

격납건물 누설 시험장치의 불확실도 평가

Uncertainty Analysis of Containment Leak Rate Test System

이광대*, 양승옥**, 오응세***

(Kwang Dae Lee, Seung Ok Yang, and Eung Se Oh)

Abstract - The containment of the nuclear power plant is the last barrier of radiation release when the reactor coolant pipe rupture is occurred. Each plant has to be tested every 5 years whether the containment leak rate meets its technical specifications. We have developed the leak rate test system and in this paper, we describe the results of the uncertainty analysis on the measurement channels and its propagation to the calculation results.

Key Words : Nuclear, Containment, Leak, Uncertainty

1. 개요

원자력발전소 격납건물은 건물내부의 원자로 배관 파단과 같은 사고 시, 방사능이 외부로 누설되는 것을 차단하는 최후의 방벽이다. 따라서, 사고 압력에서의 기밀성 유지는 공중을 보호하기 위하여 매우 중요하기 때문에 원자력법에서는 각 원자력발전소에서 5년마다 누설율을 시험하고 규정치 이내가 되도록 요구하고 있다.

누설율 시험은 격납건물 내부 압력을 사고시의 압력으로 가압한후, 30~60개의 온도, 6~9개의 노점 온도, 1개이상의 절대압력을 3차원적으로 측정하면서 내부 공기 질량 변화율 계산하고, 누설율을 실시간으로 계산하게된다.

전력연구원에서는 격납건물 누설시험 장치로 무선 스마트형[그림 1]과 센서 직결형을 개발하고 있다.

본 논문에서는 시험장치의 계측채널 불확실도를 분석하였으며 이것이 격납건물 공기질량 계산 결과에 파급되어 나타나는 불확실도를 평가하였다.

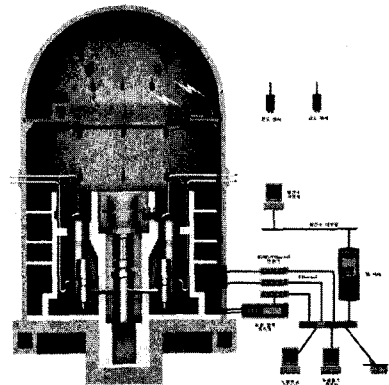
2. 계측채널 불확실도 분석

격납건물 누설 시험장치 계측채널의 불확실도 요소를 무선 스마트형과 센서 직결형에 대해서 각각 도출하고 불확실도를 분석하였다.

2.1 무선 스마트형 계측 채널의 불확실도 요소

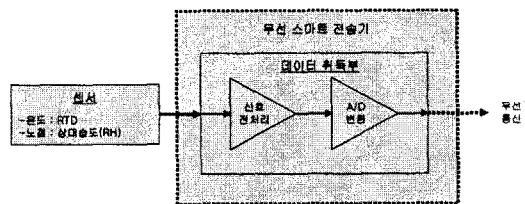
저자 소개

- * 正 會 員 : 전력연구원 I&C그룹 선임연구원
- ** 準 會 員 : 전력연구원 I&C그룹 선임연구원
- *** 準 會 員 : 전력연구원 I&C그룹 책임연구원



[그림 1] 무선 스마트형 시험장치 블록도

무선 스마트형 시험장치의 계측 블록은 [그림 2], 각 블록에서의 계측 불확실도 요소는 [표 1]과 같다.



[그림 2] 무선 스마트형 계측 블록

온도센서인 RTD(Resistance Temperature Detector)의 경우, 백금으로 만들어진 안정된 소자로서 기준 정확도(선형성, 히스테리시스, 불감대 및 제현성 포함)가 가장 중요한 요소이

다. 계측시, RTD에는 여자 전류(Excitation Current)를 흘리 게되므로 이로인한 자기발열(Self-Heating)에 의한 오차가 발생 할 수 있다. 그러나, 본 전송기에는 0.2mA의 매우 작은 전류가 흐르므로 이 요소는 거의 무시할만하다. 상대습도 센서는 정전 용량식을 사용하고, 기준 정확도가 가장 중요한 요소 이다.

