◎ 기술논문
◎ Technical Paper

DOI: https://doi.org/10.5293/kfma.2023.26.6.122
ISSN (Print): 2287-9706

원자로 안전성 향상을 위한 원자로계통 냉각수 누출 감지시스템 개발

권태순*† · 김우식**

Development of a RCS Coolant Leak Detection System for Reactor Safety Enhancement

Tae-Soon Kwon*†, WooShik Kim**

Key Words : Leak Detection System(누설감지계통), RCS(원자로냉각재계통), Unidentified Leakage(미확인누설), Leakage Collector(누설포집관), Suction and Discharge(흡입 방출)

ABSTRACT

A 0.007 gpm real-time small-and-unidentified leak detection system has been developed. The standard environment test procedures for nuclear power plants were applied to confirm the plant applicability of the developed system. As a result of the minimum leak detection performance test, 0.007 gpm leak detection was demonstrated. If this system is applied to a pressurized light water system, it is possible to detect a local leak much faster than that of a conventional 1 gpm system. As much as the reduced leak detection time, it is possible to extend an operator-action time for the nuclear power plant safety shutdown. If a small leak from a crack can be detected much earlier, the plant can be safely remedied before the crack grows much larger. In addition, real-time leak monitoring is possible to where the LBB (Leak Before Break) design concept is applied pipes or components. This leak detection system can improve the safety of nuclear power plants.

1. 서 론

가압 경수로는 방사성 물질의 대기방출을 차단하기 위하여 핵연료 피복관, 원자로 압력용기 및 격납건물의 다중보호 개념을 적용한다. 원자로 계통에서 냉각수 누출 발생시 이를 조기에 감지하여 원자로를 안전상태로 운전할 수 있는 시간적 여유가 많을 수록 안전성 향상에 유리하다. 지금까지 원전 안전성 연구는 배관파단사고(LOCA : Loss of Coolant Accident) 발생 이후 비상 노심 냉각수의 공급과 이에 따른 노심 온도의 허용 한계 이하 유지 여부가 주요 대상이었다. 그러나, 원자로 계통의 냉각수 누출은 배관의 파단 보다는 배관의 미세균열에 의한 냉각수 누출이 더 빈번하게 발생하였다.[1] Fig. 1은 증기발생기 하부에 부착된 1/2 inch 배수관 차단 밸브 용접부의 미세균열에 의한 냉각수 소량누설 발생 사례이다.[1] 종래의 1 gpm급 누설감지시스템으로 이러한 소량 누설 발생 부위를 최종 확인 하는데 약 50 여 시간이 소요되었다. 그 이유는 냉각수 소량누설에 의한 격납건물 공기 습도 증가량, 방사선량 증가량과 Sump 누적 수위 증가량이 너무 미미하여 누설감지로 인식하기 매우 어려웠기 때문이다.

미세균열 부위에 작용하는 외력의 크기가 커서 소성변형 범위에 있으면, 미세균열이 급격하게 배관 파단으로 성장하고, 탄성한계 이내에 있으면, 미세균열은 성장 속도가 매우 더디거나 정체되어 성장하지 않는다. 원전의 소량 누설을 조기에 감지하여 운전원에게 충분한 안전조치 시간을 부여할 수 있는지 여부는 원전 안전성 확보 측면에서 중요하며 특히 무엇보다 감지 속도가 원전 안전성 확보에 영향이 매우 큰 중요한 인자이다. 원전 냉각수 소량 누출은 대용량 체적 단위 계측 보다는 국부적으로 직접 계측하는 방식이 보다 감지 속도가 빠르며, 운전원에게 대처시간을 충분히 부여할 수 있어서 원전 안전성을 확장시킬 수 있는 유일한 누설감지 핵심 기술이다.[1,2]

본 논문의 소량 미확인 누설감지시스템 기술은 Fig. 2와 같은 누설 증기 혼합유체를 포집하는 Loop를 구성하고 빠른 반응속도를 갖는 습도 센서와 방사선 베타선 센서 및 물 센

* Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI)
† 교신저자, E-mail : tskwon@kaeri.re.kr

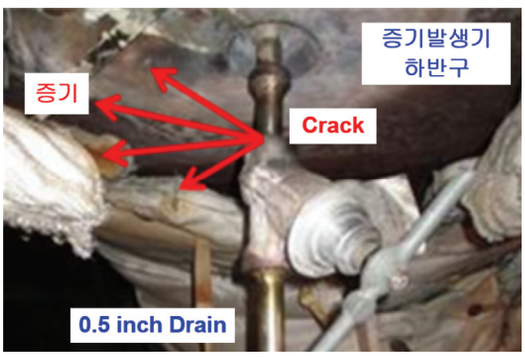

Fig. 1 Small and unidentified leak event (example)

