

원자력발전소 S/G U-tube ECT 취득신호 원격평가환경 구축

장문종, 한철성
전력연구원

Establishment of Remote ECT Data Analysis System of S/G U-tubes at Nuclear Power Plant

Moon-Jong Jang, Chil-Sung Han
KEPRI(Korea Electric Power Research Institute)

Abstract - 원자력발전소의 증기발생기는 기능상으로도 중요한 역할을 하지만 증기발생기 내의 전열관 손상이나 누설은 바로 방사능 누출의 원인이 되므로 원자력발전소의 안전성 측면에서 보면 매우 중요한 설비이다. 따라서, 증기발생기 전열관은 정기보수시 마다 전열관 각각에 대해 비파괴검사의 일종인 와전류검사(Eddy Current Testing, ECT)를 통해 건전성을 평가하고 있다.

현재는 신호를 취득하고 평가하는 업무가 별개의 기관에서 수행하고 있으며 이를 위해 현장에 관련 인력과 장비가 이동되어야 한다. 그러나, 취득한 신호를 평가자가 on-line으로 받을 수 있고 그 결과를 이용하여 즉시 피드백이 가능하다면 평가기관의 인력은 현장에 있지 않더라도 평가가 가능하다. 그러므로, 원격 평가 환경을 구축한다는 것은 평가자가 굳이 현장에 가지 않더라도 지역에 상관없이 LAN을 활용하여 전국 어디서든 평가가 가능하도록 하고자 함에 있다.

1. 서 론

원자력발전소의 증기발생기(Steam Generator, S/G)는 원자로에서 발생한 열을 이용하여 증기를 생성해주는 기능을 하는 열교환기의 일종이다. 이 증기발생기는 약 5,000여 개의 전열관(Tube)을 가지고 있으며 원자력발전소의 정기보수시마다 전열관 각각에 대한 와전류검사를 통하여 건전성을 평가하고 있다.

검사는 원시 신호를 취득하는 업무와 취득한 신호를 평가하는 업무 등 크게 2가지로 구분된다. 그러므로, 별도의 기관에서 업무를 추진하는 것도 가능하다. 검사에 필요한 장비와 시스템들은 매번 검사 기간동안 가설하여 사용하며 검사를 종료하면 다시 철거하는 형태를 취한다. 그러므로, 한 번 검사를 하기 위해서는 취득장비와 평가장비들의 수송과 30여 명이 넘는 관련 인력들의 이동 등 만만치 않은 준비가 필요하다.

본 논문에서는 이런 검사과정에서 평가 부분은 원격으로 수행하는 것을 가능하도록 구축한 평가 환경을 제시한다. 또, 자격있는 평가전문가로 하여금 S/G U-tube 와전류검사를 통해 취득한 신호를 구축된 평가환경 상에서 원격으로 평가해 본 결과와 네트워크 성능 평가 결과를 보여준다.

이런 원격 평가는 외국에서도 일부 사용하는 단계에 이르렀으나 외부 네트워크를 임차하여 사용하므로 데이터에 대한 보안이 문제가 될 수 있다. 한편의 경우, 사내망을 활용함으로써 망의 효율성을 높이고 보안성을 확보할 수 있으며 추가로 망을 구축하는 것도 가능하다.

원격 평가를 도입함으로써 현장에 설치할 장비나 시스템, 평가 전문가들이 굳이 현장에 가지 않고도 on-line 평가가 가능하다. 그러므로, 원격 평가에 소요되는 시간과 비용의 절감이 기대되며, 특히 향후 발생할 가능성이 있는 돌 이상의 원자력발전소에서 동시에 정기검사가 수행될 경우 최소한의 인력으로 평가를 수행할 수 있을 것이다.

2. ECT 취득신호 원격평가환경

평가하는 과정을 살펴보면, 기 취득한 신호를 가지고 평가 전문가가 평가 시스템을 이용하여 신호를 해석하고 판단하는 역할을 한다. 이 때 사용하는 평가 시스템은 와전류검사에서 세계적으로 성능이 검증된 Zetec사의 EddyNet95 Analysis 시스템을 사용한다.

그러므로, 원격평가환경을 구축하는 데 있어서 가장 주안점을 둔 것이 평가시스템을 사용하는 기존의 환경에는 변화를 가하지 않고 하부 구조를 조정함으로써 평가 전문가가 기존에 수행하던 방식을 그대로 유지할 수 있도록 하는 것이었다.

