

하나로 원자로건물 누설률 측정법 고찰

최영산*, 김경철, 송재하, 이민우, 두승규, 임윤택
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
*yschoe@kaeri.re.kr

1. 서론

하나로 원자로건물은 준격납계통(Confinement) 개념을 채택하여 6 개월 주기로 기밀 상태를 시험하고 있다. 하나로 첫임계 이후 1999 년까지 국부 누설률 측정법을 적용하였고 2000년부터 현재까지 풍량조절장치를 이용한 새로운 시험방법을 적용해 오고 있다. 실시한 시험결과를 분석하여 시험방법의 타당성을 고찰하고 개선 방법을 도출하였다.

2. 본론

2.1 목적

하나로는 비정상 사고로 인하여 고 방사선이 감지되면 비상환기계통이 작동되어 25 mmWG 이상의 부압을 유지한다. 비상환기계통의 고장이나 정전으로 작동이 멈추게 되면 건물에 불어오는 바람으로 인해 정압이 발생하고 원자로 실내 공기가 외부로 누설될 수 있다[2]. 이때 외부로의 누설률이 사고해석과 환경영향평가에 의해 결정된 허용값 570 m³/h 이하로 유지되고 있는지를 평가하고 있다[1].

2.2 시험 방법

2.2.1 원자로실의 가압 및 측정

원자로실 환기계통을 정지시키고 출입구 및 격리댐퍼를 모두 닫은 후, 별도의 풍량조절장치를 통해서 일정량의 공기를 원자로실로 공급한다. 원자로실 압력이 시험압력인 25 mmWG 이상의 어떤 값에 안정되도록 공급 팬의 회전수를 미세 조정하고 그 때의 주입 풍량을 측정한다. 즉, 시험압력으로 안정되어있는 원자로실의 누설량은 곧 주입풍량을 의미한다. 원자로실 압력은 약 39000 m³의 큰 체적이므로 주입풍량의 변화에 민감하게 반응할 수 없다. 풍량조절장치의 구성은 아래 Fig. 1과 같다.

2.2.2 누설률 계측기의 구성

누설률 측정값의 정확도와 신뢰도를 향상시키기

위해 원자로실 내외부의 차압은 차압계(Differential Pressure Transmitter) 2 개, 원자로실 내부 온도는 RTD(Resistance Temperature Detector) 4 개를 사용하였고 각 측정치의 평균값을 누설률 계산에 사용한다. 이를 위한 차압 측정점은 원자로실 동쪽과 서쪽 벽면 두 곳에, 온도 측정 점은 원자로실 지하 바닥, 수조 상부, 크레인 레일 부근, 새연료 저장고 상부 등의 네 곳에 위치한다. 계측기 구성은 아래 Fig. 2와 같다.

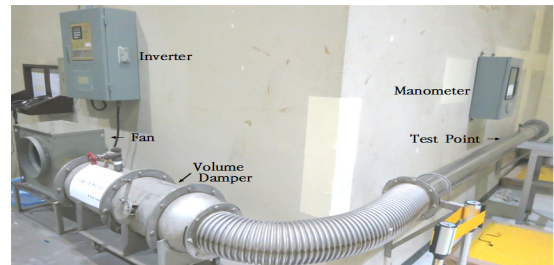


Fig. 1. Configuration of Flow Control Sys.

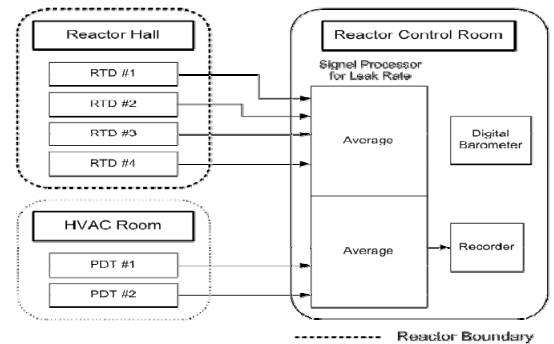


Fig. 2. Composition of Instruments.

차압계는 0~50 mmWG를 측정하여 4~20 mA의 출력신호를 제어실의 신호처리기로 전송한다. 이 계측기의 선형성, 반복성 등을 포함한 총 오차는 ± 0.5% 이고 응답시간은 최대 250 msec인 특성을 가지고 있다. RTD는 원자로 실내의 공기 온도를 측정하여 저항 출력신호를 제어실 신호처리기로 전송한다. 측정 범위는 0~100°C이며 정확도는 ± 1°C 이다. 대기압계(Digital Barometer)는 Vaisala사의 PA11A 모델로서 내부에 3개의 초정밀 대기압 변환기를 내장한 ± 0.2 mbar의 정밀급 계측기다.

