KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

# KOSHA GUIDE 기술지원규정

# 화학설비 배관 등의 비파괴검사 및 열처리에 관한 기술지원규정

C-C-91-2026

한국산업안전보건공단

기술지원규정은 산업안전보건기준에 관한 규칙 등 산업안전보건법령의 요구사항을 이행하는데 참고하거나 사업장 안전·보건 수준향상에 필요한 기술적 권고 규정임

기술지원규정의 개요

○ 개정자 : (사)고경력과학기술연우총연합회

○ 제・개정경과

- 1993년 11월 화학안전분야 기준제정위원회 심의
- 1993년 12월 총괄기준제정위원회 심의
- 1995년 9월 화학안전분야 기준제정위원회 심의
- 1996년 4월 총괄기준제정위원회 심의
- 2001년 5월 화학안전분야 기준제정위원회 심의
- 2001년 6월 총괄기준제정위원회 심의
- 2008년 4월 화학안전분야 기준제정위원회 심의
- 2012년 7월 총괄제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 반영)
- 2023년 7월 화학안전분야 표준제정위원회 심의(개정)
- 2025년 11월 화학안전분야 전문위원회 심의(개정)
- 2026년 1월 표준제정위원회 본위원회 심의(개정)

○ 관련규격 및 자료

- KS B 0888, “배관 용접부의 비파괴검사 방법”
- ASME B 31.3, “Process piping”, 2024
- AWS D10.10, Recommended Practices for Local Heating of Welds in Piping and Tubing
- KOSHA GUIDE (M-72), “자분탐상과 침투탐상에 관한 기술지침”
- EIGA Doc 210/17, “Hydrogen pressure swing adsorber(PSA) mechanical integrity requirements”

○ 관련법규・규칙・고시 등

- 고용노동부 고시 (공정안전보고서의 제출·심사·확인 및 이행상태평가 등에 관한 규정)

○ 기술지원규정의 적용 및 문의

- 이 기술지원규정에 대한 의견 또는 문의는 산업안전포털 홈페이지(portal.kosha.or.kr)의 기술지원규정(KOSHA GUIDE) 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.
- 동 규정 내에서 인용된 관련규격 및 자료, 법규 등에 관하여 최근 개정본이 있을 경우에는 해당 개정본의 내용을 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2026년 1월 30일
제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

# 목 차

1. 목 적 ····· 1

2. 적용범위 ····· 1

3. 용어의 정의 ····· 1

4. 비파괴검사 적용대상 ····· 2

5. 비파괴검사 방법 ····· 7

6. 용접 전 열처리 ····· 13

7. 용접 후 열처리 ····· 14

<별표 1>배관 용접부의 비파괴검사율 적용 기준표 ····· 21

<별표 2>배관의 용접전 열처리 기준 ····· 24

<별표 3>배관의 후열처리 기준 ····· 25

<별표 4>탄소 및 저합금강, P-Nos.1 및 3에 대한 대체 용접 후 열처리 요구 사항 ····· 27

<별표 5>배관의 후열처리 면제기준 ····· 28

# 화학설비 배관 등의 비파괴검사 및 열처리에 관한 기술지원규정

## 1. 목적

이 규정은 산업안전보건기준에 관한 규칙(이하 “안전보건규칙”이라 한다) 제257조(덮개 등의 접합부), 제259조(밸브 등의 재질)의 규정에 의거 배관의 내면 및 외면의 손상, 변형, 부식 등으로 인한 사고를 방지하기 위하여 배관 등의 비파괴검사 및 열처리에 관한 필요한 사항을 제시하는데 그 목적이 있다.

## 2. 적용범위

이 규정은 용접에 의하여 연결된 배관 등에 적용한다.

## 3. 용어의 정의

(1) 이 규정에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “비파괴검사(Non-destructive testing or examination, NDT or NDE)”라 함은 배관 등의 용접부 건전성을 확인하기 위하여 실시하는 방사선투과시험, 초음파탐상시험, 자분탐상시험 또는 침투탐상시험 등을 말한다.

(나) "방사선투과시험(Radiographic testing or examination, RT)"이란 목적물에 방사선을 투과시켜 필름에 감광시킨 후 현상하여 관찰함으로서 재료 내부 또는 외부의 불연속 유무를 검사하는 비파괴 시험방법을 말한다.

(다) "초음파탐상시험(Ultrasonic testing or examination, UT)"이란 초음파의 반사를 탐지하여 내부 또는 표면 불연속부의 존재와 그 위치를 확인하는 비파괴 시험방법을 말한다.

(라) "자분탐상시험(Magnetic particle practice testing or examination, MT)"이란 철 및 철 합금강의 표면 또는 그 근처에서 크랙과 유사 불연속부를 탐지하는 방법으로 주로 자성재료에 불연속부를 나타낼 수 있게 만든 자성분말을 뿌려 탐상하는 방법을 말한다.

(마) "침투탐상시험(Liquid penetration testing or examination, PT)"이란 침투액을 이용하여 비다공성 비철금속과 재료표면의 불연속부의 탐지를 위한 비파괴방법을 말한다.

(바) "육안검사(Visual testing, VT)"란 사람의 육안으로 직접 또는 보조기구나 광학기구 등을 사용하여 시험체 표면에 나타난 결함이나 손상 또는 시험체 자체의 이상유무를 조사하는 비파괴검사의 가장 기본적인 검사방법이며, 재료, 제품 또는 구조물(시험체)을 직접 또는 간접(원격)으로 관찰하여 표면결함이 존재하는지 그 유무를 알아내는 검사방법을 말한다.

(사) "용접 전 열처리(Pre-heating)"라 함은 용접시 급열에 의하여 모재에 발생할 수 있는 결함을 방지하기 위하여 용접 전에 모재를 일정온도 이상으로 가열하는 것을 말하며, "예열처리"라고도 한다.

(아) "가열온도"라 함은 용접 전에 모재를 가열하여야 하는 최소 온도를 말한다.

(자) "권장가열 온도"라 함은 용접전 가열해야 하는 최소 권장온도를 말한다.

(차) "용접 후 열처리(Post-weld heat treatment, PWHT)"라 함은 배관 등을 맞대기 용접 등에 의하여 연결하고 용접에 의한 잔류응력을 제거하기 위하여 용접부위를 일정시간 동안 일정온도로 가열·유지하는 것을 말하며, 줄여서 "후열처리"로 명명하기도 한다.

(카) "가혹 반복하중 조건(Severe cyclic condition)"이라 함은 배관이 높은 응력 범위(High stress range)에서 빈번한 반복하중(Many cycles)을 받는 조건에 있는 것을 말하며, 이 조건에 있을 때 배관이 피로에 파괴될 수 있다.

(2) 그 밖에 이 규정에서 사용하는 용어의 정의는 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 산업안전보건기준에 관한 규칙에서 정하는 바에 따른다

## 4. 비파괴검사 적용대상

### 4.1 일반사항

(1) 맞대기(Butt)용접 또는 홈(Groove) 용접한 부위는 용접부의 건전성을 확인하기 위해 방사선투과시험(RT) 또는 초음파탐상시험(UT)과 같은 비파괴검사를 하여야 한다.

(2) 방사선투과시험이 곤란한 경우에는 초음파탐상시험(UT)을 실시할 수 있다.

(3) 구조적으로 방사선투과시험 또는 초음파탐상시험이 어려운 경우에는 자분탐상시험(MT) 또는 침투탐상시험(PT) 등을 실시할 수 있다.

(4) 방사선투과시험과 동등 이상의 결과를 나타낼 수 있는 다른 비파괴검사를 방사선투과시험 대신 적용할 수 있다.

4.2 유체 종류 및 취급조건

(1) 배관에 대한 비파괴검사율을 선정하기 위해 배관에서 사용하는 유체의 종류 및 취급조건을 <표 1>과 같이 구분할 수 있다.

(2) 유체의 종류 및 취급조건을 사업장의 공정 특성에 따라 다르게 선정할 수 있다.

(3) 취급하는 유체가 혼합물질인 경우 혼합물의 급성독성농도를 파악해야 할 때에는 다음과 같이 계산할 수 있다. 자세한 사항은 고용노동부고시인 “화학물질의 분류·표시 및 물질안전보건자료에 관한 기준”을 참조할 수 있다.

(가) 급성독성농도를 모르는 성분이 10% 이하로 함유되었을 경우에는 식 (1)을 사용한다.

(나) 급성독성농도를 모르는 성분이 10%를 초과하는 경우에는 식 (2)를 사용한다.

$$\frac{100}{ATE_{mix}} = \sum_{n} \frac{C_i}{ATE_i} \tag{1}$$

$$\frac{100 - (\sum C_{unknown} \text{ if} > 10\%)}{ATE_{mix}} = \sum_{n} \frac{C_i}{ATE_i} \tag{2}$$

여기서, $ATE_{mix}$는 혼합물의 급성독성추정값(Acute toxicity estimate, ATE)이고, $C_i$는 성분 i의 농도(%), $ATE_i$는 성분 i의 급성농도추정값(ATE)이다.

(4) 가혹 반복하중 조건(Severe cyclic condition)에 있는 배관은 다음과 같은 높은 응력범위(High stress range)에서 빈번한 반복하중(Many cycles)을 받는 배관이므로 배관 용접부에 대한 높은 수준의 건전성이 요구된다.

