KOSHA GUIDE D - 10 - 2023

화학설비 배관 등의 비파괴검사 및 열처리에 관한 기술지침

2023. 8.

한국산업안전보건공단

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

안전보건기술지침의 개요

- 작성자 : 김 기 영
- 개정자
 - 이 만 재
 - 연구원 화학물질센터 한인수
 - 알파안전(주) 조필래
- 제·개정 경과
 - 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)
- 관련규격 및 자료
 - KS B 0888, "배관 용접부의 비파괴검사 방법"
 - ASME B 31.1, "Power piping", 2016
 - ASME B 31.3, "Process piping", 2016
 - ASME B31.4, "Pipeline transportation systems for liquids and slurries", 2016
 - ASME B31.8, Gas transmission and distribution piping systems, 2004
 - AS4041, "Australian Standard Pressure piping", 1998
 - KOSHA GUIDE (M-72), "자분탐상과 침투탐상에 관한 기술지침"
 - 고용노동부고시 제2023-9호, "화학물질의 분류표시 및 물질안전보건자료에 관한 기준"
 - KOSHA GUIDE P-178, "수소 분리 및 정제를 위한 압력변환흡착(PSA) 시스템의 안전에 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)
- 안전보건기술지침의 적용 및 문의
 - 이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지 (www.kosha.or.kr)의 안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고 하시기 바랍니다.
 - 동 지침 내에서 인용된 관련규격 및 자료, 법규 등에 관하여 최근 개정본이 있을 경우에는 해당 개정본의 내용을 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2023년 8월 24일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

<u>목 차</u>

1.	목 적1	
2.	적용범위1	
3.	용어의 정의1	
4.	비파괴검사 적용대상2	
5.	비파괴검사 방법6	
6.	열처리12	

화학설비 배관 등의 비파괴검사 및 열처리에 관한 기술지침

1. 목적

이 지침은 배관의 내면 및 외면의 손상, 변형, 부식 등으로 인한 사고를 방지하기 위하여 배관 등의 비파괴검사 및 열처리에 관한 필요한 사항을 제시하는데 그목적이 있다.

2. 적용범위

이 지침은 용접에 의하여 연결된 배관 등에 적용한다.

3. 용어의 정의

- (1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.
- (가) "비파괴검사 (Non-destructive testing or examination, NDT or NDE)"라 함은 배관 등의 용접부 건전성을 확인하기 위하여 실시하는 방사선투과 시험, 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 비 다공성 비철금속과 재료표면의 불연속부의 탐지를 위한 비파괴방법을 말한다.
- (바) "육안검사 (Visual testing, VT)"란 사람의 육안으로 직접 또는 보조기구 나 광학기구 등을 사용하여 시험체 표면에 나타난 결함이나 손상 또는 시험체 자체의 이상유무를 조사하는 비파괴검사의 가장 기본적인 검사방 법이며, 재료, 제품 또는 구조물(시험체)을 직접 또는 간접(원격)으로 관 찰하여 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 말한다.
- (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 받 는 조건에 있는 것을 말하며, 이 조건에 있을 때 배관이 피로에 파괴될 수 있다.
- (2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 산업 안전보건기준에 관한 규칙에서 정하는 바에 따른다.

4. 비파괴검사 적용대상

4.1 일반사항

(1) 맞대기(Butt)용접 또는 홈(Groove) 용접한 부위는 용접부의 건전성을 확인 하기 위해 방사선투과시험(RT) 또는 초음파탐상시험(UT)과 같은 비파괴검 사를 하여야 한다.

- (2) 방사선투과시험이 곤란한 경우에는 초음파탐상시험(UT)을 실시할 수 있다.
- (3) 구조적으로 방사선투과시험 또는 초음파탐상시험이 어려운 경우에는 자분 탐상시험(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.

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

$$\frac{100 - (\sum C_{unknown} i f > 10\%)}{A T E_{min}} = \sum_{i} \frac{C_{i}}{A T E_{i}}$$
 (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 응력 범위(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 의해계산되며, [그림 1]은 응력범위계수(f)와 배관 시스템의 예상 서비스수명 동안의 전체 변위 사이클의 등가 횟수(N)와의 관계를 보여준다.

