이루어진다. 또한 정상 칼날과 마모축의 진동 경향은 유사하므로 이를 구별하기 위하여 C구간(250~400Hz)에 대한 A구간(0~100Hz)의 피크 크기를 비교하여 절단부의 상태를 예측할 수 있다.

Table 1.17 Vibration maximum peak by cutting conditions.

Operation	Condition	Frequency range of peak			
		0~100Hz (A)	100~250Hz (B)	250~400Hz (C)	400~500Hz (D)
No cutting	Normal				
	Loosened				
	Broken				
	Wearied pin				
Cutting	Normal				
	Loosened				
	Broken				
	Wearied pin				

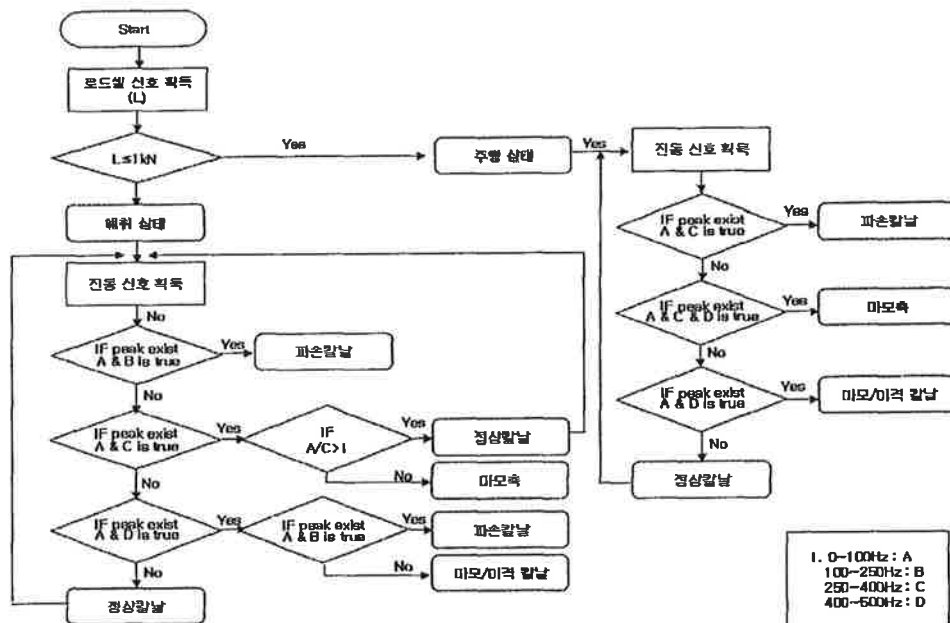


Fig. 1.28 Diagram of combine knife diagnoses

바. 실시간 반응 두께의 예측

콤바인 예취 구동부의 크랭크축(O)은 칼날의 운동 직선상에 위치하지 못하므로 그림 1.29와 같이 회전 운동을 편심 크랭크 연결봉(d)으로 전달하여 칼날의 왕복운동으로 작물을 절삭하게 된다. 이때, 칼날의 행정(S)은 식 (1.10)과 같이 나타낼 수 있으며 편심 거리(e)는 편심 크랭크 연결봉의 길이에 비하여 상당히 작으므로($e \approx 0$) 칼날의 절단속도는 식 (1.11)과 같이 계산할 수 있다 (정창주 등, 1997).

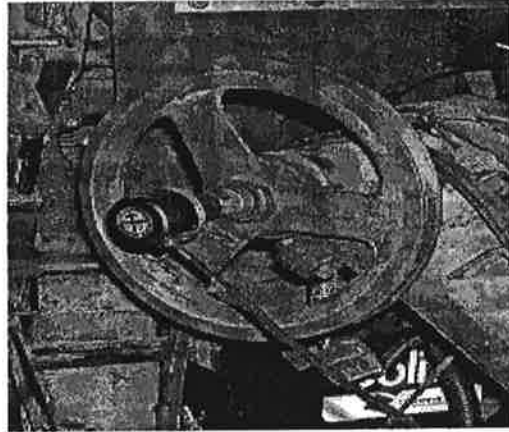


Fig. 1.29 Measurement of cutter speed.

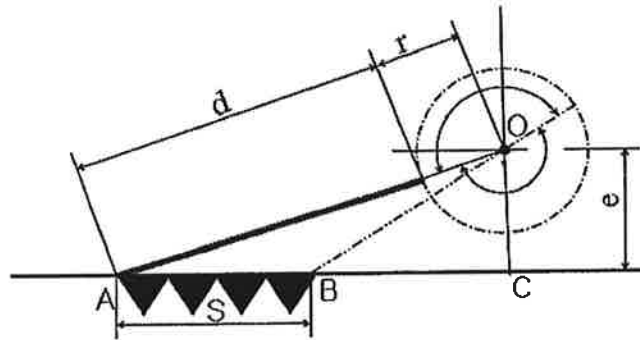


Fig. 1.30 Schematic of cutter system

$$S = AC - BC = \sqrt{(d+r)^2 - e^2} - \sqrt{(d-r)^2 - e^2} = 2r \dots \dots \dots (1.10)$$

$$V = \frac{2 \cdot S \cdot n}{60} = \frac{r \cdot n}{15} (m/s) \dots \dots \dots (1.11)$$

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

또한, 칼날의 절단속도는 크랭크축의 회전속도를 이용하여 측정하는 것이 일반적이나 실제 수확작업 시 고속의 칼날 작업 및 작물 등의 영향으로 인하

여 센서의 장착이 불가능 하므로 그림 1.30과 같이 예취 크랭크축과 동일한 회전 속도비(1:1)를 갖는 예취 구동부에 엔코더(E40S, Autonics, Korea)를 장착하여 칼날의 절단속도를 측정하였다. 반송 두께는 그림 1.31(Left)과 같이 예취되어 탈곡부로 반송되는 부분의 두께를 측정해야하나 수확작업 시에는 벼의 압축 상태, 함수율 등에 따라 정확한 측정이 불가능하므로 그림 1.31(Right)과 같이 탈곡부 입구에 길이 변화 측정이 가능한 포텐시오미터(L08, Autonics, Korea)를 장착하여 탈곡부 투입 두께를 측정하였다.

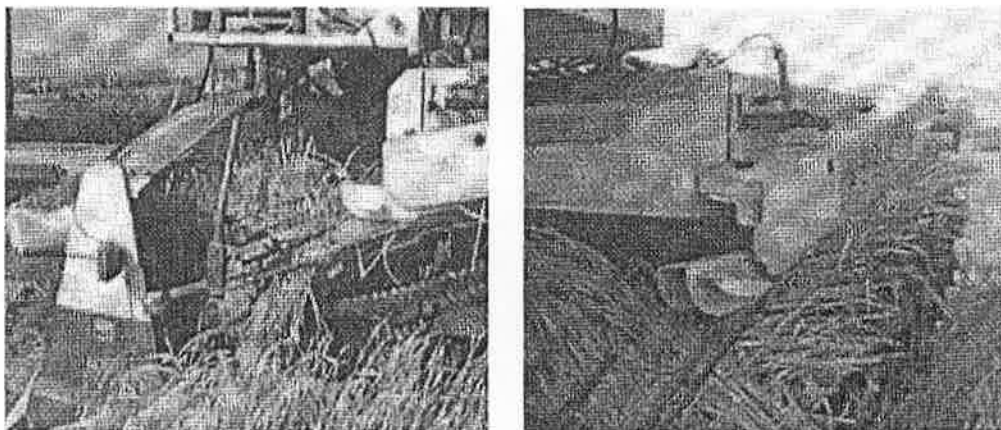


Fig. 1.31 Measurement of feeding(left) and threshing(right) depth.

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 1.32과 같이 벼의 함수율을 고려하여 측정하였으며, 수확작업을 정지하여 버니어캘리퍼스로 벼의 반송 두께를 측정 후, 제가동하여 포텐시오미터로 탈곡부 투입 두께를 측정하는 방법으로 상관관계를 계산하였다. 탈곡부 투입 두께는 탈곡 체인에 의한 압축으로 반송 두께 보다 작게 측정되었으며, 상관계수는 0.76으로 탈곡부 투입 두께를 이용하여 실시간 반송 두께의 예측이 가능함을 알 수 있다.

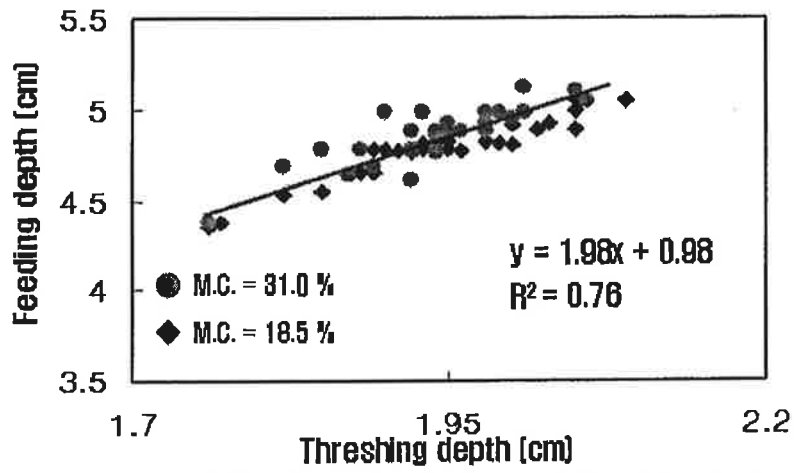


Fig. 1.32 Correlation for feeding and threshing depth.

탈곡통의 회전속도는 엔코더(E40S, Autonics, Korea)를 이용하였으며, 탈곡되어 나오는 작물 및 장애물 등에 의하여 탈곡통 구동축에 직접적인 부착이 불가능하므로 그림 1.33과 같이 탈곡통 구동축과의 속도비(2.75:1)를 이용하여 탈곡부 입력축에서 측정하였다.



Fig. 1.33 Measurement of cylinder speed.

2. 고장 정보 전송을 위한 네트워크 시스템 개발

2.1. 고장 정보 전송을 위한 임베디드 시스템 개발

2.1.1. 임베디드 시스템 하드웨어 설계

임베디드 시스템 하드웨어는 일반 컴퓨터와 같이 프로그램의 명령어를 처리하는 프로세서, 프로그램과 데이터를 저장하는 메모리, 시스템과 외부 장치(External Devices)들을 연결하는 주변장치로 구성된다. 임베디드 시스템이 컴퓨터와 다른 점은 컴퓨터는 범용이므로 다양한 종류의 주변장치와 비교적 큰 크기의 메모리 및 보조기억장치, 그리고 고성능의 프로세서를 탑재하지만, 임베디드 시스템은 응용 목적에서 필요로 하는 제한된 주변장치와 응용 프로그램을 저장할 수 있는 만큼만의 최소한의 메모리 및 최소한의 성능의 프로세서를 가진다. 특히 보조기억장치는 예외적으로 몇몇 시스템에서만 사용되는 것이 일반적이다. 임베디드 시스템에서 남는 메모리와 필요이상의 프로세서 파워는 낭비이며 설계 오류이다. 따라서 최적의 임베디드 시스템 하드웨어를 선정하기 위해서는 다음과 같은 장치를 고려해야 한다.

가. 프로세서

프로세서의 기능은 프로그램의 명령어를 메모리로부터 가져와서 (Fetch) 해석(Decode)하고 처리(Execute)하는 기능을 수행하며, 그 구조는 데이터부 (Datapath Unit)와 제어부 (Control Unit)로 양분할 수 있다. 임베디드 시스템의 제일 중요한 부분인 프로세서는 많은 반도체 회사에서 각각 많은 종류의 제품들이 시판되고 있다. 프로세서는 응용분야에 알맞도록 수 MHz에서부터 수십 혹은 수백 MHz의 클럭 속도를 가지며, 데이터 버스의 크기와 기본 연산의 단위에 따라서 8비트, 16비트, 32비트, 그리고 64비트 중에서 선택할 수 있다.

대개 PC를 설계할 때는 설계자가 선택할 수 있는 프로세서의 종류가 제한적이어서 보통 Intel사나 AMD사의 몇몇 마이크로프로세서 중에서 하나를 고르게 된다. 그러나 임베디드 시스템들은 응용분야가 매우 다양하므로 이의 구현을 위한 프로세서의 종류도 매우 다양하다. 따라서 임베디드 시스템을 설계할 때에는 수많은 종류의 프로세서들 중에서 하나를 골라야만 한다. 또한 임베디드 시스템에서는 일반적으로 칩 내부에 데이터부와 제어부로 구성된 CPU 코어(core)만 포함하는 마이크로프로세서를 사용할 수도 있고 EH는 CPU core에 여러 종류 및 크기의 메모리와 다양한 주변 장치들까지도 포함하는 마이크로컨트롤러를 사용할 수도 있다. 많은 종류의 마이크로프로세서 및 마이크로컨트롤러들 중에서 가격대비 성능이 최적인 제품을 찾아내는 것은 매우 어려운 일이다.

나. 메모리

임베디드 시스템에서는 어떤 종류의 메모리를 얼마만큼 사용할지 결정하는 것이 중요하다. 이러한 결정은 보통 어떠한 종류의 운영체제와 응용 소프트웨어를 사용할 것인지에 따라서 사용하게 될 메모리의 종류 및 크기가 결정된다.

PC에서와 마찬가지로 메모리의 주요 역할은 프로그램과 데이터를 저장하는 데 있다. 그러나 임베디드 시스템에서는 전원이 차단되더라도 메모리의 프로그램 또는 데이터가 없어지면 안 되는 경우가 있다. 이런 때에는 프로그램 또는 데이터를 비휘발성 메모리에 저장해야 한다. 비휘발성 메모리로는 ROM (Read Only Memory), PROM (Programmable Read Only Memory), 혹은 EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)등에 저장해야 한다. 요즘에는 새로운 형태의 비휘발성 메모리인 플래시 메모리가 많이 쓰이고 있다.

비휘발성 메모리는 PC에서 쉽게 찾을 수 있다. PC의 BIOS(Basic Input

Output System) 프로그램은 EPROM에 상주하고 있으면서 전원이 처음으로 PC에 공급될 때 프로그램이 시작되어 PC의 각종 입출력 장치 등의 주변장치 (Peripheral Devices) 등을 초기화하는데 사용된다. 그 이후에 BIOS는 운영체제를 디스켓이나 하드디스크에서 읽어서 RAM(Random Access Memory)에 저장하고 그 이후에는 운영체제가 RAM에서 실행을 시작하게 된다. 이와 같은 일련의 과정을 부팅 (Booting)이라 한다. 부팅이 되고 난 이후에 PC에서는 운영체제가 시작되고 곧이어 여러 응용 프로그램이 실행되어 사용자의 입력을 기다리는 상태가 된다.

RAM은 위에서와 같이 큰 용량의 프로그램이나 데이터를 저장하는 데 주로 사용된다. RAM은 DRAM (Dynamic Random Access Memory)과 SRAM (Static Random Access Memory)의 2가지 종류로 분류된다. 일반적으로 DRAM은 대용량이 필요한 경우에 많이 사용되고 SRAM은 소용량이지만 고속으로 읽고 써야 하는 경우에 주로 사용된다.

Random Access라는 말의 뜻은 기억장치의 주소를 CD나 하드디스크처럼 순서대로 읽지 않고 원하는 주소의 데이터를 읽을 수 있다는 뜻에 유래한다. 그러나 일반 사용자가 읽기만 할 수 있는 ROM과 대비해 보면, RAM에서는 읽고 쓰기를 원하는 대로 (Random하게) 할 수 있기 때문에 붙인 이름으로 이해할 수도 있다.

다. 입출력 장치

임베디드 시스템은 일반적으로 외부 입력에 반응하여 정해진 작업을 실행하며 지정된 출력을 발생하는 동작형태를 가진다. 입력 장치에는 PC처럼 키보드, 마우스, 마이크 등도 간혹 사용되지만, 임베디드 시스템에서는 센서 (Sensor)가 많이 활용된다. 센서는 외부에서 발생한 물리적인 현상, 즉 온도, 빛, 위치 등의 값 (또는 변화량)들을 임베디드 시스템으로 읽어 들이는 역할을 수행한다. 예를 들어서 온도센서와 히터 (Heater)를 이용하여 용액의 온도

를 70℃로 일정하게 유지하는 간단한 임베디드 시스템을 고려해 보자. 용액의 온도가 65℃로 떨어진 경우에 이 온도 변화량을 센서가 감지하게 되며 이 신호를 프로세서에 입력시킨다. 프로세서는 온도가 내려갔으므로 히터를 가동시킨 뒤 계속 온도를 감시하다가 온도가 70℃가 되었을 때 히터의 가동을 중지시키게 된다.

센서에서 데이터를 주고받기 위하여 사용하는 입출력 신호에는 여러 가지 종류가 사용될 수 있다. 먼저 디지털 입출력 신호를 사용할 수 있다. 간단한 바이너리 신호를 들 수 있다. 여기서는 입력 온도센서와 출력 히터신호에 각각 한 비트를 할당해서 사용한다. 즉 입력 온도 센서에서는 센서에서 지정된 온도보다 작은 온도가 검출되는 경우에는 '1'신호를 발생하고 온도가 70℃를 유지하는 경우에 '0'신호를 발생하는 간단한 회로라고 가정하자. 출력 히터신호는 '1'인 경우에 히터가 가동되고 '0'인 경우에 히터가 정지된다고 가정하자. 이러한 경우에 만일 용액의 온도가 떨어지면 입력 온도센서 값이 '1'이 되고 제어 프로그램은 히터로의 출력신호를 '1'로 만들어서 히터의 가동을 시작한다. 나중에 온도가 올라가서 온도센서의 값으로 '0'이 입력되면 제어 프로그램은 출력 히터신호를 '0'으로 만들어서 히터의 동작을 정지시키게 된다.

그러나 정밀한 값을 읽어야만 하는 시스템이라면 온도 신호는 아날로그 (Analog) 신호이므로 아날로그 온도센서를 사용하는 것이 보통이다. 센서의 아날로그 데이터를 제어 프로그램이 처리하게 하기 위해서는 Analog-to-Digital Converter (ADC)가 필요하게 된다. ADC는 센서에서 읽은 아날로그 온도 값을 n-비트의 디지털 신호로 변환해서 시스템에 전달한다. 시스템의 제어 프로그램은 입력에 대해서 지정된 처리를 수행하고 출력을 디지털 데이터의 형태로 출력한다. 이 디지털 데이터는 디지털 신호를 아날로그 신호로 변환시켜주는 Digital-to-Analog Converter (DAC)를 이용해서 아날로그 신호로 변환한다. 변환된 아날로그 신호는 히터 제어부로 전달되어 예를 들면 입력된 신호의 크기만큼 제어부의 노즐을 잠그든지 열든지 하게 된다.

임베디드 시스템의 상태를 표시하는 용도로는 다양한 소자가 쓰일 수 있다. 단순히 출력신호의 on/off 상태를 표시하기 위해서는 LED가 사용되며, 숫자와 알파벳을 이용하여 표시하려면 7-segment display 소자들을 사용하여 표시한다. 더 많은 양의 정보를 표시해야 하는 경우에는 LCD (Liquid Crystal Display)등을 사용된다.

PC와 임베디드 시스템 혹은 임베디드 시스템간의 연결이 필요한 경우에는 통신기능이 필요하다. 가장 간단하게 구현할 수 있는 통신방식인 직렬포트 (Serial Port)는 RS232라는 규격을 사용하며 근거리 (몇 m 떨어진 곳)의 장치와 데이터를 지속적으로 간단하게 주고받는 용도로 사용된다. 병렬 포트 (Parallel port)는 시리얼보다 더 근접한 위치의 주변장치를 위해서 사용되며 주로 프린터와 컴퓨터를 연결하는 목적으로 사용되어왔다.

최근에는 주변장치에서 많은 멀티미디어 데이터를 처리해야 하기 때문에 직렬이나 병렬 인터페이스로는 부족한 성능을 개선하려는 목적으로 USB (Universal Serial Bus) 및 IEEE 1394 표준이 새롭게 제안되었고 이를 따르는 장치들이 많이 출시되었다.

먼저 USB는 1.1규격에서는 최대 12 Mbps까지 전송속도를 낼 수 있으며 (USB 2.0규격에서는 480Mbps의 전송속도) 최대 127개의 주변 장치들을 연결할 수 있다. 프린터, 스캐너, 키보드, 조이스틱, MP3 Player, 디지털 카메라 등과 같은 중/저속의 주변장치들에서 주로 USB가 사용된다.

한편 애플 (Apple) 컴퓨터 회사인 Firewire란 이름의 인터페이스로 널리 알려진 고속직렬버스 표준인 IEEE 1394a 는 최대 63개의 주변장치를 400 Mbps까지의 전송속도를 (IEEE 1394b 규격에서는 800 Mbps의 전송속도) 낼 수 있는 표준이다. IEEE 1394는 하드디스크, CD/CD-RW, 디지털 카메라 및 비디오 카메라 등의 제품에서 대용량의 데이터를 위한 고속 인터페이스 (Interface)로 사용되기 시작하고 있다.

라. 네트워크 장치

앞서 설명한 통신장치들은 근접하게 위치한 주변장치를 제어할 때 사용되지만 멀리 떨어진 곳의 주변장치는 네트워크 (Network) 장치를 이용하게 된다. 먼저 근거리의 장치를 연결하기 위한 대표적인 장치로는 이더넷 (Ethernet)이 널리 사용되고 있다. 이더넷은 IEEE 802.3 표준을 따르는 현재 시점에서 가장 많이 사용되는 근거리 통신망 (Local Area Network 혹은 LAN)기술이다. 가장 보편적인 이더넷은 10~100Mbps의 전송속도를 낼 수 있는 10/100Base-T이며 CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect) 프로토콜을 구현한다. 요즘에는 1~10 Gbps도 가능한 고속 이더넷을 함께 사용할 수 있는 제품들이 사용되기 시작하였다.

한편 무선 네트워크 방식으로는 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) 프로토콜을 지원하는 802.11a, 802.11b 규격이 사용되며 최근에는 802.11g가 승인되었다. 802.11a는 5GHz 대역에서 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 변조방식을 사용하여 54Mbps의 전송속도를 내며, 802.11b는 2.4GHz 대역에서 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum) 변조 방식을 사용하여 11Mbps의 전송속도를 낼 수 있다. 현재는 802.11b가 낮은 전송속도에도 불구하고 낮은 대역으로 인한 넓은 지역에서 사용할 수 있기 때문에 더 많이 사용되고 있으며 고속을 지원하는 802.11g도 사용되기 시작하는 추세이다.

2.1.2. 임베디드 시스템 소프트웨어 설계

소프트웨어 측면에서 볼 때 임베디드 시스템과 일반 컴퓨터가 다른 점은 임베디드 시스템에서는 응용 소프트웨어를 보조기억장치에서 따로 읽어오지 않고 메모리에서 직접 수행한다는 점이다. 그 이외에는 운영체제 및 응용 프로그램이 필요한 것은 일반 컴퓨터와 같다. 한 가지 주의할 점은 임베디드 시스템은 응용분야와 사용목적이 매우 다양하기 때문에 시스템의 구성도 다양

하다는 점이다. 여기서 다루고자 하는 점은 어떤 특정한 분야의 한 임베디드 시스템이 아니라 일반적인 경우의 임베디드 시스템의 구성에 관련된 사항들이다.

가. 운영체제

임베디드 시스템에서는 다양한 프로그램을 지원할 수 있는 범용 운영체제가 덜 매력적이다. 일단, PC에서 사용되는 리눅스, 마이크로소프트 윈도우즈 XP 혹은 윈도우즈 2000 등의 데스크 탑 운영체제는 다양한 장치와 다양한 작업들을 수행해야 하기 때문에 기본적으로 커다란 메모리를 필요로 한다. 그러나 임베디드 시스템은 각 제품이 가격 경쟁력을 갖추어야 하는데 많은 제품들이 원단위의 가격 경쟁을 해야만 하는 실정이다. 그러므로 작은 크기의 메모리에도 원활하게 동작하는 운영체제가 설계자의 입장에서 바람직하다고 볼 수 있다.

또한 임베디드 시스템은 사용자가 어떤 데이터와 명령을 입력하던지 간에 시스템이 응답을 하지 않는 상태로 데스크톱 PC처럼 재부팅을 해야만 하는 상황에 처하는 것을 용납하지 않는다. 또한 사용자의 입력에 즉각적으로 반응을 해야만 하는 상황이 있다. 예를 들어 빌딩의 화재 관리 임베디드 시스템을 생각해보면 재부팅과 즉각적인 반응의 필요성을 쉽게 이해할 수 있다.

따라서 임베디드 시스템의 운영체제로는 데스크 탑 운영체제 대신 소형화가 가능하며 즉각적인 응답을 보장하는 실시간 운영체제(Real-time Operating System 혹은 RTOS)가 많이 사용되며, 저가격화가 가능한 임베디드 리눅스가 주목받기 시작하였다. 최근에 한국전자통신연구원(ETRI)을 주축으로 가전 3사와 함께 국산 운영체제인 Qplus/Esto의 개발을 완료하였다. Qplus가 표준 운영체제로 도입될 경우에는 커널의 사용방법 및 제품 개발에 필요한 컴포넌트 및 라이브러리들을 표준화하여 국내 기업에게는 저렴하게 혹은 무료로 제공하게 되며 plug-and-play가 가능하게 되므로 제품 개발이 간단해지고 개발

기간이 단축되는 강점을 가지게 되어 매우 중요한 역할을 담당하게 된다. RTOS분야에서는 현재는 VxWorks가 가장 널리 알려져 있지만, 그보다 핵심 기술적인 측면에서나 신뢰도면에서 탁월한 국산 RTOS인 SROS (Scalable Realtime-time Operating System)가 국내에서 개발되어 현재 전국의 전화국에서 전자교환기의 운영체제로 사용되고 있다.

나. 시스템 소프트웨어(System Software)

일반 컴퓨터에서처럼 임베디드 시스템에서도 응용 프로그램을 개발하기 위한 시스템 소프트웨어를 필요로 한다. 시스템 소프트웨어란 컴퓨터 하드웨어를 관리하고 응용 소프트웨어를 실행하는데 필요한 프로그램들을 의미한다. 앞서 언급한 운영체제, 각종 하드웨어 및 주변 장치들을 구동하는 데 필요한 드라이버 프로그램, TCP/IP를 비롯하여 시스템을 네트워크로 연결하는데 필요한 각종 소프트웨어, 프로그램을 개발하는데 사용되는 여러 프로그래밍 언어 (예를 들면 C, C++, 어셈블리 언어) 컴파일러, 디버거, 프로그램 개발도구 (예를 들면 마이크로소프트 비주얼 스튜디오, gdb, Qplus Esto) 등이 시스템 소프트웨어에 포함된다.

다. 응용 소프트웨어(Application)

임베디드 시스템의 응용 소프트웨어는 운영체제와 시스템 소프트웨어를 이용하여 사용자에게 유익한 작업을 수행하는 소프트웨어들을 모두 말한다. 몇 가지만 생각해보면 타겟 시스템 제어/모니터링 소프트웨어, 웹 브라우저 및 웹 응용 소프트웨어 등을 꼽을 수 있다. 이러한 임베디드 시스템의 응용 소프트웨어는 PC에서처럼 대부분 RAM에서 동작한다. 그렇지만 특별하게 임베디드 시스템이 예상하지 못한 이유로 인하여 종료되더라도 데이터를 잃어버리지 않도록 ROM 혹은 플래시메모리에서 동작하게 설계하기도 한다.

2.1.3. 임베디드 시스템 하드웨어 선정 및 소프트웨어 개발

기존의 연구(McKinion 등, 2004; Craessaerts 등, 2005)에서 사용한 PC는 입·출력 부의 확장이 어렵고 안정적인 서비스가 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 임베디드 하드웨어를 사용하고, 운영체제(OS; Operating System) 및 어플리케이션(Application)을 개발하여 게이트웨이를 개발하였다. 임베디드 시스템은 실시간 처리, 이동성, 기기의 독립성, 서비스의 안정성, 시스템의 확장성을 보장할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이를 바탕으로 선정한 하드웨어는 그림 2.1에 나타난 하이버스 社의 X-Hyper255B 개발보드이다. X-Hyper255B의 주요 제원은 표 2.1로 나타내었다. 본 개발 보드는 400MHz XScale 프로세서를 사용하였으며, 64MB의 램(RAM)을 사용하여 임베디드 운영체제를 설치, 운용할 수 있으며 이를 통해 기기의 효율적인 자원 사용이 가능하게 하였다. 또한 PCMCIA, CF, MMC 슬롯을 장착하여 McKinion 등(2004)이 운용한 무선랜 및 대용량 메모리의 설치가 가능하도록 설계되었다.

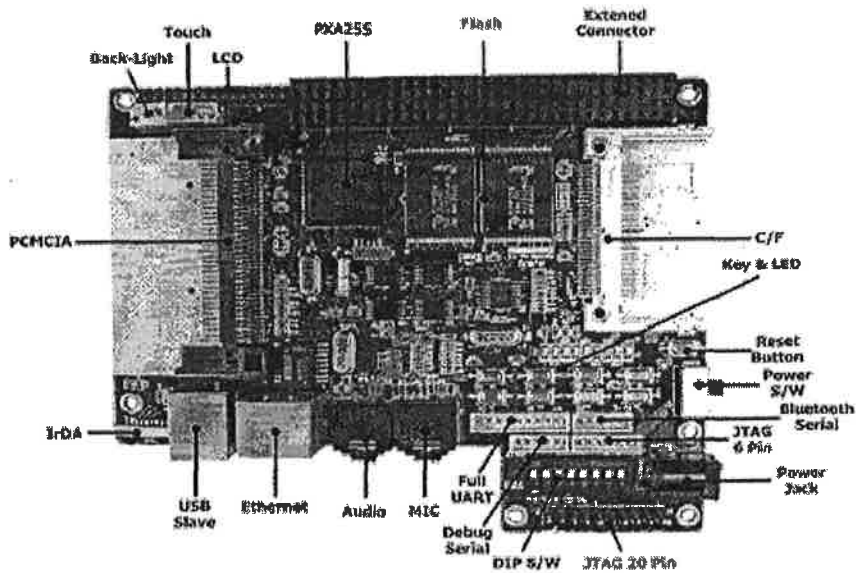


Fig. 2.1 X-Hyper255B (Hybus, Korea)

Table 2.1 Specification of X-Hyper255B

Item	Description
Processor	Intel PXA255 400MHz
SDRAM	Samsung 64MB
Flash	Intel Strata Flash 32MB
Ethernet	CS8900A 10BaseT
Display	LG TFT LCD 6.4" (640*480)
Touch	ADS7843 (Touch Screen)
Serial	2 Port
JTAG	1 Port
PCMCIA	1 Slot
RTC	RTC4513(Real Time Clock)
CF	1 Slot
Connector	120 PIN Connector for GPIO, Address and Data Bus

고장 진단 정보를 수집하기 위하여 그림 2.2와 같은 블루투스(Bluetooth) 기기를 사용하였다. COMFILE 社에서 개발된 Prome SD-202 모델은 2.4 GHz 의 ISM 대역을 사용하며, RS-232C 프로토콜을 지원한다. Prome SD-202의 세부 사양은 표 2.2와 같다.

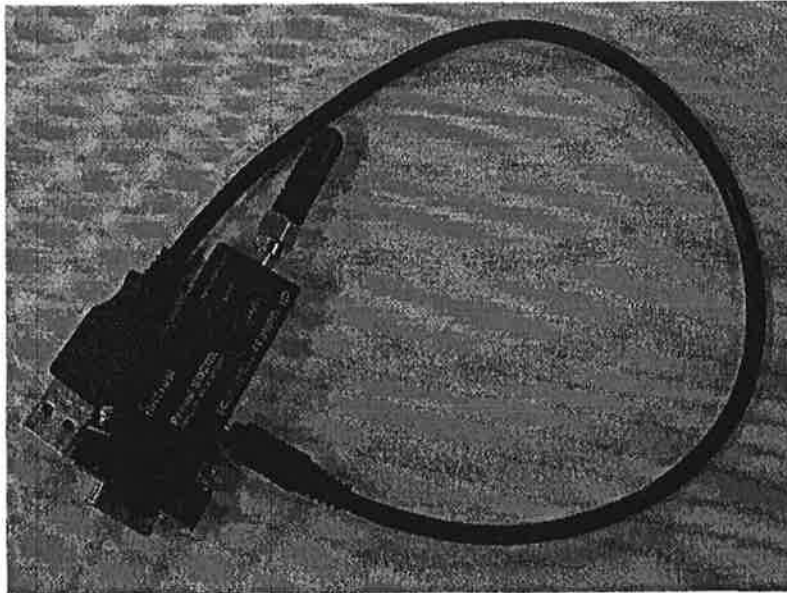


Fig. 2.2 Prome SD-202 (COMFILE, Korea)

Table 2.2 Specification of Prome SD-202

Item	Description
Frequency	2.4 GHz(ISM Band)
Interface	9 PIN SUB
Baud Rate	1200 - 115200 Baud
Max. Range	30 M
Protocol	RFCOMM, 12CAP, SDP
Certification	CE, FCC, Bluetooth SIG Planned

또한 실제 농지에서의 콤바인 신호를 게이트웨이로 무선으로 전송하기 위해서 그림 2.3과 같은 BUFFALO 社에서 개발된 WLI-PCM-L11GP 모델을 사용하였으며 무선랜(Wireless LAN, Wireless 802.11b) 환경은 그림 2.4와 같은 3Com 社의 액세스 포인트(Access Point)를 이용하여 구성하였다.

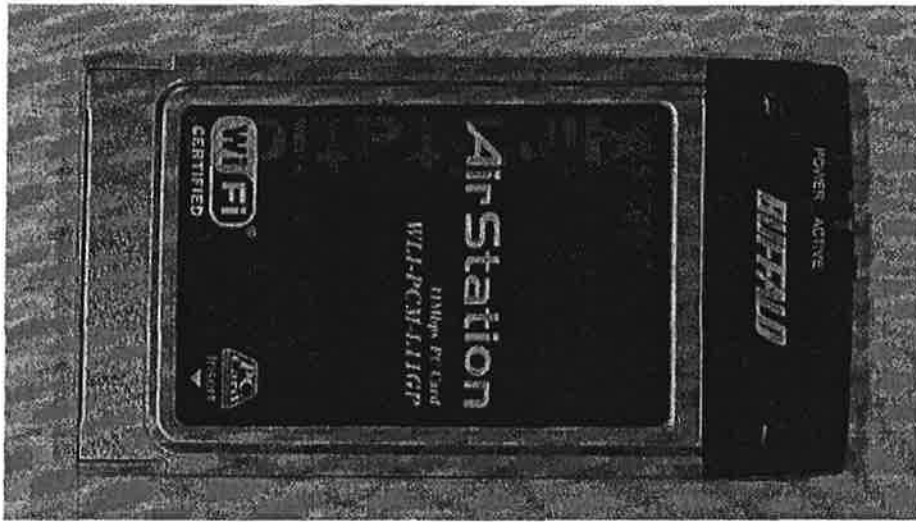


Fig. 2.3 WLI-PCM-L11GP (Buffalo Inc.)

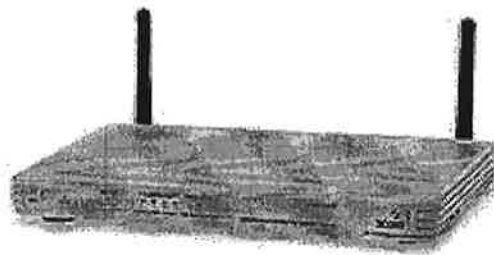


Fig. 2.4 Access Point (3Com Inc.)

WLI-PCM-L11GP은 IEEE 802.11b를 사용하고, 11 Mbps(Bits per Second)의 전송속도를 보장한다. WLI-PCM-L11GP의 세부 사양은 표 3.3과 같다.

Table 3.3 Specification of WLI-PCM-L11GP

Item	Description
Frequency	2.4 GHz(ISM Band)
Interface	PCMCIA
Data Transfer Rate	11 Mbps
Max. Range	100 M

선정한 무선랜 네트워크 어댑터를 임베디드 PCMCIA 슬롯(Slot)에 장착하고 동작할 수 있도록 디바이스 드라이버를 제작하였다. 임베디드 운영체제의 커널은 무선랜 네트워크가 동작할 수 있도록 개발되었으며, WLI-PCM-L11GP의 인식을 위해 디바이스 드라이버(Device Driver)를 개발하여 정상 동작을 확인하였다.

