

회전기계의 이상진단기술

오 재 응
한양대학교 정밀기계공학과 교수



●1951년생
●소음 및 진동제어, 신호처리기법에 의한 설비진단, 능동제어에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

미국 및 유럽, 일본의 학술잡지에는 최근 진동 및 음향 측정에 의한 기기(機器)의 이상을 사전에 알아내는 기술에 관한 문헌이 많아졌다. 이는 석유 파동 이후 설비의 기동률을 높이기 위하여 플랜트 연속작업의 키를 쥐고 있는 회전기(압축기, 송풍기, 터빈 발전기 등)의 이상을 조기에 발견하여 계획적으로 작업 또는 작동을 중단시켜 생산효율을 개선하려고 하는 것이다. 국내에서도 빈발하는 석유화학공장의 폭발사고 이후 보안상의 요청에 따라 기기의 이상을 조기에 발견하는 기술의 성능 향상이 요구되고 많은 노력을 하고 있다.

본 글에서는 진동 및 음향의 측정이 이상검출기술 전체중에서 어떠한 위치를 차지하고 있

는가를 알아보고 특히 회전기기의 이상진단에 AE(acoustic emission) 신호를 어떻게 이용하고 있는가에 대해서 구체적으로 기술하고자 한다.

2. 이상검출 기술이 대상이 되는 설비

회전기계는 주로 동력 전달계통, 운환계통에 포함되어 있지만, 여기서는 동력전달에 의한 자극에 의해 베어링등이 진동 및 소음을 발생하기 때문에 이들을 계측하여 베어링등의 마멸과 손상을 알아내려고 한다. 또한 고압용기, 고압배관등은 고압에 의해 주로 용접부의 균열이 성장하여 파손에 이르지만 이때 AE라 불리는 상당히 미약한 초음파를 발생한다. 이것을 계측하여 균열의 위치와 크기를 발견하려고 하는 기술(AE기술이라 불리운다)도 급속도로

표 1 이상검출 기술의 분류

측정원리	비 고	적 용 예
기계 진동측정 기술	진동의 실효치, 주파수분석 바이스펙트럼	회전기계, 유체수송계통의 진단
음향측정 기술	발생소음레벨, AE 측정 주파수 분석	회전기계, 베어링 계통파손, 압력용기 파손의 진단
온도측정 기술	표면 온도, 유체온도, 온도상승률	
성분분석기술	화학분석법, 원자흡광분석법	

연구가 진행되고 있다. 그런데 저주파 진동의 측정과는 주파수 범위가 다르기 때문에 본 글에서는 음향측정이라 불리운다. 다음은 설비 이상 진단에 사용되는 이상검출 기술을 분류하면 표 1과 같다.

3. AE 신호에 의한 회전기계의 이상진단

AE 측정법을 이용하여 회전기계의 회전중에 발생하는 AE 및 이상음을 검출하여 로터(rotor)의 크랙(crack) 발생, 베어링의 손상을 감시하는 기술과 진단 시스템에 대해서 기술하고자 한다. 로터의 감시에는 직접회전부의 AE가 검출가능한 무선식 AE모니터를 개발하여 시험 로터의 회전 파괴시험에 적용하여 유효성을 확인하여야 한다.

AE법은 재료나 구조물이 파괴하기전에 발생하는 탄성파(주로 초음파)를 검출하여기기 및 구조물의 안전성 감시수단에 도움이 되도록 하는 수단으로 여기서 이 AE법을 이용하여 회전기계의 회전중에 발생하는 AE 및 이상음을 검출하여 이상진단을 수행하는 시스템에 관한 예가 그림 1에 나타낸 바와 같이 무선식 모니터, 베어링 이상진단 모니터 및 래빙(labing) 모니터에 대해서 설명한다. 이 시스템은 주로 터빈 발전기나 증기터빈과 같은 대형 회전기계의 진단을 목적으로 한 것이기 때문에 고속, 고온등 내환경성도 고려한 것이다.