(가) 빈번한 반복하중(Many cycles)은 응력범위계수(f)가 최대응력범위계수($f_m$)보다 작은 경우로 고려될 수 있다. 응력범위계수 f는 식 (3)에 의해 계산되며, [그림 1]은 응력범위계수(f)와 배관 시스템의 예상 서비스 수명 동안의 전체 변위 사이클의 등가 횟수(N)와의 관계를 보여준다.

$$f = 6.0(N)^{-0.2} \leq f_m \tag{3}$$

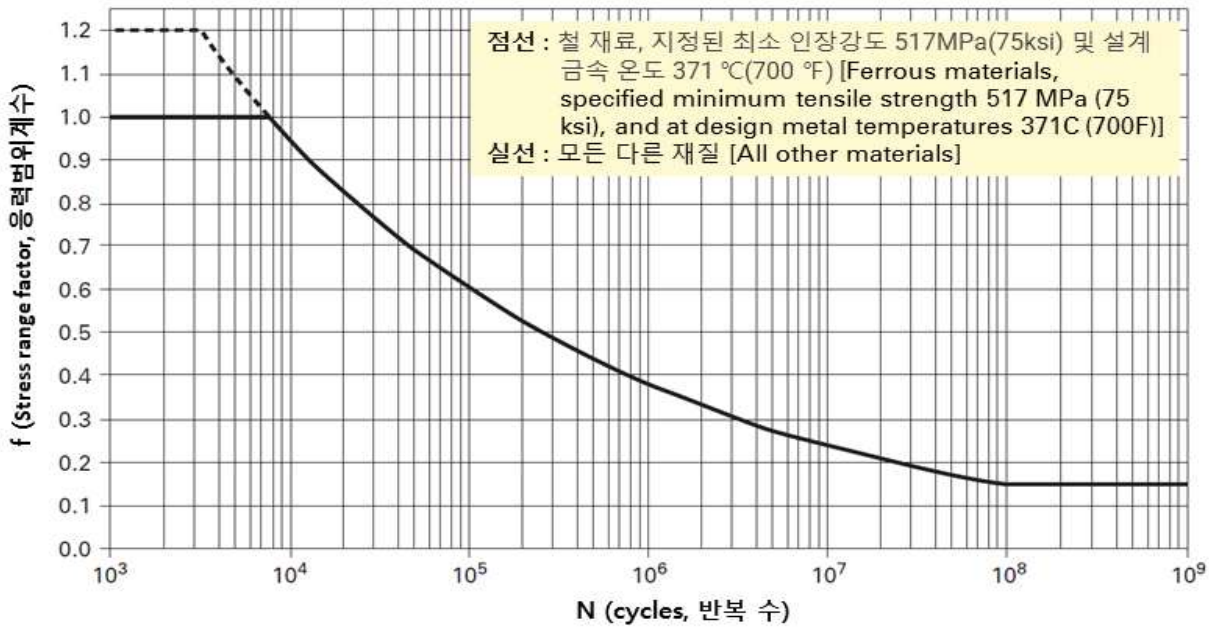
여기서,

$f$ : 응력범위계수(stress range factor)

$f_m$ : 최대응력범위계수

- 최소인장강도가 517 MPa (75 ksi) 이하이고 금속온도가 371 ℃ (700 °F) 이하인 철 재료인 경우: 1.2
- 그 외의 경우: 1.0

N: 배관 시스템의 예상 서비스 수명 동안 전체 변위 사이클의 등가 횟수. 설계자는 고온에서 작동하는 재료의 피로 수명이 줄어들 수 있음을 주의해야 한다.




<그림 1> 응력범위계수

(나) 높은 응력 범위(High stress range)는 일반적으로 계산된 응력 범위가 허용 응력 범위에 근접할 때로 간주될 수 있다.

(다) 가혹 반복하중 조건에 있는 배관의 예는 다음과 같다.

① 하루에 한 번 이상 순환되는 회분식 화학 반응기와 관련된 배관

② 합리적인 진동 가능성이 있는 배관

③ 응력 범위가 높지 않은 주 배관에 연결된 작은 분기 연결부가 피로 파손(Fatigue failure)에 취약할 수 있다는 경험이 있는 경우

④ 압력변환흡착(Pressure swing adsorption, PSA) 시스템의 연결 배관

(라) 아주 보수적인 접근 방식으로 다음과 같은 배관을 가혹 반복하중 조건에 있는 것으로 지정할 수 있다.

① 취급 유체가 독성, 인화성 또는 인체 조직에 손상을 주는 경우

② 배관 손상으로 인해 비용이 많이 드는 경우

③ 운전 중 또는 통상의 운전 정지 중에 배관의 검사가 곤란한 경우

<표 1> 유체 종류 또는 취급조건

| 유체 종류 또는 조건 | 설명 |
|---|---|
| 저위험유체 (비인화성, 저독성, 저온 및 저압조건) | 다음의 조건을 모두 만족하는 유체<br>① 비인화성: 위험물안전관리법의 위험물 및 산업안전보건법의 인화성 가스(또는 인화성 액체)에 해당되지 않는 물질, 인화점 이상으로 취급되지 않는 물질<br>② 저독성: 화학물질관리법의 유해화학물질, 산업안전보건기준에 관한 규칙 별표 1(위험물의 종류) 및 별표 12(관리대상유해물질의 종류)에 해당되지 않는 물질<br>③ 온도조건: 설계온도 범위 (-29~176 ℃)<br>④ 압력조건: 설계압력이 1 MPa 미만 |
| 일반유체 | 저위험유체, 고위험유체, 고압유체, 고온유체 및 가혹 반복응력 조건의 유체를 제외한 유체 |
| 고위험유체 (독성물질) | 다음의 어느 하나에 해당되는 유체<br>① 산업안전보건기준에 관한 규칙 별표 1의 7호 ($LD_{50}$, $LC_{50}$)에 해당되는 물질<br>② 고압가스안전관리법의 독성가스<br>③ NFPA 704의 건강위험성 지수가 4인 경우<br>* 혼합물질은 혼합독성을 계산하여 적용 가능 |
| 고압유체 | 설계압력이 ASME B16.5 규격의 압력등급(Class)이 2500 lb를 초과하는 유체 |

| 유체 종류 또는 조건 | 설명 |
|---|---|
| 가혹 반복하중 조건의 유체 | ASME B31.3의 가혹 반복하중 조건(Severe cyclic condition)에 해당되는 유체 |
| 고온유체 | 설계온도가 400 ℃ 이상인 유체 |
| 용접 후 열처리(PWHT) 요구 배관 | 용접 후 열처리를 요구하는 배관 |

4.3 비파괴검사율 선정기준

(1) 배관 용접부에 대한 비파괴검사율을 취급하는 유체의 종류 및 취급조건에 따라 <별표 1>과 같이 적용할 수 있다. 다만, 사업장에서 공정 또는 물질 특성을 고려하여 이 기준을 다르게 적용할 수 있다.

(2) 개별 법령에서 배관의 조건에 따라 비파괴검사율을 요구하는 경우에는 개별 법령의 요구조건을 따라야 한다.

(3) 유체의 종류에 따라 비파괴검사율을 적용할 때 다음 사항을 고려할 것을 권장한다.

(가) <표 1>에서 저위험유체로 구분되는 경우에도 다음과 같은 경우에는 용접부의 건전성을 확보하기 위해 최소한의 비파괴검사율(예: 5%)을 적용할 것을 권장한다.

① 지하배관 (예: 소방배관)

② 화학공정의 유틸리티 배관(예: 냉각수 배관, 스팀 및 응축수 배관 등), 공정의 운전 중에 누출될 때 운전 중의 용접이 곤란한 배관

③ 암거(Culvert)와 같은 공간 등에 설치되는 배관 등

(나) 대구경 배관인 경우 배관 내부에서 용접 및 육안검사가 가능한 경우에는 비파괴검사율을 줄일 수 있다.

(다) 라이닝(Lining) 배관은 내부의 라이닝이 손상되면 용접부와 상관없이 라이닝이 손상된 지점에서 핀홀이 생겨 누출되기 때문에 라이닝 배관의 용접부에는 비파괴검사를 적용할 필요가 없다.

(라) 이중배관인 경우에는 비파괴검사율을 더 줄일 수 있다.

## 5. 비파괴검사 방법

### 5.1 방사선투과시험

방사선투과시험의 방법과 결과의 판정은 다음과 같다.

(1) 강재의 용접부에 대한 방사선투과시험은 KS B 0845(강 용접 이음부의 방사선투과시험 방법)에 따르고 투과사진은 상질이 A급 이상, 계조계의 값이 A급 이상으로써 다음과 같이 적합하여야 한다.

(가) 루트의 용입불량

엇갈림이 없는 부분의 용입불량은 1개의 길이가 20 mm 이하이고 연속된 용접선 300 mm당의 합계 길이가 25 mm 이하이어야 한다.

(나) 엇갈림에 의한 용입불량

루트의 한쪽의 각이 노출되어 있을때 용입불량 1개의 길이가 40 mm 이하이고, 연속된 용접길이 300 mm당의 합계 길이가 70 mm 이하이어야 한다.

(다) 내면 결함

결함의 사진농도가 결함과 접하는 모재부의 사진농도를 넘지 않는 경우에는 결함 길이에 관계없이 적합한 것으로 취급한다. 그러나 결함의 사진농도가 결함과 접하는 모재부의 사진농도를 넘는 경우에는 제(마)호의 용락과 같이 판정한다.

