

회전설비 상태 감시를 위한 DSP 기반의 무선 신호 처리 시스템 (I)

DSP Based Wireless Signal Processing System for Monitoring of Rotating Machinery Condition – Part (I)

*정홍정¹, #안중환², 김성렬³

*H. J. Jung¹, #J. W. Ahn(jhwahn@pusan.ac.kr)², S. R. Kim³

¹ 부산대학교 지능기계공학과, ² 부산대학교 기계공학부, ³ 한국생산기술연구원

Key words : Rotating Machinery Condition, Surveillance System, Vibration and AE Measurement, DSP, Wireless System

1. 서론

회전설비(Rotating Machinery)는 발전, 화학, 철강, 제지, 시멘트 등 전 산업 분야에서 가장 광범위하게 사용되는 설비로서 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 이러한 회전설비를 효율적으로 유지하고, 보전하기 위한 다양한 회전설비 상태(Rotating Machinery Condition) 감시 시스템들이 산업 현장에 적용되고 있다. 이런 감시 시스템은 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째, 온라인 시스템인 ‘보호 시스템(Protection System)’이다. 보호 시스템은 회전설비에 설치된 센서를 통하여 회전설비의 상태를 실시간으로 감시할 수 있어, 회전설비에 문제가 발생했을 경우 조기에 문제를 감지하고, 설비를 정지시켜 보호하는 역할을 한다. 두 번째는, 온라인 시스템인 ‘감시 시스템(Surveillance System)’이다. 감시 시스템 역시 회전설비에 설치된 센서를 통하여 회전설비의 상태를 주기적으로 감시하는 시스템으로서 회전설비의 문제를 조기에 감지하고 효율적인 수리 및 보전 일정을 세울 수 있도록 경향 데이터를 제공하는 시스템이다. 마지막으로, ‘휴대형 시스템(Portable System)’이다. 이 시스템은 보전 인원이 직접 회전설비에 접근하여 설비 상태를 주기적으로 일(日), 혹은 주 단위로 감시하는 시스템이다.

현재 산업 현장에 적용된 대부분의 회전 설비 감시 시스템은 회전설비에 센서를 설치 후 전선을 통하여 신호를 획득하는 유선 시스템이다. 하지만 공장의 규모가 클 경우 많은 전선의 사용 및 설치 작업으로 초기 설치비가 높게 나타나는 단점이 있다. 또한 움직이는 설비를 감시할 경우 유선 시스템을 적용할 수 없는 것이 또 다른 단점이다. 이러한 문제점의 발생과 최근 활발하게 연구되고 있는 무선(Wireless) 기술의 발전에 의해 산업 현장에 무선 감시 시스템을 적용하려는 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 회전설비 상태를 감시하기 위한 시스템으로서, 종래의 유선 시스템이 아닌 무선 기술을 적용한 DSP 기반의 무선 감시 시스템을 개발하고, 테스트하여 실제 설비에 적용해 보고자 한다.

2. 진동 & AE 신호 측정

회전설비의 상태를 나타내는 변수들에는 진동(Vibration), 음향(AE: Acoustic Emission), 온도, 공정 변수, 윤활 등 많은 것이 있다. 이 중에서 ‘진동’은 회전설비의 상태를 판단하는 가장 훌륭한 상태 변수로서, 특히 회전 축을 지지하는 구름 요소 베어링(Rolling Element Bearing)에 대한 진동을 측정함으로써 회전설비의 상태를 정확하게 평가할 수 있다. 그리고 ‘AE 신호 측정’은 회전설비의 상태를 평가할 때 진동 측정이 해결 할 수 없는 문제를 해결해 주는 변수이다. 이런 측면에서 진동 신호와 AE 신호를 동시에 측정하는 것은 다변수(Multi-Parameter)로서 회전설비의 상태를 다각도로 평가할 수 있게 한다.

2.1 진동 측정(Vibration Measurement)

회전설비에서의 베어링 진동을 측정하여 베어링 결함을 감지하는 기술은 오래 전부터 활발하게 연구되었다. 베어링 결함을 감지하는 기술 중 가장 뛰어난 기술은 베어링에

발생한 초기 결함 신호를 감지하는 기술로서 HFRT(High Frequency Resonance Technique)이다. 이 기술은 Envelope Detection, Demodulated Resonance Analysis 등의 다양한 용어로 사용되고 있다. 그러나 기본 개념은 다음과 같다. 베어링에 발생한 미세한 결함에, 구름요소가 통과할 때 발생하는 충격 힘이 베어링 고유 진동수를 가진(Excitation)시킨다. HERT는 이렇게 가진된 신호를 추출하여 신호처리(Signal Processing) 과정을 통한 후 나타내는 후처리 기술로서 Fig. 1의 순서를 가진다.

