

중수누설 조기검지를 위한 상용화장치 개발

홍용호^{1*}, 박형민¹, 최은석¹, 이석기², 박현민³, 김화섭⁴

¹(주)액트, 대전광역시 유성구 테크노 9로 35 IT 벤처타운 406호

²(주)한빛레이저, 대전광역시 유성구 유성대로 1596번길 32-48

³한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

⁴(사)한국원자력기술기업협회, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111 한국원자력연구원 53A 303호

*hyh@actbest.com

1. 서론

중수로형원전(PHWR)은 전 세계적으로 운영되고 있는 원자로의 약 5%를 차지하고 있으며 우리나라는 월성원자력발전소 1~4호기가 여기에 해당된다. 중수로형원전의 냉각재와 감속재로 사용되는 중수는 원자로 내에서 생성된 방사성물질인 삼중수소를 함유하고 있어 다량으로 누설될 경우 방사선작업종사자의 내부피폭과 불시정지의 원인이 된다. 따라서 중수누설의 조기 검지 필요성이 현안사항으로 꾸준히 제기되어왔다. 이에 따라 극 미량이라도 누설되는 중수를 직접 측정할 수 있는 레이저 분광기술을 2012년에 한국원자력연구원에서 개발하였고, 이 기술을 2013년에 (주)액트와 (주)한빛레이저가 이전받아 중수누설을 조기에 검지할 수 있는 상용화 장치의 개발을 진행하였으며, 이에 대한 개발과정과 내용들을 소개하고자 한다.

2. 본론

2.1 시제품 설계 및 제작

저손실 광학 공진기의 설계, 혼합 중수 검지용 레이저 선정, 흡수신호 증대를 위한 Mirror 선정 및 공진기 길이가 1,000배 되도록 공진기를 구성함으로써 중수누설검지장치의 핵심요소인 OA-ICOS 흡수셀을 개발하였고, 공압배관 설계, Scroll Pump 구성, 신호처리 및 분석을 위한 DAQ 보드 선정 및 Control PC를 구성하여 중수누설 검사를 위한 시스템을 개발하였다.



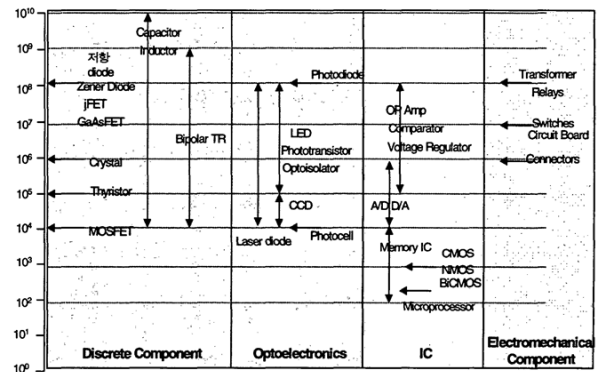
Fig. 1. apparatus for leakage detection of heavy water.

더불어 중수 누출 검사 알고리즘 설계 및 처리.분석을 위한 S/W를 개발하여 분석용 소프트웨어 개발을 완료하였다. 이러한 각 부문별 요소기술 개발을 통하여 Fig. 1(a)와 같은 시제품을 개발하였다.[2]

2.2 내방사선 설계 반영

중수누설검지장치가 설치될 원자로건물 내 지점의 방사선환경은 공간선량율이 평균 0.04~0.05 mSv/hr이다. 하지만 중수누설검지장치의 내방사선 설계를 위해 극한조건으로 평균방사선량율의 10배 이상인 0.7 mSv/hr를 적용하여 제작하였다.

Table 1. Radiation properties results of the electronic component[1]



전자부품 중 방사선에 취약한 Memory IC칩의 방사선 내구성 정도는 Table 1으로 확인한 결과 10² rad(≈10³ mSv)까지 유효함을 알 수 있으며, 이를 중수누설검지장치의 내방사선 설계 시 적용된 극한조건인 공간선량률인 0.7 mSv/hr과 비교할 경우 전자부품의 방사선특성에서 가장 취약한 IC칩에 아무런 영향이 없음을 알 수 있다. 결국 중수누설 검지장치의 전체시스템에 대한 방사선영향은 거의 없다고 평가할 수 있다[1].

