



원자력 발전 산업에 적용할 누설시험 해설(Ⅲ) An Interpretation on Leak Testing Applications in the Nuclear Power Industry(Ⅲ)

이 글은 본 회지 전호에 이어지는 내용입니다.
이 글에서는 원자력 발전소의 원자로를 둘러싸고 있는
격납 용기에 관한 누출률 시험 방법들 중에서,
특별히 A형 누출률 시험 절차를 소개하였습니다. 이
글에서는 A형 누출률 시험과 관련된 통계적인 처리
기술에 대한 세부 내용은 참고 문헌만 소개하고 있
습니다. 기회가 있을 때, 통계적인 처리에 관한 기술
을 따로 소개하려고 합니다.



朱 昇 煥*
Choo, Seung Hwan

* 방사선관리기술사, 공학 박사.
고려공업검사(주) 연구소장, 본회 홍보위원.

1.21 A형 시험 절차

원자력 발전소에서 누출량의 측정은 'A형 시
험'인 '절대법'이 쓰인다. 누출률 측정에 쓰일 이
방법은 수증기의 압력 변화에 따른 보정이 필요
하므로 격납 용기 구조물 안에 들어있는 공기의
온도와 압력 측정에 민감하게 의존한다. 온도와
압력의 변화량은 시험기간 중에는 격납 용기 구
조의 내부에 있는 자유 공기 체적을 변화시키는
데 크게 영향을 미치지 않을 것이라고 가정한다.

압력 안정화의 주기

격납 용기 구조의 견전성 시험에서 P_{ac} (설계 기
준 누출량 사고 압력) : 원자로를 설계할 때 사고가
일어날 가상적인 압력 기준)을 초과하여 격납 구
조물의 누출률 시험을 진행시키려 한다면, 압력은
적어도 24 시간 동안에 누출률 시험 압력인 P_{ac}
까지 압력을 올리기 이전에 그것의 85% 정도의
압력 아래로 유지시켜야 할 것이다. 압력 상태는
A형 시험 압력인 P_{ac} 에 이르기 전에 그러한 압력

에 도달 후, 적어도 4 시간 동안은 안정되고 있어
야 할 것이다. 온도를 안정되게 유지시키려면 기
본적으로 시험 압력을 조정해야 할 것이다. 압력
의 안정화는 온도 안정화의 기준에 맞춰 달성된다.

격납 용기 안의 공기에 대한 고려 사항

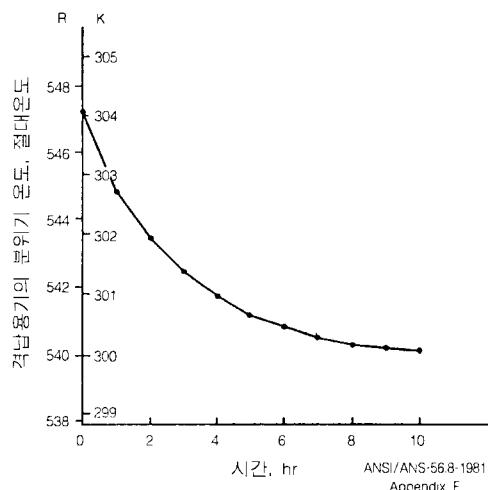
온도의 안정 : 격납 용기가 시험 압력을 받고
난 후에 압력의 변화는 '격납 공기 가중 평균 온
도' 대 '시간' 사이의 상호 관계를 보여주는 그
림으로 나타내야 한다. 이 그림은 직선이 되어야
하지만 측정해 보면, 분명히 완만한 곡선 그래프
를 이를 것이다. 기본적으로 직선일 그 그림은
압력을 올릴 유입된 공기의 온도 또는 격납 용기
의 환기 시스템 팬들이 급속한 공기 혼합, 또는
양쪽으로 연결되어 바로 달성될 것이다. 직선의
기울기는 격납 용기 안쪽에 열의 균원 또는 흡열
부(예컨대 환기 시스템 운전 때문에)가 존재함을
지시한다. 열의 균원 또는 흡열부에서 나오는 열
이 대수롭지 않다면 그려지는 직선은 근본적으로
수평일 것이다. 흡열부 또는 열의 균원 상태가



시험기간 중(예컨대 환기 팬들 또는 냉각수 흐름의 시동 또는 정지)에 변화가 있다면 직선의 기울기는 물론 변화하게 될 것이다.

