

핵 밸브들의 인수 시험을 위한 누출량 시험(VI)

Leakage Testing for Acceptance Testing of Nuclear Valves (VI)

This text describes the procedures on a leakage testing which is one form of acceptance testing of an assembled valve, performed by (1) the valve supplier prior to shipment, or (2) by the purchaser upon receipt of the completed valve.

여기서는 원자력발전소의 격납 용기에 달린 핵 밸브들을 인수할 때, 적용될 누설시험을 해설한다. 시험할 핵 밸브들은 공급자가 제품을 제작하여 납품하기 이전에 제작사의 주관아래 실시되는 경우와, 발주자가 제품을 인수받고 난 후, 발주자의 주관으로 실시하는 경우가 있을 것이다. 경우가 어떻게 시험 절차는 다르지 않다. 이들에 관하여 자세한 시험 절차들을 소개한다.

<제3부> 핵 밸브들의 인수시험에 대한 누설시험

3.1 핵 밸브들의 누출량 시험의 목적과 범위

핵 밸브들의 누출량 시험은 어떤 조립된 밸브의 인수에 필요한 시험의 한 형태이며, (1) 주문자에게 납품되기 이전에 밸브 제작사인 공급자가 실시하는 경우, 또는 (2) 완성된 밸브를 인수한 구매자의 주관으로 실시하는 경우가 있다. 여기에 해설할 누출량 시험 원리들은 대개 글러브 밸브들, 앵글 밸브들, 게이트 밸브들, 나비 밸브들, 볼

글 | 朱昇煥

(Choo, Seung Hwan)
방사선관리기술사, 공학 박사,
고려공업검사(주) 연구소장,
SRI, 본회 홍보위원.
E-mail : shchoo@unitel.co.kr



밸브들, 그리고 체크 밸브들에 적용할 수 있다.

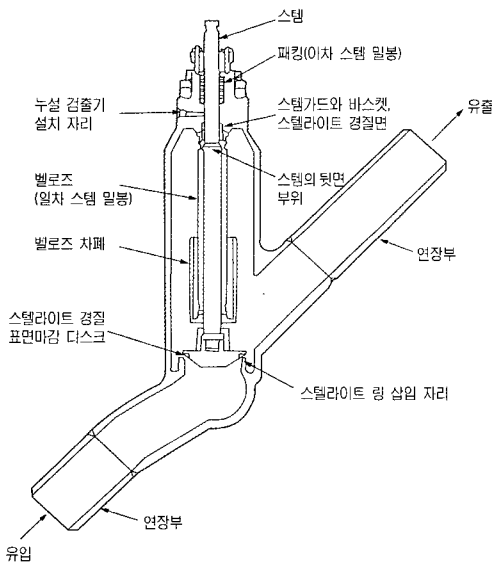
핵 밸브들의 누출량 시험은 밸브 공급자, 구매자의 조달 시방서, 그리고 적용될 표준들의 허용 누출량 요건들이 충족된 것임을 보증하기 위하여 수행한다. 핵 작업에 쓰이는 밸브들은 기본적으로 비-핵 밸브들을 대상으로 삼고, 그것들에 추가로 핵 코드들, 표준들, 관례들에 알맞게 추가 또는 개량된 요건들을 적용하여 누출량을 시험한 것들이다. 핵 밸브들의 누출량 시험은 대개 다음을 시험하게 된다.

1. 밸브 몸체의 누출량 시험,
2. 밸브 자리의 누출량 시험,
3. 스템(stem) 밀봉의 누출량 시험,
예컨대 패킹(packing) 또는 벨로즈
(bellows)

3.2 핵발전소용 벨로즈 밀봉의 예

<그림 5>는 쓰인 유체의 누출량이 전혀 허용되

지 않는 핵발전소에 이용될 밸브의 한 유형을 설명한다. 보여준 밸브는 한 벨로즈 밀봉 밸브이며, 금속 벨로즈는 밸브 스템과 밸브 몸체에 용접되어 있다. 틀에 박힌 밸브 스템을 통해 그림 5의 위쪽에서 보여준 패키지의 밀봉 부위까지는 적어도 누출이 일어나지 말아야 한다. 밸브의 제조기간 중에 벨로즈들과 밀봉 용접 부위는 누출률이 $10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ($10^{-7} \text{ std cm}^3/\text{s}$) 아래임을 보증할 헬륨 누설시험법으로 시험하게 된다. 그 시험은 밸브의 조립을 완료하기 전과 조립 후에 누설시험한다.



