

음향방출기술에 의한 발전설비 비파괴검사 및 응용

Nondestructive Testing and Applications for Electric Power Plant Equipments by Acoustic Emission Technology

이상국

Sang-Guk Lee

초 록 음향방출기술(acoustic emission technology)은 종래의 기존 비파괴검사법과는 달리 가동중인 설비의 건전성을 평가할 수 있으며 실시간으로 설비 상태의 진단이 가능한 실시간 감시기법이다. 즉 기존 비파괴검사법과는 달리 가동중인 설비에 대해 원격으로 결함을 탐지하고 결함 위치를 판정할 수 있는 연속감시 기능을 가진 비파괴신기술로 최근 연구개발이 활발히 진행되고 있는 방법이다. 이러한 장점 때문에 대형 산업설비의 각종 기기들에 대한 감시 및 진단에 활용하고 있으며, 그 활용도가 점점 확대되고 있는 추세에 있다. 특히 종합적인 산업설비로 구성되어 있는 발전설비의 진단과 감시에 가장 효과적인 방법이라 할 수 있겠다. 본 논문에서는 원자력·화력·수력발전소 등의 발전설비에 대해 현재 적용중인 음향방출기술과 새로운 적용기술에 대해 서술하였다.

주요용어: 음향방출기술, 발전설비, 연속감시, 원자력발전소, 화력발전소, 수력발전소

Abstract Diagnosis of structural integrity is the basis for correct treatment of and countermeasures against progressive structural abnormalities. An exact diagnosis is at present the most reliable means for determining the soundness of structures during power plant operations. Acoustic emission(AE) technology has recently strengthened its application base, and practitioners' understanding of the technique's fundamentals. This paper presents the results of a survey and assessment on AE monitoring applications in nuclear, fossil and hydraulic power plant. The main objective of this paper was to obtain information on various applications of AE technology in electric power plant.

Keywords: acoustic emission technology, electric power plant equipments, nuclear power plant, fossil power plant, hydraulic power plant

1. 개 요

원자력·화력·수력 등 발전설비들은 우리나라 경제의 원동력을 갖고 있는 설비들로 이들 설비의 안전성 문제는 대단히 중요하게 다루어야 할 핵심적인 요소이다. 또한 이러한 설비들의 안전과 관련하여 사고가 발생할 때는 막대한 경제적 손실과 사회적인 큰 문제로 야기될 수 있다. 최근 발전설비의

대부분은 대형화, 정밀화 및 고성능화되고 있어 설비에 대한 안전적인 관리가 더욱 요구되고 있다.

현재 국내 발전설비중 화력발전소의 경우 상당부분은 60~70년대, 원자력발전소는 70~90년대에 건설되어 노후화된 상태의 설비들이 증가하는 추세가 계속되어 이러한 설비들의 진단 및 평가, 유지 및 보수 등 건전성 확보를 위한 대책이 절실히 필요한 시점에 있다.

이들 발전설비 진단에 적용되어온 종래의 비파괴 검사 방법으로는 체적검사를 위한 초음파, 와전류, 방사선 등을 이용한 방법과 표면 및 표면직하검사를 위한 침투탐상, 자분탐상 등의 방법들이 각각 적용되어 왔으나, 이들 방법들은 설비의 준공시나 정기검사 등 발전정지시의 점검 및 진단이 가능하다. 따라서 이러한 방법들로는 설비의 운전중 계속적인 감시가 불가능하고 대형 설비·구조물을 단시간에 점검 및 진단을 할 수 없다. 이러한 단점을 보완할 수 있는 비파괴 진단기술이 음향방출(acoustic emission) 기술이다. 음향방출기술은 종래의 기존 비파괴검사법과는 달리 가동중인 설비의 건전성을 평가할 수 있으며 실시간으로 설비 상태의 진단이 가능한 실시간 감시기법이다. 즉 기존 비파괴검사법과는 달리 가동중인 설비에 대해 원격으로 결함을 탐지하고 결함 위치를 판정할 수 있는 연속감시 기능을 가진 비파괴 신기술로 최근 연구개발이 활발히 진행되고 있는 방법이다.

이러한 장점 때문에 대형 산업설비의 각종 기구들에 대한 감시 및 진단에 활용하고 있으며, 그 활용도가 점점 확대되고 있는 추세에 있다. 특히 종합적인 산업설비로 구성되어 있는 발전설비의 진단과 감시에 가장 효과적인 방법이라 할 수 있겠다.

본 원고에서는 원자력·화력·수력발전소 등의 발전설비에 대해 현재 음향방출기술(이하 AE로 기술함)이 어떻게 적용되고 있는지의 적용 예와 새로운 적용기술에 대해 소개하고자 한다.

2. 원자력 발전설비

원자력 발전설비는 소련의 체르노빌 원전사고에서 경험했듯이 방사선 누출사고시 경제적인 손실뿐만 아니라 사회적으로 엄청난 문제를 초래하게 된다. 따라서 모든 수단과 방법을 활용하여 안전성을 향상시키고 파손의 조기탐지와 이에 따른 적절한 조치가 필요하다. 미국, 캐나다, 유럽, 일본 등 선진국에서는 원자력 발전설비의 안전성을 향상시키기 위하여 국가적인 대형 project로 AE를 이용한 원자력설비의 실시간 감시(on-line monitoring)할 수 있는 기술과 진단시스템을 개발하는 연구를 단계적으로 추진하여 왔으며, 그 노력이 결실을 맺어 원자력 발전설비의 계속적인 안전성 감시기능으로서의 AE의 위치를 확보하게 되었다.

현재 국내 원자력 발전소 1차 계통에 적용되는

AE시스템은 원자로 압력용기, 증기발생기, 가압기 등에 운용중에 있으며 이들에 대한 현재까지의 AE 적용에 대한 국내의 현황을 소개하고자 한다.

**2.1. 원자로 압력용기 균열감시 시스템
(Reactor Pressure Vessel Crack Monitoring System)**

원자로 압력용기는 방사능에 의한 재질열화로 인하여 응력부식균열이 발생하고 노즐주위에는 피로 균열이 존재하게 된다. 이러한 재질열화 진전상태에 대한 동적거동을 감시하기 위하여 다중 채널(multichannel) 위치표정 AE 장비를 이용하여 응력부식균열 및 피로균열 등의 결함 성장거동을 AE 특성과의 상관관계를 통하여 검사한다. AE센서는 Fig. 1과 같이 설치되고 운전개시, 정상운전중 및 원자로 정지시 각각의 단계에 대한 AE 특성을 취득하여 분석하게 된다.

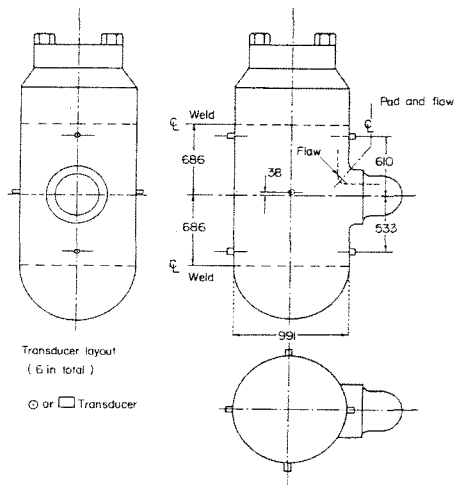


Fig. 1 압력용기 균열감시

**2.2. 금속파편 감시시스템
(Loose Particle Monitoring System)**

금속파편 감지계통은 냉각재 계통압력경계 표면에 서 금속파편의 존재를 감시하여 금속파편의 특성(고정체 또는 이동체), 금속파편의 위치, 금속파편의 성질(크기, 질량, 속도)에 대한 정보를 운전원에게 제공한다. 계통경계 표면에서 금속파편의 충돌은 파장으로 전달되어 경계표면에서 움직임을 야기시키고 이 움직임은 표면에 부착된 AE 센서에 감지된다.

