

# 다채널 진동 센서를 이용한 선박 엔진의 진동 감지 및 고장 분류 시스템

이 양 민<sup>†</sup> · 이 광 용<sup>\*\*</sup> · 배 승 현<sup>\*\*</sup> · 장 휘<sup>\*\*\*</sup> · 이재 기<sup>\*\*\*\*</sup>

## 요 약

진동 정보를 통해 기계 설비의 상태나 고장 유무를 판단하는 연구들이 다수 진행 중에 있는데, 대부분의 연구에서는 설비에 대한 진동을 모니터링하거나 고장 유무를 판별하여 사용자에게 알리는 수준이다. 본 논문에서는 진동에 의한 고장 진단과 판별을 보다 정교하게 수행하는 선박 엔진의 고장 감지 기법과 시스템을 제안하였다. 일차적으로 이중적 진동 정보 판별 기법을 적용하여 진동 정보를 확인한 다음에 고장 유무를 검사한다. 만일 고장이 발생한 경우에는 진동 정보의 오류 부분만을 이용하여 고장 진동 파형에 대한 오차 범위를 기준으로 어떤 유형의 고장인지를 판별할 수 있는 기법을 적용하였다. 또한 선박의 진동 경향 분석과 엔진 안전 보존을 목적으로 진동 정보를 데이터베이스에 저장하고 추적할 수 있도록 시스템을 구현하였다. 제안 시스템을 선박 엔진의 고장 판별 유무와 고장 진동 파형 감별 인자에 대해 실험을 수행한 결과 고장 유무 판별은 약 100% 정확성을 가졌고 고장 진동 파형의 유형 인식에서는 약 96% 정확성을 가졌다.

키워드 : 이중 판별, 선박 엔진, 진동 파형, 진동 감지, 고장 진단

## Defect Detection and Defect Classification System for Ship Engine using Multi-Channel Vibration Sensor

Yang Min Lee<sup>†</sup> · Kwang Young Lee<sup>\*\*</sup> · Seung Hyun Bae<sup>\*\*</sup> · Hwi Jang<sup>\*\*\*</sup> · Jae Kee Lee<sup>\*\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

There has been some research in the equipment defect detection based on vibration information. Most research of them is based on vibration monitoring to determine the equipment defect or not. In this paper, we introduce more accurate system for engine defect detection based on vibration information and we focus on detection of engine defect for boat and system control. First, it uses the duplicated-checking method for vibration information to determine the engine defect or not. If there is a defect happened, we use the method using error part of vibration information basis with error range to determine which kind of error is happened. On the other hand, we use the engine trend analysis and standard of safety engine to implement the vibration information database. Our simulation results show that the probability of engine defect determination is 100% and the probability of engine defect classification and detection is 96%.

Keywords : Duplicated Checking, Engine of Ship, Vibration Wave, Vibration Detection, Defect Diagnosis

## 1. 서 론

전통적으로 삼면이 바다이면서 무역이 중심인 한국은 해상을 활용한 물류 유통이나 해양 자원의 개발이 국가 경쟁력의 중심을 차지하고 있다. 특히 조업이든 물류 유통이든

선박의 안정 항해가 확보되어야 하는 것은 필수적인 요소이다. 선박이 항해 도중 엔진 기관의 고장을 일으킬 경우 인명 피해, 선박의 난파나 해양 오염과 같은 경제적 손실까지 발생하는 경우가 있다. 따라서 선박 엔진 기관을 항상 모니터링하고 고장 발생 이전에 대처할 수 있는 기술 개발이 필요한 상황이다.

근래에는 진동 정보와 소음 정보 등을 종합하여 선박 엔진이나 산업 설비 기계의 고장에 미리 대처하고 선박 및 산업 설비의 최대 가동률을 확보하고 고장에 적극 대처할 수 있는 기법들에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 고가의 선박 엔진이나 설비 등에는 각 장비의 모니터링 프로그램과 하드웨어 구성이 포함되어 출시되는 경우가 많지만 문제

\* 본 논문은 (재)부산정보산업진흥원의 지역SW특화육성지원사업(과제명 "진동감지에 의한 선박엔진 진단 시스템 개발")의 지원으로 작성 되었음.

† 정 회 원 : 동아대학교 컴퓨터공학과 공학박사

\*\* 준 회 원 : 동아대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사과정

\*\*\* 정 회 원 : 주식회사 사우스퍼시픽 기후변화·그린IT 본부장 상무이사

\*\*\*\* 정 회 원 : 동아대학교 컴퓨터공학 교수

논문접수: 2009년 12월 29일

수정일: 1차 2010년 3월 8일

심사완료: 2010년 3월 8일

되는 부분은 중소형 선박용 엔진 모니터링 프로그램이나 시스템은 거의 탑재되지 않고 있다는 점이다. 다시 말하면 다수의 선박이 엔진 이상 유무를 판단할 수 있는 시스템을 탑재한 선박은 거의 전무하다. 단순하게 고장인지 아닌지의 판별과 엔진 자체의 고장을 판단하는 시스템은 개발되어 있으나 고장의 전조 증상을 미리 판단한다든지 인공 지능적으로 고장 확률, 부품의 교체 시기 등을 알려줄 수 있는 시스템은 발견하기 힘들다[1-4].

본 논문에서는 중소형 선박 엔진을 목표로 하여 저렴한 비용으로서 엔진 설비의 모니터링과 고장 가능성을 미리 감지하고 고장의 종류도 구분할 수 있는 기법을 포함한 선박 엔진 고장 분류 및 고장 감지 시스템을 제안하고자 한다. 기본적으로 적용하는 기법은 선박 엔진이나 엔진의 특정 부품별로 고유 진동 주파수를 저장하고 고장이 발생하였을 경우에 나타나는 실측 파형과 비교하여 고장을 감지하는 것이다. 특히 엔진 고유 진동 주파수를 기준으로 하고 다수의 진동 센서를 활용하여 다채널로부터 획득되는 현재의 엔진 진동 주파수를 비교한 후 엔진 고장 유무, 고장 유형을 판단할 수 있도록 한다.

엔진의 사이클 당 측정되는 데이터들을 10회 누적하여 평균화하고 이를 엔진 고유 진동 주파수와 1차 비교하며 선급 규정으로 나와 있는 국제 표준인 진동 허용 범위와 2차 비교를 통해서 고장 유무를 판별한다. 그리고 엔진의 회전수(RPM)별 진동 주파수가 다르다는 점을 활용하여 각 회전수별로 트리형태로 진동 정보를 저장할 수 있는 자료 구조를 활용하여 패턴 매칭을 빠르게 수행되도록 하였다.

그리고 각각의 고유 진동 주파수 및 고장 진동 주파수가 데이터베이스로 축적이 되면 이를 활용하여 고장의 유형까지도 판별할 수 있도록 한다. 진동 파형에서 두 지점 사이에 나타나는 기울기와 거리를 활용하고, 특정 부분에서는 순간 기울기를 구하는 미분값을 활용하여 고장 파형에 대한 유사도 및 판별이 가능한 기법을 적용하였다.

이를 통해 최종적으로는 고장 이후의 사후 대책을 수립하는 것이 아닌 엔진의 사전 보전을 할 수 있도록 고장 발생 가능성 등을 출력하여 선주가 엔진의 수리, 교체 등의 의사 결정을 내릴 수 있는 시스템을 구현하는 것이다. 이것이 가능해지면 대형 선박뿐만 아니라 중소형 선박도 경제적인 가격에 엔진 상태 모니터링은 물론 고장 감지, 고장 유형 판별이 가능한 시스템을 탑재할 수 있게 된다. 그리고 대부분의 선박들에 있어 해상에서의 운항 안전을 보장하는데 큰 도움을 줄 수 있고 결론적으로는 국가의 경쟁력 증가에 일조할 수 있을 것으로 사료된다.

논문의 구성은 1장에서 서론을, 2장에서 현재 진행되고 있는 관련 연구 및 논문 등을 간략하게 기술하였다. 3장에서는 제안 시스템과 본 시스템에 적용된 기법들을 상세히 기술하였고, 4장에서는 엔진 고장 유무와 고장 유형을 판별하는 실험을 통해서 그 정확도에 대한 검증 결과를 나타내었다. 그리고 5장에서는 결론과 향후 연구 과제를 끝으로 논문을 맺는다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 패턴 인식 기법과 이를 이용한 고장 감지 기법[2, 5-8]

일반적으로 패턴 인식 기법은 입력되는 데이터와 기존의 데이터가 특정 유사도나 일정한 형태의 규칙을 가지고 있는지를 비교하는 기법이다. 이후 패턴 인식 기법은 더욱 발전하여 공학의 여러 분야에서 활용되고 있는데 본 논문에서는 패턴 인식 기법을 엔진 등에 부착된 센서로부터 전달되는 신호를 분석한 후 이를 이용하여 고장을 진단하는 기법으로 활용하였다. 이런 패턴 인식 기법 중에서 입력되는 신호를 분석하는 기법은 크게 통계적 방법과 신경망을 이용하는 방법으로 구분할 수 있다. 신경망은 비교적 근래에 연구되어지고 있는 기법이다. 통계적 방식은 다시 모수적인 방법과 비모수적인 방법으로 나눌 수 있다. 각 회전체 상태에 대한 확률밀도함수를 정확히 계산할 수 있다면 모수적 방법을 사용하여 최적 분류 결과를 획득할 수 있다. 만약 확률밀도함수의 정확한 계산이 불가능한 경우에는 비모수적인 방법을 사용하면 된다. 통계적인 기법을 이용하는 것이 현재 패턴 인식에서 가장 많이 사용되고 있는 기법이다. 사용 예로는 실제 엔진 진동에 관한 여러 가지 데이터를 축적하여 두고, 현재 엔진으로부터 실측 되는 정보와 기존의 데이터베이스의 진동 정보를 비교하여 확률적으로 정상치에서 어느 정도 벗어났는지를 판별하는 형태로 사용할 수 있다. 이때 적용할 수 있는 주요 알고리즘으로서 FFT가 있는데 수학적 기반 하여 아날로그 신호를 정량적으로 고속 변환을 시켜주는 기법이다. 정량화된 신호를 이용해서 정상 파형과 비정상 파형을 분리하고 이로부터 확실적인 고장을 감지할 수 있다.