(그림 5) 유해한 액체들과 기체들을 운송하는 배관시스템에 쓰이는 벨로즈 밀봉 밸브의 모습

3.3 핵 밸브들의 누설시험에 대한 코드들과 표준들

핵 발전시스템 밸브들의 누설시험에 관계된 코드들과 표준들은 다음을 포함한다.

1. 미국 기계학회(ASME) 보일러와 압력용기 코드, (a) Section III Division 1, 핵 발전소 부품들, (b) Section V, Article 10, 누설시험, (c) Section , 핵 발전소 가동 중 검사, Subsection IWV, 밸브들의 가동 중 시험.
2. 제작표준학회 표준 관련, SP-61, 강철 밸브들의 수압시험.
3. 제어 밸브 스템 누출량의 미국 국가표준, ANSI/FCI 70-2, 미국 국립표준연구소.

3.4 핵 밸브 몸체들에서 압력 시험을 통제하는 ASME 코드 항목들

핵 밸브 몸체들의 수압 또는 압축공기 압력시험 (때로는 겹질 압력시험으로 지칭됨)은 밸브 몸체를 통한 누출량에 알맞게 시험 수단을 제공한다. 이들 압력시험들은 용접된 데에서 누출량이 보이므로 밸브 몸체의 구조적 건전성을 확인할 수 있을 것이다. 핵 밸브들의 압력시험은 대개, ASME 보일러와 압력 용기 코드, Section III, Division 1에 따라 수행된다. 상승 온도에 알맞게 설계된 밸브들에 적용할 어떤 ASME 코드의 부분들과 함께, Articles NB-6000, NC-6000 그리고 ND-6000은 각각 밸브 등급 1, 2 그리고 3의 압력시험을 다룬다. ASME 코드는 압력시험에 관한 완벽한 정보를 제공한다. 코드는 압축 공기 시험이 수압 식 압력시험을 대신할 수 있는 조건들을 요약 설명한다. 예컨대,

1. 부품들이 안전하게 물로 채워질 수 없을 때.
2. 쉽게 건조될 수 없는 부품들에 시험 매질의 추적자를 금지하는 작업에 추적자를 써야 할 때.

대개는 어떤 누출량도 허용되지 않는다. 하지만 수압시험의 수행 목적에 설치되고, 후에 교체가 가능한 임시 개스켓들과 밀봉 부위들을 관통할 누출량은 규정된 시간 동안 시스템 시험 압력을 유지할 용량을 초과하지 않는다면 허용된다. 영구적 밀봉들, 틀(자리)들, 부품들의 개스켓 연결 부위들과 같은 다른 누설들은 누출물이 설계 시방서에 명확하게 인정된 범위 안에 있을 때만 허용된다.

3.5 밸브들의 수압 압력시험에 대한 절차서

밸브들의 수압시험은 때로는 두 단계로 이뤄진다. 첫 시험 단계는 완전 개방 위치의 밸브이며, 폐쇄된 유입구와 배출구에서 이뤄진다. 그 다음에 제2 시험 단계는 뒷자리(back seat, 가능할 경우) 접촉 부위로부터 이동시켜 패킹은 누르개(gland)를 밀착시켜 압축한다. 이 시험에서 스테핑 박스(Stuffing box)와 뒷 스템으로 격리된 밸브의 다른 압력 경계 자리들은 수압을 받게 된다. 벨로즈형 밀폐로 장치된 밸브들의 경우, 초과된 압력으로 벨로즈들의 손상을 막기 위하여 수압은 벨로즈의 양쪽에 동시에 가해진다. 벨로즈를 포함한 밸브들의 압력시험 지침은 ASME 코드인 Sub-articles NB-3500, NC-3500 그리고 ND-3500에 수록돼 있다.

3.6 밸브 자리들 또는 밸브 디스크들에 대한 수압 누설시험 관련 절차들

밸브 자리 누출량 시험은 특정한 시험 조건들 밑에서 폐쇄된 위치에 있는 한 조립 밸브를 관통하는 시험 액체의 양을 측정한다. 시험 조건들, 허용 가능한 자리 누출량, 그리고 액체 요건들은 밸브 공급자 시방서에 특별히 지정된다. 추가로 공급자들은 종종 회사 또는 산업표준들로서 밸브

자리 누출량 성능을 확인 감시한다. 밸브 설계 시방서에 정의된 바와 같이 인수 가능한 자리 누출량을 포함한 밸브의 폐쇄 시험에 관한 요구 조건들은 ASME 코드 Sub-articles NB-3500, NC-3500, 그리고 ND-3500에 규정된다.