시스템은 감지기, 전치증폭기, 경보유닛, 과도상태 기록장치 및 분석용 컴퓨터로 구성되어 있다. 감지기 압전형 가속도 AE 센서로서 기기표면에 직접 부착되어 금속파편의 충돌신호를 감지하여 이를 전치증폭기로 전송한다. 각 전치증폭기는 감지기로부터 입력되는 신호를 증폭하여 이를 경보유닛 캐비넷(alarm unit cabinet)에 있는 경보유닛으로 전송한다. 경보유닛은 다양한 증폭대역 장치로서 60 Hz 노치여과기와 선택 가능한 고, 저 통과여과 기능을 갖는다. 이득(gain)과 대역(band)은 분석 컴퓨터에서 조절이 가능하다. 분석컴퓨터의 고장이 있을지라도 기설정된 이득과 대역을 변경시키지 않는다.

처리된 신호는 과도상태 기록계(transient event recorder)와 분석 컴퓨터로 전송된다. 또한 경보유닛은 제곱평균값 신호를 계산 도시하여 이 신호가 설정치 초과시 경보를 발생시킨다. 금속파편의 존재가 확인되면 주제어실의 운전원에게 가청, 가시의 형태로 통보된다. 내적으로 설정 가능한 경보 생성기술이 2가지가 있다. 첫째는 신호가 설정치 초과시에는 항시 경보가 발생한다. 둘째는 다양한 노이즈 효과를 보상하는 방법이다. 경보는 단기적인 제곱 평균치(RMS)가 장기적인 제곱 평균신호를 초과시 언제나 발생한다. 단기와 장기시간 상수는 변경이 가능하다.

과도상태 기록장치는 신호가 금속파편 또는 다른 것에 의한 것인지를 결정하기 위해 경보설정치 이상의 충돌신호를 분석하기 위해 이용된다. 과도상태 기록장치는 각 채널별로 초당 10^5 개의 시료에서 12개 신호를 감지할 수 있다. 또한 경보유닛의 출력을 여과하며 100 kHz의 시료율로 채널당 200 m/sec의 연속적인 자료를 수집, 저장할 수 있는 기억장치이다. 과도상태 기록장치는 상태를 평가하고 경보신호가 거짓 신호로서 분류될 수 있는지를 결정한다.

분석 컴퓨터는 경보확인 수단을 제공하고 금속파편의 위치와 특성정보를 제공한다. 또한 분석컴퓨터는 설정치 이상 또는 이하의 금속파편 충돌에 대하여 충돌율, AE 센서 사이의 시간지연, 충돌에 대한 상대적 진폭, 수정된 진폭의 가능성 분포, 소요시간 및 응답과 특성주파수의 영향에 대한 신호를 제공한다. 금속파편 감시시스템은 발전소 시운전, 기동, 정지 중에는 수동으로 운전된다. 수동모드로의 운전목적은 경보준위 설정 및 조정, 성능시험점검, 충돌에 대한 주기적 점검 및 거짓경보를 최소화하기 위함이다. 자동모드시에는 발전소 운전중 연속적으로 모든

사용체널을 감시한다. 신호의 크기가 기설정된 경보치와 비교되어 경보조건외의 존재를 나타낸다.

본 시스템은 현재 고리원자력발전소, 영광원자력발전소 및 울진원자력발전소에 설치, 운용 중에 있다.

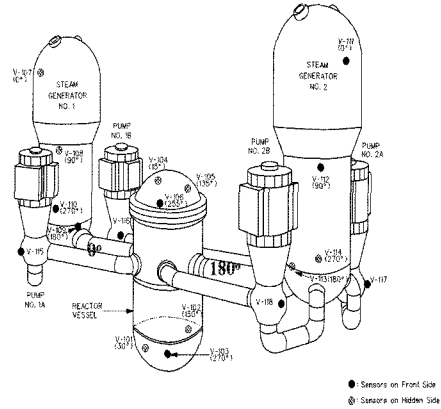


Fig. 2 금속파편 감시용 AE 센서 배열도

2.2 음향누설 감시시스템 (Acoustic Leak Monitoring System)

음향누설 감시시스템은 주요한 두개의 보조계통으로 구분된다. 한개는 가압기 안전밸브의 열림과 닫힘의 동작상태를 감시하고 나머지 한개는 특정 위치에 설치되어 냉각재계통(RCS) 경계의 누설 및 배관의 균열상태를 감시한다.

음향누설 감시시스템은 설비 혹은 누설감시 위치의 감지기, 격납용기내 신호증폭 및 전송용 전단증폭기, 주제어실 경보 캐비넷 및 전산실 분석 전산 캐비넷의 4개의 유닛(unit)로 구성되어 있다.

감지기 설치위치는 Table 1과 같이 총 19개 위치로서 신호가 계속적으로 감시되고 계산된 신호의 제곱근 평균값(RMS)과 함께 기 설정된 기초값과 비교된다. 신호가 설정치를 초과하면 경보를 발생하고 이 기능은 경보 유닛에서 수행된다. 분석 유닛은 누설경향을 추적할 수 있는 능력을 제공하며, 누설의 위치, 특성과 진단 관련정보를 추가로 제공한다.

주요 기능을 살펴보면, 특정위치 또는 일차 기기 계통의 누설 발생시 운전원에게 감시 및 경보를 제공하며 완전히 닫히지 않은 가압기 안전밸브(PSV)의 상태감지 및 운전원에게 경보를 제공한다. 또한 특정기기의 누설률 또는 알 수 있는 특정위치에서 증감변화로부터 정보를 제공하는 기능을 가진다.

Table 1 음향누설 감시시스템 AE센서 설치 위치

채널	설치기기	위치
U-101	원자로용기	Upper head at CEDM 102°
U-102	원자로용기	Upper head at CEDM 222°
U-103	원자로용기	Upper head at CEDM 342°
U-104	원자로용기	Lower head at ICI 210°
U-105	증기발생기 1	Above primary Inlet Side Manway
U-106	증기발생기 2	Above primary Inlet Side Manway
U-107	PSV(RC200)	Discharge line
U-108	PSV(RC201)	Discharge line
U-109	PSV(RC202)	Discharge line
U-110	고온관 1	Top of pipe at RV Outlet
U-111	고온관 2	Top of pipe at RV Outlet
U-112	저온관 1A	Top of pipe at RV Inlet
U-113	저온관 1B	Top of pipe at RV Inlet
U-114	저온관 2A	Top of pipe at RV Inlet
U-115	저온관 2B	Top of pipe at RV Inlet
U-118	냉각재 펌프 1A	Seal Housing
U-128	냉각재 펌프 1B	Seal Housing
U-138	냉각재 펌프 2A	Seal Housing
U-148	냉각재 펌프 2B	Seal Housing

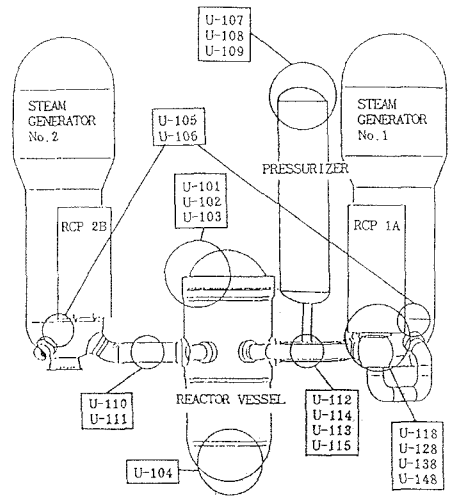


Fig. 3 음향누설 감시시스템에서의 AE 센서 설치위치

음향감지는 고체, 기체 또는 액체를 통해 응력파를 전송하는데 이 응력파(stress wave)는 고체, 액체 또는 기체의 갑작스런 여기작용으로 발생한다. 이 현상은 계통의 누설을 제한하기 위해서 제한설비 및 압력경계의 균열부위를 통한 금속경계의 균열과 유체누설 발생을 감지한다. 음향 유체누설감지는 기기의 누설경로를 통해 유체가 통과하면 발생한 심한 요동 때문에 기기에서 발생하는 응력파의 지속적인 변화상황을 기록함으로써 이루어진다.

경계표면의 움직임의 결과는 적절하게 설계된 감지기에 의해서 감지되며 이 감지기는 압전형 가속도 AE 센서이고 이것은 누설발생 가능성이 있는 가까운 곳에서 누설을 감지할 수 있고 기기 가까이 또는 기기 본체에 직접 설치한다. 누설발생은 현장 자연계수 준위 이상으로 AE 센서 신호 진폭크기를 변화시킴으로써 감지할 수 있다.