그리고 이 모든 장치의 원활한 동작 및 기기 관리를 수행할 수 있는 임베디드 운영체제를 개발하였다. 커널(Kernel)은 운영체제의 핵심을 이루는 요소로서 어플리케이션과 하드웨어 간의 연동을 가능하게 하며, 어플리케이션 간 자원관리가 가능하도록 개발되어야 한다. 본 연구에서는 2.4.18 버전의 리눅스(Linux) 커널을 바탕으로 측정 신호 수집 및 저장이 가능하도록 부분적으로 수정 및 추가하여 재 컴파일 되었다. 임베디드 운영체제는 그림 2.5와 같은 순서로 개발이 진행되어 콤팩트 제어와 정보 수신을 위한 RS-232 및 유선랜, 정보 전송을 하기 위한 무선랜 (Wireless LAN, IEEE 802.11b), 신호의 저장을 위한 CF 메모리 카드를 운용할 수 있도록 수정 설계 및 구축(Build) 되었다.

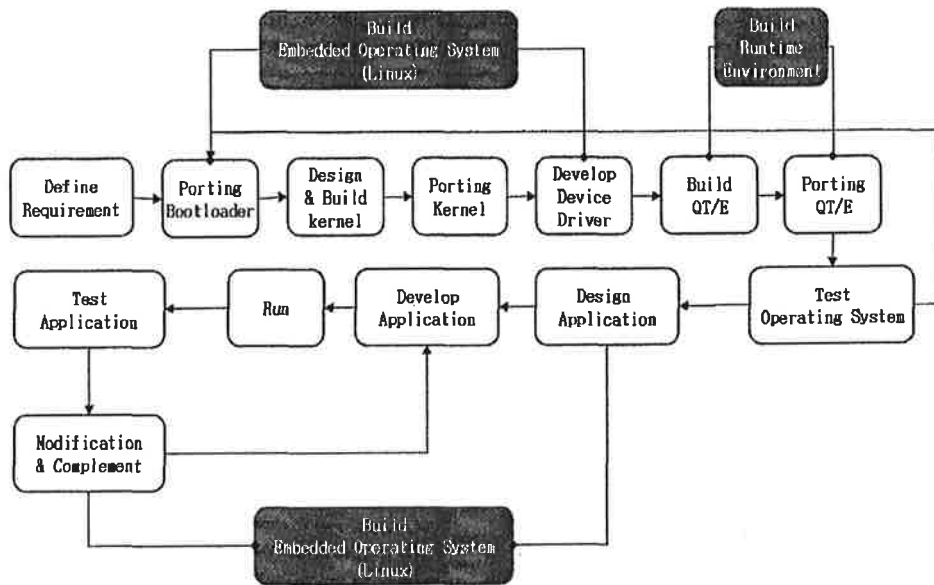


Fig. 2.5 Schematic diagram for developing embedded kernel image

임베디드 운영체제의 시작 과정을 담당하는 부트로더(Boot Loader)는 하이버스社에서 제공하는 코드를 컴파일 하여 사용하였다. 임베디드 운영체제는 RS-232를 포함한 현재의 하드웨어 시스템뿐만 아니라 생체 신호의 전송을 하기 위한 무선랜(Wireless LAN), 생체 신호의 저장을 위한 CF 메모리 카드를 설치할 수 있도록 수정 설계 및 구축(Build) 되었다. 임베디드 리눅스의 재구축을 위하여 하이버스社의 하드웨어 사용을 위해 제공되는 패치(Patch) 코드를 사용하였으며 이후, 그림 2.6과 같이 Menuconfig를 사용하여 각 모듈별 컴파일 속성을 변경하고 재 컴파일 하였다. 최종 구축한 결과는 그림 2.7과 같다.

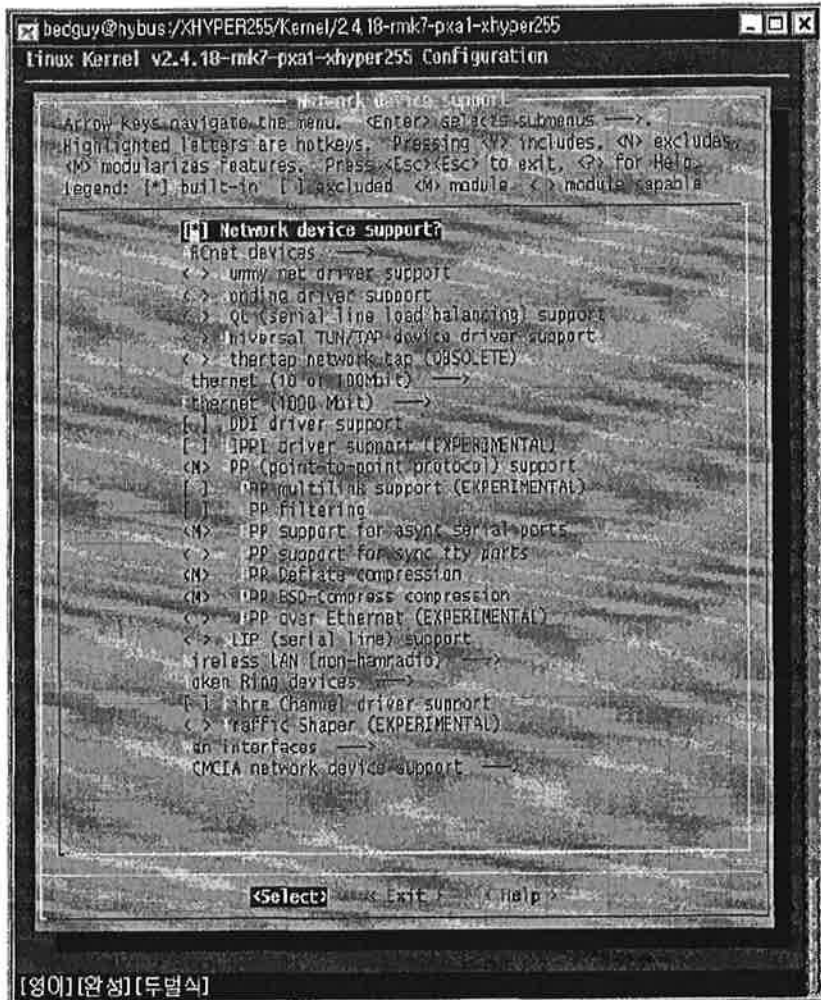


Fig 2.6 Menuconfig tool to re-compile the linux kernel

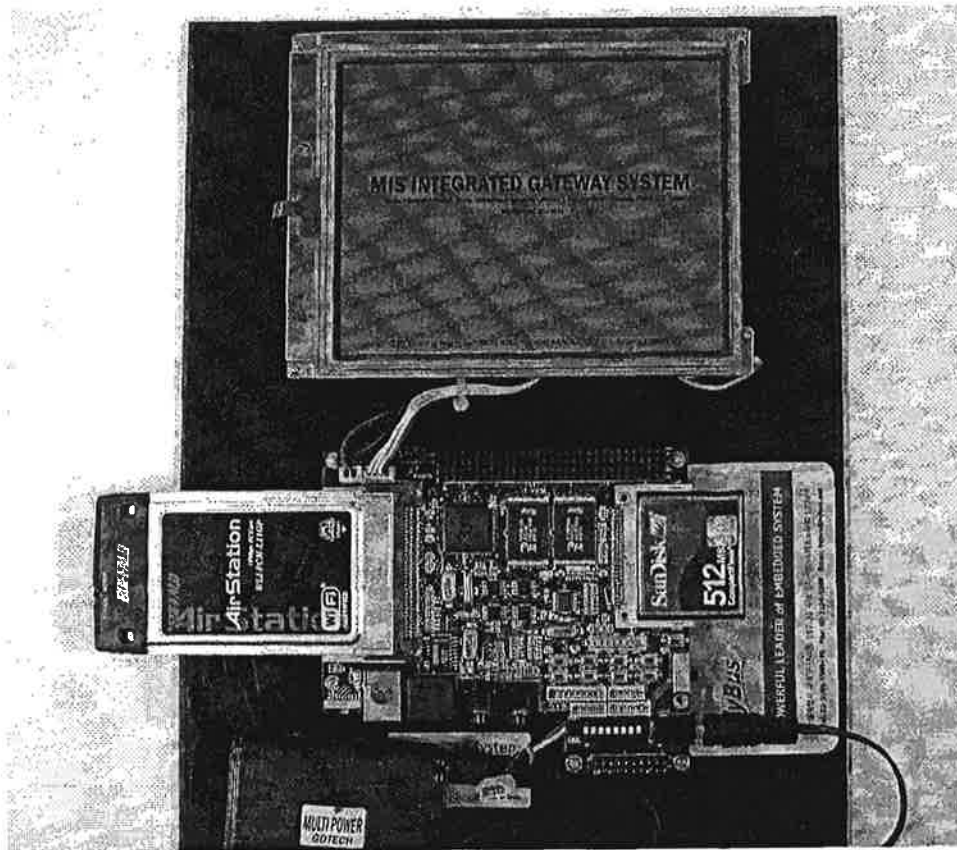


Fig. 2.7 Embedded system with developed embedded operating system

2.1.4 임베디드 시스템 - 서버 전송 모듈 개발

구축된 임베디드 시스템은 그림 2.8과 같은 형태로 구성되어 트롤테크 社의 QT 라이브러리를 이용할 수 있도록 개발되었다.

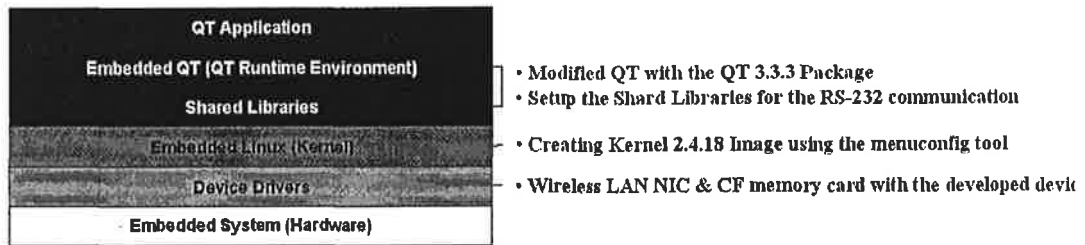


Fig. 2.8 Developed embedded system architecture

개발된 임베디드 하드웨어, 디바이스 드라이버, 운영체제, QT 실행환경을 바탕으로 임베디드 기기에서 동작 가능한 임베디드 어플리케이션(Embedded Application)을 개발하였다. 개발된 어플리케이션은 MVC (Model - View - Control) Model로 구현되어, 확장 및 수정이 쉽고 빠르게 이루어지도록 개발하였다. 또한 어플리케이션은 선행연구(Sommerville, 1982)의 데이터 수집 시스템 구조(The architecture of a flux monitoring system)를 참고하여 그림 2.9 같이 설계하였다. 개발된 임베디드 어플리케이션은 RS-232를 이용하여 고장 진단 시스템으로부터 전송된 모든 요청 및 데이터를 데이터 큐에 취합하며, 취합된 데이터는 스레드 풀의 스레드에 의해 전송, 표시 및 저장될 수 있도록 설계하였다. 또한 GUI 환경을 위해 트롤테크(TrollTech) 社의 QT 라이브러리(Library)를 사용하였으며, 그래프 환경 구현은 트롤테크 社의 QWT 라이브러리를 사용하였다.

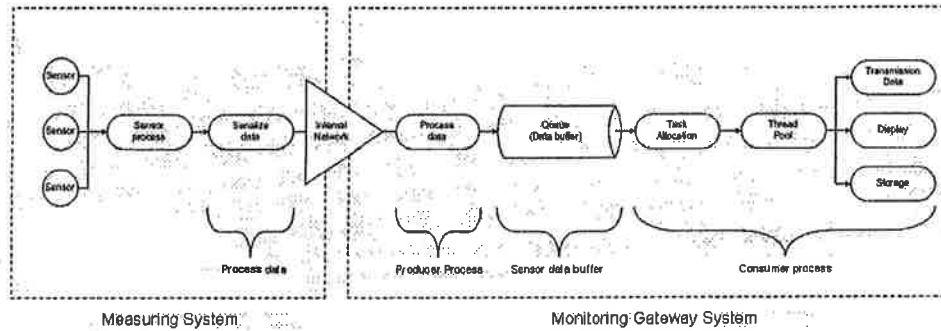


Fig. 2.9 The architecture of a monitoring gateway system

1차적으로 농지에서의 서비스 요청 및 정보 전송을 위하여 통신 모듈을 개발하였다. 개발된 통신 모듈은 QT라이브러리를 사용하여 서버 접속, 서비스 요청, 데이터 송·수신이 가능하도록 개발되었다. 개발된 모듈은 표 3.4와 같은 프로토콜을 통해 통신이 가능하도록 개발되었다. 농업 기계의 개인영역네트워크(Personal Area Network) 기반의 프로토콜은 아직 정의된 바가 없기 때문에 개발된 사설 프로토콜로 대체하였으며, 동적 서비스 응답이 가능한 트리거 이벤트 방식으로 개발하였다. 또한 센서부와 게이트웨이 부 모두 내장형 기기가 사용되기 때문에 패킷은 그림 2.10과 같이 최대한 간소화 하였다.



Fig. 2.10 Simple Structure of packet

Table 2 Statement of protocol in PAN

Message Header	Message	Data
REQ	CON	Request to connection
REQ	MDT	Request of information about machine type
REQ	STT	Request of send data
REQ	END	Request to stop
REQ	WTS	Request to wait
REQ	SRE	Request to re-send
REQ	OFF	Request power off
REQ	MDS	Request information of machine settings
REQ	AMD	Request to add machine
REQ	DMD	Request to delete machine
REQ	MDT	Request information of machine type
RES	ACK	Success of request response
RES	{ Device Type }	Machine type response
RES	DTT + {DATA}	Data response
RES	OFF	Power off response
RES	END	End response
RES	SCD	Success response
RES	ERR	ERR response

2.1.5 임베디드 측 데이터 취합 모듈 개발

고장 진단 시스템으로부터 전송된 정보를 관리, 표시, 전송하기 위하여 그림 2.11과 같은 동작 시나리오를 설정하였다. 임베디드 시스템은 구동 후 콤바인의 현재 상태를 파악하며, 각 센서를 통합한 센서 인터페이스 기기로부터 데이터를 받도록 설정하였다. 데이터 송·수신은 RS-232 통신을 이용하여 이루어지며, 데이터를 수신한 후 동일 시간을 기준으로 데이터 세트를 구성하고 파일로 저장하도록 개발하였다. 이상징후 판단을 위하여 임베디드 시스템은 저장된 데이터 세트의 전·후 상관관계를 비교하여 정상/이상/응급으로 분류하며, 이상/응급 데이터 발생시 콤바인 동작 중에도 고장데이터를 패킷으로 변환하고 무선랜 시스템을 이용하여 사용자에게 스크린으로 알리고, 서버로 전송하도록 개발하였다.

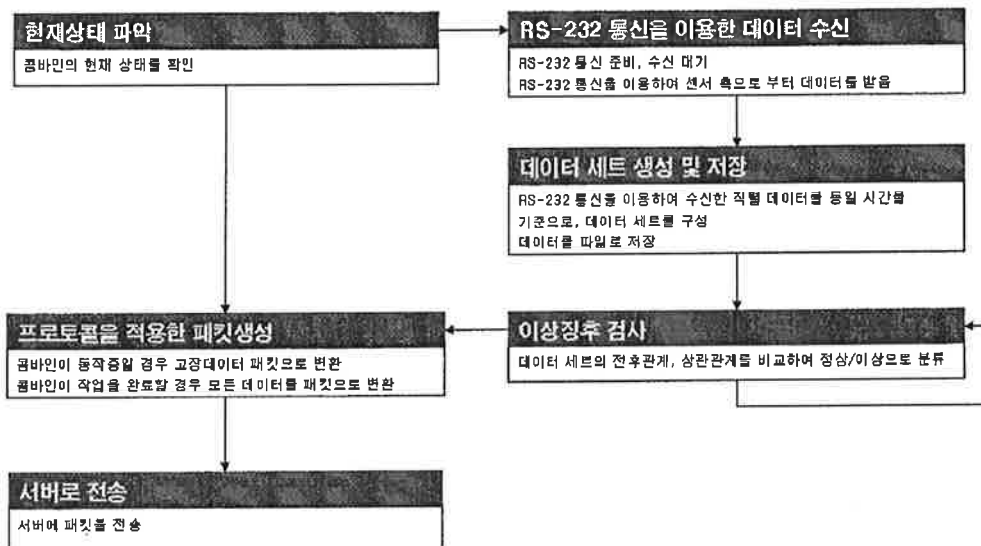


Fig. 2.11 Behavior definition of the embedded system

구성된 시나리오는 그림 2.12와 같이 UML(Unified Modeling Language)로 변환 작성하였다. 개발된 데이터 취합 역시 QT 라이브러리를 이용하여 개발

되었으며, 데이터 수신 및 저장, 이상 징후 검사, 전송을 위한 패킷 생성의 동시 작업을 위하여 멀티스레드 기법을 이용하였다. 최종 개발된 임베디드 어플리케이션은 TCP/IP, RS-232, USB 관련 입출력을 제어 할 수 있도록 개발되었으며, 테스트를 거쳐 불필요한 스레드 생성을 막기 위해 큐와 스레드 풀(Thread Pool)을 추가하였다. 최종 성능평가를 위해서 기존의 연구(Wu 등, 2007)에서 CPU 및 메모리 상태 측정을 위하여 이용한 리눅스의 /proc/ 이하 하드웨어 추적 파일을 이용하여 실행 시 게이트웨이의 자원 상황을 측정하였다. 또한 성능측정 모델이 최대한 수행 연산에 장애가 되지 않도록 멀티 프로세스 방식을 사용하여 독립적으로 수행되게 하였다. 최종 개발한 게이트웨이는 그림 2.13과 같다.

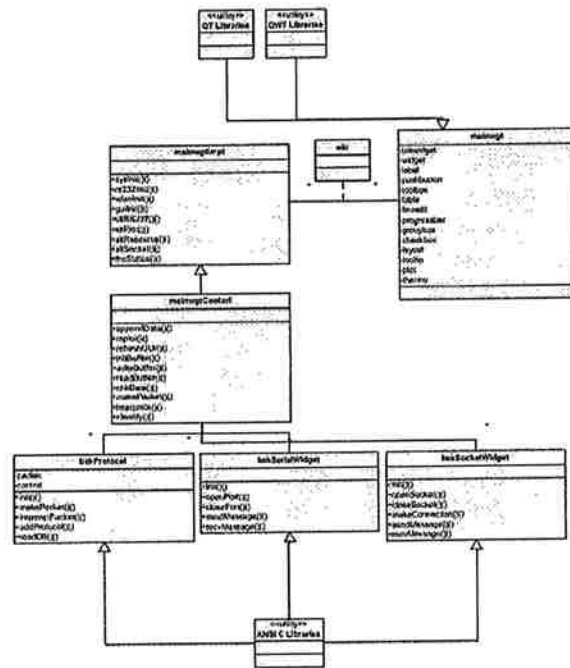


Fig. 2.12 The UML design of an embedded application

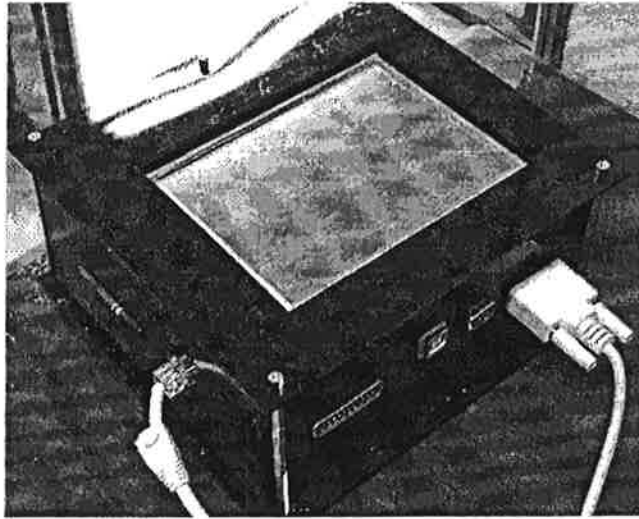


Fig. 2.13 Developed Embedded System

2.2. 고장 정보 수신 및 관리를 위한 서버 시스템 개발

2.2.1. 서버 - 임베디드 시스템 수신 모듈 개발

고장 진단 정보를 원격에서 수집하고, 사용자에게 서비스할 수 있는 서버 어플리케이션을 개발하였다. 서버 어플리케이션을 개발하기 위하여 그림 2.14 과 같이 Linux와 J2SDK를 통하여 서버 환경을 구축하였다. 운영체제는 개발된 서버 어플리케이션의 소프트웨어 구조를 고려하여 강력한 스레드 풀 (Thread Pool) 구성에 유리한 Linux를 선정하였다. 또한 자바 어플리케이션의 개발 및 실행을 위하여 J2SDK 1.4.2-05-fcs를 설치하여 사용하였으며, 자료 관리를 위하여 데이터베이스로 MySQL을 사용하였다.

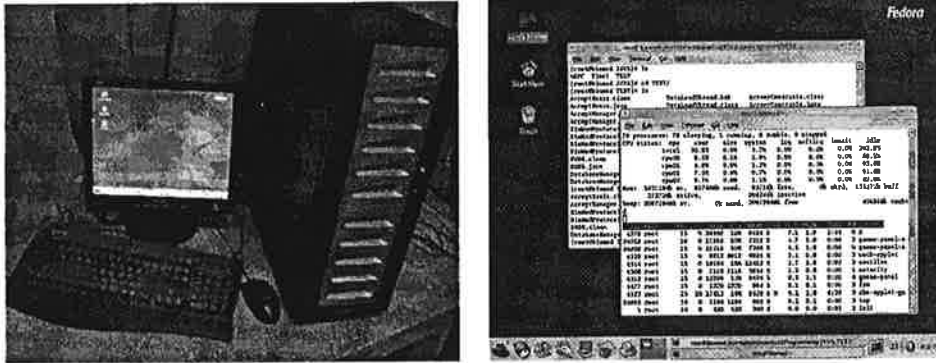


Fig 2.14 Server System & Linux Fedora 9

가. 1차 시작기 (멀티 스레드 서버)

데이터 송·수신시에 발생하는 무한 대기 문제를 해결하기 위하여 1차 시작기 서버는 멀티-스레드(Multi-Thread) 방식을 채택하였다. 네트워크 통신은 파일 접근과는 다르게 데이터가 즉시 전달되어 온다는 보장이 없어, 무한 대기 상태에 빠지기 쉽다. 따라서 개발된 1차 시작기 서버는 네트워크와 관련 없는 부분과의 동시 처리, 송신과 수신의 동시 처리에 따른 효율성, 여러 클라이언트의 동시 접속 및 효율적인 서비스를 위하여 멀티 스레드 방식으로 개발되었으며, 그림 2.15와 같은 소프트웨어 구조를 설계하였다.

개발된 서버는 그림 2.15와 같은 순서로 동작하며, 다음 5개의 관리자로 구성되어 있다.

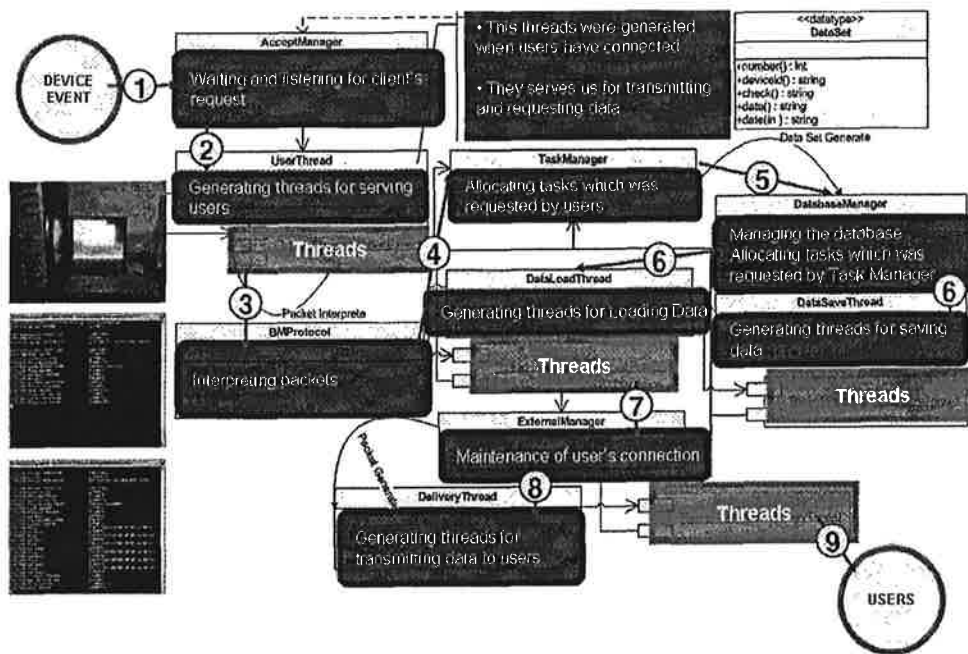


Fig. 2.15 Server System Architecture

(1) Accept Manager (수신 관리자)

수신 관리자는 동시 접속, 다중 접속, 접속 유지, 요청 수락의 기능을 가지고 있다. 동시 접속과 다중 접속을 가능하게 하기 위하여 멀티스레딩 (Multi-Threading) 방식을 채택하였다. 멀티 스레딩 방식은 다중 작업 및 프로세스 생성에 따른 추가 부담을 줄일 수 있는 방법으로, 대부분의 운영체제 (Operating System)에서 사용된다.

또한 스레드 동기화 (Synchronization of Thread)를 통하여 접속유지를 할 수 있으며, 작업 관리자에게 사용자의 요청을 전달하여 서비스를 진행 할 수 있도록 한다.

(2) Task Manager (작업 관리자)

작업 관리자는 자료의 저장 및 추출 요청, 자료 처리, 서버 관리 기능을 가지고 있다. 개발된 BIOMEDICAL PROTOCOL (사실 프로토콜)을 이용하여

전송된 자료를 해석하고 각 사용자에게 맞는 서비스가 무엇인지 결정하고, 실행할 수 있도록 한다.

(3) Database Manager (데이터베이스 관리자)

데이터베이스 관리자는 자료의 저장 및 추출을 기본기능으로 하며, 체계적인 자료 저장, 자료의 검색 및 수정을 가능하게 한다. 데이터베이스 관리자는 사용자의 우선순위(User Priority)를 검사하여 무분별한 데이터 추출로부터 보안을 유지할 수 있다.

또한 데이터의 동시 접근 및 수정을 위하여 수신 관리자와 동일한 멀티 스레드 방식을 채택하였다.

(4) External Manager (외부 전송 관리자)

외부 전송 관리자는 저장된 자료 혹은 처리된 자료의 전송을 기본기능으로 한다. 외부 전송 관리자는 작업관리자로부터 요청을 받았을 때에만 동작하며, 이는 무분별한 데이터 추출로부터 1차 보안을 유지하기 위함이다. 외부 전송 관리자는 데이터 베이스 관리자와 연계하여 자료의 추출 권한을 가지며, 이때 외부 전송 관리자 역시 사용자의 우선순위를 검사하여 보안을 유지 하도록 한다.

(5) Admin Manager (최고 관리자)

최고 관리자는 현재의 서버 수신 및 전송 상태, 데이터의 저장율, 문제 판단 기능을 제공하며, 이를 통하여 서버 관리자는 서버 전체를 통제할 수 있다.

5개의 관리자는 서로 유기적으로 통제하며, 이를 구현하기 위하여 객체지향 프로그래밍 (Object Oriented Programming) 방식으로 구현하였다.

객체지향 프로그래밍은 컴퓨터 프로그램의 개발이 동작보다는 객체, 논리보다는 자료를 바탕으로 구성된다는 특징을 가지고 있다. 객체 지향 프로그래밍의 첫 단계는 다루고자하는 모든 객체와, 그것들이 서로 어떤 연관성이 있는지를 식별하는 데이터 모델링 작업이다. 이후 객체 클래스로 일반화 하고 그것이 담고 있는 데이터의 종류와 그것을 다룰 수 있는 모든 논리 순서를 정의한다.

본 설계에서는 5개의 관리자와 BIO-MEDICAL를 6개의 콤포넌트(Component), 18개의 클래스(Class)로 규정하였다. 클래스는 단지 관련된 데이터만 정의하기 때문에, 그 클래스의 인스턴스(Instance)가 수행될 때 다른 프로그램에서 사용되는 데이터를 접근할 수 없게 된다. 이런 자료 숨김 특성은 높은 시스템 보안을 제공하고, 의도하지 않는 자료의 훼손을 방지한다.

```

mollonanalyst@BM-LinuxServer: ~/Programming/JAVA/ARPC/First
[SYSTEM] Client Connection [WAITING] ①
[SYSTEM] Client [CONNECT] ②
[SYSTEM] Client Information [IP:203.252.54.132][PORT:2717] ③

[SYSTEM] Client Connection [WAITING] ④
[SYSTEM] User Thread [START] ⑤
[SYSTEM] Data Receiving [START] ⑥
[SYSTEM] Data Receiving [COMPLETE] ⑦
[SYSTEM] [UserThread] PACKET [BBL0TEST0TE006] ⑧
[SYSTEM] Task Manager [START] ⑨
[SYSTEM] Database Manager [START] ⑩
[SYSTEM] Database [READY] ⑪
[SYSTEM] [TaskManager] Mode [DBLD] ⑫
[SYSTEM] Client Loading [START] ⑬
[SYSTEM] Data [50TEST01E6902004-08-05 20:00:41] ⑭
[SYSTEM] Database [LOADED] ⑮
[SYSTEM] Data [49TEST01E4502004-08-05 20:00:38]
[SYSTEM] Database [LOADED]
[SYSTEM] Data [48TEST01E3212004-08-05 20:00:32]
[SYSTEM] Database [LOADED]
[SYSTEM] Data [47TEST01E1452004-08-05 20:00:27]
[SYSTEM] Database [LOADED]
[SYSTEM] Data [46TEST01E7002004-08-05 20:00:23]
[SYSTEM] Database [LOADED]
[SYSTEM] Data [45TEST01E5002004-08-05 20:00:20]
[SYSTEM] Database [LOADED]
[SYSTEM] External Manager [START]
[SYSTEM] Delivery Thread [START]
[SYSTEM] Data Sending [COMPLETE]
[SYSTEM] User Thread [COMPLETE]
  
```

Fig. 2.16 Server message when a client requests data

그림 2.16과 같이 개발된 서버 솔루션의 수신모듈은 상시 클라이언트 접속을 기다리고 있으며(①), 클라이언트의 접속이 발생하면(②), 클라이언트의 IP, 포트 정보를 출력하고(③) 스레드를 발생시킨다(⑤). 이후 수신 모듈은 재빨리 대기 상태에 들어가게 되므로(④), 동시 접속 및 다중 접속을 가능하게 한다. 발생된 스레드는 데이터 수신을 시작하게 되고(⑥), 수신 후(⑦) 수신 패킷을 출력한다(⑧).

그림 2.16은 데이터 추출시 서버 메시지를 나타내고 있다. 수신 패킷의 요구를 분석하기 위하여 작업관리 컴포넌트가 활성화 되고(⑨), 데이터 연동 모듈을 활성화 시킨다(⑩). 데이터베이스의 준비가 완료되고(⑪) 수신 패킷의 헤더가 데이터 추출(DBLD)일 경우(⑫), 사용자의 수신 상태가 정상이면(⑬) 데이터를 추출하고 전송하게 된다.(⑭⑮)

서버는 기본적으로 데이터를 받고, 동시에 다른 사용자를 수용 할 수 있어야 한다. 서버 실행결과 1002개의 정보를 연속 전송할 경우 손실율은 0.1 %로 나타났다.

프로세스 코드와 스택 메모리 크기는 초기 9244 KB에서 최대 13412KB 이었으며, RSS 값은 초기 9MB에서 최대 12MB, 평균 11MB 이었다. 스레드를 사용하여 동시 접근이 가능하였으며, 저장 로직이 실행하는 순간에도 다른 사용자의 접근을 가능하였다. 데이터 추출의 경우 6개의 데이터 셋을 받아오는 실험을 408번 시행하였다. 프로세스 코드와 스택 메모리 크기는 초기 9244 KB에서 최대 15412KB 이었으며, RSS 값은 초기 9MB에서 최대 16MB, 평균 12MB 이었다.

검증 실험은 동시 접속 가능, 패킷 손실율 0.1%, 프로세스 코드 및 스택 메모리의 적은 크기변화 모두 만족할만한 성과를 보여주었다.

가. 2차 시작기 (NIO 서버)

서버의 입출력 수준을 향상시키기 위하여 2차 모듈은 자바 NIO를 이용하였다. 자바 NIO는 포인터 버퍼(Pointer Buffer), 채널(Channel), 셀렉터(Selector)가 내장되어 이를 이용하면 서버의 입출력 수준을 향상시킬 수 있다.

J2SDK 1.4에서 새롭게 도입된 NIO에서는 커널에 의해 관리되는 시스템 메모리를 직접 사용할 수 있는 Buffer 클래스가 도입되었다. 이 클래스의 하부 구현은 C로 구성되어, 기존에 배열로서 처리해야 했던 많은 부분들을 효율적으로 처리할 수 있는 환경을 제공해준다. 또한 단방향 스트림이 아닌 양방향 스트림을 처리할 수 있도록 채널이 도입되었다. 기존의 입출력 스트림(Stream)은 단방향이었다. 즉 읽거나 쓰는 한 가지만 가능했다. NIO에서는 이러한 스트림의 성능 향상을 위하여 채널(Channel)을 도입하였다. 채널은 스트림처럼 읽거나 쓰는 단방향에서부터, 읽고 쓰는 양방향 통신이 가능한 세 가지 형식이 존재한다. 또한 운영체제에서 제공하는 다양한 네이티브(Native) 입출력 서비스들을 이용할 수 있다. 채널은 버퍼(Buffer) 클래스와 함께 작업하도록 만들어져 있다. 따라서 채널을 이용하여 시스템 메모리인 버퍼에 직접적으로 데이터를 읽거나 쓸 수 있게 되었다. 또한 채널은 Scatter/Gather 디자인 패턴(Design Pattern)에 따라 구현되어 효율적으로 입출력을 처리할 수 있게 되었다. 네트워크 프로그래밍의 효율을 높이기 위하여 셀렉터(Selector)가 도입되었다. POSA2 (Pattern-Oriented Software Architecture, volume 2)에서 소개된 Reactor 패턴의 구현체이다. 기존의 자바 네트워크 프로그래밍에서는 한계가 있었다. 1차 시작기와 같이 클라이언트 하나당 스레드(Thread)하나를 생성해서 처리해야 했는데, 사용자가 늘어나면 스레드가 많이 생성됨으로 인해 급격한 성능 저하를 가져왔으며, 또한 구조적으로 많은 스레드를 생성해야 했기 때문에 메모리 또한 비효율적으로 사용하였다. 따라서 다음과 같은 문제가 발생하였다.

(1) 많은 스레드 생성에 따른 스레드 컨텍스트 스위치 부하

서버의 성능과 애플리케이션의 성격에 따라 다르기는 하나 보통 경량 서버의 경우 약 천여 개 정도의 스레드가 생성되면 스레드 컨텍스트 스위치 부하로 인해 급격한 성능 저하가 발생된다.

(2) 스레드 자체가 CPU와 고유택을 갖는 데 따른 컴퓨터 리소스 부하

모든 스레드는 자신만의 스택 영역을 갖고 스레드는 별도의 실행 흐름이므로 CPU를 점유, 사용한다.

(3) 클라이언트의 빈번한 접속과 종료에 따라 많은 가비지가 생성되는 문제점

서버를 통해 주고 받는 데이터는 대부분 일회용이다. 따라서 클라이언트와 데이터를 주고 받는 과정에서 JVM 힙 영역으로 데이터의 복사가 빈번하게 이뤄지므로 많은 가비지가 생성된다. 또한 서버에 클라이언트의 연결이 빈번하다면 스레드의 잦은 생성과 소멸에 따른 가비지도 많을 것이다. 자바의 가비지 수집(Garbage Collection) 작업은 상당히 느린 작업이므로, 서버의 수행능력에 직접적인 영향을 미친다.

(4) 클라이언트가 접속할 때마다 매번 스레드를 새로 생성해야하는 부담

자체 스택을 갖고 있는 스레드를 생성하는 것은 그리 빠른 작업이 아니다. 그런데 그 스레드가 클라이언트와 통신하는 로직까지 들고 있도록 무겁게 설계된 경우에는 더욱 느리다.

