

이중화된 진동 정보 판별 기법과 고장 파형 분류를 이용한 선박 엔진의 고장 감지

이양민* · 이광용** · 배승현*** · 신일식**** · 장 휘***** · 이재기†

† 동아대학교 컴퓨터공학과 교수, *동아대학교 컴퓨터공학과 강사, **,*** 동아대학교 컴퓨터공학과 대학원, **** 중소기업연구원, ***** (주)인타운

Defect Detection of Ship Engine using duplicated checking of
vibration-data-distinction Method and Classification of fault-wave

Yang-Min Lee* · Kwang-Young Lee** · Seung-Hyun Bae*** · Il-Sik Shin**** · Hwi Jang***** ·
Jae-Kee Lee†

† Professor, Department of Computer Engineering Dong-A University, Busan 604-714, Korea
* Instructor, Department of Computer Engineering Dong-A University, Busan 604-714, Korea
,* Graduate school of Dong-A University, Busan 604-714, Korea
**** Research Institute of Medium & Small Shipbuilding, Busan, Korea
***** Intown CO., LTD., Busan, Korea

요 약 : 현재 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 진동 정보 적용 대상을 선박으로 정하고, 진동에 의한 고장 진단과 판별을 보다 정교하게 수행하는 선박 엔진 감지 기법과 시스템을 제안하였다. 일차적으로 이중화된 진동 정보 판별 기법을 적용하여 진동 정보를 확인한 다음에 고장 유무를 검사한다. 만일 고장이 발생한 경우에는 적분을 이용하여 고장 진동 파형에 대한 넓이를 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 판별은 약 98% 정확성을 가졌고 고장 진동 파형 감별에서는 약 72% 정확성을 가졌다.

핵심용어 : 이중화 판별, 선박 엔진, 진동 파형, 진동 감지, 고장 진단

Abstract : Recently, there have been some researches in the equipment fault detection based on shock and vibration information. Most research of them is based on shock and vibration monitoring to determine the equipment fault or not. Different with engine fault detection based on shock and vibration information we focus on detection of engine for boat and system control. First, it use the duplicated-checking method for shock and vibration information to determine the engine fault or not. If there is a fault happened, we use the integral to determine the error engine shock wave width and detect the fault area. On the other hand, we use the engine trend analysis and standard of safety engine to implement the shock and vibration information database. Our simulation results show that the probability of engine fault determination is 98% and the probability of engine fault detection is 72%

Key words : doubleness distinction, engine of ship, vibration wave, vibration detection, defect diagnosis

1. 서 론

근래에 진동 정보를 활용하여 엔진 기관을 포함하는 설비 시설을 점검하는 기술들이 활발하게 연구되고 있다. 이런 연구들은 설비 내의 특정 부품이 가진 고유 진동 주파수를 분석하고 이를 실제 진동 주파수와 비교하여 설비 부품 또는 전체의 이상 유무를 판단한다. 현재 차량이나 설비 시설에는 이상 유무를 판단할 수 있는 시스템이 일부 도입되고 있고 고장 유무 판단에 대한 정확도 또한 증가하고 있는 추세이다.

한국의 경우에는 수출, 수입을 통한 무역을 중심으로 경제가 구성되어 있고 더불어 조선 사업 또한 국가 경제의 중요한 부분을 담당하고 있다. 따라서 조선 산업과 물류 유통 산업에 있어 선박의 안전한 항해를 보장할 수 있는 고장 진단 시스템의 도입은 경제적으로나 기술적인 관점에서 매우 중요하다. 현실적으로 많은 선박들 중에 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 지능적으

† 교신저자 : 이재기(중신회원), jklee@dau.ac.kr 051)200-7781
* 대표저자 : 이양민(정회원), manson23@nate.com 017)542-0758

로 고장 확률, 부품의 교체 시기 등을 알려줄 수 있는 시스템은 발견하기 힘들다(김 등, 2003; 김 등, 2000; 남, 2008; 박 등, 2003).

본 논문에서는 엔진 고유 진동 주파수를 기준으로 하고 복수의 채널로부터 획득되는 현재의 엔진 진동 주파수를 비교하여 엔진의 고장 유무를 판별하는 기법을 제안하고자 한다.

엔진의 1회전에서 측정되는 데이터들을 10회 누적하여 평균화하고 이를 엔진 고유 진동 주파수와 1차 비교하며 국제 표준에서 정해진 진동 허용 범위와 2차 비교를 통해서 고장 유무를 판별할 수 있다. 또한 엔진의 분당회전수(RPM)별 진동 주파수가 다르기 때문에 트리(Tree)형태의 자료 구조를 생성하고 고장에 따른 주파수 패턴별로 자료 구조를 생성하여 패턴 매칭이 쉽게 수행되도록 엔진 진동 감지 기법을 구현하였다.

본 논문의 구성은 1장의 서론을 시작으로 하여 2장에서 관련 연구를 간략하게 기술한다. 3장에서는 제안하는 엔진 진동 감지 기법을 상세하게 설명하고 4장에서는 엔진 고장 유무와 고장 종류를 판별할 수 있는 정확도에 대한 실험 결과를 나타내었다. 5장에서는 결론과 향후 연구 과제로서 논문의 결과를 기술하였다.

