

KOSHA GUIDE

M - 150 - 2022

불활성기체 등을 이용한
기밀시험방법에 관한 기술지침

2022. 12.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

- 작성자 : 한국산업안전보건공단 양 원 백
- 개정자 : 한국산업안전보건공단 정 용 재

- 제 · 개정경과
 - 2007년 6월 기계안전분야 제정위원회 심의
 - 2007년 8월 총괄제정위원회 심의
 - 2012년 4월 기계안전분야 제정위원회 심의(개정)
 - 2022년 12월 기계안전분야 제정위원회 심의(개정)

- 관련규격 및 자료
 - ASME section V Nondestructive examination
 - ASTM E-432 Standard recommended guide for the selection of a leak testing
 - ASTM E-479 Recommended guide for preparation of a leak testing specification

- 관련 법규 · 규칙 · 고시 등
 - 산업안전보건 기준에 관한 규칙 제2편 제2장 제7절 제300조(기밀시험 시의 위험방지)

- 기술지침의 적용 및 문의

이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지 안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2022년 12월 31일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

불활성기체 등을 이용한 기밀시험방법에 관한 기술지침

1. 목 적

이 지침은 산업안전보건기준에 관한 규칙(이하 “안전보건규칙”이라 한다) 제2편 제2장 제7절 제300조(기밀시험시의 위험방지)의 규정에 따라 불활성기체 등을 이용한 기밀시험방법을 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 적용범위

이 지침은 불활성기체 등을 이용하여 기밀시험을 실시하는데 적용한다.

3. 정의

(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

- (가) “기밀시험(Leak testing)”이라 함은 누출의 존재라든가 누출부분 또는 누출량을 검출하는 시험방법으로 일반적으로 비파괴시험분야에서는 누설 또는 누출탐상시험이라 한다. 여기서 기밀시험은 압력시험을 의미하지 않는다.
- (나) “누출(Leak)”이라 함은 구멍 또는 틈을 통해 압력이 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 흐르는 유체의 흐름을 말한다.
- (다) “누출율(Leakage rate)”이라 함은 누출을 통한 규정 압력차의 결과로 단위시간당 주어진 온도에서의 누출되는 액체 또는 가스가 흐르는 비율을 말한다. 누출율은 $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 또는 $\text{Pa} \cdot \ell/\text{s}$ 와 같은 여러 단위로 나타낸다.
- (라) “게이지 압력(Gauge pressure)”이라 함은 절대압력과 대기압력의 차이를 말한다.
- (마) “불활성가스(Inert gas)”라 함은 헬륨, 네온 및 아르곤과 같이 다른 물질과 혼합되는 것이 어려운 가스를 말한다.
- (바) “압력 유지시간(Soak time)”이라 함은 시험에 필요한 차압이 시스템에서 얻어지는 시간 또는 시험을 통해 누출을 검출하거나 누출율을 측정하기 위해 소요되는 경과시간을 말한다.

(사) “초음파 누출검출기(Ultrasonic leak detector)”라 함은 구멍을 통과하면서 발생하는 분자난류에 의해 생성되는 초음파에너지를 검출하고 이것을 사용가능한 신호로 전환하는 장비를 말한다.

(아) “추적가스(Tracer gas)”라 함은 특정한 누출검출기에 검출될 수 있고 누출부의 존재를 나타낼 수 있는 가스로서 검출 가스(Search gas)라고도 한다.

(2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 지침에 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙, 안전보건규칙 및 고용노동부 고시에서 정하는 바에 의한다.

4. 일반사항

4.1 절차서의 요건

기밀시험은 문서화된 절차서에 따라 실시해야 하며, 각 절차서는 가능한 한 최소한 다음의 정보를 포함한다.

