

중수로형 원자로 연료관 중수 누설평가를 위한 소음측정 연구

A Study on the Acoustic Signal measurement for Heavy Water Leakage Evaluation of Fuel Channel in Heavy Water Nuclear Power Plant

이상국† · 박종은* · 강설희**

Sang-Guk Lee, Jong-Eun Park and Sul-Hee Kang

1. 서 론

중수로형 원자력발전소의 연료관 마개 내부에서 누설되는 냉각재인 중수 누설을 검사하는데 있어서 검사하고자 하는 연료관마개 끝단에 음향센서를 수동으로 직접 접촉하여 검사하는 기존의 방식이 아니라, 연료관마개의 끝단에 신호수집부, 구동부, 제어 및 전원 공급부, 신호증폭부, 신호해석부 등으로 구성된 하나의 장치를 연료를 꺼내고 집어넣는 원격조정장치인 연료교환기의 헤드(Head)부에 부착하여 380개의 연료관을 하나씩 누설시 발생하는 삼중수소 농도 및 음향신호를 취득하여 분석함으로써 전체 연료관 채널 마개에 대한 누설검사법의 적용이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 연료관 채널 마개 전방에서 누설시 발생하는 내부부 음향신호를 동시에 측정할 수 있는 장치를 개발함으로써, 기존의 연료교환기를 이용한 전체 연료관을 검사할 경우 검사자의 고온 및 방사선구역 작업환경에의 노출되는 점을 예방할 필요가 있음을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 소음측정방법

Fig.1은 음향 탐지설비의 현장설치 및 진단 개략도를 나타낸다. 누설진단이 필요할 경우, 음향 탐지설비를 연료교환기 전면에 고정 설치하고 연료관에서 누설되는 삼중수소의 누설특성에 따라 발생하는 고주파 및 저주파의 음향을 측정하였다. 이렇게 측정된 음향신호는 연료교환기의 후단으로 신호 케이블을 이용하여 원자로구역에서 연료교환기 정비실인 R103 및 104 룸으로 커티너리(catenary)와 트롤리(trolley)를 이용하여 전송된다. 이때 원자로구역과

연료교환기 정비실 사이의 신호 케이블은 신호 케이블 포트가 별도로 필요하다. 그런 다음, 연료교환기 정비실에서 원격 감시지역까지의 음향신호의 전송이 필요하므로 연료교환기 정비실과 원격 감시지역사이에 또 다른 신호 케이블 포트를 만들어 신호케이블을 통과시킴으로써 최종적으로 원격 감시지역에서 음향 탐지설비의 데이터처리 및 분석기능을 이용하여 누설상태를 평가하고 그 결과를 디스플레이하게 하였다.

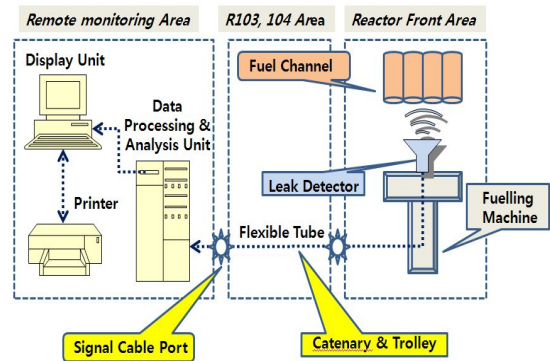


Fig. 1 Diagnosis method and layout of acoustic detection system in power plant

시험방법은 크게 2단계로 구분하여 수행하였다. 1단계 (Step 1) 시험은 연료관 전체 채널에 대하여 스캔 방식으로 짧은 시간내에 음향 데이터를 취득하는 것이며 2단계 (Step 2) 시험은 1단계에서 누설의심이 있는 채널을 대상으로 안정된 신호취득에 필요한 비교적 긴 시간동안 음향 데이터 취득을 정밀하게 수행하는 단계로 하였다.

2단계 시험방법은 1단계에서 누설의심이 있는 채널을 대상으로 비교적 긴 시간동안 음향 데이터 취득을 정밀하게 수행하는 단계로서, 누설의심 대상으로 하는 목표 채널로 이동 완료 후 음향 탐지설비를 통해 마이크로폰 음향신호를 취득하고, 채널 엔드피핑에 음향 탐지설비의 센서부를 접촉하여 마이크로폰(MIC) 및 음향방출(AE) 신호를 동시에 취득하여 음향 탐지설비에서 센서부 접촉에 따른 다량 누설 상태를 파악하기 위한 저주파 신호와 소량누설 상태를 파악하기 위한 고주파 누설 음향신호를 취득하기 위한

† 이상국; 한국전력공사 전력연구원
E-mail : sglee@kepri.re.kr
Tel : (042) 865-5635, Fax : (042) 865-5604

* 한국전력공사 전력연구원

** 한국수력원자력(주) 월성원전 2발전소

목적으로 2단계 시험을 수행하였다.