시험 압력에 도달한 후에 열의 균원이 영향을 주지 않는다면, 냉각수의 흐름을 중단시킬 것을 고려해야 한다. 온도 조절 시스템을 교묘히 임의로 조작하는 것은 금기 사항이다. 압력이 온도의 변화에 따라 변화된다 할지라도 격납 용기 종합 누출률 시험 데이터의 통계처리(신뢰 한계)에는 역으로 느리게 영향을 끼칠 것이다. 따라서 시험 이 지연될 것이다.

온도 안정화에 대한 기준은 다음에 따라야 한다. 시험 압력에 도달 후에 가둠 공기 가중평균 온도에 가장 근접한 온도의 변화, 경과 시간 평균은 4 시간이 지날 동안 가둠 공기 가중평균 온도 변화의 평균율에서 $0.3^{\circ}\text{C}/\text{hr}$ ($0.5^{\circ}\text{F}/\text{hr}$) 이상을 벗어나지 말아야 한다(<그림 3>).



<그림 3> 시간에 따라 변화하는 격납 용기 안의 공기가 가중 평균 온도의 안정화를 이루는 한 예를 보여줌. 온도의 안정화는 계속 4 시간 동안 진행시킨 시험에서 변화의 평균율이 $0.3^{\circ}\text{C}/\text{시간}$ ($0.5^{\circ}\text{F}/\text{시간}$)을 넘지 않을 때가 적정하다.

이슬점 온도(수증기압)

수증기압의 부분 압력은 가둠 공기의 총 압력에 비례로 올라가기 때문에 이슬점 온도, 그리고 아마도 상대 습도는 압력을 올리는 동안에 올라갈 것이다. 그래서 압력을 올리는 기간 중에 공급하는 공기에 대한 공기 건조기의 이용을 권고 한다. 환기 시스템 냉각 코일에 대한 냉각수는 압력을 올리는 기간 중에 당연히 이슬점 온도가 올라가는 것을 최소화되게 이용해야 할 것이다.

누출률 시험기간 중에 이슬점 온도의 변화 추이를 감시해야 한다. 그런 변화는 물의 누출이 있음을 표시할 것이다.

압력 : ‘격납 용기 공기 절대 압력’ 대 ‘시간’은 당연히 표시해야 한다. ‘압력-시간 곡선’은 당연히 ‘온도-시간 곡선’을 따를 것이다. 예컨대, 현재 격납 용기 공기 온도와 압력은 각각 300°K (540°R)와 $520 \text{ kPa}(75 \text{ psi})$ 인 경우, 가중 평균 온도는 1 시간에 $0.06^{\circ}\text{K}(0.1^{\circ}\text{R})$ 떨어지고, 압력은 같은 시간에 당연히 약 $97 \text{ Pa}(0.014 \text{ psi})$ 또는 더욱 떨어져야 할 것이다(누출률에 의존함). 시험 자료로 작성된 그림에서 곡선을 벗어난 단일 점(온도 또는 압력)이 나타나는 것은 예컨대 센서의 기능 장애가 일어난 것으로서 데이터의 부정확한 점을 지시한 것이며, 냉각수의 흐름이 급작스럽게 흘렀던지 아니면, 팬이 멈추게 된 것을 지시할 것이다.

시험기간 : 격납 용기 공기가 안정되고 난 이후, 종합 누출률 시험기간을 정한다. 시험기간은 적정 데이터를 모아 통계적으로 분석할 수 있도록 충분하여야 누출률과 ‘위 신뢰 한계’가 정확하게 결정될 수 있다. 시험 지속 기간은 시험 종료 때까지 ‘계측 요건’에 설명된 센서들의 수에 관계된 ISG(Instrument Selection Guide : 기

구 선정 지침) 기준을 충족시켜야 한다(“기구 선정 지침에 바탕을 둔 A형 계측 손실 기준” 이후를 참고할 것). A형 시험은 안정화 이후 최소한 8 시간 계속돼야 하고, 데이터 지점들은 개략적으로 같은 시간 간격에서 총 20 개보다 적어서는 안 된다.