### 2.2 진동 데이터를 활용하여 고장 진단에 활용하는 연구 사례

진동 데이터를 활용하여 고장 진단이나 산업 등에 활용하는 여러 논문을 분석해본 결과 진동 데이터 분석을 위한 기법 중심의 논문들이 한 가지 주류를 이루고 있고, 진동 데이터 분석은 이루어진 것으로 가정하고 사용이 편리한 시스템을 구축하기 위한 기법을 중심으로 한 논문으로 크게 분류할 수 있었다.

진동 데이터 분석을 중심으로 하는 기법은 FFT를 중심으로 해서 여러 가지 확률적인 방법들을 적용하는 연구들이 주류를 이루고 있는데, FFT와 데이터베이스를 활용한 진동 정보의 수치적 비교에 연구 중심을 맞추고 있다. 그리고 진동 데이터를 활용하는 하나의 시스템이 자동으로 고장 진단을 내리거나 의사 결정을 내리기 위해서 신경망 기법을 활용하는 논문들도 있다[4]. 또한 단순히 고장 진단만을 하는 것이 아닌 설비의 예지 보전을 위한 논문도 연구되고 있다[2].

진동 데이터의 분석 중심이 아닌 활용이 주요 목적인 논문은 주로 시스템을 간략하게 구성하는 기법과 시스템이 획득한 정보를 전달하는 방법론에 관한 논문들이 다수 존재하였다. 예로서 회전 기계 상태 모니터링을 위한 무선 계측 시스템 개발과 같은 논문의 경우[9] 진동 수집 장비를 설치

하기 어려운 환경에서의 무선 통신을 중심으로 시스템 개발 방식을 기술하고 있고, 선박의 진동 계측 프로그램 개발에 관한 연구[1] 또한 전체 진동 모니터링 시스템 구축을 위해 필요한 모듈과 인터페이스 위주로 기술하고 있다. 또한 인터넷 기반의 설비 모니터링 및 제어 시스템 개발과 같은 논문은[10, 11] 진동 계측의 결과가 웹 브라우저와 인터넷 상에서 전달되는 형태에 연구의 중심을 맞추고 있다. 그리고 축적된 진동 데이터를 고속으로 탐색하여 비교하고 찾아내는 기법에 대한 논문도 다수 존재하는데 이것은 진동을 이용한 고장 진단 시스템에 있어 실시간 판단이 요구될 경우 필수적인 기법이다[12].

### 3. 진동 감지를 위한 제안 기법

#### 3.1 시스템 구성

진동 데이터를 통한 고장 감지 기법을 적용하기 위해서 본 논문에서 제안하는 시스템 구성은 일반적인 진동 모니터링 시스템이나 고장 관리 시스템의 기본적인 형태를 그대로 따르고 있다. 크게 하드웨어 구성과 소프트웨어 구성으로 나누어지며, 하드웨어의 경우에는 복수의 채널(4채널)을 사용하는 진동 감지 장치, 진동 정보 수집 장치 그리고 이 진동 정보를 분석하고 저장하고 출력할 수 있는 컴퓨터(워크스테이션)로 구성되어 있다. 소프트웨어의 경우 센서로부터 컴퓨터로 전달된 진동 정보를 처리, 분석, 저장, 출력할 수 있는 모듈들로 구성되어 있는데 각 채널을 독립적으로 다뤄 화면에 표시하고 고장 진동에 대한 패턴 매칭과 분석을 수행할 수 있다. 또한 화면에 각 채널별 진동 정보를 그래프화하여 표시할 수 있는 기능과 기준 엔진 진동정보를 도출하기 위해 산술 평균화할 수 있는 모듈도 탑재되어 있다.

#### 3.1.1 시스템의 논리적·물리적 구성

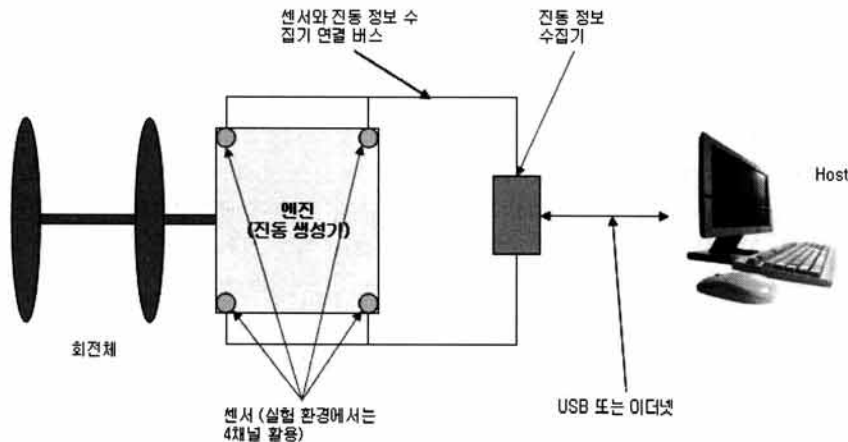
본 논문에서 제안하는 시스템의 구성은 (그림 1)과 (그림 2)와 같다. (그림 1)에서 물리적 구성을 확인할 수 있으며,

(그림 2)는 논리적 구성을 표시하였다. 제안 시스템의 경우 엔진 자체의 진동을 직접 수집하도록 하기 위해 엔진에 다수(실험에서는 4개)의 센서를 부착한다. 센서의 부착 방법은 엔진에 직접적인 구멍 등을 내는 것 등은 위험성 및 비용이 많이 소모되기에 자석을 활용하여 부착될 수 있도록 하드웨어를 제작하였다. 센서의 부착 위치는 X, Y, Z 축 방향의 진동을 전부 감지할 수 있도록 하였으며, 이를 통해서 진동 데이터의 입력과 관련된 오차를 최소화할 수 있다. 센서로부터 수집되는 진동 정보는 진동 정보 수집기로 전송되고 수집기에서 FFT 변환을 거쳐 각 진동 정보는 1차적으로 정량화된 수치로 변환된다. 그리고 수집된 정보는 FFT 변환 후 즉시 이를 처리할 컴퓨터로 전달되는데 지금은 이더넷이나 USB를 통해서 연결될 수 있도록 구성하였다.

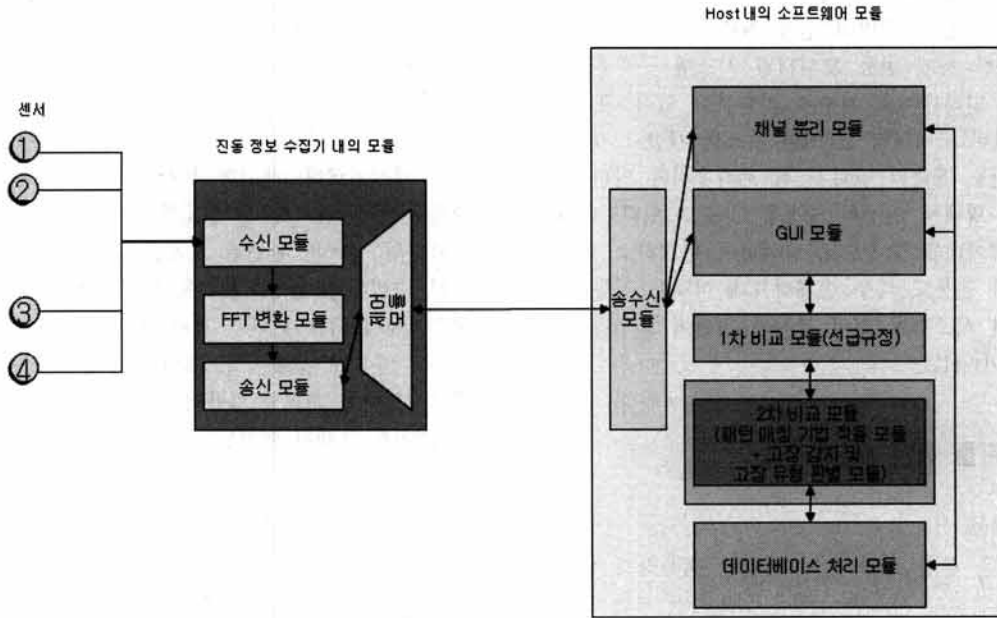
#### 3.1.2 각 구성 모듈과 기능

기능에 의해서 논리적으로 구분된 모듈들을 (그림 2)에 나타내었다. 논리적 구성에 따른 기능을 구분 해보면 진동 정보 수집기에 4개의 모듈이 포함되어 있고 호스트 내의 소프트웨어에 6개의 모듈이 포함되어 있다.