전형적인 스펙트라(spectra)는 누설과 관련한 신호 진폭크기는 대체로 100 kHz 이상이고, 이 범위는 감지되는 기기에 따라 달라질 수 있다. 누설에 의한 움직임의 에너지에 비례하는 신호의 제곱근 평균 진폭크기는 누설율에 비례한다. 음향누설 감시기술은 밀봉부위, 밸브 스템 패킹 또는 용접부위 누설, 피로로 발생한 균열로부터 누설율과 관련한 정보 및 누설 발생을 감지할 수 있다.

음향누설 감시시스템은 계속적으로 압전형 가속도 AE 센서 신호의 실효값(RMS)을 감지하고 설정치를 재설정하기 위해 측정된 값을 비교한다. 이 설정치는 시운전시험, 시운전 시험이후, 저출력 노물리 시험동안 결정되고 설정된 기준치 이상에서 실효값을 나타낸다. 설정치 경보이상 상태에서 이 계통의 분석 능력을 이전의 추이와 신호경보에 관한 스펙트럼 정보를 결정하는데 사용된다. 채널별 운전방법은 다음과 같다.

가. 가압기 안전밸브 채널의 경보설정치 모듈

- (1) 각 채널은 정상운전 신호 및 비정상 경보를 제공
- (2) 공정잡음(process noise)이 설정치 이상 되었을 때 비정상 경보가 제공되고 누설이 있는 밸브의 위치지시
- (3) 각 경보에 대해 우회스위치가 있으며 이 때 현장 Light가 점등
- (4) 경보점검을 위하여 시험스위치가 있으며 경보상태가 멈추면 모든 경보를 리셋한다.

나. 냉각재계통 채널

- (1) 감지기 신호는 신호 실효값(RMS) 모듈에 의해 실효치로 계산되며 경보모듈은 실효치를 경보 설정치와 비교하여 초과하면 경보를 제공하고 NIMS분석 컴퓨터에 내장된 분석모듈

로 경보필스를 전송한다. 또한 경보 모듈에는 정상운전시의 기저주파수 스펙트럼과 냉각재 누설시 발생하는 주파수성분을 분석하는 신호검증 소프트웨어가 있다. 따라서 상기주파수 성분이외의 주파수로 인한 경보출력은 신호검증 소프트웨어에 의해 억제된다.

- (2) 우회스위치가 채널에 제공되며 경보가 우회되면 현장표시등이 점등된다.
- (3) 사고시 운전

음향누설 감시시스템의 가압기 안전밸브 위치는 발전소 사고시에도 계속 운전되고 신뢰성 있는 안전밸브 위치를 제공한다.

본 시스템은 현재 고리원자력발전소, 영광원자력발전소 및 울진원자력발전소에 설치, 운용 중에 있다.

2.3. 원자로 가압기 누설감시시스템 (pressurizer leak monitoring system)

원자로 냉각재계통 가압기의 누설을 탐지하기 위해서 압전음향(piezoelectric acoustic)을 이용한다. 가압기에 누설이 생길 경우 고압력의 유체가 원자로 냉각계통 압력계계를 통하여 흘러나올 때 금속에 작용된 와류에 의해 음향(acoustic) 신호가 발생한다.

이 음향신호는 압전 AE센서에 의해 측정되어 전기적인 신호로 변환되며, 측정가능 주파수범위는 300~700 kHz 정도이다. 이것은 기계적인 이상 음파나 전기적인 잡음을 효과적으로 제거하며 최종 신호를 마이크로 프로세서에서 분석, 비교하여 어느 기준값 이상 되었을 때 현장과 중앙제어실에 경보를 발하게 된다. 감시시스템은 음향감지기와 전치증폭기, 누설탐지 주사기로 구성되어 있다.

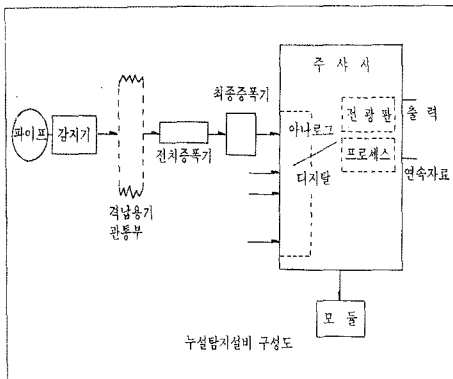


Fig. 4 음향 누설탐지설비 구성도

2.3. 중수 원자로 누설감시 시스템 (CANDU Reactor Leak Monitoring System)

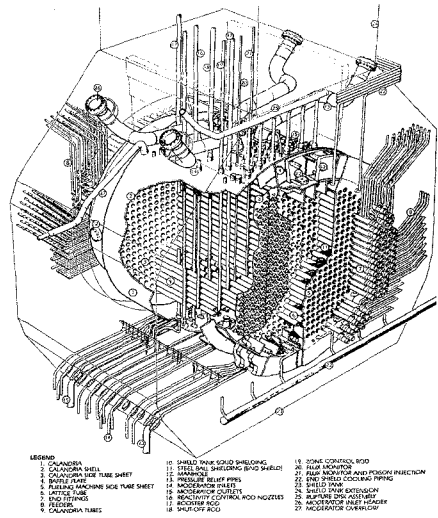


Fig. 5 중수 원자로

중수 원자로(CANDU reactor)는 그림5와 같이 수백개의 수평 연료채널로 이루어져 있다. 이들은 출력운전(full power)중에 각 원자로 측면에서 특수한 핵연료 교환기(fueling machine)에 의해 원자로에 핵연료를 교체하도록 설계되어 있어 많은 장점이 있다. 각 연료채널의 기본적인 구성요소는 2개의 동축을 가진 Zr-2.5Nb튜브이다. 내부튜브(압력관)는 기본적으로 길이 6m(20 ft), 104 mm(4 in) 직경 및 4 mm(0.16 in) 두께로 되어 있다.

튜브에는 핵연료와 냉각재를 포함하고 있다. 냉각재는 250 ~ 300 °C에서 약 10 Mpa의 압력을 가진 중수이다. 외부 튜브(칼란드리아관 ; 원자로 관)는 압력관보다 얇으며, 70 °C 온도까지 5 ~ 15 m에 상당하는 정수압(static head)하에 있는 중수 조절제 (heavy water moderator)에 의해 둘러 쌓여 있다. 칼란드리아관과 압력관사이의 환형공간(annular space)은 거의 대기압 상태에서 건조기체, 즉 질소 또는 이산화탄소로 채워져 있다.

2.3.1. 중수로 압력관 누설감시

환형가스시스템을 통하여 일단 누설이 탐지되면, 문제는 원인이 되는 채널을 식별해내는 것이다. 최초의 시도로 특정의 채널의 입구 및 출구 피더관의 포

밍된 아이스 플러그를 감싼 후 핵연료 교환기를 이용하여 해당 채널만을 가압한다. 어떤 압력에서 핵연료 교환기의 밸브가 닫히고 압력 감소율이 기록된다. 이러한 기술의 체계적인 이용으로 원자로 운전 정지 후 10일 이내 최초 누설발생 채널을 발견하였다. 피클링(pickering) 원자로의 1회 운전정지에 소요되는 교체 에너지 비용은 약 \$250,000/일(3억원/일)이다.

하나의 결함 있는 핵연료채널의 차단으로 원자로 내의 더욱 많은 결함 있는 채널을 지시하는 환형가스시스템(annulus gas system)으로부터 액체회복(liquid recovery)을 중단 시킬 수 없다. 이 단계에서 AE 기술을 적용한다.

센서는 500 kHz에서 공진을 나타내며 다른 센서들도 이용된다. 이러한 응용에 있어서의 결과로부터 센서의 공진주파수가 대단히 중요한 것이 아님을 알 수 있다. 실제로, AE 시스템이 완성단계로 개발되면서 센서는 다소 150 kHz 공진으로 변화되었다. 센서와 약 1 m거리의 케이블로 연결된 40 dB의 전치증폭기는 약 30 m 거리에 떨어진 주증폭기까지 신호를 증폭한다.

200 ~ 800 kHz 밴드 패스로 필터된 신호는 스펙트럼 분석기로 들어간 후 표준 아날로그 XY 플롯으로 전송된다. 운전자는 원자로측에서 엔더피팅에 센서를 수동으로 클램핑한다. 이 위치에서, 센서는 누설발생 의심 위치로부터 약 2.5 m에 설치된다. 원자로 동근 천장 바닥에 있는 운전자들은 해당 채널에 대한 주파수 스펙트럼을 기록한다.