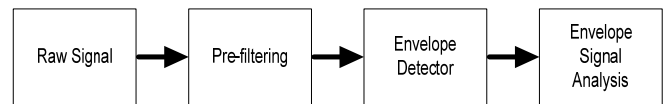


Fig. 1 Concept of the HFRT Process

이 기술은 1970 년대에 이미 개발되었으며 많은 알고리즘으로서 현재 산업 현장에서 이용되고 있다. 초기 개발 단계에서의 HFRT 기술은 신호 처리를 아날로그 회로에서 구현하였다. 그러나 오늘날에는 디지털 신호 처리 방법의 발전으로 인해 이 기술이 더욱 효율적으로 적용되고 있다. 또 특정 산업 분야에 맞는 새로운 HFRT 알고리즘을 개발하려는 연구가 지속적으로 진행되고 있다.

2.2 AE 측정(Acoustic Measurement)

AE 신호는 고체 내의 균열 및 미세 소성 변형 등으로 인해 생긴 탄성 에너지가 매질을 통해 탄성파(Elastic Wave) 형태로 전달되는 에너지 방출의 한 형태이다. 베어링에서의 AE 신호는 마찰되는 두 물체의 접촉에 의해 발생하며 미세 표면 돌기(Micro-Asperities)의 탄성 충돌, 국부적인 소성 및 파괴 등의 미세작용에 의해 일어나므로 아주 미세한 부분의 변화를 추출 할 수 있다. 이런 측면에서 AE 신호는 베어링에서의 초기 결함 발생 단계와 윤활의 오염 문제, 윤활 부족 문제, 과도한 동하중 등의 진동 신호 측정이 제공할 수 없는 베어링 상태의 최초 감지 변수로서 사용할 수 있다.

AE 신호를 측정하여 설비 상태를 평가하는 방법은 크게 ‘시간 도메인’과 ‘주파수 도메인’으로 나눌 수 있다. 시간 도메인은 또 다시 세부적으로 Ring Down Count, RMS 에너지 등으로 구분된다. Ring Down Count는 미리 설정된 기준 값을 넘는 AE 신호를 계산하는 것이며, RMS 에너지 신호는 아래 식에 따라 설정된 평균 시간내의 AE 신호 에너지를 계산하는 것이다.

$$AE_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\Delta T} \int_0^{\Delta T} (V(t))^2 dt}$$

여기서 V(t)는 AE 신호의 원 신호이며, Δ T는 AE RMS 값을 취하는 평균 시간을 나타낸다. 다음으로 주파수 도메인 분석은 AE 신호를 FFT 과정을 거친 후, 스펙트럼 그래프에서 나타나는 베어링 결함 주파수를 이용하여 설비 상태를 초기에 진단한다.

3. 무선 감시 시스템 개발

아래 Fig. 2는 DSP 기반의 무선 신호 처리 시스템에 대

한 기본 구성도이다. 무선 신호 처리 시스템은 AE 신호와 가속도 신호를 받아들이는 입력부, 신호 증폭기(Amplifier), RMS-to-DC 컨버터, 마이크로 프로세서(DSP), 배터리, 무선 통신 모듈, 감시 프로그램 등으로 이루어져 있다.

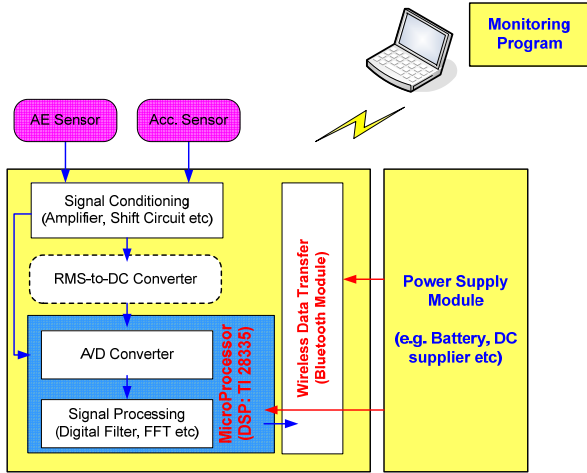


Fig. 2 Concept of the Wireless Signal Processing System

본 시스템은 기본적으로 AE 신호와 가속도 진동 신호를 동시에 측정할 수 있다. 전체적인 신호 흐름은 다음과 같다. 입력된 신호는 증폭 회로를 거친 후, RMS-to-DC 컨버터를 통과하여 DSP에 입력되는 것이 있으며, 증폭된 원 신호가 DSP에 직접 입력되는 두 가지의 방향으로 나뉜다. 즉 각각의 신호는 두 개의 신호 타입으로서 DSP에 입력된다. DSP에 직접 입력되는 신호는 DSP의 A/D 컨버터 특성에 맞도록 이동(Shift) 회로를 거치도록 하였다. 개발한 무선 시스템에 사용한 하드웨어 특성은 아래 표 1과 같다.

Table 1 Hardware Specification and Value

Module	Specification	Value
Amplifier		x1, x10, x100
RMS-to-DC	Averaging Time	1msec
Microprocessor (DSP)	Model	TI 320F28335
	Clock	150MHz
	A/D Resolution	12-Bit
	Sampling Time	0.1msec
Wireless Transfer	Bluetooth Ver. 1.2	
	Communication Rate	115.2kbps

실제 시스템의 사진은 아래 Fig. 3과 같으며, 초기 모델인 관계로 시스템의 크기와 무게가 크게 제작되었다. 또한 배터리 부분을 시스템과 통합시키지 못해 별도로 연결하여 테스트 하였다.