수집기에 포함된 모듈은 진동 정보 수신 모듈, 진동 정보 송신 모듈, FFT 변환 모듈, 제어 모듈이다. 진동 정보 수신 모듈은 진동 감지 센서로부터의 정보를 채널별로 동시에 수신하고 임시적으로 저장하는 역할을 한다. FFT 변환 모듈은 수신 모듈이 입력 받은 아날로그 진동 정보를 정량화 시키는 역할을 한 후 변경된 데이터를 진동 정보 송신 모듈로 전달한다. 진동 정보 송신 모듈은 입력된 진동 데이터를 호스트가 사용하는 프로토콜 유형의 패키지로 변환하여 호스트로 전달한다. 제어 모듈은 다른 모듈들에 대한 일반적인 제어 기능을 가지며, 진동 정보를 계속 수집할 것인지 일시 정지할 것인지 또는 현재 저장된 정보들을 폐기할 것인지를 호스트 내의 소프트웨어와 연계를 통해서 결정한다. 수집기의 모듈은 하드웨어로 구현되어 있기 때문에 처리 속도가 빠르며, 필요한 경우 입출력 포트 및 센서 채널은 확장 가능하도록 구현하였다.



(그림 1) 시스템 물리적 구성도



(그림 2) 시스템의 논리적 구성도

소프트웨어에 포함된 모듈은 송수신 모듈, 채널 분리 모듈, 1차 비교 모듈, 2차 비교 모듈, 데이터베이스 처리 모듈, GUI 모듈로 구성된다. 송수신 모듈은 진동 정보 수집기의 진동 정보 송신 모듈 및 제어 모듈과 통신을 수행하여 진동 정보를 수집하고 소프트웨어에서 결정한 명령을 진동 정보 수집기로 전달하는 통신전용 모듈이다. 채널 분리 모듈은 다채널로부터 신호가 동시에 수집되어 들어오기 때문에 진동 정보를 실시간으로 처리하기 위해서 각 채널별로 정보를 분리하는데 사용된다. 1차 비교 모듈은 선급 규정[15]을 활용하여 1차적으로 선박 또는 엔진의 진동이 이상 상태에 있는지를 1차적으로 필터링(Filtering) 하는 역할을 수행한다. 2차 비교 모듈은 본 논문에서 가장 핵심적인 모듈이다. 기능을 간략하게 설명하면 첫째, 엔진으로부터 실측 데이터를 정해진 사이클만큼 수신한 후 산술 평균을 구하여 '기준 엔진 진동정보(정상 엔진 진동)'를 결정하고 데이터베이스에 저장한다. 둘째, 엔진으로부터 실측 진동 정보를 실시간으로 획득하면서 진동 정보를 비교한다. 이때 비교는 앞에서 도출한 '기준 엔진 진동정보'와 비교를 수행하는 것이다. 비교 기법은 다음 절에서 상세히 설명하겠지만 3 가지 기법을 사용할 수 있다. 데이터베이스 처리 모듈이 가진 기능은 진동 정보를 수집한 후 이를 레코드화 하여 데이터베이스 서버에 저장하는 역할이다. 추가적으로 기준 엔진 진동정보의 저장과 실측 데이터의 누적 등을 수행할 수 있고 엔진에 고장이 발생하였을 경우에 고장 발생 시의 진동 파형을 저장하는 역할도 수행한다. GUI 모듈은 화면에 엔진 진동 정보들을 다양한 형태로 출력하여 주는데 파형을 그대로 보여주거나 FFT가 적용된 출력도 가능하고, 특정 그래프 형태로 출력할 수도 있다. 그리고 각종 제어 정보를 보낼 수 있도록 버튼과 초기 샘플링 방식을 결정할 수 있는 몇 가지 형태의

수치 정보 입력도 가능하도록 되어 있다.

### 3.2 이중화 비교를 적용한 고장 진단 기법

선박 엔진의 고장을 알리는 진동의 유형은 매우 다양하다. 또한 엔진 자체의 진동 외에도 선체와의 공진, 스크루와 시프트 등의 엔진 기관부에서 나타나는 진동들도 매우 많다. 따라서 본 논문에서는 엔진의 고장 유무 및 유형을 정확하게 판별해내기 위해서 진동 주파수 값에 대한 패턴 매칭 기법을 적용하였다.

실제로 정확한 고장 판단과 고장 유형의 판별을 위해서는 선박 엔진 진동 정보를 저장한 방대한 데이터베이스가 필요하다. 하지만 엔진의 부품과 엔진 그 자체, 그리고 선박 엔진 기관을 구성하는 여러 부품들의 고유 진동 및 고장 진동 정보가 누적되어 있는 데이터베이스는 국내외를 포함해도 거의 전무하거나 극히 일부분의 데이터이다.

본 논문의 데이터 중에 실측한 선박 엔진의 고장 진동 정보는 없다. 이런 점을 충분히 고려하여 선박이 건조되고 시험 가동 후에 엔진이 정상적일 때의 데이터를 먼저 수집하였다. 그리고 엔진의 진동 주파수가 특정 주파수에 도달하는 때까지를 한 번의 사이클로 정하고 한 사이클까지의 진동 정보를 10회 만큼 누적하고 산술 평균을 도출한다[15]. 도출된 산술 평균이 '기준 엔진 진동정보'인데 이것을 정상 상태의 엔진 진동 정보로 사용하였다. 이후 '기준 엔진 진동 정보'를 데이터베이스에 저장하여 둔다. 그리고 선박 엔진의 진동, 축의 진동, 거구구의 진동 등은 특정 주파수(Hz)를 초과할 수 없도록 하는 상한인 선급 규정[13]이 있는데 이것은 국제적 표준이기도 하며 본 논문에서는 이 정보 또한 데이터베이스에 저장하여 두었다.

이 두 가지 정보를 저장해둔 상태에서 제안 기법은 첫째,

선급 규정을 이용하여 상한값을 넘는 진동이 발생하면 선박 엔진 또는 기관에 고장이 있는 것으로 간주하여 패턴 매칭을 실시하지 않고 고장 발생을 관리자에게 알린다. 둘째, 만약 첫째 기준을 통과하지만 본 논문에서 구현한 고장 감지 및 고장 유형 판별 기법에서 고장으로 판단되는 진동이 발생될 경우는 고장을 판별하고 또한 고장의 유형까지도 판별하여 가장 가능성 높은 고장을 관리자에게 경보음과 함께 제공할 수 있도록 구현하였다. 이와 같은 이중 비교를 통해서 고장 판별을 위한 연산 시간을 감소시킬 수 있고, 정확도 또한 증가시킬 수 있다. 이중 비교를 통한 알고리즘의 동작은 (그림 3)과 같다.

입력되는 진동 데이터는 원하는 주파수 샘플링 블록 크기로 측정할 수 있는데, 1 Hz마다 1회 주기로 진동 데이터를 확인할 수 있도록 구현하였다. 샘플링 할 블록 크기는 조절 가능하며, 이렇게 설정한 크기로 나누어진 진동 주파수가 초기에 입력된다. 데이터가 입력되고 나면 타코미터(Tachometer)에서 측정되어 플래그 정보로 포함되어 있는 RPM(분당 회전수)을 체크하여 RPM별로 진동 주파수를 다시 구분한다. 각각의 해당 RPM에 따라 미리 저장되어 있는 '기준 엔진 진동정보'가 있으면 이중 비교를 수행하게 되고 기준 엔진 진동정보가 없는 경우는 산술 평균을 구해서 '기준 엔진 진동정보'로서 데이터베이스에 저장한다. 실측된 데이터는 이중 비교를 수행하여 이상이 없는 경우의 실측 엔진 진동 정보는 폐기한다. 이중 비교에서 문제점이 발견될 경우 기존에 저장되어 있는 고장 진동 정보와 비교하여 기존에 저장되어 있는 고장 주파수 유형인 경우 사용자에게 오류 메시지와 고장 유형을 전달하게 된다. 만약 실측 진동 정보가