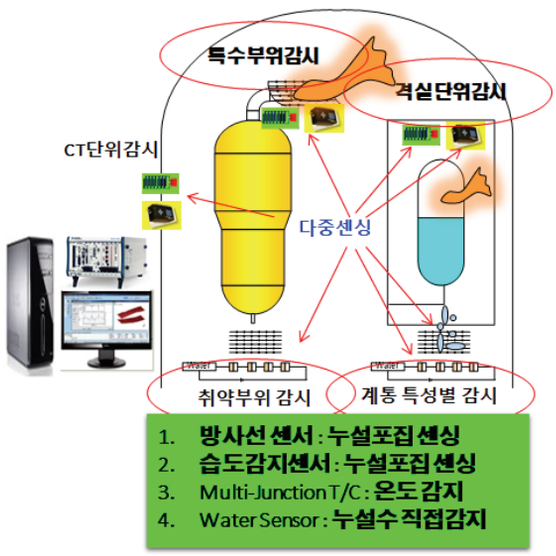

Fig. 2 Real time leak detection system

서 등의 다중 센서를 적용하여 누설감지신호의 신뢰성을 증가시켜 초 단위 실시간으로 감지하는 각 각의 단위 기술을 융합한 복합시스템 기술이다.[3]

2. 누설감지 기술의 구성

2.1 센서 개발 및 누설감지 시스템 적용

개발된 단위 센서는 증기 포집기, 온도 센서, 습도 센서, 베타선 센서, 물 센서 등 이다.[3] 고온의 원자로 냉각재 누설수로 인해 발생한 습공기를 포집하여 습도 변화 및 방사선 변화를 감지하려면 누설 유체를 최대한 빠르게 포집하여 센서 어셈블리 블록으로 이송하여 계측함이 유리하다. 이를 위해 센서의 반응 속도를 보다 빠르게 하고 신호 민감도는 크게 향상시켰다. 단위 센서는 반응 시간, 신호의 전기적 안정성, 민감도 등의 평가 시험을 개별적으로 수행하였다. Fig. 3은 단위 센서 개발 및 개별 성능시험, 누설감지 시스템의 성능시험 및 환경시험에 이르는 종합개발과정을 나타낸다.

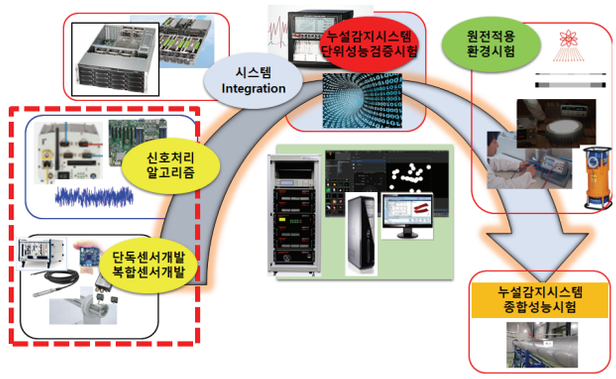

Fig. 3 Developing and qualification technical process

원자로 근처는 고방사선 구역이므로 전자 계측기를 직접 운용할 수 없다. 따라서 고방사선 구역에서 운영 가능한 재질의 누설 포집기를 설치하고 감지 센서 및 신호 변환기는 방사선 차폐체 내부에 위치시켰다. 방사선 차폐체 시스템은 격납건물 환형 복도의 방사선 설계조건 10 mSv/hr의 60년 누적 방사선량 조건을 적용하였다. 방사선 차폐체는 방사선 계측 신호 모듈과 습도 계측 모듈로 나누어 2개의 차폐체로 분리 제작하였다. 원전 적용기준 환경시험, 전자파 시험, 내진동 시험 등은 차폐체 단위로 각 각 수행하였다.

2.2 센서 성능 시험

온도 센서는 Micro Thermocouple (T/C)로 구성하여 반응 속도를 빠르게 하되 T/C Junction의 취약성을 보완하기 위하여 3점 병렬 구조로 설계하였다. 3점 병렬 구조는 3개의 Junction 중에서 2개까지 파손되어도 정상 측정이 가능하여 온도 센서의 고장 확률이 현저히 낮아진다. 온도 센서는 반응 속도 시험, 방사선 내환경 시험을 별도로 수행하였다.