(라) 융합불량

모재와 용접 금속 사이의 융합불량은 융합불량 1개의 길이가 20 mm 이하이고, 연속된 용접길이 300 mm당의 융합불량 합계길이가 25 mm 이하이어야 한다. 용접 패스 사이의 융합불량은 융합불량 1개의 길이가 20 mm 이하이고, 연속된 용접길이 300 mm당의 합계길이가 30 mm 이하이어야 한다.

(마) 용 락

용락은 어떤 방향을 측정한 치수도 1개당 길이가 6 mm 또는 관의 살두께중 작은 쪽의 치수보다 작아야하며 연속된 용접길이 300 mm당의 합계길이가 12 mm 이하이어야 한다.

(바) 가늘고 긴 슬래그의 혼입

가늘고 긴 슬래그의 혼입은 슬래그 1개의 길이가 20 mm 이하이고, 폭이 1.5 mm 이하이어야 하며 연속된 용접길이 300 mm당의 합계길이가 30 mm 이하이어야 한다. 평행으로 늘어선 슬래그 혼입 간의 간격이 1 mm 이상이면 각각 독립된 슬래그 혼입으로 간주한다.

(사) 독립된 슬래그 혼입

독립된 슬래그 혼입은 1개의 길이가 6 mm 이하이고, 폭이 3 mm 이하이며, 연속된 용접길이 300 mm당의 길이가 12 mm 이하이어야 한다.

(아) 텅스텐 혼입

텅스텐 혼입은 KS B 0845 부속서 4, 제4종 결함 분류 중 1류, 2류, 3류 중의 하나이어야 한다.

(자) 기포 및 이것과 유사한 원형 결함

기포 및 이와 유사한 원형 결함은 KS B 0845 부속서 4, 제1종 결함 분류 중 1류, 2류, 3류 중의 어느 하나이어야 한다.

(차) 파이프 결함

파이프 결함은 KS B 0845 부속서 4, 제2종 결함 분류 중 1류, 2류, 3류 중의 어느 하나이어야 한다.

(카) 중공 비드

중공 비드는 1개의 길이가 10 mm 이하이고, 연속된 용접길이 300 mm당의 합계길이가 50 mm 이하이어야 하며, 길이가 6 mm를 넘는 것은 인접한 중공 비드와 50 mm 이상 떨어져 있어야 한다.

(타) 터짐

터짐은 모두 불합격으로 한다.

(파) 결함의 집적

제(가)호 내지 제(카)호까지 언급한 결함이 혼재하는 경우 결함 길이의 합이 배관의 원둘레 길이의 8 % 이하이어야 하며, 연속된 용접길이 300 mm당의 50 mm 이하이어야 한다. 다만, 제(나)호에 해당하는 결함은 예외로 한다.

(하) 언더컷

내면의 언더컷은 1개의 길이가 50 mm 이하이고, 합계길이가 배관 원둘레 길이의 15 % 이하이어야 한다.

(갸) 결함의 사진농도

① 투과 사진 상의 크기에서 합격하는 결함이라도 사진농도가 모재부의 사진농도보다 뚜렷하게 높은 경우에는 불합격으로 한다.

② 내면의 비드의 사진농도가 뚜렷하게 낮은 경우에는 불합격으로 한다.

(2) 알루미늄 및 그 합금 용접부에 대한 방사선투과시험은 KS D 0242(알루미늄용접부의 방사선투과시험 방법 및 투과사진의 등급분류 방법)에 따르며 등급분류 2급 이상이어야 한다.

(3) 스테인리스 강재의 용접부에 대한 방사선 투과시험은 KS D 0237(스테인리스 강 용접부의 방사선 투과시험 방법 및 투과사진의 등급분류 방법)에 따르며 상질 및 농도차가 보통급 이상으로 등급분류 2급 이상이어야 한다.

(4) 티탄의 용접부에 대한 방사선 투과시험은 KS D 0239(티탄 용접부의 방사선 투과시험 방법)에 따르며 결함 분류에 의한 3류 이상이어야 한다.

5.2 초음파탐상 시험

초음파탐상 시험은 KS B 0896(강 용접부의 초음파탐상시험 방법)에 따르며 다음과 같이 적합하여야 한다.

(1) 결함의 평가점수는 <표 2> 및 <표 3>에 따라 산출하며 결함 1개의 점수가 3점 이하로써 연속된 용접길이 300 mm당의 합계점수가 5점 이하이어야 한다.

(2) 동일하다고 간주되는 깊이에서 검출된 결함 사이의 간격이 큰쪽 결함의 지시 길이와 같거나 또는 짧은 경우는 동일 결함 군으로 간주하고 결함 간격을 포함하여 연속된 결함으로 간주한다.

(3) 2방향 이상에서 탐상하여 얻은 결함의 지시길이가 서로 다른 경우에는 큰 쪽의 값을 결함의 지시길이로 한다.

<표 2> 초음파탐상시험에서 결함의 지시길이 구분

(단위 : mm)

| 관의 살두께(t) | 결함의 지시길이 구분 | | |
|---|---|---|---|
| | A | B | C |
| 6이상 18이하 | 6 | 9 | 18 |
| 18초과 | t/3 | t/2 | t |

<표 3> 초음파탐상시험에서의 결함의 평가점수

(단위 : mm)

| 결함의 에코높이(t) | 결함의 지시 길이의 구분 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A 이하 | A 초과 B 이하 | B 초과 C 이하 | C 초과 |
| 영역Ⅲ | 1점 | 2점 | 3점 | 4점 |
| 영역Ⅳ | 2점 | 3점 | 4점 | 4점 |

5.3 자분탐상시험

(1) 소켓(Socket) 용접 또는 필렛(Fillet) 용접 등은 4항에 규정한 비율에 따라 자분탐상시험 또는 침투탐상시험을 실시하여야 한다. 다만, 침투탐상시험은 자분탐상시험이 곤란한 경우에 한한다.

(2) 자분탐상시험은 KS D 0213(철강재료의 자분탐상시험 방법 및 결함 자분모양의 등급 분류)에 따르며 다음과 같아야 한다.

(가) 터짐에 의한 자분모양이 없어야 한다.

(나) 독립 자분모양 및 연속 자분모양은 1개의 길이가 8 mm 이하이어야 한다.

(다) 분산 자분모양의 평가는 <표 4>에 따르며 연속된 용접길이 300 mm당의 합계점수가 10점 이하이어야 한다. 다만, 원형 자분모양이 있을 때는 <표 4>에 따라 평가한다.

(3) 그 밖의 자분탐상시험에 관한 사항은 KOSHA GUIDE B-M-30-2026「자분탐상과 침투탐상에 관한 기술지침」을 참조한다.

<표 4> 자분탐상 시험에서의 결함 평가

| 분류 | 자분모양의 길이 | | |
|---|---|---|---|
| | 1 mm 초과<br>2 mm 이하 | 2 mm 초과<br>4 mm 이하 | 4 mm 초과<br>8 mm 이하 |
| 선형 자분 모양 및 연속 자분 모양 | 1점 | 2점 | 4점 |
| 원형자분 모양 | 침투탐상시험에 따른다. | | |

5.4 침투탐상시험

침투탐상시험은 KS B 0816(침투탐상시험방법 및 지시 모양의 분류)에 따라 염색침투탐상시험 또는 형광 침투탐상시험으로 하며 다음과 같아야 한다.

(1) 터짐에 의한 침투지시 모양이 없어야 한다.

(2) 독립 침투지시모양 및 연속 침투지시 모양은 1개의 길이가 8 mm 이하이어야 한다.

(3) 분산 침투지시모양의 평가는 <표 5>에 따르며 연속된 용접길이 300 mm 당의 합계점수가 10점 이하이어야 한다.

(4) 원형 침투지시모양과 선형 자분모양 및 연속 자분모양이 혼재할 때에는 각각 <표 5>에 따라 각각 평가점수를 구하고 합계점수가 연속된 용접길이 300 mm 당 10점 이하이어야 한다.

(5) 그 밖의 침투탐상시험에 관한 사항은 KOSHA GUIDE B-M-30-2026「자분탐상과 침투탐상에 관한 기술지침」을 참조한다.

<표 5> 침투탐상 시험에서의 결함 평가

| 분류 | 침투지시 모양의 길이 | | |
|---|---|---|---|
| | 1 mm 초과 2 mm 이하 | 2 mm 초과 4 mm 이하 | 4 mm 초과 8 mm 이하 |
| 선형 침투 지시 모양 및 연속 침투 지시 모양 | 1점 | 2점 | 4점 |
| 원형 침투 지시 모양 | - | 1점 | 4점 |

5.5 비파괴검사 재시험

(1) 용접부의 방사선투과시험 등 비파괴검사에 불합격한 경우에는 다음에 근거하여 보수를 하고 합격하여야 한다.

(가) 전길이 방사선투과시험을 한 것은 불합격 원인이 된 결함부를 완전히 제거하여 다시 용접하고 그 부분에 대하여 방사선투과시험을 다시 실시하여 합격하여야 한다.

(나) 부분 방사선투과시험을 한 것은 합격하지 못한 부분에 인접한 2곳 혹은 합격하지 못한 방사선 사진이 대표하는 용접이음, 이음부분 또는 이음군 중에서 임의로 2곳을 선정하여 다음의 요령으로 방사선투과시험을 해야 한다. 다만, 이 시험을 생략하고 그 용접이음 부분 또는 이음군의 전길이 방사선투과시험을 하여 합격을 하는 경우는 적합한 것으로 간주한다.