원격평가환경은 평가전문가들이 사용하고 있는 원격평가시스템과 원격평가용 서버, 두 시스템을 상호 연결하는 네트워크로 구성된다.

2.1 고려사항

ECT 취득신호 원격평가환경을 구축함에 있어서 첫 번째로 고려한 점은 편의성이다. 평가전문가들이 기존의 시스템을 그대로 사용할 수 있도록 환경을 구축하여 평가전문가들의 입장에서 보면 기존에 수행해 온 평가와 같은 방식으로 평가를 수행할 수 있도록 하는 것이다.

두 번째로 고려한 것이 보안성이다. 취득신호는 증기발생기 전열관의 상태를 나타내는 데이터로 외부에서 임의로 데이터를 접근하여 가공, 처리할 경우 올바른 평가를 수행할 수 없는 등 문제를 야기시킬 수 있기 때문이다.

세 번째로 고려한 것이 즉시성이다. 취득신호를 판디스크에 저장하여 평가를 수행하는 것은 하나의 판디스크에 데이터를 충분히 저장하기 전까지는 평가를 수행할 수 없음을 의미한다. 신호를 취득하여 하나의 데이터를 생성한 후 즉시 평가를 수행할 수 있는 환경을 구축함으로써 그만큼 빠른 평가가 이루어질 수 있다.

네 번째로 고려한 것이 동시성이다. 평가를 하다보면 항상 정확한 평가를 할 수 없으므로 평가수행기관 이외의 기관에서도 취득 신호중 일부를 샘플링하여 평가에 참여할 수 있다. 이 때, 취득한 신호를 동시에 접근 가능한 곳에 모아 둔다면 평가자 상호간에 영향을 끼치지 않고 평가하는 것이 가능하다.

2.2 ECT 취득신호 평가시스템

평가 전문가들은 현장에서 취득한 신호를 분석하고 평가하기 위해서 EddyNet95 Analysis 프로그램을 사용한다. Zetec사에서 개발한 EddyNet95 Analysis는 eddy current 데이터를 분석하고 분석 결과를 보고하는 모듈러 프로그램이다. Computer Data Screening이나 Bobbin Profile, Multicoil Profile, MRPC C-scan Display, Crackmap, Raster Scan과 같은 추가적인 프로그램을 부가하여 EddyNet95 Analysis와 함께 사용할 수 있다.

증기발생기 전열관 검사시 신호취득시스템을 이용하여

취득한 신호를 가지고 bobbin coil 검사나 MRPC 검사
를 수행하는데 평가시스템을 사용하고 있다.

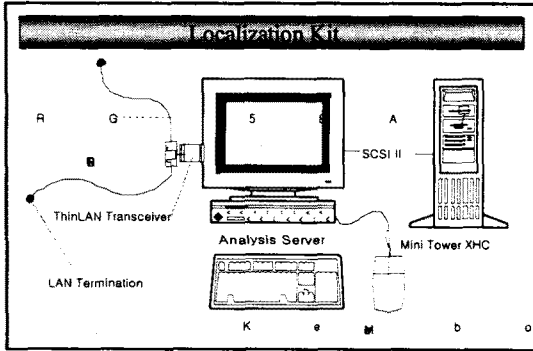


그림 1 EddyNet95 Analysis용 하드웨어 구성

그림 1에서는 EddyNet95 Analysis를 수행하는데
필요한 하드웨어 사양을 보여주고 있다. HP 715/80
워크스테이션으로 32MB RAM 이상을 가지고 있으면
되고, 본체는 2개의 광디스크 드라이브와 2.1GB HDD
를 포함하고 있으며 운영체제는 HP-UX 9.05이다. 취
득한 신호는 최소한 20GB 이상이므로 평가결과와 함께
저장하기 위해서 현장에서는 650MB 광디스크에 취득
신호와 그에 따른 평가 결과를 각각 저장한다.

원격평가환경 하에서는 원격평가용 서버에서 서비스하
는 파일시스템을 로컬 파일시스템으로 사용함으로써 원
격으로 평가할 경우 대용량의 데이터들을 로컬에 저장하
지 않고도 평가가 가능하다.