2. 관련 연구

2.1 패턴 인식 기법에 의한 고장 감지 기법

패턴 인식 기법은 엔진 등에 부착된 센서로부터 전달되는 신호를 여러 방법을 동원하여 분석한 후 이를 이용하여 고장을 진단하는 고차원적인 방법이다. 신호를 분석하는 기법은 크게 통계적 방법과 신경망을 이용하는 방법으로 구분할 수 있다. 통계적 방법은 다시 모수적인 방법과 비모수적인 방법으로 나눌 수 있다. 각 회전체 상태에 대한 확률밀도함수를 정확히 계산할 수 있다면 베이즈 정리와 같은 모수적 방법에 의하여 최적 분류 결과를 획득할 수 있으나 확률밀도함수의 정확한 계산이 불가능한 경우에는 비모수적인 방법을 활용할 수 있다. 통계적인 방법을 이용하는 것이 현재 가장 인기 있는 기법이며, 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 방식이다. 이때 적용할 수 있는 알고리즘으로서 FFT가 있으며 이를 이용해서 정상 파형과 비정상 파형을 분리하고 이로부터 확실적인 고장을 감지할 수 있다. 최근에는 신경회로망을 이용하는 방법도 많이 연구되고 있다(한, 2005; 오, 2008; 최; 2003).

2.2 진동 데이터를 활용한 여러 가지 연구 사례

다수의 논문들을 분석해본 결과 크게 진동 데이터 분석 기법을 위한 논문과 진동 데이터 분석은 이루어진 것으로 가정하고, 사용이 편리한 시스템을 구축하기 위한 논문으로 구분할 수 있다.

진동 데이터 분석 기법은 FFT를 중심으로 해서 여러 가지 확률적인 방법들을 적용하는 논문들이 주류를 이루고 있는데

FFT와 데이터베이스를 활용한 진동 정보의 정량적 비교에 그 중심을 맞추어 연구하고 있다. 그리고 시스템이 스스로 고장 진단을 내리거나 의사 결정을 내리기 위해서 신경망까지 활용하는 논문들도 존재하고 있다(김 등, 2000). 또한 단순히 고장 진단만을 하는 것이 아닌 설비의 예지 보존을 위한 논문도 연구되어 지고 있다(박 등, 2003).

진동 데이터를 활용한 고장 진단이나 모니터링 시스템은 주로 시스템을 간략하게 구성하는 기법과 시스템이 획득한 정보를 전달하는 방법론에 관한 논문들로 구분 된다. 예로서 심 등(2006)의 연구는 진동 수집 장비를 설치하기 어려운 환경에서의 무선 통신을 중심으로 시스템 개발 방식을 기술하고 있고, 남(2008)의 연구 또한 전체 진동 모니터링 시스템 구축을 위해 필요한 모듈과 인터페이스 위주로 기술하고 있다. 그리고 한과 장(2001)의 연구 및 김 등(2005)의 제어 시스템 개발과 같은 논문은 진동 예측의 결과가 웹 브라우저를 통하여 전달되는 형태에 그 초점을 맞추고 있다. 또한 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(윤과 강, 2000).

3. 진동 감지를 위한 제안 기법

3.1 시스템 구성

진동 감지 기법을 적용하기 위해 제안하는 시스템 구성은 일반적인 진동 모니터링 시스템이나 고장 관리 시스템의 전형을 그대로 따르고 있다. 크게 하드웨어 구성과 소프트웨어 구성으로 나누어지며, 하드웨어의 경우에는 다수의 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 진동을 도출하기 위해 산술 평균화할 수 있는 모듈도 탑재되어 있다.

1) 시스템의 전체 구성

제안 시스템은 현재 구성은 Fig. 1 및 Fig. 2와 같다. Fig. 1의 경우에는 하드웨어적 구성을 확인할 수 있으며, Fig. 2는 논리적 구성을 표시하였다. Fig.1은 제안된 시스템의 하드웨어적 구성을 나타내고 있으며 엔진 자체의 진동을 직접 수집하도록 하기 위해 엔진에 다수(실험에서는 4개)의 센서를 부착한다. 부착 방법은 엔진에 직접적인 구멍 등을 내는 것이 위험하기 때문에 자석을 활용하여 부착될 수 있도록 하드웨어를 제작하였다. 부착 형태는 X, Y, Z 축 방향의 진동을 전부 감지할 수 있도록 하였으며, 이를 통해서 오차를 최소화할 수 있다. 4개의 센서로부터 수집되는 진동 정보는 진동 정보 수집기로 전송되고 수집기

에서 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.

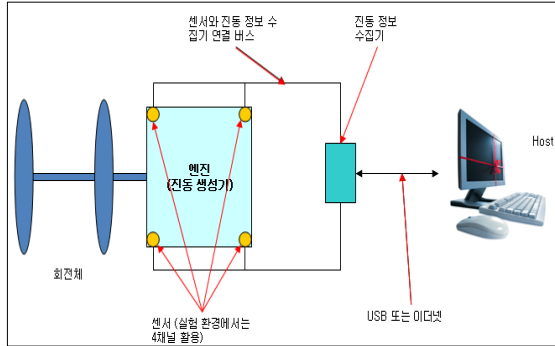


Fig. 1 Hardware organization of system

2) 각 구성 모듈과 기능

Fig. 2에는 기능별로 모듈이 표시되어 있으며 진동 정보 수집기에 4개의 모듈이 포함되어 있고 컴퓨터 소프트웨어에 5개의 모듈이 포함되어 있다.

진동 정보 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 받아들인 진동 정보를 정량화 시키는 역할을 하고 이것을 진동 정보 송신 모듈로 전달한다. 진동 정보 송신 모듈은 진동 정보를 컴퓨터가 접속해 있는 유형의 패킷으로 변환하여 컴퓨터로 전달한다. 제어 모듈은 진동 정보를 계속 수집할 것인지 일시 정지할 것인지 또는 현재 저장된 정보들을 폐기할 것인지를 컴퓨터 내의 소프트웨어와 연계를 통해서 결정하고, 결정된 정보 신호를 각 모듈에 전달한다. 진동 정보 수집기의 모듈은 하드웨어로 구성되어 있어 처리 속도가 빠르며 필요한 경우 확장 가능하도록 센서를 추가적으로 부착할 수 있다.