3.7 밸브들의 압력 누설시험에서 시험 유체들의 선정

밸브 자리 누출시험들은 시험 유체로서 물, 공기 또는 기체를 쓴다. 밸브에 쓰이게 되는 실용 유체와는 다른 한 유체가 쓰이는 시험에서, 상관관계는 대개 작업 유체와 조건에 맞는 기대 누출률에 대한 시험 유체 누출률을 관련시켜 개발된다. 유체 금속의 오스테나이트 강철 밸브들은 대개 불활성 기체를 써서 누출시험 한다. 이것은 시험 이후에 밸브의 틈에 불순 물질로 남게 될 염화물 응력 부식의 잠재성 문제를 없앤다. 시험 유체의 순도 요건들은 밸브 구조 물질과 밸브 적용의 중요도에 바탕을 둔다. 어떤 시험 절차들은 단순히 '깨끗한' 공기 또는 물을 지정한다. 중요한 일에 쓰이게 될 밸브들의 누설시험들인 경우, 물의 요건들은 염소, 유황과 같은 불순물의 최대 허용 농도와 최대의 무방한 농도 또는 총-고체 함유량, 그리고 pH 범위와 같은 불순 물질의 최대 허용 농도를 포함할 것이다. 공기 또는 불활성 기체의 요구 조건들은 미립자들, 이슬점 값, 그리고 그 유체가 기름 또는 오염 물질을 갖지 말아야 할 요건들, 그리고 최대 농도를 포함한다.

3.8 밸브들의 누출률 측정에 대한 절차들

적법한 개인 또는 기관이 승인한 문서인 누출량 시험의 절차들은 반드시 시험을 실시할 기관이 마련하여 제공한 것이어야 한다. 절차서에 반드시

담겨야 할 내용들은 시험 짜붙임의 세부 사항들과 시험 조건들인 압력들, 버팀 시간, 누출량을 관측하는 또는 측정하는 방법, 누출량의 기준, 계측 교정 요건들, 그리고 문서화된 기록들을 포함한다.

시험 유체는 지정된 시험 압력에서 정규 또는 지정된 밸브 자체 유입구(inlet) 쪽에 적용된다. 밸브 자체의 유출구(outlet)는 대기에 개방 또는 시험 요건들에 의존하는 낮은 높이 압손실(low head loss)이 있는 누출량의 측정 장치에 연결될 수 있다. 액체 누출량은 눈금 실린더 또는 저울로 달아 잴 수 있다. 공기 또는 기체 누출량은 물의 치환 기법으로 포집 될 것이다. 시험 유체 압력의 적용에 관한 유지 시간은 당연히 누출률 시험 절차서에 특별히 지정돼야 하고 목적하는 누출량을 얻기에 필요한 예정된 시간 간격에 바탕을 둔다. 시험 절차서는 대개 실제 누출량 측정을 시작하기 전에, 시험 유체가 그 밸브의 유입구에 유입되고 난 후에 그 밸브가 한 번 또는 그 이상 개폐되도록 규정한다. 밸브자리 누출량은 자주 양쪽 방향에서 자리를 가로질러 측정된다. 예컨대, 한 방향에서 시험을 실시하여 그 다음에 자리의 반대쪽에 대한 시험 유체의 압력을 적용한다. 점검 밸브들은 정상 밸브 자체 출구에 대하여 단순히 적용되는 유체 압력으로 시험된다.

밸브들의 누출률 시험에 요구되는 기록들:

누설시험 절차에 지정된 시험자가 기록할 시험 조건들은:

1. 시험 유체의 확인,
2. 시험 유체의 온도,
3. 시험 유체의 압력,
4. 밸브자리에 가로 걸린 차압,
5. 밸브를 막고 있는 힘과 적용 수단(작업자의 힘 또는 압력, 또는 핸드 휠(hand wheel)

로 밸브를 막을 토크),

6. 누출률 시험의 지속 기간,
7. 누출의 측정량,
8. 시험된 항목들의 확인, 그리고 시험 자료들,
9. 자격 있는 시험자의 서명.

밸브 누출량 또는 누출률의 시험 조건들을 모두 갖추지 못한 문서는 누설 시험 데이터로서의 의미가 없다.

