

# FFT 알고리즘을 이용한 장비 예지보전 전문가 시스템의 설계

박성규<sup>0\*</sup>, 심민석\* 이현영\*\* 이명재\*  
울산대학교 컴퓨터 정보통신 공학부\*, 울산대학교 전기 전자 정보시스템 공학부\*\*  
(icoddy<sup>0\*</sup>, sms\*, withlhy\*\*, ymj\*)@mail.ulsan.ac.kr

## Design of Condition Based Maintenance Expert System using FFT Algorithm

Sungkyu Park<sup>0\*</sup>, Minsuk Sim\*, Hyunyoung Lee\*\*, Myungjae Lee\*  
\* Dept. of Computer Engineering and Information Technology, University Of Ulsan  
\*\* Dept. of Electrical Engineering and Information System, University Of Ulsan

### 요 약

현재 많은 제조 업체들이 장비를 운영하는 중에 장비의 수명이나 이상으로 인한 고장으로 전체 작업 공정이 중단되어 큰 손실은 입은 많은 사례를 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 피해를 조금이나마 줄여 보고자 장비의 상태를 모니터링 및 분석하여 장비의 교체 시기 및 고장 의심 부분을 사용자에게 미리 알려주는 분석틀을 설계한다. 실제 장비의 적용 대상은 현대중공업 LNG 선박 제조의 크레인 전동기를 대상으로 하였다. 특히, 크레인에서 가장 중요하다고 할 수 있는 전동기의 진동 데이터를 파형(Wavelet)화 하고, 이것을 FFT(Fast Fourier Transform) 변환하여 이 두 형태를 분석해서 전동기의 이상 징후를 발견하는데 초점을 맞추었다. 향후 이러한 적용 사례를 활용하게 되면, 고가 장비의 갑작스러운 고장으로 인한 제조업체의 손실을 조금이라도 줄일 수 있을 것으로 본다.

### 1. 서론

현재 많은 제조 업체들이 보다 나은 고부가 제품을 생산해감에 따라 장비 역시 점점 고가의 장비가 도입되고 있다. 하지만, 이 장비의 고장은 곧바로 작업 공정의 중단과 함께 막대한 손실을 가져오게 된다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 장비의 수명이나 고장을 미리 예측하여 필요한 부품을 사전에 구비하거나 장비의 교체 시기를 판단할 수 있다면 생산 공정의 최소 중단으로 생산 효율을 극대화시킬 수 있을 것으로 예상된다.

지금까지의 장비 관련 소프트웨어의 연구 내용은 장비의 동작을 제어하거나 모니터링하는 것에 초점을 맞추고 있다. 따라서, 본 논문에서는 장비의 상태를 모니터링 및 분석하여 교체시기 및 장비의 이상 징후를 판단하여 사용자에게 알려주는 전문가 시스템(Expert System)[1]을 설계한다.

본 논문에서는 시스템의 적용 대상을 현대중공업 LNG 선박부의 크레인으로 선정하였는데, 이것은 크레인이 고가의 제품 이면서 대부분 10년 이상의 노화된 장비이기 때문이다. 특히, 크레인의 모든 움직임을 담당하는 가장 중요한 부품인 권선형 유도 전동기에 초점을 맞추었다. 그리고 이러한 전동기의 상태를 분석하기 위한 데이터로 진동을 사용한다. 하지만, 지금까지 일반적인 진동 데이터의 분석은 전문가의 지식을 요구함으로써 일반 장비의 관리자나 사용자에게 어렵게 다가왔다. 따라서, 시스템의 설계에서 전문가가 행하던 분석 및 해결의 과정을 컴퓨터를 이용하여 처리하는 전문가 시스템의 적용은 당연한 과제이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 1 장 서론에 이어 제 2 장에서는 관련 연구 및 연구범위를 서술한다. 그리고 제 3 장에서는 시스템의 물리적 구성, 제 4 장에서 시스템의 설계를 설명한다. 마지막으로 제 5장에서 결론 및 향후 연구 방향에 대해 언급한다.