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

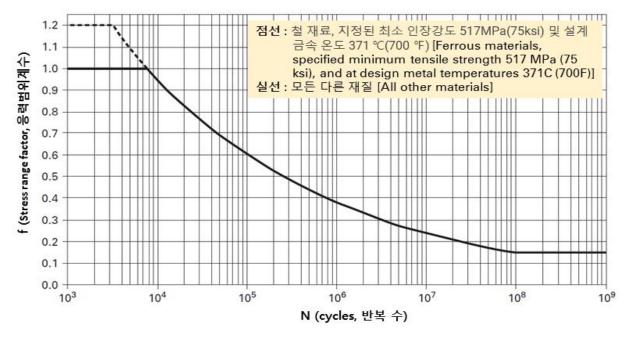
여기서.

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, 저 독성, 저온 및 저압조건)	다음의 조건을 모두 만족하는 유체 ① 비인화성: 위험물안전관리법의 위험물 및 산업안전보 건법의 인화성 가스(또는 인화성 액체)에 해당되지 않는 물질, 인화점 이상으로 취급되지 않는 물질 ② 저독성: 화학물질관리법의 유해화학물질, 산업안전보건기 준에 관한 규칙 별표 1(위험물의 종류) 및 별표 12(관리대상 유해물질의 종류)에 해당되지 않는 물질 ③ 온도조건: 설계온도 범위 (-29~176 ℃) ④ 압력조건: 설계압력이 1 MPa 미만
일반유체	저위험유체, 고위험유체, 고압유체, 고온유체 및 가혹 반복응 력 조건의 유체를 제외한 유체
고위험유체 (독성물질)	다음의 어느 하나에 해당되는 유체 ① 산업안전보건기준에 관한 규칙 별표 1의 7호 (LD ₅₀ , LC ₅₀)에 해당되는 물질 ② 고압가스안전관리법의 독성가스 ③ NFPA 704의 건강위험성 지수가 4인 경우 * 혼합물질은 혼합독성을 계산하여 적용 가능
고압유체	설계압력이 ASME B16.5 규격의 압력등급(Class)이 2500 lb를 초과하는 유체
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), 공 정의 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 A

급 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 용접 길이 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 살두 께중 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, 3 류 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) 터짂

터짐은 모두 불합격으로 한다.

(파) 결함의 집적

제(가)호 내지 제(카)호까지 언급한 결함이 혼재하는 경우 결함 길이의합이 배관의 원둘레길이의 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 원둘레길이의 15 % 이하이어야 한다.

(갸) 결함의 사진 농도

① 투과 사진 상의 크기에서 합격하는 결함이라도 사진 농도가 모재부의 사진 농도보다 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 방사 선 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 점수 가 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 큰쪽의 값을 결함의 지시길이로 한다.

<표 2> 초음파탐상시험에서 결함의 지시길이 구분

(단위: mm)

관의 살두께(t)	결함의 지시길이 구분					
전 크 1 개(t)	A	В	С			
6이상 18이하	6	9	18			
18초과	t/3	t/2	t			

<표 3> 초음파탐상시험에서의 결함의 평가점수

(단위: mm)

거리시 레크노시()	결함의 지시 길이의 구분						
결함의 에코높이(t)	A 이하	A 초과 B 이하	B 초과 C 이하	C 초과			
영역Ⅲ	1점	2점	3점	4점			
영 역 IV	2점	3점	4점	4점			

5.3 자분탐상시험

- (1) 소켓(Socket) 용접 또는 필렛(Fillet) 용접 등은 4항에 규정한 비율에 따라 자분 분탐상시험 또는 침투탐상시험을 실시하여야 한다. 다만, 침투탐상시험은 자분 탐상시험이 곤란한 경우에 한한다.
- (2) 자분탐상시험은 KS D 0213(철강재료의 자분탐상시험 방법 및 결함 자분모 양의 등급분류)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 M 12(자분탐상과 침투 탐상에 관한 기술지침)을 참조한다.