블록명	종류	불확실도 요소	특성	크기
센서	온도	기준 정확도	무작위	±0.1%
		자기가열 오차	+부호	무시
	상대습도	기준 정확도	무작위	±2%
		온도오차	±부호	±?%
전송기	신호 전처리부	RTD여자전류 오차	무작위	무시
		전원공급 오차	무작위	무시
		온도 오차	±부호	무시
	A/D 변환부	기준 정확도	무작위	±0.0015%
		전원공급 오차	무작위	무시
		온도 오차	±부호	무시
압력	데이터 취득부	기준 정확도	무작위	±0.008%

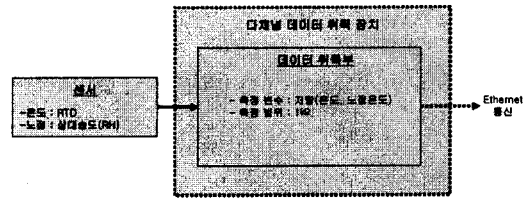
[표 1] 계측 불확실도 요소(무선 스마트형)

신호 전처리부에서는 RTD로 정밀하고 일정한 여자전류를 공급해주는 기준 전압원이 있으며, 기준 전압의 정밀도가 여자 전류의 정확도를 좌우한다. 그러나, 본 전송기에 사용된 AD7713 IC에는 여자 전류 변화를 정밀하게 보상해주는 회로가 내장되어있어 여자 전류 오차에 의한 오차는 무시할 만하다. 아나로그/디지털 변환부는 24비트 변환기가 사용되고, 변환 오차와 선형성 오차는 거의 무시할만하다. 또한, 온도 보상 회로가 내장되어 주위 온도에 의한 변환 오차가 거의 없고, 전원으로 배터리를 사용하므로 전원 변동에 의하여 영향은 없다.

2.2 센서 직결형 계측 채널의 불확실도 요소

센서 직결형의 계측 블록은 [그림 3], 계측 불확실도 요소는 [표 2]와 같다. 센서 직결형은 데이터 취득부에 상용의 고정밀도 다채널 데이터 취득 계측기를 사용한다. 따라서, 일반적인 산업용 계측기에서 발생할 수 있는 전원 변동에 의한 영향, 주위 온도와 습도에 의한 영향이 거의 없다. 또한, 계측기 운영 환경이 상온의 실내 혹은 항온 제어되는 발전소 주체어실이므로 외적 환경 영향에 의한 오차는 거의 없다. 계측기에서는 내부 신호 처리 및 변환 회로와 기타 환경적인

요인을 고려하여 기준 정확도를 기술하고 있으며, 그 값은 측정 신호 종류와 범위에 따라 다르다.



[그림 3] 센서 직결형의 계측 블록

종류	불확실도 요소	특성	크기
센서	온도	기준 정확도	무작위 ±0.05%
		자기가열 오차	+부호 무시
	노점 온도	기준 정확도	무작위 ±0.5°C (±1%)
		온도 오차	±부호 ±?%
데이터 취득부		기준 정확도	±0.0018% (±0.05°C)
압력	데이터 취득부	기준 정확도	±0.008%

[표 2] 계측 불확실도 요소(센서 직결형)

여기에서 사용되는 계측기의 제작자가 제공하는 기준 정확도 계산 방식은 아래와 같다.

- 기준 정확도(저항, 4선식, 1kΩ 계측범위)
: ±(100ppm of reading + 6ppm of range)
- 기준 정밀도 = ±(100ppm×119.25Ω (RTD 50°C일때 값) + 6×1kΩ) = ±0.0018Ω = ±0.05°C

2.3 계측 불확실도 분석

격납건물 누설 데이터 취득장치의 계측 불확실도는 다음과 같다.