(5) 서버의 메모리 부족

멀티스레드를 이용한 서버는 확장성(Scalable)이 없어서 동시 접속 자가 많은 대규모의 서버로 사용하기에는 부적합하다. 1차 시작기를 포함한 상용 어플리케이션에서는 위의 문제점 중 일부를 해결하기 위해서 스레드 풀(Thread

Pool)을 사용한다. 특히 스레드 풀은 서버가 수용할 수 있는 제한된 개수만큼 스레드 생성을 제한하여 최악의 상황(서버의 메모리 부족)을 예방한다. 또한 많은 테스트와 튜닝으로 스레드 컨텍스트 스위치로 인해 급격한 성능 저하가 발생하는 지점을 찾아 그 이전 개수만큼 스레드 개수를 제한하여 서버가 항상 최적의 상태로 동작하는 것을 보장하게 만드는 것이다. 하지만 스레드 풀을 사용한다고 하더라도 확장성문제는 어쩔 수 없다.

NIO에서는 네트워크 프로그래밍의 확장성과 유연성, 효율성을 높이기 위해서 버퍼, 채널과 함께 사용되는 셀렉터를 이용함으로써 단 한 개의 스레드만으로 수천에서, 수만 명의 동시 사용자를 처리 할 수 있는 서버를 만들 수 있게 되었다.

2차 시작기에서는 앞서 설명한 자바 NIO를 이용하여 좀 더 효율적인 입출력 모듈을 개발하고자 하였다. 1차 시작기에서 도입한 멀티-스레드 (Multi-Threads) 방식은 클라이언트 당 1개의 스레드가 생성되므로 구조적으로 매우 비효율 적이다. 따라서 2차 시작기에서는 셀렉터를 이용하여 적은 스레드로 다수의 사용자를 처리할 수 있도록 하였다. 셀렉터는 Reactor 패턴의 구현체로 이벤트 중심의 어플리케이션이 하나 이상의 클라이언트로부터 하나의 어플리케이션으로 동시에 전달되는 서비스 요청들을 나눈 후, 각 요청에 상응하는 서비스 제공자에게 구별하여 보내준다.

NIO에서 비블록킹 서버 구현의 밑바탕이 되는 것이 바로 Reactor 패턴이다. 여러 선택채널을 자신에게 등록하게 하고 등록된 선택채널의 이벤트 요청들을 나눠서 적절한 서비스 제공자에게 보내 처리하는 것이다. 즉 멀티플렉스 (Multiplex) 입출력을 가능하게 해준다. 멀티플렉스 입출력은 단 하나의 스레드로 동시에 많은 입출력 채널들을 효율적으로 관리할 수 있게 해주어 기존의 멀티-스레드를 이용한 네트워크 프로그램에 비해 많은 부분에서 유리하다. 따라서 셀렉터를 도입하면 CPU와 자원을 덜 소모하게 되어, 기존의 서버보다

좀 더 빠르고, 많은 동시 접속자를 수용할 수 있는 확장성 있는 서버를 만들 수 있다.

개발된 모듈은 클라이언트들의 모든 요청을 앞단의 큐(Queue)에 저장하고 큐를 모니터링하는 스레드에 이벤트를 보내도록 개발하였다. 큐를 모니터링하는 스레드는 큐에 저장된 요청의 종류를 구별하여 적절한 로직으로 보내주어 요청이 처리되게 하였다.

또한 효율적인 서버 개발을 위하여 다음과 같은 방법을 이용하였다.

(1) 독립적 개발을 위한 MVC 모델의 이용

MVC 모델이란 모델(Model), 뷰(View), 컨트롤러(Controller)의 구조를 의미한다. 어플리케이션 개발에 있어서 전체 프로젝트의 구조를 기능별로 분화시킨 것이다. 모델(Model)은 데이터 및 콘텐츠 제공 알고리즘을 의미한다. 모델은 정보를 처리하여 컨트롤러에 제공하는 역할을 한다. 컨트롤러는 전체 어플리케이션을 제어한다. 이를 위하여 컨트롤러는 모델에 정보를 요청하고, 뷰에 결과를 반영하는 일정한 로직을 가지고 있다. 뷰는 컨트롤러의 로직 결과를 바탕으로 사용자에게 정보를 제공하거나, 이벤트를 받아 컨트롤러에 제공하는 역할을 한다. MVC 모델은 CBD (Component Based Development)의 구현적 방법이 될 수 있으며, 이를 이용하면 프로젝트의 확장성 및 독립성을 유지할 수 있다.

개발된 어플리케이션에 MVC 모델을 적용하기 위하여 GoF의 Observer 패턴을 이용하였다.

그림 2.17과 같이 모델 부분에 Observer를 등록하였다. 이를 통해 컨트롤러는 모델의 변화를 감지 할 수 있다. 컨트롤러는 그림 2.18과 같이 UI를 생성자로 받아 사용자의 이벤트를 컨트롤러 내에서 처리하고 모델의 결과를 반영할 수 있도록 개발하였다.

```

CoreServer.java
private ThreadPool requestThreadPool = null;
private ThreadPool serviceThreadPool = null;

private static CoreServer instance = new CoreServer();

public CoreServer() {}

public static CoreServer getInstance() {}

private void initResource() throws IOException {}

public void startServer() {}

public void stopServer() {}

public void addObserver(Observer object)
{
    acceptSelectorPool.addObserver(object);
    requestSelectorPool.addObserver(object);
    acceptThreadPool.addObserver(object);
    requestThreadPool.addObserver(object);
    memberQueue.addObserver(object);
}

public int getAcceptSelectorPoolSize()

```

Fig. 2.17 addObserver() Method in controller of Server application

```

CoreControl.java
package org.dirak.tiaudis.core;

import java.awt.event.*;

public class CoreControl implements ActionListener, WindowListener, Observer {

    MainUI view;
    CoreServer model;

    public CoreControl(MainUI mainUi)
    {
        view = mainUi;
        model = CoreServer.getInstance();
        model.addObserver(this);
    }

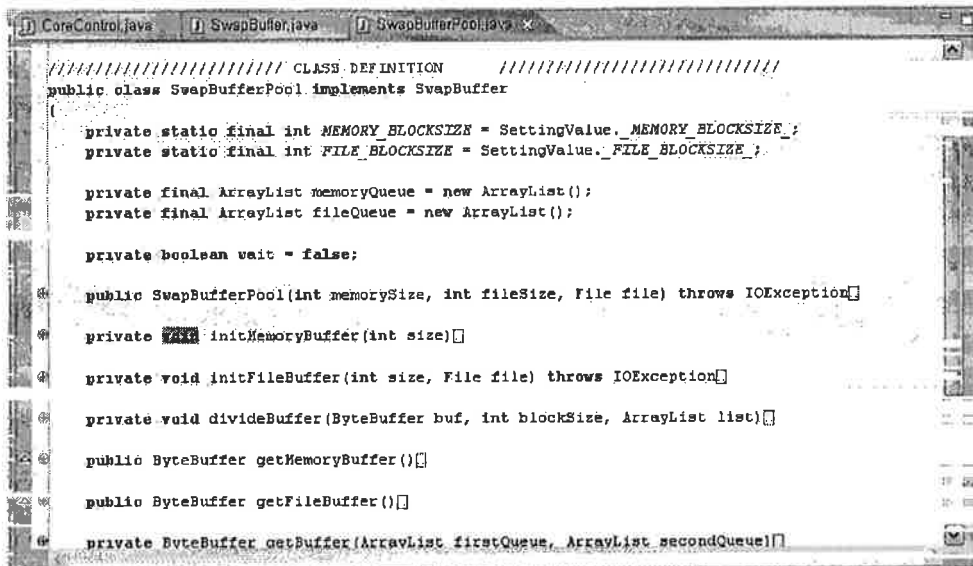
    public void actionPerformed(ActionEvent e)
    {
        if(e.getSource() == view.getCmdAPPLServerStart())
        {
            model.startServer();
            view.disableAllOperationButton();
        }
        else if(e.getSource() == view.getCmdAPPLServerStop())
        {
            model.stopServer();
            view.enableAllOperationButton();
        }
    }
}

```

Fig. 2.18 Constructor & event listener in controller of Server application

(2) 효율적인 메모리 사용을 위한 버퍼의 구현

그림 2.19와 같이 ByteBuffer를 이용하여 SwapBufferPool 클래스로 구현하여 모든 클래스에서 공용 메모리로 사용하도록 개발하였다. 사용이 끝나면 null로 반환하여 가비지 컬렉션 대상이 되도록 구성하였다. 또한 앞에서 언급한 채널 연동과 풀의 도입으로 효율적인 메모리 사용을 가능하도록 개발하였다.



```
//////////////////////////////////// CLASS DEFINITION //////////////////////////////////////
public class SwapBufferPool implements SwapBuffer
{
    private static final int MEMORY_BLOCKSIZE = SettingValue.MEMORY_BLOCKSIZE;
    private static final int FILE_BLOCKSIZE = SettingValue.FILE_BLOCKSIZE;

    private final ArrayList memoryQueue = new ArrayList();
    private final ArrayList fileQueue = new ArrayList();

    private boolean wait = false;

    public SwapBufferPool(int memorySize, int fileSize, File file) throws IOException {}

    private void initMemoryBuffer(int size) {}

    private void initFileBuffer(int size, File file) throws IOException {}

    private void divideBuffer(ByteBuffer buf, int blockSize, ArrayList list) {}

    public ByteBuffer getMemoryBuffer() {}

    public ByteBuffer getFileBuffer() {}

    private ByteBuffer getBuffer(ArrayList firstQueue, ArrayList secondQueue) {}
}
```

Fig 2.19 SwapBufferPool Class

(3) 동시성을 이용한 성능 극대화

앞에서 설명한 것과 같이 Selector를 이용하면 스레드 단 하나만을 사용해서 수많은 동시 접속자를 처리할 수 있지만 멀티스레드를 도입해서 동시 처리하는 것이 싱글 스레드 방식의 서버보다 훨씬 효율적이다. 하지만 멀티스레드는 서버의 과부하, 컨텍스트 스위칭 딜레이(Context Switching Delay)를 유발할 수 있으므로 스레드 풀을 설계하여 제한된 범위에서 사용가능하도록 개발하였다.

(가) Accept, Admit, Service의 분리

클라이언트와 접속을 맺는 과정인 accept() 과정은 상당히 느린 작업이며, 동시 접속자가 많을 경우 사용자는 접속을 위하여 많은 시간을 소비해야만 한다. 따라서 Accept 과정을 최대한 간결하게 처리하도록 경량화하였으며, 별도의 스레드와 셀렉터로 분리시켜 클라이언트의 접속만을 담당하도록 개발하였다.

(나) SelectorPool의 사용

앞에서 언급한 바와 같이, Accept는 상당히 느린 과정이며, 이를 위해 Accept를 담당하는 셀렉터의 숫자를 늘려 사용하는 것이 효과적이다. 하지만 무한정 셀렉터를 늘릴 경우 멀티-스레드 서버의 단점과 같이 서버의 메모리 용량 초과를 유발할 수 있으므로 별도의 풀로 개발하여 관리하도록 하였다.

(다) ThreadPool 사용

그림 2.20과 같이 스레드 풀은 셀렉터 핸들러, 인증 및 허가, 서비스 수신 및 콘텐츠 전송이 가능하도록 별도의 풀을 만들어 운용하였다. 또한 DB 접속을 위하여 제한된 개수의 스레드를 생성하여 서비스 하도록 개발되었으며, 하드웨어 성능에 따라 조절가능 하도록 각 스레드의 개수의 조절이 가능한 단일 클래스를 만들어 개발 유연성을 확보하였다.

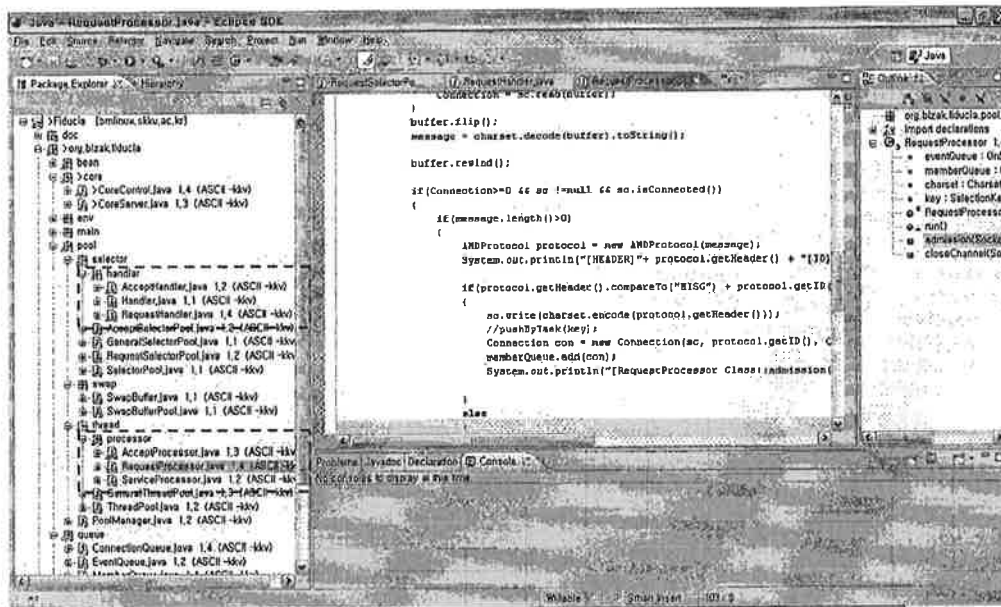


Fig. 2.20 Thread Pools in the server application

2.2.2. 서버 측 자료 관리 모듈 개발

서버의 효율적인 자료관리를 위하여 데이터베이스를 이용하였다. 데이터베이스란 '다중의 사용자가 자신에게 적합한 정보를 사용할 목적으로 필요한 객체들을 그들의 속성들과 함께 정리하여 중복성을 최소화한 정보의 집합체'라고 할 수 있다.

특히 데이터베이스 시스템은 검색, 수정, 갱신 등의 작업을 수행하며, 이는 사람의 수고보다 컴퓨터와 같은 기계적인 장비를 이용하는 것이 매우 효율적이다. 또한 데이터베이스 시스템은 데이터의 일관성과 무결성을 확보하고, 외부의 응용 어플리케이션과 독립적으로 실행되어, 전체 시스템의 유연성과 확장성을 확보할 수 있다.

본 연구에서 데이터베이스 시스템을 사용하기 위하여 MySQL을 설치, 데이터베이스를 구축하였다. MySQL과의 연동을 할 수 있는 데이터베이스 드라이버는 JDBC(Java DataBase Connectivity)를 사용하였다. MySQL은 3.23.58-4 버전으로 설치하였다.

어플리케이션에서 데이터베이스를 제어하기 위하여 DB 연동모듈을 개발하였으며, 개발된 DB 연동 모듈은 데이터베이스 콤포넌트, 데이터세이프 콤포넌트, 데이터 로드 콤포넌트, 딜리버리 콤포넌트 해당하는 부분으로 동시 접속, 다중 접속, 접속 유지, 요청 수락, 데이터 재전송 기능을 한다. 동시 접속과 다중 접속을 가능하게 하기 위하여 멀티 스레딩(Multi-Threading) 방식을 채택하였으며, 서버와 독립적으로 실행되어 자료의 관리를 수행하도록 개발하였다.

2.2.3. 서버 측 제어 모듈 개발

서버의 효율적인 관리를 위하여 MVC (Model-View-Control) 모델로 설계하였다. 그림 2.21과 같이 개발한 GUI를 View로 설정하고, 개발된 2차 시작기 서버와 연동할 수 있도록 Observer 패턴을 이용하였다. Observer를 적용한 View와 개발된 모듈(Model) 부분은 제어 모듈을 통해 제어된다. 그림 2.22과 같이 개발된 제어모듈은 View를 통해 현재 서버의 상태를 파악하고, 제어할 수 있도록 연동하는 역할을 한다.

```
package org.bizak.fiducia.core;

import java.awt.event.*;
import java.util.Iterator;
import java.util.Observable;
import java.util.Observer;

import org.bizak.fiducia.ui.MainUI;
import org.bizak.fiducia.core.CoreServer;
import org.bizak.fiducia.bean.Connection;
import org.bizak.fiducia.env.QueueEvent;

public class CoreControl implements ActionListener, WindowListener, Observer

{
    MainUI view;
    CoreServer model;

    public CoreControl(MainUI mainUi)
    {
        view = mainUi;
        model = CoreServer.getInstance();
        model.addObserver(this);
        view.addObserver(this);
    }

    public void windowActivated(WindowEvent e)
    {
    }

    public void windowClosed(WindowEvent e)
    {
    }
}
```

Fig. 2.21 Control part in the server application

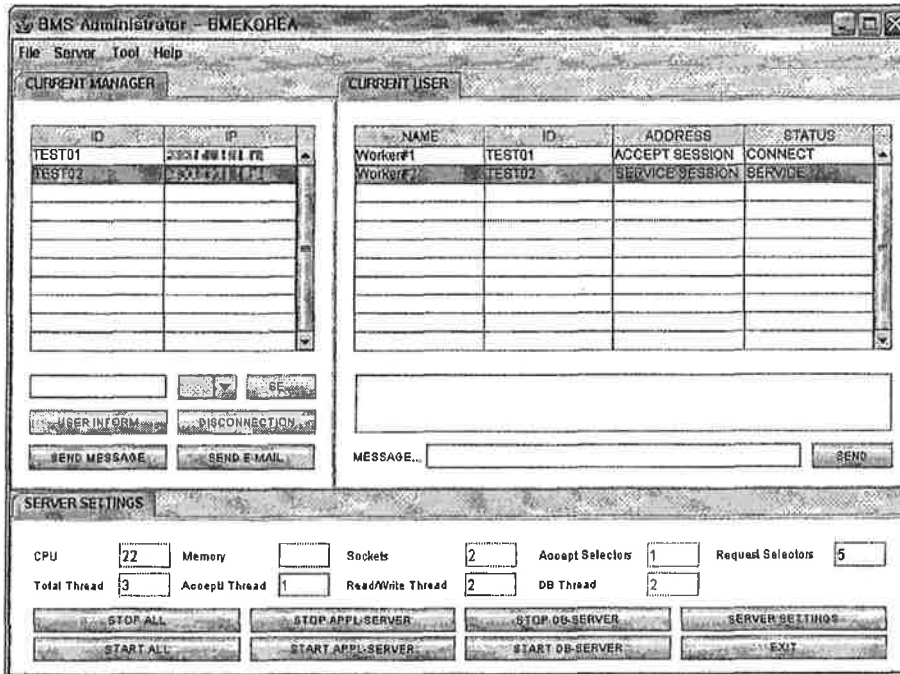


Fig. 2.22 The user interface of developed server application

3. 진단 모듈 개발 및 시스템 통합

3.1. 고장 진단 모듈 설계 및 개발

3.1.1. 고장 진단 시스템 사전 설계

고장 진단 알고리즘은 그림 3.1과 같이 콤바인 수확작업 시 반송 두께를 측정하여 반송 두께의 변화에 따른 고장 요인을 판별하였으며, 예취부 고장 진단 모델을 개발하여 고장 조건을 분석하였다. 고장 조건의 분석은 콤바인의 수확작업 시 모든 조건을 분석하여 실험하기가 어려우므로 예취부 고장 진단 모델의 시뮬레이션을 이용하였으며, 실제 수확작업을 통하여 이를 검증한 후,

퍼지 모델을 이용한 고장 진단 알고리즘을 이용하여 고장 진단 시스템을 개발하였다.

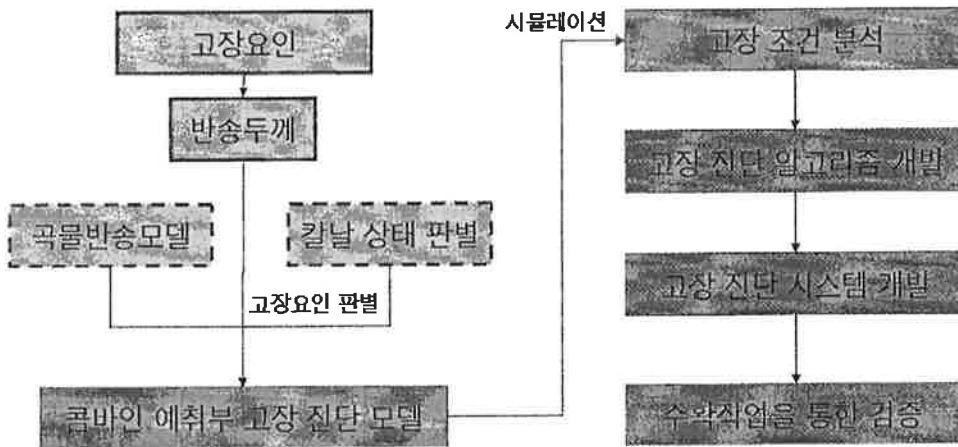


Fig. 3.1 Work flow for the development of trouble-shooting algorithm

수확 작업 시 곡물은 그림 3.2와 같은 반송 조건을 만족해야 하며(서울대학교 출판부, 1992), 그렇지 않을 경우에는 반송부 및 탈곡부의 막힘 현상으로 콤바인의 고장을 초래하게 된다.

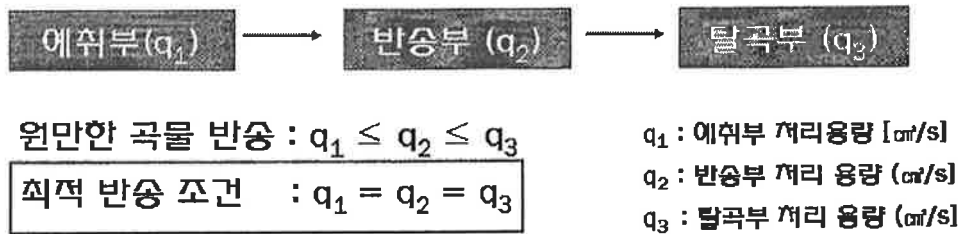


Fig 3.2 Optimal condition of feeding depth during harvesting.

그러므로 본 연구에서는 콤바인의 최적 반송 조건을 기본으로 곡물 반송 모델을 개발하였으며, 이를 위해 그림 3.3과 같은 국내 콤바인 설계 기준으로 사

용되는 작물과 포기 사이거리(조간거리) 및 작물의 단면적 수치를 이용하였다. 작물과 포기사이의 거리와 단면적은 콤바인의 수확량을 결정하는 요인으로 작물과 포기사이 거리가 15 cm 보다 작아지거나 작물의 단면적이 12.6 cm² 보다 커지게 되면 시간당 반송 두께가 증가하여 수확량이 증가하게 된다.

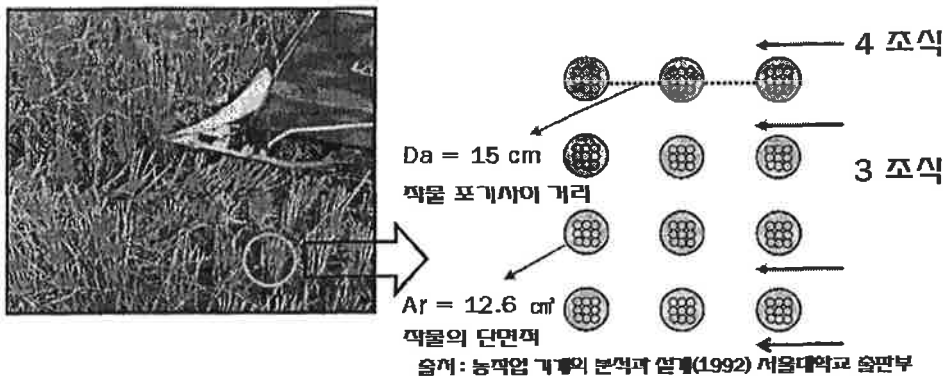


Fig. 3.3 Work condition of combine during harvesting

그러므로 콤바인의 작업 속도가 v_c , 예취조수 n_c 로 작업할 때, 예취부에 공급되는 단위 시간당 투입량은 식 (3.1)과 같이 단위 시간당 예취되는 벼의 단면적으로 나타낼 수 있다. 또한 단위 시간당 예취부 투입량에 절단 및 반송에 따른 효율을 적용하게 되면 러그의 파손 및 칼날의 상태에 따른 단위 시간당 예취부 공급량의 계산이 가능하게 된다.

$$q_1 = \frac{v_c \times A \times N}{r} \times \lambda_1 \times \lambda_2 \dots\dots\dots \text{식(3.1)}$$

여기서, q_1 : 단위 시간당 예취량 (cm^2/s)

v_c : 주행속도 (cm/s)

A : 수확면적 (cm^2)

N : 예취조수

r : 조건 거리 (cm)

λ_1 : 절단 효율 = $\frac{v_k}{v_1}$,

(단, v_k 는 칼날의 평균 절단속도)

λ_2 : 반송 효율

이때, 반송부에서의 단위 시간당 처리용량은 반송부를 지나는 예취작물의 압축되지 않은 상태에서의 반송 두께로 표시하여 식 (3.2)와 같이 시간당 공급되는 벼의 단면적으로 표시가 가능하다. 또한 최적 반송 조건을 만족하기 위해서는 공급되는 예취량과 반송량이 같아야 하므로 반송 두께는 식 x와 같이 나타낼 수 있으며, KC300 모델의 주행 속도와 반송/이송 체인 속도비(2:1)를 이용하면 식 3.2와 같이 최적 반송 두께는 5.04 cm로 계산되어 지며, 정상 수확을 위해서는 일정하게 유지하는 것이 필요하다.

$$q_2 = v_2 \times d_2 \dots\dots\dots \text{식(3.2)}$$

여기서, q_2 : 단위 시간당 반송량 (cm^2/s)

v_2 : 반송속도 (cm/s)

d_2 : 반송두께 (cm)

$q_1 = q_2$ 이므로

$$d_2 = \frac{v_c \times N \times A_r}{r \times v_2} \times \lambda_1 \times \lambda_2$$

이때, 정상 수확 작업 시 . $\lambda_1 = \lambda_2 = 1$,

주행속도 : 반송/이송 체인 속도 = 2 : 1

(KC 300기준)

$$d_2 = \frac{2 \times 3 \times 12.6}{15 \times 1} \times 1 \times 1 = 5.04 \text{ cm (일정)}$$

그러므로 본 연구에서는 반송 두께를 기준으로 고장 발생 조건을 분석하기 위하여 그림 3.4와 같이 주행속도, 동력전달 장치의 상태, 칼날의 상태, 러그의 상태에 따른 시뮬레이션을 수행하였으며, 이에 따른 고장 조건을 분석하여 고장 진단 알고리즘의 개발에 이용하였다. 주행 속도에 따른 반송 두께는 주행 속도와 상관없이 일정하게 유지되었으며, 이것은 주행 속도의 변속 시 예취부도 동일한 속도비로 변속되어 지기 때문으로 정상적인 수확작업 시의 반송 두께는 일정하게 유지해야 함을 알 수 있다. 동력전달 장치의 고장 시에는 원활한 반송이 불가능하므로 반송 두께가 정상 보다 높게 증가하게 되며, 이러한 현상은 반송부의 막힘 현상을 초래하여 콤바인의 고장을 유발하게 된다. 칼날의 상태에 따른 콤바인의 상태는 칼날이 이격과 파손이 되면 반송 두께가 감소하여 전체적인 수확량 감소를 초래하게 되며, 러그의 파손도 절삭된 작물을 반송하기 못하여 파손 개수가 증가할수록 반송 두께가 감소하게 된다.

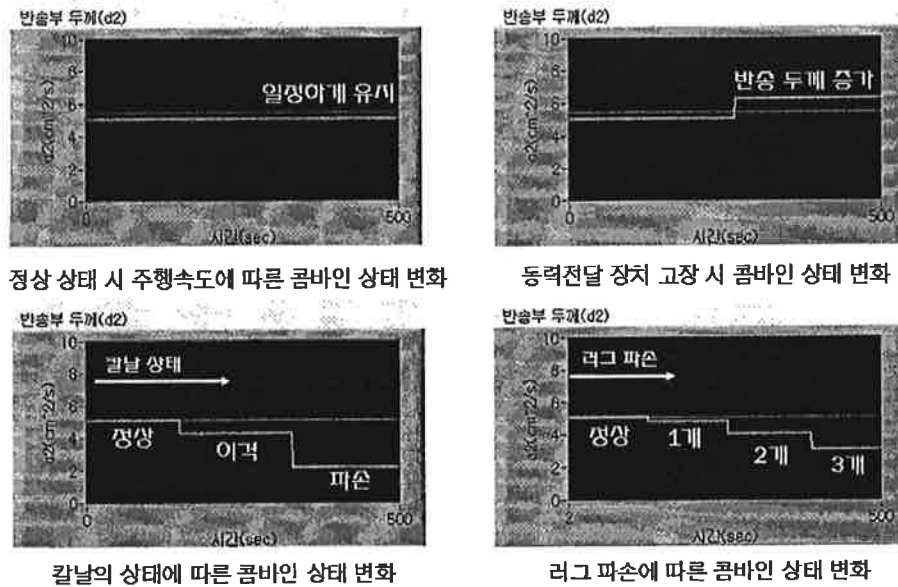


Fig. 3.4 Simulation of feeding depth by faults condition

3.1.2. 고장진단 시스템의 신호처리 및 분석

콤바인의 고장진단은 센서신호의 입력 값에 의존하므로 정확한 고장진단을 위해서는 엔진 구동 시 발생하는 진동 및 주행 시 포장의 굴곡에 의한 센서 신호의 오차를 줄여야 한다. 이를 위해서는 하드웨어적인 방법과 소프트웨어적인 방법으로 콤바인 주행 시 발생하는 센서의 잡음을 제거해야 한다. 하드웨어적인 방법은 센서의 장착위치 선정 및 방진장치 설계 등의 방법 등이 있으나 콤바인의 경우 센서의 장착 위치가 자유롭지 못하여 하드웨어적인 방법을 통하여 센서신호의 잡음을 제거하는 것은 제한적이라 할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 측정된 센서 신호의 잡음을 제거하기 위하여 다음과 같이 여러 가지 신호처리 방법을 비교하여 이상 잡음을 제거하였다.

가. 저역 및 고역 통과 필터

잡음 제거를 위해 가장 기본적으로 사용되는 필터로 FIR필터나 IIR필터로 설계하며, 저역 통과 필터는 차단 주파수 이상의 신호를 단순 제거하는데 사용되며, 고역통과 필터는 차단 주파수 이하에서 큰 기저선 변동을 일으키는 신호를 제거하기 위해 주로 사용된다. 저역 및 고역 통과 필터는 회로를 설계하여 적용하기에 쉽다는 장점은 있으나 필터의 차수나 계수가 고정되어 설계 목적에 부합되지 않을 경우나, 신호나 잡음의 특성이 바뀌는 경우에는 그때마다 재설계해야 하므로 콤팩트 수확작업 등과 같이 외부환경에 영향을 많이 받는 경우에는 사용하기 어렵다는 단점이 있다.

나. 이동 평균 필터(Moving average filter)

이동 평균 필터는 k 번째 측정된 센서 신호와 윈도우 차수에 따른 이전에 측정된 신호의 평균을 산출하여 필터링을 하는 방법으로 이전에 측정된 센서 신호를 이용하여 다음번 센서 신호의 값을 보정하는 방식으로 필터링 된다. 이동 평균 필터는 오랜 시간동안 신호를 측정하여 보정하므로 다음 측정된 센서 신호에 대한 오차를 줄일 수 있다는 장점은 있으나 데이터의 평균으로 인한 센서 신호의 감도가 저하되어 콤팩트의 환경변화에 둔감하다는 단점이 있어 콤팩트 고장을 빠르게 진단하기에는 무리가 있다.

다. 적응 필터(Adaptive filter)

적응 필터는 주로 특정 조건에 따라 필터의 특성이 변화해야하는 경우, 신호와 잡음의 대역이 겹쳐서 존재하는 경우, 혹은 잡음이 존재하는 주파수 대역을 알지 못하는 경우에 주로 사용된다. 적응 필터는 콤팩트 수확작업에서와 같이 외부환경에 영향을 많이 받는 경우에 다소 안정된 출력값을 얻을 수 있으나 그림 3.5와 같이원신호(s_1)에 잡음(n_1)이 추가된 센서 신호($n_1 + s_1$)와 잡음의 기준신호가 되는 기준입력 신호(n_2)를 입력으로 하여 잡음을 제거하므로

기준신호의 선정이 무엇보다 중요하다. 콤바인의 잡음은 주로 엔진 구동 시 발생하는 잡음이 주를 이루고 있으나(최중섭, 2001) 수확작업 시 진동은 포장의 형태 및 수확조건에 따라 다르게 발생하므로 각각의 센서에 대하여 기준 입력 신호를 선정하기에는 어려운 단점이 있다.

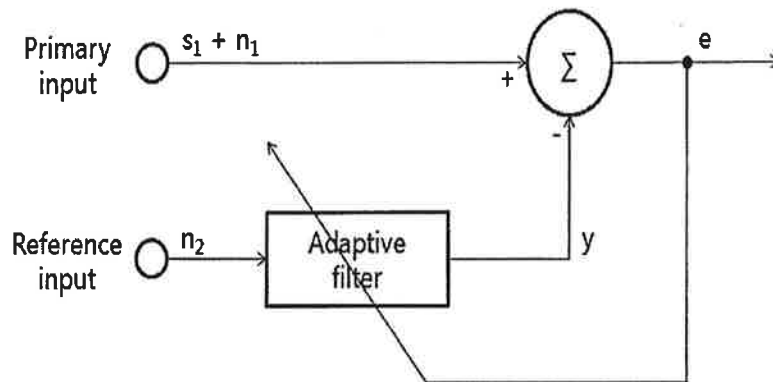


Fig. 3.5 Adaptive filter by reference noise.

라. 칼만 필터(Kalman filter)

칼만필터는 최소자승방법(Least Square Method : LSM)에 의해 효율적인 순환해를 제공하는 수학적 방정식으로 확률적으로 측정된 센서 신호를 예측하여 최적으로 추정할 수 있다. 또한 필터의 구조가 선형으로 구성되어 설계가 용이하며, 특히 선형시스템에서 변수의 분포가 가우시안인 경우에 그 특성이 최적을 나타냄이 잘 알려져 있다. 그러나 칼만필터는 고장진단 센서를 통해서 입력되는 잡음의 분산을 알아야 단점이 있어 실제 시스템 적용 시 센서 잡음의 여러 가지 분산값을 입력으로 최적의 필터를 설계해야 한다. 본 연구에서는 측정 센서로부터 발생하는 콤바인 주행 시 발생하는 측정 잡음은 특정 주파수대역 성분이 아니므로 정확한 정보를 알기에는 무리가 있다. 그러므

로 특정 주파수대역의 잡음을 제거하는데 사용되는 Low Pass Filter, High Pass Filter, Band Pass Filter나 측정된 신호 외에 Reference 신호를 추가적으로 입력해야하는 적응필터 등을 사용할 수 없으므로 칼만필터(Kalman Filter) 알고리즘을 사용하여 콤팩트 진동에 대한 잡음을 제거하였으며, 센서 신호의 분산에 대한 입력변수는 실험을 통하여 계산하였으며, 그 구체적인 알고리즘은 다음과 같다.

일반적인 이산시간 차분방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_{k+1} = \Phi_k x_k + w_k \text{ 시스템 방정식(미션RPM의 상태를 표현한 식)}$$

$$y_k = Hx_k + v_k \text{ 측정 방정식}$$

여기서, x_k : 시스템의 상태변수(미션RPM)

Φ_{k-1} : 현재상태 변수(x_{k-1})와 다음 상태변수(x_k)를 연결하는 변환계수

w_k : 시스템 오차

y_k : 측정변수(센서로 측정된 미션RPM)

H_k : 상태변수(x_k)와 관측값(z_k)를 연결하는 변환계수

v_k : 측정 오차

위식과 같은 시스템에 대해서 이산시간 칼만필터는 단계1에서 단계4까지 반복 수행되며, 이산칼만필터의 블록선도는 그림 3.6와 같다.

