

# 화력발전 설비의 사운드 모니터링 시스템

이성상, 정의필, 손창호  
울산대학교 컴퓨터·정보통신공학부

## Sound Detection System of Machines in Thermal Power Plant.

Sung-Sang Lee, Ui-Pil Chong, and Chang-Ho Sohn  
School of Computer Engineering and Information Technology,  
University of Ulsan

### 요약

발전소에서 운전중인 기계들의 안전운전과 예지 보전을 위하여 발전설비의 고장 감지 및 진단과 상태 모니터링은 중대한 역할을 담당하고 있다. 이 연구에서는 설비의 안전하고 신뢰적인 운전을 위한 기계의 작동상태를 사운드 정보로 획득하고 분석하는 시스템을 제안하였다. 사운드 정보의 사용은 적은 양의 채널의 사용으로 많은 기계 및 설비의 이상 유무의 판별을 가능케 하며, 이를 획득하기 위하여 3개의 마이크로폰, 다채널 A/D변환기, 다채널 I/O Sound Card(SoundTrack DSP24) 및 PC로 시스템을 구성하였다. 소프트웨어 개발언어로서 Microsoft Visual C++ 및 MATLAB을 이용하였다. 화력 발전소에 운전중인 주요기계들의 사운드 정보를 취득하여 취득한 기계별 사운드 정보를 이용하여 주파수 특성을 파악하고, 이를 이용하여 기기의 운전 상태진단을 가능하게 한다.

### I. 서론

화력발전 설비의 고장 감지 및 진단은 중대한 역할을 담당하고 있다. 고장이 일어날 경우, 그 기계 자체에 손실을 줄 뿐 아니라 전체공정의 중단 등 전체 시스템에 영향을 줌으로써 막대한 경제적 손실을 가져올 수 있다. 전기 에너지를 공급하는 전력설비를 운전, 유지 및 정비 측면에서 높은 신뢰성을 만족시키기 위해서는 기술적인 진단, 등을 통하여 전력설비의 상태를 정확하게 파악하고 많은 설비를 효율적, 경제적으로 관리할 수 있는 체제를 구축하여야 한다[1]. 이러한 시스템의 이상 감지를 위해 상태 모니터링이 사용되며, 이상이 발견되었을 때 고장의 원인을 분석하고 적절한 조치를 계획하기 위한 이상 진단 과정이 따르게 된다[2].

현재, 상태 모니터링에 사용되어지는 데이터는 유량, 온도, 압력, 진동계 등이 사용되고 있으며, 특히 진동신호의 해석을 통한 회전기계의 상태 모니터링 및 고장진단은 많은 연구를 통해 개발되어져 왔다[3-7].

본 논문에서는 사운드 데이터의 정보를 통한 상태 모니터링 시스템을 구성하였다. 진동데이터로 상태를 모니터링 할 경우 하나의 센서로 하나의 장비만 체크할 수 있는 제한사항이 존재한다. 하지만 사운드 정보를 이용할 경우 몇 개의 측정 장비만을 이용하여 다수의 장비를 모니터링 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한 설비의 주변의 비 정상음(오일의 누수, 가스 배관의 누수 등)의 발생할 때에도 하나의 시스템을 이용하여 모니터링 가능하다는 장점을 가지고 있다.

설비의 전문가는 공장 내에서 발생하는 소리를 듣고도 어디의 어떤 기계가 무슨 고장을 발생되었다는 것을 예측 할 수 있다. 이러한 인간의 전문가적인 판단과정을 시스템에 적용시키는 것을 전문가 시스템이라 하며, 이 전문가 시스템을 이용하여 일반 사용자도 전문가처럼 예측하고 판단 할 수 있게 한다. 본 연구에서 제안한 사운드 모니터링 시스템을 이용하여 전문가 시스템에 적용시킬 경우 더 향상된 고장 감지 및 진단을 수행할 수 있다[8].

### II. 사운드 데이터의 취득

#### 2.1 화력 발전 설비

그림 1은 화력발전소의 개략적인 동작상태를 설명하고 있다. Steam Generator에서 만들어진 Steam은 Turbine을 회전시킨다. Turbine에 직접연결 된 Generator에서 회전 에너지를 전기에너지로 주 변압기를 거쳐 송전된다. Turbine을 회전시키고 난 후의 Steam은 Condenser에 전달되고, 해수에 의하여 냉각되어 Feed Water Pump로 전달된다. Feed Water Pump에서 고압의 급수로 만들어 Heat Exchanger를 거쳐 급수 온도를 높여서 Steam Generator에 전달된다.

이러한 주요기계설비에서의 사운드를 취득하여 특징점을 추출하여 데이터 베이스화 시키고 이를 이용하여 상태 모니터링 및 고장진단에 이용하여야 한다.