① 임의로 선정한 2곳 모두 방사선투과시험을 한 결과 합격했을 때는 그 용접이음, 이음부분 또는 이음군은 최초의 방사선투과시험의 결과가 불합격된 부분을 완전히 제거하여 재용접하고 그 부분에 대하여 다시 방사선투과시험을 하고 합격하면 방사선투과시험에 합격한 것으로 간주한다.

② 상기의 2곳 중 적어도 1곳이 방사선투과시험을 한 결과 합격하지 않았을 때에는 용접이음, 이음부분 또는 이음군의 전체길이에 대해 합격하지 않은 것으로 간주하고 용접을 다시 해야 한다.

다만, 그 용접이음, 이음부분 또는 이음군의 전체길이에 대해 방사선투과시험을 하고 합격하지 않은 모든 결함부를 완전히 제거하여 재용접하고 그 부분에 대해 방사선투과시험을 하여 합격하면 방사선투과시험에 합격한 것으로 간주한다.

(2) 방사선투과시험 이외의 비파괴검사(육안검사, 자분탐상시험, 침투탐상시험 및 초음파탐상시험)에서 결함이 검출되어 불합격 되었을 때에는 불합격된 결함부를 완전히 제거・보수하고 비파괴검사를 다시 실시하여 합격해야 한다.

# 6. 용접 전 열처리

## 6.1 일반 사항

(1) 모재를 용접 전에 가용접부(Tack weld), 수리용접부(Repair weld)와 나사가 난 연결부(Threaded joint)들 상의 밀봉체 용접부(Seal weld)들을 포함한 모든 유형(Type) 용접은 <별표 2>의 가열온도 이상으로 가열하고 용접하여야 한다.

(2) 작업장의 기온이 10 ℃ 이하에서 <별표 2>의 권장가열 온도란에 수치가 기재되어 있는 모재를 용접하는 경우에는 반드시 권장가열 온도 이상으로 가열한 후 용접하여야 한다.

(3) <별표 2>에 표시되지 않은 재질에 대한 요구사항은 용접시방서에 기술되어야 한다.

(4) 예열온도는 용접시방서에 기술된 온도가 용접 전에 얻어졌는지 그리고 용접 중에 유지되고 있는지를 확인하기 위하여 온도표시 크레용(Crayon), 열전대 고온계(Thermocouple pyrometer) 또는 그 밖의 적합한 수단의 사용으로 점검하여야 한다.

(5) 예열구역은 75 ㎜ 또는 더 큰 호칭두께(Greater nominal thickness)의 1.5배의 거리에 대해서 용접지점으로부터 모든 방향 내에서 기술된 최소온도 이상이어야 한다. 가용접부(Tack weld)에 대한 모재 온도(Base metal temperature)는 용접지점으로부터 모든 방향에서 25 mm 이상으로 예열하여야 한다.

## 6.2 용접 전 열처리 특정 요구사항

(1) 서로 다른 P-No. 재료들을 용접할 때에는 <별표 2> 배관의 용접전 열처리 기준에서 요구하는 온도 중에서 가장 높은 예열온도 이상으로 가열하여야 한다.

(2) 용접이 시작된 후, P-No.에 필요한 후열처리(PWHT)가 수행될 때까지 최소 예열온도를 유지해야 한다. 다만, P-No. 3, 4, 5A, 5B, 6 및 15E는 다음 조건을 모두 충족하는 경우를 제외하고 예외로 할 수 있다.

(가) 용접 최소두께가 10 mm 이상인 경우와 용접 홈의 25 %가 채워진 경우, 또는 둘 중 더 적은 경우이다. 이 때는 용접물을 이동시키거나 다른 하중을 가할 경우 용접부에 과도한 응력이 가해지지 않도록 용접부를 충분히 지지해야 하고, 냉각 전 표면 상태가 매끄럽고, 날카로운 불연속부가 없어야 한다.

(나) P-No. 3, 4 및 5A 재료의 경우, 용접부를 실온까지 천천히 냉각시킨다.

(다) P-No. 5B, 6 및 15E 재료의 경우, 용접부를 제어된 냉각 속도로 적절한 중간 열처리한다. 예열온도는 중간 열처리 없이 루트 검사를 위해 최소 95 °C까지 낮출 수 있다. 이 때 용접을 위해 준비된 모재의 표면은 오염 물질이 없어야 한다.

(라) P-No. 5B 또는 P-No. 15E 재료의 경우, 저수소 전극 및 용가재 사양에 따라 분류되고 선택 사항인 확산성 수소 표시기(H4 이하)가 있는 용가재를 사용하는 경우 중간 열처리를 생략할 수 있으며, 수소 생성원에 의한 오염을 방지하기 위해 유지보수 절차에 따라 적절히 관리해야 한다. 이 때 용접을 위해 준비된 모재의 표면은 오염 물질이 없어야 한다.

(마) 냉각 후 용접을 재개하기 전에 용접부를 육안 검사하여 균열이 발생하지 않았는지 확인해야 한다.

(바) 용접을 재개하기 전에 필요한 예열을 해야 한다.

## 7. 용접 후 열처리 (PWHT)

### 7.1 일반사항

(1) 후열처리(PWHT)는 7.7 기타 열처리(Other heat treatment) 및 <별표 5> 배관의 후열처리 면제기준에 명시된 경우를 제외하고 <별표 3> 배관의 후열처리 기준에서 재료 그룹(P-No. 및 그룹 번호) 및 범위를 준수하여야 한다. P-No. 및 그룹 번호는 ASME BPVC, Section IX, Table QW/QB-422 또는 KOSHA GUIDE M-184 2015 「압력용기 용접 후 열처리에 관한 기술지침」에서 표 5.1 재료 구분과 모재의 종류 기호 일람표 등을 참조한다.

(2) 용접 후 적용되는 후열처리(PWHT)는 용접시방서에 명시되어야 하며 용접 절차 적격성 평가에 사용되어야 한다.

(3) 엔지니어링 설계에는 최종 용접부의 품질이 적절한지 확인하기 위한 검사 및/또는 기타 생산 품질 관리(이 지침의 요건 이상)가 명시되어야 한다.

#### 7.1.1 용접 후 열처리 특정 요구사항

(1) 굽힘 및 성형 열처리는 7.7 기타 열처리(Other heat treatment)에 따른다.

(2) 고온 유체 사용 시 종방향 또는 나선형 용접부에 대한 특수 열처리 요건은 ASME Code for Pressure Piping, B31 Table 302.3.5-1 Weld Joint Strength Reduction Factor, W을 따른다.

(3) <별표 3> 배관의 후열처리 기준 또는 〈별표 4>에서 허용하는 대체 조건)에서 요구하는 것보다 낮은 온도에서 수행되는 용접 후 수소 베이크아웃은 후열처리(PWHT)로 간주되지 않는다. 용접 후 수소 베이크아웃을 수행할 경우 별도의 절차 적격 심사가 필요하지 않다.

7.1.2 용접 후 열처리 관련 두께 계산 등

(1) 열처리와 관련된 제어두께는 다음에서 가장 작은 것으로 한다.

(가) 용접부의 두께

(나) 용접부에서 접합되는 재료의 두께 또는 용접부가 비압력 함유 재료를 압력 함유 재료(Pressure containing material, 압력을 보유하거나, 압력에 노출되는 재질)의 두께 중 작은 값

(2) 제어두께를 결정하는 요소인 용접부의 두께는 다음과 같이 정의된다.

(가) 홈 용접(Groove welds, 둘레 및 종방향) : 용접 준비 후 두 개의 맞닿는 끝단 중 가장 두꺼운 부분

(나) 필렛 용접(Fillet welds) : 용접부의 목 두께

(다) 부분 용입용접 : 용접 홈의 깊이

(라) 재질 보수용접 : 보수할 공동의 깊이

(마) 분기 용접 : <그림 2, 3>에 표시된 상세에 대해 용접부를 통과하는 두께를 사용하여 각 상세에 대해 표시된 대로 계산된 종축과 교차하는 평면에 존재하는 치수

(바) <그림 2>에서 두께는 다음 공식을 사용하여 계산한다.