2.2.3 누설률의 측정 및 계산

풍량조절장치의 덕트에 설치된 SPT(Standard Pitot Tube)는 마노미터와 함께 특수 제작된 것으로서 풍속을 직접 측정할 수 있는 계측기이다. 덕트 직경인 150 mm 의 0.9D, 0.7D, 0.5D, 0.3D, 0.1D의 다섯 지점에서 풍속을 측정하고 이 값들을 평균한 평균 풍속값을 덕트 단면적으로 곱하면 주입 풍량이 된다. 이는 아래 식 (1)과 같다.

$$L = V_a \times A_d \times 3600 \text{ (1/hr)} \quad (1)$$

여기서 L: 주입 풍량, 누설률(m³/hr), V_a: 평균 풍속(m/sec), A_d: 덕트 단면적 (m²)

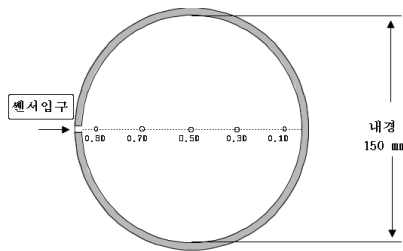


Fig. 3. Test Points in Flow Duct.

2.3 시험 결과 및 분석

하나로 시운전부터 1999년까지 적용했던 국부누설률 측정 방식은 환기계통 공급 팬을 이용하여 원자로실을 가압한 후 압력이 일정구간에서 떨어지는데 걸리는 시간, 온도 및 대기압 등을 측정하여 계산하는 방식이었다. 측정 중 대기압의 미세한 변화가 측정 시간에 영향을 주고, 온도 또한 계측기 교정 오차 보다 작은 값이 변화해도 누설률 측정값이 영향을 받는 문제점이 있었다.

2000년부터 독립적인 풍량조절장치를 개발하여 원자로건물 내부를 기준 압력인 25 mmWG 이상으로 유지시키고 이때 풍량조절장치를 통해 원자로실내로 유입되는 주입풍량이 허용기준치인 570 m³/hr 이하가 되는지를 확인하고 있다.

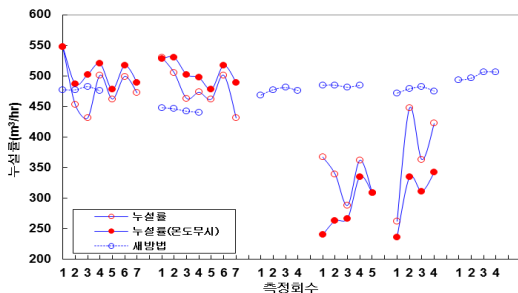


Fig. 4. Analysis of Temp effects.

국부누설률 측정법에서는 0.01⁰C의 온도 변화가 약 20 m³/hr의 누설률에 영향을 주는 단점이 있었다. 온도차가 심한 겨울철과 여름철에는 0~100 m³/hr 까지 누설률이 증감하여 측정에 어려움이 있었다. 독립 풍량조절방식으로 측정된 누설률의 변화폭은 5~10 m³/hr 정도로 안정적인 결과를 얻었고 온도 변화에 대한 의존도는 완전히 배제할 수 있는 수준으로 낮췄다. 이는 Fig. 4와 같다.

전반적인 누설률의 경향은 국부누설률 측정방식이 평균 478 m³/hr 이고 300~560 m³/hr 정도로 변화폭이 매우 컸으며, 풍량조절방식은 평균 462 m³/hr 이고 400~500 m³/hr 정도로 변화폭도 100 m³/hr 이내로 기존 측정값에 비해 상대적으로 매우 안정적이다.

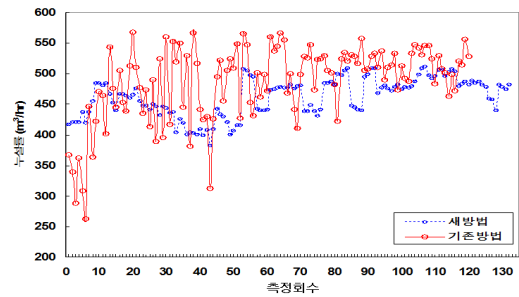


Fig. 5. Overall Leak-rate Trend.

3. 결론

독립 풍량조절장치를 이용한 누설률 측정 방식은 온도 변화에 대한 의존도를 배제할 수 있었고 측정치의 표준편차도 과거 60 m³/h에서 10 m³/h 정도로 낮출 수 있었으며 허용기준인 570 m³/h를 충분히 만족시키고 있다. 측정 계측기를 정밀급으로 교체하고 온라인 방식의 측정 시스템을 도입하여 보다 정확하고 신뢰성 있는 측정으로 하나로 안전운영에 기여할 것이다.

4. 참고문헌

- [1] 한국원자력연구소, "하나로 안전성 분석 보고서", KAERI/TR-710/96, 1996.
- [2] E.Simiu and R.H Scanlan, "Wind Effects on Structures", John Wiley & Sons, 1986.
- [3] "Containment System Leakage Testing Requirements", ANSI/ANS-56.8, 1995.