3.9 밸브자리 누출률의 허용 값을 지정하기

산업용 밸브들의 보통 허용된 자리 누출률은 호칭 밸브 치수의 인치마다 매시간당 물의 양 10 cm³이다. (이것은 호칭 파이프 지름의 매cm마다 시간당 물의 양 4 cm³가 될 것이다.) 같은 조건에서 공기의 허용 누출률은 호칭 파이프 치수의 0.3 Pa · m³/s 또는 파이프 호칭 치수의 매인치마다 시간당 공기의 양 0.1 std ft³(scfh)이다. 핵 밸브 누출량의 요구 조건들은 산업용 밸브의 그것들보다는 더욱 엄격하다. 예컨대 핵 밸브는 호칭 파이프 치수의 매cm마다 시간당 물의 양 1 cm³의 누출률로 제한될 수 있을 것이다. 밸브의 적용에 따라 유사 조건 아래서 산업용 밸브들의 지름의 매인치마다 시간당 물의 10 cm³와 견줄 수 있다.(10배) 앞 예와 대조하여 제어 밸브의 허용 누출량을 때로는 등급 밸브 용량이 백분율로서 나타난다. 예컨대, ANSI/FCI 70-2 표준은 6 등급의 최대 허용 규제 밸브들이 있다. 액체 금속 과도 설비(liquid metal thermal transient service)를 위한 상대적으로 얇은 벽 밸브 몸체와 같은 어떤 확실한 밸브의 설계들이 찌그러질 대상이 된다는 것을 유념해야 한다. 이들 밸브들은 밸브 끝에 걸린 파이프라인 부하의 크기에 달린 변수의 누출률을 가질 수도 있을 것이다. 이 요소는 그러한 밸브 설

계의 자리 누출량 시험 조건과 누출량 기준을 확립함에 있어 당연히 고려되어야 한다.

3.10 밸브 스템 밀봉 부위들의 압력 누설 시험 절차들

밸브 스템 밀봉 부위들의 누출량 시험으로 특정한 시험 조건들 아래서는 누출량이 전혀 없다는 사실, 또는 누출률이 그 밸브 스템에서 허용 가능함을 보증할 수 있을 것이다. 패킹형 밀봉인 밸브들에서 시험은 대개 밸브 몸체의 수압 또는 공기 압축과 연결하여 실시한다. 밸브 몸체에 압력을 걸어서 스템 패킹 부위를 누출량으로 검사한다. 누출량 기준은 상품인 누설 검출 용액이 밀봉 자리에 적용될 때 형성된 기포들로서는 누출량이 전혀 식별되지 않을 수도 있을 것이다. 어떤 시험 시방서들은 누출량이 플라스틱 필름으로 밸브 위를 “bagging”(봉지 씌우기), 그리고 튜브로 연결된 물의 배수량 측정 장치를 통해하여 공기 또는 기체 누출량을 수집하여 측정하기를 규정한다. 벨로즈 누출량은 정상적으로 ASME 보일러 압력 용기 코드, Section V, Article 10에 설명된 질량분석 시험 또는 기타 방법들 중, 한 시험으로 밸브 몸체에 연결하여 결정한다.

액체 금속 작업에 쓰이는 밸브형으로써 어떤 밸브 설계들은 이차 패킹 밀봉된 일차 벨로즈 밀봉이 있다. 패킹 밀봉은 대개 위에서 설명된 바와 같은 패킹 밀봉에서 누출량을 관찰 또는 측정하는 동안 두 밀봉들 사이의 공간에 대한 압축 압력을 주어 누설시험 한다. 이런 시험이 실시되는 경우, 당연히 벨로즈들을 파괴 또는 변형할 과잉 차압을 피하려고 밸브 몸체의 양쪽에 시험 압력을 동시에 걸어주어야 한다.

밸브들의 누설시험에 쓰이는 추가 누설시험 방법들:

밸브들의 누설시험에 적합한 다음의 추가 시험 방법들은 ASME 보일러 압력 용기 코드, Section V, Article 10에서 누출량의 허용 기준과 함께 설명되어 있다.

1. 기체와 기포 방출 누설시험
2. 할로겐 다이오드 검출 누설시험
3. 헬륨 질량 분석계 누설시험

이들 방법들에 관한 해설은 따로 책으로 펴낼 준비를 하고 있다.

3.11 원자로 가동 후의 핵 밸브들에 대한 누설시험

원자력 발전소가 가동된 적이 있었던 곳의 밸브들에 대한 누설시험 방법들은 그 밸브에 있는 작업 유체들에 오염된 방사선의 세기에 따라 제한한다. ASME 코드 Section, Subsection IWV는 그런 시험 방법들과 가동 후의 누설시험에 관한 요구 조건들을 규정한다. 기본적으로, 가동된 밸브들의 누출량 시험은 단순히 정상의 작업 유체로써 차압을 이용한, 밸브 자리 누출량인 것이다. 누출률은 밸브 자리의 위쪽 흐름(고압)에 흐름미터기를 달아 흐름을 측정한다. 이런 목적으로 원자력 발전소의 건설 때 미리 계측기와 자동 표기들이 함께 설치된다.

(원고 접수일 2000. 2. 22)

<다음호에 계속>