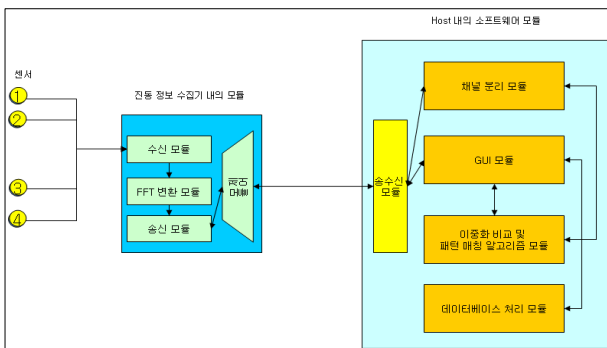


Fig. 2 Module organization of system

소프트웨어에 포함된 모듈은 송수신 모듈, 채널 분리 모듈, 이중화 비교 및 패턴 매칭 모듈, 데이터베이스 처리 모듈, GUI 모듈로 구성된다. 송수신 모듈의 경우에는 진동 정보 수집기의 진동 정보 송신 모듈 및 제어 모듈과 통신을 통해서 진동 정보

를 수집하고 소프트웨어에서 결정한 명령을 진동 정보 수집기로 전달하는 통신용 모듈이다. 채널 분리 모듈은 다채널로부터 신호가 동시에 수집되어 들어오기 때문에 이를 실시간으로 처리하기 위해서 각 채널별로 정보를 분리한다. 이중화 진동 정보 비교 및 패턴 매칭 모듈은 본 논문에서 핵심이다. 기본적인 기능은 첫째, 엔진으로부터 실측한 데이터를 정해진 사이클만큼 수신한 후 산술 평균을 구하여 ‘기준 진동 정보(정상 엔진 진동)’를 결정하고 데이터베이스에 저장한다. 둘째, 엔진으로부터 실측 진동 정보를 실시간으로 획득하면서 진동 정보를 비교한다. 이때 1차적으로 앞서 결정한 기준 진동 정보와 비교하고 2차적으로 국제 표준에 정해진 진동 허용 범위 정보(선급 규정)와 비교를 수행한다. 데이터베이스 처리 모듈의 일반적인 기능은 진동 정보를 수집한 후 이를 정리하여 데이터베이스 서버에 저장하는 역할이다. 기준 진동 정보의 저장과 실측 데이터의 누적 등을 수행할 수 있고 엔진에 고장이 발생하였을 경우에 고장 발생 시의 진동 과정을 저장하는 역할도 수행한다. 또한 고장 진동 정보를 저장할 때 데이터베이스 테이블 용량을 줄이기 위한 기법도 적용되어 있다.

GUI 모듈의 경우 화면에 엔진 진동 정보들을 다양한 형태로 출력하여 주는데 과정을 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 비교 방식에 의한 고장 진단

본 논문에서는 엔진의 고장 유무 및 유형을 판별하기 위해 패턴 매칭 기법과 확률적 방법을 사용한다. 즉 엔진 진동 정보에 대해 누적된 데이터베이스가 증가 할수록 고장 유무에 대한 판단의 정확도도 증가한다. 그러나 현재 국내외에 각종 엔진의 부품과 엔진 그 자체, 선박 엔진을 구성하고 지지하는 여러 부품들의 고유 진동 및 고장 상황에서의 진동 정보가 수집되어 있는 데이터베이스는 굉장히 희박하다.

본 논문에서는 이런 점을 감안하여 선박이 건조되고 시험 가동 후에 엔진이 정상적일 때의 데이터를 먼저 수집한다. 엔진의 진동 주파수가 특정 주파수에 도달할 때까지를 하나의 사이클로 정하고 한 사이클까지의 진동 정보를 정해진 횟수(본 논문: 10회) 만큼 누적하여 산술 평균한다. 도출된 산술 평균이 기준 엔진 진동 정보인데 이것이 정상 상태의 엔진 진동 정보로 사용되는 것이다. 이후 이 정보를 데이터베이스에 저장하여 둔다. 그리고 선박 엔진의 진동, 축의 진동, 거주구의 진동 등은 특정 주파수를 초과할 수 없다는 상한값이 국제적 표준 규격으로 존재한다(이, 1997). 이 또한 데이터베이스에 저장하여 둔다. 이 두 가지 정보를 저장해둔 상태에서 제안 기법의 알고리즘 동작은 Fig. 3과 같다.

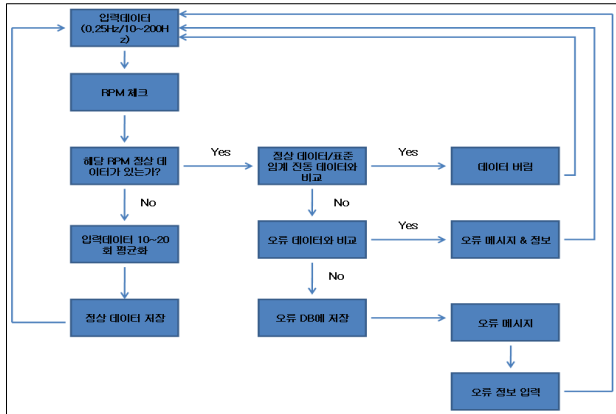


Fig. 3 Algorithm processing of proposing method

입력 데이터는 원하는 주파수 샘플링 블록 크기로 측정할 수 있으며, 설정한 크기로 나누어진 진동 주파수가 초기에 입력된다. 데이터가 입력되고 나면 플래그(Flag) 정보로 포함되어 있는 분당 회전수를 체크하여 분당 회전수별로 진동 주파수를 다시 구분한다. 각각의 해당 분당 회전수에 따라 기준 엔진 진동 데이터가 있으면 이중화 비교를 수행하게 되고 기준 진동 데이터가 없는 경우는 산술 평균을 구해서 기준 진동 데이터로서 데이터베이스에 저장한다. 이중화 비교로 넘겨진 데이터는 첫째, 기준 엔진 진동 데이터와 1차 비교, 국제 표준 임계 진동(이, 1997) 데이터와 2차 비교를 수행하여 이상이 없는 경우는 실측 엔진 진동 정보를 폐기한다. 이중화 비교에서 문제점이 발견될 경우 기존에 저장되어 있는 고장 진동 정보와 비교하여 기존에 있는 고장 주파수 패턴인 경우 사용자에게 오류 메시지와 고장 유형을 전달하게 된다. 만약 실측 진동 정보가 이중화 비교 상태에서 오류 영역에 포함되지만 그 주파수 패턴이 기존에 없는 고장의 유형이라면 새로운 고장 주파수 패턴으로 데이터베이스에 저장 되고 오류 메시지는 사용자 인터페이스로 전달된다.