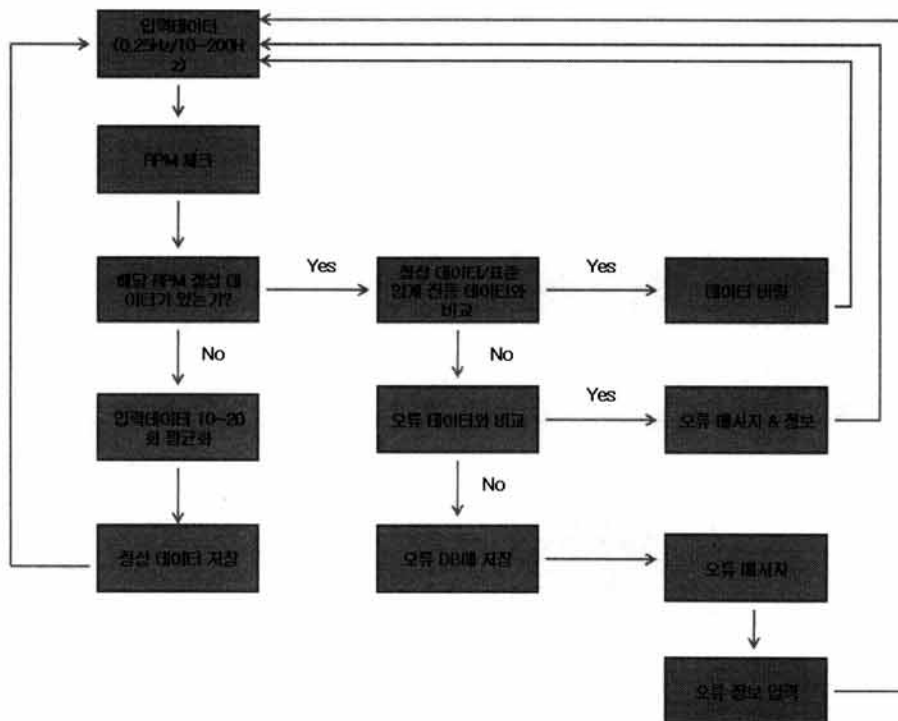
이중 비교 상태에서 오류 영역에 포함되지만 그 주파수 유형이 기존에 없는 고장 진동 주파수 유형이라면 새로운 고장 주파수 유형으로 데이터베이스에 저장 되고 오류 메시지는 사용자 인터페이스로 전달된다.

### 3.3 고장 감지 및 고장 유형 판별 기법

선박에서의 진동 정보를 분석하여 고장인지 아닌지를 판단하기 위해서는 단순한 임계치 설정 기법으로는 부족하다. 경우에 따라 선박의 엔진 회전 중간에는 고장이 발생하지 않더라도 순간적으로 진동 주파수가 높게 나오는 경우도 있고 그 반대의 경우도 존재하기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 순간적 이상 진동, 예외 진동 등을 고려하면서도 실제 고장을 보다 정밀하게 판별하고, 또한 고장의 유형까지를 구분할 수 있는 기법을 제안한다. 진동 데이터의 합을 이용하는 방법, 진동 데이터의 오류 값만을 이용하는 방법, 진동 데이터에서 특정 샘플링 값들 간의 기울기를 이용한 비교 기법을 연구하였고 본 논문에서는 이들 중 진동 데이터의 오류 값만을 이용하는 방법을 선택하여 실험하였다.

#### 3.3.1 진동 데이터의 합을 이용한 비교 기법

이 기법은 진동 센서를 통해 입력된 진동 데이터의 각 값들의 합을 구한 후에 정상 진동 데이터가 저장되어 있는 데이터베이스 내의 데이터들의 합과 비교를 수행한다. 이때 새로 입력된 진동 데이터의 합이 사용자가 설정한 오차범위 이내이면 입력 데이터와 정상 진동 정보를 가진 데이터베이스에 저장된 데이터의 모든 값들을 서로 비교하게 된다. 그리고 이 비교에서 모든 값들이 오차범위 이내라면 입력된



(그림 3) 제안 기법의 알고리즘 동작 순서

진동 데이터는 정상 진동 데이터로 판정하고 새로운 진동 데이터를 입력 받는다. 그러나 입력 데이터와 정상 진동 데이터가 저장된 데이터베이스의 데이터의 값 비교 시 오차 범위를 벗어나는 값이 나오거나 그 이전에 합 비교 시에 오차 범위를 벗어나게 되면 고장 진동 데이터를 저장하고 있는 데이터베이스에 저장된 데이터들과 비교를 하게 된다. 이때도 정상 진동 데이터를 가진 데이터베이스에 저장된 데이터와 동일한 방법으로 비교를 하게 된다.

고장 진동 데이터를 저장하고 있는 데이터베이스에 저장된 고장 데이터들과 비교 시 동일 혹은 유사 고장 데이터가 발견된다면 비교를 멈추고 경고음을 발생시키고 고장정보를 디스플레이하여 관리자가 확인을 할 수 있도록 한다. 만약 동일 혹은 유사 고장 데이터가 없다면 새로운 유형의 고장 데이터로 판단하고 경고음을 발생 시키고 고장정보를 저장 및 입력 할 수 있도록 한다.

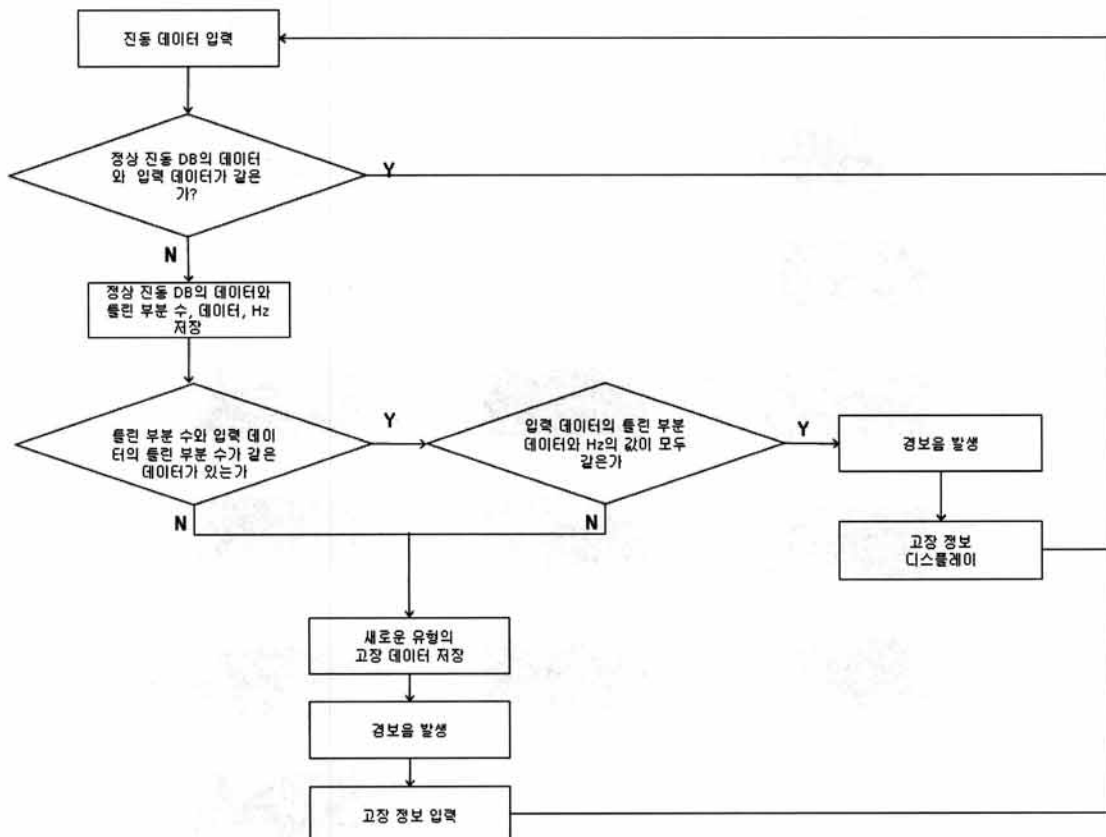
3.3.2 진동 데이터의 오류 부분을 이용한 비교 기법

진동 데이터의 오류 부분을 이용한 비교 기법은 입력된 진동 데이터와 정상 진동으로 입력된 데이터베이스에 저장된 정상 진동 데이터를 비교하여 오차 범위가 벗어난 데이터 값과 주파수가 다른 부분의 개수를 저장하고 이를 이용하여 고장 진동 정보가 저장된 데이터베이스의 고장 데이터와 비교를 통해서 고장 판별과 진단을 하는 기법이다.

이 기법은 정상 진동 데이터를 가진 데이터베이스에 저장

된 데이터와 센서를 통해 실측된 입력 데이터의 모든 값을 서로 비교해 고장 유무를 판단하게 된다. 비교 시 모든 값들이 사용자가 지정한 오차범위 이내이면 정상 데이터로 판정하여 새로운 진동 데이터를 입력받는다. 고장 데이터로 판정되면 오차범위를 벗어나는 데이터 값과 이에 해당하는 주파수 및 오차범위를 벗어나는 데이터 값의 개수를 저장하고 고장 진동 정보를 저장하는 데이터베이스의 고장 데이터들과 비교를 수행 한다. 고장 데이터들과의 비교 방법은 오차 데이터를 벗어나는 데이터 값의 개수를 비교하여 같다면 오차 범위를 벗어나는 데이터의 주파수와 값을 비교한다. 이 때 주파수는 동일하고 값은 오차범위 이내이면 동일 혹은 유사 고장 데이터로 판단하고 아니면 다른 고장 데이터와 동일한 방법으로 비교한다. 동일 혹은 유사 고장 진동 데이터가 있으면 경고음 발생 및 고장 정보를 화면에 출력하고 없다면 경고음 발생 및 고장 정보를 입력할 수 있도록 한다(그림 4).