본 연구는 한국과학재단 지정 울산대학교 네트워크 기반 자동화 연구센터의 지원에 의해 이루어졌습니다.

### 2. 관련 연구 및 연구 범위

본 논문에서는 크레인 장비의 전동기 부분을 주 관찰 대상으로 한다. 대부분의 장비들에서 가장 중요한 핵심 부품 중의 하나가 전동기임을 고려해볼 때 적용 범위는 광범위할 것으로 예상된다. 전동기에서 발생하는 신호 중 특히, 진동 데이터를 대상으로 함으로써 전동기에 설치된 센서로부터 얻어진 진동데이터의 FFT(Fast Fourier Transform)[2] 변환을 통해 쉽게 데이터 분석을 할 수 있다. 전동기에서 발생하는 진동이나 소음신호를 요소 주파수 형태로 나타낼 수 있는 FFT와 관련된 연구는 많이 있어 왔다. 하지만, 기존의 소프트웨어들은 파형(Wavelet) 형태의 데이터나 FFT 변환 형태의 데이터를 그래프 형식으로 보여주고 장비의 상태 분석은 전문가의 직접적인 판단으로 이루어져 왔다. 장비를 다루고 있거나 단순 관리를 하는 사람들은 장비 자체에 대한 전문지식을 갖추고 있을지라도 이러한 진동 데이터를 분석할 수 있는 능력이 부족하다는 문제점을 가지고 있고, 이러한 진동 데이터 분석 전문가 인력의 부족 역시, 전문가 시스템을 도입하게 된 계기가 되었다.

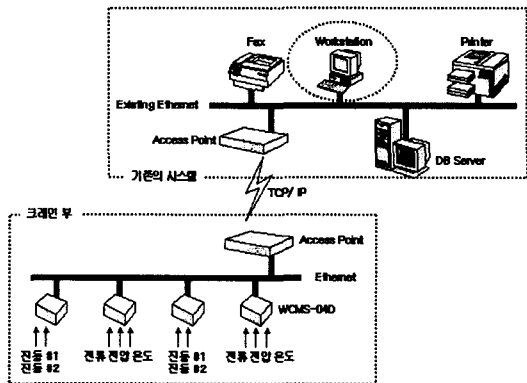
이에 본 논문에서는 전동기의 특성을 고려해 FFT 알고리즘을 활용해 전동기의 상태를 분석하여 교체시기나 이상 여부를 이 시스템 사용자에게 통보해주는 예지 보전(CBM : Condition-Based Maintenance)[3] 전문가 시스템을 목적으로 한다.

예지 보전을 위한 어플리케이션의 필수 요소는 실시간으로 장비의 성능을 모니터링하여 얻어지는 데이터와 측정 값들이다. 작업 상태의 지속적인 수집과 분석은 비정상 상태를 바로 수정할 수 있도록 도와준다. 다음 절에서는 FFT 알고리즘을 이용한 장비 예지보전 전문가 시스템의 전체 구성과 설계 과정을 살펴 보도록 하겠다.

### 3. 시스템의 물리적 구성

시스템의 전체 하드웨어적인 구성은 다음 <그림 1>과 같이 구성되어 전동기에 설치된 센서로부터 얻는 진동 정보와 부가적인 정보인 전류, 전압, 온도 데이터를 수집하여 장비의 상태를 모니터링 및 분석하게 된다. 데이터의 수집은 관리 정책에 의해

조절이 가능하다. 그리고 이러한 데이터는 장기간에 걸쳐 축적되고 경향 분석에 활용된다.



<그림 1> 예지보전 시스템의 Hardware 구성도

특히, 여기서 중요한 점은 크레인이 움직이는 장비라는 특성 때문에 유선 네트워크를 통한 데이터 수집이 사실상 어렵다. 따라서 이 시스템에는 무선 네트워크가 도입된다. 즉, 센서에서 수집된 데이터는 무선으로 서버쪽에 전송된다. 이 무선 LAN(Local Area Network)의 또 다른 장점으로 사용자의 무선 네트워크 가능한 PDA(Personal Digital Assistants)의 사용을 일반화 하여 현장 어디에서든 현재의 장비 상태를 모니터링 및 점검할 수 있게 한다.