[단계 0] 초기값

(\hat{x}_0^-, P_0^-) 초기값 을 정함

여기서, \hat{x}_0^- : 초기 추정값

P_0^- : 초기 추정값에 대한 오차의 상호분산행렬

[단계 1] 칼만 이득 계산

$$K_k = P_k^- H_k^T [H_k P_k^- H_k^T + R_k]^{-1}$$

여기서, P_k^- : k-1스텝까지의 측정값으로부터 구한 k스텝의 추정값에 대한 오차의 상호분산행렬

R_k : 측정잡음의 자기상호분산(autocovariance) 행렬

K_k : 칼만 이득(Kalman Gain)

[단계 2] 상태 추정 갱신

$$\hat{x}_k = \Phi_{k-1} \hat{x}_{k-1} + K_k [y_k - H_k \Phi_{k-1} \hat{x}_{k-1}]$$

여기서, \hat{x}_k : k스텝까지의 측정값으로부터 구한 k스텝의 추정값

Q_k : 시스템잡음의 자기상호분산(autocovariance) 행렬

[단계 3] 오차 공분산 갱신

$$P_k = [I - K_k H_k] P_k^-$$

여기서, P_k : 추정오차의 상호분산 행렬

[단계 4] 추정 (상대 추정 외삽법)

$\hat{x}_{k+1}^- = \Phi_k \hat{x}_k$ 이며, 오차의 공분산은 $P_{k+1}^- = \Phi_k P_k \Phi_k^T + Q_k$ 로 계산되어 진다.

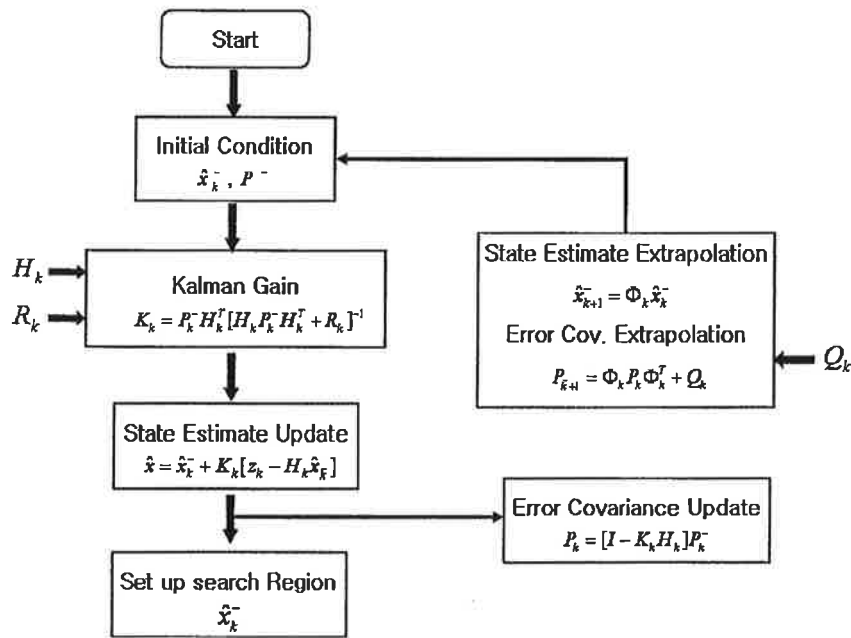


Fig. 3.6 Flow chart of the discrete Kalman filter

마. 신호처리를 통한 고장진단 센서의 성능평가

고장진단 센서의 신호처리를 위하여 각각의 센서 신호에 대하여 칼만 필터를 적용하였다. 칼만 필터의 분산에 대한 입력은 각각의 센서 신호 특성을 고려하여 실험적으로 정하였으며, 센서 신호의 특징 및 측정항목에 대하여 안정된 출력범위를 보이도록 하였다. 칼만 필터를 이용한 신호처리는 기존의 공회전 시와 수확작업 시의 센서 출력 값을 이용하여 신호를 처리하였다.

칼만 필터를 이용하여 신호처리를 한 결과, 표 3.1과 같이 엔진 회전 속도의 표준편차는 공회전 시와 수확작업 시 각각 32.36 rpm, 33.81 rpm으로 유사한 범위를 보이고 있으며, 산포도도 1.08, 1.13으로 그림 3.7, 그림 3.8과 같이

센서의 측정신호가 일관적인 측정결과를 보여주는 것을 알 수 있다. 미션의 회전속도를 신호처리 한 결과 그림 3.9, 그림 3.10과 같이 공회전 시와 수확작업 시 표준편차는 각각 10.94 rpm, 24.42 rpm으로 나타났으며, 산포도는 1.18, 2.66 으로 다소 높게 계산되었으나, 필터를 사용하지 않은 경우에 비하여 낮은 산포도를 보여주고 있다. 예취구동부의 회전속도는 그림 3.11, 그림 3.12와 같이 필터를 사용하지 않은 경우 보다 좋은 측정 결과를 보이고 있으며, 표준편차는 각각 0.37 rpm, 0.73 rpm, 산포도는 0.11, 0.22로 센서 신호가 정확한 미션의 회전속도를 측정하고 있음을 알 수 있다. 주행속도는 그림 3.13, 그림 3.14와 같이 표준편차가 0.07 m/s로 동일하게 측정되었으며, 산포도는 각각 7.78, 7.69로 유사한 범위를 보여주고 있다. 러그의 검출속도는 그림 3.15, 그림 3.16과 같이 각각 0.35 rpm, 0.23 rpm, 산포도는 1.97, 1.30으로 러그의 파손이 검출 가능함을 알 수 있으며, 예취높이는 그림 3.17, 그림 3.18과 같이 각각의 표준편차가 1.01 cm, 1.42 cm, 산포도가 11.69, 16.47 로 다소 높은 오차를 보이고 있으나 이것은 포장의 상태에 따른 예취높이의 변화에 기인한 것으로 실제 포장과 콤바인의 높이를 정확하게 측정하는 것은 무리가 있는 것으로 판단된다. 유압온도는 그림 3.19, 그림 3.20과 같이 실제 콤바인의 진동에는 거의 영향을 받지 않으며, 신호처리 한 결과 표준편차는 각각 0.01 °C, 산포도는 0.02 로 측정되었다.

Table 3.1 Statistical analysis of sensors for combine header diagnosis by kalman filter

		N	Mean	Std Deviation	Coeff Variation
엔진 회전 속도(RPM)	공회전	100	2,992	32.36	1.08
	수확작업	100	2,991	33.81	1.13
미션 회전 속도(RPM)	공회전	100	926	10.94	1.18
	수확작업	100	917	24.42	2.66
예취구동부 회전속도(RPM)	공회전	100	331	0.37	0.11
	수확작업	100	331	0.73	0.22
주행속도 (m/s)	공회전	100	0.90	0.07	7.78
	수확작업	100	0.91	0.07	7.69
리그검출속도 (RPM)	공회전	100	17.78	0.35	1.97
	수확작업	100	17.71	0.23	1.30
예취높이(cm)	공회전	100	8.64	1.01	11.69
	수확작업	100	8.62	1.42	16.47
유압온도(℃)	공회전	100	43.21	0.01	0.02
	수확작업	100	43.21	0.01	0.02

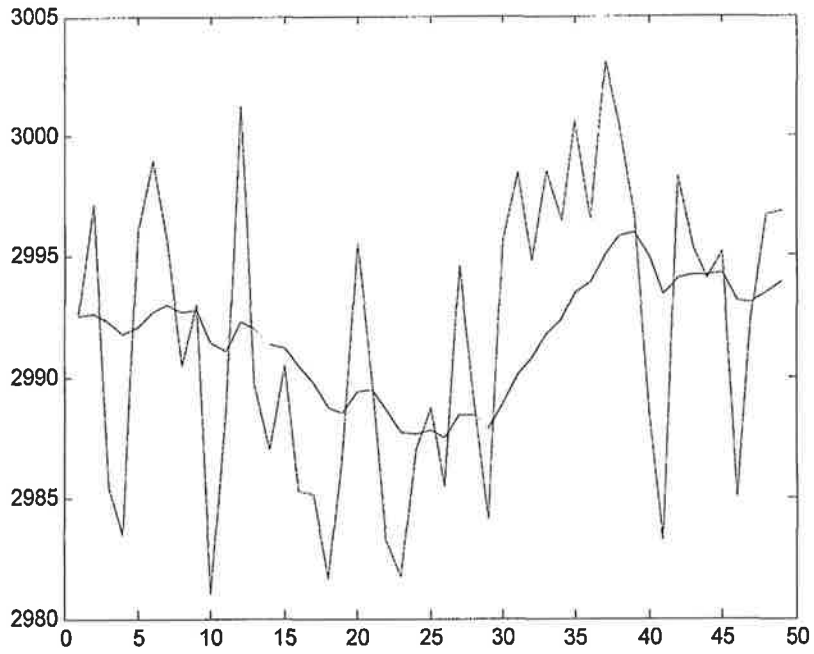


Fig 3.7 Kalman filtering of engine RPM(without cutting)

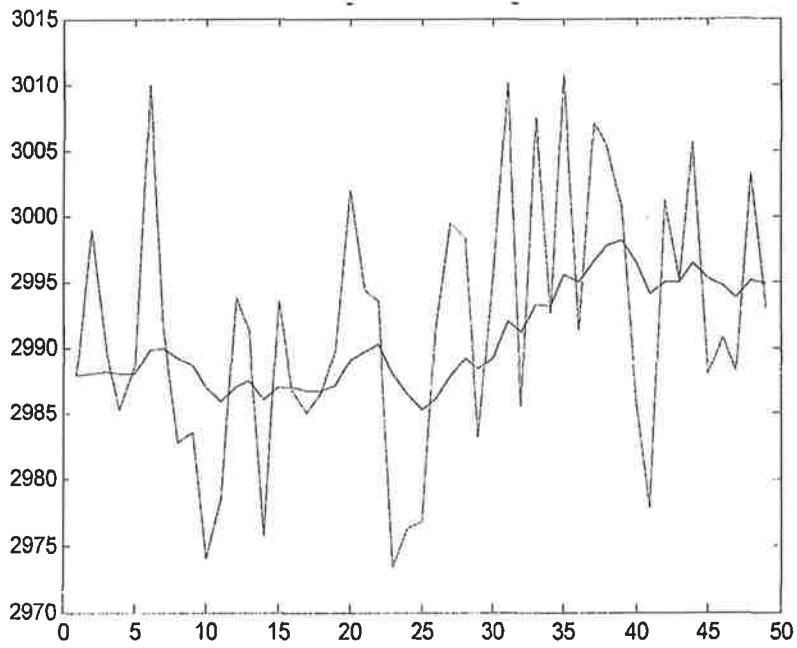


Fig. 3.8 Kalman filtering of engine RPM(with cutting)

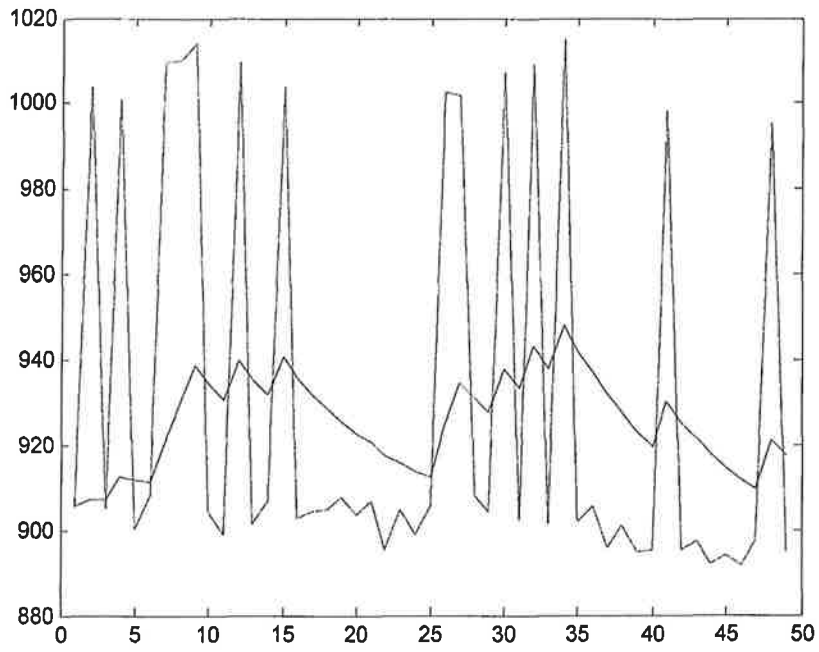


Fig. 3.9 Kalman filtering of transmission RPM(without cutting)

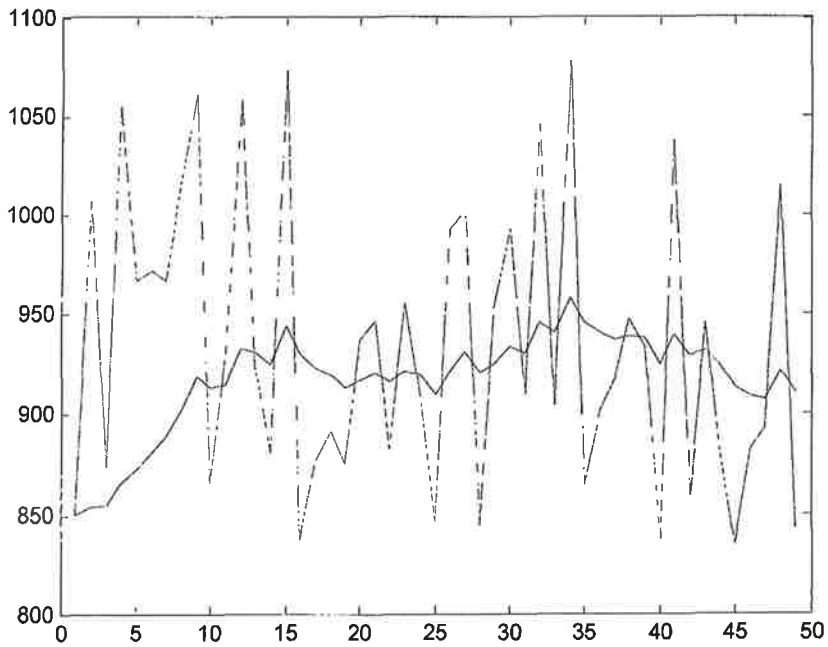


Fig. 3.10 Kalman filtering of transmission RPM(with cutting)

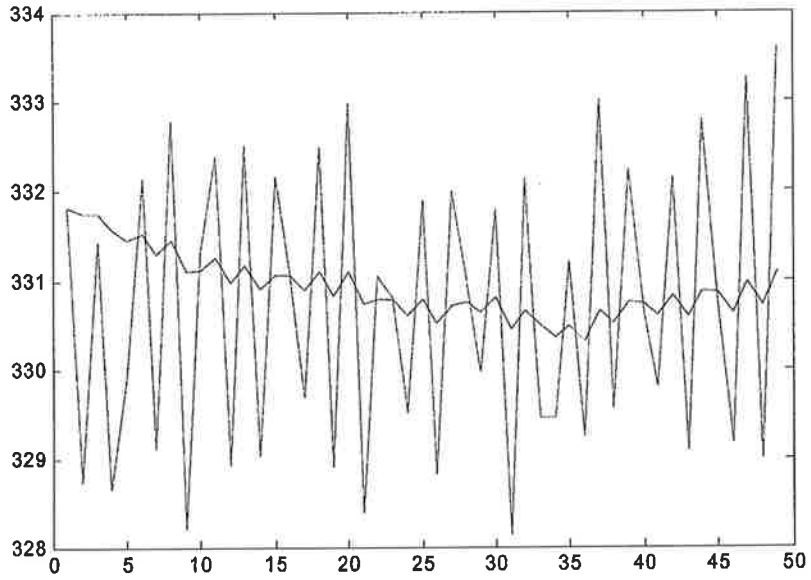


Fig. 3.11 Kalman filtering of transmission RPM for combine header (without cutting)

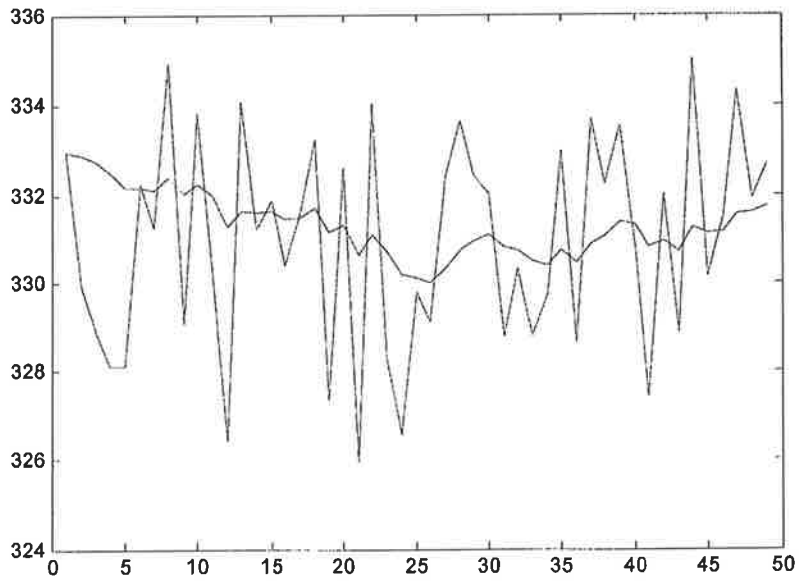


Fig. 3.12 Kalman filtering of transmission RPM for combine header (with cutting)

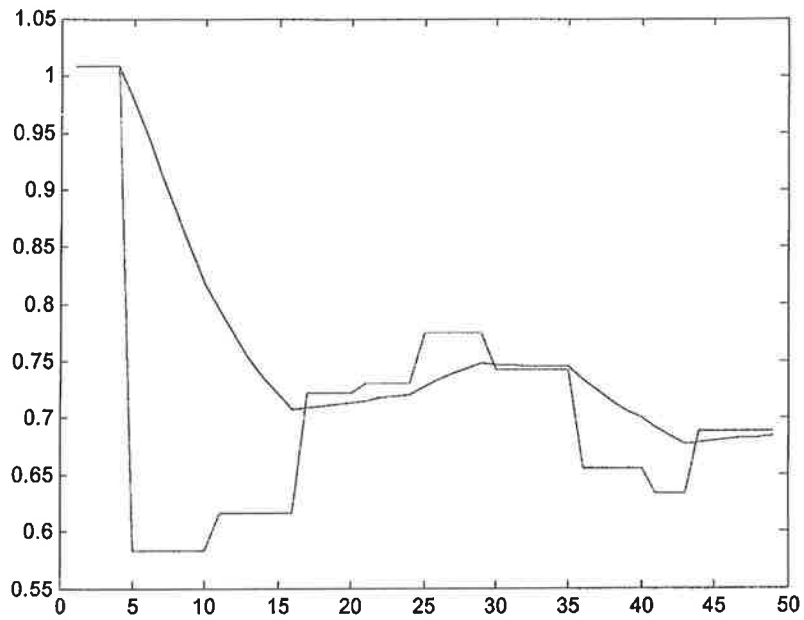


Fig. 3.13 Kalman filtering of ground speed (without cutting)

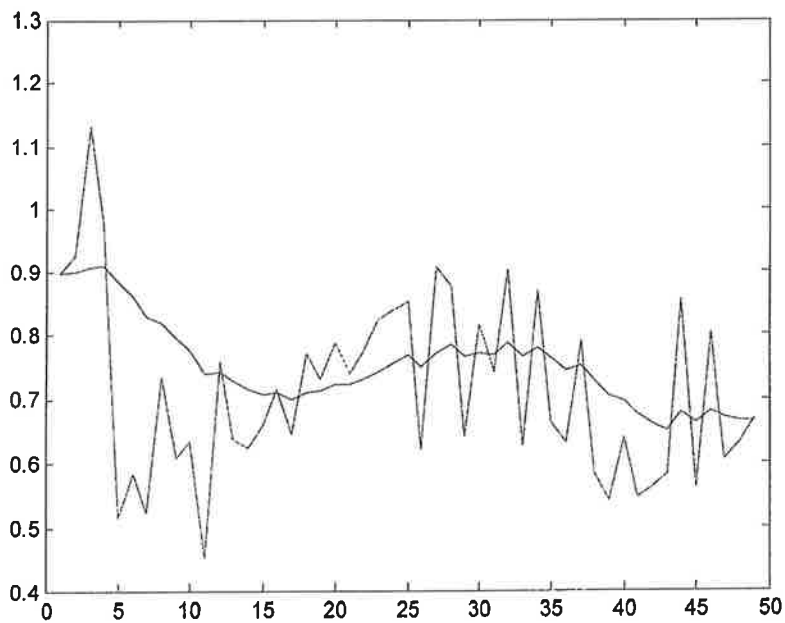


Fig 3.14 Kalman filtering of ground speed (with cutting)

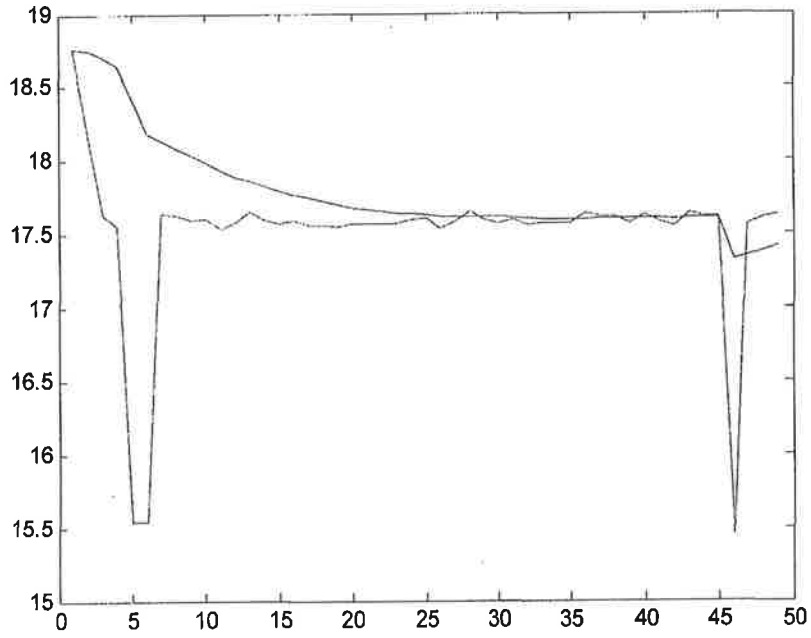


Fig. 3.15 Kalman filtering of detection of lug RPM(without cutting)

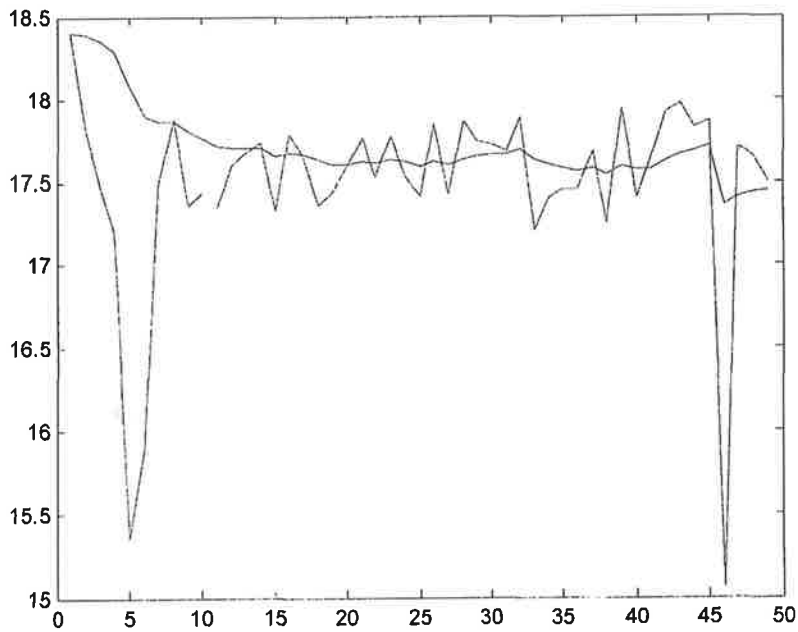


Fig. 3.16 Kalman filtering of detection of lug RPM(with cutting)

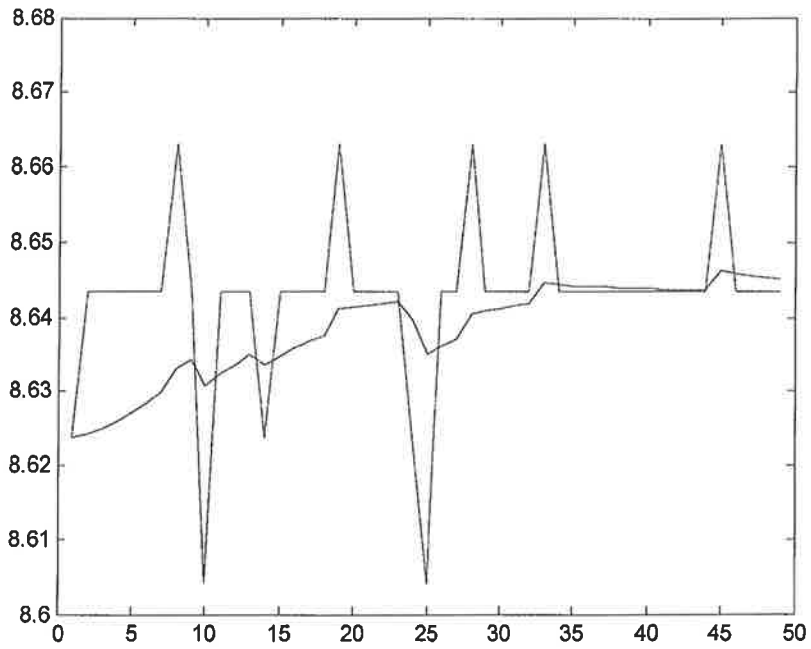


Fig. 3.17 Kalman filtering of height of combine header(without cutting)

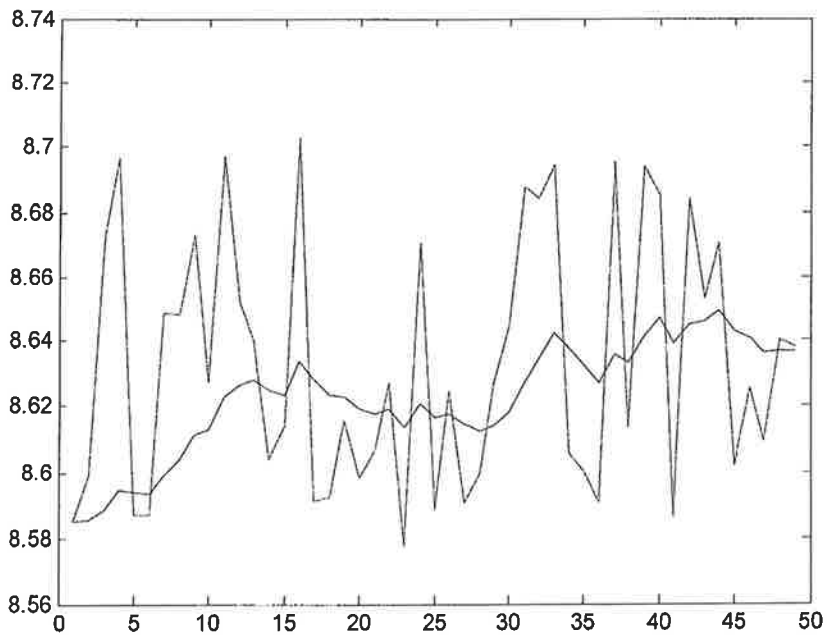


Fig. 3.18 Kalman filtering of height of combine header(with cutting)

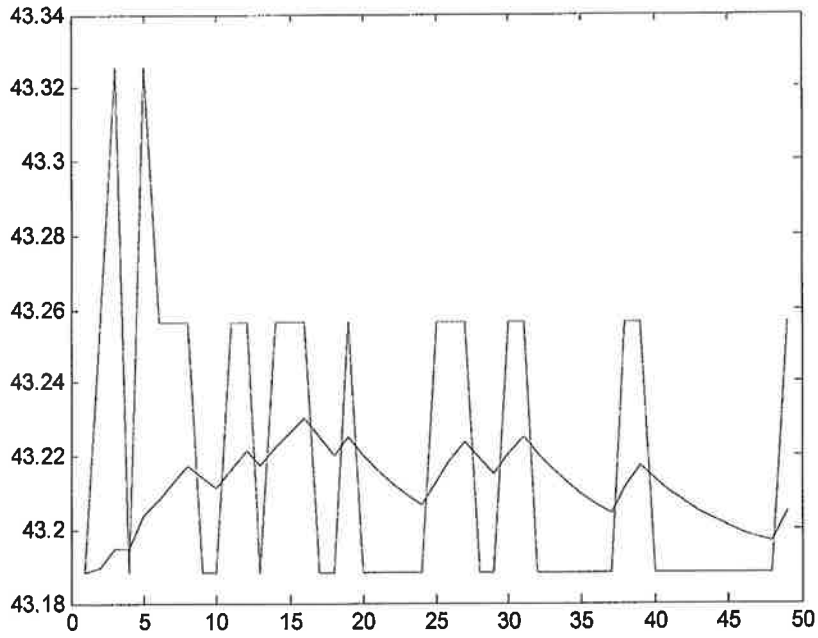


Fig 3.19 Kalman filtering of oil temperature (without cutting)

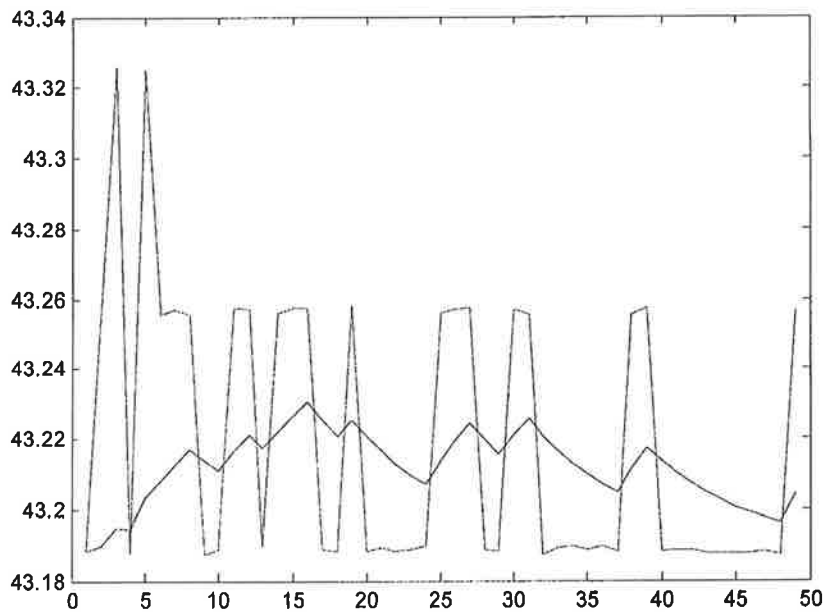


Fig 3.20 Kalman filtering of oil temperature (with cutting)

또한 계측 시스템의 성능평가를 위하여 표 3.2와 같이 콤바인 주요 부위의 센서 신호를 측정하고 기준 값과 비교하였다. 기준 신호는 국제 콤바인 연구소에 의뢰하여 KC 300 모델의 설계 시 허용 범위를 평균 내어 사용하였다. 칼날의 절단속도는 0.81 ~ 0.86 m/s로 측정되었으며, 평균 0.82 m/s로 기준 값과 유사한 범위를 보이고 있어 수확작업 중 작물에 관계없이 칼날의 절단속도 측정이 가능함을 알 수 있다. 반송 두께는 3.98 ~ 5.53 cm로 나타났으며, 평균 4.78 cm로 설계 기준인 5.04 cm보다 다소 낮게 나타났는데, 이것은 탈곡부 투입 두께를 이용하여 반송 두께를 간접적으로 측정하는데 따른 오차로 판단된다.

Table 3.2 Standard values and measurement values for combine diagnosis

Variables	Standard	Measurement			
		Max.	Min.	Avg.	Std.
Cutter speed (m/s)	0.83	0.86	0.81	0.82	0.04
Feeding depth (cm)	5.04	5.53	3.98	4.78	0.45
Cylinder speed (rpm)	520	531	521	525	3.10

또한 수확작업 시 반송 두께의 실시간 계측 성능을 평가하기 위하여 작업 중인 콤바인을 정지한 후에 각각 10 회에 걸쳐 실제 반송 두께를 측정하였으며, 이때 탈곡부 투입 두께를 실시간 측정한 후에 상관관계를 이용하여 반송 두께를 예측 하였다. 측정된 반송 두께는 그림 3.21과 같이 탈곡부 투입 두께를 이용하여 예측한 결과와 유사한 변화를 보이고 있다. 또한 수확작업이 종료되는 45초 구간의 경우 큰 차이를 보이고 있는데, 이것은 최종 수확물이 모두 반송되어 반송부에서는 측정되지 않으나 탈곡부 투입 두께는 측정이 가능하기 때문으로 판단된다. 탈곡통의 회전속도는 521 ~ 531 rpm의 범위를 보이

고 있으며, 평균 525 rpm으로 사용된 콤바인의 적정 탈곡통 회전속도인 520 rpm과 유사하게 측정되고 있음을 알 수 있다.

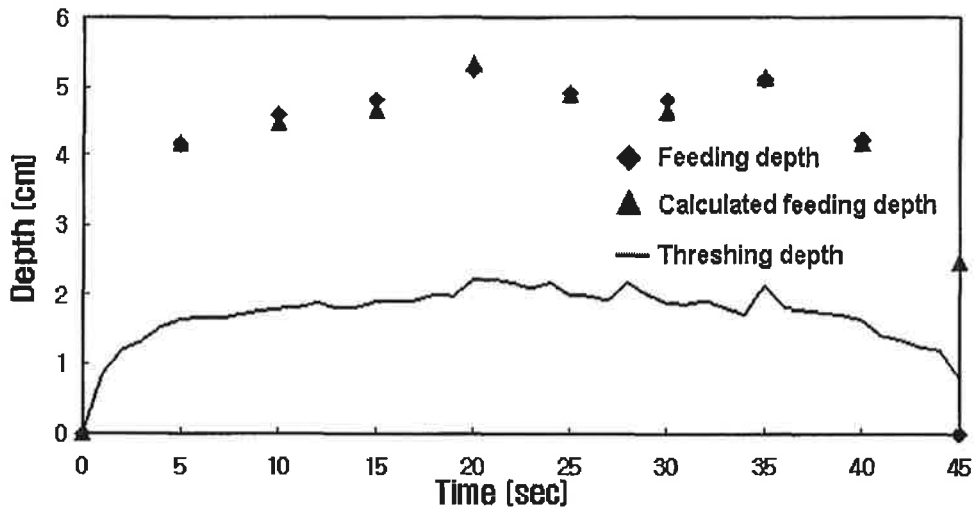


Fig. 3.21 Prediction of feeding depth during harvesting.

3.1.3. 고장진단 진단모듈 설계 및 제작

가. 콤바인 예취부 고장 특성 분석

예취부 고장요인이 각각의 콤바인 주요 부위에 미치는 영향을 표 3.3과 같이 분석하여 최소 유의차 방법으로 검증하였다. 콤바인의 작업속도를 1단(0.60 m/s), 3단(0.85 m/s), 5단(1.13 m/s)으로 가속하며 절단속도를 측정된 결과, 작업속도의 증가에 따라 절단속도는 각각 0.58 m/s, 0.82 m/s, 1.11 m/s로 증가하여 유의 수준 1% 이내에서 구분이 가능하였다. 이것은 콤바인이 수확 중 변속 수준에 따라 작업속도와 예취부의 속도가 비례적으로 변하여 예취부 및 반송부의 막힘을 방지하기 위함으로 실험에 사용된 콤바인의 동력전달이 원활히 이루어지고 있음을 알 수 있다. 반송 두께는 유의 수준 0.20에서 작업속도

변화에 상관없이 일정하게 나타났으며, 이것은 작업속도와 예취부 및 반송부의 속도가 비례하므로 단위 시간당 반송 두께는 수확량에 관계없이 일정하기 때문으로 판단된다. 탈곡통의 회전속도는 유의 수준 1% 이내에서 작업속도의 증가에 따라 각각 순차적으로 감소하여 정확한 구분이 가능함을 보여주고 있다. 콤바인 작업속도의 증가는 단위 시간당 수확량 및 탈곡통의 처리 용량이 증가시키므로 탈곡통의 부하 증가로 인한 회전속도의 감소를 초래하며(최규홍, 1991), 본 실험에서는 탈곡통의 정격 회전속도(525 rpm)를 기준으로 각각 525 rpm (100%), 503 rpm (96%), 480 rpm (91%)으로 감소되어 작업 속도에 따라 탈곡통의 처리 효율이 감소되어 막힘 현상 및 미탈립의 발생을 초래한다. 탈곡통의 회전 속도는 탈곡부의 고장 및 성능을 평가하는 주요인자로 탈곡부의 고장을 방지하기 위해서는 수확작업 시 적절한 작업 속도의 유지와 정상적인 작업이 가능한 러그의 사용이 필요하다. 그러므로 작업 속도와 러그의 상태에 따른 탈곡통의 회전 속도를 측정한다면, 탈곡통의 막힘 및 미탈립 발생 등의 고장 및 성능 저하를 방지할 수 있다.