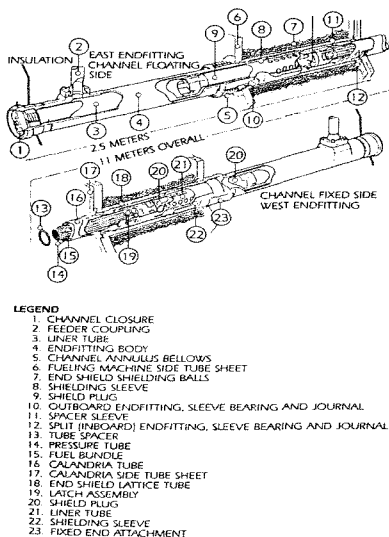


Fig. 6 핵연료 채널(fuel channel)

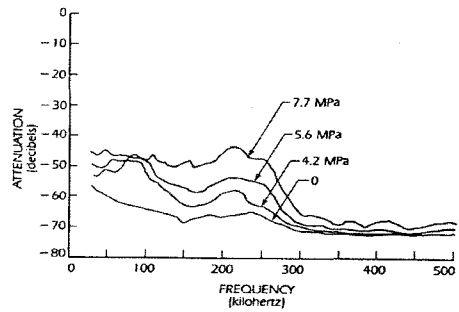


Fig. 7 누설 연료채널에서 수신된 주파수 스펙트럼

2.3.2. 중수로 핵연료관 밀봉부 누설감시

결함 있는 압력관의 교체중에 1차 열수송 냉각제(primary heat transport coolant)에 대한 화학작용 조절은 최적 방법이 될 수 없다. 이것은 교체되는 채널의 피더 엔더피팅 연결부의 밀봉부측의 부식을 발생시킬 수 있으며, 결국 밀봉부에서의 누설로 진전된다.

밀봉부 누설은 누설이 대기중에 발생되며, 주된 주의할 점은 구조적 건전성에 대한 열화를 고려하기 보다는 누설된 중수를 개선해야 하는 실용적으로 불리한 조건을 가지고 있으며, 누설위치가 엔더피팅의 접근가능한 면과 가까이 있다는 점이다. 또한 보수가 비교적 간단하고 아주 적은 채널에만 영향을 주기 때문에, 불가피한 운전정지 시간에 대한 부담이 높다. 또 다른 고려사항은 누설되는 연료관 마개(closure plug)가 밀봉부 누설상태와 사실상 동일한 AE 누설신호를 발생시킬 수 있다는 점이다.

그러나 연료관 마개의 누설은 출력 운전 중 연료 교환기를 이용하여 단지 플러그를 교체함으로써 제거될 수 있다. 밀봉부 누설의 보수는 원자로 운전 정지와 특수 기구적용이 필요하다. 이러한 두 가지 누설 발생 기구는 각각 식별되어야 하는 실제적 긴급한 문제이다.

예측하지 못한 유해한 운전정지가 발생된다. 이는 36시간동안 방사선 구역으로 원자로에 접근할 수 없으나 온도, 압력 및 냉각제 유동의 측면에서는 작업 가능한 상태를 의미한다. RMS 신호레벨이 주파수 스펙트럼에 부가하여 기록된 것과 관계없이 초기 AE 기록을 이용하여 수동적인 탐색이 수행된다. 총 누설량은 시간당 수 킬로그램으로 유지되며, 누설 식별 측면에서 RMS 관독은 X-Y플로터 상에 스펙트럼 표기를 위한 방법으로는 도움이 되지 않는다. 이러한 시스템은 전출력(full power)중에 원

자로 검사가 가능하게 한다. 위험한 운전정지상태(채널당 18 kg/s의 최대 냉각재 유동)하에서, 시간당 극소수(미량) kg의 누설이 최대 유동 노이즈 상태에서 신뢰성 있게 탐지할 수 있다.

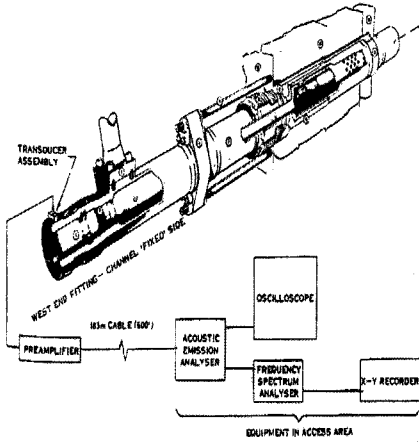


Fig. 8 핵연료교환기와 AE 센서 어셈블리의 체결 개략도

AE법은 입력경계를 관통하는 유체누설 탐지법으로 대단히 경제적인 방법으로 입증되었다. 측정장비 구성이 간단하며 그 자체로 원격 및 자동화 작업이 가능하다. 주변잡음은 절대 측정에 엄격한 신뢰도를 둔다면 주변 소음이 문제가 될 수 있으나, 본 적용에 있어서는 불필요하며 많은 다른 적용에서도 불필요하다. 본 적용 기술은 단일 센서로 여러 부분을 검사하였으나 파이프와 파이프라인과 같이 하나의 설비에 다중센서를 배열한 것과 같은 기술인 점에서 특별하다. 국부채널의 주변소음 레벨 판독값의 비교는 절대 측정 또는 전체 평균에 의존하는 것보다 더 좋은 방법이다. 다수의 국부 유사 채널에 대한 비교는 주변잡음이 원자로면을 관통하여 변화하기 때문에 누설 유무의 식별을 위한 좋은 방법이 될 수 있다.

전체 원자로 평균값 이용은 정보를 향상시키지 못한다. AE법은 원자로상의 알려진 누설에 대한 최상의 누설위치 식별법으로 고려될 뿐만 아니라, 엔더피팅 피더연결부 밀봉부에서의 낮은 레벨의 누설 탐지를 위한 상시 검사방법으로 이용될 수 있다.

3. 화력 발전설비

원자력발전 분야에서는 설비 안전성의 중요도에 의해서 AE 기술의 응용이 활발히 이루어 졌지만 화력

발전분야는 파손 사고시 원자력 설비보다는 경제적, 사회적 영향이 적은 관계로 관심을 적게 받아 왔다.

근래에는 AE 기술이 각종 플랜트 설비의 진단 및 상시감시(on-line monitoring)에 널리 확대되어 응용되는 전반적인 추세에 따라 가동중(in-service)에 보일러 튜브의 파손을 조기에 탐지하기 위한 기술이 연구되고 실용성이 검토되고 있다. 가동중인 보일러의 온라인 모니터링 문제는 보일러가 수많은 튜브로 구성되어 있기 때문에 수많은 AE 센서를 부착하여 모니터링하는 방법 등이 검토되고 있으며 사고 빈발부위에 대해서는 도파관(waveguide)을 사용하여 감시하는 것도 가능하다.

화력발전 설비에서는 보일러 튜브외에 지상배관이나 지하매설관 등의 진단을 AE로 수행하는 일은 가능하며 배관의 안전성향상을 기할 수 있다. 그리고 배관의 경우에는 배관외부의 두터운 절연체(insulation)를 뚫은 채로 수십 m 간격으로 센서를 부착하여 단시간 내에 결함의 위치까지 찾아 낼 수 있는 장점이 있다. 지하매설관의 경우도 수십 m 간격으로 도파관(waveguide)을 설치하기만 하면 전 배관에 대해 땅을 파헤치지 않고도 누출이나 결함의 위치를 찾아낼 수 있어 그 어느 방법보다도 유리하다.

이외에도 발전용 터빈(turbine)에 대해 AE를 이용한 상시 감시기술이 관심을 끌고 있으며 근래에 무선센서(wireless sensor)를 이용한 터빈 진단시스템 및 기초적인 소프트웨어가 일본에서 개발된 바 있다. 기타 각종 회전기기의 진단 등에 AE를 적용하는 일은 수시로 이루어지고 있다. 화력발전 분야에는 아직도 AE 기술이 적용될 수 있는 잠재적인 분야가 많으며 보다 적극적인 적용 연구를 통해 응용분야를 개척할 필요가 있다.