- (1) 시험의 범위
- (2) 누출을 검출하거나 누출율을 측정하기 위해 사용되는 장비의 종류
- (3) 표면 세척처리 및 사용한 장비의 종류
- (4) 실시하게 될 시험의 방법 또는 기법
- (5) 사용되는 온도, 압력, 가스 및 농도

4.2 장비 및 기타요건

4.2.1 게이지(Gauge)

(1) 게이지 범위

다이얼 지시형 및 기록형 압력게이지가 기밀시험에 사용되는 경우, 압력게이지의 눈금판은 최대압력의 2배 정도의 범위를 가져야 하며, 어떠한 경우에도 최대압력의 1.5배 미만이거나 4배 이상의 눈금범위를 가져서는 안 된다. 해당

규격서에서 규정한 특정 게이지에 대한 눈금범위 요건은 해당 규격서에서 요구하는 대로 한다.

(2) 게이지 위치

기기를 가압하거나 진공으로 하여 기밀시험을 하게 되는 경우, 다이얼 지시형 게이지는 기기를 가압하거나 감압하는 동안 조작자가 게이지를 쉽게 볼 수 있도록 기기에 직접 연결하거나 원격위치에서 연결해야 한다. 1 개 이상의 게이지가 요구되는 대형 압력용기 또는 시스템의 경우, 기록형 게이지가 권고되고, 이 기록형 게이지는 2개 이상의 지시형 게이지 1개와 대체할 수 있다.

4.2.2 거품용액

(1) 거품형성 용액은 시험표면으로부터 이탈하지 않는 막을 만들어야 하고, 또한 형성된 거품은 공기 건조 또는 낮은 표면장력으로 인해 급격히 소멸되지 않아야 한다. 가정용 비눗물 또는 세제를 거품시험 용액으로 대신 사용하는 것은 허용되지 않는다.

(2) 거품형성 용액은 시험조건의 온도에 적합한 것이어야 한다.

4.2.3 시험대상 기기의 요건

(1) 세척

시험할 부위의 표면은 기름, 그리스, 페인트 또는 다른 오염물질이 있어서는 안 된다. 기밀시험 전에 액체로 기기를 세척하였다면 기밀시험 전에 건조해야 한다.

(2) 구멍

모든 구멍은 시험을 완료한 후에 쉽게 제거될 수 있도록 플러그, 덮개, 밀봉 왁스, 시멘트, 또는 다른 적합한 재료를 사용하여 밀봉한다.

(3) 온도

시험하는 동안 모든 기기의 최저급속온도는 해당 규격서나 압력기기 또는 부품의 수압, 수 기압(hydropneumatic), 기압시험 등에 대한 참조규격에서 규정 한대로 유지하여야 한다. 시험하는 동안 최소 또는 최대 온도는 사용한 기밀 시험 방법에서 허용하는 온도를 초과해서는 안 된다.

(4) 기밀시험의 압력 한계

해당 규격서 또는 참조규격에 규정되어 있지 않는 한, 가압 기밀시험하게 될 기기는 설계압력의 25 % 이하의 압력으로 시험한다.

4.3 시험 안전

(1) 배관·용기 그 밖의 설비에 대하여 불활성가스를 이용하여 기밀시험을 하는 때에는 과도한 압력 또는 잘못된 작업방법으로 인한 파열의 위험을 방지하기 위하여, 국가교정기관으로부터 교정을 받은 압력계를 설치하고 내부 압력을 수시로 확인하여야 하며, 다음에 따라 시험한다.

- (가) 용접이음이 있는 배관·용기를 가압하여 기밀시험을 할 경우에는 기밀 시험 전에 전 길이 방사선투과시험을 하여야 한다.
- (나) 기밀시험에 사용하는 기체의 온도는 압력용기가 취성파괴를 일으킬 염 려가 없는 온도이어야 한다.
- (다) 기밀시험은 시험압력의 50 %까지 서서히 승압시키고 이상이 없는 것을 확인한 이후에 10 %씩 가압시킨다. 이때 안전한 위치에서 이상 유무를 감시하면서 시험압력에 도달할 때까지 승압시킨다.
- (라) 기밀시험 중에 기밀시험 장비 또는 계통에 이상 징후가 확인된 경우에는 즉시 압력을 하강하고 이상을 수정한 후에 시험을 다시 하여야 한다.

(2) 압력계는 기밀시험을 하는 배관 등의 내부압력을 항상 확인할 수 있도록 작업자가 보기 쉬운 장소에 설치하여야 한다.