Table 3.3 One-way ANOVA and LSD classification for faults condition

Factor	Level	Variables								
		Cutter speed (m/s)			Feeding depth (cm)			Cylinder speed (rpm)		
		F-value (Pr>F)	Mean	LSD	F-value e (Pr>F)	Mean	LSD	F-value (Pr>F)	Mean	LSD
Grounding speed (m/s)	0.60	5855.5 (<.0001)	0.58	A	0.22 (0.20)	4.72	-	617 (<.0001)	525	A
	0.85		0.82	B		4.71	-		503	B
	1.13		1.11	C		4.71	-		480	C
Lug troubles (Number)	0	0.22 (0.15)	0.83	-	520.32 (<.0001)	4.78	A	8.17 (0.005)	525	A
	1		0.83	-		4.55	B		530	B
	2		0.84	-		3.85	C		535	B
Cutter condition	3	0.84 (0.0013)	0.82	-	670.80 (0.0013)	2.98	D	1.90 (0.33)	532	B
	N		0.84	A		4.77	A		525	-
	L		0.72	B		4.81	A		522	-
	B		0.84	A		2.10	B		525	-

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

인기 리그의 파손에 따라 절단속도, 반송 두께, 회전속도를 측정한 결과, 절단 속도는 인기 리그의 파손에 관계없이 일정하게 나타나 벼의 자세 불량에 따른 부하 증가는 칼날의 절단속도 보다 상대적으로 작은 것을 알 수 있다. 반송 두께는 유의수준 1% 이내에서 인기 리그의 파손이 증가할수록 감소하여 파손 수준에 따라 반송 두께의 정확한 구분이 가능함을 보여주고 있으며, 이것은 벼의 자세 불량으로 인하여 반송되지 못하는 현상으로 인기 리그의 파손 증가는 정상 반송 두께인 4.78 cm (100%)를 기준으로 각각 4.55 cm (95%), 3.85 cm (80%), 2.98 cm (62%)로 감소되어 반송 효율 및 수확량 감소를 초래하고 있음을 알 수 있다. 인기 리그의 파손에 따른 탈곡통 회전속도의 변화는 유의 수준 0.005에서 정상 상태와 파손 상태의 구분만이 가능한 것으로 나타났다. 탈곡부는 콤바인 동력 중 가장 큰 부하를 작용하므로 변속과 상관없이 일정한 회전속도를 유지하도록 설계되었기 때문에 인기 리그의 파손에 따른 수확량의 감소는 탈곡통 회전속도 변화에 큰 영향을 미치지 못하는 것을 알 수 있다. 칼날의 상태에 따른 절단속도는 유의 수준 0.0013에서 정상 칼날과 파손 칼날 모두 0.84 m/s (100%), 이격 칼날은 0.72 m/s (86%)로 감소하여 칼날의 이격 시 절단 속도 감소에 따른 구분이 가능함을 보여주고 있으며, 이것은 구동날과 고정날 사이의 간격 증가로 인하여 칼날의 왕복 운동에 따른 마찰력이 증가하였기 때문으로 판단된다. 반송 두께는 유의 수준 0.0013에서 정상 칼날과 이격 칼날의 경우 각각 4.77 cm, 4.81 cm로 구분이 어려웠으며, 파손 칼날을 사용하면 벼를 절단하지 못함에 따라 수확량이 감소하므로 반송 두께가 2.10 cm로 크게 감소하여 다른 칼날과 구분이 가능하였다. 또한 파손 칼날의 사용은 정상 칼날 보다 약 44 %의 반송 효율이 감소되므로 큰 수확량 손실을 초래하며, 탈곡통의 회전속도는 설계 조건에 따라 칼날 상태와 상관없이 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 그러므로, 반송 두께와 탈곡통의 회전 속도 측정을 통하여 반송 및 탈곡 상태의 고장 감지가 가능하며, 주행 속도의 적절성 여부도 판단할 수 있다. 또한 반송 두께는 리그의 파손 상태의 지표로 사용이 가

능하며, 칼날의 절단 속도 변화와 함께 칼날 상태의 감지 인자로 사용이 가능하다.

나. 콤바인 예취부 고장 진단 모델의 성능평가

곡물 반송 시플레이션을 이용하여 고장 진단 알고리즘을 개발하면 그림 3.22와 같이 고장 진단 모델은 복합적 고장 진단과 단순 고장 진단으로 구분 가능하다. 단순 고장 진단은 유압 온도 및 예취 높이의 모니터링을 이용하여 일정 구간 동안 임계값을 넘게되면 고장을 인지하여 사용자에게 알람이 가능하도록 개발하였다. 또한 복합적 고장 진단은 수확 작업 시 실시간으로 반송 두께를 측정하여 수확량의 감소 및 증가에 따라 러그의 이상, 칼날의 이상 및 동력 전달 이상을 판별하도록 개발하였으며, 각각의 이상 요인 판별 시 러그의 파손 수, 칼날의 이격 및 파손 상태, 동력 이상 부위 등을 진단이 가능하도록 개발하였다.

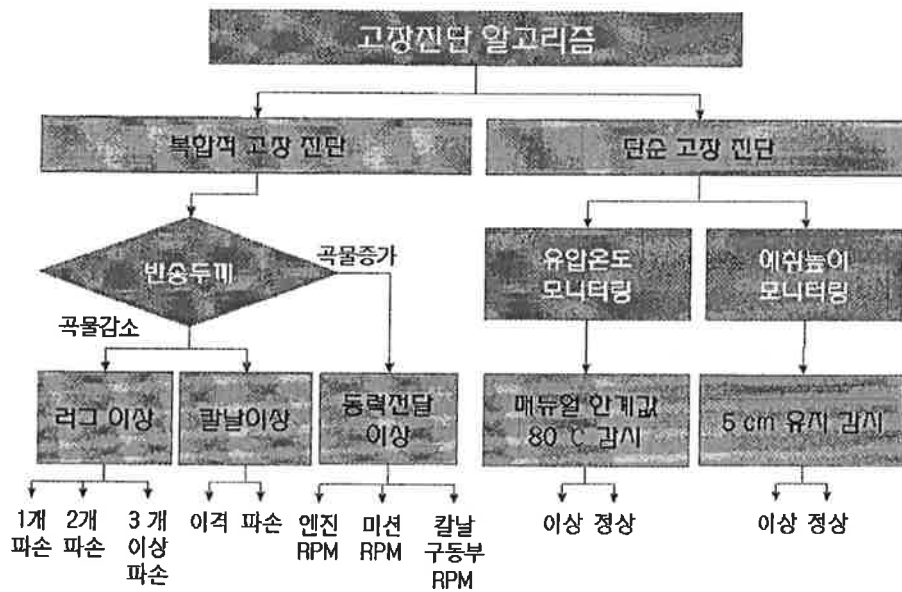


Fig. 3.22 Trouble-shooting algorithm for a combine

또한 고장 진단 알고리즘의 센서 신호는 콤바인 진동 및 주행에 따라 이상 진동이 발생하므로 이상 센서 신호는 콤바인 고장 진단의 성능을 저하 시킨다. 그러므로 콤바인의 고장 진단을 위해서는 입력되는 센서 신호 중 콤바인의 성능을 평가 할 수 있는 정확한 신호의 판별이 필요하며 본 연구에서는 입력되는 신호에 대하여 콤바인 예취부 고장 진단을 위한 퍼지 모델 개발하였다. 개발된 퍼지 모델은 일정 시간동안에 입력되는 각각의 센서 신호에 대하여 가중치를 부여하여 각각의 가중치와 측정값에 대하여 가우시안 함수를 이용한 퍼지 모델을 개발하였으며, 이를 이용하여 고장 진단 알고리즘을 개발한 후, 입력되는 센서 신호 값 중 가장 높은 가중치를 갖는 값을 최적 측정값으로 하여 비퍼지화 하였으며, 이때의 가중치는 고장 발생률로 하여 계산하였다.

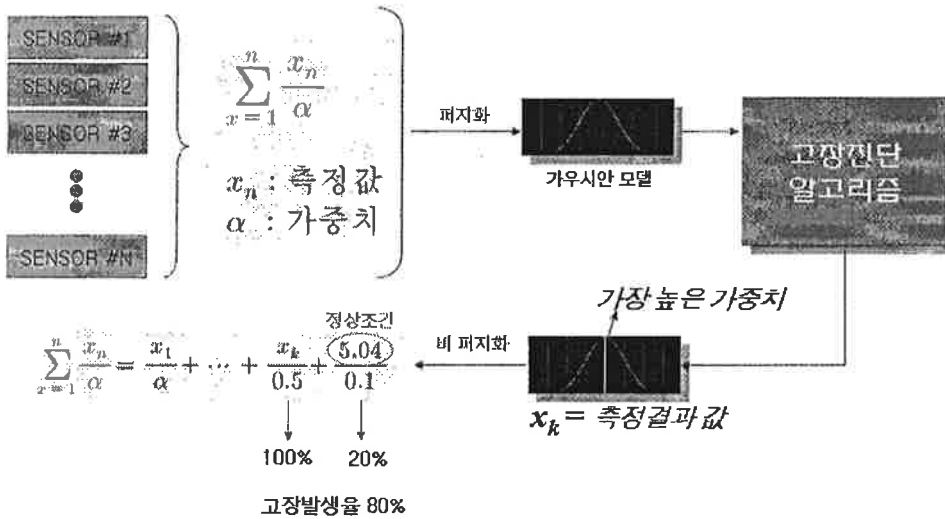


Fig 3.23 Development of the fuzzy model to trouble-shoot a combine

다. 콤바인 예취부 고장 진단 모델의 성능평가

예취부 고장 진단 모델의 성능평가를 위하여 성균관대학교 논 포장에서 동력이상, 칼날의 이격 및 파손, 러그의 파손 상태에 대하여 수확작업을 수행하여 각각의 조건에 따른 고장 발생률을 계산하여 개발된 모델의 성능평가를 수행하였다. 수확 작업 시 측정값과 시뮬레이션 값은 서로 유사한 변화를 보이고 있으며, 동력전달 이상에 대한 성능평가는 그림 3.24와 같이 정상 상태의 경우 고장 발생률을 2~12 %로 낮게 나타나 실제 정상 조건에서의 고장은 일어나기 어려운 것을 알 수 있다. 또한 반송부의 회전속도가 감소하게 되면 고장 발생률이 72~90 %로 증가하여 고장이 일어날 확률이 현저하게 높아지고 있음을 알 수 있다. 칼날의 파손에 따른 시뮬레이션 값과 측정값은 그림 3.25와 같이 서로 유사한 변화를 보이고 있으며 칼날이 파손되면 고장 발생률이 93~99 %로 증가하여 큰 수확량 감소를 초래하고 있다. 이격 칼날의 감지 실험 시 측정값과 시뮬레이션 값은 유사한 범위를 보이고 있으며 그림 3.26과 같이 칼날이 이격되면 고장 발생률이 67~73 %로 증가하여 칼날 이격에 따른 수확량 감소를 보이고 있다. 러그의 파손 실험은 시뮬레이션과 측정값이 유사한 범위를 보이고 있으며, 그림 3.27과 같이 러그의 파손이 1개, 2개, 3개로 증가할 때마다 고장 발생률은 58~60 %, 72~74 %, 89~98 %로 각각 증가하여 러그의 파손에 따른 수확량 감소를 보이고 있다. 콤바인 예취부의 고장 진단 퍼지 모델을 이용한 성능평가는 전체적으로 정상인 경우의 고장 발생률은 약 10 %로 측정되었으며, 고장 수준이 증가 할수록 고장 발생률이 증가하는 것을 알 수 있다.

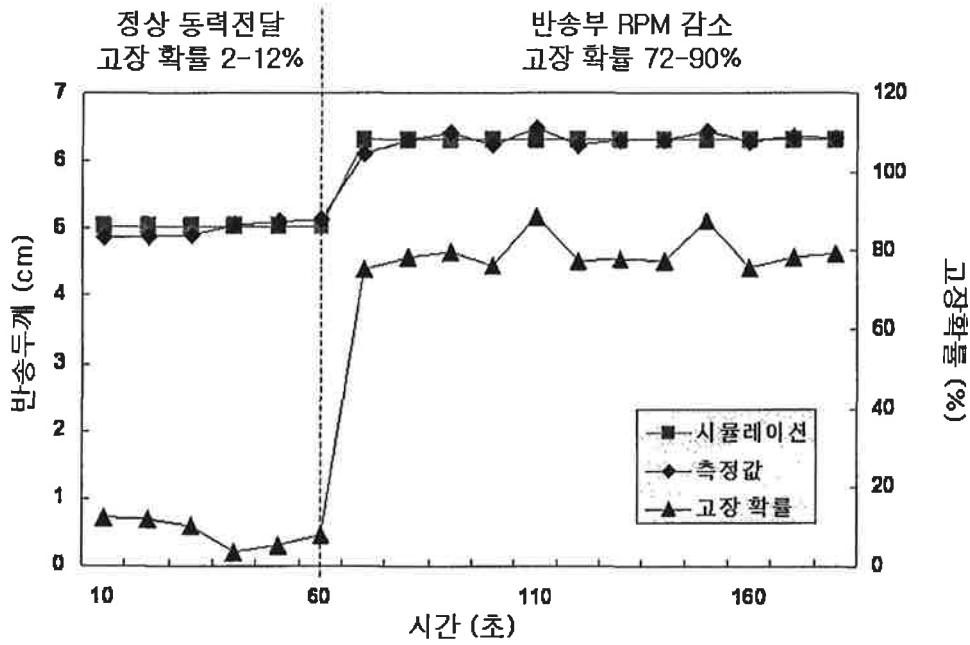


Fig 3.24 Performance of faults detection for a transmission

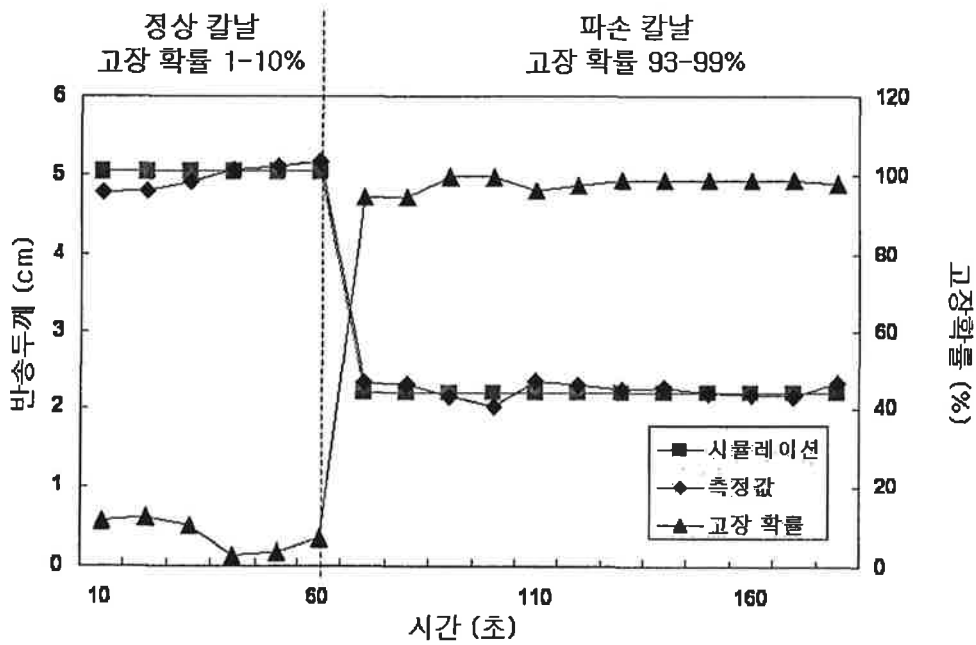


Fig. 3.25 Performance of faults detection for a broken cutter

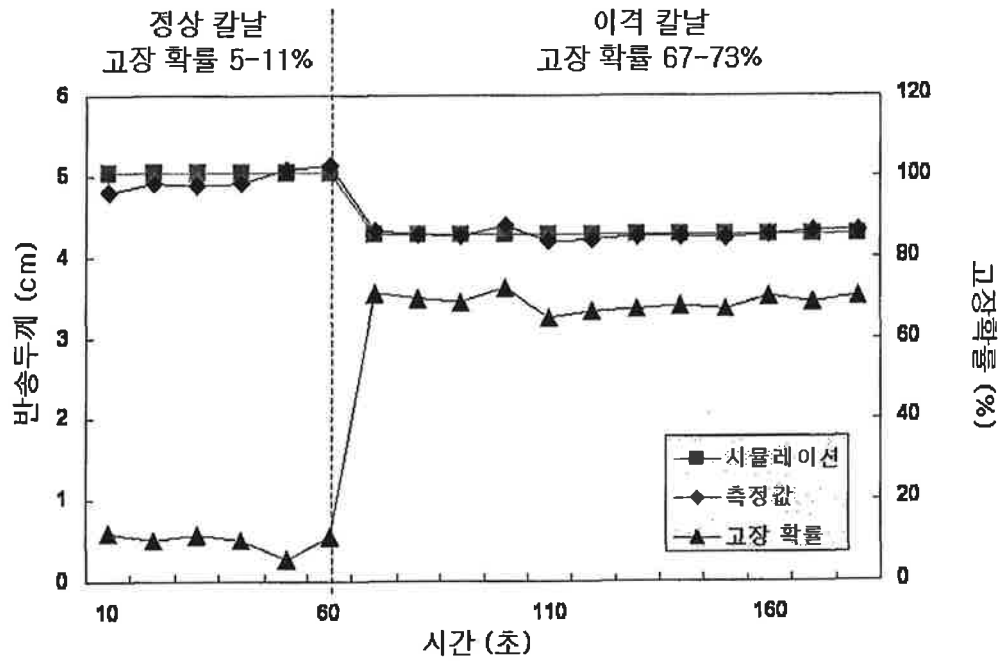


Fig. 3.26 Performance of faults detection for a loosened cutter

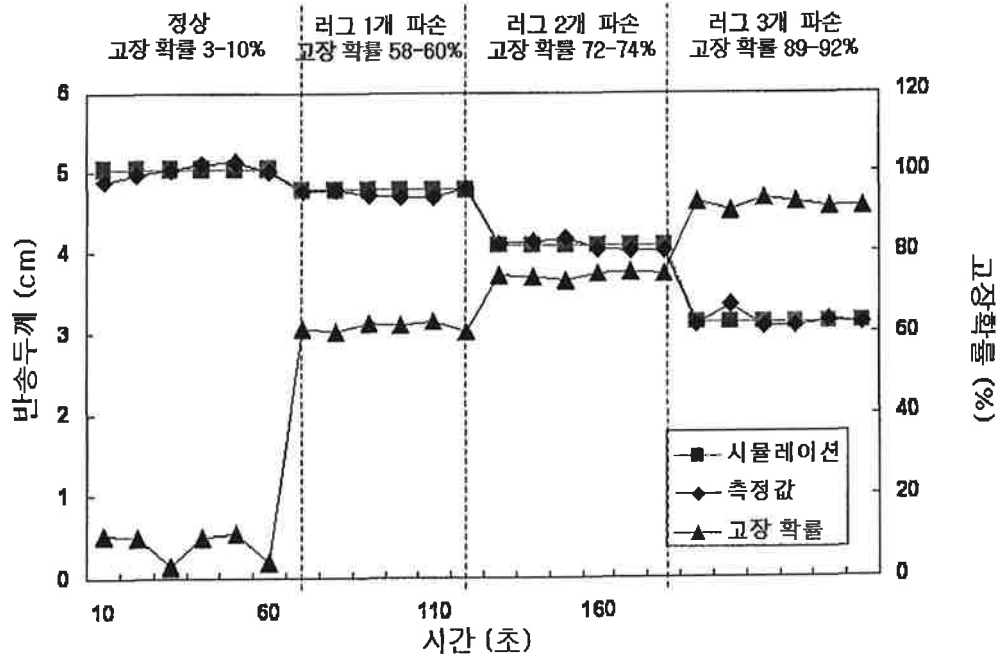


Fig. 3.27 Performance of faults detection for a lug condition

나. 고장 진단 모듈 개발

콤바인 고장진단 시스템의 진단모듈을 위해서는 자체적으로 신호처리 및 진단이 가능한 고장진단 모듈이 필요하다. 또한 센서 신호의 고속의 신호 처리를 위해서 ASIC(Application Specific Integrated Circuit)나 ASSP(Application-specific standard products)가 필요한데, 이것은 일반적인 DSP(digital signal processing) 프로세서로 구현할 수 없는 높은 성능을 발휘할 수 있는 장점이 있기 때문이다. ASIC(Application Specific Integrated Circuit)는 주로 PC에 사용되는 마이크로프로세서(microprocessor)나 메모리칩(memory chip) 등 일반 집적회로와 달리 특정한 전자·정보통신 제품에 사용할 목적으로 설계된 비메모리 반도체 칩으로 자체품을 제조하는 업체가 반도체 설계 업체에 개발을 주문하는 형태로 제작되므로 고속의 신호처리가 가능하지만, 특정 응용에만 이용이 가능하도록 설계된 것인 만큼 다양한 분야에 응용할 수 있는 융통성에는 많은 제약이 있다. 반면 DSP 프로세서는 ASSP나 ASIC과 비교했을 때 성능은 떨어지지만, 거의 모든 응용분야에 사용될 수 있을 만큼 융통성이 뛰어난 장점으로 인해 널리 사용되어져 왔다. 이처럼 수년 전까지의 DSP 기술은 낮은 성능대신 높은 융통성을 제공하는 DSP 프로세서와, 낮은 융통성 대신 높은 성능을 제공하는 ASSP, ASIC으로 양분되어 있었다. 그러므로 콤바인의 고장진단을 위해서는 고속의 신호처리가 가능하며, 진단 항목의 추가 시에 쉽게 사용할 수 있는 진단모듈이 필요한 실정이다. FPGA(Field Programmable Gate Array)는 임의의 논리 회로를 사용자가 의도한대로 설계하고, 작동하도록 회로에 설정하여 사용하는 것을 말하며, 사용 중 설계 사항이 바뀌면 새롭게 바뀐 논리 회로를 FPGA 소자에 입력하여 바뀐 논리 회로로 작동하여 고속의 프로세싱이 가능하다. 또한, 설계환경이 간편하고 개발 기간이 다른 ASIC보다 매우 짧으며 ASIC으로 변환이 용이하여 설계 및 제작의 융통성이 높다는 장점이 있다. FPGA 프로그래밍은 크게 SRAM 프로그래밍, Anti-fuse 프로그래밍, EPROM 프로그래밍이 있으며, 각

각의 프로그램은 사용자가 용도 및 개발환경에 적합하게 코딩해야 하며 각각의 특징은 다음과 같다.

가. SRAM 프로그래밍

SRAM (Static RAM) 구조에서는 프로그래밍하기 위한 연결 스위치 점이 SRAM셀에 의하여 조정되어지는 멀티플렉서 등을 사용한다. SRAM방식에서는 연결점을 제어하기 위한 배열 정보가 SRAM 셀에 저장되어 있는데 이것은 동작전원이 꺼지면 그 정보를 유실하는 휘발성소자이다. 따라서 이 방식을 사용하는 시스템에서는 FPGA의 배열정보를 영구히 보존하기 위한 별도의 저장매체가 필요하다. 다른 방식에 비하여 SRAM구조는 비교적 면적을 많이 차지하나 시스템 안에 장착된 채로 재 프로그래밍이 가능하며 표준 CMOS 공정을 사용하여 제조할 수 있다는 장점이 있다.

나. Anti-fuse 프로그래밍

Anti-fuse방식은 3개의 단면층으로 구성되는데 가장 아래층은 n형 반도체, 유전체로 이루어진 중간 절연층, 최상층의 폴리실리콘 전도층으로 이루어진다. 이 구조에서 비교적 높은 18V의 전압을 Anti-fuse 터미널에 인가하고 5mA 정도되는 전류를 흐르게 하면 중간층의 유전체가 열에 의하여 녹게 되어 최상층과 하층 사이에 전기적인 연결이 이루어지게 된다. 퓨즈가 파괴된 후 연결되는 두 개의 전도층은 각각 전도성이 좋은 금속층과 연결되어 약 300-500 옴의 낮은 저항값을 가지게 된다. Anti-fuse방식의 FPGA 프로그래밍을 위하여 별도의 마스크 제조 공정이 필요하나 프로그래밍을 위한 칩 면적은 매우 적다. 한편 한번 프로그래밍을 하게 되면 재 프로그래밍이 불가능하다.

다. EPROM 프로그래밍

EPROM을 포함한 EPROM 프로그래밍 방식은 Select 와 Floating 두 개의 게이트를 가진 구조로 두 게이트사이 는 전기적으로 연결되지 않은 상태이다. 프로그래밍이 되지 않은 상태에서는 Floating 게이트에 전하가 존재하지 않아서 이 트랜지스터는 보통의 경우와 동일하게 Select 게이트에 의하여 ON 시킬 수 있다. 이러한 방법으로 EPROM은 프로그래밍 스위치로 사용한다. 프로그래밍된 EEROM 소자는 비휘발성이나 자외선을 일정시간 조사하게 되면 포획된 전하를 잃어버리게 되므로 재 프로그래밍이 가능하고 칩 면적이 매우 적다는 장점이 있다.

라. FPGA 이용한 진단 모듈 설계 및 제작

본 연구에서는 콤팩트 고장진단 모듈 설계 및 제작을 위하여 National Instrument社의 FPGA 모듈로 개발하였으며, FPGA Gate의 제작은 Labview real time module(National Instrument, USA)로 프로그래밍하여 VHDL 형식으로 변환하여 사용하였다.

FPGA 제어 모듈은 그림 3.28과 같이 다양한 센서의 입력이 가능한 IO module과 센서 신호를 입력 받기 위한 고성능의 Reconfigurable FPGA gate, 측정된 신호의 고속 신호 처리 및 제어가 가능한 RT 모듈인 Real time processor 구성되며, 센서 신호를 통하여 입력된 콤팩트의 상태는 FPGA gate를 통하여 고속으로 RT 모듈에 전송되어 콤팩트의 현재 상태를 진단하게 된다.

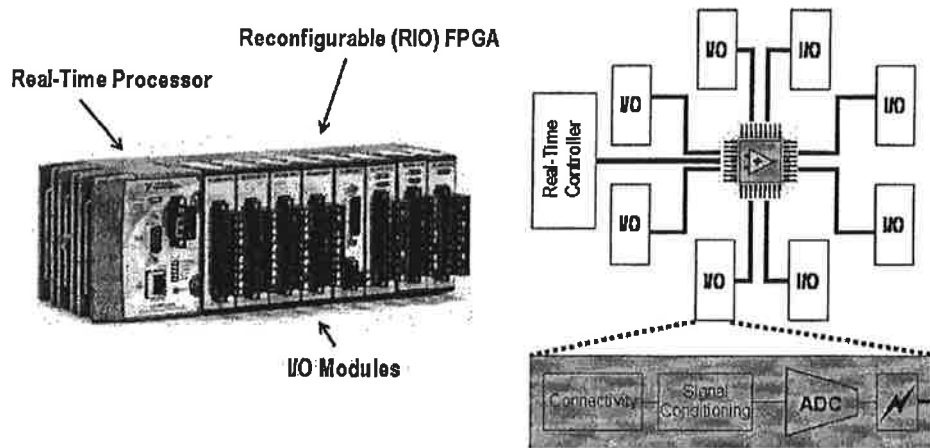


Fig. 3.28 Reconfigurable embedded system for combine header diagnosis

전체적인 진단 모듈은 표 3.4과 같이 8 채널의 2 mA의 전류 공급이 가능한 고속의 아날로그 입력 모듈(National Instrument, 9401)과 12 bit의 분해능으로 최대 500 kS/s의 디지털 입출력이 가능한 디지털 입출력 모듈(National Instrument, 9201), 자체적으로 브릿지회로(Bridge circuit)를 내장하고 있어 센서 신호의 증폭이 용이한 아날로그 입력 모듈(National Instrument, 9237)로 구성하였다. FPGA gate는 최대 3 M의 전송속도를 가지는 8-slot의 고성능 Embedded chassis를 사용하여 진동 신호 및 부하 신호의 고속 처리가 가능하도록 하였으며, 400 MHz 의 Real time processor 가 장착된 마이크로프로세서는 Gate를 통해 입력된 신호를 고속으로 신호 분석하여 USB 저장매체에 저장하게 된다.

그러므로 광센서를 측정된 엔진 회전속도와 미션의 회전속도는 자성체의 검출에 따라 주파수를 측정하여 FPGA gate를 통하여 마이크로프로세서에서 주파수의 검출시간을 계산하였으며, 예취 구동부와 주행속도는 엔코더 신호는 디지털 입출력 모듈에 펄스 신호로 입력되며, FPGA gate를 통하여 마이크로프로세서에서 펄스에 따른 주파수를 측정하는 방식으로 주행속도를 측정하였

다. 리그의 검출은 여러 개의 근접센서 사용에 따른 주파수 간섭을 고려하여 400 Hz의 응답속도를 갖는 비자성 근접센서로 리그의 평균 검출 주파수를 측정하고 각각의 회전속도를 계산하여 리그의 파손 유무를 감지하였다. 예취높이는 포장의 상태 및 장애물에 따라 변화가 크므로 정확한 예취높이의 측정 은 어려워 초음파 센서를 이용하여 주행 시 콤바인과 포장과의 거리를 대략 적으로 측정하였다.

Table 3.4 FPGA system of diagnosis module for combine header

Module	Channels	Function
IO - interface	9401	8 Analog input module, 100 ns I/O delay time 2 mA excitation current Isolation
	9201	8 Digital input/output module 12 bit resolution 500k S/s sampling rate Isolation
	9237	4 Signal type bridge 24-bit resolution, 500kS/s max sampling rate Simultaneous sampling, Antialiasing filters Isolation
FPGA Gate	9104	8 slot Control and signal processing circuitry using LabVIEW 8-slot reconfigurable embedded chassis 3M gate reconfigurable I/O (RIO) FPGA core
Controller	9012	High-reliability embedded real-time processor 400 MHz Freescale MPC5200 real-time processor 10/100BaseT Ethernet port with built-in FTP/HTTP Full-speed USB host port for USB-based storage media Low power consumption with dual 9-35 VDC power supply

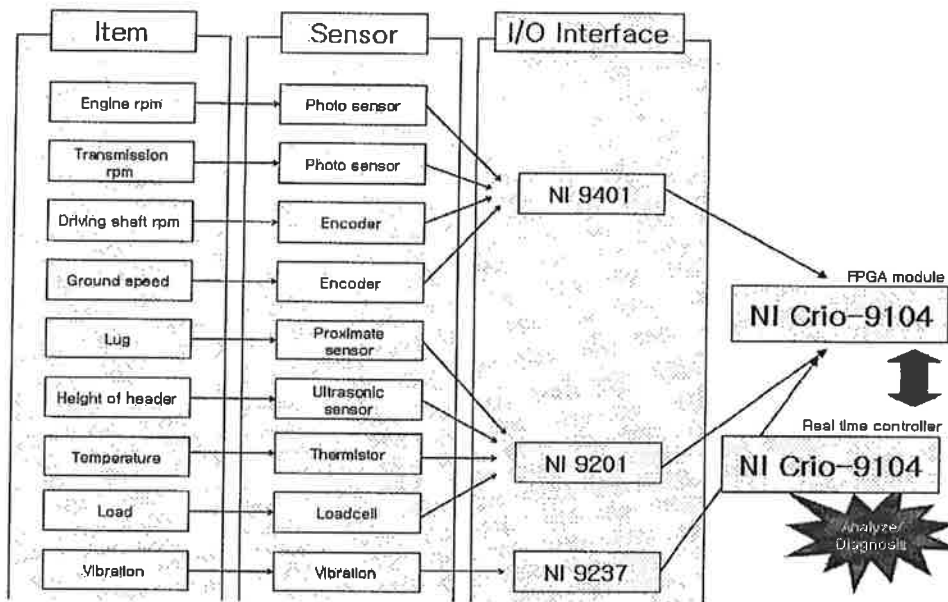


Fig. 3.29 Schematic diagram of combine header diagnosis by FPGA module

3.2. 최종 시스템 통합

최종 시스템 통합을 위하여 고장진단 시스템과 네트워크 시스템의 연동 실험을 실시하였다. 1차 실험은 그림 3.30과 같이 실내에서 시행하였다. 각 시스템은 독립적으로 구성되었으므로 시스템 통합은 결국 통신 가능 여부에 달려 있다.



Fig. 3.30 Indoor co-operate test

1차 실험은 성공적으로 수행되어 서로간의 데이터 전송이 가능함을 파악하였으며, 이를 바탕으로 2차 실험을 설계하여 수행하였다.

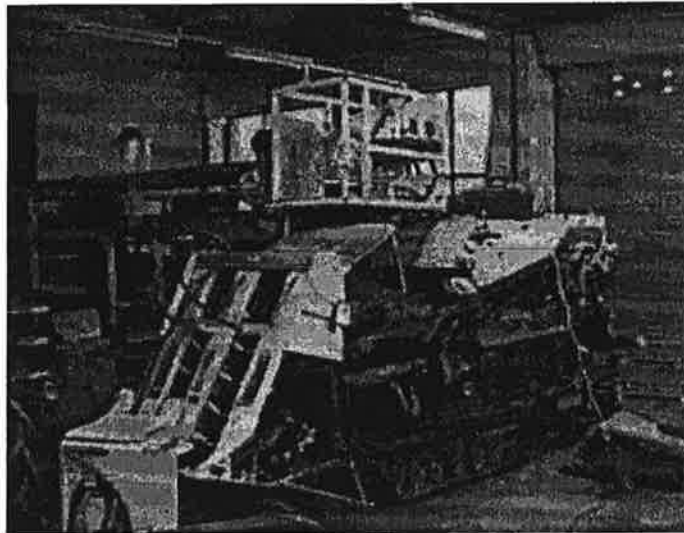


Fig. 3.31 Outdoor co-operate test

2차 실험 역시 성공적으로 수행하였으며, 상호 구동성능 분석을 위해 성능평가를 수행하였다.

4. 전체 시스템의 성능 분석 및 보완

4.1. 비 정상 상황에서의 센서 및 감지 모듈의 성능평가

4.1.1. 예취칼날의 진단 및 성능평가

예취칼날의 진단 및 성능평가를 위하여 2006년 10월경 4차 실험으로 칼날부의 상태를 정상 구동축에 따른 칼날 상태(정상칼날, 이격칼날, 파손칼날)와 정상칼날과 마모 구동축의 4수준으로 하여 작업조건(공회전, 수확작업)에 따른 센서 신호를 측정하였다. 수확작업은 각각의 조건에 대하여 길이 40 m, 폭 1.4 m의 논 포장에서 표준 3단으로 변속하여 3회 반복 실험 하였으며, 이때

비의 함수율은 40~50 %로 측정되었다.

구동축의 로드셀 신호는 기존과 동일한 방법으로 인장력과 압축력에 대한 평균값을 전체 부하의 크기로 산출하여 분석하였으며, 진동 신호는 칼날부의 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 기존과 동일한 방법으로 고속 푸리에 변환을 이용하여 주파수 영역으로 변환하였으며, 스펙트럼 신호의 피크 검출(Peak detection)을 통하여 주파수 영역에 따른 최대 피크의 크기를 검출하였다. 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 다중비교 분석을 수행하였으며, SNK(Student Newman Keuls)와 튜키(Tukey) 검증을 이용하여 칼날부의 상태를 비교·분석하였다. 통계분석 시 유의수준은 1%로 하였으며, 통계분석을 위한 프로그램은 SAS(9.1, SAS Institute, USA)를 이용하였다.

가. 튜키(Tukey) 검증

튜키 검증은 흔히 HSD(honestly significant difference ; 정직한 유의차) 검증이라 부르며 다음과 같다.

- 검증 통계량 $q = \frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}{\sqrt{s^2/r}} \Rightarrow$ 만일 $q > q_{\nu, k, \alpha}$ 이면 H_0 를 기각한다.