Fig. 4는 3점 병렬 구조 Micro T/C의 온도 반응 속도 시험 결과이다. 약 60 °C의 온도 편차를 약 0.06 sec 이내에 감지한다.[5]

누설 포집기는 고온 및 고방사선의 용기나 배관의 누설유체를 Loop 내부로 포집하는 기능을 담당한다. 누설 포집기는 SUS316 금속 분말을 800~900 °C에서 고온소결하여 내고온성 및 내방사선 성능이 우수하다. 소결체 공극의 크기는 2 μm이며 길이 15 mm, 두께는 2 mm이다. 소결체의 양단은 1/4인치 Fitting에 고정되고 그 외부는 보강용 지지판으로 소결체를 비틀리지 않게 보호하는 구조로 설계하였다. 포집 Loop는 1/4인치 SUS316 튜브로 구성되며 320 °C 의 원자로 주배관 외부에 설치한다. 포집 Loop의 전체 길이는 50 m이고, Loop의 중앙부 10 m 구간에 약 2 m 간격으로 누설 포집기를 5개를 배치하여 시험하였다. 가압경수로 고온관의 정상운전 최대 온도는 약 323 °C 정도이다. 포집기의 열 수축 팽창 변형에 따른 성능 변화 여부를 확인하기 위하여 350 °C

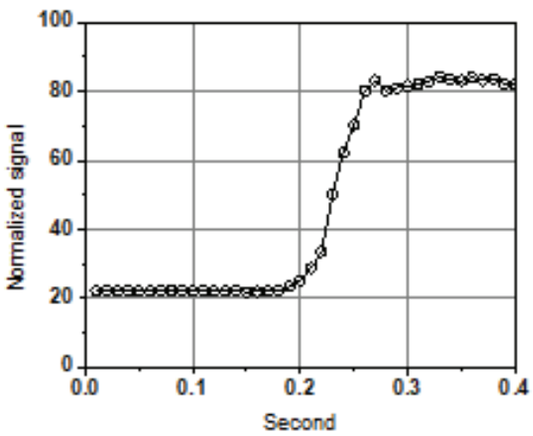

Fig. 4 Temperature response time test

가열로에서 24 시간 가열후 상온에서 냉각시켜 소결체 형상의 변화 및 소결체 공극의 변화에 따른 영향을 차압 시험으로 확인하였다. 가열 전후에 누설 포집기의 차압의 변화는 계측기 오차 허용 범위(2*Sigma) 이내로 매우 작았는데 이는 소결체 공극의 변화가 없음을 의미한다. 포집기는 Suction & Discharge 성능시험과 실제 고온 모의 배관 누설 포집 시험에 적용하여 성능을 확인하였다.

Fig. 5는 배관 단면에서의 포집 Loop 배치각을 나타낸다. 배관의 상부에 1mm 누설 모의 노즐을 배치하고 배관 단면의 상부(Track-T), 좌(Track-L), 우(Track-R), 하부(Track-B)에 각 각 4개의 포집 Loop를 배치하였다. Fig. 6은 모의 배관 누설 포집 시험에 적용된 시험장치의 Loop 배치를 나타낸다. Fig. 6 좌측은 누설 모의부 전단(Inlet)을 나타내며 우측은 후단(Outlet)을 나타낸다. 전단(Inlet)은 Loop의 정상 작동 여부를 비교하기 위한 보조 수단으로 계측하며 파단부의 누설은 후단(Outlet)에 배치된 습도계 등의 센서로 감지한다.

물 센서와 습도 센서는 정전용량 차이를 감지하는 방식이다.[4] 물 센서 및 습도 센서는 전기전자 시험, 감지 성능시험 등의 개별 시험을 통해 감지 속도 및 민감도 등의 주요 성능 시험을 수행하였다.

센서는 전체 시스템에 조립되어 시스템 단위로 원전 적용 기준 공인환경 시험인 내방사선 시험, 온도습도 환경시험, 내전자파 시험, 내진 시험 등을 수행하였으며 최종 누설감지 모의 종합성능시험에도 적용하였다.

2.3 누설감지시스템의 개념 및 작동원리

Fig. 6은 누설감지 시스템의 성능검증 시험 장치의 구성 Loop를 나타낸다. Fig. 6에서 Loop의 (왼쪽 inlet 계측기 배치 부분) 입구 쪽과 (오른쪽 outlet 계측기 배치 부분) 출구 쪽에 설치된 압력계 2 개를 제외하면 실제 원자력 발전소에 설치되는 Loop의 구성과 센서의 배치 및 Tag은 동일한 구성

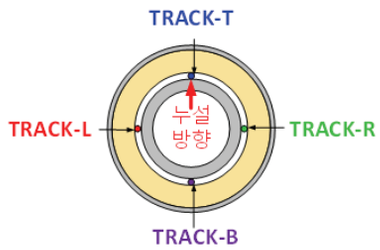

Fig. 5 Angle of leak detection loops (top break nozzle)