(3) 기밀시험 종료 후 설비내부 점검 시에는 반드시 환기를 하고, 불활성가스의

체류유무를 측정하여 안전한 상태를 확인한 후 점검하여야 한다.

- (4) 기밀시험 안전에 관한 기타 세부사항은 KOSHA GUIDE D-54, “화학설비의 압력시험에 관한 기술지침”을 따른다.

5. 측정기기의 교정

5.1 압력게이지/진공게이지

- (1) 기밀시험에 사용되는 모든 다이얼 지시형 및 기록형 게이지는 표준 정하중 시험기, 교정 마스터 게이지 또는 수은주와 비교하여 교정해야 하고, 참조규격 또는 규격서에서 다르게 규정하지 않는 한 게이지는 최소한 1년에 한번은 재교정해야 한다. 사용되는 모든 게이지는 제조자가 규정한 정밀도 이내의 결과를 나타내어야 하고, 오류 또는 보정값에 문제가 있는 경우 즉시 재교정 또는 교체하여야 한다.
- (2) 다이얼 지시형 또는 기록형 게이지 이외의 게이지가 해당 규격서에서 요구되는 경우, 그 게이지는 해당 규격서 또는 참조규격에서 요구한대로 교정하여야 한다.

5.2 온도측정 장치

온도의 측정값이 해당 규격서 또는 참조규격에서 요구되는 경우, 온도측정 장치를 해당 규격서 또는 참조규격의 요건에 따라 교정해야 한다.

6. 절차

6.1 예비 기밀시험

정밀 기밀시험을 수행하기 전에 큰 누출을 사전 검출하고 이를 제거하기 위해 예비 기밀시험을 실시하는 것이 편리할 수 있다. 예비 기밀시험은 본 시험을

하는 동안 누출을 막거나 가리지 않는 방법으로 실시해야 한다.

6.2 시험 순서

수압시험 또는 수 기압시험(hydropneumatic test)이 기밀시험 전에 실시하는 경우, 오염물질이 누출을 가릴 수 있으므로 예비 기밀시험은 수압시험 또는 수 기압시험 전에 실시할 것을 권고한다.

7. 시험방법

7.1 직접 가압하는 거품 기밀시험

7.1.1 개요

거품 기밀시험에서 직접가압법의 목적은 누출가스가 기기를 통과하여 새어나올 때 거품이 생기는 용액의 적용 또는 액체내의 침지에 의해 가압된 기기의 누출위치를 찾는 방법이다.

7.1.2 시험절차

(1) 압력 유지시간

시험하기 전, 시험압력을 최소 15분 동안 유지해야 한다.

(2) 표면온도

시험할 부품의 표면온도는 시험기간 동안 4 °C 미만이거나 52 °C를 초과해서는 안 된다. 국부가열 또는 냉각은 시험하는 동안 온도가 4 °C~52 °C 범위 내로 유지된다면 허용된다. 위의 온도 제한범위를 벗어난 경우에는 절차서의 승인이 필요하다.

(3) 용액의 적용

거품형성 용액은 시험부위에 용액을 흘리거나, 분무 또는 솔질하여 시험할 표면에 적용해야 한다. 용액을 적용하면서 생기는 거품의 수는 누출로 생긴 거품을 가리지 않도록 최소화하는 것이 바람직하다.

(4) 용액내의 침지

관독범위는 용액의 표면 아래에서 쉽게 관찰 가능한 위치이어야 한다.

(5) 조명 및 시력 보조기구

육안시험을 실시할 때 다음의 요건이 적용된다.

(가) 직접 육안시험

직접 육안시험은 보통 검사할 표면과 눈의 거리가 600 mm 이내이고, 검사할 표면과 눈의 각도가 30° 이상이 되도록 충분히 접근할 수 있을 경우에 실시한다. 시력의 각도를 개선하기 위해 거울을 사용할 수 있고, 확대경과 같은 보조기구도 시험에 도움을 주기 위해 사용할 수 있다. 특정부품, 기기, 압력용기 또는 시험되는 대상의 일부분에 대하여 자연조명 또는 보조 백색 등이 필요할 수 있다. 시험 장소에서 빛의 최소강도는 1000 럭스(lux) 이상으로 해야 한다. 직접육안시험은 문서화하여 보관하여야 한다.