진동 데이터의 오류 부분을 이용한 기법의 장점은 고장 진동 데이터를 가진 데이터베이스에 저장된 고장 데이터는 정상 데이터와 비교해서 오차범위를 벗어나는 부분만 저장되기 때문에 데이터베이스의 양이 줄어들게 되며, 고장 데이터들과 비교 시에도 정상 데이터와 다른 부분들만 가지고 비교를 하기 때문에 수행 시간도 줄어들게 된다. 단점은 오류 데이터의 분석을 위해 진동 데이터들을 다시 불러 와서 그래프 형태로 출력할 경우 고장 진동 데이터의 나머지 부



(그림 4) 진동 데이터의 오류 부분을 이용한 비교 기법

분을 정상 진동 데이터에서 불러와야 하므로 고장 당시의 그래프와는 조금 다르게 출력될 수도 있다. 선박 엔진의 고장 당시의 정확한 그래프를 위해 정상 진동 데이터와 다른 부분은 그 순간의 입력데이터를 모두 저장해야 되는데, 그럴 경우 데이터베이스의 양이 많이 증가하게 된다.

### 3.3.3 진동 데이터에서 특정 샘플링 값들 간의 기울기를 이용한 비교 기법

기울기를 이용한 비교 기법은 짝수 번째 값과 그 이전 값 두 값을 이용하여 구한 기울기를 이용하여 정상 데이터와 오류 데이터와 기울기 비교를 통해 고장 진단 및 고장 유형을 판별하는 기법이다. 이 기법은 새로운 진동 데이터가 입력되면 입력데이터 중의 두 값을 이용하여 기울기를 먼저 구한다. 기울기를 구하는 방법은 식 (1)과 같다.

$$\text{기울기 공식} : \frac{\text{input}(i) - \text{input}(i-1)}{\text{Hz}(i) - \text{Hz}(i-1)}, \quad \text{식 (1)}$$

input(i) : 입력데이터의 i번째 값,  
Hz(i) : i번째 Hz값

이때 구해진 기울기를 이용하여 정상 진동 정보를 저장하는 데이터베이스에 저장된 데이터들의 기울기와 비교하여 모든 값이 사용자가 정한 오차범위 이내이면 정상 데이터로 판단하고 새로운 진동 데이터를 입력 받게 된다. 그리고 오차범위를 벗어나는 기울기가 하나라도 있다면 그 입력 데이터는 고장 데이터로 판단하여 고장 진동 데이터를 저장하는 데이터베이스에 저장된 고장 데이터와 비교를 하게 된다. 정상 진동 데이터의 비교와 동일한 방법으로 고장 진동 데이터들과 비교를 하게 되며, 모든 기울기가 오차범위 이내가 되는 고장 데이터가 존재하면 경보음 발생과 함께 그 고장 진동 데이터의 정보를 출력하게 되고, 모든 기울기가 오차범위 이내가 되는 고장 진동 데이터가 존재하지 않는다면 새로운 유형의 고장 진동 데이터로 판단하여 경보음을 발생시키고 고장정보를 입력할 수 있도록 하게 한다.

### 3.4 세 가지 기법의 비교 및 선택

세 가지 고장 진단 알고리즘은 각각의 특징을 가지고 있다. 합을 이용한 비교 기법의 정확성에서, 오류 부분을 이용한 비교 기법은 데이터베이스의 양과 수행속도에서, 기울기를 이용한 비교 기법은 확장성에서 장점을 가지고 있다. 고장 데이터가 좀 더 많이 누적된다면 기울기를 이용한 비교 기법이 알고리즘 개선 등을 통해 좀 더 높은 성능을 보이지만 현재 상태에서는 정확성은 조금 떨어지지만 수행 속도나 데이터베이스의 양적인 측면에서 좋은 성능을 보이는 오류 부분을 이용한 비교 기법이 가장 좋은 고장 진단 알고리즘이라고 판단된다. 따라서 본 논문에서는 진동 데이터의 오류 부분만을 활용하는 고장 진단 및 고장 유형 판별 알고리즘을 대상으로 최적화 작업을 수행하였다. 기존의 오류 부분을 활용하는 고장 진단 기법은 향후 오류 데이터를 불러와서 그래프 표현을 하기 위해 데이터베이스를 많이 사용

하는 형태로 구현하였으나 세 가지 기법을 분석하고 오류 부분을 활용하는 고장 진단 알고리즘을 선정한 이후에는 그래프 표현에 다소 문제가 발생하더라도 데이터베이스의 소모를 줄이기 위해 오류 데이터만 저장하는 형태로 코드를 수정하여 저장 장치 사용을 최소화 할 수 있도록 최적화 작업을 수행하였다. 오류 부분만을 비교하는 기법은 최악 경우라는 것이 데이터베이스에 입력되어 있는 정상 진동 데이터와 고장 진동 유형 데이터가 실측값과 전부 다른 경우에 발생한다. 그럴 경우 비교 연산 수행 속도, 데이터베이스 사용량 등이 함께 상승하게 된다. 이런 새로운 고장 파형이 실측되는 경우는 선급 규정을 넘어서는 선박 자체 공진 유형의 진동 데이터일 확률이 높기 때문에 본 논문에서는 오류 부분을 이용한 비교 기법을 수행하기 이전에 선급 규정을 이용한 비교를 먼저 수행하여 최악 경우는 실제 비교 연산이 거의 발생하지 않도록 하여 속도를 개선하였다. 이와 같이 오류 부분을 이용한 고장 판단 및 고장 유형 판별 기법에 두 가지 최적화 기법을 적용하여 알고리즘 성능 및 메모리 감소 효과를 가질 수 있도록 하였다.

### 3.5 확장성을 고려한 인터페이스 설계 [13]

제한한 엔진 진동을 통한 고장 감지 및 판별 기법은 대상을 중형 선박으로 하고 있다. 대형 선박의 경우 고가의 엔진을 사용하기 때문에 선박을 건조하는 조선소에서 엔진 진동 모니터링 시스템을 패키지로 탑재하게 된다. 중소형 선박에 경제적 부담 없이 설치할 수 있는 진동을 통한 고장 감지 시스템을 탑재할 수 있도록 하는 것이 본 논문의 목표이기 때문에 인터페이스의 구현에도 몇 가지 고려 사항이 포함된다. 즉 특정 선박에 적합하게 언제든지 편리하게 최적화할 수 있도록 하는 것이 인터페이스 설계에 있어 주요 목표가 된다. 또한 소프트웨어 전문가가 아닌 엔진 기관 전문가가 사용하기에 쉽도록 인터페이스를 설계하고 레이아웃(Layout)을 구성하는 것도 중요하다. 따라서 확장 및 축소 등이 용이하도록 인터페이스를 구현하여 필수적 기능은 컴포넌트 형태로 가져와서 바로 사용할 수 있고 필요 없는 기능은 인터페이스 상에서 바로 삭제할 수 있도록 하여 선박의 종류에 대한 최적화가 가능하다.

## 4. 고장 진동 감지 및 파형 인식률

본 논문은 실험용 엔진 1종만을 대상으로 실험을 수행하였기 때문에 다른 실제 선박의 엔진에 대해 본 논문의 연구 기법을 적용했을 때 결과가 실측과 일치한다는 것을 보장할 수 없다. 따라서 다른 선박의 엔진이나 특성이 전혀 다른 엔진에 본 논문의 연구 기법을 적용할 때는 확인 및 검증 절차가 반드시 필요하다.

### 4.1 실험 방법 및 실험 환경

실험 방법과 환경에서는 선박 엔진의 정상 진동은 실측이 가능하나 고장 상태의 진동은 실측이 불가능하였기 때문에

진동 발생기를 이용하여 실행하였다. 그리고 고장 상태 시의 진동 파형은 실험을 위한 임의의 값으로 선정하고 이 파형을 제안한 시스템에서 어느 정도의 정밀도와 확률을 가지고 인식하는지 실험하였다. 실험을 수행할 때 마다 생성되는 진동 파형은 랜덤으로 하여 실험하였다. 소프트웨어 구현을 위한 환경은 <표 1>과 같다.