2.3 ECT 취득신호 원격평가용 서버

ECT 취득신호 원격평가용 서버는 현장에서 취득한
신호들을 저장하고 있어서 한전 네트워크를 통해 원격
평가시스템에서 필요로 하는 데이터들을 제공한다. 이
서버는 HP사의 모델명 9000시리즈 C110 워크스테이
션으로 운영체제는 HP-UX 10.20이다. 정기검사시 취
득하는 신호들을 모두 저장하기 위해서 대용량의 하드디
스크를 장착하였다.

대용량의 하드디스크를 장착함으로써 기존의 광디스크
를 이용할 경우 지원할 수 없었던 on-line 평가도 가능
하며 이미 평가한 데이터를 재평가하고자 할 경우에도
해당 광디스크를 다시 찾아서 마운트하는 번거로운 절차
를 거치지 않아도 된다.

취득한 신호는 한 번 검사를 수행하면 650MB 광디
스크로 40장에서 50장 정도에 이른다. 검사를 수행하는
대상에 따라서 취득하는 신호의 양이 많을 수도 있고 적
을 수도 있기 때문이다. 그러므로, 하드디스크의 용량은
최대 650MB를 50장으로 계산하고 추후 추가될 검사항
목의 취득 신호량을 고려하여 36GB를 장착하고 있다.

취득한 신호를 저장하고 있는 하드디스크는 NFS
(Network File System)를 사용하여 원격 평가시스템
이 마치 자신의 로컬에 취득신호가 있는 것처럼 보이게
한다.

2.4 원격평가환경 구축을 위한 네트워크

원격평가환경을 구축함에 있어 네트워크는 전국 어
디에서나 연결이 가능한 사내망을 이용하였다. 공중망을
이용하는 것보다는 비용과 관리면에서 더 유리한 측면이
많다. 외부망을 이용할 경우 지불해야만 하는 사용자 문
제도 해결할 수 있고 정보 보호의 목적도 달성할 수 있
다. 또한, 네트워크의 트래픽이 높아질 경우 회선을 추
가로 확장하는 것이 가능하다는 장점도 있다.

그림 2에서는 원격평가를 위해 구축된 네트워크를 보
여주고 있다. 신호를 취득하는 현장에서는 신호수집용
시스템과 평가시스템, 원격평가용 서버 이렇게 3대의 시

스템이 설치되어 있다. 원격평가용 서버를 제외한 시스
템들은 검사기간동안 가설되므로 LAN에 연결되지 않는
다.

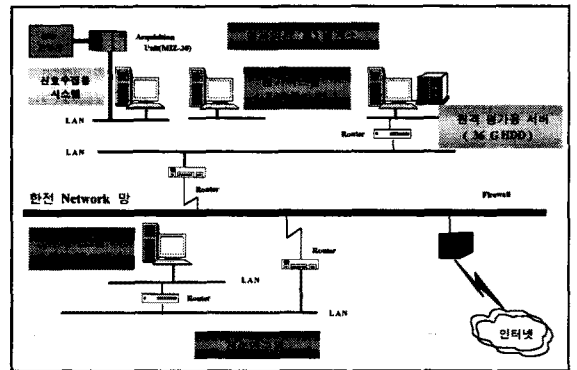


그림 2 원격 ECT 평가환경을 위한 네트워크 구축

원격평가용 서버는 취득한 신호를 보관하고 있으며 현
장의 라우터와 영평 라우터를 거쳐 한전망에 접속되어
있다. 전력연구원의 원격평가시스템도 로컬 라우터를 거
쳐 연구원 라우터를 통해서 한전 망과 접속되어 있다.
사내망은 본사를 중심으로 상호 연결되므로 영평에서 본
사를 거쳐서 전력연구원으로 물리적으로 연결되어 있다.
한전망은 방화벽을 설치하여 외부 네트워크에서 내부로
의 권한 없는 접근을 막고 있으므로 정보가 보호받을 수
있다.

3. ECT 취득신호 원격평가시스템 테스트

원격평가환경을 실제로 구축하고 테스트하기 위해서
원격평가용 서버는 영평 원자력발전소 내 증기발생기 전
열관검사 담당부서에 설치하고 원격평가시스템은 대전
전력연구원 내 비파괴 평가관련 실험실에 설치되어 있
다. 테스트 데이터는 기 취득한 데이터들을 영평의 평가
용 서버에 저장하여 사용하였으며 원격평가시스템은 정
기보수시 현장으로 이동하여 실제 평가에 이용되는 전력
연구원의 평가시스템을 사용하였다.