(나) 원격 육안시험

일부의 경우에 있어서는 원격 육안시험이 직접 육안시험을 대신하여 사용될 수도 있다. 원격 육안시험은 거울, 망원경, 내시경, 광학 섬유, 카메라 또는 기타 적합한 장치와 같은 시각 보조기구를 사용할 수도 있다. 이와 같은 장치는 직접 육안관찰로 얻을 수 있는 해상도와 최소한 동등한 수준의 해상도를 가져야 한다.

(6) 누출의 지시

시험하는 재료의 표면에서 연속적으로 거품이 성장하고 있다면 시험 중에 있는 부위에 누출이 있다는 것을 나타낸다.

(7) 시험 후처리

시험 후 표면 세척은 제품 내구성을 위해서 필요할 수 있다.

7.1.3 평가

(1) 누출

참조규격에서 달리 규정되지 않는 한 시험한 부위에서 연속적인 거품형성이 더 이상 관찰되지 않을 때 합격이다.

(2) 수리/재시험

누출이 관찰되는 경우에는 누출의 위치를 표기한다. 그 기기는 후에 감압하여 참조규격에서 요구하는 대로 누출부를 수리한다. 수리가 완료된 후, 수리 부위는 이 규격서의 요건에 따라 재시험을 한다.

7.2 진공상자를 이용한 거품 기밀시험

7.2.1 개요

진공상자를 이용한 거품 기밀시험의 목적은 직접 가압할 수 없는 압력 경계부 내의 누출위치를 찾는 방법이다. 이 시험방법은 압력 경계부 표면의 국부부위에 거품용액을 도포하고, 누출가스가 거품용액을 통과하여 새어나오면서 거품을 형성시킬 수 있도록 압력 경계부에 국부적인 압력차를 발생시켜서 시험하는 방법이다.

7.2.2 시험절차

(1) 표면온도

시험할 부품의 표면온도는 시험기간 동안 4 °C 미만이거나 52 °C를 초과해서

는 안 된다. 국부가열 또는 냉각은 시험하는 동안 온도가 4 °C ~ 52 °C 범위 내로 유지된다면 허용된다. 위의 온도 제한범위를 벗어난 경우에는 절차서의 승인이 필요하다.

(2) 용액의 적용

거품형성 용액은 진공상자를 배치하기 전 시험부위에 용액을 흘리거나, 분무하거나 또는 솔질하여 시험할 표면에 적용해야 한다.

(3) 진공상자의 배치

시험표면의 용액이 도포된 부위에 진공상자를 놓고 요구되는 진공압까지 진공시켜야 한다.

(4) 압력유지

필요한 부분진공은 시험하는 동안 최소 10 초간 유지한다.

(5) 진공상자의 중첩

진공상자의 중첩은 연속되는 각각의 시험에 대해 전회의 시험과 다음 시험간에 최소 50 mm가 중첩되어야 한다.

(6) 누출의 지시

재료 또는 용접부의 표면에서 연속적으로 거품이 성장된다면 시험하는 부위에서 구멍을 통과하는 누출이 있다는 것을 나타낸다.

(7) 시험 후처리

시험 후에 표면 세척은 제품 내구성을 위해서 필요할 수 있고, 표면세척을 할 경우에는 세척하는 제품에 부식을 일으키지 않는 액체로 세척하는 것이 바람직하다.

7.2.3 평가

(1) 누출

참조규격에 달리 규정하지 않는 한 시험한 부위에서 연속적인 거품형성이 더 이상 관찰되지 않을 때 합격이다.

(2) 수리/재시험

누출이 관찰되는 경우에는 누출의 위치를 표기한다. 그리고 시험이 끝난 후에 배기해야 하고, 참조규격에서 요구한 대로 누출부를 수리해야 한다. 수리가 완료된 후, 수리 부위는 이 규격서의 요건에 따라 재시험을 한다.