<표 4> 자분탐상 시험에서의 결함 평가

	자분모양의 길이						
분류	1 mm 초과	2 mm 초과	4 mm 초과				
	2 mm 이하	4 mm 이하	8 mm 이하				
선형 자분 모양 및 연속 자분 모양	형 자분 모양 및 연속 자분 모양 1점		4점				
원형자분 모양	침투탐상시험에 따른다.						

5.4 침투탐상시험

침투탐상시험은 KS B 0816(침투탐상시험방법 및 지시 모양의 분류)에 따라 염색침 투탐상시험 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 당 의 합계점수가 10점 이하이어야 한다.
- (4) 원형 침투지시모양과 선형 자분모양 및 연속 자분모양이 혼재할 때에는 각 각 <표 5>에 따라 각각 평가점수를 구하고 합계점수가 연속된 용접길이 300 mm 당 10점 이하이어야 한다.
- (5) 그 밖의 침투탐상시험에 관한 사항은 KOSHA GUIDE M 12(자분탐상과 침투 탐상에 관한 기술지침)을 참조한다.

<표 5> 침투탐상 시험에서의 결함 평가

	침투지시 모양의 길이						
분류	1 mm 초과 2 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 제 거하여 다시 용접하고 그 부분에 대하여 방사선투과시험을 다시 실시하 여 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 해야한다. 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 재 용접하고 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 않 은 것으로 간주하고 용접을 다시 해야 한다.
 - 다만, 그 용접이음, 이음부분 또는 이음군의 전체길이에 대해 방사선투과 시험을 하고 합격하지 않은 모든 결함부를 완전히 제거하여 재 용접하고 그 부분에 대해 방사선투과시험을 하여 합격하면 방사선투과시험에 합격 한 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. 열처리

6.1 용접 전 열처리

- (1) 모재를 용접 전에 <별표 2>의 가열온도 이상으로 가열하고 용접하여야 한다.
- (2) 작업장의 기온이 0 ℃ 이하에서 <별표 2>의 권장가열 온도란에 수치가 기

재되어 있는 모재를 용접하는 경우에는 반드시 권장가열 온도 이상으로 가열한 후 용접하여야 한다.

6.2 용접 후 열처리 (PWHT)

- (1) 배관 용접부의 후열처리는 <별표 3>의 기준에 따른다.
- (2) 안전보건규칙 <별표 1>의 제7호에서 규정하는 독성물질을 취급하는 배관 은 제(1)호의 규정에도 불구하고 관의 두께와 무관하게 후열처리를 하여야 한다. 다만, 후열처리를 하지 않는 재질은 그러하지 아니하다.
- (3) <별표 3>에서 정한 P-3, P-4 및 P-5 모재에 대하여는 후열처리를 한 후에 5.3항 또는 5.4항에 따라 비파괴 시험을 하여야 한다.
- (4) 후열처리 후 실시한 비파괴 검사 시 부적합한 것으로 판정된 경우에는 불합격 부위를 수정하고 다시 후열처리를 한 후 재시험하여 적합해야 한다.

6.3 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 기 대할 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 과정동안 시간, 온도 선로 및 도표가 작성되어야 하며, 보고서에는 가열율, 유지온도 및 시간, 냉각율과 열처리되는 부분이 확실하게 기술되어 야 한다.

6.4 열처리 방법

6.4.1 일반사항

- (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.

6.4.2 배관의 열처리 방법

(1) 노내 열처리법(Furnace heat treatment)

열처리 대상물인 배관 및 용기 등을 대형화로에 넣고 가열하는 것으로 공장 제작 배관 또는 용접 배관의 후열처리에 있어서 가장 효과적인 열처리효과를 기대할 수 있다.

(2) 전자유도 가열법(Induction heating treatment)

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.

(3) 토치 가열법(Torching heating treatment)

열처리될 용접부에 단일 버너 또는 링 버너를 사용하여 직접 용접부를 가 열하는 방법으로 열은 배관 외부에서 내부로 전달된다.

(4) 전기저항 가열법(Electric resistance heating treatment)

니크롬 전선을 배관 용접부에 감싸고 열처리 온도까지 승온될 수 있게 전류를 인가하는 것으로 전류는 직류가 사용되며 특별 전력공급 장치나 용접기로부터 얻어진다.

