

격납용기 Type “C” 누설률시험 요건 최적화

정남두[†]·김재동^{*}·김인철^{*}

The Optimization for Type “C” LLRT Requirements of Containment Vessel

Nam-Du Jung[†], Jae-Dong Kim^{*} and In Chul Kim^{*}

ABSTRACT

The containment local leakage rate testing in nuclear power plants is performed in accordance with ANSI/ANS-56.8(1994) in Korea. Two methods, the make-up flow rate and the pressure decay, are used for LLRT. Though ANSI/ANS-56.8 does not define clearly the minimum test duration for the make-up flow rate method, it requires obtaining the data after reaching the stable condition. Thus the prerequisite stable condition for data acquisition and the test period for type “C” LLRT is differently applied to each NPPs. Therefore, this study presents a unified test criteria for data stabilization and test duration through experiments to improve the test reliability for type “C”.

Key Words : LLRT(국부누설률시험), Type “C”(격리밸브 누설률시험)

기호설명

1La : 24시간 동안의 최대 허용누설률
w%/Day: 설계기준사고시 압력에서 최대 허용누설률

1. 서론

격납용기 LLRT (Local Leakage Rate Testing)는 교과부 고시 제 2008-20호와 미국 국립표준협회 ANSI/ANS-56.8(1994) 기술기준에 따라서 원자력발전소 격납용기 개별관통부에 대한 누설률을 측정하여 총 누설률이 허용누설률 이내임을 입증하는 시험이다.

격납용기 LLRT 시험은 설계기준사고에 대해 계산된 격납용기 내부 최대압력으로 시험구간을 가

압하여 해당 관통부의 누설률을 측정하는 것으로, 격납용기 전기관통부, 격납건물 출입문 챔버 및 장비출입구 등의 누설률을 측정하는 관통부 누설률 시험(Type “B”)과 격납용기 내·외부 격리밸브에 대한 누설률을 측정하는 격리밸브 누설률시험(Type “C”)으로 구분한다. LLRT 시험방법은 유량보충법과 압력감소법을 이용하며 국내에서는 유량보충법을 우선 적용하고, 압력감소법은 보완적으로 적용하고 있다. ANSI/ANS-56.8(1994) 기술기준에서는 압력감소법의 경우는 안정상태 도달 후 15분 이상 수행하도록 요구하고 있으나, 유량보충법에서는 최소 시험시간 요건은 없으나, 시험데이터를 안정상태에서 취득하도록 요구하고 있다.

이와 같이 유량보충법에 대한 모호한 시험기준으로 인하여 국내 원자력발전소의 격납용기 격리밸브 누설률시험에 대한 데이터 안정화 조건 및 시험시간 등의 주요 시험요건이 발전소별로 상이하게 적용되고 있다.

본 논문에서는 격납용기 격리밸브 LLRT 시험에 대한 실증실험을 통하여 발전소별로 상이하게 적

[†] 책임저자, 회원, 한국수력원자력 원자력발전기술원
E-mail : jungnd@khnp.co.kr
TEL : (042)870-5644 FAX : (042)870-5649

^{*} 한국수력원자력 원자력발전기술원

용 중인 유량보충법의 데이터 안정화 조건 및 시험시간의 시험요건을 최적화하고, 표준화된 시험요건을 제시하고자 한다.

2. 국내 원전의 격납용기 Type “C” LLRT 수행현황

2.1 시험압력 가압

격납용기 격리밸브에 대한 누설시험은 설계기준사고 조건과 동일한 조건으로 시험을 수행한다. 즉 시험 압력은 설계기준사고시 압력으로 가압하고, 유체 흐름은 격리밸브를 기준으로 격납용기 내부에서 외부로 가압되도록 관련 밸브를 정렬하여 격리밸브에 대한 누설시험을 수행한다. 다만 나비형 밸브 형식인 환기차단밸브는 격납용기 내·외부 격리밸브의 중간 부분을 가압하여 LLRT 시험을 수행하고 있다.

2.2 데이터 안정화 조건

기술기준에 따라서 시험대상을 시험압력으로 가압한 후에 시험데이터가 안정된 상태에서 취득하여야 한다. 따라서 국내 원자력발전소의 경우에는 발전소별로 10분 이상 또는 충분히 안정된 후에 시험데이터를 취득하고 있다.

2.3 시험적용 시간

시험 체적과 시험 압력 등의 시험조건이 유사한 경우에도 Type “C” LLRT에 적용하는 시험시간은 발전소별로 15분~60분까지 다양하게 적용하고 있는 것으로 파악되었다.

2.4 시험체적 계산

실증실험용 모형을 제작하고자 한국표준형, 웨스팅하우스 및 중수로형으로 구분하여 Type “C” LLRT 시험대상의 개별 체적을 계산하였다.

시험체적은 격납용기 내·외부 격리밸브 각각에 대하여 발전소 시험절차서의 밸브 정렬표를 기준으로 계산하였다.