선박은 그 목적과 기능에 따라 엔진과 엔진 기관이 다양하며 최대 출력도 매우 다양하다. 그러므로 실험을 특정 RPM으로 해야 한다는 제약 사항도 존재하지 않는다. 따라서 선박 엔진의 분당 회전수를 특정 RPM으로 설정해야 할 필요가 없으며, 선박 실측이 아닌 이상 실험실에서 임의적인 실험만을 수행할 수 있다. 보편적인 실험 방법은 최대 회전수를 200 RPM에 두고 50 RPM에서 시작하여 5 RPM 증가시키면서 데이터를 측정하는 것이다. 그러나 반드시 측정해야 하는 주요 회전수가 있는데 이것은 선박 최대 출력의 90%이다. 해상에서 선박이 전속 운항을 할 경우 대부분의 경우에 최대 엔진출력의 90%로 운항되기 때문이다. 측정 실험용 진동 발생기의 전체 구성은 (그림 5)-a와 같다. (그림 5)-d가 진동 발생을 위한 소형 엔진이며, 인위적인 고장 진동을 발생시킬 수 있는 축과 회전체가 연결되어 있다. (그림 5)-b, (그림 5)-c는 진동 수집기, 가속도 센서이다. 구현된 진동 발생기를 활용하여 특정 진동을 발생시키고 50 RPM에서 측정을 시작하여 5 RPM씩 증가시키면서 200

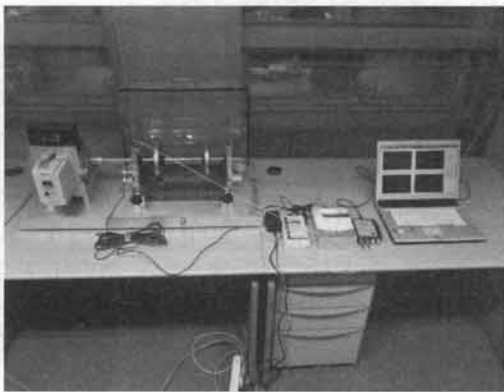
<표 1> 소프트웨어 개발 환경 및 실행 환경

	개발 환경	실행 환경
하드웨어 사양	펜티엄 IV, 2.0GHz, RAM 2Gbyte	펜티엄 IV, 2.0GHz, RAM 2Gbyte
운영 체제	윈도우 XP	윈도우 XP
개발도구	.Net, Visual Basic	.Net Framework 2.0

RPM까지 측정하여 각각 10회의 사이클을 누적하여 평균화한 후 이를 '기준 엔진 진동정보'로 데이터베이스에 저장하였다. 이후 임의적인 고장 진동 파형 생성을 위해 회전체나 축에 추를 설치하여 같은 방법으로 50~200 RPM까지의 고장 진동 파형을 만든 다음 데이터베이스에 저장하였다. 그리고 실측 실험을 실시하였는데 이때 인위적 고장 진동을 랜덤으로 유발하고 데이터베이스에 저장된 기준 엔진 진동 정보를 벗어났을 때 정확하게 인식을 할 수 있는지에 대한 실험과 벗어난 진동 정보가 어떤 유형의 고장 진동 데이터 인지를 정확하게 인식할 수 있는지에 대해서 각각 100회씩 실험하였다.

4.2 고장 진동 감지 확률

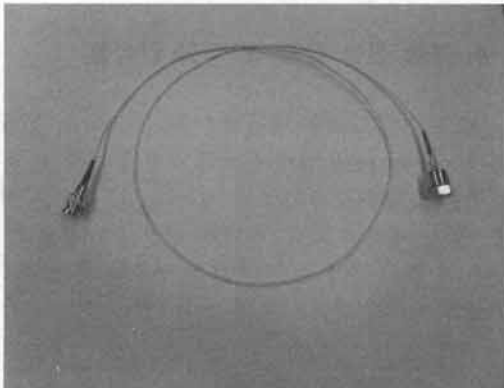
진동 정보를 활용해서 고장 자체를 감별하는 확률은 실험 결과 높은 수치를 나타내었다. 진동 파형을 랜덤으로 생성하면서 100회 정도만의 실험을 통해 완전한 결론을 도출하



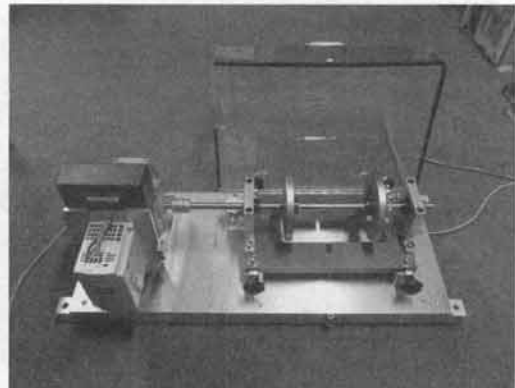
(a) 시스템 전체 구성



(b) A/D변환기(진동 수집기)



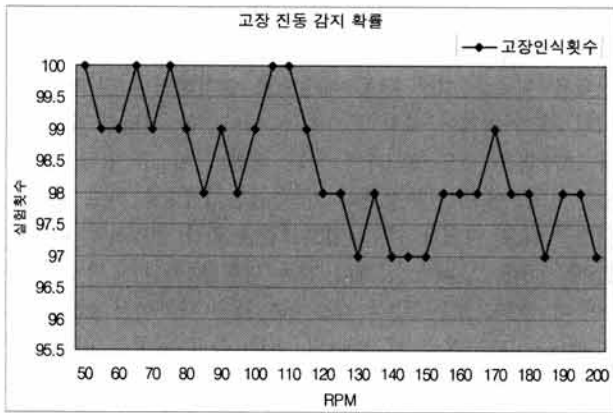
(c) 가속도센서



(d) 실험용 소형엔진

(그림 5) 진동 정보 수집 장비





(그림 6) 고장 진동 감지 확률

기는 힘들다. 선박에서 진동을 유발하는 인자가 워낙 많고 변수 또한 다양하기 때문이다. 그러나 본 논문에서 사용하고 있는 이중 비교 기법에 의해서 대부분의 고장 진동 파형은 필터링이 가능하다. 첫째, 선급 규정을 데이터베이스에 저장하여 실측 데이터와 비교함으로써 거주구, 기관실, 선체 등에 대한 일반적인 고장 진동 허용 범위를 대폭 좁힐 수 있고 많은 고장 진동을 감지할 수 있다. 둘째, 정상적인 진동 정보를 한 번의 사이클에서 측정하고 이 실험을 10회 반복하여 기준 엔진 진동정보를 만들어 데이터베이스에 저장하고 이것을 실측 진동 파형과 비교하는 방법으로 실험을 수행한다. 실측 고장 진동 파형은 선박 실측이 불가능하기 때문에 인위적인 고장 상태의 진동이 일어나도록 추를 회전체에 설치한 후 시행한다. 정상 진동 파형과 실측 고장 진동 파형의 비교 연산은 본 논문에서 제시한 기법 중 두 번째 기법인 오류 부분을 이용한 비교 기법을 사용하게 되는데, 여기서 대부분의 값이 데이터베이스에 저장된 기준 엔진 진동정보의 임계값을 벗어나기 때문에 고장으로 판별이 가능하다. 즉 진동 정보를 이용해서 고장의 감지만을 목적으로 하는 것은 이중 비교 기법을 통해서 쉽게 달성할 수 있다. (그림 6)은 50 RPM에서 200 RPM까지 5 RPM 식 증가시키면서 각각 100회 실험한 후 고장의 감지, 즉 고장 유무만을 판별하는 실험의 결과를 정리한 것이다.

결과적으로는 100회 실험에서 100% 정확도로 고장 유무는 판별할 수 있는 것으로 나타났다. 실험 중에 실제 고장이 아닌데 회전체의 이상 진동 또는 고장 진동 입력 샘플링 과정에서 의미 없는 값이 샘플링 되는 경우가 발생하면 이것은 실험 결과 자료에서 제외하였다. 실험의 정확도와 진단 확률의 신뢰도 수준을 위해서 더 많은 횟수의 실험이 요구되며, 선박에서 엔진 고장시의 실제측이 필요하다. 그러나 본 논문에서 제안하는 시스템의 구현 형태와 알고리즘이 임계값을 활용하는 기법을 가지고 있어 고장 유무 판별에는 높은 신뢰 수준을 가질 것으로 보인다.