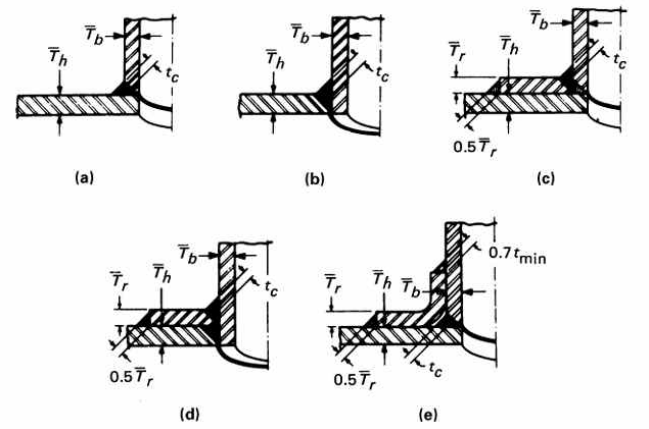
① (a) = $T_b + t_c$

② (b) = $T_h + t_c$

③ (c) = $T_b + t_c$ 또는 $T_r + t_c$

④ (d) = $T_b + T_r + t_c$

⑤ (e) = $T_b + t_c$



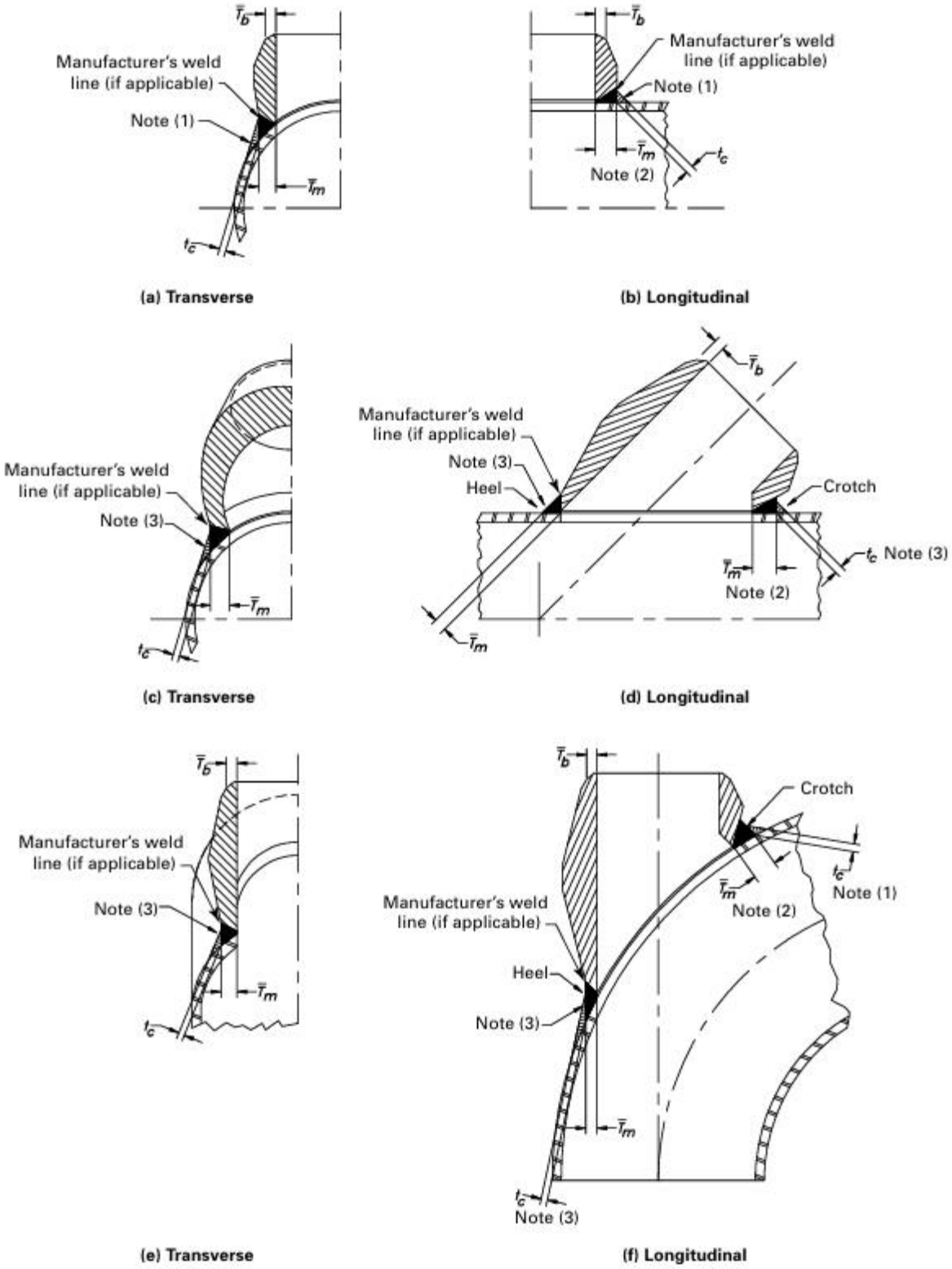

비고 : 그림에 표시된 두께는 최소한의 두께로 실제 용접두께는 더 두꺼울 수 있다.

출처 : ASME B31.3-2024, Process Piping Figure 328.5.4-2

<그림 2> 전형적인 분기 용접 두께

(사) <그림 3>에서 두께는 다음 공식을 사용하여 계산한다.

① 분기배관 보강 용접 두께 = $Tm + t_c$




출처 : ASME B31.3-2024, Process Piping Figure 328.5.4-4

<그림 3> 전형적인 분기배관 보강 용접 두께

(3) <별표 5> 배관의 후열처리 면제기준에서 사용되는 공칭 재료 두께는 용접부에서 접합되는 재료 중 가장 두꺼운 두께를 의미한다.

7.1.3 가열 및 냉각

(1) 가열 방법은 필요한 금속 온도, 금속 온도 균일성 및 온도 제어를 위하여 밀폐형 노, 국부 화염 가열, 전기 저항, 전기 유도 또는 발열 화학 반응 등을 사용할 수 있다.

(가) 노내 열처리법(Furnace heat treatment)은 열처리 대상물인 배관 및 용기 등을 대형화로에 넣고 가열하는 것으로 공장 제작 배관 또는 용접 배관의 후열처리에 있어서 가장 효과적인 열처리 효과를 기대할 수 있다.

(나) 국부 화염 가열(Local flame heating treatment)은 열처리될 용접부에 단일 버너 또는 링 버너를 사용하여 직접 용접부를 가열하는 방법으로 열은 배관 외부에서 내부로 전달된다.

(다) 전기저항 가열법(Electric resistance heating treatment)은 니크롬 전선을 배관 용접부에 감싸고 열처리 온도까지 승온될 수 있게 전류를 인가하는 것으로 전류는 직류가 사용되며 특별 전력공급 장치나 용접기로부터 얻어진다.

(라) 전기유도 가열법(Induction heating treatment)은 절연된 동소재의 전도체(전자유도 가열 코일)를 가열될 용접부 주위에 감고 저주파인 25 Hz, 60 Hz, 400 Hz를 사용하여 가열하며 주로 60 Hz가 가장 널리 사용된다.

(마) 발열반응에 의한 가열(Exothermal heating treatment)은 원통 모양의 형태로 발열반응물(알루미늄 분말, 금속 산화물, 내화화합물, 고착제의 복합물)을 예열 처리되어야 할 배관 용접부 주변에 부착하고, 산소아세틸렌이나 프로판 토치를 이용하여 점화 연소시켜 이때 발생되는 반응열에 의해 용접부가 가열된다.

(2) 315 °C 이상에서 가열 및 냉각 속도는 용접부 최대 재료 두께(인치)의 절반으로 나눈 335 °C/h를 초과해서는 안 되지만, 어떠한 경우에도 속도가 335 °C/h를 초과해서는 안 된다.

(3) P-No. 7, 10I, 11A 및 62 재료의 냉각 속도 요구사항은 <별표 3> 배관의 후열처리 기준을 참조한다.

7.1.4 온도 검정

열처리 온도는 열전대 고온계 또는 기타 적절한 방법으로 확인하여 WPS 요건을 충족하는지 확인해야 한다. 저에너지 커패시터 방전 용접법은 P-No. 1부터 P-No. 5B 및 P-No. 15E 재료에 대해 10 °C 이상의 예열 또는 후속 용접 후 열처리 없이 센서를 용접하는 데 사용할 수 있다.

(1) 열처리로를 사용하는 경우, 열처리로를 교정하여 PWHT를 필요한 온도 범위 내에서 제어할 수 있도록 해야 한다.

(2) 필요한 모든 PWHT는 적격 용접시방서에서 요구하는 대로 수행해야 한다.

(3) <별표 3> 배관의 후열처리 기준에 따라 PWHT가 필요한 용접의 경우, PWHT 중 재료의 온도는 지정된 범위 내에 있어야 한다. 단, 설계자가 지정하는 경우, 재료의 최저 변태 온도를 초과하지 않는 한 〈별표 4>에서 허용하는 한도 내에서 범위를 확장할 수 있다.

7.2 특정 요건

경험이나 사용 조건에 대한 지식이 보장되는 경우, 다음에 규정된 대로 대체 열처리 방법 또는 7.1 일반사항에 대한 예외를 채택할 수 있다.

(1) 대체 열처리

용접, 굽힘 또는 성형 후 필요한 열처리 대신 노멀라이징, 또는 노멀라이징 및 템퍼링 또는 어닐링을 적용할 수 있다. 단, 영향을 받는 용접 및 모재의 기계적 특성이 해당 처리 후 사양 요건을 충족하고 설계자의 승인을 받아야 한다.

(2) 기본 요건에 대한 예외

(가) 7. 용접 후 열처리 (PWHT)에서 요구사항은 경우에 따라 해당 기본 관행은 사용 조건에 맞게 수정해야 할 수 있다. 이러한 경우, 설계자는 엔지니어링 설계 시 더 엄격한 요건(얇은 두께에 대한 열처리 및 경도 제한 포함)을 명시하거나, 열처리 및 경도 요건을 전혀 명시하지 않는 등 덜 엄격한 요건을 명시할 수 있다.