2.4.1 한국표준형 원전(OPR-1000)

Table 1은 한국표준형 원전의 격리밸브 관통부에 대한 시험체적을 계산한 것이다. 시험체적은 대

부분 100리터 이하인 것으로 나타났고, 800리터까지 간헐적으로 분포하는 것으로 나타났으며 환기차단 밸브는 약 3,300리터로서 최대 시험체적을 갖는 것으로 계산되었다.

2.4.2 웨스팅하우스형 원전

Table 2는 웨스팅하우스형 원전의 격리밸브 관통부에 대한 시험체적을 계산한 것이다. 대부분이 100리터 이하로 계산되었고, 4,000리터까지 간헐적으로 분포하는 것으로 계산되었다. 환기차단 밸브는 3,800리터로 계산되었다.

2.4.3 중수로형 원전

Table 3은 중수로형 원전의 격리밸브 관통부에 대한 시험체적을 계산한 것이다. 시험체적은 100리터 이하가 대부분이며 3,000리터까지 간헐적으로 분포하는 것으로 계산되었다.

Table 1 Test volume calculation for OPR-1000

Test Volume(ℓ)	Quantity
~100	16
101~200	4
301~400	2
501~600	4
701~800	1
3,001~4,000	1

Table 2 Test volume calculation for WH

Test Volume(ℓ)	Quantity
~100	10
101~200	4
201~300	2
301~400	2
401~1,000	7
1,001~2,000	6
2,001~4,000	5

Table 3 Test volume calculation for CANDU

Test Volume(ℓ)	Quantity
~100	20
301~400	1
401~500	7
801~900	1
2,001~3,000	1

Table 4 Allowable leakage rate for valves

Size(inch)	Allowable Leakage Rate (SCCM)
1	147
3	442
8	1,180
48	7,079

2.5 격리밸브 허용 누설률

격리밸브에 대한 개별 허용누설률은 ASME OM ISTC에 제시된 식 1을 이용하여 계산한다. Table 4는 식 1에 따라서 격리밸브 직경에 따라 계산된 허용누설률을 나타내고 있다.

$$\text{Allowable Leakage} = 7.5 D \text{ STD } ft^3/\text{Day} \quad (1)$$

여기서, D = Valve Size(inch)

3. 실증실험 수행

3.1 시험장치 구성

격리밸브 누설률시험에 적용되는 주요 시험기준을 최적화 시키기 위하여 Fig. 1과 같이 실험장치를 구성하였다. 공기압축기는 압력조절기를 거쳐 전단 압력을 7kg/cm²로 조정하였다. 임의 누설장치는 발전소 시험조건과 유사하게 가압단계부터 임의누설률이 부여되도록 조정하였고, 임의누설률은 격리밸브 직경에 따른 허용누설률을 부여하였다. 배관 모형은 14인치 직경의 배관으로 3종을 제작하여 시험체적이 125, 250, 500, 750 및 875리터 총 5종을 구성하였다.

3.2 시험압력 및 임의 누설률

시험데이터 안정화 기준과 최적 시험시간을 도출하기 위하여 Table 5와 같이 시험압력 및 임의 누설률을 부여하여 실험을 수행하였다. 시험압력은 경수로형 원전은 3.6 kg/cm², 중수로형 원전은 1.26 kg/cm²로 적용하였고, 임의누설률은 밸브 직경에 따른 허용누설률을 부여하였다.

3.3 시험방법 최적화

발전소에서 수행하는 LLRT 시험체적 및 시험압력을 기준으로 실험을 수행하여 가능한 실제 시

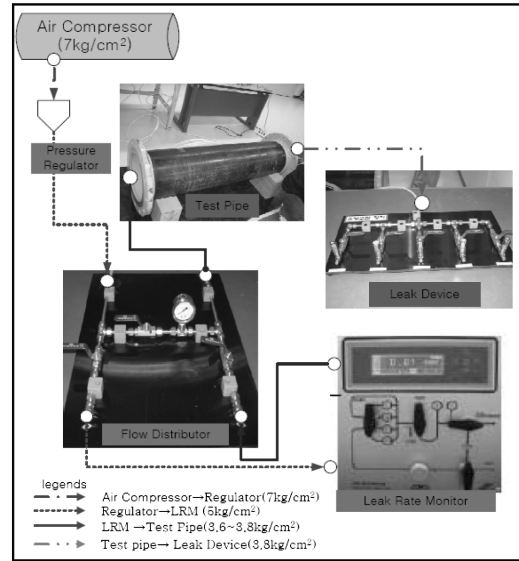


Fig. 1 Test device configuration

Table 5 Testing condition

Item	LLRT Pr. (kg/cm ²)	Testing Condition		Remark
		Pressure (kg/cm ²)	Leakage Rate (SCCM)	
PWR	2.5~3.9	3.6	0 ~ 7,140	Fig. 2~6
PHWR	1.26	1.26	1,600 / 2,660	Fig. 7~8

험조건과 유사하게 수행하였다. 이를 통해 데이터 안정화 조건과 시험시간 기준을 도출하였다.