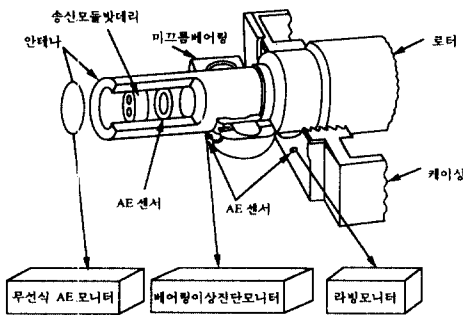


그림 1 회전체용 AE 이상 진단 모니터

3.1 모터설치형 무선식 AE 모니터

회전기의 회전부에 발생하는 이상이나 그 원인의 위치를 조기에 진단 검출하기 위해서는 역시 회전부에 직접 설치한 AE 센서에 의해 감시하는 것이 보다 정확하다. 이와 같은 목적에 의해서 개발된 무선식 AE 모니터와 그 적용 예에 대해서 기술한다. 그림 2에 무선식 AE 모니터의 구성을 나타내었다. AE 센서, 송신모듈, 수신기, 신호처리회로, 모니터 및 전원공급부로 되어 있으며, 전원공급은 유도전원 방식 또는 배터리 방식 중 어느 것인가에 의해 주어진다. 즉 회전 중 로터내에 발생한 AE 신호 및 고주파 이상음은 주파수 변조된 전파에 의해 전송된다. 여기서 반송 주파수 88~108Hz에 대하여, 신호 주파수 대역으로써는 AE 측정상 가장 사용 빈도가 높은 50~250 kHz의 신호가 8채널 동시에 전송 가능하도록 되어 있다. 송신모듈은 직경 25.8mm, 길이 25mm로 소형이고, 주위온도 0~100°C, 원심가속도 1500G에 견디도록 되어 있다.

로터에 직접 무선식 AE 검출기를 설치하는 경우 가장 적절한 장소는 로터 내경 또는 그 근방이 좋다. 예를 들어서 그림 3에 나타내는 바와 같이 원주상 어떤 위치에 발생한 신호이더라도 검출할 수가 있다. AE 센서는 링상의 치구에 3개의 압전소자를 접착한 구조이다. 또는 축상에서 발생한 AE는 일반적으로 표면파로써 전파되지만 외표면은 구조상 복잡하게 되어 있기 때문에 감쇠가 크고 내경의 표면을 전파한

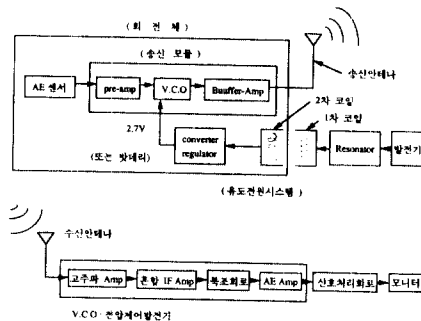


그림 2 무선식 AE모니터의 구성

신호가 검출된다.

다음의 적용에로써 발전기 로터를 모형으로 한 원판 시험편(직경 786mm, 깊이 76mm, 슬롯 가공)에 의한 회전 파괴시험에 본 기기를 이용한 결과에 대하여 기술한다. 그림 4에 나타낸 바와 같이 원판 시험편의 중심구멍에 링형의 AE 센서를 설치하여 같은 시험편이 원심력에 의해 파괴할때까지 회전수를 올려서 그때 발생하는 AE 특성을 관측한다. 실험에는 3단계로 나누어 회전수를 높여 크랙의 발생상황과 AE 특성의 관련을 조사한다.

무선식 AE 검출기의 파괴시험에 적용에 관하여 정리하면 다음과 같다.

(1) 무선식 AE 검출기는 회전체중에 발생한

AE 신호를 충분한 감도를 가지고 검출할 수가 있고 최고 회전수 6,350rpm에 있어서도 충분히 견딜 수 있다고 생각한다.

(2) $N=0\sim 5,000\text{rpm}$ 에 있어서 AE는 슬롯 내의 날개(wedge) 및 밸런스 웨이터가 원심력 때문에 접촉면에 있어서 국부적인 소성변형에 의해 발생하는 것으로 추정된다.

(3) $N=5,000\sim 6,000\text{rpm}$ 에 있어서 AE는 뿌리부위가 원심력 때문에 소성변형을 할 때 발생하는 것으로 추정된다.

(4) 3회째의 $N=6,000\text{rpm}$ 이후, 파괴에 이를때까지 발생한 AE는 2회째의 6200rpm까지 상승시킨 경력이 있음에도 불구하고 발생률이 급증하고 있는 것, 2회째 실험 후에 뿌리부위