3.3 고장 정보 저장에 있어 데이터베이스 용량 감소기법

선박의 엔진은 순간적으로 고장 나는 경우보다는 기계적 소모에 의해서 서서히 소음이거나 진동이 커진다는 점이다. 따라서 엔진 고장 유무를 판단하거나 예측하는 시스템의 경우에는 엔진 고장 정보에 대한 경향(Trend) 분석이 필요하다. 이를 위해 특정 고장 주파수가 발생하는 경우 데이터베이스에 반드시 저장해야하고 또한 경향 분석을 위해서 이러한 특정 고장 주파수가 발생하는 빈도와 주기 등도 지속적으로 데이터베이스에 저장해야 한다. 그러나 선박의 운항이 단기간 동안 이루어지는 것이 아니라 보통 수년 이상의 운항이 이루어지고 이 기간 동안 고장은 서서히 진행될 확률이 높다. 장기간 동안의 엔진 진동 정보를 수집하기 위해서는 데이터베이스의 용량에 대해 충분한 고려를 해야 한다.

본 논문에서는 우선 실측 진동 정보가 고장 임계치나 기준 진동 정보를 넘지 않는 경우에는 폐기함으로써 데이터베이스에 불필요한 정보를 저장하지 않는다. 그리고 고장 정보가 수집 되

었을 때도 기존의 고장 주파수에 등록 되어 있는 패턴인 경우에는 데이터베이스에 새롭게 저장하지 않는다.

특히 본 논문에서는 고장 진동 정보가 수집된 경우 그 정보가 아날로그 형태의 파형이란 점과 파형 전체가 모두 고장을 알리는 정보가 아니라는 점에 착안하였다. 즉 정상적인 진동 정보와 순간적인 고장 진동 정보가 하나의 파형에 섞여서 나온다는 점을 활용하여 고장을 알리는 부분의 주파수만을 샘플링하고 저장한 후 비교하는 방식을 사용한다. 이것은 하나의 사이클 전체를 고장 파형으로 등록하는 것에 비하면 데이터베이스 용량을 획기적으로 감소시킬 수 있다. 시간 정보와 함께 고장을 알리는 파형 부분만을 샘플링하여 저장하면 보통 하나의 사이클 동안 저장해야 될 용량을 평균적으로 절반 이상 감소시킬 수 있다. 고장으로 인하여 샘플링 되는 주파수 구간은 전체에서 보통의 경우 50%를 넘지 않기 때문이다.

3.4 고장 진동 파형 분류를 통한 패턴 매칭

고장에 대한 진동 주파수와 그 형태는 엔진의 분당 회전수와 고장 부품의 종류에 따라 각기 다른 형태로 구분된다. 본 논문에서 구현된 알고리즘은 그 파형의 형태를 비교하고 분석하기 위해서 한 사이클의 고장 파형을 저장하여 곡선 형태의 그래프로 표현하고 이를 적분하여 넓이를 계산하는 기법을 도입하고 있다.

예를 들면 엔진의 고장을 나타낼 수 있는 파형이 있다고 가정할 때, 엔진 고장을 알리는 실측 데이터가 입력되었다고 하면 두 파형을 비교하는 방식은 몇 가지가 존재할 수 있다.

간단한 방법으로는 두 곡선 파형으로부터 샘플링 간격을 아주 작게 하여 샘플링된 지점의 주파수 값을 각각 대조하는 것이다. 이 기법을 적용할 경우 이전에 고장을 나타내는 진동 파형은 데이터베이스에 저장되어 있어 간단하게 구현할 수 있다. 그러나 이 방법의 경우 진동 정보를 수집하는 채널의 수가 많아지는 경우 과도한 비교 연산이 이루어져야 하기 때문에 속도 저하가 발생할 가능성이 있다. 추가적인 문제점도 있는데 이는 고장을 나타내는 주파수가 파형 전체에 걸쳐 낮은 밀집도로 나타난다는 것이다. 즉 모든 샘플링 값을 비교하는 것은 고장 주파수 보다 더 많은 정상적인 주파수를 비교해야 하며 효율 저하로 연결된다.

본 논문에서는 이를 해결하기 위해 한 번의 사이클에 나타나는 진동 파형 전체에 대한 정적분을 수행한다. 파형의 형태가 불특정해서 부분합을 구하기가 힘들고 또한 가능하다고 해도 매우 복잡하기 때문에 특정 부분을 넓이 요소 함수로 만들고 이것들을 합하는 기본 형식을 유지하되 각각의 함수들은 구간을 한 없이 세분화해서 면적을 구하는 정적분을 사용할 수 밖에 없다. 수식 (1)은 기본적인 정적분 공식이며, Fig. 4는 본 논문에서 나타나는 진동 파형에 대해 정적분을 적용하는 것을 표현하고 있다.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n f(x_k) \Delta x = \int_a^b f(x) dx \quad (1)$$