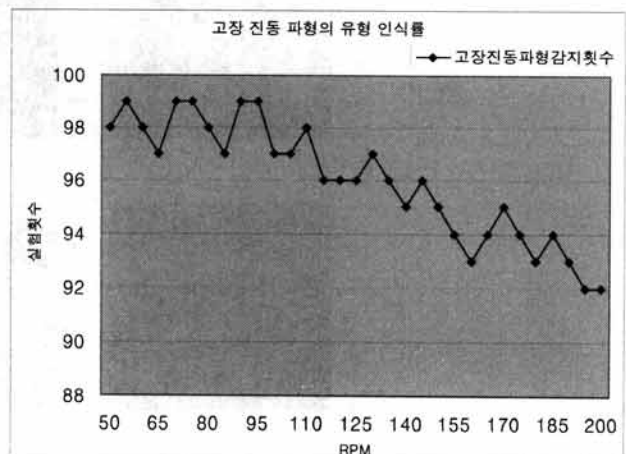
#### 4.3 고장 진동 파형의 유형 인식률

고장 진동의 종류가 다양하기 때문에 어떤 유형의 고장인지를 구분할 수 있는 것도 고장 감지 시스템의 중요한 기능

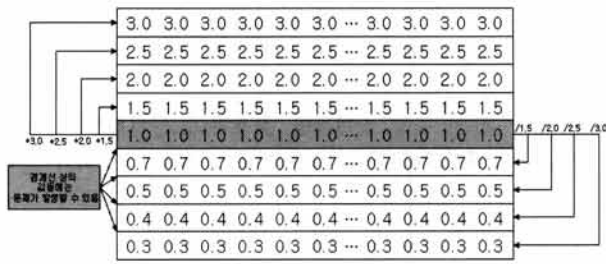
이다. 본 논문에서는 고장 진동 파형에 대한 유형 구분 기법을 3.3절에서 언급한 것처럼 세 가지 방식으로 개발하였으나, 성능과 데이터베이스 사용량이 적은 오류 부분을 이용한 고장 진동 유형 감별법을 적용하여 실험하였다. 데이터베이스에 저장되어 있는 고장 진동 파형의 데이터와 실측한 진동 파형 데이터 값의 차이가 50% 이내에 들면 특정 고장 진동 파형으로 인식한다. 선박을 이용한 실측에서는 200%까지도 오차 범위를 인정하는데[14], 본 논문에서는 제안 기법의 정확도 측정을 위해 실험값으로서 더 작은 오차 범위를 사용하였다. 고장 진동 파형의 감별 대상은 선급 규정 진동 정보와의 1차 비교를 통과한 데이터들이며 이 데이터에 대해서 '기준 엔진 진동정보'와의 비교를 통해 오류 범위를 벗어난 값들에 대해서만 고장 진동 파형의 종류를 감별하도록 하였다. 실험 방법은 4.2절의 실험과 동일하게 50 RPM에서 200 RPM까지 5 RPM씩 증가시키면서 고장 진동 파형에 대해 각각 100회씩의 실험을 수행하였다. (그림 7)은 고장 진동의 유형을 어느 정도 정확하게 구분하는지에 대한 인식률을 정리한 그래프이다. 저속의 50 RPM에서는 고장 진동 파형의 유형을 구분하는 비율이 가장 높았는데, 이 속도에서는 파형을 나타내는 실제 값과 정량화된 진동 값들이 크게 변화를 보이지 않는 구간이다. 따라서 실측 진동 값들이 오차 범위로 정한 50% 이내에 포함되어 특정 유형의 고장 진동으로 판별되어 정확하게 인식되는 것으로 나타났다.

특히 본 논문에서는 오차 범위의 상한 및 하한을 결정할 때 '기준 엔진 진동정보'를 기준으로 하였기 때문에 고장 진동 유형이 '기준 엔진 진동정보'를 근거로 하여 등급별로 구분된다. (그림 8)은 기준 엔진 진동정보를 기준으로 한 오차 범위를 설정하는 방법을 나타내고 있다.

회전 속도를 높여서 중간 속도인 125 RPM에서의 결과는 진동 파형들과 파형을 나타내는 정략적 값들이 기준 엔진 진동정보와 큰 차이를 나타낸다. 또 진동 발생기의 어떤 부분에 추를 추가하여 고장 진동 파형을 유발했는지에 따라 진동을 나타내는 값들이 크게 변화하거나 비정상 진동값을 나타내는 경우도 발생하게 된다. 오류 부분을 이용한 진동 파형의 유형 판별 기법은 어떤 유형의 고장인지를 100% 정



(그림 7) 고장 진동 파형 감지 인식률



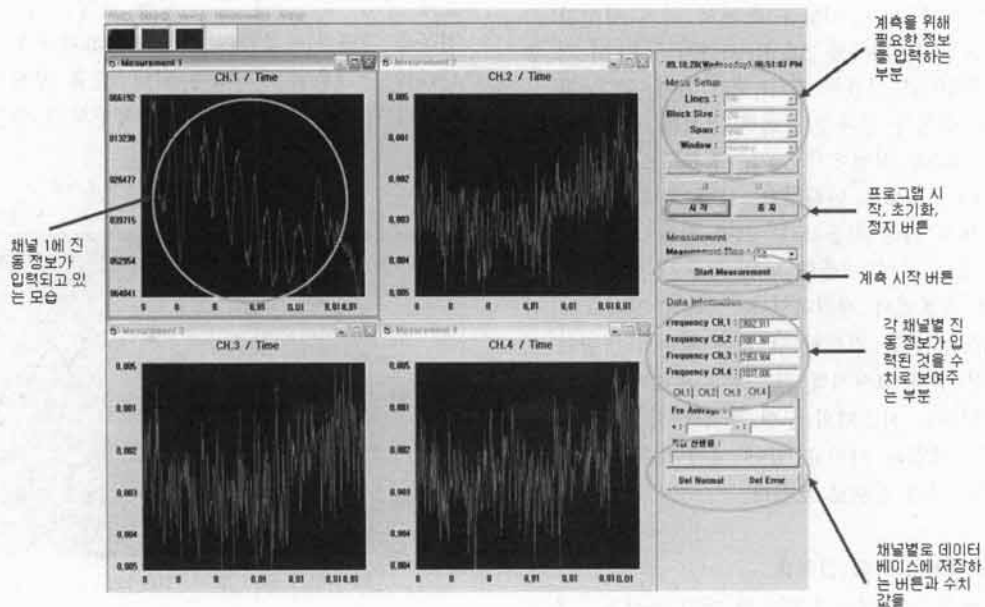
(그림 8) 기준 엔진 진동정보를 기준으로 한 오차 범위 설정

확하게 판별하거나 전혀 어떤 유형인지를 판별하지 못하는 경우로 구분된다. 즉 데이터베이스에 저장되어 있는 고장 진동 파형에 대해 정확히 오류 범위 내에서 일치하는 유형으로 구분하거나 완전히 새로운 유형의 고장 진동이라고 구분할 수 있도록 알고리즘이 구현되어 있다. 이런 경우는 새로운 유형의 고장 진동으로 데이터베이스에 저장하면 되기 때문에 문제가 되지 않는다.

단 기준 엔진 진동정보에서 정해진 임계값을 넘어 고장이 분명한 상황이면 데이터베이스에 저장시켜둔 특정 고장 진동 파형과 비교 시 오차 범위 내에 포함되어야 하는 고장 진동을 정확하게 찾아내지 못하는 경우가 간혹 발생하였다. 100회의 실험 중에 대략 4~5회 정도 이런 경우가 발생하여 고장 진동 유형이 존재함에도 불구하고 새로운 고장 진동이라고 판별하는 결과가 나타났는데 이것은 '기준 엔진 진동 정보'를 기준으로 한 오차 범위 계산 방식 때문이다. 기준 엔진 진동정보를 기준으로 하여 50%의 오차 범위를 계산하다 보면 고장 진동 유형의 등급이 매우 세부적으로 나누어져 정밀함은 상승하지만 각 고장 진동 유형 사이에 중복되는 경계영역 지점이 발생한다. 이 경계영역 범위 내에 포함되는 고장 진동이 입력되는 경우 고장 진동 파형의 유형을 구분하지 못하는 것으로 나타났다.

엔진 등에 대한 진동 정보를 실측하면 이런 경우는 빈번하게 발생할 수 있는데, 특정 조건에 포함되는 진동 파형 정보를 새로운 고장 진동 파형으로 인식하거나 알고리즘에 이런 경계 영역에 포함되는 진동 데이터를 처리할 수 있도록 조정하는 것도 한 가지 처리 방법이 될 수 있다. (그림 8)은 기준 엔진 진동정보의 기준 값을 1.0으로 하고 오차범위를 50%로 하였을 때, 상향으로는 0.5 식 증가하기 때문에 1.5배, 2.0배, 2.5배를 곱하여 진동 파형을 하나의 범주로 묶어주며 하향으로는 0.5식 감소하는 값을 나누어서 1.5배에서 2.5배까지 나누었을 때 하나의 진동 파형 범주로 묶여지는 값을 나타낸 것이다. 같은 실험 조건에서 4~5회의 인식을 실패하였기 때문에 고장 진동 파형 감지 인식률은 96%이다. 200 RPM에서의 결과도 100 RPM에서의 결과와 크게 다르지 않는데 이 구간은 진동 파형 자체의 변화도 심하고 따라서 진동을 나타내는 정량화된 값들도 큰 폭의 변화가 생기는 구간이다. 200RPM 구간에서의 100회 실험을 수행하였을 때 고장 유형의 감지 인식률은 92% 정도 되는 것으로 나타났다. 실험 횟수가 증가하면 (그림 8)에서 보이는 각 고장 유형 범주 사이에 있는 경계 영역에 해당되는 값이 더 증가하게 될 것이고, 이 경우에는 고장 유형을 판별하는 알고리즘이 새로운 고장 유형으로 판단하거나 알고리즘에서 이런 값들을 무시하는 경우가 발생하게 된다. 따라서 100회 이내의 실험에서는 고장 유형을 인식하는 것이 최소 90번을 넘고 대략적으로 92% 정도의 고장 유형 판별이 가능했지만 실험 횟수를 늘린다고 가정하면 (그림 8)의 경계 영역에 해당되는 진동 파형 값이 증가하게 되고 고장 진동 파형을 샘플링 하는 경우에서도 오류가 발생할 확률이 증가하기 때문에 정확도 하락이 예상된다.

중소형 선박에 탑재와 실험 결과 확인 등의 목적을 위해서 구현한 진동 정보를 표시하는 소프트웨어는 (그림 9)에



(그림 9) 진동 정보 감지 프로그램 인터페이스

나타내었다. 선박 엔진 외에도 생산 설비의 사전 보전을 위한 기능들이 포함된 소프트웨어까지를 구현하였으나 본 논문에서는 이 프로그램은 생략하였다. 소프트웨어의 기능적인 부분은 필요에 따라 아직 추가가 필요한 상태이지만 기본적으로 4개의 채널에서 입력을 받아 화면에 출력할 수 있도록 되어 있다. (그림 9)에서는 1번 채널만을 활성화 시켜 진동 정보를 수집하고 있는 것을 나타내고 있다.