여기서, s^2 는 평균제곱의 오차(MS_E)이다. 그리고, ν 는 분산분석표에서 오차의 자유도, $k(=t)$ 는 처리의 개수, r 은 처리 내의 관측수이다. 이때 유의수준 α 는 물론 실험별 오류율이다.

나. SNK(Student-Newman-Keuls) 검증

SNK 검증은 임계값의 결정만 제외하면 튜키의 검증과 동일하다.

- 검증 통계량 $q = \frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}{\sqrt{s^2/r}} \Rightarrow$ 만일 $q > q_{\nu, p, \alpha}$ 이면 H_0 를 기각한다.

여기서 p 는 검증하려는 평균들의 범위에 포함된 평균들의 개수로서, p 평균 차이의 p 와 같다.

다. 부하신호 분석

칼날부의 상태에 따른 로드셀에 작용하는 부하는 표 4.1과 같이 공회전 시 342 N, 수확작업 시 1,211 N 으로 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 4.2는 작업조건과 칼날부의 상태를 판별하기 위하여 로드셀의 부하 신호를 이용하여 유의수준 1 %에서 SNK 방법으로 다중비교분석을 수행한 결과를 보여주고 있다. 공회전 시와 수확작업 시의 부하 차이는 크게 나타나 작업조건을 구분할 수 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.

Table 4.1 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

Table 4.2 SNK classification by using loads

Variable	Operation	Mean	N	SNK grouping	Conditions	Mean	N	SNK grouping
Load	None	394	28	B	Normal	788	14	C
					Loosened	749	14	C
	Cutting	1397	28	A	Broken	907	14	B
					Worn-out	1138	14	A

라. 칼날의 진동 신호 분석

칼날부의 상태에 따른 진동 신호를 푸리에 변환하여 4개의 영역에서 스펙트럼의 피크를 검출한 결과는 그림 4.1과 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.

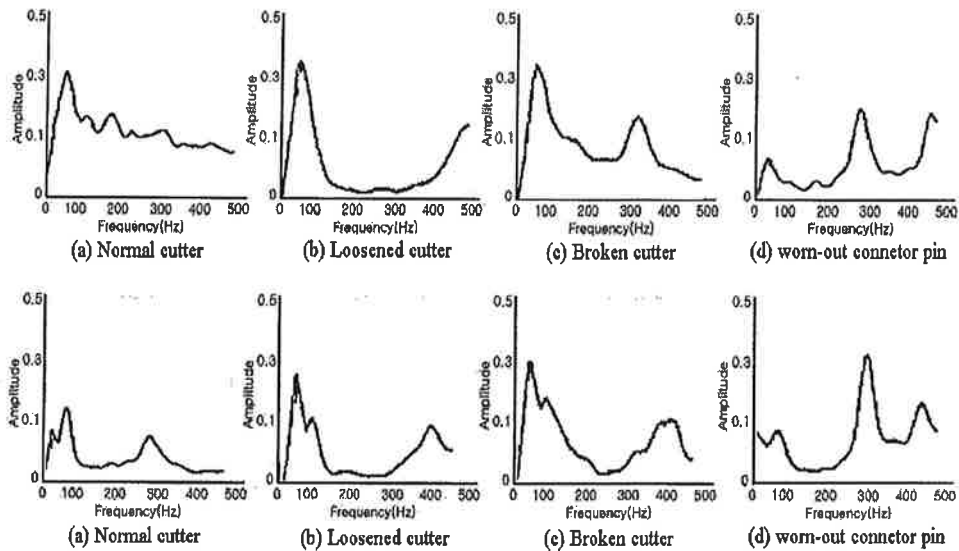


Fig. 4.1 Vibration signals by cutter conditions
(top : none, bottom : cutting operation)

표 4.3은 0~100 Hz, 100~250 Hz, 250~400 Hz, 400~500 Hz 영역에서의 피크 PA, PB, PC, PD를 변수로 설정하여 작업조건과 칼날부의 상태를 판별하기 위하여 유의수준 1%에서 SNK 다중비교분석을 수행한 결과를 보여주고 있다. 공진 주파수 영역의 피크(PA)를 이용하면 작업조건의 판별이 어려우나 다른 영역의 피크인 PB, PC, PD를 이용하며 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 피크값(PA, PB, PC, PD)를 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 4.4는 피크비를 이용하

여 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.

Table 4.3 SNK classification by using peak values of frequency ranges

Variable	Operation	Mean	N	SNK groupin g	Condition s	Mean	N	SNK groupin g
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 4.4 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	

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

4.1.2. 고장진단 센서간의 상관관계 분석

예취높이, 러그의 파손, 칼날 및 칼날 구동축의 상태가 예취부의 최종단계로 탈곡부 입력에 주요 변수가 되는 탈곡깊이에 미치는 영향을 구명하기 위하여 2006년 11월경 5차 실험으로 예취높이 4 수준(3 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm), 러그의 파손 4 수준(정상, 1개 파손, 2개 파손, 3개 파손), 칼날 및 칼날 구동축의 상태 4 수준(정상, 이격, 파손, 마모 구동축)으로 변화시키면서 수확작업을 수행하며 센서들의 신호를 측정하여 탈곡깊이에 미치는 영향을 분석하였다. 수확작업은 각각의 조건에 대하여 길이 15 m의 논 포장에서 주행속도를 표준 3단으로 하여 3회 반복 수행하였으며, 이때 벼의 함수율은 45~50%로 나타났다.

예취높이, 러그의 파손, 칼날 및 칼날 구동축의 상태가 탈곡깊이에 미치는 영향을 구명하기 위하여 탈곡깊이 변화(밀 감지, 줄기 감지, 이삭 감지 센서)를 표 4.5와 같이 측정하였다.

예취높이가 증가하면 수확된 벼의 길이가 줄어들어 벼를 감지하지 못하여 줄기감지 및 이삭감지 센서의 OFF 신호가 증가하는 현상을 보이고 있다. 정상적인 탈곡을 위해서는 이삭감지 센서에 벼의 이삭이 감지되는 것이 올바르며 예취높이가 3 cm에서 15 cm까지 변화할 때 이삭감지 센서의 감지율은 91%에서 68%로 감소되어 수확된 벼의 68%만 올바른 탈곡깊이로 선별됨을 보여주고 있다. 러그 1개의 파손은 전체적인 콤바인 성능에 영향을 미치지 못하며, 이삭감지 센서의 감지율은 87%에서 79%로 감소하는 것을 보여주고 있으며, 이것은 예취부의 부하를 초과하고 잘못된 탈곡깊이로 미탈립을 발생시킨다. 칼날 및 칼날 상태에 따른 탈곡깊이의 측정값은 변하지 않아 칼날의 상태는 탈곡깊이와는 무관함을 알 수 있다.

Table 4.5 Effects for major troubles of combine header. (Averaged values, n=3)

고장요인 진단항목	예취높이				러그의 파손				칼날 상태			
	3 cm	5 cm (정상)	10 cm	15 cm	정 상	1개 파손	2개 파손	3개 파손	정 상	이격	파손	마모 구동축
밀 감지 (ON/OFF)	0.94	0.90	0.92	0.91	0.90	0.91	0.93	0.88	0.90	0.93	0.93	0.90
줄기 감지 (ON/OFF)	0.92	0.87	0.85	0.80	0.87	0.93	0.88	0.87	0.87	0.91	0.92	0.86
이삭 감지 (ON/OFF)	0.91	0.87	0.72	0.68	0.87	0.87	0.83	0.79	0.87	0.88	0.87	0.86

예취높이, 러그의 파손, 칼날 및 칼날 구동축의 상태에 대한 탈곡깊이와의 유의성을 분석하기 위하여 통계 프로그램인 SAS 9.1의 일원분산분석을 이용하였으며 그 구체적인 분석 방법은 다음과 같다.

가. 일원분산분석

분산분석이 각 집단간의 표준편차, 분산을 비교하여 집단간의 차이를 검증하는 것이며, 이때 분산분석이 한 개의 변수에 대한 효과의 검증을 중심으로 이루어지면 일원분산분석(One-way ANOVA)이라고 하고, 두 개의 변수의 효과를 검증하는 것을 이원분산분석(Two-way ANOVA)라고 한다. 또한 일원분산분석에서는 분산의 총합은 집단간 분산과 자연적으로 발생한 오류분산의 합이므로 만약 집단간 분산이 자연적인 오류분산보다 상대적으로 크다면 각 집단의 평균은 동일하지 않을 수 있다고 추론할 수 있다.

일원분산분석을 위해서는 각 집단의 표본의 크기는 동일해야 하고 각 표본의 측정값은 독립되어 있어야 하며, 어떤 하나의 항목에 대한 측정이 다른 항목의 측정에 영향을 미쳐서는 안 된다.

그러므로, 예취높이와 탈곡깊이와의 유의성을 일원분산분석을 이용하여 분석한 결과 표 4.6과 같이 예취높이에 따른 밀감지 센서의 평균 감지율은 각각

0.938, 0.895, 0.917, 0.911로 측정되어 예취높이가 밀감지 센서의 감지율에 영향을 주지 않고 있음을 알 수 있다.

예취높이에 따른 줄기감지 센서의 평균 감지율은 각각 0.917, 0.873, 0.854, 0.798로 나타났으며, R-square는 0.112로 계산되어 5 cm, 10 cm의 예취높이에 대해서는 정확한 검증이 되지 않으나 전체적으로 예취높이가 증가하면 줄기감지 센서의 감지율이 낮아지는 것을 알 수 있다. 예취높이에 따른 이삭감지 센서의 감지율은 각각 0.913, 0.874, 0.724, 0.678로 검출되었으며 R-square는 0.699의 높은 수치를 보여 예취높이가 높아짐에 따라 이삭감지 센서의 감지율이 낮아짐을 알 수 있다. 또한 검증 결과 정확한 분류가 가능하며 예취높이가 높아짐에 따라 탈곡부에 유입되는 작물의 길이가 줄어들어 탈곡 시 미탈립이 발생할 확률을 높이고 있다.

러그의 파손에 따른 밀감지 센서의 감지율은 표 4.7과 같이 각각 0.897, 0.905, 0.928, 0.879로 유의한 차이를 보이지 않으며, 줄기 감지센서의 감지율은 각각 0.867, 0.926, 0.881, 0.868로 러그의 파손이 줄기 감지센서에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 그러나 예취높이에 따른 이삭 감지 센서의 감지율은 각각 0.872, 0.873, 0.833, 0.792, R-square는 0.117로 검증결과 예취높이 3 cm와 5 cm의 정확한 구분은 불가능하나 러그의 파손이 이삭감지 센서의 감지율을 전체적으로 줄어뜨리게 하여 예취높이와 동일하게 탈곡 시 미탈립이 발생할 확률을 높이고 있다.

그러나 칼날부의 상태에 따른 밀감지, 줄기 감지, 이삭 감지 센서의 감지율을 측정한 결과 표 4.8과 같이 모든 칼날의 종류에 대하여 유의한 처리를 보이지 않아 칼날의 상태는 탈곡 깊이에 영향을 미치지 못함을 알 수 있다.

Table 4.6 Effect of threshing depth for height of combine header

	Height of combine header	SS	MS	F Value	R-Square	Mean	T-grouping
밀	3cm(A)	0.048	0.016	8.28	0.112	0.938	A
	5cm(B)					0.895	C
	10cm(C)					0.917	B
	15cm(D)					0.911	B C
줄기	3cm(A)	0.366	0.122	18.12	0.217	0.917	A
	5cm(B)					0.873	B
	10cm(C)					0.854	B
	15cm(D)					0.798	D
이삭	3cm(A)	1.941	0.647	151.43	0.699	0.913	A
	5cm(B)					0.874	B
	10cm(C)					0.724	C
	15cm(D)					0.678	D

Table 4.7 Effect of threshing depth for detection of lug RPM

	Detection of lug RPM	SS	MS	F Value	R-Square	Mean	T-grouping
밀	3cm(A)	0.064	0.021	9.68	0.129	0.897	B C
	5cm(B)					0.905	B
	10cm(C)					0.928	A
	15cm(D)					0.879	C
줄기	3cm(A)	0.115	0.038	9.25	0.124	0.867	B
	5cm(B)					0.926	A
	10cm(C)					0.881	B
	15cm(D)					0.868	B
이삭	3cm(A)	0.221	0.074	8.69	0.117	0.872	A
	5cm(B)					0.873	A
	10cm(C)					0.833	C
	15cm(D)					0.792	D

Table 4.8 Effect of threshing depth for condition of cutter bar

	Condition of cutter bar	SS	MS	F Value	R-Square	Mean	T-grouping
밀	3cm(A)	0.05 2	0.01 7	12.13	0.157	0.896	B
	5cm(B)					0.929	A
	10cm(C)					0.931	A
	15cm(D)					0.900	B
줄기	3cm(A)	0.13 8	0.04 6	10.72	0.141	0.867	B
	5cm(B)					0.910	A
	10cm(C)					0.920	A
	15cm(D)					0.859	B
이삭	3cm(A)	0.01 2	0.00 4	0.70	0.011	0.868	A
	5cm(B)					0.875	A
	10cm(C)					0.875	A
	15cm(D)					0.856	A

4.2 시스템 통합 후의 네트워크 시스템의 성능 평가

4.2.1 전체 시스템 간의 상호 구동성능 분석

개발된 고장 진단 시스템과 네트워크 시스템의 연동 성능은 수신율과 수집 및 전송을 담당하는 임베디드 시스템에 의존적이다. 따라서 전체 시스템의 수신율과 임베디드 시스템의 성능평가를 통하여 상호 구동 성능을 파악하고자 하였다.

가. 수신율 평가

고장 진단 시스템과 네트워크 시스템은 연속 8시간동안 5회 기동하였으며 결과는 표 4.9와 같다. 임베디드 시스템은 초당 1개의 데이터를 샘플링 (Sampling)하여 총 28800여개의 데이터를 서버로 전송하였다. 개발된 게이트웨이는 만일을 대비해 전송 실패 시 반복 송신이 가능하도록 구성하였으나, 5회 실험을 반복한 결과 패킷 손실은 발생하지 않았다.

Table 4.9 The transmission rate of gateway

Number of Experiments	Transmission Numbers	Receipt Numbers	Receipt Rate
1	28795	28795	100 %
2	28801	28801	100 %
3	28801	28801	100 %
4	28798	28798	100 %
5	28800	28800	100 %

나. CPU 점유율

수신 및 전송에 따른 어플리케이션의 CPU 점유율을 그림 4.2 에 나타내었다. 게이트웨이 시스템은 측정 시스템의 지속적인 모니터링(Monitoring)과 안정된 전송 서비스를 구현하기 위해서 복잡한 알고리즘 및 반복 실행을 최소화해야만 한다. 이를 위하여 큐(Queue)와 멀티 스레드(Multi-Thread) 방식의 프로그램을 구현하였으며 측정된 CPU 점유율은 5회 평균 72 %, 표준편차 8.81 %를 나타냈으며 시간이 지날수록 감소하였다.

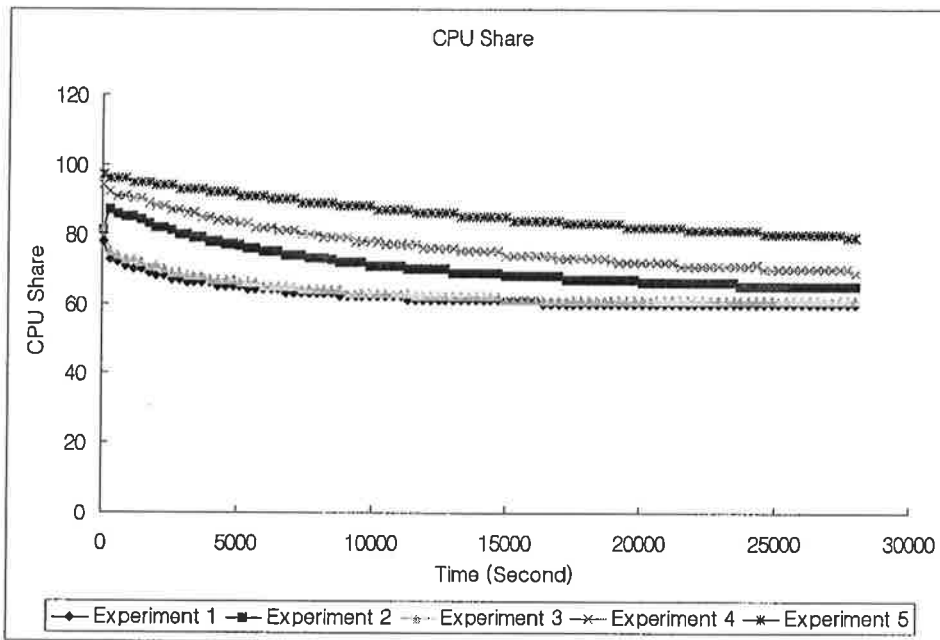


Fig. 4.2 The Status of CPU in receiving messages

다. 가상 메모리 (Virtual Memory)

그림 4.3은 어플리케이션에 할당된 가상 메모리 크기를 나타낸 것이다. 가상 메모리는 하나의 프로그램이 실행될 때 프로그램 전체가 메모리에서 실행되지 않고 현재 실행에 필요한 부분만을 불러와 실행하는 기법을 기본으로 하며, 이를 통해 임베디드 운영체제는 메모리 사용을 최소화하고 어플리케이션이 안정적으로 수행되도록 지원한다. 각 실험 시 할당된 가상 메모리 크기를 살펴보면 초기 실행 후에는 일정량을 유지하는 것으로 나타났으며, 이는 반복 실험 시에도 시스템의 일관성 및 안정성을 유지함을 의미한다.

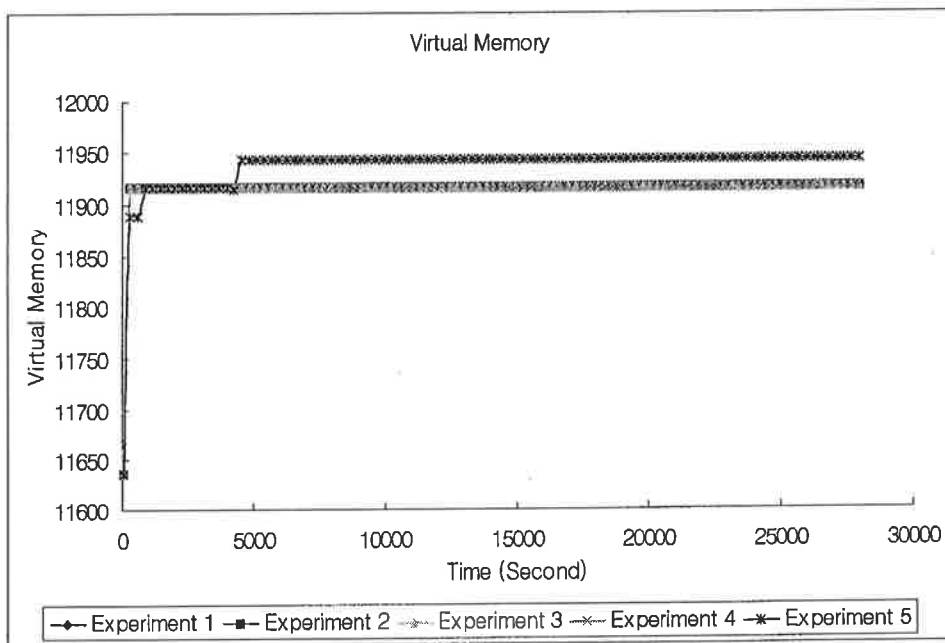


Fig. 4.3 The status of total virtual memory

라. 물리적 메모리 (Physical Memory)

그림 4.4는 어플리케이션에 할당된 물리적 메모리의 크기를 나타낸 것이다. 물리적 메모리는 실제 램(RAM)에 상주되는 메모리 크기를 의미하며 임베디드 운영체제는 항상 물리적 메모리를 측정하며, 메모리가 부족할 경우 가상 메모리를 사용하여 시스템을 안정적으로 수행하도록 지원한다. 측정된 물리적 메모리는 가상 메모리와 마찬가지로 초기 실행 후에는 일정량을 유지하는 것으로 나타내며, 이 결과 역시 반복 실험 시에도 시스템의 일관성 및 안정성을 유지함을 의미한다.

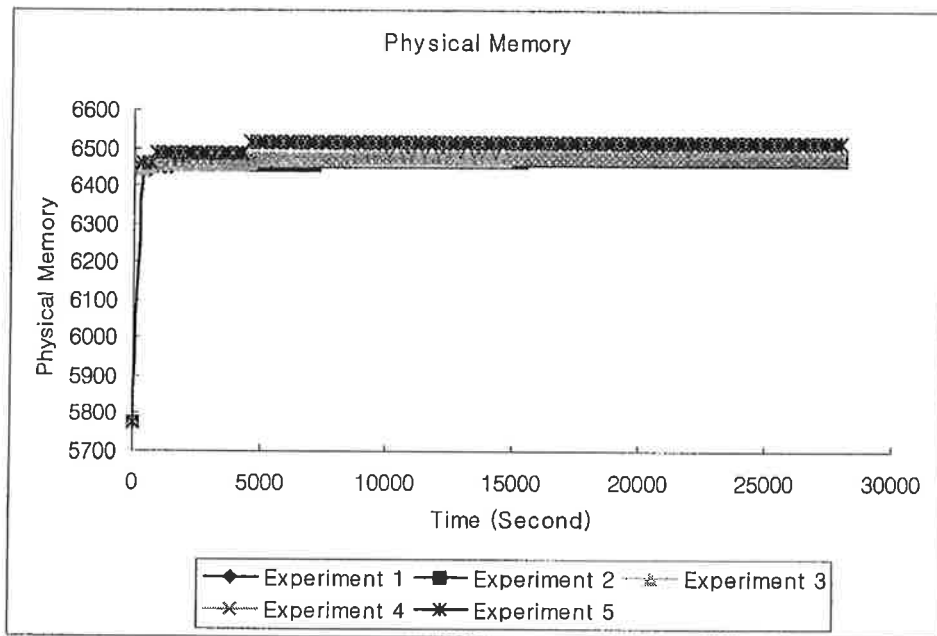


Fig. 4.4 The status of physical memory

마. 힙 메모리와 스택 메모리 (Heap Memory and Stack Memory)

그림 4.5는 어플리케이션의 힙(Heap) 메모리 크기를 나타낸 것이다. 힙 메모리는 자유영역 메모리이며, 코드 영역과 다른 세그먼트(Segment)들을 할당하고 남은 부분이다. 힙 부분은 어플리케이션 개발 시, 자유롭게 이용할 수 있는 부분이며, 데이터 송, 수신시 어플리케이션의 실제 데이터가 저장되는 공간이다. 힙 메모리 역시 메모리 누수 현상(Memory Leak)이 발생하지 않았다. 또한 함수(Function)나 프로시저(Procedure)에서 선언한 로컬 변수들을 저장하는 공간인 스택(Stack) 메모리는 어플리케이션의 개발 환경에 따라 메모리 누수가 발생하지만 개발 환경에 의존적이지 않음 실질적으로 원인을 판별하기 어려운 부분이다. 하지만 그림 4.6과 같이 스택 메모리를 추출한 결과 초기 실행 시 16KB를 매 회 유지하는 것으로 나타났으며, 다른 메모리 누수 현상이 발생하지 않았다.

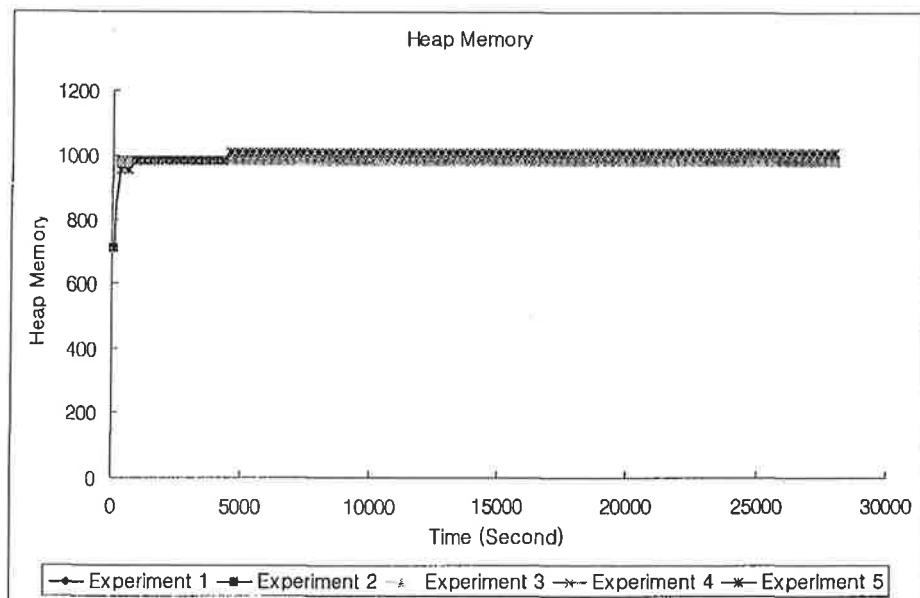


Fig. 4.5 The status of heap memory

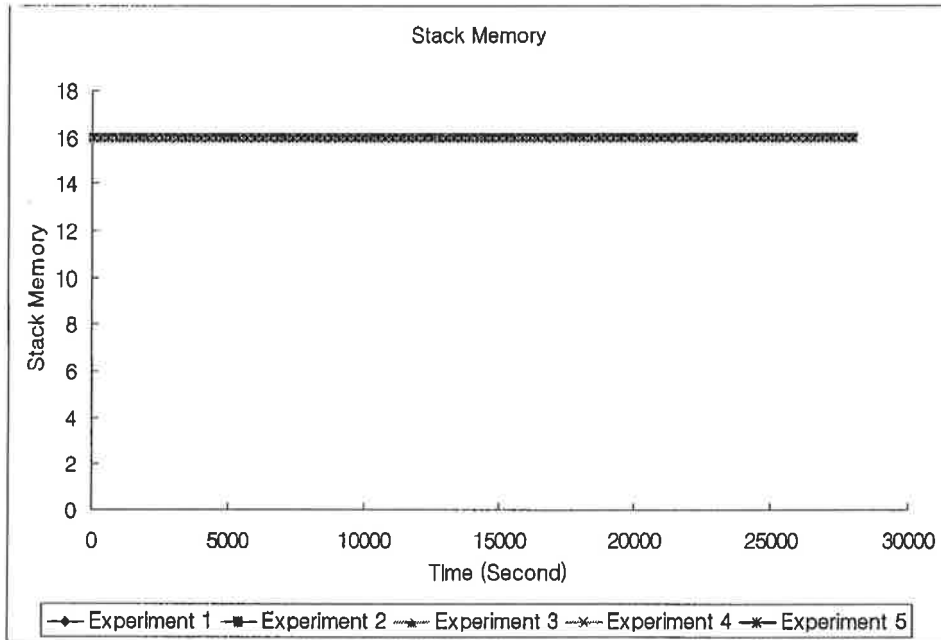


Fig. 4.6 The status of stack memory

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연도별 연구목표 및 평가의 착안점

구 분	평가의 착안점 및 척도	
	착 안 사 항	척 도 (점수)
1차년도(2004)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고장 인지 센서 선정의 적절성 ○ 센서의 구성 및 신호 처리부 개발 ○ 신호 분석 및 보정 모듈 개발 ○ 신호 변환을 위한 인터페이스 개발 ○ 임베디드 시스템 하드웨어의 개발 ○ 송·수신 모듈 개발 	적절성(15) 구성 및 개발(20) 분석 및 개발(15) 인터페이스 개발(15) 하드웨어 개발(15) 모듈 개발(20)
2차년도(2005)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 센서 시스템 제작 ○ (센서-임베디드) 인터페이스 제작 ○ 감지 및 측정 모듈 개발 ○ 데이터 취합 모듈 개발 ○ 서버 측 자료관리 모듈 개발 	시스템 제작(15) 인터페이스 제작(20) 측정 모듈 개발(20) 취합 모듈 개발(20) 관리 모듈 개발(20)
3차년도(2006)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 진단 및 제어 모듈 개발 ○ 측정 신호의 분석 기법 개발 ○ 시스템 통합 ○ 상호 구동성능 평가 ○ 시작품 실험 및 분석 	모듈 개발(15) 분석 기법 개발(15) 시스템 통합(20) 성능 평가(20) 실험 및 분석(30)
최종평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 이상 징후 판별을 분석 ○ 데이터 손실을 및 소요시간 분석 	데이터 판별율(50) 성능 분석(50)

제 2 절 목표달성도

구 분	평가의 착안점 및 달성도	
	착 안 사 항	달 성 도
1차년도(2004)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고장 인지 센서 선정의 적절성 ○ 센서의 구성 및 신호 처리부 개발 ○ 신호 분석 및 보정 모듈 개발 ○ 신호 변환을 위한 인터페이스 개발 ○ 임베디드 시스템 하드웨어의 개발 ○ 송·수신 모듈 개발 	<p>완료 (100%)</p> <p>완료 (100%)</p> <p>완료 (100%)</p> <p>완료 (100%)</p> <p>완료 (100%)</p> <p>완료 (100%)</p>
2차년도(2005)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 센서 시스템 제작 ○ (센서-임베디드) 인터페이스 제작 ○ 감지 및 측정 모듈 개발 ○ 데이터 취합 모듈 개발 ○ 서버 측 자료관리 모듈 개발 	<p>완료 (100%)</p> <p>완료 (100%)</p> <p>완료 (100%)</p> <p>완료 (100%)</p> <p>완료 (100%)</p>
3차년도(2006)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 진단 및 제어 모듈 개발 ○ 측정 신호의 분석 기법 개발 ○ 시스템 통합 ○ 상호 구동성능 평가 ○ 시작품 실험 및 분석 	<p>완료 (100%)</p> <p>완료 (100%)</p> <p>완료 (100%)</p> <p>완료 (100%)</p> <p>완료 (100%)</p>
최종평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 이상 징후 판별을 분석 ○ 데이터 손실을 및 소요시간 분석 	<p>완료 (100%)</p> <p>완료 (100%)</p>

제 3 절 관련분야 기여도

□ 고장 인지 센서 선정의 적절성

콤바인 고장진단을 위한 센서는 수확작업 시 발생하는 콤바인 진동에 대한 영향이 적어야 하며, 특히 센서의 크기가 작고 장착이 용이해야 한다. 또한 수확작업 시 작물의 영향이 최소화되는 지점에 센서를 장착해야 하므로 고장진단 센서의 선정에 있어서 선택의 폭이 극히 제한적이다. 본 연구에서는 측정 대상, 외부 환경의 영향, 크기 및 장착의 용이성을 고려하여 다양한 센서를 선정하여 콤바인의 고장진단에 적절히 사용하였으며, 장착된 다양한 고장진단 센서는 향후 외부 환경 따라 센서 선정이 제약적인 농업기계 분야에서 크게 활용이 가능할 것으로 판단된다.

□ 센서의 구성 및 신호 처리부 개발

고장진단 센서의 구성은 작물 및 설치 조건에 따라 접촉식 센서와 비접촉식 센서로 구성하여 각각의 측정항목에 맞게 적절히 구성하였다. 고장진단 센서의 장착을 위해서는 기존 콤바인 부품의 가공 등이 필요한데, 본 연구에서는 이러한 가공 및 부품의 재설계를 최소화하는 방법으로 고장진단 센서를 구성하였다. 엔진 및 미션의 회전속도 측정을 위해서 사용한 자성 광센서 및 근접센서는 엔진과 미션의 회전속도를 자성을 이용하여 간접적으로 측정하였으며, 이러한 측정 기술은 회전체의 속도 측정에 유용하게 쓰일 것으로 판단된다. 또한 칼날모듈을 제작하여 실제 수확작업 시 칼날부의 고장진단에 관한 예비실험을 하여 성공적인 고장진단 시스템 개발에 이바지 하였다.

□ 임베디드 시스템 개발 및 응용

본 연구에서 선정한 하드웨어는 하이버스 社의 X-Hyper255B 개발 보드이다. X-Hyper255B 보드는 400MHz XScale 프로세서를 사용하였으며, 64MB의 램(RAM)을 사용하여 임베디드 운영체제를 설치, 운용할 수 있으며 이를 통해 기기의 효율적인 자원 사용이 가능하게 하였다. 또한 PCMCIA, CF, MMC 슬롯을 장착하여 McKinion 등(2004)이 운용한 무선랜 및 대용량 메모리의 설치가 가능하도록 설계되었다.

고장 진단 정보를 수집하기 위하여 COMFILE 社에서 개발된 Prome SD-202 모델을 사용하였다. Prome SD-202 모델은 2.4 GHz의 ISM 대역을 사용하며, RS-232C 프로토콜을 지원한다.

또한 실제 농지에서의 콤바인 신호를 게이트웨이로 무선으로 전송하기 위해서 BUFFALO 社에서 개발된 WLI-PCM-L11GP 모델을 사용하였으며 무선랜(Wireless LAN, Wireless 802.11b) 환경은 3Com 社의 액세스 포인트(Access Point)를 이용하여 구성하였다. 임베디드 시스템은 실시간 처리, 이동성, 기기의 독립성, 서비스의 안정성, 시스템의 확장성을 보장할 수 있는 장점을 가지고 있으므로, 다음과 같이 개발된 임베디드 시스템은 추후 농지에서의 전용 모니터링 기기, 제어기기, 서비스 제공 기기 등으로 응용될 것으로 기대된다. 또한 본 연구에서 개발한 임베디드 어플리케이션은 데이터의 취합, 처리, 전송이 가능하여 추후 연구될 여러 모니터링 시스템에 응용 가능할 것으로 예상된다. 특히 임베디드 시스템은 실시간 처리, 이동성, 기기의 독립성, 서비스의 안정성, 시스템의 확장성을 보장할 수 있는 장점을 가지고 있다.

□ 서버 송·수신 모듈 개발

서버의 입출력 수준을 향상시키기 위하여 개발된 송·수신 모듈은 자바 NIO를 이용하였다. 자바 NIO는 포인터 버퍼(Pointer Buffer), 채널(Channel), 셀렉터(Selector)가 내장되어 이를 이용하면 서버의 입출력 수준을 향상시킬 수 있다.

개발된 모듈은 클라이언트들의 모든 요청을 앞단의 큐(Queue)에 저장하고 큐를 모니터링하는 스레드에 이벤트를 보내도록 개발하였다. 큐를 모니터링하는 스레드는 큐에 저장된 요청의 종류를 구별하여 적절한 로직으로 보내주어 요청이 처리되게 하였다. 이를 이용하면 앞으로 농업 분야의 정보를 원격에서 취합, 관리하고 서비스 요청에 응답이 가능한 효율적인 상용화 서버를 개발 할 수 있을 것으로 기대된다.

□ 신호 분석 및 보정 모듈 개발

고장진단 센서의 신호 분석은 통계 분석 프로그램인 SAS의 기술통계로 센서 신호의 적합성에 대한 분석을 수행하여 연구개발 목표를 달성하였다. 특히 수확작업 시 선정된 고장진단 센서의 재현성을 분석하여 센서의 사용 가능성에 대하여 분석하였으며, 이러한 센서의 재현성에 관한 연구는 현장에서 자동 제어 및 계측에 사용되는 센서에 대한 분석 방법에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

□ 신호 변환을 위한 인터페이스 개발

신호 변환을 위한 IO 인터페이스는 고장진단 센서에 따라 측정이 용이하도록 구성하였고 고장진단 센서의 추가를 고려하여 여러 채널의 사용이 가능하도록 하여 연구개발 목표를 달성하였다. 다양한 센서에 대한 인터페이스의 통합 기술은 다양한 센서에 대한 실시간 계측 시스템에 유용하게 사용될 수 있으며, 특히 자동차 및 항공기 등의 복잡한 기계장비의 고장진단을 위한 센서 인터페이스에 사용이 가능할 것으로 판단된다.

□ 감지 및 측정 모듈 개발

센서 신호의 감지 및 측정은 PCI 버스로 고속의 데이터 전송이 가능한 임베디드 기반의 모듈을 사용하였으며, 제어 프로그램으로는 Labview 8.0으로 개발하였다. 본 연구에서 개발된 감지 및 측정 모듈은 TCP/IP와 UBS로 외부와의 데이터

송수신이 가능하도록 개발하여 연구개발 목표를 달성하였다. 또한 그래픽기반의 프로그램인 Labview를 이용하여 고장진단을 위한 유저인터페이스를 개발하여 콤바인의 상태를 실시간 감지하도록 하였다. 본 연구에서 개발된 콤바인 고장진단을 위한 임베디드 측정 모듈 및 고장진단을 위한 모니터링 프로그램은 현장에서 실시간 센서의 측정 및 진단 기술에 응용이 가능하며, 특히 농업기계 분야의 제어 및 측정 기술 발전을 가속화 시킬 것으로 판단된다.