건구 온도 측정 : 격납 용기의 구조 안에서 ‘구역 조사’란 온도의 광역 분포에 대한 조사이며, 가동 이전과 초기의 정기 누출률 시험 이전에 이미 이뤄진 어떤 온도 변위 자리를 정해야 한다. 공기 순환용 팬들 또는 기타 수단들은 대표 온도 측정을 하기 위하여 어디에서나 고른 온도 상태가 되게 배치시켜야 한다. 그 조사에 의하여 알게 된 온도 패턴은 누출률 시험의 온도 센서들의 바른 위치를 확인하는 데 이용돼야 한다.

이슬점 온도 측정 : 가둬진 공기 안의 수증기 부분 압력(분압)은 누출률 시험 과정 중에 측정되어야 총 절대 증기압에 대한 수압 보증이 이뤄질 수 있다. 전-습구 눈금들은 가동 전 누출률 시험을 수행하기 전에 격납 용기의 구석구석을 살펴 센서들의 바른 위치를 결정해야 한다. A형 시험의 수행 센서의 수효는 최소 3 개 이상이 되어야 한다.

데이터 기록 : 격납 용기 구조물 안에 절대 압력, 온도 그리고 수증기압(이슬점 온도)은 적어도 시간 단위로 A형 누출률 시험을 진행하는 기간 동안 읽고 기록해야 한다. 외부 대기의 대기 압과 온도 측정들은 시간 단위로 기록되어야 한다. 관측 시간은 당연히 24시를 표시할 시계로 기록되어야 한다. ‘사건의 이력 기록(log of events)’과 부속 관측들은 시험기간 동안 유지해야 한다. 누출률 시험 기록도 유지시켜야 한다.

기초 자료를 기록하는 양식은 쓰인 데이터 획득 시스템에 따라 다를 것이다. 다음 자료는 기록해서 셈을 하고, 또는 검토가 가능토록, 또는

양쪽에 이용 가능할 것이다.

- 개별 격납 용기 대기압 건구 센서 온도 읽기
- 개별 격납 용기 대기압 증기압 센서 눈금
- 개별 격납 용기 대기압 절대 압력 눈금
- 격납 용기 분위기 압력의 건구식 가중 평균 온도
- 격납 용기 공기 부분 압력(수증기압)
- 시간과 일자가 기록된 데이터 세트
- 센서 변화 또는 교정 데이터
- 체적 분율 셈과 할당
- 외부 공기 온도
- 외부 공기의 대기압
- 보고된 결과를 얻기 위한 기초 데이터가 빠진 컴퓨터 프로그램인 경우, 그 프로그램을 확인해서 검토할 수 있도록 설명해 놓아야한다.

A형 누출률의 셈

아래에서 설명된 분석 기법은 격납 용기 누출률을 셈하는 데 쓰인다. 누출률은 초기에 가둬진 공기 질량의 일당(매일) 무게 100분율(%)로서 보고되어야 한다. 공식에 사용된 기호의 뜻은 다음에 자세히 설명된다 :

영문자 기호 표시와 아래 적힌 숫자들

- A는 최소 제곱 직선의 기울기
- B는 최소 제곱 직선의 절편
- i는 i차 데이터 지점 : 예컨대, (W_i, t_i) , $i = 1, 2, \dots, n$
- L_a 는 관련된 기준에서 운영 기술 지침서 (technical specification)에 지정된 바에 따라 셈한 사건 최대 압력에서 허용할 최



대 누출률

- $L_{am} = -2400A/B$ 는 누출률의 추정 값으로 최소 제곱 직선 기울기와 절편으로부터 유도됨. 양의 수(positive number, %/24 hr)로 표현됨
- n 은 (w, t) 측정 양인 두 쌍의 측정 회수
- P 는 격납 용기에서 총 절대 압력, kPa(psia)
- P_v 는 수증기의 부분 압력(분압), kPa(psia)
- R 은 공기의 가스 상수, $287 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ ($53.35 \text{ ft} \cdot \text{lbf/lbm}^0 \text{ R}$ 또는 $8.3144 \text{ J/그램-몰} \cdot \text{K}$)
- S 는 최소 제곱 직선으로부터 결정된 질량의 표준 추정 편차
- S_A 는 최소 제곱 직선 기울기의 표준 추정 편차
- T 는 격납 용기 공기의 평균 절대 온도, $\text{K}^0(\text{R})$
- t 는 초기 측정 이후 측정된 시간 간격, hr
- $t_{0.95}$ 는 t 분포의 95차 백분위수(percentile, 한쪽 시험)
- UCL은 참 누출률의 위 경계에 들게 할 작정으로 시료 데이터로부터 이뤄진 셈한 값
- V 는 격납 용기의 내부 자유 체적(시험기 간동안 일정한 값을 유지하는 것임을 가정), $\text{m}^3(\text{ft}^3)$
- W 는 가둬진 공기의 측정된 질량, kg(lbm)
- $\bar{W}_i = At_i + B$ 는 측정 시간과 일치시켜 측정된 공기의 질량과 관계되는 최소 제곱 법 직선의 함수이다.