7.3 압력변화시험

7.3.1 개요

- (1) 어떤 특정한 압력 또는 진공상태에서 밀폐된 기기 및 시스템의 경계부에 누출율을 측정하는 기법이다. 압력유지, 절대압력, 압력의 지속, 압력손실, 압력감쇠, 압력상승 및 진공유지는 압력변화시험에 의한 누출율을 측정하는 경우 사용될 수 있는 기법의 예이다. 시험은 단위시간당 압력, 체적의 변화 또는 단위시간당 질량변화를 측정함으로써 누출을 확인할 수 있다.
- (2) 각각의 시험은 밀폐된 기기 또는 시스템을 기체로 가압하거나 진공상태에서 수행하며, 시험 중 온도변화에 따라 압력 또는 부피가 감소할 수 있으므로 최대허용변화범위를 규정하여야 한다.
- (3) 규정된 온도에서 정해진 시간동안 가압 또는 감압을 실시하여 그 결과를 기록하고, 기록된 자료를 분석하여 단위시간당 누출율 또는 압력변화에 대한 기기 또는 시스템의 적합성을 결정한다.

7.3.2 시험절차

(1) 압력의 적용

대기압 이상으로 시험하는 기기는 본문의 4.3에 따라 가압해야 한다.

(2) 진공의 적용

진공 하에서 시험하는 기기는 최소한 대기압 이하 13.7 kPa까지 또는 참조규격에서 요구하는 대로 진공상태를 유지한다.

(3) 시험 유지시간

시험압력은 참조규격에서 규정한 시간 동안 유지해야 한다. 매우 작은 기기 또는 시스템의 경우에는 몇 분의 시험 유지시간이면 충분할 것이다. 온도 및 수증기의 보정이 필요한 대형기기 또는 시스템의 경우에는 더 긴 시험 유지시간이 요구된다.

(4) 소형 가압시스템

시스템의 금속 온도만이 측정될 수 있는 개스킷 공간과 같은 매우 작은 가압 시스템의 온도를 안정시키는 경우에는 가압 완료 후로부터 시험 시작 전까지 최소한 15분은 유지하여야 한다.

(5) 대형 가압시스템

가압 완료한 후 내부 가스온도를 측정하는 대형 가압시스템의 경우에는 시험 시작 전에 내부 가스온도가 안정된 것을 확인한다.

(6) 시험의 시작

시험을 시작할 때에는 초기의 온도 및 압력값을 기록하여야 한다. 그 후 일정한 간격으로 기록하고 규정된 시험시간을 유지하여야 하며, 시험시간은 60분

을 초과하지 않아야 한다.

(7) 필수 변수에 대한 고려

- (가) 기압계의 압력변화에 대한 보정이 요구되는 경우에는 시험압력을 절대압력 게이지 또는 일반적인 압력 게이지 및 기압계로 측정하여야 한다.
- (나) 필수 변수가 참조규격에서 요구되는 경우 수증기 압력변화가 시험결과에 크게 영향을 미치는 경우에는 내부 이슬점 온도 또는 상대 습도가 측정되어야 한다.

7.3.3 평가

(1) 합격

압력변화 또는 누출율이 참조규격에서 규정한 것 이하인 경우에는 합격이다.

(2) 불합격

압력변화 또는 누출율이 참조규격에서 규정한 것을 초과하는 경우에는 불합격이다. 누출은 본문의 규격서에서 규정한 다른 방법으로 위치탐지를 할 수 있다. 참조규격의 기준을 초과하는 압력변화 및 누출율의 원인이 판정되고 수리된 후에는 처음부터 시험을 반복한다.

7.4 초음파 누출검출기 시험

7.4.1 개요

서로 다른 압력에서 두 영역으로 분리되는 격벽에 아주 작은 구멍이 있을 경우 고압 측에서 저압 측으로 가스가 유출되면서 발생하는 초음파 에너지를 검출하는 시험방법이다.

- (1) 이 기법은 감도(최대 감도가 $1 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)가 낮음으로 치사적 물질 또는 해로운 물질을 저장하는 압력용기의 적합성 시험에는 사용하지 않는 것이 좋다.

- (2) 이 시험방법은 누출을 검출하고 위치탐지를 위하여 사용된 반정량적인 방법이며, 정량적인 방법으로 간주해서는 안 된다.