□ 진단 및 제어 모듈 개발

콤바인 고장진단 시스템은 여러 가지 센서 신호의 실시간 측정 및 분석이 필요하기 때문에 고속의 진단 및 제어 모듈이 필요하다. 본 연구에서는 영상처리 분야에서 주로 사용되는 FPGA(Field Programmable Gate Array)를 콤바인의 고장 진단 및 제어에 이용함으로써 연구과제의 완성도를 높였으며, 이러한 FPGA를 이용한 고속의 신호 분석 및 제어 기술은 자동차 및 항공기 등의 제어 분야에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

□ 측정 신호의 분석 기법 개발

본 연구에서는 콤바인 고장진단을 위한 센서 신호의 진동으로 인한 오차를 줄이기 위하여 측정 신호의 예측이 가능한 칼만필터를 사용하였으며, 센서 신호를 분석하여 고장 진단 신호의 재현성 및 적합성을 분석하였다. 또한 고장 조건에 따른 각 센서 신호의 상관관계를 통계적 분석방법인 일원분산분석을 수행함으로써 연구개발의 완성도에 이바지 하였다. 가속도 센서의 주파수 신호와 로드셀의 부하 신호의 다중비교분석을 통한 고장진단 기술은 기존의 주파수 분석 방법에서 한 단계 진보된 기술로 향후 진동 신호 분석에 용이하게 사용될 것으로 판단된다.

제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

제 1 절 추가연구의 필요성

□ 고장 진단 시스템

본 연구에서 사용한 고장진단 방법은 주로 소비자 사후 실태 조사 및 문헌에 의한 방법을 기반으로 수행하였으나, 실제 콤바인의 고장은 좀 더 복잡한 환경에서 발생하므로 이에 대한 분석이 부족한 실정이다. 또한 콤바인 고장을 위한 실험 조건은 대부분 수확기에 이뤄져야 하므로 모든 고장 조건에 대한 실험이 불가능하다. 이를 해결하기 위해서는 콤바인 수확작업에 대한 시뮬레이션 모델을 개발을 통한 고장 조건의 분석이 필요하다.

□ 임베디드 시스템

본 연구에서 사용한 임베디드 하드웨어는 임베디드 시스템 개발이 현재와 같이 활성화되지 못한 시점에 선정되었기 때문에, 그 성능이 매우 미비하다. 따라서 PC에서 구현할 수 있는 많은 콘텐츠를 모두 서비스 하기에는 어려움이 있다. 하지만 현재의 개발환경과 하드웨어는 매우 발전하였으며, 앞으로 더 많은 개발 및 성능 향상이 기대된다. 따라서 앞으로 개발된 하드웨어와 소프트웨어 구조를 사용하면, 기기의 서비스 및 콘텐츠를 다양화 할 수 있을 것으로 기대된다.

□ 무선 네트워크 시스템

본 연구에서 사용한 RS-232, 블루투스, 무선랜(IEEE 802.11b) 등은 현재 활용 가능한 네트워크 장비 또는 인프라이다. 하지만 향후에는 많은 기기의 동시 서비스가 가능한 지그비(Zigbee), 더 빠른 속도를 제공하는 무선랜(IEEE 802.11g), 더

넓은 반경을 제공하는 Wibro, HSDPA 등이 상용화되어 더 나은 모니터링 환경을 제공할 것으로 예상된다. 따라서 앞으로 더 나은 네트워크 장비 또는 인프라로 확장한 농업 기기의 모니터링 시스템의 개발이 필요하다.

제 2 절 타 연구에의 응용

□ 임베디드 시스템의 개발 및 응용

임베디드 시스템은 PC 시장과는 비교할 수 없이 수많은 분야에서 매우 다양한 형태로 구성되어서 우리 사회의 구석구석에서 유용하게 사용된다.

○ 정보가전

정보가전이란 TV, 냉장고, 세탁기, 청소기 등의 가전용품을 인터넷 등에 연동할 수 있게 만들어서 생활에 더 유용한 제품으로 만들어진 가전용품을 의미한다. 디지털 TV에서는 디지털 영상 및 음성 정보에 부가적인 디지털 데이터가 추가될 수 있으며 이 데이터에 프로그램에 관련된 정보 및 다른 부가서비스 관련 정보를 담을 수 있다. 디지털 TV에서는 VOD(Video On Demand), 양방향 TV 등이 가능해져서 사용자의 의견 혹은 선호도를 반영할 수 있게 된다.

이미 개발된 인터넷 냉장고는 15.1인치 액정화면(TFT LCD)과 LAN 포트를 장착해 인터넷에서 쇼핑, 양방향 화상통신, TV 방송 수신 및 e메일 송수신이 가능하다.

○ 정보단말

정보단말기에는 PDA(Personal Data Assistant), 휴대폰, 스마트폰, PDA폰, 영상전화기 등이 포함된다. PDA는 주로 개인정보관리(PIM : Personal Information Management)와 일정관리의 용도로 많이 사용되어 왔으나 최근에는 셀룰러폰, PCS,블루투스 및 무선랜의 발전으로 무선 네트워킹 기능이 추가되어 eBook, mp3, GPS등의 개인 용도는 물론 기업용으로 물류, 각종 영업, 증권 단말기의 용도로 많이 사용되고 있다. 실제로 (주)아이디닷컴에서 출시한 PC131 PDA는 131MHz MIPS VR4212A 프로세서, 16Mbyte의 ROM과 16Mbyte의 RAM을 탑

재하였고 운영체제는 Windows CE 3.0을 사용하고 있다.

스마트폰은 휴대폰과 PDA의 복합기로서 전화, PIM, 유무선 데이터 송수신, 게임, 사진 등의 다양한 기능을 구현한다. 요피 3500은 206MHz 인텔 StrongARM CPU, 3.5인치 반사형 TFT LCD, 32Mbyte ROM, 128Mbyte RAM 그리고 일반 PC와 같은 구성의 'QWERTY'배열의 자판을 탑재하며, 셀룰러 이동통신 및 무선 랜을 지원한다. 운영체제로는 ARM용 리눅스가 탑재되었다.

○ 통신장비

디지털 교환기, 사설 자동 전화교환기 PABX(Private Automatic Branch Exchange), 라우터, 스위치 등의 네트워크 장비들도 임베디드 시스템으로 분류된다. 가입자, 기지국 등의 각 모듈들은 채널 제어 및 여러 가지 종류의 프로토콜 정합 또는 변환을 목적으로 실시간 운영체제를 탑재한 마이크로프로세서 보드들로 구성된다. 개발된 사설교환시스템 IP-PCX IAP(IP based - Private Communication eXchange Integrated Access Platform)는 ATM(Asynchronous Transfer Mode) 스위칭 기능 및 VoIP(Voice over IP) 기능을 가진 교환기로서 인터넷 및 VoIP환경에 적합한 IP기반의 통합 통신 시스템으로 PBX 단말 및 IP 단말의 통합호(Call)처리 및 통합관리가 가능한 시스템이다.

○ 항공/군용

비행기, 군용 전자 통신장비, 전자 제어 무기 등에서 임베디드 시스템이 광범위하게 사용된다. 전자동 항공기 시스템인 Global Star 2100®은 출발점에서 도착지점까지 조종사가 수행해야 할 비행, 통신, 유도 및 연료관리 등의 임무들을 자동으로 수행한다. 이 시스템에는 RTOS(Real-Time Operating System)가 이용되어 모든 태스크가 실시간에 동작하게 구성되어있다. 이 전자동 항공기 관리 시스템은 자동조종장치와 연동하여 비행기의 승강기, 보조날개, 방향키 등을 제어하여 항공기를 운항한다.

○ 물류/금융

물류 분야와 금융 분야에서도 수많은 임베디드 시스템이 사용되고 있다. 물류 분야에서는 바코드(Barcode) 발급기, 바코드 리더(Reader) 혹은 레이저 스캐너와 연동되는 POS(Point Of Sales) 단말기, RF 태그(Tag), 금융 분야에서는 ATM, 순번 발행기, 스마트카드, ID 카드, 신용카드 등의 각종 카드 발급기 및 조회기들이 사용된다. 상용화된 POS 단말기는 PC와 유사하게 모니터, 고객용 표시장치, 바코드 리더, 레이저 스캐너, 그리고 영수증 프린터 등의 모듈을 장착하여 각 매장의 특성에 맞는 제품으로 제공된다.

금융 부문에 있어서는 자동 현금 입출금기 혹은 ATM 단말기가 은행 업무를 대행하고 있다. ATM 단말기는 숫자와 기능키를 포함하는 키보드, 디스플레이 장치, 프린터, 그리고 카드 리더 모듈로 구성된다. ATM은 일반 은행업무 기능 외에도 지폐 중 오, 훼손 지폐를 낱장 회수하는 첨단 지폐방출 기능, 지문인식, 음성안내, 감시카메라 기능 등을 추가하여 사용할 수도 있다.

○ 차량/교통

자동차의 엔진 및 각종 제어 시스템, 무인 자동화 시스템, 지능형 교통시스템(ITS : Intelligent Transport Systems)등에도 임베디드 시스템이 광범위하게 사용된다. 이중 지능형 교통시스템(ITS)은 도로, 자동차, 신호시스템 등 기존의 교통시스템에 전자, 통신, 제어기술을 연동하여 효율적이고 안전한 교통시스템을 구축하는 것을 목적으로 한다. ITS는 각종 센서가 장착된 단말기와 GPS 데이터를 이용하여 모든 도로의 교통상황 데이터를 수집한 후 유선 및 무선 통신시스템을 이용하여 ITS가 교통정보, 도로정보 등을 알리는 시스템이다. 상용화된 자동요금정산시스템(ETC : Electronic Toll Collection)은 무선신호를 이용하여 차량을 톨게이트에서 정지시키지 않고 자동으로 통행료를 징수하는 시스템이다.

○ 사무

사무 분야에서는 프린터, 스캐너, 팩스, 그리고 복사기와 이들의 기능을 하나로 모은 복합기에서 임베디드 시스템의 특징을 찾을 수 있다. 이미 상용화된 삼성의 SCX-5312F는 프린터, 스캐너, 팩스, 그리고 복사기의 기능을 모두 수행할 수 있도록 개발되었다.

○ 산업/제어

산업분야의 FA(Factory Automation)은 생산 공정의 제어에 필요한 시스템으로서 이전에는 PLC(Programmable Logic Controller) 모듈을 이용하여 구현해왔다. 그러나 고성능이 필요한 경우, 즉 실시간으로 공정이 제어되어야 하거나 또는 매우 정밀한 값이 처리되어야 하는 공정에서는 실시간 운영체제를 갖춘 고성능의 임베디드 시스템을 사용해야 한다.

○ 의료

게놈 (Genome) 프로젝트의 한 연구팀은 모든 인간이 가지고 있는 31.8억 가지의 DNA를 정렬해서 유용한 정보를 찾기 위해 고성능의 컴퓨터를 사용하였다. 이 유전자 정보를 슈퍼컴퓨터에 입력시킬 수 있는 정보로 가공하기 위하여 Applied Biosystems 라는 회사는 ABIPRISM® 3700 DNA 분석기를 만들었다. 이 분석기는 68332 마이크로프로세서와 VxWorks RTOS를 이용한 임베디드 시스템으로서 이전에는 사람이 수개월 걸려서 처리하던 10만개의 샘플작업을 단지 몇 시간 만에 수행할 수 있게 만들었다.

○ 게임

게임기도 임베디드 시스템으로 분류되는데, 게임기가 다른 임베디드 시스템과 구별되는 점은 고성능 프로세서를 탑재한다는 점이다. 마이크로소프트의 Xbox, 소니의 플레이스테이션 2, 닌텐도의 nintendo64 게임기가 최근에 관심의 대상이

된다. 닌텐도에서 출시한 휴대형 게임기인 닌텐도 게임보이 어드밴스 (Nintendo Gameboy Advance)는 32-Bit ARM 프로세서를 사용하며 2.9인치 TFT 스크린에서 32,768 색상을 지원하는 휴대형 게임 장치이다.

소니 PlayStation2 Computer Entertainment System은 Emotion Engine™ 이라는 멀티미디어 프로세서 와 MIPS 프로세서를 탑재한 게임기이다.

□ 고장 감지를 위한 센서 및 인터페이스의 개발

본 연구는 콤팩트 예취부 고장진단을 위한 센서를 선정하고 각각의 센서에 적합한 인터페이스를 개발하였다. 고장진단을 위한 센서 선정 방법은 여러 기계 분야의 계측 시스템 개발에 유용하게 활용이 가능하며, 특히 다양한 센서에 대한 인터페이스 기술은 여러 센서를 통한 자동차 및 항공기 등의 고장진단 시스템 개발에 활용이 가능하다.

□ 센서 시스템의 성능 분석 및 측정 모듈 개발

콤팩트 예취부 고장 진단 시스템의 성능 분석을 위하여 수확작업 시 진동에 따른 센서 시스템의 출력 신호에 대한 재현성을 평가하였으며, 윈도우 기반의 임베디드 모듈을 이용하여 측정 모듈을 개발하였다. 센서 시스템의 성능 분석은 통계 프로그램인 SAS의 기술통계 분석을 이용하였는데, 이것은 센서를 이용한 측정 시스템 개발에 기초적인 기술로 작용할 수 있다. 또한 임베디드 측정 모듈 및 측정 프로그램의 개발로 포장에서 작업이 많은 비중을 차지하는 농업 기계분야의 측정기술 개발에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

□ 진단 모듈, 시스템 제어 모듈 개발 및 시스템 통합

본 연구에서 개발된 칼날 구동부의 진단 기술은 주파수 분석 방법에 로드셀의 부하 신호를 또 다른 입력으로 하여 개발하였으며, 기존의 주파수 분석에서 사용하는 피크(Peak)값 외에 피크간의 비를 다중비교하여 예취칼날의 상태를 진단하

였다. 그러므로 주파수 분석에서의 피크간의 상호비를 사용하는 방법과 통계적인 다중비교 알고리즘의 적용은 진동 신호를 이용한 기계의 결함 진단 및 고장 진단에 유용하게 쓰일 것으로 판단된다.

수확작업 시 콤바인의 진동에 따른 센서의 이상신호 감지를 줄이기 위하여 칼만필터를 사용하여 입력되는 신호의 오차를 최소화하였으며, 이러한 측정 기술은 농업기계와 같이 외부환경에 노출이 심한 경우의 계측 시스템 개발에 활용이 가능하다. 또한 FPGA 모듈을 이용한 진단 모듈의 개발은 향후 농업기계 분야 및 다른 분야의 고속의 계측 및 제어에 활용이 가능하다.

제 3 절 기업화 추진방안

3.1 국내 농업기계의 기술 수준

우리나라 농업 기계 산업의 생산 요소 기술 수준은, 여전히 선진국에 못미치고 있지만, 1990년대 초반에 비해 비약적인 발전을 이루고 있다. 특히 성능평가와 측정기술 이외에서는 선진국의 90% 수준 대까지 이르고 있다(한국농촌경제연구원, 2005).

Table 3.1 A technical level of Korea in the manufacturing industry

요소기술	기술수준평가(%)			
	한국(1991)	한국(1994)	한국(2004)	최고기술보유국
설계기술	60-80	60-90	70-90	100(미국)
금형기술	65-85	70-85	75-95	100(일본)
주·단조기술	80-90	80-85	75-90	100(미국)
용접기술	80-90	50-90	80-90	100(일본)
표면처리 및 열처리 기술	70-85	50-80	60-90	100(미국)
가공·조립기술	80-90	70-85	70-90	100(일본)
판금 기술	70-90	70-80	70-90	100(일본)
성능평가 및 측정기술	60-90	60-80	70-85	100(미국)
자동제어 기술	50-70	40-90	60-90	100(미국)
품질관리 기술	70-80	70-85	60-90	100(일본)

생산 관련 다양한 기술은 농업 기계를 개발하는 좋은 소재 및 부품과 결합되어 우수한 농업 기계를 생산하는 밑바탕이 되는데, 현재 우리나라 농업기계 소재와 부품의 질적 수준은 70-80% 선에 머무르고 있다. 또한 관련 기술이 종합적으로 구성된 농업 기계의 물리적 기능적 기술 수준을 살펴보면 대체로 선진국의

80% 수준에 머무르고 있으며, 특히 상대적으로 고장율이 높고, 인체공학적 디자인 면에서 상대적으로 뒤떨어지는 것으로 판단된다.

3.2 기업 경영 분석

3.2.1 성장성

모든 관련 지표가 부정적이다. 그러나 기업 내부적인 경영 합리화를 통해 조업에 비해서는 상대적으로 불건전 하지만, 과거에 비해 자산 구조의 안정성은 향상되었다.

Table 3.2 An indicator of the economic health in the manufacturing & agricultural industry (1)

구분	주요지표	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
제조업	총자산증가율	12.60	11.60	17.40	18.30	15.60	22.60	2.90	6.90	2.30	-0.50	3.40
	유형자산증가율	12.30	11.30	14.30	17.80	15.60	13.80	14.80	4.00	3.90	-0.60	-0.80
	매출액증가율	11.40	10.70	17.60	22.30	13.30	12.80	1.10	10.70	18.40	2.60	8.50
농업기계 산업	총자산증가율	1.80	17.40	15.70	19.50	10.20	12.30	-0.30	-10.60	7.00	2.60	-5.00
	유형자산증가율	4.10	11.60	26.30	14.40	8.70	29.00	34.70	2.20	6.40	-1.80	-4.10
	매출액증가율	0.70	19.00	15.00	12.10	10.00	5.90	13.70	-3.00	6.10	-7.50	8.50

3.2.1 안정성 및 수익성

최근 자기자본의 비율이 10% 이하에서 40% 수준대로 증가했고 유동비율 역시 과거보다 높아졌다. 또한 고정비율 역시 100%이상을 꾸준히 보이고 있어 외채에 의한 자본의 고정화 상태 없이 비교적 안정성이 향상되었다.

Table 3.3 An indicator of the economic health in the manufacturing & agricultural industry (2)

구분	주요지표	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
제조업	총자본/경상이익	1.40	1.50	2.40	2.70	0.60	-0.70	-1.40	2.00	2.00	0.60	5.00
	매출액/경상이익	1.70	1.70	2.70	2.90	0.70	-0.90	-1.80	2.40	2.10	0.60	4.80
	매출액/영업이익	7.20	7.00	7.50	7.70	6.40	7.70	6.70	6.70	7.30	5.30	6.70
	총자본/순이익	0.90	1.00	1.60	2.10	0.30	-1.30	-0.30	0.80	-1.30	0.20	3.60
농업기계 산업	총자본/경상이익	-1.90	1.30	3.50	2.70	3.20	1.90	1.10	-8.60	3.30	1.80	-7.80
	매출액/경상이익	-1.70	1.20	3.30	2.60	2.80	1.90	1.20	-7.40	3.30	2.00	-8.60
	매출액/영업이익	3.10	5.90	6.90	7.20	7.70	8.50	8.10	-5.40	5.80	3.40	-4.70
	총자본/순이익	-2.10	2.40	2.30	1.90	2.50	1.60	0.70	6.90	2.60	1.30	-7.90

또한 고정비율 역시 100%이상을 꾸준히 보이고 있어 외채에 의한 자본의 고정화 상태 없이 비교적 안정성이 향상되었다. 하지만 수익성은 여전히 악화되고 있으며 내부 관리 비용이 지나치게 많다는 문제를 앓고 있다. 2002년도 영업 이익을 자체가 마이너스여서 장기적인 경영 부실 우려가 상당히 높은 상태이다.

3.2 경쟁력 확보 방안

우리나라 농업 경영인들의 노령화 농업 기계 공급의 확대, 대형 농업 기계 운용에 부적합한 농촌 인프라 등으로 인해 농업 기계 사고가 증가되고 있으며, 그로 인한 개별적 사회적 비용이 증가하고 있다. 따라서 본 연구에서는 사전에 이상 징후를 판단하고, 자동화된 시스템을 이용하여 콤바인의 고장 진단 및 원격 관리를 수행할 수 있는 시스템을 개발하였다.

국내 농업 기계의 수급 규모는 약 2조원이나 되지만, 과거 10년 전에 비해 농업 기업들은 더욱 영세해지고 있으며, 점차 경쟁력을 잃어가고 있다. 또한 낮은 수준의 소재 기술로 인해 고품질의 소재 부품 등을 수입하고 있으나, 관리 지원도 많지 않고 개발을 위한 R&D 지원 사례도 없었다.

따라서 본 연구에서 개발한 원격 고장 진단 시스템을 확장하여, 고장 부품의 체계적 관리 및 이력화를 가능하게 한다면 부품 재고 확보 및 중복 수입을 차단할 수 있다. 또한 수리 인력 배치의 효율화 및 노동 생산성의 증가를 통하여 국내 농업 기계 생산 업체의 가격 경쟁력을 강화할 수 있다.

현재 농업 기계 생산업체는 어려움 속에서도 농업 기계 생산 현장에서의 작업 효율성을 높이기 위해 여러 가지 방법을 사용하고 있으며, 이에 개발된 현 시스템을 도입한다면 생산 기계의 주 고장 부위 판별 및 성능 향상을 피하는데 도움이 될 것이라 예상된다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학 기술정보

제 1 절 국외 개발현황

1.1 고장 진단 시스템

1.1.1 고장 진단 시스템을 위한 전문가 시스템 개발

- 대만에서 CNC 기기의 진단을 위한 전문가 시스템 개발
- 러시아에서 가스 터빈 연소 챔버의 모니터링과 진단을 위한 전문가 시스템 개발
- 브라질에서 해안 석유 생산을 위한 고장 진단 전문가 시스템 개발
- 캐나다에서 태양열 시스템의 고장 진단을 위한 전문가 시스템 개발

1.1.2 실시간 고장진단 시스템 개발

- 미국에서 건물 운영 향상을 위한 실시간 모니터링과 고장 진단 시스템 개발

1.1.3 고장 진단 및 처리 알고리즘 개발

- 중국에서 작동기와 센서의 고장 진단을 위한 알고리즘 개발

1.1.4 원격 진단 시스템 개발

- 브라질 등 남아메리카 국가에서 재배환경에 따른 농기계 고장 예방 및 진단 시스템에 대한 연구 수행

1.2 모니터링 시스템

1.2.1 무선 센서 네트워크를 이용한 모니터링 시스템 구현

- 미국에서 무선 센서 네트워크를 이용한 농업기계의 무인 주행 시스템을 운영 중임.
- 벨기에에서 CANbus 네트워크 시스템을 이용하여 콤바인 자동 주행 시스템 개발
- 미국에서 WLAN을 이용한 영상 전송 시스템을 농장에 적용함.

1.2.2 인터넷 기반의 원격 모니터링 시스템 개발

- 오스트레일리아에서 웹을 이용한 해충 감시 시스템을 운영 중임.

제 2 절 국내외 학술논문

2.1 국내외 학술논문

1. 근거리 통신망 고장진단 전문가시스템. 최재영, 이채영. 1991.

근거리 통신망에서 발생하는 고장을 정확히 찾아 문제를 해결하기 위해서는 많은 전문가적 지식이 요구된다. 본 연구에서는 그 전문가적 지식을 확보하여 근거리 통신망에서 발생하는 고장요인을 추론하는 전문가시스템을 개발하는데 목적이 있다. 전문가시스템을 형성하기 위해 LAN의 구성을 알아보고 통신망 고장진단을 위한 지식베이스를 구축하여 실제 진단과정을 연구. 그 결과 일반 사용자도 전문가적 지식을 이용해 LAN에서 발생하는 여러 형태의 고장요인을 쉽게 밝혀 낼 수 있을 것이다.

2. 복잡한 구조물의 고장진단을 위한 사례 기반 전문가시스템. 도기상, 장군호, 김병우. 1994

본 연구에서는 복잡한 구조물을 효율적으로 설비 고장 진단을 해나가는 과정을 기술 하고자 한다. 또한 고장진단용 전문가시스템 개발에 대한 기법에 관하여 논술하였다. 그리고 방법론을 동시에 사용하였다. 그 결과 Hybrid Reasoning은 인간의 사고 방식에 가장 근접한 고장 진단 기법으로서 추후 각 분야의 전문가 시스템에 대한 해결책으로 기대된다.

3. 인공신경망을 이용한 고장진단 시스템의 개발. 고영배, 이재식. 1994

본 논문에서는 고장진단 문제영역에서 개발된 규칙기반 전문가시스템의 한계점을 극복하고자 하는 여러 대안적 방법들 중에서 인공신경망(Artificial Neural Networks)을 이용하는 방안을 제시한다. 연구결과 설명 능력이 부족한 인공

신경망 본래의 단점을 극복하고 보다 정교한 고장 진단을 위해 고수준 지식처리
리에 적합한 규칙기반 추론이나 사례기반 추론등의 기법들과 결합된 통합적
고장진단 시스템으로의 개발 연구가 이루어져야 할 것이다.

4. 전자식교환기 고장진단 전문가시스템의 지식베이스 모듈 구축. 김영근, 정 현욱, 김화수, 이성근. 1994

본 연구에서는 전자식교환기 고장진단 전문가 시스템에 적합한 지식베이스를
전문가시스템 개발 도구중의 하나인 Smart Element를 이용하여 효율적으로
구축하는데 그 목적이 있다. 그리고 TDX-10 전자식교환기 고장진단을 위한
프로토타입 전문가시스템의 지식베이스 모듈의 개념을 기술하고 설계 및 구현
시 특징, 절차, 지식표현 기법 및 기대효과를 기술하였다. 연구결과 지식베이
스 모듈은 TDX-10 고장진단 전문가시스템의 다른 주요한 모듈인 사용자 인
터페이스 모듈, 설명 모듈, 추론 모듈 등과 통합하여 하나의 응용 프로그램으
로 생성한 결과 효율적인 지식베이스 모듈이 구축되었음을 입증하였다.

5. 크레인의 전기고장 진단 시스템 개발. 최승영, 김선호. 1994

이 논문에서는 초보자나 비전문가도 크레인의 이상 현상을 대화형으로 입력하
여 진단할 수 있는 전문가 시스템을 개발하였다. 그리고 결과를 시스템 셸의
일종인 EXESYS를 사용해 Rule Base를 구축하여 이것을 이용해 고장증상에
따른 고장원인을 신속히 파악할 수 있다. 또한 FoxPro를 이용해 개발된 설비
관리 Data Base를 보완해 각 원인별로 조치내용을 알 수 있도록 하였다. 그
결과 작업장 내의 재해 감소에 기여할 것으로 예상하고 앞으로 Graphic
Animation Tool을 이용해 고장의 증상과 고장부위의 이상 현상을 작업자가
시각적으로 확인할 수 있는 모듈을 추가 개발할 예정이다.

6. 자동차산업의 프레스고장진단 전문가시스템의 개발. 김광만, 이재원. 1995

본 연구에서는 프레스의 고장원인과 고장부위를 조기에 발견하여 신속한 보전 작업을 수행할 수 있도록 하는 고장진단 전문가시스템을 개발하였으며 이에 관한 내용을 기술하고자 한다. 이를 위해 개발된 전문가 시스템은 전문가의 지식을 규칙이 아닌 사례를 중심으로 표현하는 사례기반형추론기법을 이용하였다. 연구결과 DESPRESS는 고장진단문제 만이 아닌 향후 전체적인 보전문제로의 확대가 필요하며 이를 위해선 보전시점예측, 보전공정계획 및 일정 계획의 수립에 관한 연구가 필요하다.

7. 변전소 고장진단을 위한 전문가 시스템. 박영문, 최면송, 김광원, 현승호. 1996

변전소내 변전설비의 단일고장에 대한 진단을 위한 전문가 시스템을 제안한다. 자료구조와 이를 생성하는 알고리즘을 제안하고 제안된 계층구조자료를 이용해 고장 후보들을 추론하고 각 고장 후보에 대한 가능성을 2단계의 추론 방식으로 제안하고 전문가 시스템을 실제 154[kV]급 변전소 모형에 적용해 효율성 밝힘. 그 결과 향후, 송전선로를 포함한 전력계통 설비에 대한 고장진단문제로 확장할 수 있으며 계통 연결 표현과 2단계 추론방식은 유용한 방법으로 사료된다.

8. 신경회로망을 이용한 VAV시스템의 고장진단 및 실시간 진단 시험방법. 소정훈, 신기식, 경남호, 조수, 유승선. 1998

본 연구에서는 실시간 고장감지 및 진단시스템의 설계 및 개발에 앞서 건물/HVAC 시스템 해석용 프로그램을 사용하여 시스템 변수의 잔차를 이용한 고장감지와 신경회로망을 사용한 고장 진단을 수행하였다. 그리고 실시간 고장감지 및 진단시스템 개발을 위한 시험장치의 구성 및 시험방법에 대해서 제시하였다. 신경회로망을 사용해 고장 진단을 수행한 결과 좋은 결과를 얻을 수

있었고 최적 운용을 위한 실시간 고장감지 및 진단 시스템의 개발은 국내의 에너지 절약과 설비 시스템의 자동화 기술 발전에 크게 기여할 수 있을 것이라 기대된다.

9. 선박엔진 통합시스템의 실시간 고장진단 기법에 관한 연구. 정경열, 김달현, 류길수. 1999

본 논문에서는 선박엔진 통합시스템에서의 실시간 고장진단에서 사용될 전문가시스템과 모니터링 시스템간의 통합을 목표로 하고 있다. 이를 위해 알람 데이터들의 처리방법, 처리된 데이터를 이용한 고장진단방법과 전문가 시스템 등에 대해 논한다. 그 결과 방대한 지식베이스를 완성하기 위해 추가적인 연산기법에 대해 연구할 필요가 있으며 사용자의 입력에 의한 진단기능도 지원해야 할 사항이고 또한 설명기능에 대해서도 계속적인 연구가 필요하다.

10. 선박엔진 통합시스템의 실시간 고장진단 기법에 관한 연구. 정경열, 김달현, 류길수. 1999

본 논문에서는 선박엔진 통합시스템에서의 실시간 고장진단에서 사용될 전문가시스템과 모니터링 시스템간의 통합을 목표로 하고 있다. 이를 위해 알람 데이터들의 처리방법, 처리된 데이터를 이용한 고장진단방법 등에 대하여 논한다. 연구 결과 방대한 지식베이스를 완성시키기 위해 추가적인 연산 기법에 대해 연구할 필요가 있고 사용자의 입력에 의한 진단기능도 지원해야 할 사항이다. 또한 설명기능에 대해서도 계속적인 연구를 진행해야 할 것이다.

11. 주요 농업기계의 고장수리실태 조사에 관한 연구. 신승엽, 이용복, 오인식, 김병갑, 김학주, 2000

이 연구는 농업기계의 효율적인 이용 및 고장수리방안을 모색하고자 수행하였다. 조사분석을 위해 8개도 24개 시군에서 농가표본조사를 실시하고 조사방법은 조사농민의 기억력에 의존하여 조사지역의 농업기계 보유대수를 고려, 시

군별로 조사대수를 달리해 조사표에 의한 현지청취조사를 실시. 그 결과 관리기에서 가장 많이 발생하는 연료계통 고장은 대부분 연료탱크 내부의 도료가 휘발유에 녹아 찌꺼기가 발생되 부식되어 녹 등 이물질이 기화기에 혼입되어 발생하는 것으로 나타났다.

12. STRUCTURAL DAMAGE DETECTION USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND MEASURED FRF DATA REDUCED VIA PRINCIPAL COMPONENT PROJECTION. C. ZANG , M. IMREGUN. 2001

이 논문은 인공 신경 네트워크(ANNs)에 입력 자료로서 측정된 주파수 응답 기능(FRFs)을 사용하여 구조적 손상 탐지를 다룬다. ANN로 full-size FRF 데이터를 사용하는 비실용성은 측정된 FRFs에 주성분 분석법 (PCA)에 기반하는 데이터 감소 기술을 적용하여 우회되었다. 주성분 분석법은 원하지않은 측정 소음을 필터링하는데 잠재력이 있다. 따라서 주성분 분석법은 Modal 해석법 보다 FRF데이터를 전처리 측정하는데 더 좋다.

13. 공조 설비용 고장진단시스템의 실시간 진단실험. 소정훈, 유승선, 경남호, 신기식. 2001.

정보화 건물의 운전 시 문제점 해결을 위해 고장검출 및 진단시스템의 필요성이 요구되고 있다. 본 논문에서는 뉴럴 네트워크를 사용한 실시간 고장진단시스템을 이용하여 정확성 및 적용 가능성을 평가하였다. 그 결과 거의 완벽하게 고장들을 검출하고 진단함으로써 제안한 진단기법의 적용 가능성을 확인하였다.

14. WAVELETS FOR DETECTING MECHANICAL FAULTS WITH HIGH SENSITIVITY. W. J. WANG. 2001

공동의 시간-주파수-스케일 분산의 개발을 초래하면서, 관련된 신호와 웨이브렛을 일치시킴으로서 기계적인 시스템에서 과도 전압을 찾아내는 방법이 제안된다. 세 변수 즉 시간, 주파수 그리고 스케일은 점검하의 시스템으로부터 유사한 신호 세그먼트를 발견하기 위한 기회를 확대하였다. 감도는 초기 결함 검출과 실패 예방을 위해 필요한 더 나은 웨이브렛 모양의 선택이 나타난다.

15. 뉴럴 네트워크와 지식 기반 퍼지 추론을 이용한 디젤기관 고장진단 시스템에 관한 연구. 천행춘, 김영일, 김경엽, 안순영, 오현경, 유영호. 2002

본 연구에서는 디젤기관으로 구동되는 발전기의 운전 데이터를 입력받아 뉴럴 네트워크에 의해 운전 데이터의 이상감지를 행하고 서로 영향을 주는 데이터의 관계와 전문가의 지식으로부터 유도된 규칙을 기반으로 퍼지 추론에 의해 고장을 진단하는 시스템에 관하여 논한다. 지식기반 규칙을 추론하는 모형을 구축하는 방법중의 하나를 제안 하고자 한다. 지식기반 규칙의 모형을 디젤기관의 각 계통으로 확장하면 감시되는 데이터로 디젤기관의 고장진단이 가능할 것으로 판단된다.

16. A System for Semi-Autonomous Tractor Operations. ANTHONY STENTZ, CRISTIAN DIMA, CARL WELLINGTON, HERMAN HERMAN, DAVID STAGER. 2002

이 논문에서는 작은 숲, 과수원 및 줄뿌림 작물 내에서의 농업적인 살포 가동을 위해 준 자동화 시스템에 대해 연구하고 사용자 인터페이스, 네비게이션, 그리고 방해물 감지 구성 요소에 관한 시스템과 접근에 관한 개요에 대해 설명한다. 종합적으로 시스템은 줄을 따라 정확하게 왔다갔다하면서 관개용 수로와 같은 위험 요소가 있음에도 비교적 잘 수행 되었다. 위치 기반의 네비게

이선은 농작업을 위한 하나의 방법으로 선택 될 것이다. 여전히 남아 있는 문제는 진흙이나 돌기, 경사 같은 어려운 지형내에서의 운행을 포함한다. 이런 문제를 해결 하기 전까지 무인 차량에 모든 것을 맡길 수 없다.

17. 원격 환경 모니터링 시스템 개발. 정재학. 2002

본 논문에서는 원격 환경 모니터링 시스템 사업의 product들을 중심으로 화학 공학 공정 시스템 분야에서 연구한 연구 결과가 어떻게 환경 보존 시스템에 활용될 수 있는가를 설명하고자 한다. 그 동안 개발된 product들은 오, 폐수처리 및 하천의 원격 모니터링 시스템과 위성을 이용한 해수표층의 CO₂ 분압 원격 측정 및 모니터링 시스템이다. 연구 결과 향후 환경 모니터링 시스템의 중요성은 점차 크게 대두될 것이며 시장생성 시 빠른 속도로 증가할 것이다.

18. Insect monitoring radar : remote and network operation. V.A. Drake , H.K. Wang, I.T. Harman. 2002

곤충 감시 레이더는 특별한 장소에서 곤충 이주에 관한 질적이고 양적인 정보를 모두 제공하기 위하여 개발되어 온 특별한 목적의 자동적인 레이더이다. 이 논문에서 우리는 네트워크와 그것을 작동하는 개발된 메커니즘 그리고 지금 생성되고 있는 정보 생산품의 몇가지 실례를 제공한다. 연구 결과 해충 그룹 - 메뚜기와 나방 - 을 위한 현재의 소형 네트워크의 명확한 한계는 다양한 종의 정상적인 범위의 단지 작은 비율만을 커버한다는 것이다. 현재 소형 네트워크의 이용은 중요한 소비 요구가 정당한지를 판단하는 지표를 제공할 것으로 기대될 수 있다.