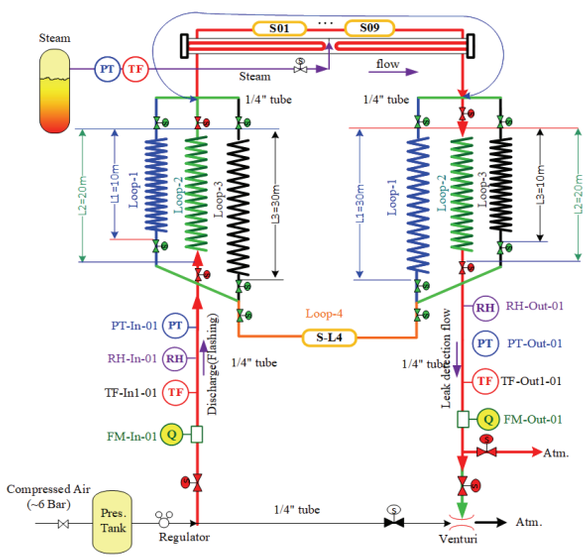

Fig. 6 Configuration of leak detection loop

이다. 실제 원자력 발전소에 설치되는 Loop에는 출구 쪽 유량계와 Venturi 사이에 베타선 방사선 센싱 챔버가 추가로 설치되며, 이를 통해 습분공기에 포함된 베타선을 감지한다. 습도 이상 증가와 베타선 이상 증가로 누설 여부를 감지하는 이중감지 방식이며, 이 외에도 별도의 물 센서가 추가된다. 물 센서는 트랜치 등 배수로나 주요 바닥에 설치되어 누설수를 직접 감지하는 방식이다. 모든 계측기는 납 차폐체 내부에 위치하여 고방사선으로부터 보호되며, 납 차폐체는 격납건물 환형 복도에 배치한다. 신호 데이터 처리 계통은 주제어실의 보조계통 판넬 주변에 위치함을 고려할 수 있다. 누설감지 시스템의 포집 Loop의 입구 쪽 센서는 시스템의 정상 작동 여부를 판별하기 위한 참조 신호용이며 출구 쪽 습도 센서, 물 센서 및 방사선 센서의 기준 신호 대비 급등 신호 발생 여부로 누설 여부를 감지한다. 원자로 계통에서 냉각수 누설이 발생하지 않은 정상상태에서 누설감지 시스템의 포집 Loop 입구 쪽 센서는 압축공기의 낮은 습도값이 계측되지만, 출구 쪽 습도계는 원전 배관에 설치된 포집기로 유입되는 공기의 습도와 방사선 준위가 계측된다. 이때 공기 습도는 압축공기 보다 높은 습도값이 계측될 것이다. 출구 습도 센서 값은 격납건물의 정상상태 습도 대표값과는 다르

며 배관상에 위치한 포집기의 위치별 조건 및 원전 운전상태에 따라 다르기 때문에 기준신호 값은 원전 운전 조건에 따라 사전 계측된 값을 비교 기준으로 해야 한다. 누설감지 시스템은 4개 운전모드의 주기적 순환 운전으로 작동한다. 각 주기별 작동시간은 발전소 설치환경에 따라 약간씩 다르며, 적정한 값은 시운전시 결정된 값을 입력하고, 운전원에 의해 변경이 가능하다.

(1) Loop Flushing

Tube Loop 내부를 건조한 압축공기로 30 초 동안 불어낸다. Tube Loop 내부의 공기 습도 및 방사선 준위는 Fresh 압축 공기로 세척된 상태가 된다.

(2) Loop Vacuuming

Fig. 6의 venturi로 압축공기를 3~5초 정도 불어 주면 Tube Loop 전체에 음압이 걸리게 되며, 이때 습공기 포집기의 다공질 부위를 통해 고온 누설수로 인해 발생된 습공기가 포집 Loop안으로 끌려 들어오게 된다.

(3) Pressure Recovery

Vacuuming 과정을 통해 포집 Loop 안으로 이끌려 들어온 습공기가 포집 Loop 안에서 안전상태가 되도록 15 초의 안정화 시간을 부여한다.