7.4.2 시험절차

(1) 시험 장소

시험하는 기기는 누출 신호를 들을 수 없게 하는 주변 또는 잡음신호를 발생 하는 다른 장비 및 구조물과는 가능한 한 격리되어야 한다.

(2) 압력 유지시간

시험하기 전 시험압력을 최소 15분 동안 유지해야 한다.

(3) 주사거리

압력 유지시간 후에 검출기를 시험하고자 하는 전 부위에 대해 주사한다.

(4) 주사속도

주사속도는 누출기준으로부터 누출율을 검출할 수 있는 속도를 초과해서는 안 된다.

(5) 누출의 검출

20 kHz~100 kHz 범위의 음향에너지를 검출할 수 있는 전자식 초음파 누출검출기를 사용하여 검출해야 한다.

7.4.3 평가

(1) 누출

참조규격에 달리 규정하지 않는 한, 시험한 부위는 1×10^{-2} Pam³/s의 허용 누출율을 초과하는 누출이 더 이상 검출되지 않을 때 합격이다.

(2) 수리/재시험

부적합한 누출이 검출되는 경우, 누출의 위치를 표기한다. 기기는 그 후에 감압하여 참조규격에서 요구한대로 누출부를 수리해야 한다. 수리가 완료된 후, 수리부위는 이 규격서의 요건에 따라 재시험하여야 한다.

7.4.4 문서화된 절차서 요건

(1) 요건

초음파 누출검출시험은 최소한 <표 1>에 열거한 요건을 포함하는 문서화된 절차서에 따라 실시해야 한다. 문서화된 절차서는 각 요건에 대한 단일값 또는 그 값들의 범위를 정해야 한다.

(2) 절차서의 승인

- (가) 절차서의 승인이 규정되는 경우에는 필수 변수로 확인된 <표 1>의 요건을 변경시키면 문서화된 절차서의 재 승인을 필요로 한다.
- (나) 비 필수 변수로 확인된 요건을 변경시키면 문서화된 절차서의 재 승인을 필요로 하지 않는다.
- (다) 필수 및 비 필수 변수의 모든 변경은 문서화된 절차서의 개정 또는 추록을 필요로 한다.

<표 1> 초음파 누출검출시험 절차서의 요건

요건	필수변수	비 필수변수
장치 제조자 및 모델(Model)	○	
누출기준(크기 감소 시에만)	○	
가압 가스	○	
시험압력(압력 감소 시에만)	○	
압력 유지시간(시간 감소 시에만)	○	
주사거리(거리 증가 시에만)	○	
주사속도(속도 증가 시에만)	○	
신호장치		○
시험요원 자격인정		○

8. 문서

8.1 시험보고서

시험보고서는 최소한 그 방법 또는 기법에 적용되는 다음의 정보를 포함해야 한다.

- (1) 시험일자
- (2) 조작자의 인증자격 수준 및 성명
- (3) 시험절차서 번호 및 개정번호
- (4) 시험방법 또는 기법
- (5) 시험결과
- (6) 기기의 식별표시
- (7) 시험장비, 표준누출 및 재료 식별표시
- (7) 시험조건, 시험압력, 추적가스 및 가스농도
- (9) 게이지의 제조자, 모델, 범위 및 식별번호
- (10) 온도 측정장치 및 식별번호
- (11) 방법 또는 기법 설정을 나타내는 스케치

8.2 기록유지

시험보고서는 참조규격의 요건에 따라 보존하여야 한다.

지침 개정 이력

□ 개정일 : 2022. 12.

- 개정자 : 한국산업안전보건공단 정용재
- 개정사유
 - 관련규격(ASME section V ‘Nondestructive examination’) 원문을 한글로 번역시 원문의 의미를 정확하게 반영하여 오해의 소지가 없도록 문구 수정
 - 시험 안전 관련 다른 KOSHA Guide를 참고할 수 있도록 항 추가
- 주요 개정내용
 - 4.2.3 시험대상 기기의 요건 : (4)항 문구 수정
 - 4.3 시험 안전 : (4)항 추가
 - 기타 용어 및 문구 수정 등