19. 타워팰리스 공조시스템의 고장예지 및 원격진단 시스템. 문중기, 윤백, 김영수, 오상경. 2003

최근 건축물의 고급화 및 복합화 추세에 개별공조기가 초고층 빌딩은 물론 고급 아파트 등에도 집단으로 설치되는 경우가 증가하고 있다. 그로 인해 건물 내의 많은 개별 공조기가 밀집되어 있어 기존 개별 공조기의 유지, 보수 방법으로는 해결하기 어려운 문제점들이 발생하여 이를 유지, 보수하기 용이한 새로운 시스템의 도입을 필요로 한다. 그 방법으로 공기조화기의 고장 예지 및 원격진단 시스템이 부각되고 있다. 이 시스템 도입결과 고장진단과 고장이 진행되는 것을 예측할 수 있고 이상이 발생하는 것을 조기 판단하여 신속한 대처가 가능하였다. 이러한 시스템이 실용성이 더 높아지려면 데이터 수집 기술을 비롯하여 고장을 진단하고 예지할 수 있는 알고리즘 개발에 더욱 노력해야 할 것이다.

20. 무선 센서네트워크를 이용한 지능형 건물 환경 모니터링. 최원갑, 정경권, 배상민, 박형무, 김건욱. 2003

본 논문에서는 무선 센서 네트워크를 이용한 지능형 환경 모니터링 시스템을 구현하였다. 실험에 사용된 모듈은 전자부품 연구원에서 제작한 TIP30CM 모듈을 사용하여 조도와 온도의 데이터를 수집하였고, 베이스 노드와 호스트간의 시리얼 통신을 통하여 데이터를 전송 하였다. 연구 결과 무선 센서 네트워크용 응용프로그램을 실제 산업과 생활에 적용시키기 위해서는 안정된 무선 네트워크 프로토콜이 요구되므로 전력소모가 적고 신뢰성 있는 통신을 할 수 있는 프로토콜의 개발이 우선이라 할 수 있을 것이다.

21. 무선 네트워크를 이용한 진동 모니터링 시스템 구성과 적용사례. 구용택.
2003

본 연구는 비교적 저렴한 비용으로 진동 모니터링 시스템을 구축하여 진동관리를 할 수 있는 방안이라고 할 수 있으며 진동데이터 축적을 통해 단계적으로 설비진단 시스템으로 발전시켜 나갈 수 있음을 예시하고자 한다. 원격 모니터링 시스템은 모니터링 대상의 기계설비가 산재되어 있을 경우 분산처리 방식에 의해 신호 수집을 할 수 있으므로 경제적이고 신뢰성이 높은 설비진단 시스템구축이 가능하다.

22. 전동차 견인전동기 고장진단시스템. 박현준, 장동욱, 이길현, 최종선, 김정수. 2003

본 논문에서는 차량운행의 안정성과 신뢰성을 확보하고 유지보수 노력 절감 및 합리화를 달성하는데 필수적인 철도차량 전기장치의 고장예방 및 유지관리 자동화 시스템구축에 필요한 연구로써 향후 철도차량 전장품에 대한 비분해 상태의 이상검지 및 고장진단 자동화를 위한 시스템을 제시하고자 한다. 연구 결과를 토대로 볼때 유지보수 과정에서 신기술 채용에 따른 고장모드분석, 신뢰성확보 및 시험법 등에 관한 사항에 중점을 둔 연구와 새로운 유지보수 접근방법의 개발이 필요하다.

23. 모바일 환경에서 원격지 시스템의 고장 진단을 위한 로그 인덱싱. 박병울, 윤병선, 임종태. 2004

모바일 클라이언트를 통한 검색에서는 검색 시간이 길어지면 비효율적인 시스템이다. 검색시간이 길어지는 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 로그를 인덱싱한다. 방법으로는 원격지 시스템과 메인서버간의 전송된 로그를 인덱싱하여 검색시간을 최소화 하는 방법을 이용. 그 결과 고장에 대하여 사전

작업 및 고장 발생 후 처리해야 하는 부분을 판단할 수 있는 능력을 키울 수 있다.

24. Wireless technology and satellite internet access for high-speed whole farm connectivity in precision agriculture. J.M. McKinion, S.B. Turner, J.L. Willers, J.J. Read, J.N. Jenkins, John McDade. 2004

원격 탐사 영상 분석, 농장에서의 데이터 캡처, 데이터와 영상 저장, 그리고 농장 내에서의 정보 전송의 전체적인 과정을 검사하기 위해 분석적인 접근 방법을 취함에 있어서 몇 가지 병목 현상을 즉각적으로 관찰 할 수 있었다. 여기서 농장과 서비스 공급자간의 원격의, 고속 통신 그리고 농장에서의 근거리 통신망에 대해 언급한다. 우리의 미래목표는 더 명확하고 컴퓨터 초심자들도 쉽게 사용하고 이해할 수 있는 시스템을 만드는 것이다.

25. 무선 기반 성능 모니터링 시스템 구현. 박홍진. 2004

본 논문은 이동 중 무선망을 통하여 인터넷 서비스에 액세스하고 정보를 제공 받을 수 있는 무선 인터넷을 통해 실시간 시스템 성능 모니터링 시스템의 구현을 목적으로 한다. 연구 결과 무선 인터넷을 통해 실시간 시스템 성능 모니터링 시스템은 투자가치의 효과를 극대화 시킬수 있는 기술이고 효율적 시스템 성능 관리를 위해서 필수적이다. 향후 연구로는 개발 시스템을 네트워크, 보안 및 데이터베이스 모니터링 시스템으로 확장 개발하는 것이다.

26. 실시간 항만환경 네트워크 모니터링 시스템의 개발. 서규우, 김가야, 이인
록. 2004

본 논문에서는 PCS 무선 데이터 통신을 이용한 1대 다 통신 가능, 무선 인터넷 통신을 위한 TCP/IP프로토콜 기능 내장, 시스템의 시간 동기화, 계측기와 서버와의 양방향 통신 등이 가능하도록 하여 효율적이고 경제적인 실시간 해양 관측 시스템을 구축하려고 한다. 또한 이러한 시스템을 부산 신선대에 실제로 적용하여 효율성을 확인함은 물론 획득한 실시간 해양 항만 환경자료를 인터넷에 공유하여 활용을 극대화하는데 목적이 있다. 그 결과물은 해양관련 구조물이나, 해양환경에 유용한 자료로 활용될 것이다.

27. 종방향 차량 주행 시스템의 고장 진단 및 처리 알고리즘. 문일기, 안장모,
이경수. 2004

본 논문은 고장진단과 고장처리 알고리즘을 차량주행시스템에 적용하여 차량 주행시스템의 신뢰성 및 안정성을 확보하는 것을 목적으로 하였다. 고장처리를 위해 FSM방법을 이용하여 고장 발생시 적절한 고장대처로직을 수행하는 알고리즘을 차량주행 시스템에 적용하였다. 제안된 알고리즘을 바탕으로 종방향 차량 주행 제어시스템의 신뢰성 및 안정성을 향상시킬 수 있음을 보였다.

28. 냉방기의 고장진단 시스템. 한도영, 정남철. 2005

냉방시스템의 고장 검출 및 진단 시스템의 방법과 그 적용 예를 통해 냉방시스템의 FDD 가능성을 확인하고자 한다. 고장 검출 및 진단 방법은 모델 기반 방법, 지식기반 방법, 신경망무고장모델, 이중퍼지로직을 이용. 무고장신경망모델과 이중퍼지로직알고리즘을 구성된 고장진단알고리즘을 고장모사장치에 적용하여 실험한 결과 다양한 조건에서 운전되는 냉방기의 부분고장진단에 효과적으로 적용할 수 있음을 알 수 있었다.

29. *A Windows-based design environment for combine automation via CANbus.* G. Craessaerts, K. Maertens, J. De Baerdemaeker. 2005

이 연구에서 연구 목표는 CANbus를 통해 기계 제어와 모니터링을 위한 유연한 소프트웨어 플랫폼을 개발하는 것이다. 결과적으로 제어 알고리즘은 Visual C++ 같은 통합하기 복잡한 프로그래밍 언어 대신에 유연하게 디자인하는 것이 가능하고 사용자에게 적합한 Matlab 환경이 필요하다. 앞으로 소프트웨어 틀은 표준 CANbus 시스템의 사용 제어 시스템을 위한 일반적인 분석 그리고 설계 틀로 사용될 것이다.

30. *개선된 모니터링 센서를 이용한 임베디드 모니터링 시스템의 설계 및 구현.* 신원, 김태완, 장천현. 2005

본 논문에서는 모니터링 센서에 의해 생기는 모니터링 데이터의 변질을 막기 위해 최소한의 부하만이 생성되도록 모니터링 센서의 구조를 변경하고 센서의 실행시간을 줄이기 위해 비트마스킹 기법을 사용한다. 연구 결과 임베디드 모니터링 시스템은 각종 임베디드 환경의 모든 기술에 탑재, 핵심기술로 적용될 수 있고 향후에는 이기종의 운영체제에서도 동작할 수 있도록 모니터링 라이브러리를 재구성하고 분산 환경에도 적용 가능하도록 구조의 확장이 필요하다.

31. *자동수위관측기를 이용한 농업용 저수지 모니터링 시스템.* 김진택, 박기욱, 주옥중. 2005

본 연구의 목적은 농업용 저수지의 저수위 관측을 위한 저전력 소모형 수위계측 센서와 제어기, 부대설치와 관리가 용이한 태양전원을 이용한 계측기전원장치, 무선 데이터통신 기술을 활용한 관측자료 통신장치 등으로 구성된 자동수위관측기를 개발하고, 시험지구의 적용을 시험하고, 농업용 저수지 모니터링 시스템을 구축하는 것이다. 시험적용결과 상당히 정확한 계측정도를 가지고

시설의 유지관리 및 물관리자의 활용성도 높은 것으로 판단되고 자동 수위관측기의 현장 설치의 확대가 필요한 것으로 판단된다.

32. *퍼지 알고리즘을 이용한 시스템 멀티 에어컨의 고장진단 알고리즘 개발. 최창식, 태상진, 김훈모, 조금남, 문제명, 김종엽, 권형진. 2005*

본 연구에서는 시스템 멀티 에어컨을 대상으로 냉방기에 발생할 수 있는 다양한 고장들의 복잡성과 비선형성에 대한 검출 및 진단을 효과적으로 수행할 수 있는 퍼지논리를 이용한 고장 검출 및 진단 시스템을 개발한 후, 현장에 설치된 고장 모사 실험장치를 통해 성능 실험을 수행하여 개발된 고장 검출 및 시스템의 유효성을 확인하는 것을 목적으로 한다. 그 결과 약 78~90% 정도의 정확도를 나타내었다. 향후, 다양한 실내 외 온도 조건의 데이터 추가 및 알고리즘의 수정·보완 작업을 통해 멀티 시스템 에어컨의 실시간 고장 진단이 가능할 것으로 예상된다.

33. *신경망무고장모델과 이중퍼지로지컬을 사용한 냉방기 고장진단 알고리즘. 한도영, 정남철. 2006*

본 논문에선 멀티형 냉방기의 압축기밸브누설, 응축기오염, 증발기오염, 액배관막힘, 냉매누설에 대한 고장을 진단할 수 있는 신경망무고장모델과 이중퍼지로지컬을 사용한 고장진단 알고리즘을 개발한 후 고장모사실험을 수행하여 개발된 고장진단 알고리즘의 유효성을 확인하는 것을 목적으로 한다. 그 결과 본 연구에서 개발된 무고장신경망모델과 이중퍼지로지컬 알고리즘은 다양한 조건에서 운전되는 냉방기의 부분 고장진단에 효과적으로 적용할 수 있음을 알 수 있었다.

34. 무선 센서를 이용한 환경정보 모니터링 시스템. 성창규, 류길수, 박종일, 원라경, 김태진. 2006

본 논문에서는 센서 네트워크 기술을 이용하여 여러 응용분야에 이용될 수 있는 환경탐지 시스템에 적용해보았다. 본 시스템에 모니터링 인터페이스 및 기능을 강화한다면 다양한 분야에 실용화도 가능하고 유선 환경이 힘들거나 불가능한 지역을 무선 환경의 센서 네트워크를 이용해 여러 상태정보를 실시간 모니터링하여 보다 정확한 판단의 근거를 마련한다. 그리고 정보의 흐름을 데이터베이스와 연동시킴으로써 정보 분석 및 처리를 효율적으로 수행할 수 있다. 또한 앞으로 본 시스템을 웹 기반의 온라인 환경정보 모니터링 시스템으로 발전시킬 것이다.

2.2 참고 웹사이트

□ 콤바인 회사 홈페이지

<http://www.iseki.co.jp/english/index.html>

<http://www.fotonygroup.com/type.asp?typeid=2>

http://www.chancay.com.cn/D_%20products.asp

http://www.deere.com/en_US/deerecom/usa_canada.html

<http://www.newholland.com/h4/pubs/pubs.asp?Reg=IE&RL=ENIE&NavID=00007470611>

http://www.claas.com/omaha/generator/cl-pw/us/home_lang=en_US-OMAHA.html

<http://www.laverdaworld.com/portale/website.nsf/links?Openform&Lingua=ENGLISH>

http://en.wikipedia.org/wiki/Combine_harvester

<http://www.masseyferguson.com/agco/mf/na/home.htm>

□ SAS

<http://www.oit.umd.edu/StatLab/SAS-FAQ.html>

<http://math.yorku.ca/SCS/StatResource/>

http://www.polisci.upenn.edu/index.php?option=com_content&task=view&id=11&Itemid=58

<http://www.stat.lsu.edu/>

<http://pages.infinet.net/rlevescu/>

<http://www.math.yorku.ca/SCS/sasmac/>

http://sph.bu.edu/index.php?option=com_content&task=view&id=405&Itemid=508

http://sph.bu.edu/index.php?option=com_content&task=view&id=395&Itemid=495

<http://www.biostat.harvard.edu/~ravayagar/saslog.html>

□ 신호분석

<http://www.cl.cam.ac.uk/DeptInfo/CST06/node1.html>

<http://spinlab.wpi.edu/courses/ece4703/index.html>

http://www.pe.gatech.edu/conted/servlet/edu.gatech.conted.course.ViewCourseDetails?COURSE_ID=847

<http://webfea-lb.fea.aub.edu.lb/dsaf/lab.htm>

http://www.conted.ox.ac.uk/cpd/electronics/courses/digital_signal_processing.asp

<http://ccrma.stanford.edu/~ios/mdft/>

<http://amath.colorado.edu/courses/4720/2000Spr/Labs/FA/fa1.html>

제 7 장 참고문헌

1. A. Stentz, C. Dima, C. Wellington, H. Herman, and D. Stager, 2002. "A System for Semi-Autonomous Tractor Operations." *Autonomous Robots*, Vol. 13, No. 1, pp. 87-103.
2. Asakura, T., T. Kobayashi, B. Xu and S. Hayashi, "Fault Diagnosis System for Machines Using Neural Networks." *JSME International journal, Series C*, Vol. 43 pp.364~371, 2000.
3. Berry. J. E. "How to specify machinery vibration spectral alarm bands", *Sound and Vibration*, pp. 16.
4. Bolchini, etc, 1998 "Fault analysis for networks with concurrent error detection" *IEEE Computer Society*.
5. Cho, D.H., Lee, S. T., Won, J. S. and Jung, Y.G., 2000, "Monitoring of Chatter Vibration by Frequency Analysis of AE Signals", *Trans. of KSMTE*, Vol. 9, No.5, pp. 157~164..
6. Chow. T. S. and L.T. Law, "Rotating machines fault identification using back-propagation artificial neural network", *IEE 6th International Conference on Electrical Machines and Drives*, IEE pub. no. 376, pp.412~415 Sep. 1993.
7. Craessaerts, G., Maertens, K., De Baerdemaeker, J., 2005. "A Windows-based design environment for combine automation via CANbus." *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 49, Issue 2, Pages 233-245.
8. Drake V.A., Wang H.K., Harman I.T., 2002. "Insect monitoring radar: remote and network operation." *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 35, Number 2,

pp. 77-94(18).

9. Erik L., J. Bohez, 1997. "Expert system for diagnosing computer numerically controlled machines: a case-study." *Computers in Industry*, Volume 32, Issue 3, pp.233-248.
10. Filippetti. F. and G. Franceschini, etc, "An approach to a knowledge representation about induction machine diagnostics in expert systems", *Proceedings of the International Conference on Electric Machines*, vol.3, pp. 289~296, Sep. 1998.
11. Huang Xiao-Guang, etc 2003, "Gas turbine fault diagnosis based on the BP algorithm."
12. Ian Sommerville, 2001, *Software Engineering 6th Edition*, Addison Wesley, 42-70; 283-326.
13. Jensen A.L., Boll P.S., Thyssen I., Pathak B.K., 2000. "a web-based system for personalised decision support in crop management.", *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 25, Number 3, pp. 271-293(23).
14. 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).
15. Kaszkurewicz E., Bhaya A., Ebecken N.F.F., 1997, "A Fault Detection and Diagnosis Module for Oil Production Plants in Offshore Platforms" *Expert Systems with Applications*, Volume 12, Number 2, pp. 189-194(6).

16. Kuncheva L.I., Steimann F., Sun C.K., Chan C.W., Tontiwachwuthikul P., 1999. "Intelligent diagnostic system for a solar heating system." *Expert Systems with Applications*, Volume 16, Number 2, pp. 157-171(15).
17. Li, Li, Qu, Liangsheng, Liao, Xianghui, 2007. "Haar wavelet for machine fault diagnosis." *Mechanical Systems and Signal Processing*, Volume 21, Issue 4, pp. 1773-1786.
18. 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, No. 1, pp. 135-148.
19. Mizuno, M., Neilsen, M., Wang Ning, Zhang, N. Q., Wei, J. T., Lenhart, D., 2005, "Use of the smart transducer concept and IEEE 1451 standards in system integration for precision agriculture." *Computers and Electronics in Agriculture*, 2005 (Vol. 48) (No. 3) 245-255.
20. N.H. Afgan, M.G.Carvalho, P.A.Pilavachi, A.Tourlidakis, G.G.Olkhonski and N.Martins, 2006. "An expert system concept for diagnosis and monitoring of gas turbine combustion chambers." *Applied Thermal Engineering* Volume 26, Issue 7, May 2006, Pages 766-771.
21. Noguchi, R, E. Inoue, O. Kinoshita and J. Sakai. 1993. "Vibration Analysis of the Forced Vibration Experiment for the Riding Tractors." *J. Fac. Agr. Kyushu Univ.* 38(1, 2), pp.127~136.
22. 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).

23. Piette M.A., Kinney S.K., Haves P. 2001. "Analysis of an information monitoring and diagnostic system to improve building operations." *Energy and Buildings*, Volume 33, Number 8, pp. 783-791(9).

24. Prabhakar, S., A. R. Mohanty, and A. S. Sekhar. 2002. "Application of discrete wavelet transform for detection of ball bearing race faults." *Tribology International* 35(12): 793-800.

25. Read, J. J., Willers, J. L., Jenkins, J. N., McKinion, J. M., Turner, S. B., McDade, J., 2004, "Wireless technology and satellite internet access for high-speed whole-farm connectivity in precision agriculture." *Agricultural Systems*, 2004 (Vol. 81) (No. 3) 201-212.

26. 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.

27. 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)

28. Staszewski. W. J. 1998. "Wavelet based compression and feature selection for vibration analysis." *Journal of Sound and Vibration* 211(5): 735-760.

29. Staszewski. W. J. and G. R. Tomlinson, 1994, "Application of the Wavelet Transform to Fault Detection in a Spur Gear," *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 8, No. 3, pp. 289-307.

30. Tariq Samada, Paul McLaughlinb, and Joseph Luc, 2007, "System architecture for process automation: Review and trends." Journal of Process Control Volume 17, Issue 3, Pages 191-201.
31. V. Mathiyalagana, S. Grunwaldb, K.R. Reddyb and S.A. Bloomb, 2004, "A WebGIS and geodatabase for Florida's wetlands." Computers and Electronics in Agriculture Volume 47, Issue 1, Pages 69-75.
32. Wang. W. J. 2001. "Wavelets for detecting mechanical faults with high sensitivity." Mechanical Systems and Signal Processing 15(4): 685-696.
33. Wenji Wu, Matt Crawford, Mark Bowden, 2007, "The performance analysis of linux networking - Packet receiving." Volume 30, Issue 5, Pages: 1044-1057.
34. Yi, J. and K. U. Kim. "Investigation of transmission characteristics of tractor seat vibration using vibration path analysis method". Journal of the KSAM 26(3) 237~244, 2001
35. You Chung Chung, Olsen, S.L., Wojcik, L., Zhen Song, Chenghong He, Adamson, S., 2001, "Wireless safety personnel radio device for collision avoidancesystem of autonomous vehicles." Antennas and Propagation Society International Symposium, 2001. IEEE Volume: 3, pp.121-124.
36. Zang, C. and M. Imregun, "Structural Damage Detection Using Artificial Neural Networks and Measured FRF Data Reduced via Principal Component Projection", Journal of Sound and Vibration, Vol. 242, pp. 813~827, 2001

37. 고영배, 이재식, 1994, 인공신경망을 이용한 고장진단 시스템의 개발, KESS 추계 학술대회 논문집.
38. 김광만, 이재원, 1995, 자동차산업의 프레스고장진단 전문가시스템의 개발, 한국자동차공학회 춘계학술대회.
39. 김상철 외 4명, 2001, 로드셀을 이용한 고속 감자 중량계량법.
40. 김성박, 송지훈, 1999, 자바 I/O & NIO 네트워크 프로그래밍.
41. 김용준, 김경욱, 2001, 농업용 트랙터의 과도 진동 분석, 한국농업기계학회지 제26권 제6호 pp.509~516.
42. 남진석, 2003, 진동신호를 이용한 회전기계의 고장진단. 군산대학교 석사학위논문.
43. 남진숙, 2003, 진동신호를 이용한 회전기계의 고장진단. 군산대학교 석사학위 논문.
44. 농업기계연감 2001-2002, 2001, 한국농업기계학회, 9-15.
45. 도기상, 장군호, 김병우, 1994, 복잡한 구조물의 고장진단을 위한 사례 기반 전문가시스템, 한국자동제어학술회의 논문집.
46. 문일기, 안장모, 이경수, 2004, 중방향 차량 주행 시스템의 고장 진단 및 처리 알고리즘, Transaction of KSAE, Vol. 12, No. 1, pp.215~221.
47. 민정탁, 2004, 크레인 와이어로프의 원격 결합 탐지 시스템 설계에 관한 연구. 동아대학교 석사학위.

48. 박순재, 이신영, 2003, 작동음의 분석을 이용한 펌프의 고장진단, 한국공작기계학회논문집 Vol.12 No.6.
49. 박세준, 강병복, 윤정필, 윤필현, 임중열, 차인수, 2003, Web을 이용한 태양광발전시스템의 모니터링기술, 전력전자학술대회 논문집.
50. 박영문, 최명성, 김광원, 현승호, 1996, 변전설비 고장진단 전문가 시스템, 조명·전기설비학회지 제 10권 제 1호, 46~55쪽.
51. 박주식, 강경식, 2001, 퍼지 FTA를 이용한 설비고장진단 시스템.
52. 박진우. 2002, 콤바인 예취날의 피로수명 평가. 창원대학교 석사학위 논문.
53. 방승현, 1995, 자동차 부품 고장 진단 전문가 시스템 개발에 관한 연구. 한양대학교 석사학위.
54. 배범원, 최연선, 2000, 진동신호를 이용한 기어체인의 고장진단, 대한기계학회 논문집 A 제24권 7호, pp. 1731~1739.
55. 배용환, 1998, 지능형 고장 진단 시스템 개발.
56. 서종찬, 2002. 유도전동기의 고장진단을 위한 진동 및 전류 신호 해석.
57. 성장규, 류길수, 박종일, 원라경, 김태진, 2006, 무선 센서를 이용한 환경정보 모니터링 시스템, 한국마린엔지니어링학회 전기학술대회 논문집.
58. 송명현, 1998, 등 전류 측정에 의한 전동기 고장진단.

59. 신원, 김태완, 장천현, 2005, 개선된 모니터링 센서를 이용한 임베디드 모니터링 시스템의 설계 및 구현, 한국컴퓨터종합학술대회 2005 논문집 Vol. 32, No. 1.
60. 신준, 이태연, 2003, 지능진단기법에 의한 원심펌프의 고장진단에 관한 연구, 한국공작기계학회논문집 Vol.12 No4.
61. 안찬우 외 4명, 2002, 터보팬의 진동특성에 관한 연구.
62. 양훈철, 조성환, 태춘섭, 이충국, 2004, 그린빌딩을 이용한 고장검출 및 진단 알고리즘의 연구, 대한설비공학회 2004 동계학술발표대회 논문집 pp.294~299.
63. 오진석, 김연형, 곽준호, 이종호, 최훈석, 김종도, 2006, 해상 가두리 양식장 다중 모니터링 시스템에 대한 연구, 한국마린엔지니어링학회 후기학술대회 논문집.
64. 이기욱, 성창규, 2006, 유비쿼터스 센서 네트워크 기반의 상황 정보 모니터링 시스템 구현, 한국컴퓨터정보학회논문지, 제11권5호, pp.259~265.
65. 이신영, 2002, 소음의 주파수분석을 이용한 펌프의 고장 진단, 공업기술연구논문집.
66. 이준택, 조수현, 신동현, 김영학, 2003, 임베디드 시스템을 이용한 양어장 모니터링 시스템의 설계 및 구현, 한국콘텐츠학회논문지 Vol.3, No.1.
67. 이중순, 손일문, 윤수환, 2006, 전자동 자동차 에어컨의 냉매 상태 확인을 통한 고장 예측 모니터링, 한국자동차공학회 2006년도 추계학술대회 논문집, pp.661~667.
68. 2006 농업기계 보유현황, 2006, 농림부, 31000-51137-26-33, 6-9.
69. 2005 농업공학 시범연구사업연보, 2005, 농업공학연구소, 76.

70. 이홍주, 김홍윤, 홍중호, 이성범, 1995, 콤바인 예취장치의 절단특성에 관한 연구 (Ⅱ) (2배형 2중형 칼날의 절단특성) 한국농업기계학회지 제1호 pp.13~21.
71. 임환조, 김성동, 1995, 회전체 고장과 진동신호의 정량적 상관관계에 관한 실험적 분석, K.N.U.T RESEARCH JOURNAL. Vol.16 No.7.
72. 정창주, 이성범, 인효석, 1995, 콤바인 예취장치의 절단특성에 관한 연구 (Ⅰ) (절단현상 및 표준형 칼날의 절단특성) 한국농업기계학회지 제20권 제1호 pp.3~12.
73. 조운수, 2002, 전동드릴의 진동신호 분석을 이용한 고장진단.
74. 최승영, 김선호, 1994, 크레인의 전기고장 진단 시스템 개발, 한국경영과학회 학술대회자료.
75. 최영우, 2003, 고장력 볼트의 피로수명평가에 관한 기초적 연구.
76. 최우영. 2004, 콤바인 예취날의 구조가 벚짚절단저항에 미치는 영향. 경북대학교 석사학위 논문.
77. 최원갑, 정경권, 배상민, 박형무, 김건욱, 2005, 무선 센서네트워크를 이용한 지능형 건물 환경 모니터링, 정보통신 설비학회 하계 학술대회자료.
78. 최재영, 이채영, 1991, 근거리 통신망 고장진단 전문가시스템, Journal of Korean OR/MS Society. Vol.16 No.1.
79. 최중섭, 2001, 스펙트럼 해석에 의한 자탈형 콤바인의 진동 특성 고찰, 한국농업기계학회지 제 26권 제1호 pp. 11~20.

80. 최창식, 태상진, 김훈모, 조금남, 문제명, 김종엽, 권형진, 2005, 퍼지 알고리즘을 이용한 시스템 멀티 에어컨의 고장진단 알고리즘 개발, 대한기계학회논문집 B권, 제29권 제11호, pp. 1220~1228.
81. 최창현, 김용주, 남은혜, 문정환, 2007, 콤팩트의 예취부의 고장진단을 위한 제측 신호 분석, 한국농업기계학회지 2007년 동계 학술대회 논문집, 12(1):387-392.
82. 한국소비자보호원. 2002, 농기계 사후실태조사.
83. 한도영, 정남철, 2005, 냉방기의 고장진단 시스템, 대한설비공학회 학술대회, pp. 51~60.
84. LG 전선. 1993, 콤팩트 주요기능부 진단 및 조치.

제 8 장 참고자료

제 1 절 <참고 1>

1.1 임베디드 어플리케이션 - RS-232 컨트롤 부

```
#ifndef BZKSERIALCONTROL_CPP
#define BZKSERIALCONTROL_CPP

#define BUFFERSIZE 1024

#include "BzkSerialControl.h"

int VAR_PORTINFORM; // PortInformation (fd)
int VAR_BAUDRATE; // BaudRate
char* VAR_PORTNUMBER; // PortNumber (Init : ttyS1)
char VAR_BUFFER[BUFFERSIZE]; // Buffer

struct termios oldtio, newtio; // RS232 IO Set

BzkSerialControl::BzkSerialControl() // Constructor
{
    init(115200, "/dev/ttyS1"); // Init Set, BaudRate:115200,
    PortNumber:ttyS1
}

BzkSerialControl::BzkSerialControl(int baudRate, char* portNumber) // Constructor
{
    init(baudRate, portNumber);
}

BzkSerialControl::~BzkSerialControl() // Deconstructor
```

```

{
}

void BzkSerialControl::init(int bRate, char* pNumber);

int BzkSerialControl::openPort();

int BzkSerialControl::writeMessage(char* message)
{
    int tempReturn;

    tempReturn = sendData(message);           // call sendData()

    return tempReturn;
}

char* BzkSerialControl::readMessage()
{
    return recvData();                       // call recvData()
}

int BzkSerialControl::sendData(char* message)
{
    int tempReturn;

    //printf("BzkSerialControl::sendData()\tStart to Send Data.\n");
    //printf("BzkSerialControl::sendData()\tDATA : %s\n", message);
    // Write Messages, (Size : Length of message)
    tempReturn = ::write(VAR_PORTINFORM, message, strlen(message));
    //printf("BzkSerialControl::sendData()\tSend    Finished.    (%d    Characters)\n",
tempReturn);
}

```

```

        return tempReturn;
    }

char* BzkSerialControl::recvData()
{
    int tempReturn;

    memset(VAR_BUFFER,0,BUFFERSIZE);

    //printf("BzkSerialControl::recvData()\tStart to Receive Data.\n");
    // Read Messages, (Size : Buffer Size)
    tempReturn = ::read(VAR_PORTINFORM, VAR_BUFFER, BUFFERSIZE);
    printf("BzkSerialControl::recvData()\tRecv    Finished.    (%d    Characters)\n",
tempReturn);
    //printf("BzkSerialControl::recvData()\tDATA : %s\n",VAR_BUFFER);

    //VAR_BUFFER[tempReturn] = 0;

    return VAR_BUFFER;
}

int BzkSerialControl::closePort()           //close Port
{
    int tempReturn;

    tempReturn = ::close(VAR_PORTINFORM);
}

```



```

        return tempReturn;
    }

#endif

```

1.2 임베디드 어플리케이션 - 무선랜 컨트롤 부

```

void MainWgtImpl::WlanInit()
{
    QT_SOCKET = new QSocket(this);
    QObject::connect(QT_SOCKET,          SIGNAL(connected()),          this,
SLOT(slotConnectedSocket()));
    QObject::connect(QT_SOCKET,          SIGNAL(connectionClosed()),    this,
SLOT(slotDisconnectedSocket()));
    QObject::connect(QT_SOCKET,          SIGNAL(error(int)),              this,
SLOT(slotErrorSocket(int)));
    QObject::connect(QT_SOCKET,          SIGNAL(readyRead()),             this,
SLOT(slotReadSocket()));

    QT_SOCKET->connectToHost("220.149.164.70", 7903);

    if(QT_SOCKET->state()==QSocket::Connected)
    {
        QTextStream stream(QT_SOCKET);
        stream << "MIS|0104|READ|" << endl;
    }
}

```

```

    }
else
    {}
}

```

1.3 임베디드 어플리케이션 - 프로토콜 해석 부

```

void MainWgtImpl::rawDataToMyData(char* rs232Data, RAWDATASET* myDataSet)
{
    QString    inputString(rs232Data);
    QString    tempString;

    SIGNALCOUNT += 1;

    tempString                = inputString.section(":",13,13);

    if(tempString.compare("**") == 0)
    {
        tempString                = inputString.section(":",0,0);
        myDataSet->num              = tempString.toInt();
        tempString                = inputString.section(":",1,1);
        myDataSet->ID              = (char*)tempString.data();
        tempString                = inputString.section(":",2,2);
        myDataSet->power           = tempString.toInt();
        tempString                = inputString.section(":",3,3);
        myDataSet->engineRPM      = tempString.toInt();
        tempString                = inputString.section(":",4,4);
        myDataSet->speed          = tempString.toDouble();
    }
}

```

```

tempString = inputString.section(":",5,5);
myDataSet->oilTemp = tempString.toDouble();
tempString = inputString.section(":",6,6);
myDataSet->missionRPM = tempString.toInt();
tempString = inputString.section(":",7,7);
myDataSet->steering = tempString.toInt();
tempString = inputString.section(":",8,8);
myDataSet->cart = tempString.toInt();
tempString = inputString.section(":",9,9);
myDataSet->reaperRPM = tempString.toInt();
tempString = inputString.section(":",10,10);
myDataSet->reaperPosition = tempString.toInt();
tempString = inputString.section(":",11,11);
myDataSet->reaperBlade = tempString.toDouble();
tempString = inputString.section(":",12,12);
myDataSet->bladeStatus = tempString.toDouble();
}

```

1.4 서버 어플리케이션 - Accept(접속허가) 모듈

```

package org.bizak.fiducia.pool.selector.handler;

import java.io.IOException;
import java.net.InetSocketAddress;
import java.net.InetAddress;

import java.nio.channels.SelectionKey;
import java.nio.channels.Selector;

```

```

import java.nio.channels.SocketChannel;
import java.nio.channels.ServerSocketChannel;

import java.util.HashMap;
import java.util.Iterator;
import java.util.Map;

import org.bizak.fiducia.bean.Order;
import org.bizak.fiducia.env.QueueEvent;
import org.bizak.fiducia.env.SettingValue;
import org.bizak.fiducia.queue.ConnectionQueue;
import org.bizak.fiducia.queue.OrderQueue;

public class AcceptHandler extends Thread
{
    private OrderQueue          eventQueue      = null;
    private ConnectionQueue memberQueue      = null;

    private Selector            selector= null;
    private ServerSocketChannel server = null;
    private InetAddress         host      = null;

    private int                 port      =
SettingValue._SERVER_PORT_;
    private String              name      = "AcceptHandler-";

    public AcceptHandler(OrderQueue eventQueue, ConnectionQueue
memberQueue, Selector selector, int port, int index)

```

```

    {
        this.eventQueue = eventQueue;
        this.memberQueue = memberQueue;
        this.selector = selector;
        this.port = port;
        setName(name+index);
        init();
    }

    private void init()
    {
        try
        {
            server = ServerSocketChannel.open();
            // non-blocking mode
            server.configureBlocking(false);
            host = InetAddress.getLocalHost();

            InetAddress address = new InetAddress(host,
port);

            server.socket().bind(address);
            System.out.println("[AcceptHandler Class::init()] (" +
getName() + ") Bound to " + address);

            server.register(this.selector, SelectionKey.OP_ACCEPT);
        }
        catch(IOException e)
        {
            System.out.println("[AcceptHandler Class::init()] ERROR");
        }
    }

```

```

        e.printStackTrace();
    }
}

public void run()
{
    while(!Thread.currentThread().isInterrupted())
    {
        try
        {
            int ReadyKey = selector.select();
            acceptPendingConnections();
        }
        catch(Exception e)
        {
            System.out.println("[AcceptHandler Class::run()]
ERROR");

            e.printStackTrace();
        }
    }
}

private void pushTask(SocketChannel sc)
{
    Map session = new HashMap();
    session.put("SocketChannel", sc);
    Order order = new Order(QueueEvent._ACCEPT_EVENT_,
session);

    eventQueue.push(order);
}

```