(4) Discharging

포집 Loop 안에 유입된 습공기를 30초 동안 압축 공기로 불어 출구 쪽 센서 부위로 흐르도록 하여 포집 유체의 습도 및 누설 관련 물리량 변화를 계측한다. 이때 입구 쪽 튜브 공기 속도는 약 11 m/s 이다. 누설에 의해 습공기의 습도가 올라가면 이를 습도 센서가 감지한다. 실제 원자력 발전소에 설치되는 시스템에서는 습도 이외에 습공기에 포함된 베타선도 감지하여 냉각수 누설 여부를 판별한다. Discharging 시간은 실제 Loop의 설치 Tube 길이에 따라 다르게 설정해 주며, 성능 실험에서는 연속된 누설 모의용 증기 분사로 포집기 및 튜브 내부에 습공기가 응축되어 누설신호를 왜곡시키지 않도록 습공기의 고습도 신호와 건공기의 낮은 습도 유지 시간을 길게 주기 위하여 30초의 압축공기 분사 시간을 설정하였다. 포집 Loop 최종 출구에서 배출되는 습공기는 격납건물 내부로 재순환한다.

2.4 방사선 차폐체

Fig. 7은 유량계와 습도 센서 및 Transmitter가 내장된 방사선 보호용 납 차폐체 사진이다. 습도 센서용 납 차폐체는 감마선 차폐용 납과 중성자 차폐용 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)으로 이중 차폐 구조이다. 납 차폐체는 내부의 납과

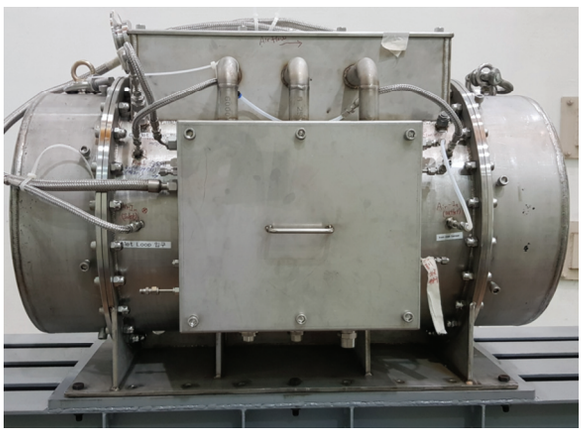

Fig. 7 Anti-radioactive and protection structure for T/H sensor

외부의 약 1cm 두께의 SUS304 피복재로 구성되었다. 누적 방사선 조사 시험은 5 kGy 기준을 적용하였으며 이는 격납건물 환형 복도 원전 설계 기준 60년 누적 방사선량이다. 이와 별도로 10 kGy까지 조사하여 내부 계측기기의 수명 확인 시험을 별도로 수행하였다. 10 kGy는 원전 환형 복도 누적 방사선량 설계기준으로 120년에 해당한다. 차폐체는 원전 기기 환경시험 기준의 내전자파 시험, 온도습도 내환경 시험, 내방사선 시험 및 내진동 시험 등을 공인시험 기관에서 수행하였다.

3. 원전 적용 기준 환경시험

누설감지 시스템의 원전 적용을 위해서 원전 기기 환경시험 기준의 시험을 공인시험 기관인 ICR에서 Q-Class와 동일한 환경시험 조건과 시험방법으로 각 각의 시험을 수행하였다. 차폐체 기준으로 온도습도 측정 모듈과 방사선 측정 모듈로 나누어 동일하게 전자파 시험, 내방사선 시험, 온도습도 환경 시험 그리고 내진 시험을 순차적으로 수행하였다.

Fig. 8은 온도습도 측정 모듈의 내방사선 시험 모습이다. 차폐체 모듈 내부에는 계측센서 및 신호중계기(Transmitter)가 배치되어 실제 원전의 10 mSv/hr 방사선 환경에서 40년 동안의 누적 방사선량 조건 3.5 kGy 기준에 대한 시험이다. 원전 60년 수명 누적 방사선량 5.1 kGy 까지 내방사선 시험을 수행하였다. 방사선 측정 모듈도 동일하게 시험을 수행하였다. 시험은 포집 Loop 유동조건에서 실제 신호를 비방사선 구역에 별도로 설치한 비교용 측정 센서값과의 차이 여부로 차폐체 내장 센서의 방사선 누적 조사량에 따른 신호 변화 여부를 비교하였다.

이와 별도로 9.8~10 kGy 방사선 조사량 수명 시험을 추가 수행하였다. 이는 10 mSv/hr 방사선 환경에서 최소 약 114년 누적 방사선량에 해당한다.

