



국내 발전소 대형 회전설비의 실시간 진동 신호기반 상태감시 현황과 방향

김 연 환*

(한국전력공사 전력연구원)

1. 머리말

전기를 생산하는 발전소는 발전원별로는 원자력, 화력, 수력, 풍력 등으로 구분하며 공통적인 감시 대상 설비는 터빈, 발전기, 펌프, 수차, 전동기 등의 대형 회전체이다. 발전소 대형 회전설비의 신호기반 상태감시 장치는 일상 운전 중 주요 이상 징후를 진단할 수 있는 기반시스템으로써 발전설비의 대형화와 경년 노후화에 대한 설비 성능 및 신뢰도 운전을 위하여 필수적이다. 대형 설비에서 신호기반 상태감시 장치는 절대진동과 상대진동, 회전수, 축력베어링 변위, 축방향 진동, 상하 케이싱의 LVDT(linear variable differential transformer) 변위 등의 신호를 실시간으로 감시하고 설비의 안전성 여부를 분석할 수 있다. 최근의 상태감시 방향은 발전소 분산제어시스템으로부터 주증기 압력 및 온도 등의 상태도 온라인으로 감시함으로써 진단 신뢰도를 제고해 나가고 있다. 회전기계에 대한 감시 및 진단 기술은 오래 전부터 꾸준히 발전되어 왔다. 국내 발전설비의 감시기술은 진동신호기반 전용 신호처리 보드를 자체 개발할 수 있는 수준으로써 발전소 성능 감시, 고온고압설비의 손상예측, 고장조기경보 및 진동 감시 등의 각 감시 시스템들을 개별적으로 개발하여 운영하고 있는 상태이며 분야별로는 핵심 알고리즘 및 감시센서를 국산화하여 외국 시스템

과 경쟁하고 있다. 그러나 단품 패키지로 설치 운영 중에 있어 전체 고장진단을 위한 통합시스템 개발은 초기 수준이다. 특히 설계 데이터를 반영한 진단 및 분석 기술, 상태진단 시스템의 통합화, 지능화기술에서는 국내제품이 개발되지 못한 상태이다. 발전 산업 분야에서 정비비용이 차지하는 비율은 생산 총 비용의 5~25% 정도이며, 설비영향으로 인한 생산성, 품질, 원가 절감률은 미국 AT Kearney Plant Service의 연구결과에 의하면 20~50%의 영향을 받는다고 보고된 바 있다. 발전설비의 손실을 최소화하기 위한 정비기술은 고장 후 정비를 수행하는 사후정비로부터 예방정비, 예지정비로 진화하여 가고 있다. 발전소가 주어진 기능과 성능으로 운전 가능하도록 유지하는 기본적인 활동은 생산비용과 생산성, 품질에 큰 영향을 미친다. 특히, 예지정비(predictive maintenance)와 같은 최신 정비기술을 효과적으로 적용하기 위하여 진동신호기반 상태감시 시스템의 구축은 필수적이다. 선진국의 경우 발전설비의 불시정지를 최소화하기 위하여 실시간으로 상태를 감시하고 설비를 관리하고 있다. Global Industry Analyst Inc.의 "World Machine Condition Equipment Market" (2008.2.26) 보고서에 따르면 전 세계의 "Machine Condition Monitoring Equipment" 시장은 2000년 이후 년 5% 성장이 예상되며, 시장규모 1조 5천억 원 이상 확대될 것으로 예측한

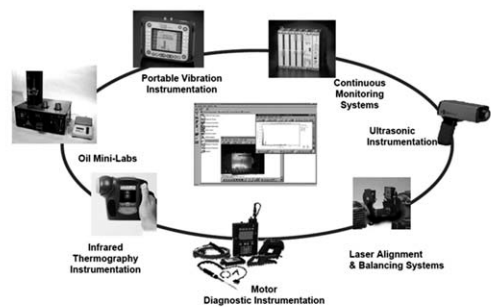
* E-mail : ywkim@kepri.re.kr / Tel : (042) 865-7556

바 있다. 특히 최근에는 설비의 상태를 단순히 실시간으로 감시하는 수준에서 벗어나, 운전정보로부터 성능, 연소, 상태 등의 다양한 분석을 통해 설비의 이상상태를 진단 분석하고, 통합하여 보여주는 시스템으로 발전하고 있다.