- 무선 스마트형 계측 채널
계측 불확실도(온도) = $\pm\sqrt{(0.1)^2 + (0.0015)^2}$ ≃ ±0.1%
계측 불확실도(습도) = $\pm\sqrt{(2.0)^2 + (0.0015)^2}$ ≃ ±2.0%
계측 불확실도(절대압력) = ± 0.008%
- 센서 직결형 계측 채널
계측 불확실도(온도) = $\pm\sqrt{(0.05)^2 + (0.0018)^2}$ ≃ ±0.05%
계측 불확실도(노점) = $\pm\sqrt{(1.0)^2 + (0.0018)^2}$ ≃ ±1.0%
계측 불확실도(절대압력) = ±0.008%

3. 공기질량 계산 결과의 불확실도 평가

본 절에서는 각 계측기의 불확실도가 누설율 계산 결과에 미치는 정도를 평가하였다. 누설율 계산 과정은 ANS-56.8-

1994의 절차를 따랐으며, 계산값은 격납건물 내의 총공기질량 값을 사용하였다. 모든 계측기에서 불확실도가 없을 경우의 공기질량 값과, 한 종류의 한개 계측기에서 최대 불확실도가 발생하였을 경우의 값을 비교함으로써 평가하였으며, 평가 결과는 [표 3]과 같다.

	평균온도	평균압력	평균노점온도	습윤기압	공기질량(lbm)	오차(%)
기준값	62.0000	67.0000	61.0000	0.2657092	941599.88	
압력에서 불확도	62.0000	67.0040	61.0000	0.2657092	941696.32	0.0060
압력에서 불확도	62.0000	66.9960	61.0000	0.2657092	941543.44	-0.0060
무선(온도 오차 +)	62.0043	67.0000	61.0000	0.2657092	941592.12	-0.0008
무선(온도 오차 -)	61.9957	67.0000	61.0000	0.2657092	941607.65	0.0008
무선(노점 오차 +)	62.0000	67.0000	61.2581	0.2681605	941565.29	-0.0037
무선(노점 오차 -)	62.0000	67.0000	60.7419	0.2632984	941633.89	0.0036
직결(온도 오차 +)	62.0021	67.0000	61.0000	0.2657092	941596.00	-0.0004
직결(온도 오차 -)	61.9978	67.0000	61.0000	0.2657092	941603.76	0.0004
직결(노점 오차 +)	62.0000	67.0000	61.2581	0.2681605	941565.29	-0.0037
직결(노점 오차 -)	62.0000	67.0000	60.7419	0.2632984	941633.89	0.0036

[표 3] 계측 불확실도에 대한 공기질량 계산 결과

분석 결과로부터, 압력/온도/노점온도 계측기 한개에서 최대 불확실도가 발생하였을 경우, 공기질량 계산값에는 ± 0.006 , ± 0.0008 , $\pm 0.0037\%$ 의 오차가 유발될 수 있으나, 무시할 만큼 매우 작다고 평가하였다.

4. 결론

원자력발전소의 격납건물 누설 시험장치에서 계측 채널의 불확실도 요소를 도출하고, 계측 채널에서의 불확실도를 분석하였다. 또한 계측 채널 불확실도가 격납건물 내부 공기질량 계산 결과에 미치는 불확실도를 평가하였다. 분석결과, 계측 채널 불확실도는 시험에서 요구하는 계측 불확실도보다 매우 작으며, 공기질량 계산 결과에 미치는 불확실도는 무시할만큼 작음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] American Nuclear Society, "ANSI/ANS-56.8-1994, American National Standard for Containment System Leakage Testing Requirements", pp. 8, 1994.
- [2] Instrument Society of America, "ANSI/ISA-67.04.01 -2000 Setpoints for Nuclear Safety-Related Instrumentation", pp.26-49, 2000.
- [3] Instrument Society of America, ANSI-RP67.04.02 -2000 Methodologies for the Determination of Setpoints for Nuclear Safety-Related Instrumentation, pp.91-93, January 2000.