(나) 앞에서 요구한 후열처리보다 덜 엄격한 규정이 명시된 경우, 설계자는 사용 온도 및 그 영향, 열 사이클링 빈도 및 강도, 유연성 응력 수준, 취성 파괴 확률 및 기타

관련 요인을 고려하여 유사한 사용 경험을 통해 해당 규정의 적절성을 발주자가 만족할 수 있도록 입증해야 한다. 또한, WPS 자격시험을 포함한 적절한 시험을 실시해야 한다.

7.3 이종 재질

(1) 이종 페라이트 금속 간 용접 이음부 또는 이종 페라이트 용가재를 사용하는 페라이트 금속 간의 용접 이음부의 열처리는 이음부 재료에 대해 <별표 3> 배관의 후열처리 기준에 명시된 온도 범위 중 더 높은 온도 범위에서 수행해야 한다. 이를 위해 재료 전이 접합 설계를 사용해야 할 수 있다.

(2) 페라이트 및 오스테나이트 구성 요소와 용가재를 모두 포함하는 용접 이음부의 열처리는 엔지니어링 설계에 달리 명시되지 않는 한 페라이트 재료에 요구되는 바와 같아야 한다.

7.4 지연 열처리

열처리 전에 용접부를 냉각시키는 경우, 냉각 속도를 제어하거나 배관에 악영향을 미치지 않도록 다른 수단을 사용해야 한다.

7.5 부분 열처리

(1) 열처리할 배관 어셈블리 전체를 노에 장착할 수 없는 경우, 연속적인 열처리 사이에 최소 300 ㎜의 겹침이 있고, 노 외부의 어셈블리 부분이 유해한 온도 구배로부터 보호되는 경우 두 번 이상의 열처리가 허용된다.

(2) 이 방법은 페라이트 재료의 오스테나이트화 열처리에는 사용할 수 없다.

7.6 국부 열처리

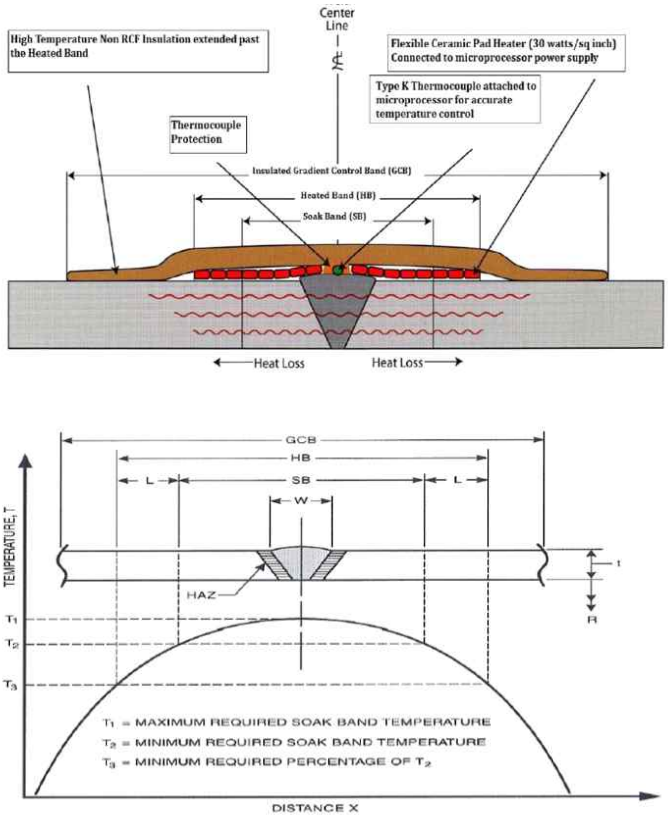
(1) 용접부는 전체 부품 주위에 원주형 밴드를 가열하고, 용접부가 밴드 중앙에 위치하도록 하여 국부적으로 용접 후 열처리할 수 있다.

(2) 지정된 온도 범위로 가열되는 밴드의 폭은 접합되는 가장 두꺼운 부분의 용접부 벽 두께의 최소 3배 이상이어야 한다.

(3) 노즐 및 부착 용접의 경우, 지정된 온도 범위로 가열되는 밴드의 폭은 노즐 용접부

또는 부착 용접부를 넘어 양쪽 모두 주배관 두께의 최소 2배 이상 확장되어야 하며, 주배관을 완전히 감싸야 한다.

(4) 원주 방향 맞대기 용접부에 열전대를 배치하는 방법은 다음 <그림 4>와 같이 한다.




Soak Band(SB) : 목표온도를 올리는 구간
Heated Band(HB) : 가열패드를 설치하는 구간
Gradient Control Band(GCB) : 보온재 구간

<그림 4> 맞대기 용접부에 열전대 부착 및 온도분포 사례

(5) 밸브나 피팅과 같은 대형 방열판 인접한 용접부를 가열하거나, 두께가 다른 부품을 접합할 때는 열전대 배치에 특히 주의해야 한다.

(6) 열원에 노출되는 재료의 어떤 부분도 7.8 열처리 시 고려사항에서 허용하는 경우를 제외하고 해당 재료의 최저 변형 온도를 초과해서는 안 된다.

(7) P-No. 15E 재료와 해당 P-No.가 다른 재료를 접합하는 경우 해당 후열처리 온도가 재료의 최저 변형 온도에 가까운 경우 특히 주의해야 한다. 이 방법은 오스테나이트화 열처리에는 사용할 수 없다.

7.7 기타 열처리(Other heat treatment)

(1) 굽힘(Bending)과 성형(Forming)을 위한 열처리(Heat treatment)는 다음을 따른다.

(가) 열간 굽힘과 성형 후에, 모든 두께의 P-Nos. 3, 4, 5, 6과 10A에 대해서 열처리가 요구된다. 지속기간(Duration)과 온도는 예열처리, 후열처리 조건을 따라야 한다.

(나) 냉간 굽힘과 성형(Cold bending and forming) 후에, 다음의 조건들 중의 어떤 것이라도 존재할 때 (모든 두께에 대해서 그리고 <별표 3> 배관의 후열처리 기준에 주어진 바와 같은 온도와 지속기간으로) 열처리가 요구된다.

① P-Nos. 1에서 6까지 재료들에 대해서, 굽힘 또는 성형 후의 최대 계산된 섬유 연신율(Maximum calculated fiber elongation)이 적용 가능한 사양, 등급(Grade)과 두께에 대해서 (가장 가혹한 성형의 방향으로) 기술된 기본 최소 연신율 (Specified basic minimum elongation)의 50 %를 초과한다. 이 요구사항은 관의 선정과 굽힘 또는 성형 공정의 선택이 마무리된 조건에서, 가장 가혹하게 변형된 재료가 적어도 10 % 연신율을 유지한다는 확신을 제공한다고 입증될 수 있다면 제외할 수 있다.

② 충격시험(Impact testing)이 필요한 모든 재료에 대해서, 굽힘 또는 성형 후의 최대 계산된 섬유 연신율(Maximum calculated fiber elongation)이 5 %을 초과하는 경우 열처리을 하여야 한다.

③ 공학설계 내에 기술될 경우 열처리를 하여야 한다.

7.8 열처리 시 고려사항

(1) 열처리 시 용접 전 예열, 용접 중 층간온도, 후열처리, 가열 및 냉각 속도, 배관 공칭 두께 등이 충분히 고려되어야만 만족스러운 열처리 효과를 기대할 수 있다.

(2) 배관 공칭 두께 및 용접부 형상 등을 검토하여 가장 적합한 열처리 방법을 적용하여야 하며 급격한 가열 및 냉각은 용접부의 균열이나 비틀림을 야기할 수 있으니 주의하여야 한다.

(3) 예열과 층간온도는 온도지시 크레용(Crayon), 비접촉식 적외선 고온계(Infrared noncontact pyrometer), 접촉식 고온계 등의 공인된 기구로 측정되어야 하며 오스테나이트 스테인리스강에 사용되는 온도지시 크레용이나 펠렛(Pallets)은 부식을 초래하거나 기타 유해한 영향을 주지 않아야 한다.

(4) 열처리 과정 동안 시간, 온도 선로 및 도표가 작성되어야 하며, 보고서에는 가열율, 유지온도 및 시간, 냉각율과 열처리되는 부분이 확실하게 기술되어야 한다.

7.9 열처리 방법

(1) 탄소강, 저합금강, 고합금강 재질의 열처리 온도 및 시간은 <별표 2> 및 <별표 3>의 권장 규정에 따른다. 다만, 비철금속의 경우 배관의 가공 또는 용접 후 열처리를 적용하지 않는다.

(2) (1)항에도 불구하고 특별히 시효경화 처리되거나 특정 환경에 노출되어 있는 경우에는 예외로 한다.