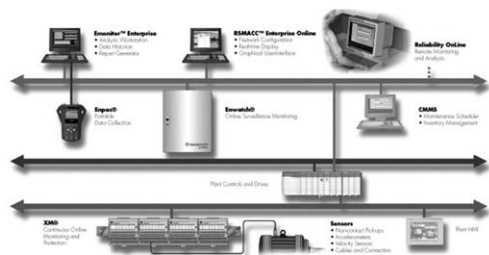
2. 상태기반 감시의 필요성과 방향

고효율, 대용량 발전소의 터빈 발전기를 비롯한 고속 회전설비의 운전 신뢰도 증진 노력은 기계에 어떤 이상이 발생할 때 진동 신호에 민감한 변화가 나타나게 되므로 운전 중인 기계의 각종 진동 신호 및 관련 운전 데이터를 실시간으로 감시함으로써 설비에서 발생할 수 있는 불시정지 요인 등 이상 징후에 신속히 대응할 수 있다. 설비에서 이상 경향이 발생 시 운전 데이터와 더불어 진동 신호를 분석하면 신속하고 적절한 조치가 가능하게 되어 파급손상 방지와 예측 정비 가능하여 운영비용을 최소화할 수 있다. 따라서 설비의 상태를 상시 감시하는 장치는 실시간으로 이상 상태를 신뢰성 있게 감시하고 효과적으로 진단하기 위하여 분석 및 정보 처리가 가능하도록 구성할 필요가 있다. 실제로 발전소의 주요 설비에 이상 고진동이 발생하게 되면 발전소는 관련 전문가를 통하여 상시 감시 시스템 데이터베이스에서 저장하고 있는 이상 진동 데이터를 분석하거나 필요시 추가적인 진동 시험을 통하여 진단을 시행하고 있다. 그럼에도 적절한 진단 시기를 놓쳐 설비 손상 후 원인 규명 차원에서의 진단이 이루어지는 경우가 많아 예측 진단 및 정비의 관점에서 볼 때 효율적이라고 할 수 없었다. 따라서 90년대에는 전문가 시스템에 대한 관심이 고조되기도 하였으나 신뢰성 있는 KB(knowledge base) 구축의 제한성 때문에 설비에 실용화되지 못하였다. 설비 손상의 예방 측면에서 볼 때 실시간 상태 진단에는 한계가 있다. 이러한 취지에서 1997~2002년 한국전력공사는 현재의 6개 발전회사에 속한 발전소의 대형 증기 터빈 등 주요 회전설비에 진동 신호기반 상태감

시 장치를 설치하고 DM2000 시스템과 인터넷망을 통하여 원격으로 연결하여 진동 전문가가 각 발전소의 진동 상태를 주기적으로 감시하고 진단하는 시스템을 구축하여 전문가 시스템과 같은 효과를 얻고자 한 바 있다. 2000년 이후는 90년대에 실패한 전문가 시스템 기술의 취약점을 보완하고 대체하기 위하여 기계가 이상을 스스로 분류하여 효과적으로 추정할 수 있도록 신호 및 데이터를 통계적인 기법으로 처리하고 이상 징후를 사안별로 학습시키는 교사방법 또는 별도의 비 교사방법 등으로 이상을 진단하거나 예지하는 진단 엔진기술 개발 등이 학술적인 측면에서 진일보하여 왔다. 그럼에도 그림 1과 같이 최근 국내 발전소에서 도입하여 운영하고 있는 이상 징후 예측 통합 시스템은 진동신호 감시시스템과 함께 열화상분석, 전류신호분석, 윤활유 분석, 초음파분석 등의 기능을 통합하여 대형 설비의 이상 징후 진단에 활용수준으로써 각각의 기술이 여전히 전문성을 요구하고 있는 실정이며 온라인 상태기반 감시시스템에 정밀 분석 장



(a) 예 1(PMMS 참조)



(b) 예 2(EntekIRD 참조)