Fig. 9는 전자파 시험 챔버 내부의 모습이다. 전자파 시험은 전자파 적합성 시험인 EMC (Electro Magnetic

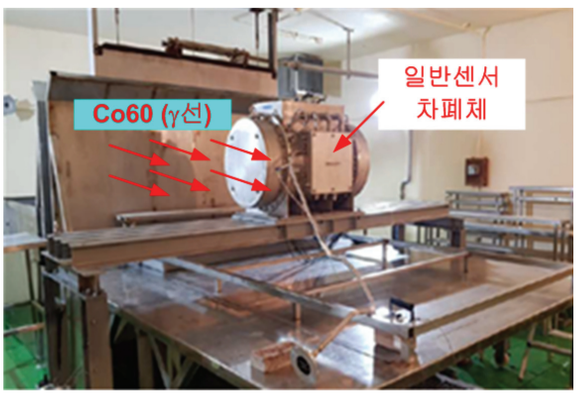

Fig. 8 High gamma ray(co-60) radiation testing

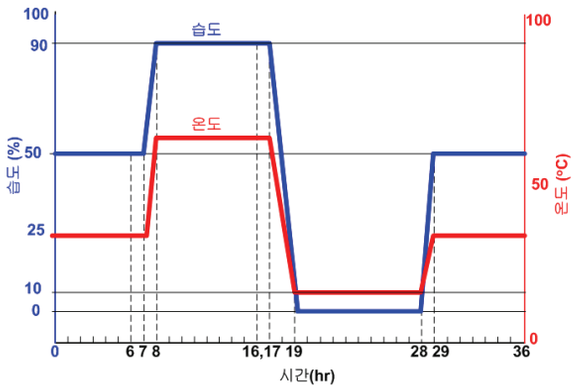

Fig. 10 Environmental test conditions

Fig. 9 Electro Magnetic testing chamber

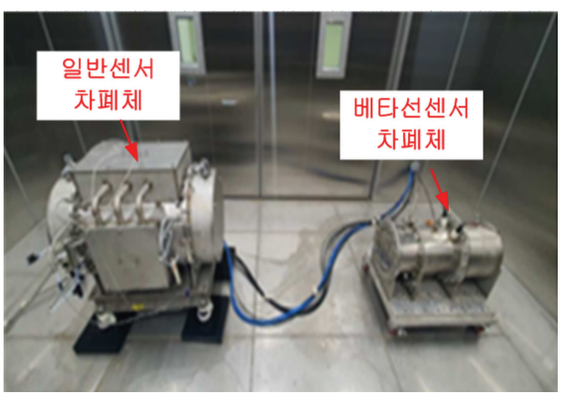

Fig. 11 Environmental testing chamber

Compatibility) 시험을 대상으로 하였다. 크게 2종류로 전도 내성 시험인 CS (Conductive Susceptibility) 시험과 방사방출 (또는 복사방출) 시험인 RE (Radiated Emission) 시험을 수행하였다. CS 시험은 9 kHz~30 MHz 범위에서 수행하였다. 전자파 시험은 포집 Loop 유동조건에서 실제 신호를 저장 비교하며 수행되었다.

Fig. 10은 적용된 내환경 시험 온도습도 조건이다. Fig. 11은 온도/습도 내환경 시험 챔버 내부의 모습이다. 온도/습도 내환경 시험은 전용 시험챔버에서 수행하였다. 시험챔버의 내부 온도 및 습도는 원전 기기 적용 시험 조건과 동일하게 온도 습도 조건을 적용하였다. 시험결과는 온도습도 변화 조건에서 계측된 측정값 변화량이 허용범위 이내에 있는지 여부로 판별한다. 이를 위하여 측정용 공기순환 Loop를 구성하여 외부 순환 공기를 Loop에 주입하여 챔버 내부에 위치한 온도/습도/유량 계측기를 경유하여 대기로 방출하게 하였다. 온도/습도/유량 계측 센서는 동일 Loop 상에 직렬로 위치하며 측정용 공기 Loop는 Open Loop 형이다. 챔버 내부에 위치한 시험용 계측기 측정값과 챔버 밖에 위치한 비교용 측정기의 측정값의 차이를 비교하여 센서의 건전성 여부를 판별하는 방법으로 수행되었다. 신호 건전성 판별에 적용된 기준은 Eq. (1)과 같다.

$$\left|\left(\frac{R_i(t)-S_i(t)}{R_{i,FullSpan}}\right)_{Max}\right| - \left|\left(\frac{R_i(t)-S_i(t)}{R_{i,FullSpan}}\right)_{Min}\right| \le C_i \qquad (1)$$

여기서,

R_i : *Reference Sensor*
$C_i = 3\sigma_i * 1.2$, (*unit* : %)

Uncertainty(1*σ(*standard deviation*))
$3\sigma_F = 2.4\%$, for *Flowmeter*
$3\sigma_T = 3.0\%$, for *T/C*
$3\sigma_H = 3.0\%$, for *Humidity*

Uncertainty Requirement of Sensor
$\sigma_T = 1.0\%$
$\sigma_H = 1.0\%$

각 센서의 평균값 기준 99% 데이터를 포괄하는 범위인 3*Sigma 범위의 120%를 허용범위로 설정하였다. 100~120 %의 추가 여유 범위는 3*Sigma의 99%를 벗어나는 1% Data의 비선형 random fluctuation의 크기를 고려하여 설정하였다.