<별표 1>

## 배관 용접부의 비파괴검사율 적용 기준표

| 유체 또는 배관 종류 | 독성 기준 | 플랜지 압력 등급(lb) 또는 설계압력 등 | NDE (RT%) | | | | | 고려사항 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 전체 | 사내배관 | | 사외배관 | | |
| | | | VT% | 지상 | 지하 | 지상 | 지하 | |
| **1. 저위험유체 (비인화성, 저독성, 저온 및 저압유체):** 다음의 조건을 모두 만족하는 유체<br>① 비인화성: 위험물안전관리법의 위험물 및 산업안전보건법의 인화성 가스(또는 인화성 액체)에 해당되지 않는 물질, 인화점 이상으로 취급되지 않는 물질<br>② 저독성: 화학물질관리법의 유해화학물질, 산업안전보건기준에 관한 규칙 별표 1(위험물의 종류) 및 별표 12(관리대상유해물질의 종류)에 해당되지 않는 물질<br>③ 온도조건: 설계온도의 범위 (-29~176 ℃)<br>④ 압력조건: 설계압력이 1 MPa 미만 | - | 150 (PN 20) | 100 | 5 | 10 | 5 | 10 | 중요시스템용 물질 (반응기용 냉각수 등) |
| | | | 100 | 10 | 20 | 10 | 20 | 소방배관 |
| | | | 100 | 0 | 10 | 0 | 10 | 기타 배관 |
| **2. 일반유체:** 저위험유체, 고위험유체, 고압유체, 고온유체 및 가혹 반복응력 조건의 유체를 제외한 유체 | - | 150 (PN 20) | 100 | 5 | 20 | 5 | 20 | |
| | | 300 (PN 50) | 100 | 10 | 20 | 10 | 20 | |
| | | 600 이상 (PN 110 이상) | 100 | 20 | 100 | 20 | 100 | 압력 등급에 따라 조정 가능 |
| **3. 고위험유체 (독성물질):** 다음의 어느 하나에 해당되는 유체<br>① 산업안전보건기준에 관한 규칙 별표 1의 7호 ($LD_{50}$, $LC_{50}$)에 해당되는 물질<br>② 고압가스안전관리법의 독성가스<br>③ NFPA 704의 건강위험성 지수 4인 경우<br>* 혼합물질은 혼합독성을 계산하여 적용 가능 | $LD_{50}$ 기준 | 0.1 MPa 미만 (대구경 배관) | 100 | 5 | 20 | 10 | 20 | 배관 내부에서 용접 및 육안검사가 가능한 경우 |
| | | | 100 | 20 | 100 | 20 | 100 | 배관 내부에서 용접 및 육안검사가 곤란한 경우 |
| | | 150 (PN 20) | 100 | 20 | 100 | 20 | 100 | |
| | | 300 이상 (PN 50 이상) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |

| 유체 또는 배관 종류 | | 독성 기준 | 플랜지 압력 등급(lb) 또는 설계압력 등 | NDE (RT%) | | | | | 고려사항 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 전체 | 사내배관 | | 사외배관 | | |
| | | | | VT% | 지상 | 지하 | 지상 | 지하 | |
| | | $LC_{50}$ 기준 | 0.1 MPa 미만 (대구경 배관) | 100 | 5 | 20 | 10 | 20 | 배관 내부에서 용접 및 육안검사가 가능한 경우 |
| | | | | 100 | 20 | 100 | 20 | 100 | 배관 내부에서 용접 및 육안검사가 곤란한 경우 |
| | | | 0.2 MPa 미만 | 100 | 20 | 100 | 20 | 100 | 설계압력 기준 |
| | | | 0.2 MPa 이상 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 설계압력 기준 |
| **4. 고압 유체:** 설계압력이 ASME B16.5 규격의 압력등급(Class)이 2500 lb를 초과하는 유체 | | - | | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| **5. 가혹 반복응력 조건의 유체** | | - | 전체 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| **6. 용접후열처리 요구 배관** | | - | 전체 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 후열처리 배관 |
| **7. 고온배관 (설계온도 400 ℃ 초과)** | | - | 전체 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 호주 기준, ANSI B31.1 |
| **8. 가스/석유 이송배관** (사외배관) | Class 1 지역 (1.6 km 이내 10 가구 미만) | - | 저밀집 지역 | 100 | 20 | 100 | 20 | 100 | 일반유체의 기준 등을 적용할 수 있음 |
| | Class 2 지역 (1.6 km 이내 46 가구 미만) | - | 중밀집 지역 | 100 | 20 | 100 | 20 | 100 | |
| | Class 3 지역 (1.6 km 이내 46 가구 이상) | - | 고밀집 지역 | 100 | 20 | 100 | 20 | 100 | |
| | Class 4 지역 (4 층 이상 빌딩 등) | - | 과밀집 지역 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | 특수지역 (압축기, 강 및 철도 횡단 등) | - | 특수지역 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| 비고 | 1) 위의 표에 제시된 비파괴검사율을 사업장의 공정 특성 등에 따라 다르게 적용할 수 있다.<br>2) 관련 법령에서 요구하는 사항에 대해서는 법령의 기준을 따라야 한다. | | | | | | | | |

<별표 2>

# 배관의 용접전 열처리 기준

| P-No. [Note(1)] | 금속 종류 | 재료두께 (㎜) | 추가조건 | 최소 요구온도(℃) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Carbon steel | ≤25 | 해당없음 | 10 |
| | | >25 | %C≤0.30[Note(3)] | 10 |
| | | >25 | %C>0.30[Note(3)] | 95 |
| 3 | Alloy steel,Cr≤1/2% | ≤13 | SMTS≤450MPa | 10 |
| | | >13 | SMTS≤450MPa | 95 |
| | | All | SMTS>450MPa | 95 |
| 4 | Alloy steel,1/2%<Cr≤2% | All | 해당없음 | 120 |
| 5A | Alloy steel | All | SMTS≤414MPa | 150 |
| | | All | SMTS>414MPa | 200 |
| 5B | Alloy steel | All | SMTS≤414MPa | 150 |
| | | All | SMTS>414MPa | 200 |
| | | >13 | %Cr>6.0[Note(3)] | 200 |
| 6 | Martensitic stainless steel | All | 해당없음 | 200[Note(4)] |
| 9A | Nickel alloy steel | All | 해당없음 | 120 |
| 9B | Nickel alloy steel | All | 해당없음 | 150 |
| 10I | 27Cr steel | All | 해당없음 | 150[Note(5)] |
| 15E | 9Cr - 1Mo - VCSEF steel | All | 해당없음 | |
| 기타 | 기타 모든 재질 | All | 해당없음 | |

NOTES:
[1] 기타 추가적인 P-Nos.and GroupNos.는 ASME BPVC, Section IX, Table QW/QB-422 참고한다.
[2] SMTS = Specified Minimum Tensile Strength.(최소인장강도)
[3] 조성은 용강 또는 제품분석에 기초하거나 또는 추가조건들에 따르는 경우가 있다.
[4] 중간최대온도(Maximum interpass temperature) 315 °C
[5] 중간온도(Interpass temperature)는 150°C에서 230 °C 사이

<별표 3>

## 배관의 후열처리 기준

| P-No. and Group No. (ASME BPVC, Section IX, QW/QB-420) | 유지온도법위 °C [Note (1)] | 제어두께를 위한 온도에서의 최소유지시산[Note (2)] | |
|---|---|---|---|
| | | 50 ㎜까지 | 50 ㎜를 초과 |
| P-No. 1, Group Nos. 1 - 3 | 595 ~ 650 | 두께 25 mm마다 1시간씩, 최소 15 min | 2 시간 더하기 50 mm를 초과하는 경우 25 mm마다 15 min 추가 |
| P-No. 3, Group Nos. 1 and 2 | 595 ~ 650 | - | - |
| P-No. 4, Group Nos. 1 and 2 | 650 ~ 705 | - | - |
| P-No. 5A, Group No. 1 | 675 ~ 760 | - | - |
| P-No. 5B, Group No. 1 | 675 ~ 760 | - | - |
| P-No. 6, Group Nos. 1 - 3 | 760 ~ 800 | | |
| P-No. 7, Group Nos. 1 and 2 [Note (3)] | 730 ~ 775 | - | - |
| P-No. 8, Group Nos. 1 - 4 | WPS에서 요구되지 않으면 PWHT는 요구되지 않는다. | - | - |
| P-No. 9A, Group No. 1 | 595 ~ 650 | - | - |
| P-No. 9B, Group No. 1 | 595 ~ 650 | - | - |
| P-No. 10I, Group No. 1 [Note (3)] | | - | - |
| P-No. 11A | 550 ~ 585 [Note (5)] | - | - |
| P-No. 15E, Group No. 1 | 705 ~ 775 [Notes (6), (7)] | 두께 25 mm마다 1시간씩, 최소 30 min | 125 mm까지 25 마다 1시간씩 더하기 초과하는 두께 25 ㎜마다 15분씩 |
| P-No. 62 | 540 ~ 595 | - | See Note (8) |
| 그 밖의 모든 재질 | WPS에서 요구되는 PWHT | WPS에 따라 | WPS에 따라 |

일반 참고 사항: 필수 PWHT에 대한 면제는 표 <별표 5> 배관의 후열처리 면제기준에 정의되어 있다.

참고사항:

(1) 유지온도범위는 7.1.4 온도 검정 및 <별표 4>에 자세히 정의되어 있다.

(2) 제어두께는 7.1.2 용접 후 열처리 관련 두께 계산 등에 정의되어 있다.

(3) 냉각 속도는 650 °C 초과 범위에서 시간당 55 °C를 초과해서는 안 되며, 650 ℃ 이후의 냉각 속도는 취성을 방지할 만큼 충분히 빨라야 한다.