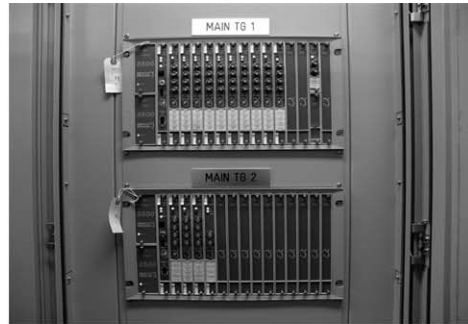
그림 1 온라인/오프라인 상태감시 통합시스템의 구성 예

비들을 오프라인으로 연결하는 수준이다.

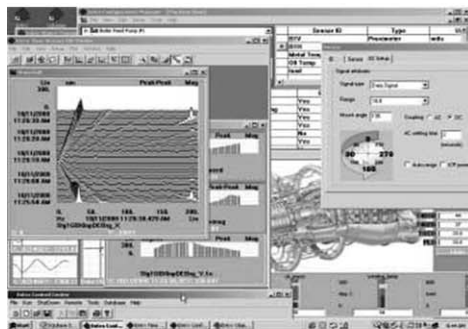
3. 국내발전소 진동신호 기반 상태 감시 시스템의 운용 현황

대형 회전 기계에 적용하는 진동신호 기반 감시 기술은 대형 회전체 설비의 고장 진단 및 이상 징후 예지시스템 개발에 있어 핵심적 기반기술이다. 발전소의 부하 감소 또는 정지를 일으킬 수 있는 증기터빈 발전기, 급수펌프, 순환수펌프, 대형팬 그리고 펄버라이저 등과 같은 중요하고 핵심적인 회전 기계에서 각종 보조설비에 이르기까지 다양한 회전체의 이상상태를 감시하는 시스템은 회전 기계류에 어떠한 결함이 존재할 때 진동을 분석함으로써 이상 징후의 원인을 진단하고 대책 수립 방향을 결정하게 된다. 표 1은 대표적인 진동신호 기반 상태감시 시스템의 주요 기능이다. 국내 발전소에서 운용하는 대표적인 외국계 진동신호 기반 감시 장치(그림 2참조)는 미국 GE Bently Nevada사의 3500 시리즈 시스템, ENTEK IRD사의 6600시리즈 시스템, 덴마크 Bruel & Kjaer사의 COMPASS 시스템 등이 있다. 반면, 국내 제작사에서 자체 개발한 진동신호 전용 처리 보드를 외국사와 같이 장착하고 표 1의 기능을 구현할 수 있는 국내 제작사의 상태감시 장치로는 GMDS 시리즈와 CMS-3000 시리즈 등으로써 발전소에서 적용 중이다.

국내 대형 발전소에 구축되고 있는 진동 상태 감시 시스템은 현장 주요 회전기계에 설치된 진동 및 운전변수를 측정하는 센서부분, 진동 상태를 표시해 주고 설비를 보호하기 위해 경보를 발생하는 감시 시스템, 현장 센서와 컴퓨터 사이의 신호 처리를 위한 통신모듈을 내장한 로컬 유닛과 데이터의 수집, 저장 데이터베이스, 시스템 설정, 진동 데이터 분석 프로그램을 내장된 데이터 처리장치 그리고 실시간 데이터베이스(real time database) 등을 통하여 발전소 분산제어시스템과 데이터를 실시간으로 공유할 수 있는 인터넷망으로 구성하고 있다. 발전소 대형회전설비의 이상