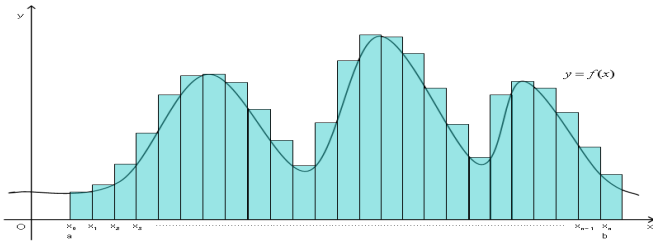


Fig. 4 Apply of definite integral to vibration wave

곡선이 복잡할 경우 적분식이 다소 길어지는 단점과 최초의 연산 시 오버헤드는 비교적 증가한다. 그러나 진동 파형 전체를 넓이로 비교함으로써 한 번의 연산을 통해 직접적으로 고장에 대한 판별이 가능한 장점이 있다. 이 방법의 경우에도 Fig. 5-a 와 Fig. 5-b처럼 고장 파형은 다르나 넓이가 같아지는 경우가 발생될 수 있다. 즉 고장이 발생한 분당 회전수 대역이나 고장 부품이 다른 경우에 나타날 수 있는 현상인데 본 논문에서는 이를 해결하기 위해서 고장 파형을 저장할 때 인덱스를 활용하여 분당 회전수별로 분류를 하였기 때문에 위의 문제를 해결할 수 있다. 즉 같은 분당 회전수 대역에서의 고장 파형 패턴은 인덱스에 의해 1차적으로 구분되기 때문에 앞서 언급한 문제점을 피할 수 있다.

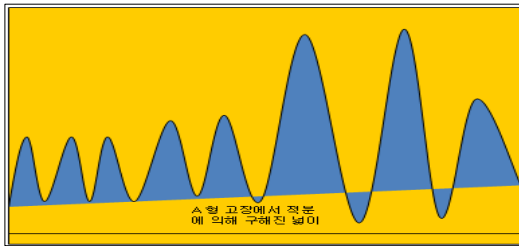


Fig. 5-a Area of fault wave on A type

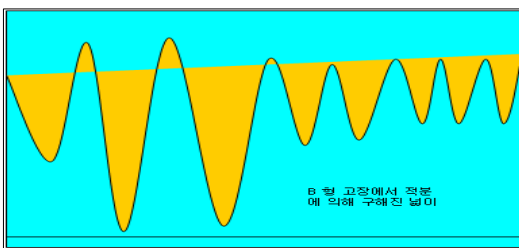


Fig. 5-b Area of fault wave on B type

본 논문에서 고려한 또 다른 점은 고장 파형의 오차 범위를 어느 정도로 할 것인가이다. 본 논문에서 사용한 진동 정보 수집기는 소수점 6째 자리 이하까지 진동 정보를 측정할 수 있다. 이 경우 기준 진동 정보를 만들어두고 실측 엔진 진동 정보를 비교하면 전부 다른 값으로 출력이 된다. 이는 모든 데이터가 엔진이 고장 났다는 것을 알리는 오류 데이터가 된다는 뜻이다. 따라서 기준 진동 파형의 적분을 통한 넓이와 50% 이상 넓이 차이가 나는 것만을 고장으로 판별하도록 구현하였다. 현재는 엔진의 고장을 알리는 정확한 진동 파형과 주파수가 없기 때문

에 실험적인 값으로 50%를 오차범위로 결정하였는데 이는 차 후에 선박에서 계측을 통해 수정해 나갈 계획이다.

3.5 확장성을 고려한 인터페이스 설계

본 논문의 엔진 진동 감지 기법은 그 대상을 중형 선박으로 제한하고 있다. 대형 선박의 경우 고가의 엔진을 사용하고 보통의 경우 선박을 건조하는 조선소에서 엔진 진동 모니터링 시스템을 패키지로 탑재하여 준다. 중형 선박이나 그 이하의 선박에 경제적 부담 없이 설치할 수 있는 진동 감지 시스템을 완성하는 것이 본 논문의 최종 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 설계하는 것도 아주 중요하다(이 등, 2009).

두 가지 목적 달성을 위해 제안 시스템의 인터페이스는 실측된 진동 정보의 전달을 그래프, 그림, 표 등을 통해서 전달하고 진동 정보 측정을 위해 입력해야할 정보를 최소화 시켰다. 그리고 확장 및 축소 등이 용이하도록 코딩을 하여 필요한 기능은 컴포넌트 형태로 가져와서 바로 사용할 수 있고 필요 없는 기능은 인터페이스 상에서 바로 삭제할 수 있도록 하여 선박에서 요구하는 정보만을 수집할 수 있도록 언제든지 최적화가 가능하다.

4. 고장 진동 파형 인식률과 결과물

4.1 실험 방법 및 실험 환경

본 논문의 실험은 실측 환경을 선박으로 할 수 없었기 때문에 실험실에서 진동 발생기를 이용하여 실행하였다. 특히 고장 진동 정보를 획득하기가 불가능하여 고장 진동 파형은 실험을 위한 임의의 값으로 선정하고 이것을 제안한 시스템에서 어느 정도의 정밀도와 확률을 가지고 인식하는지 실험하였다.

실험 방법을 확정된 엔진에 대한 특정 분당 회전수로 설정하기에는 선박의 기능과 크기가 매우 다양하며, 여기에 따라 실험 방법론을 전체적으로 통일하는 것은 불가능하다. 즉, 측정 분당 회전수가 특별히 정해져 있는 것이 아니기 때문에 선박 엔진의 분당 회전수를 특정 분당 회전수로 고정해 놓고 실험하는 것은 크게 의미가 없다. 선박 실측이 아닌 이상 실험실에서 설정한 임의적인 실험 값만을 활용하여 실험을 수행할 수 있다. 보편적인 실험 방법은 최대 분당 회전수를 200에 두고 50에서 시작하여 5씩 증가하면서 데이터를 측정하고 결과를 확인하는 것이다. 그리고 반드시 실험이 되어야 하는 회전수는 선박 최대 출력의 90%이다. 이것은 보통 해상에서 선박 운항이 주로 최대 엔진출력의 90%로 운항되기 때문이다. 그리고 진동 감시 자체에 목적을 맞춘다면 선급 규정에 의해 100Hz까지만 하면 되지만 계측기의 계측 시간을 고려하여 200Hz까지 측정해도 무방한 것으로 되어 있다.