3.1 원격평가시스템 테스트 절차

우선 원격 ECT 평가용 서버와 원격 ECT 평가시스
템을 한전 네트워크에 연결시킨다. 이를 위해 각 시스템
에 고유의 IP address를 할당하고 시스템이 속한 네트
워크를 다른 네트워크와 연결하기 위해 사용하는 라우터
를 지정한다.

원격 ECT 평가용 서버의 경우, 로컬 파일시스템 중
에서 원격 ECT 평가시스템과 공유할 파일시스템을 지
정해주어야 한다. 그리고, 원격 ECT 평가시스템의 경
우 지정된 파일시스템을 마운트할 수 있도록 원격지 호
스트와 마운트 디렉토리를 설정해두어야 한다.

양 시스템을 이렇게 셋팅을 한 후, 원격 ECT 평가시
스템에서는 평가를 하기 위해서 원격지 파일 시스템을
로컬 파일시스템에 마운트한다.

그림 3에서는 원격 ECT 평가용 서버의 취득신호를
저장하고 있는 디렉토리를 로컬 평가시스템의 파일시스
템으로 마운트하는 과정을 보여주고 있다. 이렇게 로컬
평가시스템의 파일시스템으로 마운트되고 나면 그 이후
에는 자신의 파일시스템을 사용하는 것과 똑같이 사용할
수 있다. 또한, 평가한 결과도 로컬이거나 원격지에 상
관없이 저장하는 것이 가능하다. 그림 3에서 원격지 호
스트는 ect이며 공유할 디렉토리는 tube4이고, tubel
과 tube3는 이미 공유하고 있음을 알 수 있다.

이렇게 로컬 평가시스템에서는 외부 시스템의 파일 시
스템을 자신의 파일 시스템에 마운트할 수 있는 기능이

있다. 원래 이 기능은 취득한 신호를 신호취득 시스템에 저장해 둘 경우 이를 접근하기 위해서 사용하였으나 본 구축환경에서는 이 기능을 활용하여 원격 ECT 평가용 서버에 있는 취득신호를 접근하는데 사용하였다.

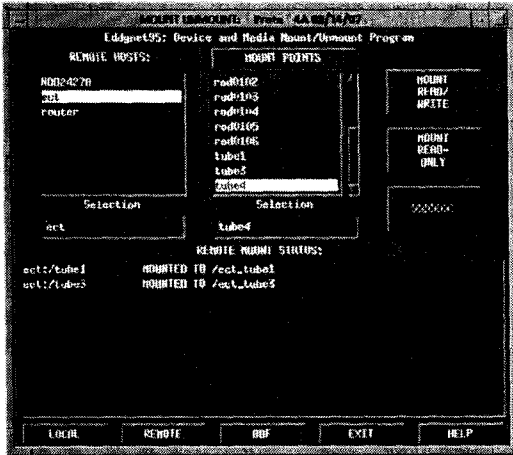


그림 3 원격 파일시스템을 로컬에 마운트

다음으로 평가하려는 증기발전기 전열관의 신호를 읽어들이기 위하여 평가시스템을 이용하여 평가를 수행하면 된다. 이 때 읽어들이는 디렉토리는 평가시스템이 원격호스트와 원격지 디렉토리를 이용해서 임의로 만든다. 평가 결과를 저장할 때에도 로컬이나 원격지 어디든지 저장하는 것이 가능하다.

3.2 ECT 취득신호 원격평가 결과

원격 ECT 평가 환경에서 테스트한 결과는 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 구축된 평가 환경의 네트워크 성능을 테스트해 보는 것이고, 두 번째는 평가 전문가로 하여금 원격지 데이터를 이용하여 원격 ECT 평가 시스템에서 평가를 직접 수행하는 것이다.

3.2.1 네트워크 테스트 결과

전력연구원에서 영광까지의 네트워크 상에서 데이터 전송속도를 측정하기 위해서 우선 데이터가 지나가는 라우터를 식별하고 다음으로 각 라우터까지 데이터를 보내고 다시 되돌아오는 시간을 측정하였다.

중간에 거쳐가는 네트워크는 6개로 각 네트워크마다 하나의 라우터를 선정하였다. 그림 2에서 라우터가 각 네트워크를 연결하고 있는 구성을 알 수 있다. 그리고, 전력연구원에서 각 라우터와 최종 목적지로 데이터를 보내서 되돌아오는 시간을 측정하였다.