3.1. 보일러튜브 수압시험(Boiler Tube Hydrostatic Test)

지금까지 화력발전 분야에서 AE 기술이 주로 활용되어 온 분야는 건설초기 보증시험(proof testing)이나 보수후 가동전에 실시하는 수압시험(hydrostatic test)시의 누출 탐지였다. 화력발전소 내압용기중 주로 과열기 튜브(superheater tube)를 대상으로 수압시험중 AE 감시를 수행하게 된다.

시험대상 내압용기 구조물에 대한 AE 특성시험결과를 이용하여 건전성을 입증할 수 있으며 AE 기술은 발전소 주변잡음으로부터 과도한 간섭을 받지 않고 구조물 건전성을 감시할 수 있는 매우 유용한 방

법으로 이용될 수 있다. Fig. 9는 화력발전소 보일러 튜브의 수압시험시의 AE 적용 예를 나타낸다.



Fig. 9 화력발전소 보일러 과열기튜브 수압 시험시의 AE 기술응용

3.2. 보일러튜브 누설감시(Boiler Tube Leak Monitoring)

튜브내부의 증기누설에 의해 발생한 음향신호는 보일러내의 가스와 튜브를 통하여 전달된다. 이러한 음향신호를 검출하여 누설을 검사하기 위한 튜브누설검사에는 공기매개 전달 음향센서(airborne type sensor)를 이용한 누설 신호검사와 금속매개 전달 음향센서(metal borne type sensor)를 이용한 누설 신호검사의 2가지로 구분된다. 공기매개 전달 음향센서를 이용한 누설 신호검사의 경우, 과열기(superheater), 재열기(reheater) 및 절탄기(economizer) 등과 같은 보일러 내부에 누설이 발생하면, 이 누설에 의해 생성된 진동은 음파를 생성시키고, 이 음파가 가스층을 통과하여 보일러의 벽면에 미세한 진동을 발생시키게 된다. 이 벽면이 울림관과 같은 역할을 하게 되고 이때 센서가 이 진동을 감지하게 된다. 이렇게 해서 얻어진 음향신호를 증폭, 여파 및 분석하여 일정시간 이상 경보 문턱값(alarm threshold)을 넘게될 때 발생된 정보로서 누설을 확인하는 방법이다.

한편, 금속매개 전달 음향센서를 이용한 누설 신호검사에 있어서는, 보일러 내부나 외부의 노벽(water wall)에 누설이 발생하면, 이 누설에 의하여 생성된 진동은 튜브와 표면을 통하여 센서에 전달하게 된다. 이렇게 해서 얻어진 음향신호를 증폭, 여파 및 분석하고 일정시간 이상 경보 문턱값(alarm threshold)을 넘게 될 때 발생된 정보로서 누설을 확인하는 방법으로, 본 검사법은 피도관(waveguide 또는 sounding rod)를 노벽면에 용접하면, 피도관은 저주파대역(1.7~11 kHz)와 고주파대역(20~175 kHz)를 모두 검출할 수 있다.

고주파대역인 제매기(sootblower)의 음향신호는 보일러 가스를 통과하는 동안 약해지기 때문에 고주파검출센서의 음향신호에는 큰 영향을 미치지 않는다. 고주파대역의 감지는 노벽 튜브와 표면 등과 같이 서로 연결되어 있는 금속성 경로를 통하여 누설시 발생하는 소음을 감지함으로써 보일러 노내 연소시 주기적으로 발생한 그을음을 노외로 불어내는 과정인 제매(sootblowing)시에 발생하는 누설을 감지할 수 있다. 튜브누설을 감지 위한 튜브누설검사 원리도를 Fig. 10에 나타낸다.

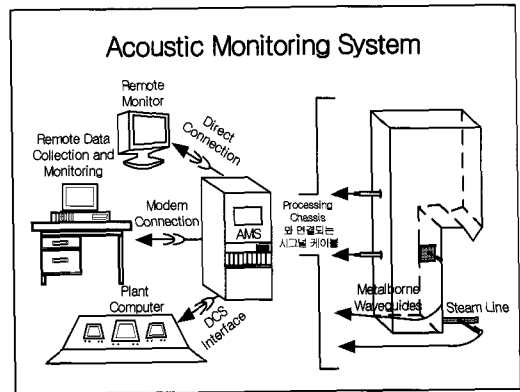


Fig. 10 보일러튜브 누설검사 원리도

3.3. 주증기관 균열감시 (Main Steam Line Crack Monitoring)

보일러 가동중에 주증기관(main steam line)에서 발생할 수 있는 재질열화에 따른 균열성장 거동을 AE 센서에 의해 감시할 수 있는 기술이다.

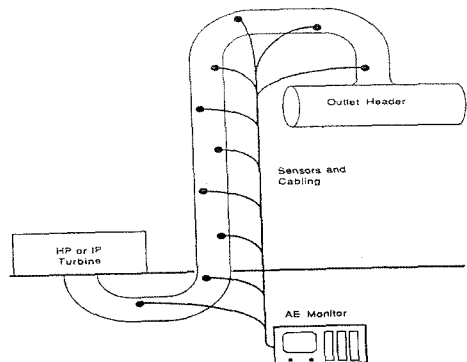


Fig. 11 주증기관 균열감시 개략도

AE 감시는 감시대상인 주증기관 표면에 압전형 AE 센서를 직접 부착하거나 도파봉(waveguide)을 부착한 후 AE 센서를 연결하는 방식으로 AE 신호를 취득하게 된다. 주증기관에서의 균열발생으로 인한 응력집중은 구부 항복 또는 파단을 초래하게 되는데, 작용 응력이 아주 작은 상태에서도 음향 에너지를 발생시키는 점에 착안한 것이다. 현재 국내 화력발전소에서는 적용되지 않고 있으나, 미국 전력연구원(EPRI)에서 정량적인 균열상태 감시를 위한 연구를 수행중에 있다.

3.4. 저장탱크 결함탐지(Storage Tank Flaw Detection)

화력발전소 기름탱크, 냉각수 저장탱크 등 대용량의 저장용기의 경우도 AE를 이용하여 진단하면 단기간 내에 진단이 가능하여 경비를 절약할 뿐만 아니라 다른 비파괴시험 방법으로 찾아 낼 수 없는 결함까지도 탐지하는 것이 가능하다. 시험하고자 하는 용기의 크기에 따라 수십 개에서 수백 개까지의 AE 센서를 부착하여 동시에 전 저장탱크를 시험할 수 있다.

이때 저장용기에 응력을 가하기 위해 수압을 걸어주는 것이 보통이다. 저장탱크 구조물들은 비교적 얇은 두께의 벽으로 되어 있어, 사용 이전 상태와 노후화된 상태간의 하중변화 단계동안 높은 AE 특성을 나타낸다. 주로 사용중에 산화물과 부식 생성층의 파열 및 균열과 같은 2차 AE 발생원(secondary acoustic emission source)과 응력부식균열(stress corrosion cracking)을 탐지하기 위하여 저장된 상태에서 AE 시험을 수행한다.

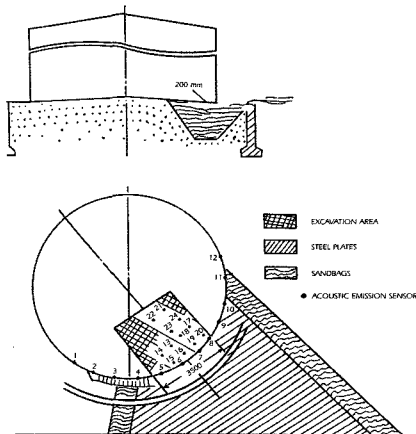


Fig. 12 파손시험중인 저장탱크

4. 수력 발전설비

AE 기술은 수력발전 설비에도 응용되고 있는데 수력발전 댐(dam)에 균열이 발생하였을 때 AE 센서를 설치하여 연속감시(continuous monitoring)로 균열의 진전을 감시한 사례가 있으며 댐(dam)의 수문(gate)을 AE 시험한 사례도 보고 되고 있다.

또한 수력발전소 터빈 축(turbine rotor)을 무선식 AE 감시(wireless AE monitor)로 진단한 결과도 보고 되고 있는데, 이러한 시험결과들을 통해서 AE 신호가 대단히 감도가 높고 신뢰할만함을 알 수 있다.