실험을 위한 진동 발생기는 아래 Fig. 6과 같다.

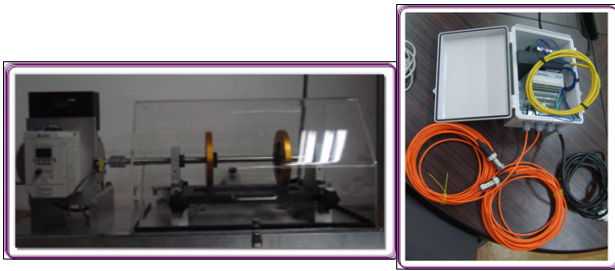


Fig. 6 Equipment for gathering vibration information

왼쪽 사진이 진동 발생을 위한 모터와 인위적인 고장 진동을 발생시킬 수 있는 축이 연결되어 있다. 오른쪽은 센서와 데이터 수집기의 사진이다. Fig. 6의 장비를 활용하여 진동을 발생시키고 분당 회전수를 50에서 측정 시작하여 5 식 증가시키면서 분당 회전수가 200에 도달할 때까지 측정하여 각각 10회의 사이클을 누적하여 평균화 한다. 이후 이를 기준 진동 정보로 데이터베이스에 저장하고 임의적인 고장 진동 파형 생성을 위해 축에 추를 설치하여 같은 방법으로 분당 회전수 50~200까지의 고장 진동 파형을 만든 다음 데이터베이스에 저장하였다. 그리고 실측 실험을 실시하였는데 이때 인위적 고장 진동을 유발하여 데이터베이스에 저장된 기준 진동 정보를 벗어났을 때 정확하게 인식을 할 수 있는지에 대한 실험과 벗어난 진동 정보가 어떤 고장 진동 파형인지를 인식할 수 있는지에 대해서 100회 식 실험하였다.

4.2 고장 진단 확률

고장인지 아닌지를 판단하는 확률은 실험을 통해서 아주 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 100회의 실험실 내 임의적 실험을 통해 결론을 내리기는 힘들지만 본 논문에서 사용하고 있는 이중화 비교 기법에 의해서 대부분의 고장 진동 파형은 필터링(Filtering)이 가능하다. 첫째는 아무 이상이 없는 정상적인 진동 정보를 하나의 사이클에서 측정하고 이 실험을 10회 반복하여 기준 진동 정보를 만들어 데이터베이스에 저장한다. 그리고 이것을 실측 진동 파형과 비교하는데, 실측 진동 파형의 경우 인위적인 고장 상태의 진동이 일어나도록 추를 회전체에 설치한 후 시행한다. 여기서 대부분의 값이 데이터베이스에 저장된 기준 진동 정보의 임계값을 벗어나기 때문에 고장으로 진단이 된다. 둘째로 프로그램 상에서 허용하는 기준 진동 정보의 임계값 내에서 진동 파형이 발생할 경우 이것이 고장이 아닌 것으로 판단될 수 있지만 국제적으로 선박의 진동 수준에 대한 허용 조건이 있기 때문에 실측 진동 정보와 국제 기준이 되는 진동 상한값과의 2차 비교를 수행한다. 만일 여기서도 조건을 만족하면 정상 진동 정보로 판단하게 되고 조건을 벗어나게 되면 고장 진동 정보로 판별하는데 이와 같은 이중화 비교를 통해서 고장의 유무 자체는 쉽게 판별할 수 있다. Fig. 7은 분당 회전수 50 에서 200까지 5 식 증가시키면서 각각 100회 실험한

후 고장의 유무만을 판별하는 실험의 결과를 정리한 것이다.

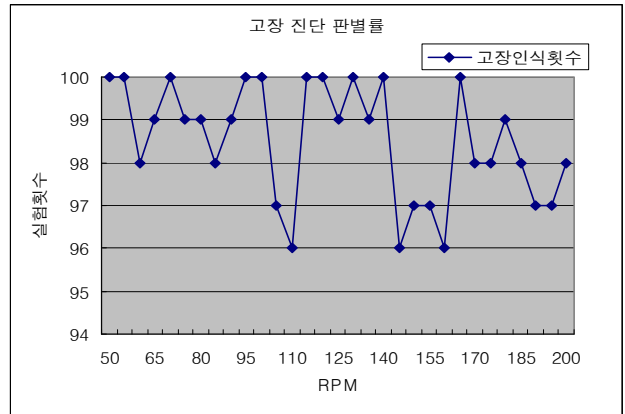


Fig. 7 Possibility of defect diagnosis

결과적으로는 100회 실험에서는 98% 이상 고장 유무는 판별할 수 있는 것으로 나타났다. 실험의 정확도와 진단 확률의 신뢰도 수준을 위해서 더 많은 횟수의 실험이 요구된다. 또한 선박에서 설계측이 필요하지만 시스템의 구현 형태와 알고리즘의 특성상 고장 유무 판별에는 높은 신뢰 수준을 가질 것으로 사료된다.

4.3 고장 진동 파형 감지 인식률

고장 진동 파형에 대한 감지는 앞서 언급한 것처럼 적분을 활용한 고장 진동 파형의 넓이 값을 활용하여 인식하도록 하였는데, 데이터베이스에 저장되어 있는 고장 진동 파형 넓이와 실측한 진동 파형의 넓이 값이 50% 이내에 들면 특정 고장 진동 파형으로 인식한다. 실측에서는 200%까지도 오차 범위를 인정하는데(양, 2006), 본 논문에서는 실험적 정확도를 위해서 더욱 작은 오차 범위를 사용하였다. 1차적인 기준 진동 정보와의 비교를 통해 임계치를 넘은 값들에 대해서만 고장 진동 파형의 종류를 감별하도록 하였는데 분당 회전수는 앞의 실험과 동일하게 하였고 실험 회수도 100회로 동일하다. 실험을 통한 인식률은 Fig. 8과 같이 나타났다.