3.3.1 실증 실험

시험 압력으로 가압이 완료된 후에 데이터 안정화 경향을 파악하기 위하여 시험압력 도달 후에 1분 간격으로 누설률을 측정하였다. 측정한 각 3회의 개별 데이터가 평균값의 10% 이내이면 시험데이터가 안정된 것으로 고려하였다.

Fig. 2는 125리터 시험체적 및 3.6 kg/cm² 시험압력에서 0~2,000 SCCM까지 각 5회의 임의누설률을 부과한 시험조건에서 측정누설률을 취득한 그래프이다. 주어진 시험조건에서 6분이 경과하면 측정누설률 데이터 값이 약 10% 이내로 안정되게 나타나고 있다.

Fig. 3은 250리터 시험체적 및 3.6 kg/cm² 시험압력에서 0~2,000 SCCM까지 각 5회의 임의누설률을 부과한 시험조건에서 측정누설률을 취득한 그래프이다. 주어진 조건에서 10분이 경과한 후의 데

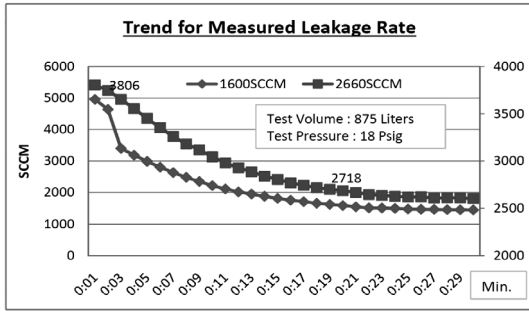


Fig. 8 Comprehensive measured leakage rate at 875 liters test volume and 1.26 kg/cm²

Table 6 Test results under test condition

Fig. No.	Pr. (kg/cm ²)	Test vol. (ℓ)	Leakage Rate (SCCM)	Stable Time (Min.)	Stable Condition
Fig. 2	3.6	125	0~2,000	6	≤ 10%
Fig. 3		250	0~2,000	10	≤ 10%
Fig. 4		500	0~3180	7	≤ 10%
Fig. 5		750	150~7,140	6	≤ 10%
Fig. 6		875	150~7,140	5	≤ 10%
Fig. 7	1.26	500	1,600/2,660	4	≤ 10%
Fig. 8		875	1,600/2,660	2	≤ 10%

률을 부과하여 데이터를 취득한 것이다. 주어진 시험조건에서 약 5분이 경과하면 측정누설률 데이터 값이 10% 이내로 안정되게 나타나고 있다.

Fig. 7은 500리터 시험체적 및 1.26 kg/cm² 시험압력에서 1,600 및 2,660 SCCM의 임의누설률을 부여한 후 누설률을 측정하는 것이다. 실험결과 4분이 경과하면 측정 누설률 데이터 값이 10% 이내로 안정되는 것으로 나타나고 있다.

Fig. 8은 875리터 시험체적 및 3.6 kg/cm² 시험압력 조건에서 1,600 및 2,660 SCCM의 임의 누설률을 부과하여 측정누설률 데이터를 취득한 것이다. 주어진 시험조건에서 약 2분이 경과하면 측정 누설률 데이터 값이 약 10% 이내로 안정되게 나타나고 있다.

3.4 실험 결과

원자력 발전소에서 수행하는 LLRT 시험 조건과 유사하게 실험모형을 구성한 후 각 시험체적별로 시험조건을 부여하여 실험을 수행한 결과 Table 6 과 같은 결론을 얻었다. 모든 경우에 있어서 최대 10분이 경과하면 시험데이터가 안정되는 것으로 분석되었다.

4. 결 론

국내 원전의 격납용기 격리밸브 누설률시험(Type “C”)에 필요한 안정화 조건 및 시험시간에 대한 정량적인 시험요건을 수립하고자 본 연구를 수행하였다. 125~875리터까지 총 5종의 시험체적과 1.26 kg/cm² 및 3.6 kg/cm² 시험압력 조건에서 0~7,140 SCCM까지 누설률을 부여하여 수행한 실험결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

시험데이터 안정화는 시험압력으로 가압이 완료된 후에 10분 동안 안정화 시간을 부여하면 측정 누설률이 충분히 안정되는 것으로 확인되었다.

향후 격리밸브 누설률시험의 시험시간은 해외 원전에서 적용하고 있는 시험시간과 규제기관의 권고 내용을 참고로 하여 최적화된 시험기준을 수립하여 적용할 계획이다.

참고문헌

1. American Nuclear Society, ANSI/ANS56.8-1994 “Containment System Leakage Testing Requirements”, pp. 13-14
2. Education Science and Technology Code 2008-20, “Standards for Containment System Leakage Rate Testing”