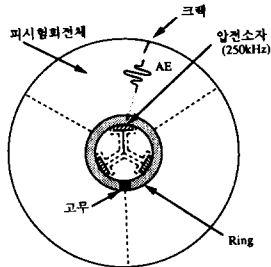


그림 3 회전체용 AE 센서와 신호의 수신방법

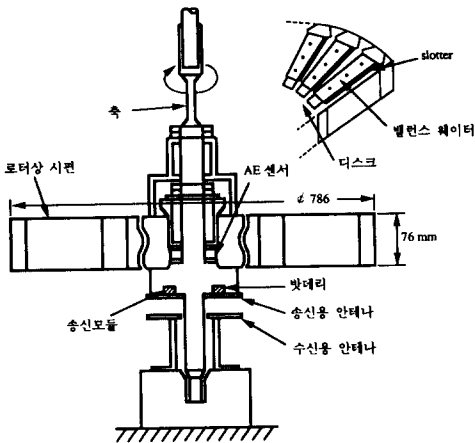


그림 4 회전파괴시험의 실험방법

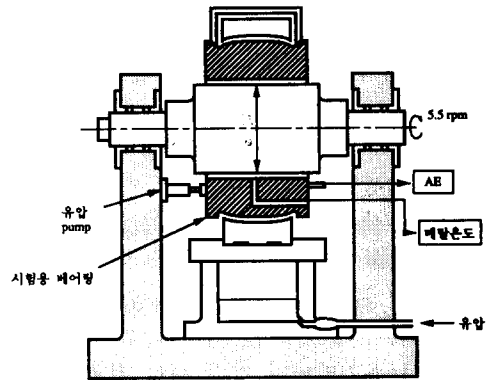


그림 5 미끄럼 베어링의 손상 실험장치

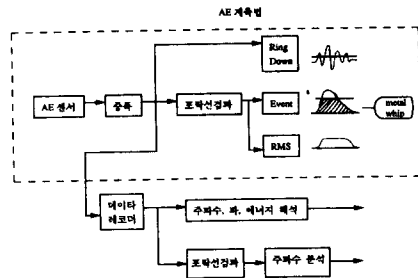


그림 6 베어링 감시 진단의 신호 해석법

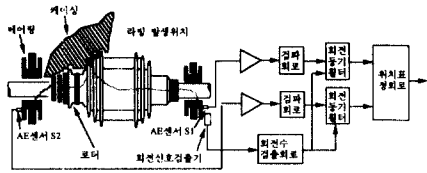


그림 7 래빙위치 표정검출방법

의 변형으로 추정되고, 균열의 발생 및 진전에 따른 것으로 여겨진다.

3.2 베어링 이상진단의 모니터

대형회전기에 사용되는 미끄럼 베어링은 베어링 하중의 과다나, 저널과의 맞춤이 불량한 것에 기인하여 베어링 손상현상을 일으키고 플랜트 정지에 연결되는등 사고의 원인으로 될 가능성이 있다. 여기서 이들 손상의 요인인 메탈 와이프(metal whip)와 베어링과 저널과의 금속 접촉현상을 조기에 검지하여 사고를 미연에 방지하기 위하여 AE 진단기술 및 모니터 개발에 대해서 설명하고자 한다.

그림 5에서 실기 베어링 실험장치를 나타내지만 메탈와이프는 하부로부터 유압을 걸어 발생시키며 금속접촉현상은 측면으로부터 유압을 걸어 발생시킨다. 이때 AE계측 및 신호해석을 그림 6에 나타낸다.

3.3 래빙 진단 모니터

회전기계에 있어서 로터와 정지체와의 뒤틀림 즉 래빙현상은 회전기계의 이상진동원인이 되고 기기의 운전에 지장을 주는 경우가 있다. 여기서는 이 래빙을 AE 계측법을 이용해서 조기에 검출하여 또한 그 발생위치도 알아내는 래빙진단 모니터에 대해서 기술한다. 일반적으로 래빙신호는 1회전에 1회 완만히 올라가는 AE 신호가 발생하는 것이 특징이지만 래빙이 경미하고 오히려 잡음이 크기 때문에 그 검출이 곤란하다. 그림 7은 래빙위치 표정검출 회

로의 블록선도를 나타낸다. 즉 1회전에 1회, 신호강도가 변하는 것을 이용하여 검파후의 신호를 회전수 동조 필터에 통하는 것에 의해 래빙신호를 검출할 수 있다. 이 그림에 나타낸 바와 같이 로터 양단의 베어링에 AE센서를 붙여 유막을 통하여 AE 신호를 수신할까, 혹은 전술한 무선식 AE 검출기를 로터내에 그 채널을 설치하는등의 방법에 의해 두 신호를 얻는 것이 가능하면 그 신호의 도달 시간차로부터 래빙 발생위치를 알아낼 수 있다.

4. 맺음말

회전축(로터 안 구멍)과 정지부(베어링, 케이싱등)에 AE 센서를 붙여 이들의 검출신호를 목적으로 처리하는 것에 의해 회전체 주위의 이상진단을 수행하는 AE 시스템에 대해서 소개하였다. 회전축의 신호검출에는 무선식 전송 방식을 이용하는 것이 유효하다고 생각된다. 또한 베어링에 설치한 AE 센서로부터 베어링의 손상진단이 가능하다는 것과 함께 래빙 발생위치도 알아낼 수 있다고 생각된다. 이 글에서는 회전기계의 이상진단에 관하여 극히 일부를 소개하였으나 AE법을 이용한 각종 응용이 개발되리라고 기대된다.

참 고 문 헌

- (1) 尾上地, 1976, "アコースティックエミッションの基礎と應用, コロナ社
- (2) Sato, I. et al., "Development of a Wireless AE Monitor and its Application to the Diagnosis of Rotating Machinery", 5th International AE Symposium.
- (3) 이정철 외2명, 1990, "Bispectrum해석법을 이용한 회전기계 이상진단에 관한 연구", Vol. 15, No. 7, pp.581~601.