4.1. 댐 수문 균열감시(Water Dam Gate Monitoring)

AE 기술은 수력발전소 댐 수문에서 발생할 수 있는 균열을 운전중에 실시간 감시할 수 있다. AE 센서는 수문 표면, 랙(rack)의 오른쪽 뱅크(bank), 림(rim)의 오른쪽 뱅크와 왼쪽 뱅크 각 1개씩 4개의 AE 센서를 설치하여 신호를 탐지하게 된다. 수문의 정상적인 개폐중의 AE 특성(AE activity)은 랙에서의 균열, 수문 플레이트의 휨(twisting), 구조적 불평형 발생시와 같은 비정상적인 상태와 밀접한 관계를 나타낸다. AE 센서로부터 탐지되는 대부분의 큰 진폭의 AE 신호는 균열을 가진 오른쪽 뱅크 랙에서 관측된다.

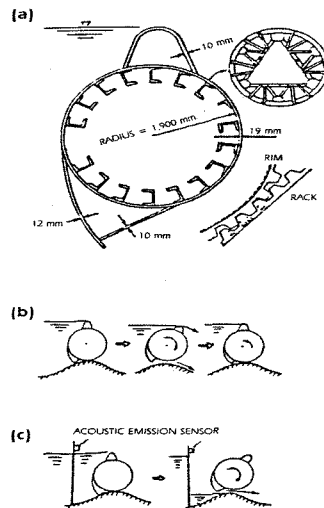


Fig. 13 댐 수문의 AE 시험

- (a) 단면도
- (b) 정상운전중 수문 위치
- (c) 육안검사를 위해 배수중의 수문위치

동일한 수문검사에 있어서, 임시로 설치되는 철판의 안전도를 감시하는 데에도 AE 기술이 응용될 수 있다.

4.2 터빈 로터 파손감시(Turbine Rotor Monitoring)

대형 회전기기의 로터축이 운전중에 파열될 때는 대형사고를 유발하게 된다. 이와 같은 로터의 비정상적인 상태를 진단하기 위해 무선식 AE 감시장치(wireless AE monitoring system)가 적용된다.

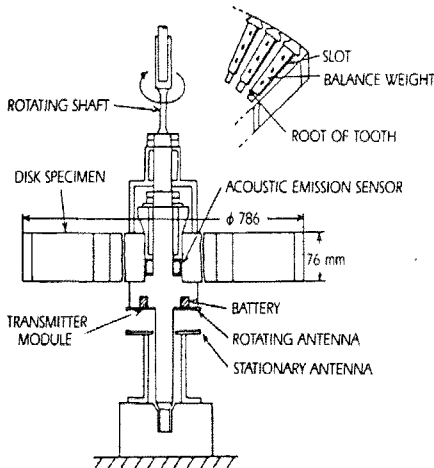


Fig. 14 터빈 로터 파손감시 개략도

이 감시장치는 50~250kHz의 AE 신호를 송수신할 수 있으며 운전중 0~100℃의 온도에 견딜 수 있고, 15,000G의 가속에도 성능저하 없이 작동이 가능도록 설계된다. 무선식 AE 감시 장치를 평가하기 위해서는 실제 발전기 로터를 모의한 디스크 시험편을 이용하여 로터 회전시 AE 신호를 취득하는 회전 파손시험(spinning breakdown test)이 수행된다. 디스크는 회전축상에 설치되며 AE 센서는 디스크 중심홀에 삽입된다. 발신기(transmitter) 모듈과 배터리는 축에 장착되며 축에 설치된 회전식 안테나로부터 무선주파수(radio frequency)신호를 베어링 하우징에 있는 고정식 안테나에 송신함으로써 AE 신호를 분석한다.

5. 공통 발전설비

원자력, 화력 및 수력 발전설비에 공통적으로 사용되는 설비들에 대한 AE 기술적용 현황을 소개하고자 한다.

5.1. 밸브누설 감시(Valve Leak Monitoring)

발전소에는 수많은 밸브가 사용되고 있으며 그중 발전소 안전운전에 큰 영향을 주는 밸브는 동작 건전성 검사, 밸브내부 누설검사가 수행되고 있다. 밸브내부의 누설은 밀봉부(seal)인 밸브몸체/밸브 시트(seat)면의 이물질 삼입, 빈번한 밸브개폐에 따른 손상, 밸브몸체/밸브 시트의 균열, 밸브 스템(stem) 패킹(packings) 또는 용접부위 결함 및 피로균열 등에 의해 발생하게 된다. 이러한 밸브누설로 인하여 유량증가나 밸브 1차측 압력 저하, 냉각기능 상실 및 방사선 물질 방출 등 안전계통에 저하를 가져오게 되는 등 발전소 운전에 막대한 손상 및 사고를 초래하게 된다.

이러한 손상방지를 위하여 사용되는 누설검사에는 현재까지 레벨감소, 압력계를 이용한 입출구 압력차(압력감소), 온도변화 및 습도 측정, 내압(가압)시험 및 진공(감압시험) 등을 이용하여 왔으나, 누설유무, 누설율, 누설속도 및 누설형상 등 미소 누설상태의 정보에 대한 실시간 측정이 불가능하고 압력계 보정 및 압력측정시의 절차의 복잡성 및 간접적인 측정에 의한 측정값 신뢰도 등 많은 문제점이 있어 신속하며 측정 정밀도가 높으며 미소 누설상태의 실시간 측정 및 평가(on-line monitoring)를 위하여 AE 기술의 적용이 필요하다. AE에 의한 밸브내부 누설검사법은 밸브내부의 누설에 따라 발생하는 음향을 밸브 외부에서 검출하는 간편한 방법으로 실제 발전소 밸브에 실용화하기 위한 연구가 진행되고 있다.

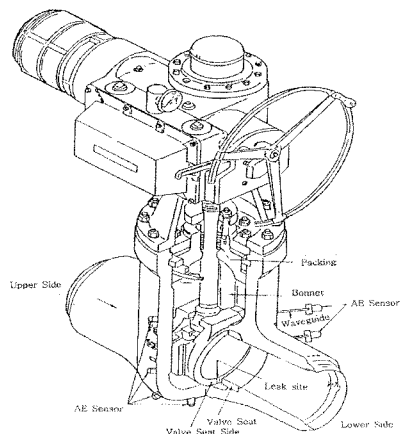


Fig. 15 AE에 의한 밸브내부 누설검사

5.2. 배관 누설 및 결함 감시(piping leak monitoring)

AE 시험기술은 석유화학설비의 배관에서 누설이나 기타 결함을 탐지하는데 많이 사용되고 있다. 배관에서는 먼 거리에서 결함의 위치를 선형 위치표정(linear source location) 방법으로 찾아 낼 수 있기 때문에 다른 비파괴 시험방법이 할 수 없는 일을 감당해 내고 있다. 특히 지하 송유관 등 지하 매설관(buried pipeline)의 누설탐지 등 진단은 AE 기술만이 가능한 독특한 분야라 할 수 있다. 수압시험이나 지하 매설관의 누설탐지 시험시는 30 kHz의 공진주파수(resonant frequency)를 가진 AE 센서를 사용하는 것이 미량의 누설을 탐지하는데 유리하다.

절연체(insulation)이 없이 지상에 노출되어 있거나 사막을 횡단하는 송유관 등을 선형 위치표정 방법으로 진단하고자 할 때는 센서들 사이의 거리가 수백m 떨어져도 누설 탐지가 가능하나 절연체가 많이 된 배관의 경우는 감쇠가 많이 일어나 센서 사이의 간격을 좁혀야 하며 콜타르(coal tar) 등으로 도포(coating)된 후 지하에 매설된 지하 매설관을 실험하고자 할 때는 센서 사이의 간격을 40~50 m까지 좁혀야 한다.

배관을 AE 시험하고자 할 때 배관내를 지나가는 매체의 종류 및 성질에 따라라도 신호의 감쇠정도가 달라질 수 있어 경우에 따라 적절한 센서 간격을 결정하여야 한다. 이외에도 AE시험기술은 장거리 천연가스 배관, 수송배관, 증기 응축수 배관(steam condensate line) 등에 적용되어 좋은 성과를 얻고 있다. 또한 복잡한 발전소내 배관 설비중 작업자가 근접하기 힘든 위치의 배관을 진단하거나 실시간 감시하기 위해서도 이용된다.