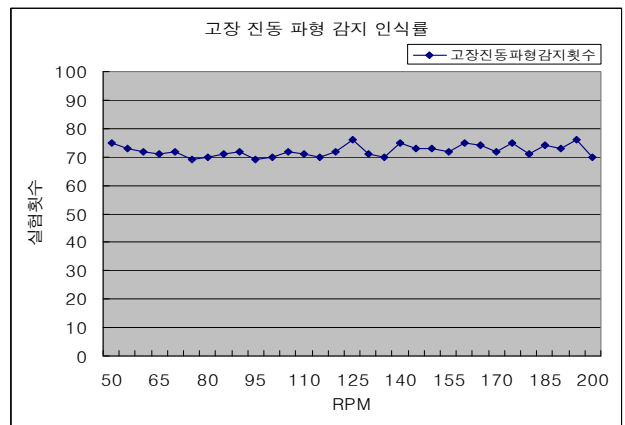


Fig. 8 Detection rate of fault vibration wave

저속의 분당 회전수인 50 에서는 고장 진동 파형을 인식하는 비율이 가장 높았는데, 이 속도에서는 파형의 모양과 샘플링한 정량화된 진동 값들이 크게 변화를 보이지 않는 구간이다. 따라서 오차 범위로 정한 50% 이내에서 대부분이 매칭되는 것으로 인식을 한다. 중간 분당 회전수인 125 에서는 진동 파형들이 고장일 경우 기준 진동 정보와 상당히 다르게 나타나며 또 어떤 부분에 추를 추가하여 고장 진동 파형을 유발했는지에 따라 파형의 모양이 상당히 다르게 나타난다. 기준 진동 정보에서 정해진 임계값을 넘어 고장이 분명한 상황인데도 데이터베이스에 저장시켜둔 고장 진동 파형과 일치하지 않는 것으로 감별되는 횟수가 24번 발생 하였다. 이것은 특정 유형의 고장으로 인식하지 못함을 의미한다. 그러나 진동 정보를 실측하면 이런 경우는 빈번하게 발생하며, 이러한 경우의 진동 파형 정보를 새로운 고장 진동 파형으로 인식한 후 데이터베이스에 저장하면 된다. 결과적으로는 같은 실험 조건에서 24번의 인식을 실패하였기 때문에 고장 진동 파형 감지 인식률은 76%이고 더 많은 횟수의 실험을 할 경우 인식률은 더욱 하락할 것으로 예상된다. 분당 회전수 200 에서의 결과도 분당 회전수가 100인 구간에서의 결과와 크게 다르지 않다. 진동 파형 자체의 변화도 심하고 따라서 적분에 의한 진동 파형의 넓이에도 큰 폭의 변화가 생기는 구간이다. 100회 실험에서는 감지 인식률이 72% 되는 것으로 나타났으나 실험 횟수를 증가 시키면 더 감소할 것으로 예상된다. 이유는 같은 조건에서 진동 정보를 실측하더라도 회전체의 상태나 기타 주변의 요인에 의해서 미세한 진동들이 포함되는 경우 적분을 통한 넓이로 고장 진동의 유형을 구분하면 넓이의 차가 50% 범위를 넘어서는 경우가 자주 발생하기 때문이다.

두 가지 실험에서 모두 많은 실험을 할 경우 인식률의 하락이 예상된다. 인식률의 정밀도를 높이기 위한 보완 기법으로는 첫째, 파형 비교 알고리즘을 더욱 정밀한 방식으로 개발해야 한다. 현재 고려하고 있는 것은 진동 데이터 사이의 기울기와 특정 샘플링한 데이터 사이의 거리값을 동시에 활용하여 일종의 지문 인식 기법과 유사하게 만드는 것이다. 이를 통해 고장 판별 및 인식 기법을 보다 정밀하게 만들 수 있다. 둘째, 진동 데이터의 충분한 수집이 요구된다. 진동 데이터에 대한 누적된 데이터베이스 정보가 충분할수록 정밀한 고장 판별, 고장 파형에 대한 유형의 구분이 정교해진다. 따라서 실측 데이터를 충분히 모으고 경우에 따라 판매되는 데이터, 조선소 등에서 지원 받을 수 있는 데이터를 충분히 수집하는 것으로 고장 감지 및 파형 감지 인식률을 상승시킬 수 있다.

4.4 구현 결과물

실험을 위해서 제작한 진동 정보를 표시하는 소프트웨어는 Fig. 9에 나타내었다. 기능적인 부분은 필요에 따라 아직 추가가 필요한 상태이지만 현재는 4개의 채널에서 1번 채널만을 활성화 시켜 진동 정보를 수집하고 있는 것을 Fig. 9를 통해서 확인할 수 있다.