<그림 1>에서 보는 것과 같이 움직이는 크레인 내부에서 구성된 센서와 센서 데이터를 취득하는 장비는 하나의 독립된 네트워크로 구성된다. 그리고 그 네트워크는 액세스 포인트(Access Point)를 통해 서버가 속해있는 기존의 네트워크와 연결된다. 서버가 속해 있는 네트워크에는 기존의 다양한 시스템들로 구성되어 있다. 기존의 시스템은 데이터베이스 서버와 각종 클라이언트 시스템들 그리고 프린터로 이미 구성되어 있다.

상태 감시 대상이 되는 장비는 크레인의 전동기, 기어 박스와 전원부이다. 여기서 측정되는 데이터는 전동기와 기어 박스의 진동 각각 2개와 전원부의 전류, 전압, 온도 각각 1개이다. 특히, 전동기와 기어 박스의 진동 센서의 부착 위치가 중요한데, 이유는 수직과 수평 방향의 두개를 설치함으로써 측정치의 오차를 최대한 줄여야 하기 때문이다. 이러한 센서로부터 획득된 자료는 오토시스사의 WCMS-04D[4] 라는 장비에서 TCP/IP를 통해 전송 가능하게 된다. 이 장비는 4개의 아날로그 입력 값을 받을 수 있고 디지털 값으로 변환하는 역할도 같이 하게 된다.

통신 프로토콜은 TCP/IP를 사용함으로써 차후 웹 기반의 시스템으로 확장이 용이하도록 하였다. 또한, 이 전문가 시스템은 데이터베이스 서버와 연결되어 센서로부터 수집한 정보들을 데이터베이스 서버에 주기적으로 저장하는 역할도 한다.

#### 4. 시스템의 설계

먼저 이 시스템의 동작 원리를 이해하기 위해서는 FFT 알고리즘의 이해가 필수적인데, 이 알고리즘이 필요한 이유는 단순히 전동기나 기어 박스의 진동을 파형(Wavelet) 형태로 판단하기에는 많은 어려운 점을 가지고 있기 때문이다. 즉, FFT 변환을 통해 전동기 진동의 요소 주파수중 자기 회전 주파수[5]의 크기와 경향분석을 통해 전동기의 이상 징후를 쉽게 발견할 수 있다는 것이다.

이러한 전동기의 이상은 여러 가지가 있겠지만, 대표적인 이

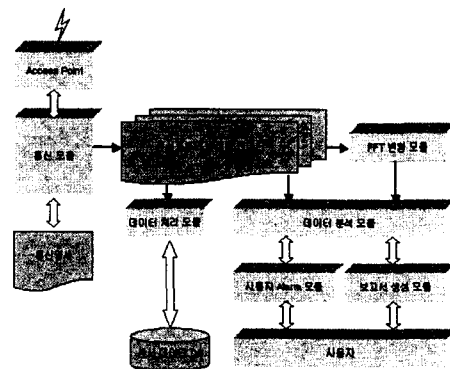
상으로 Misalignment, Bent Shaft, Cracked Shaft, Eccentricity, Open Rotor Bars, Partial Rubs, Looseness, Resonance 등[6][7][8]이 있다.

#### 4.1 FFT(Fast Fourier Transform)

1965년 Cooley와 Tukey에 의해 이산 푸리에(Fourier) 변환(DFT)을 효과적으로 계산할 수 있는 알고리즘이 개발되었으며 DFT계산시의 반복계산을 제거하여 고속으로 계산할 수 있는 알고리즘이다. FFT는 주어진 유한 데이터 점들의 세트, 즉 예를 들어 실제 신호로부터 주기적으로 얻어지는 견본들을 그 요소 주파수들의 형태로 표현한다.

이것은 또한 정확하게 반대인 주파수 데이터로부터 신호를 재구성하는 문제도 해결하고 있다.