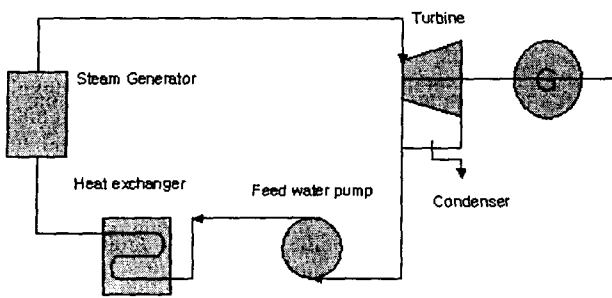


그림 1. 화력발전소의 개략적인 모형

2.2 사운드 모니터링 시스템

사운드 모니터링 시스템은 그림 2에서 보는 것과 같이 센서로는 3개의 지향성 마이크로폰과 A/D 컨버터로는 4channel(stereo input) AD converter 그리고 인터페이스로는 Multi-channel input sound card, 그리고 PC로 구성되어 있다. 3개의 마이크로폰으로 사운드를 감지하고 A/D 컨버터를 통하여 Digital값으로 변환한 후 3개의 마이크로폰으로 들어온 신호를 각각 다른 채널을 통하여 입력받기 위해 여러 개의 입력 채널을 소유한 사운드 카드를 통하여 프로세서에 전달하게 된다.

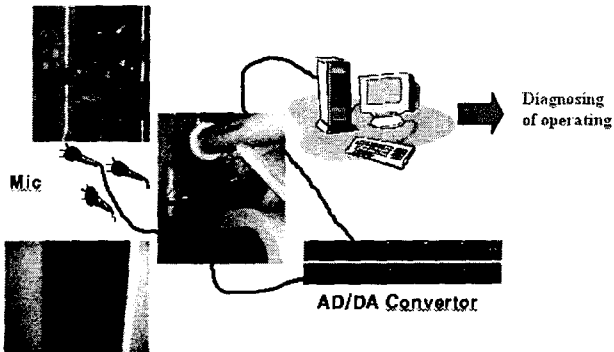


그림 2. 사운드 모니터링 시스템의 구성

각 구성요소에 사용된 기기의 사양은 다음과 같다

- 마이크로폰 : AKG C1000s, 지향성  
50Hz~20KHz의 Frequency Range  
감도 6 mV/Pa (-45 dBV)
- A/D Converter : ADC III  
8 input(모노) 아날로그입력  
120dB 다이내믹레인지, 24bit, 96KHz
- Sound Card(interface) : Hoontech SoundTrack DSP24  
10채널 아날로그 입력  
최대 96KHz의 Sampling rate

2.3 입력신호의 채널 세팅

각각의 마이크로폰에서 감지된 사운드 신호는 각각 다른 채널을 통하여 PC로 전달되고 각각 다른 프로세스(Thread)로 처리되어진다. 그러기 위해선 우선 A/D

Converter와 Sound Card간의 Setting을 해 주어야 하며 이것은 External Link 프로그램을 이용하여 Channel을 Setting할 수 있다. 그림3에서는 3개의 채널을 세팅하는 예를 보이고 있다.

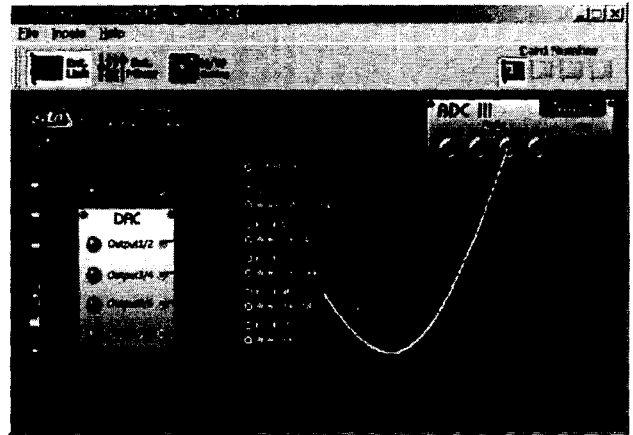


그림 3. A/D converter와 Sound Card간의 채널세팅

2.4 실시간 모니터링 프로그램

사운드 모니터링 프로그램은 Visual C++로 프로그래밍 되어져 있으며, 이 프로그램은 그림 4에서와 같이 MFC(Microsoft Foundation Class)의 기본적인 Class를 제외한 총 3개의 Class로 구성되어 있다.