프로그램의 인터페이스 구성을 살펴보면 오른쪽 상단에는 필요한 수치 값을 선택할 수 있도록 하였는데, 샘플링 주기와 시간, 진동 주파수 범위, 한 사이클의 사이즈 등을 선택할 수 있다. 인터페이스의 오른쪽 하단에는 채널에 들어오는 진동 값을 가공 없이 그대로 출력하도록 하였다. 그리고 저장 버튼은 데이터베이스에 저장을 위한 것이며, Start 버튼은 프로그램의 초기화와 시작을 수행하고 Measurement 버튼은 실측을 시작하는 버튼이다. 선박 엔진의 특성이나 기관 관리사의 필요에 따라 각 채널들은 활성화와 비활성화가 가능하며 화면상에서 삭제하거나 필요한 경우 채널 및 기능을 더 추가시키는 것도 가능하다. 그 이외에 그래프 출력 기능과 몇 가지 필요한 기능들이 조금 더 포함되어 있는데 선박 실측을 통해서 필요한 기능들을 계속 추가할 예정이며, 이것이 가능하도록 프로그램을 확장에 적용할 수 있도록 구현하였다.

## 5. 결 론

근래에 많은 연구들과 상용 프로그램에서 진동 정보를 활용하여 엔진 등의 회전 기관이 포함된 기계 설비 상태나 고장 유무를 판단하는 응용들이 개발 및 연구되고 있다. 이런 연구들을 분석하여 보면 현재까지는 엔진이나 설비에 대한 모니터링과 고장 유무를 판별하여 사용자에게 알리는 수준에 머무르고 있다.

본 논문에서는 연구의 대상을 중소형선박 엔진으로 하여 고장 진단과 고장 유형의 판별을 정교하게 하여 선박의 안전한 항해와 엔진의 보존 및 고장에 대한 감지와 진단을 수행하는 시스템을 제안하였다. 이중 비교를 수행하는 진동 정보 판별 기법을 도입하여 일차적으로 선급 규정을 활용한 진동의 상한, 하한값을 통해 선박 엔진과 선체의 이상을 판별하고 불필요한 비교 연산을 감소시킬 수 있도록 하였다. 그리고 일차 필터링을 통과한 고장 진동이 발생한 경우에는 오류 부분을 이용하는 비교 기법을 도입하고, 고장 진동 파형 데이터의 오류 숫자, 실제 오류 값, 오차 범위 등을 활용하여 어떤 유형의 고장인지를 판별할 수 있는 기법도 적용하였다. 또한 선박의 진동 경향 분석과 엔진의 사전 보존을 목적으로 진동 정보를 데이터베이스에 저장하고 추적할 수 있도록 시스템을 구현하였다. 단 본 논문에서는 실험용 엔진 1종만을 대상으로 했기 때문에 실제 선박에 적용했을 때 발생할 수 있는 문제점이나 실측에서 나타나는 공진 등에 의한 차이는 정확하게 알 수 없다. 따라서 선박 실측 결과가 아니기 때문에 선박과 제안 시스템을 연동시키기 위해서

는 추가적인 실측 절차와 검증이 필요하다.

제안한 알고리즘을 하드웨어와 소프트웨어를 포함한 하나의 시스템으로 구현하였고, 진동 생성기를 통해 고장 판별 유무와 고장 진동 유형 감별이라는 인자에 대해 간단한 확인 실험을 수행하였다. 실험 결과 엔진의 고장 유무를 확인할 수 있는 실험에서는 임계값과 선급 규정이라는 이중적인 판별법에 따라 100%의 정확도를 달성할 수 있었다. 고장 진동 파형을 구분하는 실험인 고장 유형 감별에서는 세 가지 엔진 회전수 대역에 대해서 평균값이 96%를 상회하고 있음을 확인하였다.

향후 연구 내용은 본 논문에서 최대 문제점인 선박 실측을 수행하고 연구 개발한 기법이 실측에서도 일치하는 결과를 나타내는지 확인하는 것이다. 이를 통해 선박에서 진동 정보를 활용하여 엔진의 고장 유무를 판별하고 고장 유형을 감별할 수 있는지에 대한 시스템의 신뢰성을 확인할 수 있을 것이다. 실측 실험을 통해 제안 시스템의 활용 여부와 신뢰성이 확인된다면 이후에는 선박에 실제로 탑재할 수 있도록 본 논문에서 적용된 알고리즘의 정확성과 신뢰성을 높일 수 있도록 소프트웨어의 모듈이나 기법의 속도 증가와 효율성 증대 및 코드 최적화 등을 수행하는 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 남택근 외2, "선박의 진동 계측 프로그램 개발에 관한 연구", 한국마린엔지니어링학회, 한국엔지니어링학회 학술대회논문집, 2008. 6, pp.73-74.
- [2] 박성규 외3, "FFT 알고리즘을 이용한 장비 예지보전 전문가 시스템의 설계", 한국정보과학회, 한국정보과학회 학술발표논문집, 제30권 제2호, 2003. 10., pp.514-516.
- [3] 김상환 외3, "디젤엔진의 비틀림 진동 모니터링 시스템에 관한 연구", 한국마린엔지니어링학회, 한국마린엔지니어링학회 학술대회논문집, 2003. 10, pp.197-204.
- [4] 김창구 외3, "Windows NT 기반의 회전 기계 진동 모니터링 시스템 개발" 한국정밀공학회, 한국정밀공학회지, 제17권, 제7호, 2000. 7., pp.98-105.
- [5] 한학용, 패턴인식개론, 한빛미디어, 2005. 7. 1.
- [6] 오일석, 패턴인식, 교보문고, 2008. 8. 20.
- [7] 최행진, 물리학자 푸리에와 고속 푸리에 변환, 교우사, 2003. 8. 15.
- [8] 박능수, 최영호, "데이터 재구성 기법을 이용한 고성능 FFT", 한국정보처리학회, 정보처리학회논문지 A, 제12-A권, 제3호, 통권 제93호, 2005. 6, pp.215-222.
- [9] 심민찬, 양보석, "회전 기계 상태 감시용 무선 계측 시스템의 개발", 유체기계연구개발발표회논문집, 2006. 11, pp.121-125.
- [10] 한상인, 장중순, "인터넷 기반의 설비 모니터링 및 제어 시스템 개발", 한국경영과학회/대한산업공학회, 춘계공동학술대회논문집, 2001. 4., pp.860-863.
- [11] 김태환, 양광모, 최성희, 강경식, "사전예방을 위한 설비안전정보시스템 개발", 대한안전경영과학회지, 제7권, 제2호, 2005. 6.
- [12] 윤석준, 강현주, "실시간 시물레이션용 데이터 검색 알고리즘

의 검색속도에 대한 연구”, 대한항공우주학회지, 제28권, 제1호, 2000. 2., pp.126-132.

- [13] 이광용, 배승현, 이양민, 이재기, “중소형 선박의 엔진에 대한 진동을 통한 고장 감지 시스템 개발”, 한국정보처리학회 춘계 학술발표대회논문집, 제16권, 제1호, 2009, 4., pp.128-131.
- [14] 양보석, 기계설비의 진동 상태 감시 및 진단, 인터비전, 2006. 5. 10.
- [15] 이형규, 선박 진동·소음 제어 지침, 한국선급, 1997.



### 이 양 민

e-mail : manson23@nate.com  
 2000년 동아대학교 컴퓨터공학과(학사)  
 2002년 동아대학교 컴퓨터공학과(공학석사)  
 2006년 동아대학교 컴퓨터공학과(공학박사)  
 관심분야: 유비쿼터스 컴퓨팅, Ad-hoc 네트워크



### 이 광 용

e-mail : maddragon98@nate.com  
 2008년 동아대학교 컴퓨터공학과(학사)  
 2008년 9월~현 재 동아대학교 컴퓨터공학과(석사과정)  
 관심분야: Ad-hoc 네트워크, 라우팅 프로토콜등



### 배 승 현

e-mail : majesty734@nate.com  
 2009년 동아대학교 컴퓨터공학과(학사)  
 2009년 3월~현 재 동아대학교 컴퓨터공학과(석사과정)  
 관심분야 : 라우팅 프로토콜, NMS 등



### 장 휘

e-mail : janhw01@gmail.com  
 1988년 부산대학교 생물학과(학사)  
 1997년 부산대학교 전자계산학과 수료  
 1988년~2004년 한국후지쯔 시스템부 부장  
 2004년~2007년 한국컴퓨터어쏘시에이트  
 2008년~2009년 주식회사 인타운 기술본부장 전무이사

2009년~현 재 주식회사 사우스퍼시픽 기후변화·그린IT 본부장 상무이사

관심분야: 융합IT, 그린IT, 기후변화적응을 위한 IT, DB등



### 이 재 기

e-mail : jklee@dau.ac.kr  
 1984년~1990년 한국전자통신연구소 연구원  
 1990년~현 재 동아대학교 컴퓨터공학 교수  
 관심분야: 차세대 네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅, 분산시스템 등