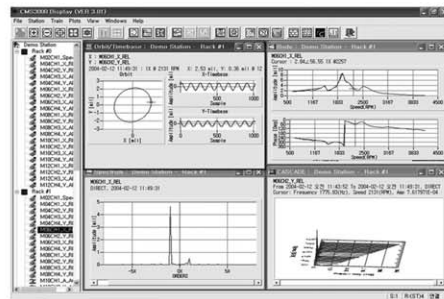
(a) 3500 시리즈(미국, GE)의 설치모습



(b) 6600 시리즈(미국, EntekIRD)의 감시 화면



(c) GMDS 시리즈(국내 Y사)의 모습



(d) CMS-3000 시리즈(국내 A사)의 감시화면

그림 2 국내 발전소에서 운영 중인 주요 회전체 진동신호 기반 상태감시 장치 사례

표 1 회전체 진동기반 상태감시 시스템의 주요 분석기능

기능	특징
Bar graph	측정 위치의 값을 그래프로 표시(O.A., 1X, 2X, Gap voltage, RPM, Temp)
Alarm/system event list	알람이 발생한 설비에 대해서는 알람의 정도가 설비에 피해를 줄 수 있는 가능성이 어느 정도인지를 표시
Trend plot / multivariable trend	설정된 기간 내의 데이터들의 경향을 표시
Time base plot	센서에서 입력되는 값을 오실로스코프에서 보듯이 표시
Orbit/time base plot	한 화면에 직각으로 설치된 두개의 센서에서 측정된 신호를 조합하여 축 중심선의 움직이는 궤적 및 신호를 표시
Orbit	축의 궤적을 표시
Shaft average centerline	유체 유동 베어링 내에서 축의 거동을 표시
Spectrum plot	측정된 진동 신호를 주파수 영역으로 표현할 수 있도록 변환하여 각 주파수 성분별로 크기를 표현
Waterfall plot	시간과 기계의 회전속도에 따른 주파수의 진폭 변화를 표현
Polar plot	진폭과 위상을 가진 데이터를 직각 좌표계 대신 극좌표 시스템을 사용하여 위상 정보와 진폭 정보를 조합하여 하나로 표현
XY plot	두 변수에 대한 측정값을 표시
Cascade plot	회전기계의 기동 및 정지 시에 delta rpm 간격으로 수집된 여러 개의 스펙트럼을 속도에 따라 표현
Bode plot	1X 성분과 위상을 표시

상태를 감시하는 운전변수는 크게 진동, 온도, 압력 등이며, 이상이 발생할 때 가장 먼저 변화를 감지할 수 있는 신호는 일반적으로 진동 변화이다. 진동 신호기반 상태감시는 기동 및 정지 시 과도 상태와 정격속도에서의 무부하 운전과 부하운전의 일상운전 상태로 구분할 수 있다.

과도진동은 기동시 정지에서 정격속도까지 또는 정지시 정격속도에서 정지까지 속도가 변화할 때 진동의 임계속도 및 위상의 변화를 감지하여 터빈 특성 변화를 분석하는 것과 일상운전 상태에서 운전 중 출력의 변화에 따라 진동의 변화를 감지하는 것이 주목적이다.

3.1 GE 3500 시리즈 시스템

3500 감시 시스템은 GE Bently Nevada사에서 출시한 가장 최근의 진동상태 감시 시스템이다. 시스템의 각종 기능들이 기존의 제품과 같이 하드웨어적인 설정이 아닌 소프트웨어(system 1)

를 이용하여 조절 가능하다. 마이크로프로세서 첨단 기술을 이용하여 설계한 3500 시스템은 기계를 보호하기 위한 충분한 기능을 갖춘 감시 시스템으로서, 설치비와 유지 보수비 절감, 개선된 운전자 정보, 발전소 제어 시스템의 통합 능력 개선 및 신뢰성 향상의 특징을 가지고 있다. 3500 시리즈는 세계에서 가장 널리 사용되는 기계류 보호 시스템 사양인 미국석유협회(API) 표준 API 670을 완벽하게 준수하며 왕복동 압축기 어플리케이션을 위해 3500시리즈는 API 618 요구 사항도 충족한다. 3500시리즈 시스템을 사용하여 쉽게 처리할 수 있는 일반 어플리케이션은 증기 터빈, 유압 터빈, 산업용 가스 터빈, 항공기용 가스 터빈, 왕복동 압축기, 원심 압축기, 축류 압축기, 스크류(screw) 압축기, 수평/수직 원심 펌프, 왕복 펌프, 대형 전동기, 발전기, 웬, 송풍기, 볼 밀(ball mill), 냉각 탑/열 교환 웬 등 다양하다.