Fig. 12는 내진 시험 모습이다. 내진 시험 기준은 실제 기기가 위치할 것으로 예상되는 보조건물의 해당 고도를 기준으로 지진응답도를 평가하였다. 운전기준 지진 (OBE : Operating Basis Earthquake) 시험 5회 안전정지 지진 (SSE : Safety Shutdown Earthquake) 시험 1회, 조건 진

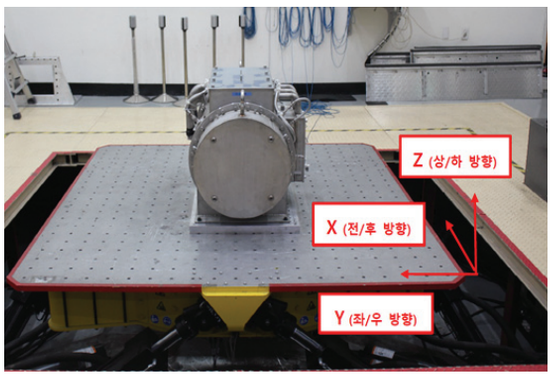

Fig.12 Vibration testing for OBE and SSE conditions

Fig. 13 Leak detection test (70 bar steam, 0.23 gpm)

동시험 2회와 기준평가 진동시험으로 OBE 조건 및 SSE 조건 시험 전후에 각각 1회 씩이 추가하여 수행하였다.

온도 습도 환경 시험, 전자파 시험, 내방사선 시험 및 내진동 시험 결과는 각 각 기준 성능을 만족하였다.

4. 냉각수 최소 누설유량 포집 성능시험 결과

원전 정상운전 냉각수 온도와 압력 조건의 원자로 배관계통 누설 모의 실험장치에서 소량 미확인 누설 검증 시험을 수행하였다. Fig. 13은 70기압 포화 증기를 1 mm 직경의 파단 모의 노즐을 통해 배관과 보온재 사이로 방출하여 0.23 gpm의 냉각수 누설을 감지하는 성능검증 시험(예)의 사진이다.

Fig. 14는 누설감지시스템의 성능시험 결과이다. 누설감지 시스템의 민감도를 나타내는 성능지표중에서 가장 중요한 최소 누설량 감지 성능 한계를 실증 시험한 결과이다. 누설감지 시스템의 최소 누설 유량 감지 성능은 기술개발 성능목표인 0.5 gpm보다 훨씬 작은 0.0068 gpm 누설까지 감지함을 원전 누설 모의 실증 실험으로 입증하였다. 최소 누설유량 감지성능 시험에서 계측된 습도 신호의 주기적 스파이크 신호는 Loop로 포집된 누설 습분공기의 높은 상대습도 증가가 누설 감지 대표 신호로 감지되었음을 의미한다. 각 포집 Loop 별 상대습도 신호가 명확하게 구분된다. 70 기압 포화 수증기 저압 조건과 배관 단면상에서 Top 부분의 누설 모의 증기 방출 노즐과 반대의 위치인 Bottom 배치 포집 Loop로 측정하는 최악의 감지 조건에서 시험하였다. 0.0068 gpm 유량값은 실험 Loop의 유량계 계측오차 범위에 근접하는 최소값이다. 더 작은 유량 Span을 갖는 유량계를 적용하면 더 작은 최소 유량 계측이 가능하다. 감지 가능한 최소 누설 유량이 작을수록 누설감지 시스템이 매우 민감함을 의미한다. 최소 누설 유량 성능검증 시험은 4개 포집 Loop중 가장 누설 감지가 어려운 각도에 배치된 Bottom-Loop를 기준으로 평가하였으므로 이 보다 파단 부위 쪽에 더 가까이 위치한 포집 Loop의 감지 시간은 더 빠르고 신호의 선명성이 더 좋다. 반대로, 파단 노즐로부터 습공기 포집기가 멀리 있을수록, 파단 노즐과 반대의 배관 단면상의 배치 각을 갖을수록, 누설감지가 어렵다.