#### 4.2 구성 모듈들



<그림 2> 예지보전 시스템의 Software 구성도

이 시스템은 모두 6개의 모듈로 구성되어 있는데, 각각의 모듈별 운영은 <그림 2>에서 보는 것과 같이 상호 의존적인 측면이 있다.

##### 4.2.1 통신 모듈

통신 명세에서 정보를 읽어와 통신 규칙에 따라 센서로부터 데이터를 획득한다. TCP/IP 통신을 위해 소켓(Socket)을 포함하고 있다. 그리고 이 통신모듈에서 실제적인 진동 데이터를 생성하는 작업을 하는데, 센서로부터 수집된 데이터가 완성되면 데이터 처리 모듈과 FFT 변환 모듈, 데이터 분석 모듈이 동작하게 된다.

##### 4.2.2 데이터 처리 모듈

데이터 처리 모듈이 하는 작업은 단순하다. 센서로부터 수집한 데이터를 적절히 가공하여 데이터베이스 서버에 저장한다. 데이터의 저장 형식은 확장성을 고려해 XML(eXtensible Markup Language)[9] 형태로 저장한다.

##### 4.2.3 FFT 변환 모듈

센서로부터 수집된 데이터는 파형(Wavelet) 형태로 나타낼 수 있는 가공하지 않은 데이터이다. FFT 변환 모듈은 이 가공하지 않은 데이터를 FFT 알고리즘을 이용해 요소 주파수들의 형태로 변환한다.

##### 4.2.4 데이터 분석 모듈

가공하지 않은 데이터와 FFT 변환 데이터를 입력 값으로 받아 장비의 이상유무를 분석한다. 이 때 중요한 것이 자기 회전 주파수들인 1X, 2X, 3X... 값들을 추출하여 이상 원인을 찾아내야 하는데, 이러한 전문가적 지식은 이 전문가 시스템의

주요 요소로 자리잡고 있다.

4.2.5 사용자 Alarm 모듈

긴급을 요하는 사항일 경우 사용자에게 경고나 알람을 한다. 여기에는 PDA 사용자를 위한 소켓이 포함되어 있다.

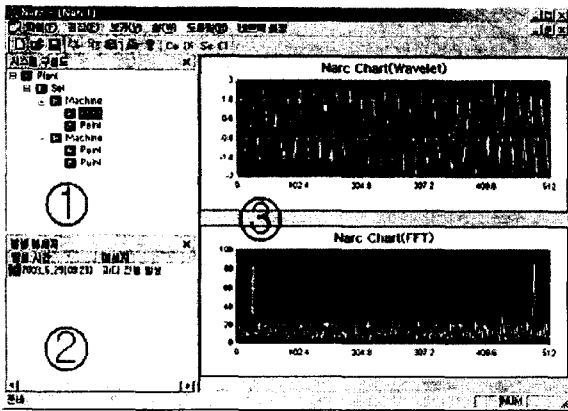
4.2.6 보고서 생성 모듈

사용자에게 보기 쉬운 그래프 형태의 차트나 테이블 형태의 보고서를 생성하여 보여준다. 이 시스템의 사용자는 주파수 분석에 대한 전문적인 지식을 가지고 있지 않음을 고려해 단순히 보여주는 역할이 아닌, 데이터의 분석 내용을 같이 보여주어야 한다.

4.3 사용자 인터페이스

어플리케이션의 사용자 인터페이스는 크게 플랜트의 구조와 발생 이벤트 리스트, 그리고 각 센서를 나타내는 포인트별로 수집된 데이터의 파형(Wavelet)과 FFT 변환 형태를 하나의 화면에 나타내는 것을 기본으로 하고 있다.

다음 <그림 3>은 이 시스템의 기본적인 인터페이스를 보여주고 있다.