2.2 소음측정 결과

Fig.2는 2단계 음향측정시험을 수행한 결과중 대표적인 결과로써, 원자로 4/4분면 V행 7열 채널을 약 6분 동안 마이크로폰(MIC) 및 음향방출(AE) 신호의 측정결과를 나타낸다. AE 센서와 MIC의 음향센서로 취득한 주변잡음(BN; background noise) 신호의 측정시간에 대한 평균전압(RMS) 신호레벨의 진폭을 나타낸 그림으로서, 전체 진단화면의 가장 위에 위치한 진단화면은 MIC에서 취득한 저주파(BN 신호 포함)의 RMS 레벨을 나타내며 측정시간 300 스케일(측정시간 3분소요시점) 까지 진단화면에서 Y축 최대진폭이 약 80%까지 최대진폭을 가진 신호를 나타내다 갑자기 최대진폭 약 25% 정도의 진폭으로 55%까지 급격히 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 현상은 MIC를 채널마개와 떨어진 위치에서 측정하는 스캔방식과 달리 음향 센서부에 설치된 저주파 음향수집 나팔(acoustic horn)과 채널마개가 접촉함으로써 외부 잡음(external noise)이 최대한 혼입되지 않는 밀폐공간이 형성되어 채널마개와 엔더피팅간의 공간에서 발생하는 저주파 음향신호만을 취득하게 됨으로써, 급격한 진폭감소가 발생하게 되는 것으로 판단된다.

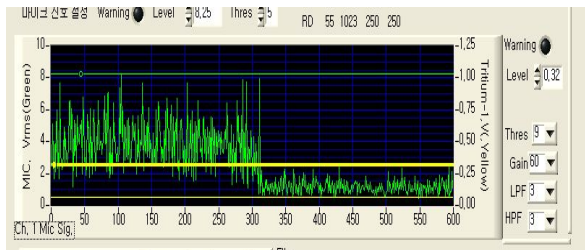


Fig .2 Typical measuring result of background noise and acoustic signal in V row and 7 line channel

Fig.3은 2단계 음향측정시험을 수행한 결과중에서 대표적인 결과로써, 원자로 2/4분면 K행 7열 채널을 약 3분 동안 마이크로폰(MIC) 및 음향방출(AE) 신호의 측정결과를 나타낸다. AE 센서와 MIC의 음향센서로 취득한 BN 신호의 측정시간에 대한 평균전압(RMS) 신호레벨의 진폭을 나타낸 그림으로서, 전체 진단화면의 가장 위에 위치한 진단화면은 MIC에서 취득한 저주파(BN 신호 포함)의 RMS 레벨을 나타내며 진단화면에서 Y축 최대진폭이 측정시간 170 스케일(측정시간 50초 경과시점) 까지 약 80%까지 최대진폭을 가진 신호를 나타낸 후, 171~450 스케일(측정시간 51~135초 경과시점)에서 갑자기 최대진폭 약 25% 정도의 진폭으로 55%까지 급격히 감소한 후 최종적으로 451~600(측정시간 136~180초 경과시점)에서 또 다시 최대진폭 약 80% 정도의 진폭으로 55%까지 급격히 증가하는 경향을 나타내었다. 이

러한 현상은 음향 센서부에 설치된 MIC의 저주파 음향수집 나팔(acoustic horn)과 채널마개를 스캔 모드로 간격을 두고 신호취득한 후 접촉하고, 또 다시 스캔 모드로 간격을 두고 측정함으로써 나타낸 것이다. V행에서 측정된 것과 같이, 채널마개와 떨어진 위치에서 측정하는 스캔방식과 달리 음향 센서부에 설치된 저주파 음향수집 나팔(acoustic horn)과 채널마개를 접촉함으로써 외부 잡음(external noise)이 최대한 혼입되지 않는 밀폐공간이 형성되어 채널마개와 엔더피팅간의 공간에서 발생하는 저주파 음향신호만을 취득하게 됨으로써, 급격한 진폭감소가 발생하게 되는 것으로 판단된다. 따라서, 연료관 마개에서 발생하는 다량 중수누설 상태를 파악하기 위한 저주파 신호를 취득할 경우 접촉방식이 BN의 혼입을 최대한 감소시키는 최적의 방법이 될 수 있을 것으로 생각된다.

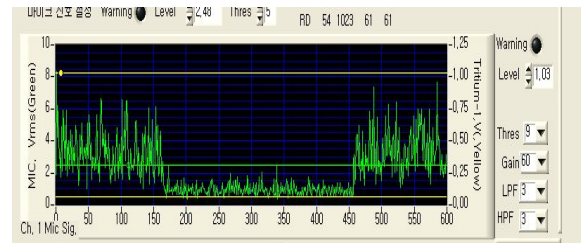


Fig .3 Typical measuring result of background noise and acoustic signal in K row and 7 line channel

3. 결 론

중수로형 원자로 연료관 중수 누설평가를 위한 소음측정 연구를 통하여 얻어진 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 현장시험을 통하여 취득한 MIC 및 AE 음향신호는 누설징후가 없는 상태의 기준신호로 취급할 수 있다.
- 2) 보다 정확한 누설상태에 따른 음향신호 기준 설정을 위해서는 향후 많은 데이터 확보를 통하여 보완이 가능하며 이들 데이터는 해당 측정 채널의 누설여부 평가를 위한 음향탐지 기준자료로 유용하게 활용할 수 있을 것으로 생각된다.
- 3) 연료관 마개에서 발생하는 다량 중수누설 상태를 파악하기 위한 저주파 신호를 취득할 경우 접촉방식이 주변 잡음의 혼입을 최대한 감소시키는 최적의 방법이 될 수 있을 것으로 생각된다.