격납 용기 누출률 시험 분석법*

이 분석법은 격납 용기 안에 있는 공기의 질량

을 절대적인 양으로 결정하기 위한 것이며, 누출률을 측정하기 위한 최소 제곱법을 이용하여 시험기간 동안 각 시점에서 이상 기체 법칙을 이용한다. 결정된 질량의 오차는 동일하게 변하고(예컨대, 그 직선의 절편과 기울기는 “가중치”에 맞설 “보통” 최소 제곱으로 추산.) 상관되지 않은 것으로 가정한다. 누출률의 한쪽 ‘위 신뢰한계’는 ‘정규 회귀 원리’(예컨대, 질량은 직선에 비례하고 그 직선 편차들은 정규적으로 분포됨)와 정규 분포의 확률 변수(random variable)들에 대한 평균 비율의 신뢰 한계를 발견하는데 쓰이는 Fieller 방법에 바탕을 둔다.

* 분석법은 McMaster(1982) 제 5장에서 자세히 다루고 있음.

격납 용기 누출률의 절대 시험법

각 시점, t_i 인 가둬진 공기와 일치하는 질량, W_i 는 이상 기체법칙을 적용하여 직접 결정할 수 있다.

$$W_i = \frac{144V}{R} \left[\frac{P_i - P_v}{T_i} \right] \quad (\text{영미식 단위}) \quad \text{식 2}$$

데이터 분석과 신뢰 한계

데이터 점들의 선형 최소 제곱법 등식에 따라 이뤄져야 한다.

$$\bar{W}_i = At_i + B \quad \dots \dots \dots \text{식 3}$$

누출률의 측정은 회귀 직선의 기울기와 절편 양쪽의 함수이며 등식에 따라 셈해야 한다.

$$L_{am} = -2400A/B \quad \dots \dots \dots \text{식 4}$$

위 신뢰 한계(UCL)는 보고된 실제 격납 용기 누출률의 UCL 값 초과분은 단지 5% 변화 이내

에 고정시켜야 한다. 이것은 누출률의 95% 신뢰 수준의 위 한계라고 표현된다. 이 값의 근사 값은 일반적으로 적절하고 다음과 같이 결정된다.

누출량의 위 신뢰한계,

$$UCL = L_{am} + 2400 t_{0.95}(S_A/B) \dots \text{식 } 5$$

격납 용기 누출률 시험 결과의 보고서 작성

격납 용기 시스템 누출률 시험 결과들에 대한 독립적인 검토의 적정 데이터는 당연히 제시되어야 한다. 이 장은 A형 시험 결과들을 보고하기 위하여 규정된 정보를 표로 정리한다.

유사 정보는 B형, C형 시험을 실시하는데 쓰인 시험 설비에서도 필요한 것이다. 아래 정리된 정보들은 당연히 양식에 따라 기록된다.

공통적인 일반 자료 :

- 소유자
- 구매 허가증 번호
- 위치
- 격납 용기 설명서
- 데이터는 시험으로 완성된 것임

기술 자료 :

- 격납 용기의 순 자유 체적(net free volume), $m^3(\text{ft}^3)$
- 설계 압력, kPa(psig)
- 설계 온도, $^{\circ}\text{C}({}^{\circ}\text{F})$
- 셈이 된 설계사고 최고 압력, P_{ac} , kPa (psig)
- 셈이 된 설계사고 최대 온도, $m^3(\text{ft}^3)$

시험 데이터 :

- 시험 방법(절대법 또는 기준법)
- 데이터 분석기법(공기 질량 점 또는 누출률 점)
- 시험 압력

- 최대 허용 누출률, $L_a(\%/24 \text{ hr})$
- 위 신뢰 한계(UCL)에서 셈이 된 누출률
- 결정된 누출률(L_{am})

보증시험들 :

- 포개진 셈한 누출량(%/24)
- 눈금으로 된 체적의 공기 질량 단계적 변화 (%/24)
- A형 시험 계측에 의한 공기 질량 단계적 변화량

분석과 해석 :

소유자 또는 하도급자는 누출률 데이터의 분석과 시험의 해석에서 허용 기준 관계를 확인할 필요가 있다.