3.2 EntekIRD 6600 시리즈 시스템

EntekIRD에서 생산하고 있는 진동신호 기반 상태감시 장치는 5800 시리즈 감시 시스템과 6600 시리즈 감시 시스템이 대표적이다. 특히, 6600 시리즈는 최첨단 디지털 기계보호와 상태감시 시스템이다. 6600 시리즈는 높은 진동이나 이로 인해 발생하는 손상으로부터 보호하고 감시하게 설계되어 있으며 온도, 압력, 유동과 같은 공정 변수는 물론 추력 꺾변위, 차동 팽창차, 상하 케이싱 변위, 밸브개도, 축편심과 같은 turbine supervisory instrumentation(TSI)의 변수 등도 감시가 가능하다.

3.3 COMPASS

소음진동 계측기 분야에서 50여년의 기술력과 경험을 가진 Bruel & Kjaer사에서 설비 상태의 감시 및 설비 이상을 예방, 예측할 수 있는 COMPASS라는 시스템이 개발되었다. 이 시스템은 영구적으로 센서를 설치하여 설비를 감시하는 온라인 시스템과 휴대용 데이터수집기를 이용하여 설비 감시를 수행하는 오프라인 시스템을 통합하여 효율성과 경제성을 동시에 만족하도록 하였다. 이 시스템은 최근 산업 현장에서 표준으로 사용하고 있는 Ethernet(TCP/IP), UNIX, X-Window, Mofit 그리고 Postscript 등과 같은 질 높은 산업 표준들을 사용하고 있다.

4. 진동신호 기반 감시 시스템 구성

4.1 감시 장치의 데이터 처리 흐름

진동신호 기반 상태감시 시스템은 데이터 베이스 서버와 운영 클라이언트로 구성되며 하드웨어 모듈과 TCP/IP 통신을 이용하여 미리 정의된 통신 프로토콜에 의해 시스템 설정 정보를 진동 상태감시 시스템에 전달하고 계측된 데이터는 DAQ 모듈에 전송한다. 전송된 데이터는 데이터 베이스에 저장되며 데이터 분석 모듈에 의해 가공되어진다. DAQ 모듈의 주요 기능은 진동 상태감시 시스템의 설정정보 관리, 진동 상태감시

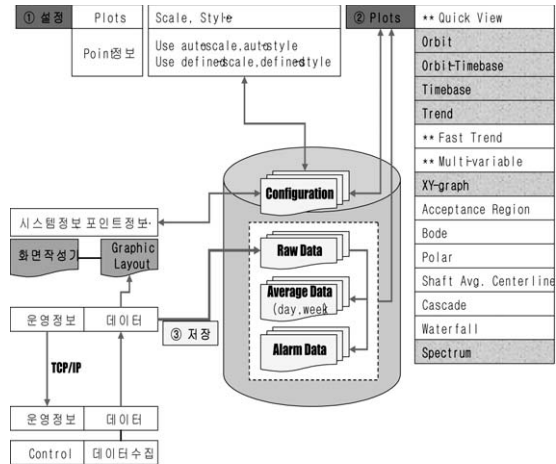


그림 3 회전체 진동기반 상태감시 장치의 데이터 흐름도

시스템과 통신, 데이터 획득, 데이터 저장, 현재 상태값 디스플레이 등이며, 데이터 분석 모듈의 주요기능은 데이터 베이스에 저장되는 데이터 분석 및 그래프 디스플레이 기능이다. 특히 데이터의 흐름도는 그림 3과 같이 구성할 수 있다.

4.2 감시 시스템 HMI(human-machine interface)의 기본 구성

시스템의 수행속도를 향상시키기 위해, 사용자가 설정 에디터에서 입력한 각종 정보를 데이터 베이스에서 읽고 구성된 정보를 데이터 베이스에 저장한다.

그림 4와 같이 상태감시 시스템의 관리모듈은 시스템 운영에 필요한 설정, 데이터 획득 및 실시간 상태감시 기능을 가진다.