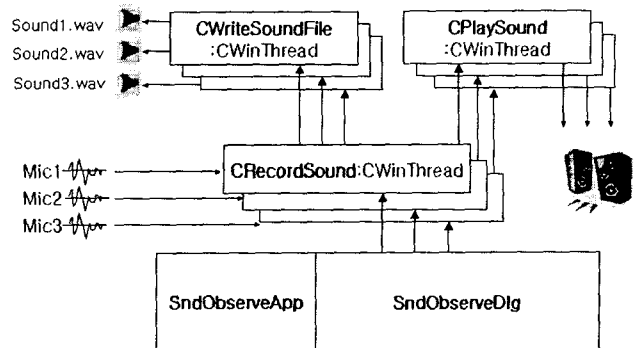


그림 4. 사운드 모니터링 프로그램 구조

첫째, CRecordSound 역할은 각각의 채널로 전달된 사운드 데이터를 입력으로 받아들이고 그 신호를 저장하기 위한 클래스와 프로세싱 하기 위한 클래스로 전달하는 역할을 담당한다.

둘째, CWriteSoundFile Class은 실시간으로 입력받은 신호를 Wave File로 저장하는 클래스이다.

셋째, CPlaySound Class는 데이터를 사운드카드의 출력으로 전달하여 소리를 들려주는 역할 및 신호의 처리를 담당하는 클래스이다.

2.5 화력발전소의 Sample 사운드의 취득

화력발전소에서 설비의 운전상태를 사운드 모니터링 시스템을 사용하여 사운드를 저장하고 테스트하였다. 저장

하는 Wave File은 Mono, 16Bit, 44,100 Sampling rate의 Format으로 저장하였으며, Sample Sound는 화력발전설비의 주요 기계인 터빈과 발전기, 보일러 급수 펌프, 여자기 및 공기 압축기, 등의 근처에서 측정되어 졌다. 각 기계별로 2분간의 데이터를 취득하였으며 각 파일은 10M byte정도의 크기로 저장되었다.

2.6. 사운드 데이터의 분석

Sample 사운드 데이터의 분석은 MATLAB을 이용하였으며, 각 기계별 주파수 특성을 비롯한 신호의 특성을 찾아내는 과정 중에 있다. 그림5와 그림6에서는 발전기와 공기 압축기의 취득된 사운드의 주파수 응답 예를 보이고 있다. 전체 데이터 중 10초간의 데이터(441000sample)를 FFT[9]하여 저주파수 대역의 주파수 응답특성을 보이는 그래프이다.

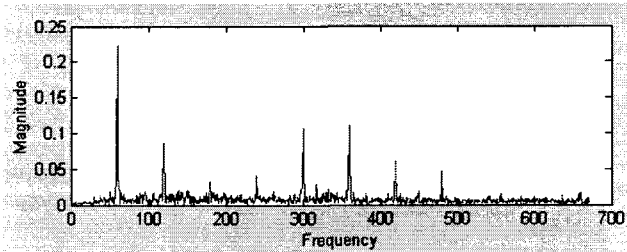


그림 5. 발전기의 주파수 특성

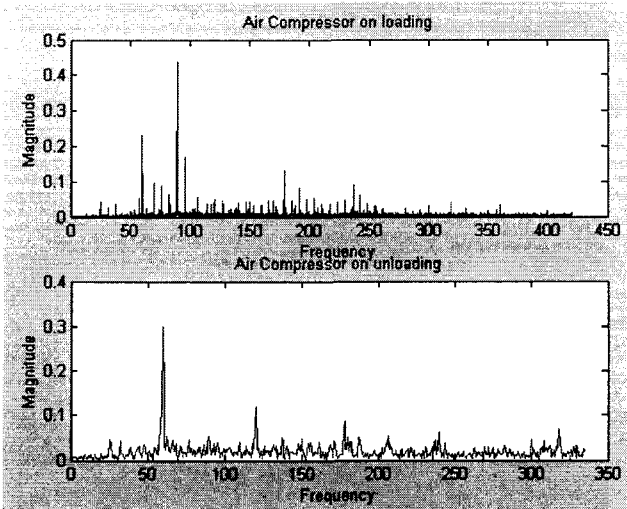


그림 6. 압축기의 loading, unloading상태의 주파수 특성

발전기는 모터의 회전주파수인 60Hz의 고유주파수 특성을 보이는 것을 알 수 있다. 또한 그림6에서 보이는 압축기의 경우 loading 상태일 경우와 unloading 상태에서의 주파수 특성의 차이를 알 수 있다. loading 상태일 경우에는 60Hz의 고유진동주파수 이외에 90Hz와 또 다른 주파수 대역에서 주파수 응답을 찾을 수 있으며, unloading 상태일 경우에는 60Hz의 고유주파수 응답만을 나타내는

차이를 볼 수 있다.