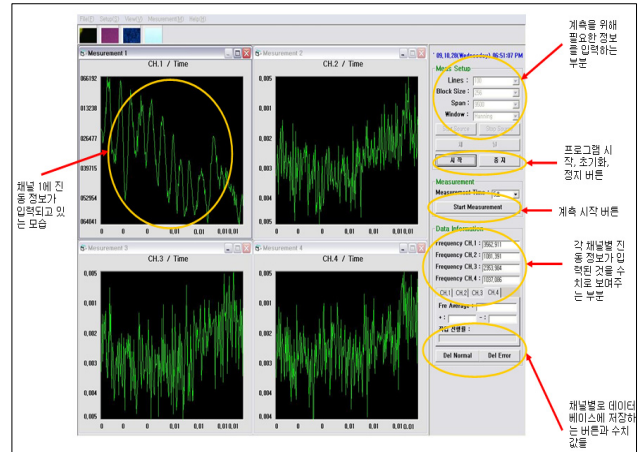


Fig. 9 Interface of program for detection vibration in formation

프로그램의 오른쪽 상단에는 필요한 수치값을 선택할 수 있도록 하였는데, 샘플링 주기와 시간, 진동 주파수 범위, 한 사이즈의 크기 등을 선택할 수 있다. 오른쪽 하단에는 채널에 들어오는 진동값을 가공 없이 그대로 출력하도록 하였다. 그리고 저장 버튼은 데이터베이스에 저장을 위한 것이며, Start 버튼은 프로그램의 초기화와 시작을 수행하고 Measurement 버튼은 실측을 시작하는 버튼이다. 필요에 따라 각 채널들은 활성화와 비활성화가 가능하며 화면상에서 삭제하거나 필요한 경우 채널들을 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 대비하여 구현하였다.

5. 결 론

현재 진동 정보를 통해 기계 설비의 상태나 고장 유무를 판단하는 연구들이 활발하게 진행 중이다. 그러나 현재까지는 주로 모니터링 수준과 고장 유무 정도를 판별하여 사용자에게 알리는 수준에 그치고 있다.

본 논문에서는 연구의 대상을 선박으로 하고, 고장 진단과 판별을 보다 정교하게 하여 선박의 안전한 항해와 엔진의 보존 및 고장에 대한 감지와 진단을 수행하는 시스템을 제안하였다. 이중화된 진동 정보 판별 기법을 도입하여 일차적으로 진동 정보를 확인한 후 고장 유무를 먼저 검사하고, 고장이 발생한 경우에는 적분을 도입하여 고장 진동 파형에 대한 넓이를 기준으로 어떤 유형의 고장인지를 판별할 수 있는 기법도 적용하였다. 또한 선박의 진동 경향 분석과 엔진 안전 보존을 목적으로 진동 정보를 데이터베이스에 저장하고 추적할 수 있도록 시스템을 구현하였다.

구현된 제안 시스템을 진동 생성기를 통해 고장 판별 유무와 고장 진동 파형 감별이라는 인자에 대해 간단한 확인 실험을 수행하였고 고장 판별 유무에서는 약 98% 이상의 정확도를, 고장 진동 파형 감별에서는 72%의 정확도를 가짐을 확인하였다. 그리고 구현된 시스템의 소프트웨어에 대해서도 간략하게 언급

하였다. 제안한 시스템은 중소형 선박을 대상으로 최적화 가능하며 간단한 하드웨어 구조를 가지고 있어 언제든 탑재가 가능하다.

향후 최우선적으로 선박에서 진동 정보를 실측하여 제안 시스템의 신뢰성을 확인하는 것과 적용된 알고리즘들의 신뢰성, 속도, 최적화 작업 등을 수행할 예정이다.

공동학술대회 논문집, pp. 860~863.

[14] 한학용(2005), 패턴인식개론, 한빛미디어.

원고접수일 : 2009년 11월 25일

심사완료일 : 2009년 12월 21일

원고채택일 : 2009년 12월 22일

후 기

본 논문은 (재)부산정보산업진흥원의 지역SW특화육성지원사업(과제명 “진동감지에 의한 선박엔진 진단 시스템 개발”)의 지원으로 작성되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 김상환, 김지근, 이돈출, 장석기 (2003), “디젤엔진의 비틀림 진동 모니터링 시스템에 관한 연구”, 한국마린엔지니어링학회, 한국마린엔지니어링학회 학술대회 논문집, pp. 197~204.
- [2] 김창구, 홍성호, 기석호, 기창두 (2000), “Windows NT 기반의 회전 기계 진동 모니터링 시스템 개발”, 한국정밀공학회, 한국정밀공학회지, 제17권, 제7호, pp. 98~105.
- [3] 김태환, 양광모, 최성희, 강경식 (2005), “사전예방을 위한 설비안전정보시스템 개발”, 대한안전경영과학회지, 제7권, 제2호.
- [4] 남택근, 이돈출, 노영오 (2008), “선박의 진동 계측 프로그램 개발에 관한 연구”, 한국마린엔지니어링학회, 한국엔지니어링학회 학술대회 논문집, pp. 73~74.
- [5] 박성규, 심민석, 이현영, 이명재 (2003), “FFT 알고리즘을 이용한 장비 예지보전 전문가 시스템의 설계”, 한국정보과학회, 한국정보과학회 학술발표논문집, 제30권 제2호, pp. 514~516.
- [6] 심민찬, 양보석(2006), “회전 기계 상태 감시용 무선 계측 시스템의 개발”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 121~125.
- [7] 양보석(2006), 기계설비의 진동 상태 감시 및 진단, 인터뷰전.
- [8] 오일석(2008), 패턴인식, 교보문고.
- [9] 윤석준, 강현주(2000), “실시간 시뮬레이션용 데이터 검색 알고리즘의 검색속도에 대한 연구”, 대한항공우주학회지, 제28권, 제1호, pp. 126~132.
- [10] 이광용, 배승현, 이양민, 이재기(2009), “중소형 선박의 엔진에 대한 진동을 통한 고장 감지 시스템 개발”, 한국정보처리학회 춘계학술발표대회 논문집, 제16권, 제1호, pp. 128~131.
- [11] 이형규(1997), 선박 진동·소음 제어 지침, 한국선급.
- [12] 최행진(2003), 물리학자 푸리에와 고속 푸리에 변환, 교우사.
- [13] 한상인, 장중순(2001), “인터넷 기반의 설비 모니터링 및 제어 시스템 개발”, 한국경영과학회/대한산업공학회, 춘계