사건들의 요약 :

수리된 모든 국부 누출률 시험 실수(잘못)들에 대한 요약.

시험 뒷받침 자료 :

다음 정보는 소유자가 보관해야 하고 그 시설에 대하여 검토 가능해야 한다.

접근 절차 : 시험 절차서에 없는 경우, 소유자는 시험기간 중에 격납 용기에 진입을 제한하기 위하여 확정된 절차서를 입수해야 한다.

격납 용기 관통부 : 격납 용기 관통부들은 총 수효, 관통부들의 크기, 그리고 그것들의 기능을 포함한 리스트를 만들고 데이터의 색인을 갖출 것.

작동기구 상태 : 누출률 시험을 위한 정상 작업 계측 목록 만들기.

시스템 상태(시험 시점에서) : 시스템 연결 상태, 규정된 벨브들의 위치들을 보여주기. 그리고 배관 시스템들의 상태, 예컨대 “채워진 개방 라인 벨브” 또는 “정규 작업 시스템”, 규정된 액체 높이를 감시하기, 등 등.

사건 일지(event log) : 격납 용기의 초기 조사에서부터 시험된 모든 시스템들의 복구(restoration)까지 사건들의 연속 순위 그리고 일지.



계측 유효 검사(Instrumentation validation) :
계측 교정들과 표준들에 대한 문서화(documentation). 서류로 셈해진 모든 ISG에 관한 셈들.

온도 안정화 : 시험 절차서로 확립된 것과 같은 온도 안정화 기준을 입증하는 자료들.

시험 절차서 : 서명된 절차서 단계들을 포함시킨 시험 절차서의 작업 사본(working copy). (절차서가 시험 규제 요건들을 포함하지 않을 경우, 이들은 당연히 별도로 제공되어야 한다.)

국부 누출률 시험들 : 발견된 누출률, 수행한 수리 행위, 그리고 최종 누출률 등을 포함한 관통부들과 밸브를 시험하기(B와 C형 시험들)의 완성을 입증할 만한 절차서와 모든 데이터.

종합 누출률 자료 : 적용된 컴퓨터 출력 자료, 컴퓨터 프로그램의 요약 설명서에 따른 수동 자료 축적물(manual data accumulation).

품질보증 : 적법하게 서명된 ILRT를 감시하기 위하여 쓰인 품질 보증 실사 계획(quality assurance audit plan) 또는 점검표.

시험 제외 : 인가된 자가 성공적인 시험으로 결론을 내린 격납 용기 시스템 경계의 변경을 포함한 모든 시험 제외 분의 목록.

계측 기능 장애(instrumentation malfunction) : 센서 기능 장애들, 수선들에 대한 기술, 그리고 운전 계측(operating instrumentation) 쪽에 체적 분율을 재배치하기 위하여 쓰인 방법들.

신뢰 한계 : 적용된 컴퓨터 출력 시험 결과들의 신뢰 한계 검토.

보증 누출률 : 보증 누출률을 결정하는데 쓰였던 셈들에 따라 총계 계산기(totalizer)들과 흐름 미터기들에 관한 교정 정보로 쓰인 방법, 단계 변화, 또는 포개진 누출량에 대한 기술.

그래프들 : 시험기간 중에 획득된 데이터 설명을 도시한 그림.

- 쉽게 손에 넣을 수 있는 시스템들의 수도관과 계측 도면들

A형 누설시험 데이터 분석 기법

격납 용기 구조물과 관통부들에 대한 A형 누설시험에서 데이터의 분석은 두 기초 기법들을 활용한다. 주로 : (a) 독립적인 공기 질량점(질점) 분석과 (b) 누출률 분석이다.