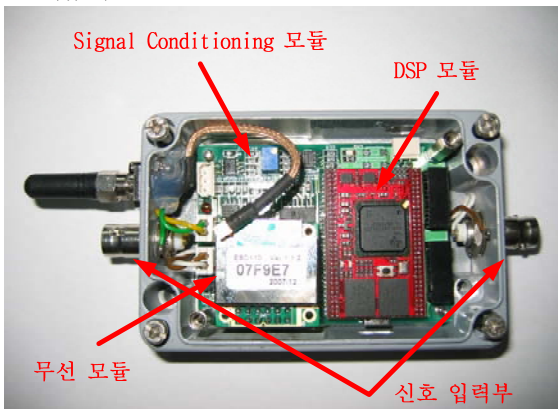


Fig. 3 Photograph of the Wireless Signal Processing System

마지막으로 무선 시스템의 성능을 평가하기 위하여 LabVIEW™ 기반의 감시 프로그램을 개발하였다. 이를 통

해 입력된 기준 신호가 감시 프로그램에 정확하게 출력되는지를 확인하였다.

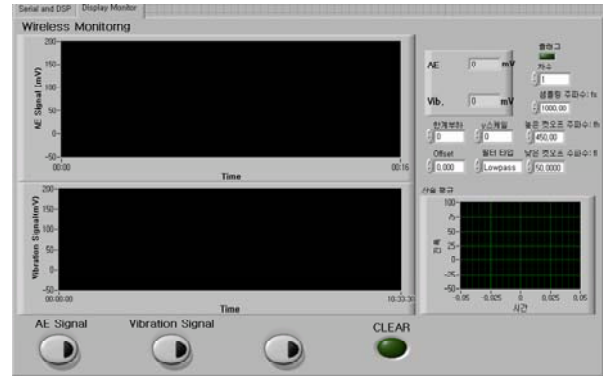


Fig. 4 LabVIEW™ Based Monitoring Program

4. 결론 및 향후 연구

앞서 언급하였듯이, 기존의 유선 감시 시스템은 초기 설치비용이 많이 들며, 이동 회전설비에 유선 시스템을 적용할 수 없는 단점들이 있었다. 따라서 본 연구에서는 회전설비 상태 감시를 위한 시스템으로서 DSP 기반의 무선 시스템을 개발하였으며, 시스템에 기준 신호를 입력하여 개발된 시스템의 성능을 평가하였다. 본 연구의 결과로 개발된 무선 신호 처리 시스템을 종래에 적용할 수 없었던 회전설비에 설치하여 진동 신호와 AE 신호를 동시에 측정할 수 있으며, 이것으로 설비 상태를 평가할 수 있는 가능성을 얻었다.

현재 진행된 연구는 하드웨어 제작 단계로서 향후 다음과 같은 과제를 지속적으로 연구할 계획이다.

1. 현재 개발된 시스템의 경량화를 위하여 RMS-to-DC 컨버터 등의 아날로그 회로를 제거하고 모든 신호처리를 DSP에서 하도록 한다. 또한, 소형 배터리를 무선 시스템에 장착하여 실제 회전하는 연마 스펀들에 장착하여 연마 공정을 감시할 계획이다.
2. 현재는 단순히 AE 신호와 가속도 진동 신호의 RMS 에너지만을 감시하는데 그 연구가 그치고 있다. 따라서 앞으로는 회전설비의 상태를 평가하고 진단(Diagnosis)하기 위하여 주파수 분석을 이용하려 한다. 2장에서 설명한 진동 신호분석의 HFRT에 관한 디지털 알고리즘을 구현하고, AE 신호를 FFT 스펙트럼 그래프에서 볼 수 있도록 고속 신호 처리 프로그램을 개발할 계획이다.
3. 지금까지 개발된 다양한 무선 기술(ZigBee, Wi-Fi etc.) 검토한 후, 보다 빠르며 안정적인 무선 기술을 채택하여 고속 신호 처리 시스템이 되도록 할 계획이다.

참고문헌

1. Christian U. GROSSE, Markus KRUGER, Steven D. GLASER, "Wireless Acoustic Emission Sensor Networks for Structural Health Monitoring in Civil Engineering," ECNDT, 2006
2. SKF Catalogue, "SKF Multilog On-line System WMX"
3. A. Choudhury, N. Tandon, "Application of acoustic emission technique for the detection of defects in rolling element bearings," Tribology International, 33, 39-45, 2000.
4. Chao-Shih Liu, "Fault Detection of Rolling Element Bearings," Ph.D. thesis, University of Washington, 2005.
5. N. Tandon, A. Choudhury, "A review of vibration and acoustic measurement methods for the detection of defects in rolling element bearings," Tribology International, 32, 469-480, 1999.
6. 김성렬, 김화영, 안중환, "미세 음향방출 감시장치 개발 - 고정도 미세입자 가공상태 감시에의 적용 -," 한국정밀공학회지, 22, 109-117, 2005.