(4) 용접 후 PWHT를 수행하는 경우, 해당 합금에 대해 다음 온도 범위 내에서 수행한 후 급속 냉각해야 한다.
합금 S31803 및 S32205 - 1020 °C ~ 1100 °C
합금 S32550 - 1040 °C ~ 1120 °C
합금 S32750 - 1025 °C ~ 1125 °C
기타 - 980 °C ~ 1040 °C
(5) 냉각 속도는 165 °C/시간 이상 ~ 315 °C/시간 이상이어야 한다.
(6) 공칭 재료 두께의 경우 최소 PWHT 유지온도는 675 °C일 수 있다. 7.1.4 온도 검정 참조
(7) 설계자가 지정하지 않는 한, 필러 금속의 Ni+Mn 함량은 1.2 %를 초과해서는 안 된다. 설계자가 지정하는 경우, PWHT 중 도달해야 하는 최대 온도는 분석 및 계산 또는 시험으로 결정된 필러 금속의 하한 변태 온도여야 하며, 800°C를 초과해서는 안 된다. 800 °C 한계를 초과하지 않았지만 필러 금속의 하한 변태 온도를 초과했거나 필러 금속의 조성을 알 수 없는 경우, 용접부를 제거하고 교체해야 한다. 그런 다음 규격에 맞는 용가재로 재용접하고 규정에 맞는 PWHT를 실시해야 한다. 800°C 한계를 초과하는 경우, PWHT의 영향을 받는 용접부와 전체 영역은 제거해야 하며, 재사용하는 경우 재설치 전에 재노멀라이징 및 템퍼링을 수행해야 한다. 낮은 변태 온도는 오스테나이트상 변태가 발생하는 정상 상태 온도이다.
(8) 용접 후 14일 이내에 열처리를 하여야 한다. 유지 시간은 25 mm 두께 이상에서 25 mm 당 1.2시간씩 증가시켜야 한다. 425°C까지 280 °C/시간 이하의 속도로 냉각한다.

## <별표 4> 탄소 및 저합금강, P-Nos.1 및 3에 대한 대체 용접 후 열처리 요구 사항

| 최소냉각속도 ℃ | 냉각온도까지 최소유지시간(Hr)[Note(1)] |
|---|---|
| 30 | 2 |
| 55 | 4 |
| 85 | 10 |
| 110 | 20 |

NOTES:

(1) 표시된 시간은 두께가 25 mm 이하일 때 적용됩니다. 제어두께가 25 mm 이상일 경우 두께 15분/25 mm를 추가한다.

(2) 지정된 최소값보다 55 ℃ 이상 낮은 냉각온도는 P-No.1, Group Nos.1, 2 재료에만 허용된다.

〈별표 5〉

# 배관의 후열처리 면제기준

| P-No. and Group No. (ASME BPVC, Section IX, Table QW/QB-420) [주 (1)] | 제어 두께 (㎜)[주 (2)] | 용접 종류 | 후열처리 면제에 필요한 추가 제한 사항 [주 (3) - (5)] |
|---|---|---|---|
| P-No. 1, all Group Nos. | 모든 두께 | 모든 용접 | 공칭 두께 >25mm 초과하는 재료는 95°C 예열<br>공칭 두께 >5mm 경우 다층 용접이 가능 [주 (6)] |
| P-No. 3, Group Nos. 1 and 2 | ≤16 mm | 홈 용접 | 공칭 두께 >13mm 경우 95°C 예열<br>기본 재료의 지정된 탄소 함량 ≤0.25%<br>공칭 두께 >5mm인 경우 다층 용접이 가능 [주 (6)] |
| P-No. 4, Group No. 1 | ≤16 mm | 홈 용접 | 필수 예열<br>모재 탄소 함량 ≤0.15%<br>공칭 두께 >5mm 경우 다층 용접이 가능 [주 (6) |
| | ≤16mm(소켓 용접 또는 플랜지 두께 제외) | Socket and fillet welds | 필수 예열<br>필렛 용접 또는 소켓 용접 스로트 두께 ≤ 13mm<br>파이프 재료 탄소 함량 ≤0.15%<br>파이프 공칭 재료 두께 ≤16mm<br>공칭 두께 >5mm 경우 다층 용접이 가능 [주 (6)] |
| | ≤16 mm | 기밀 용접 및 비하중 지지 부착물 [주 (7)] | 필수 예열<br>공칭 두께 >5mm 경우 다층 용접이 가능 [주 (6)] |
| P-No. 5A, Group No. 1 | ≤16 mm | 홈 용접 | 필수 예열<br>모재 탄소 함량 ≤0.15%<br>공칭 두께 >5mm 경우 다층 용접이 가능 [주 (6)] |
| | 소켓 또는 플랜지의 두께를 제외 하고 ≤16㎜는 고려할 필요 없음 | 필렛 또는 소켓 용접 | 필수 예열.<br>필렛 또는 소켓 용접의 스로트 두께 ≤13mm<br>파이프 재료 탄소 함량 ≤0.15%<br>파이프 공칭 두께 ≤5mm<br>공칭 두께 >5mm 경우 다층 용접이 가능 [주 (6)] |
| | ≤16 mm | 기밀 용접 및 비하중 지지 부착물[주(7)] | 필수 예열<br>공칭 두께 >5mm 경우 다층 용접이 가능 [주 (6) |
| P-No. 5B, Group No. 1 | - | - | PWHT 면제 없음 |

| P-No. and Group No. (ASME BPVC, Section IX, Table QW/QB-420) [주 (1)] | 제어 두께 (㎜)[주 (2)] | 용접 종류 | 후열처리 면제에 필요한 추가 제한 사항 [주 (3) - (5)] |
|---|---|---|---|
| P-No. 6, Group Nos. 1 - 3 | 모든 두께 | 모든 용접 | 모재 탄소 함량 ≤0.08%<br>공칭 재료 두께 ≤10mm<br>용접 용가재는 A-No. 8, A-No. 9 또는 F-No. 43 조성이다. [주 (8)] |
| P-No. 7, Group No. 1 | 모든 두께 | 모든 용접 | 모재의 규정 탄소 함량 ≤0.08%<br>공칭 재료 두께 ≤10mm<br>용접 용가재는 A-No. 8, A-No. 9 또는 F-No. 43 조성입니다. [주 (8)] |
| P-No. 7, Group No. 2 | - | - | PWHT 면제 없음 |
| P-No. 8, all Group Nos. | 모든 두께 | 모든 용접 | PWHT는 요구되지도 금지되지도 않음 |
| P-No. 9A, Group No. 1 | 모든 두께 | 모든 용접 | 파이프 재료의 규정 탄소 함량 ≤0.15%<br>공칭 재료 두께 ≤13mm<br>필수 예열 적용 |
| P-No. 9B, Group No. 1 | 모든 두께 | 모든 용접 | 공칭 두께 ≤16mm이고, WPS는 용접에 사용된 공칭 두께와 같거나 더 두꺼운 재료를 사용하여 적격 판정 |
| P-No. 10H, Group No. 1 | 모든 두께 | 모든 용접 | PWHT 관련 없음 |
| P-No. 10I, Group No. 1 | 모든 두께 | 모든 용접 | 공칭 두께 ≤13mm는 PWHT와 관련 없음 |
| P-No. 11A | ≤50 mm | 모든 용접 | - |
| P-No. 15E | - | - | PWHT 면제 없음 |
| P-No. 62 | | | PWHT 면제 없음 |

주:
(1) 부록 A에 기재된 P-No.와 차이가 발견되는 경우, ASME BPVC, Section IX, Table QW/QB-422에 기재된 P-No.를 적용한다.
(2) 제어 두께는 7.1.2 용접 후 열처리 관련 두께 계산 등에 정의되어 있다.
(3) 공칭 두께는 용접하는 재료 중에서 가장 두꺼운 재질로 정의되어 있다.
(4) 설계자 또는 WPS에서 요구하는 PWHT에 대해서는 면제가 허용되지 않는다.
(5) 구조용 및 기타 비압력 부착물의 용접에 대해서는 해당 재료에 대해 추가 면제를 적용할 수 있다.
(6) 단층 또는 단일 패스 용접은 WPS가 ±10% 열 입력의 단일 패스 용접을 사용하여 적격 판정을 받았고 면제를 위한 다른 모든 조건이 충족되는 경우 PWHT에서 면제될 수 있다.
(7) 비하중 지지 부착물은 압력 하중이나 상당한 기계적 하중이 부착물을 통해 파이프 또는 압력을 받는 재료로 전달되지 않는 품목으로 정의된다.
(8) A-Nos. 및 F-Nos.는 각각 ASME BPVC, Section IX, Tables QW-442 및 QW-432에 나와 있다.

출처 : ASME B 31.3, “Process piping”, 2024. Table331.1.3-1

# 기술지원규정 개정 이력

□ 개정일 : 2026. 1. 30.

○ 개정자 : (사)고경력과학기술연우총연합회

○ 개정사유 : 배관의 용접 전·용접 후 열처리 기준 등을 관련규격인 ASME B31.3 내용과 일치하도록 현행화

○ 주요 개정내용

- 국문 명칭(기술지침→기술지원규정) 개정
- 배관 용접 전 열처리 기준을 관련규격인 ASME B31.3(Process Piping) Table 330.1.1과 일치하도록 현행화
- 배관 용접 후 열처리 기준을 관련규격인 ASME B31.3(Process Piping) Table 331.1.1과 일치하도록 현행화
- 기술지침 내용 전반에 대해 관련규격을 검토하여 현행화

# KOSHA GUIDE
# 기술지원규정

·규정번호 : C-C-91-2026
·심　　의 : 산업안전보건표준제정위원회
·공 표 일 : 2026. 1. 30.