미국 국립 표준 격납 용기 시스템 누출량 시험 규격인 ANSI/ANS-56.8-1981은 공기 질량점 분석 기법을 추천한다. 공기 질량점 분석 기법인 절대 누출량 시험에서 얻은 데이터는 격납 용기 또는 이상 기체 법칙의 적용으로 시험 중인 체적 안에 가둬진 공기 질량으로 환원시킨다.(이런 형식의 분석은 McMaster, 1982, 제 5장에 “압력 변화 누출량 시험기간 동안 가둬진 공기 또는 가스의 질량을 결정하기”의 논의 참고) 누출률이 시간의 변화에 따라 일정한 경우, 공기 질량점 시험 데이터는 ‘직선형 최소 제곱법’으로 분석될 수 있다. 개별 데이터 점들의 독립적인 성질 때문에 오차의 발생은 단지 하나의 잘못된 데이터에 ‘국한되고 누출량 시험 결과들에 실질적으로 영향을 미치지 않을 것이다.

누출률 지점 분석법에서 누출률은 가둬진 질량 눈금들의 두 set에 바탕을 둔 각 지점으로부터 결정된다. 한 방법인 ‘총시간 변형법(total time version)’은 초기 질량에 대한 데이터의 각 set를 견주며, 다른 방법인 ‘지점 대 지점 변형법(point-to-point version)’은 이전 데이터의 질량 set인 각각의 질량 데이터 set를 견준다.

‘총시간 변형법’은 각 시험의 시작에서 취한 가장 최근 데이터와 그 데이터에 기초한 누출률을 셈한다. 각각의 계속적인 누출량 셈은 긴 시간 경과에 바탕 한다. 일일, t 인 백분비의 전체

누출률은 각 시점에서 누출률에 대한 '선형 회기 분석(linear regression analyses)'을 적용하여 바로 앞의 셈으로 결정된다. 이 분석법을 이용할 때 시간 가중치의 데이터의 각 지점은 주의를 기울여 취해야 한다.

'지점 대 지점 변형법'은 가장 최근 데이터(온도, 압력, 증기압)에 바탕한 데이터와 바로 진행하는 데이터 간격 사이의 누출량을 셈한다. 일당 가중 백분율인 누출률은 각 데이터 간격 동안에 셈한다. 일당 백분율의 전체 누출률은 선형 회귀 분석을 적용하여 '지점 대 지점' 누출률로부터 각 시점에서 누출률까지를 결정한다. (자세한 논의는 위의 참고 자료 제 5장에서 다루고 있음.)

계측기 오차 책임

누출률 시험에는 측정 시스템의 불규칙 오차의 실제 효과를 고려해야 한다. 이 일은 한 직선인 '최소 제곱 회귀 분석법'을 이용하여 완성된다. 이 분석법은 모든 값들의 확실한 분율이 놓이게 될 회귀 직선에서 벗어날 변위를 결정한다. 그러한 범위, 측정된 누출률 값들이 그려짐으로써 통계 자료의 특징을 묶는데 구성될 자료를 신뢰 수준이라 부른다.

따라서 '위 신뢰 한계'로서 격납 용기의 누출률을 보고함에 있어 누출률 시스템에서 기구의 오차들을 적절하게 산정 한다.

A형 시험의 허용 기준

규정된 국부 누출률의 '위 신뢰 한계(UCL)' 추가분은 최대 허용 누출률 L_a 의 75% 아래이어야 한다. 계측감도, 격납 용기의 안정도, 그리고 셈이 된 누출률에 따르는 불확도(uncertainty)에 의존하는 것은 A형 시험의 기간 동안 이치에 맞

게 규정된 범위 밖까지 확대되어 허용 보증이 이뤄져야 한다. 측정된 격납 누출률은 최소 제곱법을 이용하여 시험 데이터의 선형 회귀 분석법으로 얻어져야 한다. 만일 누출률이 허용 기준을 넘어설 경우, 보정을 해야 한다. 초과 누출량은 국부적으로 시험 가능한 관통부 또는 격리 밸브들을 통하여 시험의 만족한 완성에 간섭할 크기로 일어나며, 이들 누출 통로들은 A형 시험을 완성하기까지 계속 격리될 것이다. 국부 누출량 시험은 격리된 개별 누출량 경로의 수리 전후에 실시되어야 한다. 수리 후 국부 누출률과 UCL의 합은 최대 허용 누출률 L_a 의 75% 이하이어야 한다. 만일 A형 시험들이 수리 후에 수행되었을 경우, 시험 결과들은 수리 이전과 이후의 국부 누출률을 보고해야 한다.