<그림 3> 실제 구현 시스템의 한 예

어플리케이션의 ①부분은 플랜트 구성을 나타내는 트리 창과 발생 사건이 기록되는 리스트 창으로 구성되어 있는데, 특히 시스템 구성은 플랜트(Plant), 세트(Set), 장비(Machine), 측정 포인트(Point) 등 네 개의 트리 구조로 구성된다. 이것은 가장 일반적인 구분으로 대부분의 다른 플랜트에 적용될 경우 별도의 수정 없이 적용될 수 있다. 트리 창 바로 밑의 ②부분은 이벤트 목록을 나타낸다. 사용자는 이벤트 창을 이용하여 현재 시스템의 이상 징후나 현재 장비의 상태를 알 수 있다. 마지막으로 사용자 인터페이스의 ③부분은 센서로부터 수집된 데이터를 그래프로 보여주거나 데이터의 분석을 통해 보고서 형식으로 보여 주게 된다.

마지막으로, 시스템의 확장성을 위해 이 시스템에서는 가능한 모든 정보를 XML로 관리하도록 하였다. 전체 플랜트의 구성에서부터 주고받는 데이터의 정보, 진동의 샘플링 비율(Sampling Rate)과 전체 길이 프레임의 개수까지 이 시스템에 필요한 대부분의 정보가 모두 이 XML 구성 파일에서 조정이 가능하다. 이것은 다른 플랜트에 적용할 경우 이 설정 파일(XML Configuration)의 수정만으로도 충분하도록 디자인 되어 많은 장점을 가지게 된다.

다음 <예 1>에서는 설정 파일의 한 예를 보여주고 있다.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<System>
  <Plant name="Hyundai_NARC">
    <Set name="LNG1" comment="narc and hyundai">
      <Machine name="Motor #1">
        <Point name="sensor #1">
          </Point>
        ...
      </Machine>
      ...
    </Set>
  </Plant>
  <Configuration>
    <Option>
      <Frame number="1024">
        </Frame>
      ...
    </Option>
  </Configuration>
</System>
```

<예 1> XML Configuration 파일

5. 결론 및 향후 연구 방향

지금까지 본 논문에서 제시한 FFT 알고리즘을 이용한 예제 보진 전문가 시스템의 설계과정을 살펴보았다. 그리고 이 시스템은 현재 현대중공업과 협의 하에 개발 진행 중에 있다.

FFT는 상황에 대해 단순, 직접적이고 명쾌한 진단이 가능하다는 장점이 있다. 이 FFT 알고리즘을 이용하여 전동기의 이상 진동을 분석하기 위해 파형(Wavelet)과 FFT 분석 두 가지를 사용하지만, 아직까지는 그러한 자기 회전 주파수와 같은 정보만으로는 전동기의 고장 부위를 좀 더 세부적으로 정확히 알 수 없다는 단점이 제기되고 있다.

앞으로, 좀더 세부적인 전동기의 이상 징후에 대한 연구와 본 논문에서 제시한 전문가 시스템의 현장 유용성의 검증이 필요하다.

참고 문헌

- [1] Yu Qian, Xiuxi Li, Yanrong Jiang, Yanqin Wen, An expert system for real-time fault diagnosis of complex chemical processes, Elsevier Science, Expert Systems with Application, 425~432, 2003.
- [2] Cooley, J. W. and J. W. Tukey, An algorithm for the machine calculation of complex fourier series, Math. Comp., Vol. 19, pp. 297~301, 1965.
- [3] M.Bevilacqua, M.Braglia, The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection, Elsevier Science, March 2000.
- [4] Autosys, <http://www.autosys.co.kr>
- [5] T. Ohtani, N. Takada and K.Tanaka, Vector control of induction motor without shaft encoder, IEEE Trans. On IA, vol. 28,no. 1, pp. 157-164, 1992.
- [6] subhasis Nandi, condition monitoring and fault diagnosis of electrical machines - A review, IEEE,1999
- [7] YE Zhongming and WU Bin, A review on induction motor online fault dianosis, IEEE, 1998
- [8] William R.Finley, An analytical approach to solving motor vibration problems, IEEE,1999
- [9] W3C, Extensible Markup Language (XML) 1.0, <http://www.w3.org/XML>, Feb. 1998.