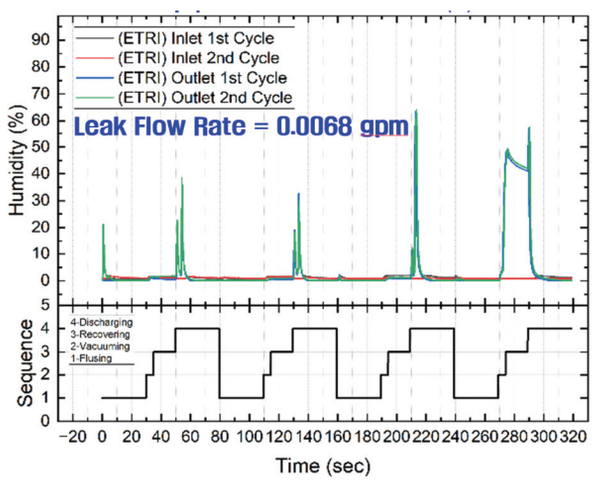

Fig. 14 Leak detection performance test result (Humidity signal of the minimum leak flowrate of 0.0068gpm)

5. 결 론

종래의 1 gpm급 누설감지 시스템으로 소량 냉각수 누설을 감지할 경우 격납건물 습도 변화량 미미함 및 Sump 수위 변화량 미미함에 따른 50 시간급 감지시간 지연 문제를 해결할 수 있는 실시간 소량 누설감지 시스템 기술을 개발하였다. 원전의 고온 조건의 배관 소량 누설을 모의하는 소량 누설감지 성능검증 시험 결과 최소 누설 유량 0.007 gpm 까지 실시간으로 누설을 감지함을 확인하였다. 이는 매우 작은 소량누설을 초 단위 실시간으로 감지함을 의미하여 매우 민감한 누설감지 시스템의 구현이 가능함을 의미한다. 원전의 고방사선과 고온 배관의 특성을 고려하여 센서를 고방사선으로부터 보호하는 납 차폐체와 SUS316 미세 분말을 고온에서 소결한 다공성 누설 포집기를 개발하여 1/4인치 SUS316 포집 Loop형의 누설감지 시스템을 구성하였다. 개발 시스템을

원전에 적용하기 위하여 원전 적용 조건의 공인기관 환경시험을 수행하여 60년 원전 수명 기준으로 내방사선 성능을 입증하였다.

본 누설감지 시스템을 적용하면 종래 1gpm급 확인 누설감지 시스템보다 훨씬 빠르게 소량 누설을 초 단위급 실시간으로 감지하여 단축된 감지시간 만큼 원전 운전원에게 더 장시간의 대처시간을 제공할 수 있다. 이는 누설의 미감지에 의한 운전원의 판단 착오와 제어계통 오조작을 방지하고 소량누설 발생시 이를 조기감지하여 원전을 안전하게 정지 또는 고온대기 상태로 운전함으로써 원전의 실질적 안전성 향상에 기여할 수는 기술적 기반을 제공하는 것이다.

또한, 본 기술을 파단전 누출(LBB: Leak Before Break) 설계개념 적용 부위의 실시간 감시 기술로 적용하며 원자로 계통의 미세균열 부위를 통한 소량누설의 조기감지가 가능하므로 미세균열이 더 크게 성장하기 전에 발견하여 안전하게 대처하거나 보수할 수 있다.

이와 같이 기술의 활용성과 종래 기술과의 차별성과 혁신성 측면에서 본 기술은 원전 안전성 향상에 실질적 기여가 가능한 핵심기술이다.

후 기

본 연구는 산업자원부 기술혁신사업의 일환으로 연구 (과제번호:20211510100050)가 수행되었습니다. KETEP과 연구지원 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

(1) Nuclear Safety and Security Commission, 2017-4th, Agenda No. 1.
(2) Korea Hydro & Nuclear power Co Ltd., 2015, “Shin Kori Nuclear Unit 3,4 Final Safety Analysis Report”.
(3) Tae-Soon Kwon, Jong-Rok Kim, Choon-Ki Choi, Jun-Sik Park and Cheong-Ryul Choi, Development of a Unidentified RCS Leakage Detection Sensor System Less than 0.5 gpm, The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 24, No. 2, April 2021, pp. 13~19.
(4) S. Mondal, S. J. Kim, C.-G. Choi, 2020, “Honeycomb-like MoS2 Nano tube Array-Based Wearable Sensors for Non-invasive Detection of Human Skin Moisture”, ACS Applied Materials & Interfaces 12(14), 17029.
(5) Jong-Rok Kim, et al., 2020, “Development of leaked water detection system for RCS in nuclear power plant using conductance meter,” 11th NCFE.