관통부 경로 누출률은 앞으로 설명될 "B형과 C형 시험들의 시험 절차들"에 대한 설명대로 측정된다. 교정 행위의 기록은 문서로 작성해야 한다.

검증 시험은 각각의 A형 시험에 따라 실시되어야 한다. 검증 시험은 계통적인 오차 또는 바이어스가 적정히 고려된 것을 보증하는데 알맞는 방법이다.

검증 시험기간 동안 격납 용기 압력은 P_{ac} 아래인 7 kPa(1 psi) 이상 낮아질 것이다.

이중 누설 검증 시험으로 교정된 누설은 격납 시스템 안에 존재하는 누설에 편승되는 곳에 다음 식으로 논증된다.

$$(L_0 + L_{am} - 0,25L_a) \leq L_c \leq (L_0 + L_{am} - 0,25L_a)$$

.....식 6

포개진 누출률, L_0 은 75-125 % 사이 이어야 한다. 공기 질량 단계 변화 검증 시험*은 단기간의 시간 간격을 지나 격납 용기로부터 또는 안으로 공기 양의 정량 이동 또는 주입(분사)을 포함



한다. 일당 허용 누출량의 25% 이상은 1 시간의 기간에 제거 또는 분사되어서는 절대로 안된다. A형 시험 계측으로 결정된 바와 같은 격납 용기에서 공기의 계량과 질량의 변화는 계량 값의 25% 안에 들어있어야 한다. 질량 변화 허용에 대한 공식은 :

$$\frac{m - (L_{am})(t)(W_i)/2400 - (W_2 - W_1)}{m} \leq 0.25$$

..... 식 7

여기서

m : 측정된 질량 변화

t : 보증 시험기간

w : A형 계측으로 질량 변화 전(W_1)과 뒤따른 (W_2) 질량이다

L_{am} : 측정된 누출률, %/일.

측정된 질량 변화량인 m은 일일 허용 누출량의 75~125 % 사이이어야 한다.

데이터 폐기 : 확실한 기초 데이터의 값이 의심스럽고 물리적인 까닭이 돋보이지 아니하는 경우에 바른 판단을 뒤받침 하기 위하여 통계적인 폐기 기법**을 격납 용기 공기 질량 데이터에 적용할 수 있을 것이다. 공기 질량 데이터 폐기 기법은 둘러막힌 공기 질량 변화가 단지 시간에 의존하는 선형 함수여야 한다는 가정에 바탕을 둔다. 기준 점은 이 기준에 의하여 그의 폐기 확률이 사전에 설정된 확률 수준을 초과하지 않는 경우여야 폐기될 수 있을 것이다.

한 감지기가 시험기간 동안 폐기된 경우, 그 시험에 해당하는 모든 데이터 점들은 당연히 그 센서의 삭제된 입력 자료로써 셈해야 한다. 이렇게 다시 셈한 것은 시험기간의 완료 이전에는 실시할 수 없다.

누출률 시험기간 중에 모아진 데이터 조합에 대하여 데이터 폐기 기법을 쓰려면, 그 시험에서 데이터 모두는 폐기 기준과 서로 맞견주어야 한다. 선택적으로 데이터 조합에 대한 규준을 적용하는 것은 허용되지 않는다. 통계적 데이터 폐기 기법은 어떤 시험에서나 이용되고, 가동 이전 보증 시험에서도 이용된다. 하지만 허용된 격납 용기 공기 질량 데이터의 한 조합 중, 5% 이상의 통계적 폐기의 경우는 없어야 한다. 폐기된 데이터, 불량 자료의 최대 확률도 문서로 작성되어야 한다.

온도, 압력, 그리고 습도와 같이 파라미터에 기능적으로 의존하는 기초 데이터는 통계적인 처리에서 폐기될 수 없다. 하지만, 폐기할 정당한 물리적 까닭이 확인된다면, 공기 질량의 최종 셈에서 폐기시켜 쓰이지 않을 수도 있을 것이다. 폐기 데이터, 불량 데이터의 근거 등은 문서로 작성되어야 한다.

(원고 접수일 1999. 9. 8)

* 검증 시험 절차는 McMaster(1982) 제5장 제1부에 설명되어 있다.

** 데이터 폐기 기법도 같은 책 제5장 제1부에 설명되어 있다.