III. Advanced 사운드 모니터링 시스템

3.1 사운드 모니터링 시스템의 보완

사운드를 이용한 모니터링의 장점은 적은 수의 채널로 많은 수의 장비를 측정할 수 있다는 것과 장비뿐 아니라 장비 주변의 설비의 이상 유무까지도 모니터링 할 수 있다는 것이다. 하지만 사운드의 데이터만을 이용하여 주변의 상태의 이상 유무를 진단하기에는 정보가 부족하다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 Video 데이터를 이용할 수 있다.

3.2 Advanced 모니터링 시스템

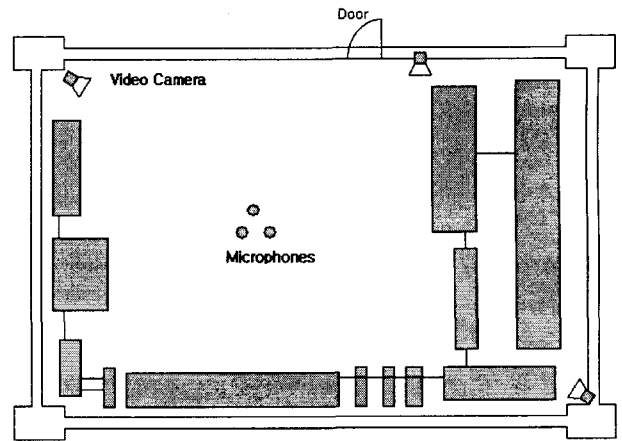


그림 7. Advanced 모니터링 시스템의 배치도

그림 7은 본 연구에서 제안한 사운드 모니터링을 위한 3개의 마이크폰을 중앙에 위치시키고 Camera(Web camera)를 추가하여 운전기기의 정보뿐만 아니라 장비 주변의 정보를 동영상을 통하여 원격으로 확인 할 수 있는 시스템이다.

IV 결론

화력발전설비의 상태 모니터링 및 고장진단을 위한 사운드 모니터링 시스템을 제안하였다. 그리고 사운드의 Sample을 취득하여 분석하였다.

향후 연구계획으로 다음과 같이 3가지를 고려하고 있다. 첫째, 각 기계별 사운드 데이터로부터 특징점을 찾아서 데이터 베이스화 시키고, 분석 방법을 결정하고 둘째, 여러 장비 및 설비의 합쳐진 사운드에서 문제가 발생한 장비의 신호를 분리하는 방법을 찾아내고 마지막으로, 신경망을 비롯한 인공지능 기술을 이용하여 고장진단 시스템을 구축한 전문가 시스템을 개발 것이다.

사운드 데이터의 분석방법에 있어서는 스펙트럼 분석법,

레벨 감시법, 경향 분석법, 통계적 분석법 등이 있는데 실험을 통하여 알맞은 방법을 채택할 것이다. 또한 사운드의 정보를 분리해 내는 방법으로는 3개의 마이크로폰에 도착하는 사운드의 시간의 차이와 장비별 주파수 특징을 이용하여 구별 할 수 있을 것으로 보인다. 또한 신경망을 비롯한 인공지능 기술의 적용으로는 Fuzzy이론과 Probabilistic Descent method등의 기술을 접목시켜 진단하는 과정을 거칠 계획이다[10].

### 감사의 말씀

이 연구는 한국과학재단지정 울산대학교 네트워크 기반 자동화 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

### 참고문헌

- [1] 전영갑외, "전력설비사고예방 및 진단시스템개발", 한국전력공사, 1993
- [2] Minping Jia and R. Du, "Fault diagnosing of large rotating machinery using evolutionary spectrum", Proceedings of the ASME, Vol.8, pp. 103-111, 1998
- [3] 서동욱, "웨이블렛 분석을 이용한 회전기계 및 공구 상태 감지 및 진단연구",서강대학교, 2000
- [4] 장은구, "기계 설비 모니터링 시스템의 기술적 현황", 대한기계학회 '99동역학 및 제어부문 하계학술대회논문집, pp.105-110, 1999
- [5] Jiro Sumita, "A New Visual and Sound Monitoring System for Emergency Engine Generators", IEEE, 1998
- [6] Zerra, Esteve. Palau, Guerri, "Design and development of an industrial monitoring system using Windows NT as a real-time operating system", IEEE, 1999
- [7] Pan Xufeng, Geng Li'en, and Li xiaolei, "The research of automobile transmission system fault diagnosis based on vibration signal", Proceedings of the 9th International Pacific Conference on Automotive Engineering, Vol.2, pp.117-123, 1997
- [8] Hul L.G, Kay P, "Expert system development methodology and management", Proceedings of the IEEE/ACM International Conference, pp38-44, 1991
- [9] Alan V. Oppenheim, Ronald W. Schaffer "Discrete - Time Signal processing", PRENTICE HALL,
- [10] Hideyuki Watanabe, Yuji Matsumoto " Sound Monitoring Based On The Generalized Probabilistic Descent Method". IEEE 1998