5.3. 저어널 베어링 손상감시

(Journal Bearing Damage Monitoring)

증기 터빈, 발전기, 내연기관 등에 사용되는 저어널 베어링의 손상은 발전설비의 정지사고를 초래하기 때문에 손상 상태를 조기단계에서 검출하는 것이 필요하다.

저어널 베어링 손상에 기여하는 주 요인으로는 금속마찰(metal wipe), 베어링 편향(bearing tilt) 및 이물질 혼입 등이다. 금속마찰에 있어서는 베어링면에 과다하중으로 인하여 윤활유의 온도를 상승시키게 되며, 이는 오일을 얇게 함으로서 베어링면을 닳아 없어지게 한다. 베어링 편향의 경우,

부정확한 정렬(alignment)으로 인하여 베어링과 저어널이 접촉하게 만든다.

따라서 이러한 베어링 손상을 조기에 감시하여 보수 및 적절한 대책을 수립하기 위해 AE 기술이 적용된다.

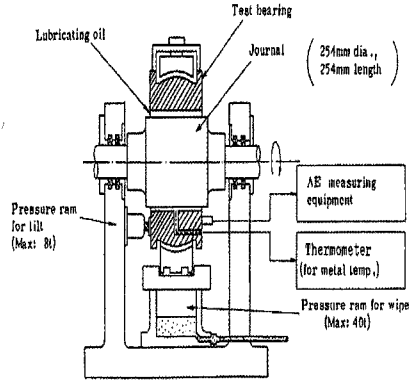


Fig. 16 AE에 의한 저어널 베어링의 손상감시

5.4. 베어링 편향 탐지(Bearing Tilt Detection)

Fig. 17은 AE를 이용한 베어링 편향 탐지시스템에서의 신호해석 방법을 도식적으로 나타낸 것이다. 그림의 왼쪽에 있는 데이터는 정상상태와 베어링 편향상태의 증폭기 출력(amplifier output)을 나타내며, 중간에 있는 데이터는 신호탐지후 신호에 대한 주파수 스펙트럼을 나타낸다. 20~200 Hz범위내에서 비정상상태의 파형이 정상상태의 파형보다 커짐을 알 수 있다. 그림의 오른쪽에 있는 데이터는 밴드 패스 필터(bandpass filter) 출력을 나타낸 것으로, 출력신호의 진폭변화로부터 베어링 편향의 탐지가 가능함을 알 수 있다.

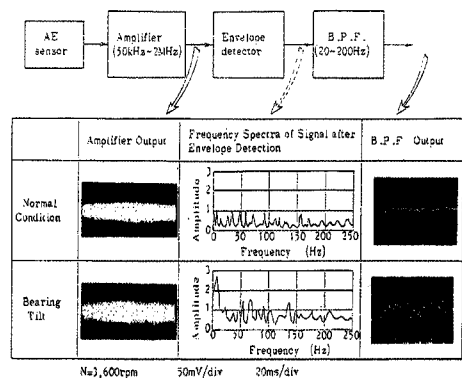


Fig. 17 베어링 편향 진단시의 신호판별

5.5. 터빈 이상마모 감시(Turbine Rubbing Monitoring)

로터와 정지체간의 접촉, 즉 이상마모(rubbing) 현상은 증기(가스)터빈의 이상진동 발생의 요인되고 있다. 이상마모 현상을 직접 검출할 수 있는 기술이 요구되고 있다. 재료끼리 가벼운 접촉에 의해서도 AE 신호가 발생하는 것에 착안하여 가스터빈의 이상마모 감시에 활용될 수 있다. Fig. 18은 이상마모 감시장치의 블록도를 나타낸 것이다. 이상마모가 발생하면 검출되는 AE 파형은 마치 진폭을 변조시킨 것과 같은 파형이 된다. 즉 1회전에 1개의 AE 신호레벨이 증가하게 된다. 따라서 AE 신호를 포락선 검파하여 그 주파수성분을 조절하면, 회전 1차 주파수성분이 제1 피크 주파수가 된다. Fig. 18에서 회전 주파수성분만을 통과시킨 회전 동조필터에서 포락선 검파신호를 처리하여 필터의 출력값이 이상마모 판정에 이용된다. 이상마모 발생위치가 다르면, AE 센서(1), (2)에서 검출한 AE 신호에는 시간차가 발생하게 된다. Fig. 18은 필터출력(정현파)의 시간차(위상차)에 의해 이상마모 발생위치의 위치표정을 수행하고 있음을 나타낸다.

Fig. 19는 실제 증기터빈의 이상진동 발생시에 검출된 신호파형의 예를 나타낸다. 증기가 블레이드 루트(blade root)에 충돌할 때의 노이즈 때문에 신호처리전의 파형(AE 파형자체)에는 차이가 확인되지 않으나, 신호 처리후(회전동조 필터의 출력)에는 이상마모의 특징인 정현파 신호가 확인된다.

5.6. 터빈 블레이드 균열탐지 (Turbine Blade Crack Detection)

터빈 블레이드에서 발생하는 공진(resonance)은 피로파괴를 일으키는 원동력이 된다. 이 블레이드 감시시스템은 파괴를 발생하기 이전에 공진 블레이드를 탐지할 수 있다. AE를 이용한 블레이드 감시시스템은 파손되기 쉬운 마지막 단(stage) 또는 L-1 블레이드 열의 바로 밑 케이싱에 설치되는 AE 센서들로 구성된다. 고정 센서에서, 급격하게 발생하는 공진 블레이드의 AE 신호가 회전에 따라 계속 반복되고 주파수에 있어서 상승하는 도플러효과를 나타낸다. 전용 마이크로 프로세서는 터빈의 아주 큰 노이즈로부터 AE 공진 신호를 추출하는데 이용된다. 현재 국내 발전설비에는 적용되고 있지 않으나 미국 필라델피아 전력회사 등에서 활용중에 있다.

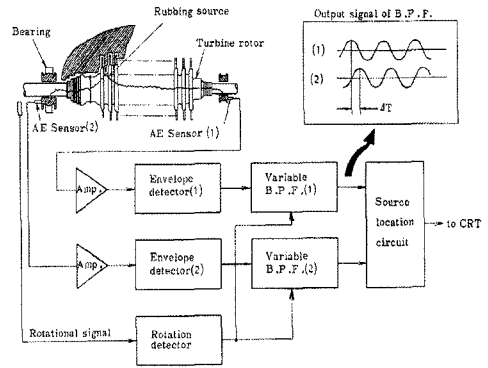


Fig. 18 증기터빈 이상마모 진단장치 블록도

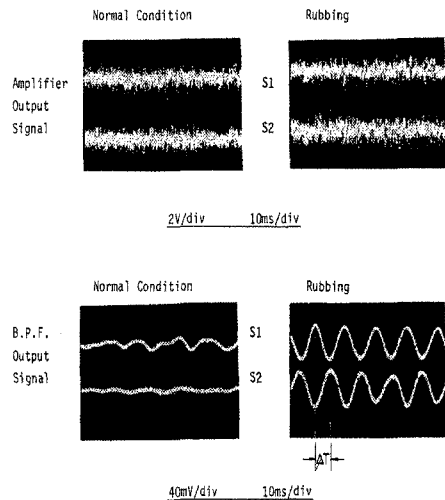


Fig. 19 이상마모 진단시 관측된 AE 신호

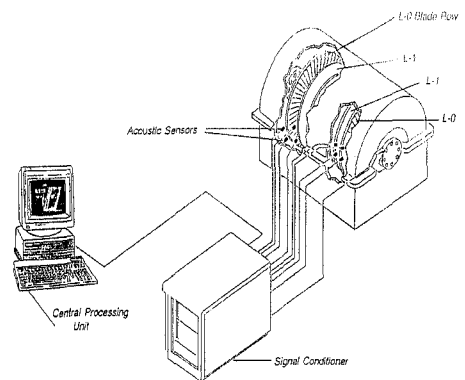


Fig. 20 터빈 블레이드 균열감시

5.7. 터빈 로터 균열탐지(Turbine Rotor Crack Detection)

이 감시시스템은 미국 GE에서 개발한 터빈 로터 균열 감시시스템으로 터빈이 최대 출력으로 운전되고 있는 상태에서 얇은 횡방향 로터의 균열을 탐지하기 위하여 향상된 AE 신호해석기술을 이용한다. 본 기술은 진동 스펙트럼의 진폭과 위상의 변화를 감시함으로써 균열을 탐지해낸다.