한편, 방사선수송코드(MCNP)를 이용하여 중수누설검지장치에 대한 내방사선 평가를 진행하였다. 보수적으로 육면체의 표면에 0.7 mSv/hr의 선원이 있다고 가정하고 진행하였다. 그 결과, 육면체 중

심부에서의 공간선량율이 0.35~0.4 mSv/hr 정도의 결과값을 보였으며 이값은 전자부품의 방사선특성에서 가장 취약한 IC칩에도 아무런 영향이 없는 값이다. 결국 중수누설검지장치는 설치 예정인 중수로형 원전의 원자로건물 내에서 외부방사선에 대한 장치 내부의 부품에는 방사선영향이 거의 없음을 확인하였다.

2.3 상용화장치 설계 및 제작

1차 시제품을 토대로 사용자 편의성을 고려하고, 내방사선 설계개념을 도입하여 상용화 장치를 제작하였으며, 주요 개발내용으로는 분광 cell 처리기, LD controller, ADC 고속 처리기(4Ch), Data 모니터를 개발하고 Rake case 및 배관 장치를 개발하였다. 더불어 산업디자인을 적용하고 대한민국 평균 인체 체형정보를 반영하여 작업자의 사용편의성을 향상시켰으며, 원거리에서도 중수누설 여부를 사용자가 확인할 수 있도록 가시경보기를 상용화장치 상단부에 설치하였다. 특히 본 장치는 원전의 방사능오염환경에서 사용되어질 예정이므로 상용화장치 외부의 오염전이 문제를 고려하여 제염이 용이한 재질로 외장 케이스를 제작하였으며, 이러한 각 부분별 개발을 통하여 Fig. 1(b)와 같은 상용화 제품을 개발하였다[2].

2.4 실증시험

실증시험을 Fig. 2와 같이 한국원자력연구원 실험실에서 수행하였다. 첫 번째 실증시험은 측정 가능한 중수누설 최소치와 모의 연료관마개(CP) 검사 소요시간의 성능평가를 자체 개발한 중수누설 검지장치 성능시험 절차서에 따라 진행하였다. 이후 실험결과 분석과정을 거쳐 측정 가능한 중수누설 최소치의 성능평가를 수행하였으며, 그 결과값은 한국원자력연구원 자체평가 결과 Table 2의 최종목표에 대한 정량적평가 기준인 0.5 g/day로 측정되었다.



Fig. 2. Empirical testing procedures.

이후 수회 반복 측정한 모의 연료관마개의 측정 그래프에서 단일 측정의 시작부터 종료까지를 분석하였다. 그 결과, 벤추리관과 공압만을 사용한 경

우 모의 연료관마개당 2 분 정도 소요되었으며 이에 따라 최소 반복측정 시간이 2 분이였다. 또한 벤추리관과 공압을 사용한 방법에 펌프를 함께 사용한 경우 모의 연료관마개당 1 분 정도로 측정되었으며 이에 따라 최소 반복측정 시간이 1 분이였다.

Table 2. Empirical testing results of Products commercialized

주요성능	계획	달성
측정가능한 중수누설 최소치 <small>(연료관마개 1채널 기준)</small>	1 g/day	0.5 g/day
누설신호 응답시간 <small>(포집용호스 100m 기준)</small>	30 초	20 초
연료관마개 검사 소요시간	1분/CP <small>(10시간/전체널)</small>	1분/CP <small>(10시간/전체널)</small>

두 번째 모의실증시험은 누설신호 응답시간(포집용호스 100m 기준)의 성능평가를 중수누설 검지장치 성능시험 절차서에 따라 진행하였다. 실험결과 벤추리관과 공압만을 사용한 경우, 45 초에 검출신호 측정시간을 얻을 수 있었으며, 펌프를 함께 사용한 결과 검출신호 측정시간은 20 초 였고, 이 값에 대한 한국원자력연구원 자체평가 결과 Table 2의 최종목표에 대한 정량적평가 기준에 만족하는 값을 얻었다[2].

3. 결론

개발된 상용화장치는 중수로형 원전에서 중수누설을 조기에 검지할 수 있는 성능을 갖추고 있으며 원전내에서 사용할 수 있도록 내방사선 설계와 함께 관리구역내에서 사용 시 장치 외부 오염이 최소화 되도록 제작되었다.

4. 감사의 글

이 논문은 대덕특구에서 시행한 2013년 특구기술사업화사업에 선정되어 CANDU 냉각재 누출검사 Engineering 기술사업화 과제로 수행된 연구임.

5. 참고문헌

[1] KAERI, "내방사선 카메라 실용화", KAERI/RR-1952/98, 33-37 (2000).
 [2] (주)액트, (주)한빛레이저, (사)한국원자력기술기업협회, 한국원자력연구원, "CANDU 냉각재 누출검사 Engineering 기술사업화", 최종보고서 (2015).