경로간 전송속도 측정 현황 (전송속도 단위 : msec)				
측정장소	비과과평가그룹 실험실			
측정시간	1998년 5월 19일 오전 11:00			
구분	MAX	AVG	MIN	에러율
연구원 실험동	1	1	1	0
전력연구원	1	1	2	0
본사(연구원측)	1	3	9	0
본사(영광측)	7	11	20	0
영광 원전	15	34	72	0
발전부 라우터	16	21	35	0
영광 원격서버	16	30	70	0

표 1 전력연구원과 영광간 각 경로간 망 성능 측정

그 결과, 연구원 내 실험실 호스트가 연결되어 있는 네트워크의 라우터까지는 평균 1msec가 소요되었으며, 본사의 연구원측까지는 평균 3msec, 본사 연구원측에서 영광 발전부 라우터까지 소요시간이 18msec, 영광 발전부에서 호스트까지 9msec로 평균 30msec가 소요되었다. 또, 크기가 80KB 정도인 ECT 취득신호를 전송해 본 결과 약 6~7초 정도면 충분했다.

3.2.2 ECT 취득신호 원격평가 테스트 결과

원격 평가 테스트는 평가 전문가가 수행하였다. 전력연구원 비과과평가그룹 실험실에 설치된 증기발전기 와 전류신호 수집 및 평가프로그램인 Eddynet Program으로 영광원자력 3호기에서 수집한 신호가 저장된 Hard disk에 원격으로 접근하여 raw data를 불러온 다음 신호평가를 수행한 후 전력연구원 평가시스템에 저장하였다.

평가를 수행하는 동안 원격평가용 서버의 데이터를 원격평가시스템에 로딩하는 시간을 제외하고는 기존의 평가 때와는 별다른 차이가 없었다.

또한, 부가적으로 파일전송테스트를 수행하였다. 이 기능은 향후 각 발전소의 raw data를 집중관리하는데 필요하다. 원격평가용 서버의 하드디스크에 저장된 모든 데이터를 일시에 원격평가시스템으로 전송하는 것으로, 데이터를 압축하여 전송하는 방식과 압축하지 않고 전송하는 등 두 가지 방법으로 테스트를 수행하였다.

3. 결 론

기존에 평가를 위해 사용하고 있는 시스템은 Zetec사의 Eddynet95 Analysis로 본 과제에서는 기존의 시스템을 사용하는 평가 전문가에게는 전혀 환경의 변화에 대한 영향을 느끼지 않아도 되도록 하였다. 그러므로, 기존의 사용자들은 현장에서 평가를 수행하는 것이나 원격으로 평가를 수행하는데 있어서 별 차이를 느끼지 못할 것이다.

실제로 테스트를 해 본 결과 데이터 로딩시 취득시스템과 평가시스템을 같은 실험실 내부에 두고 테스트하는 것과 취득한 데이터를 원격에서 읽어오는 방식간에는 평가자가 인지할 정도의 시간차가 발생했다. 그러나, 평가자의 의견으로는 전체 업무를 수행함에 있어서는 문제가 되지 않는다고 한다. 이에 대한 해결책으로는 전용회선을 잡는 것을 고려할 수 있다.

원격 평가는 당장 당면한 문제는 아니지만 향후 증기발전기 검사 관련 환경이 변하고 있기 때문에 다중 평가 등 곧 개선사항이 발생할 것으로 보인다. 그러므로, 사전에 조사, 분석하여 이에 대한 대비책을 마련하는 것은 향후 발생할 문제에 대해 사전에 해결방안을 제시한다는 점에서 의의가 있다. 또한, 이와 유사한 방식으로 와전류검사를 평가하는 다른 평가체계에 대해서도 이 방법을 적용할 수 있을 것이다.

향후 모든 평가를 원격으로 수행할 경우 네트워크의 신뢰성이 문제가 될 수 있다. 그러므로, 네트워크의 이중화나 전화망의 이용 등 사내망의 불통에 대비한 보완책이 필요하다.

(참 고 문 헌)

- (주)이맥기술, "영광원자력 3호기 제2차 가동중검사 최종 보고서", 1997.
- ZETEC, "Eddynet Global User Guide", 1993.
- O'Reilly & Associates, Inc., "TCP/IP Network Administration", pp167-190, 1994
- 정보시대, "네트워크 스토리지 하드웨어, 소프트웨어 분석", LAN TIMES, 1998.2월호, pp238-247, 1998
- 전력연구원, "원격 ECT 평가환경 구축 결과보고서", 1998.