로터 자중으로 기인한 굽힘, 불평형(unbalance), 또는 반경방향의 트러스트 하중 등은 개방 또는 밀폐된 균열을 발생시킨다. 이러한 균열 운동은 로터의 유연성에 있어서의 변화와 특성신호를 만드는 비선형 효과를 야기 시키게 된다. 또한 균열의 개방은 유연성에 대한 비대칭을 발생시키게 한다. 현재 국내 발전설비에는 적용되고 있지 않으나 미국 플로리다 전력회사에서 활용중에 있다.

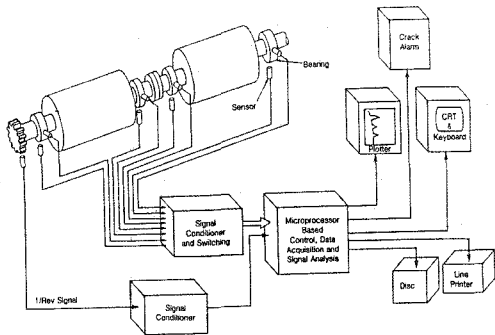


Fig. 21 터빈 로터 균열감시

5.8. 변압기 부분방전 감시
(Transformer Partial Discharge Monitoring)

부분방전의 형태는 내부방전, 연면(표면)방전, 코로나방전, 전기적 트리(tree)에서의 내부방전 등으로 분류할 수 있다. 내부방전은 절연재료의 수명에 관계되는 요인이라 할 수 있다.

부분방전이 발생하는 원인으로는 절연체내에 많은 불순물이 함유되어 있는 경우, 절연물 내에 공극이 형성되어 있는 경우, 전기적 트리가 형성되어 있는 경우 등을 들 수 있다. 변압기 내부에서 부분방전이 발생할 경우, 그 부위에는 국부적인 발열을 동반하고, 그 발열열에 의해 주변의 절연유가

급격한 압축을 받아 충격파로 유중에 전달되는 펄스형태의 AE가 발생된다.

AE 신호는 노이즈의 제거를 위하여 일반적으로 100~400 kHz 대역을 측정한다.

부분방전에 의해 발생하는 AE 신호의 검출은 변압기의 절연이상은 물론, 이상 발생부의 3차원 위치표정이 가능하므로 이상부위의 수리를 용이하게 할 수 있고, 수리시간을 최소화할 수 있다. 또한 현장에서 전기적 노이즈의 영향이 별로 없기 때문에 신뢰성이 높다. 그러나, AE 측정법은 변압기 구조물에 의해 AE 신호가 센서에 도달할 때까지 감쇠하고, 거리에 따라서도 감쇠하므로, AE 신호의 크기로 부분방전량을 추정하는 것은 곤란하다.

따라서 부분방전에 의한 AE를 이용하여 변압기를 진단할 경우에는 AE 신호의 절대적인 크기보다는 기준레벨 이상의 신호를 계수하여 신호수의 시간적 변화경향으로 부분방전의 진전상황을 파악하는 것이 보다 중요하다.

AE 센서는 변압기 외함에 자석을 이용하여 부착하기 때문에 측정이 간편하다. 또한 임의의 장소에 동시에 몇 개라도 부착할 수 있으며 변압기 상태와는 독립적으로 설치할 수 있으므로 운전 중에도 센서자체의 보수, 점검이 가능하다.

AE 센서는 일반적으로 30~300 kHz 범위가 사용되고 있으며, 센서는 장치의 가격을 고려하여 변압기 외함 각 면에 1~4개를 설치한다.

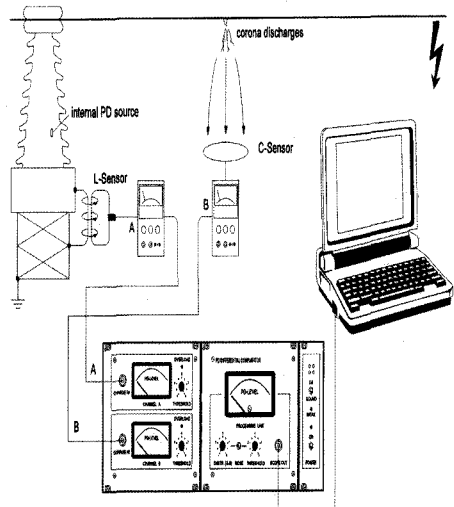


Fig. 22 변압기 부분방전 감시시스템

변압기 외함에서 측정된 AE 신호의 레벨은 수십 μV 정도로 상당히 낮은 상태이다. 따라서 AE 신호를 센서로부터 신호처리장치까지 전송하기 위하여 40 또는 60 dB의 이득(gain)을 갖는 프리앰프(pre-amplifier)를 사용한다. 필터는 변압기 및 AE 측정장치 주변에서 발생하는 노이즈를 제거하기 위해 100 kHz~300 kHz 대역을 사용한다.

자료수집장치(DAS : data acquisition system)는 검출신호를 처리 가능한 형태로 변환하기 위한 신호검출부와 검출신호 중 기준 이상레벨의 신호수를 계수하기 위한 계수부, 컴퓨터와의 접속 및 신호의 분리를 위한 인터페이스부, 진단과 운영을 위한 프로그램으로 구성되어 있으며, 경보는 AE 신호 펄스 수의 경향이 기준레벨을 초과하거나 일정시간 증가하는 경우에 발생된다.

6. 결 론

AE 기술은 손상이 발생한 후에 손상을 탐지해내는 기존 비파괴검사방법과는 달리 설비의 손상을 사전에 감시하여 사고를 예방할 수 있는 기술로서, 발전설비의 손상을 정확하게 감시할 수 있는 상시 및 실시간 감시기술로 확대적용이 필요하다.

또한 현재 국내에서는 주요 발전설비에 대한 AE 검사는 거의 대부분이 외국기술에 의존하고 있는 실정으로 막대한 검사비용이 소요될 뿐만 아니라 검사기술의 미확립으로 검사방법, 결함평가 및 신호해석 등에 많은 어려움을 안고 있다.

다양한 종류의 설비를 보유하고 있는 국내발전설비의 실정을 감안할 때 발전설비의 노후화, 고온고압화, 대용량화 및 장주기 운전에 대처하기 위해서는 손상방지를 사전에 예견할 수 있는 AE 기술의 국내기술 확립이 필요하며 이를 위한 많은 연구가 수행되어야 한다.

참고문헌

- [1] S. P. Ying, "The Use of Acoustic Emission for Assessing the Integrity of a Nuclear Reactor Pressure Vessel," NDT International, pp. 175-179, (1979)
- [2] 원자로 감시설비, 한국전력공사 연구보고서, (1997)
- [3] Nondestructive Testing handbook, Vol. 5, Acoustic Emission Testing, pp. 226-259, (1987)
- [4] T. Yoneyama, I. Sato and M. Yanagibashi, "Machine Condition Diagnosis Using Acoustic Emission Techniques," 非破壊検査, Vol. 44, No. 1, pp. 20-26, (1995)
- [5] I. Sato, "Rotating Machinery Diagnosis with Acoustic Emission Techniques," T. IEE Japan, Vol. 109, No. 3, pp. 145-152, (1989)
- [6] I. Sato, T. Yoneyama, S. Sasaki and T. Sasaki, "Rotating Machinery Diagnosis with Acoustic Emission Techniques," J. of Acoustic Emission, Vol. 2, No. 1/2, pp. 1-10, (1983)
- [7] A. F. Armor, J. R. Scheibel and M. A. Blanco, "Diagnostic Monitoring of Power Plants : The Key to Predictive Maintenance," EPRI Report, (1990)
- [8] R. L. Leon and J. R. Scheibel, "Current Status of the EPRI Acoustic Doppler Blade Monitor," Third EPRI Incipient Failure Detection Conference, Proceedings CS-5395, (1988)
- [9] I. Inam, J. R. Scheibel, et al., "Development and Application of an On-Line Rotor Crack Detection and Monitoring System," Third EPRI Incipient Failure Detection Conference, Proceedings CS-5395, (1988)
- [10] Acoustic Boiler Tube Leak Detection : Utility Experience, CS-5136 EPRI Final Report, (1987)
- [11] Acoustic Emission Monitoring of Cracks in Fossil Fuel Boiler, CS-5264 EPRI Final Report, (1987)