4.3 하드웨어의 구성

발전설비에서 발생하는 신호를 변위 센서를 통해 표준 신호로 변환하고 로컬 유닛으로 입력신호로 전송된다. 입력된 신호는 A/D 변환이 되어 상위 시스템 관리자의 데이터 베이스에 적합한 데이터로 저장된다. 이러한 기능을 수행하기 위하여 상태감시 시스템의 하드웨어 구성은 그림 5와 같다. 현장 회전설비로부터 진동신호를 전송기에서 표준 신호로 변환하여 전송하게 되는데,

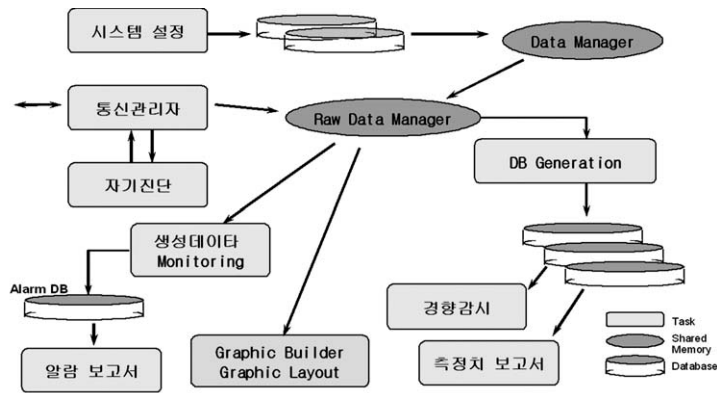


그림 4 상태감시 관리 모듈의 구성 예

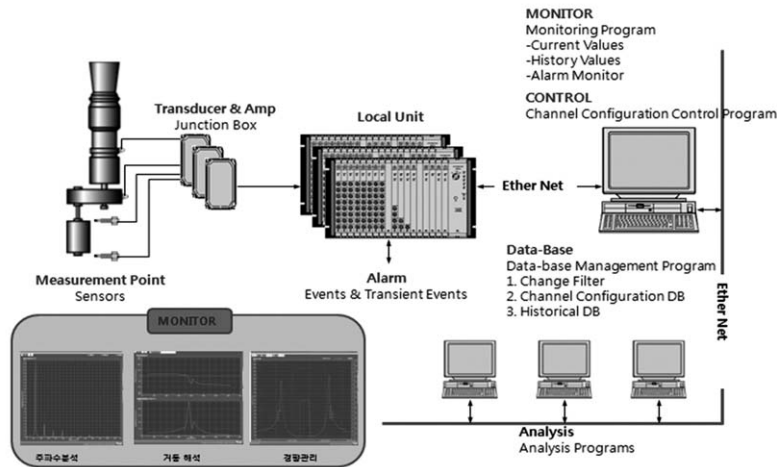


그림 5 회전체 진동신호 기반 상태감시 시스템 하드웨어의 구성 예

그 신호를 디지털로 변환 후 신호 처리하여 분류하고 보관 및 상위 장치와 처리된 정보를 공유하도록 구성한다.

5. 맺음말

국내 발전소는 안전하고 효율적인 운영을 위하여 90년 초부터 주 회전설비인 증기 터빈을 중심으로 진동신호 기반 상태감시 시스템을 본격적으로 적용하기 시작하였으며 최근 그 중요성과 더불어 수요가 증가하는 실정이다. 최근 진동기반 상태감시 시스템은 설비의 상태 경보 기능, 원격 진동 상태감시 기능, 설비의 잔존 수명 예측 이력

관리 기능, 열화상감시, 초음파진단, 정밀 측정 및 설비교정 기술 등을 온라인/오프라인으로 통합하여 종합 진단 및 평가의 정확도를 증대하는 상태 관리 시스템으로 발전하고 있다. 향후 진동신호 기반 상태감시 시스템은 운전정보와 결합되어 발전소 운영자 및 정비담당자에게 실시간으로 설비의 상태정보를 통합 제공하며 무선센서, 데이터 통합 장치, 이상 징후 감시 기술 등과 결합하여 경영의 전략적인 도구로써 발전소 제어 시스템 및 정비 데이터 베이스와 연계하여 적기에 정비를 수행케 함으로써 설비 고장을 사전에 예방하고 손실을 최소화할 수 있는 시스템으로서 중요도가 커질 것으로 예상된다. **KSNVE**