(5) 발열반응에 의한 가열(Exothermal heating treatment)

원통 모양의 형태로 발열 반응물(알루미늄 분말, 금속 산화물, 내화화합물, 고착제의 복합물)을 예열 처리되어야할 배관 용접부 주변에 부착하고 산소 아세틸렌이나 프로판 토치를 이용하여 점화 연소시켜 이때 발생되는 반응

열에 의해 용접부가 가열된다.

<별표 1>

배관 용접부의 비파괴검사율 적용 기준표

		플랜지 압력	NDE (RT%)					
유체 또는 배관 종류	독성 기준		전체 사내배관		사외배관		고려사항	
	/1七	설계압력 등	VT%	지상	지하	지상	지하	
1. 저위험유체 (비인화성, 저독성, 저온 및 저압유체): 다음의 조건을 모두 만족하는 유체			100	5	10	5	10	중요시스템용 물질 (반응 기용 냉각수 등)
① 비인화성: 위험물안전관리법의 위험물 및 산업안전보건법 의 인화성 가스(또는 인화성 액체)에 해당되지 않는 물질,			100	10	20	10	20	소방배관
인화점 이상으로 취급되지 않는 물질 ② 저독성: 화학물질관리법의 유해화학물질, 산업안전보건기준에 관한 규칙 별표 1(위험물의 종류) 및 별표 12(관리대상유해물질의 종류)에 해당되지 않는 물질 ③ 온도조건: 설계온도의 범위 (-29~176 ℃) ④ 압력조건: 설계압력이 1 MPa 미만	1	- 150 (PN 20)	100	0	10	0	10	기타 배관
		150 (PN 20)	100	5	20	5	20	
2. 일반유체: 저위험유체, 고위험유체, 고압유체, 고온유체 및 가혹 반복응력 조건의 유체를 제외한 유체	_	300 (PN 50)	100	10	20	10	20	
기가 근거하기 보인의 비에를 세취한 비에		600 이상 (PN 110 이상)	100	20	100	20	100	압력 등급에 따라 조정 가능

		독성 플랜지 압력		NDI	E (RT						
유체 또는 배관 종류	구성 기준	등급(lb) 또는	전체	사내배관		사외배관		고려사항			
		설계압력 등	VT%	지상	지하	지상	지하				
		0.1 MPa 미만	100	5	20	10	20	배관 내부에서 용접 및 육안검사가 가능한 경우			
3. 고위험유체 (독성물질): 다음의 어느 하나에 해당되는	LD_{50}	(대구경 배관)	100	20	100	20	100	배관 내부에서 용접 및 육안검사가 곤란한 경우			
유체	기준	150 (PN 20)	100	20	100	20	100				
 ① 산업안전보건기준에 관한 규칙 별표 1의 7호 (LD₅₀, LC₅₀)에 해당되는 물질 ② 고압가스안전관리법의 독성가스 		300 이상 (PN 50 이상)	100	100	100	100	100				
③ NFPA 704의 건강위험성 지수 4인 경우 * 혼합물질은 혼합독성을 계산하여 적용 가능	LC ₅₀ 기준	1 1	1	I	0.1 MPa 미만	100	5	20	10	20	배관 내부에서 용접 및 육안검사가 가능한 경우
					(대구경 배관)	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			

		독성	플랜지 압력		NDI	E (RT			
	유체 또는 배관 종류			전체	사내	배관	사외	배관	고려사항
		기준	설계압력 등	VT%	지상	지하	지상	지하	
	Class 1 지역 (1.6 km 이내 10 가구 미만)	_	저밀집 지역	100	20	100	20	100	
8. 가스/석유	Class 2 지역 (1.6 km 이내 46 가구 미만)	_	중밀집 지역	100	20	100	20	100	
이송배관	Class 3 지역 (1.6 km 이내 46 가구 이상)	_	고밀집 지역	100	20	100	20	100	일반유체의 기준 등을 적용할 수 있음
(사외배관)	Class 4 지역 (4 층 이상 빌딩 등)	_	과밀집 지역	100	100	100	100	100	10 6 1 % 1
	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. 2) 관련 법령에서 요구하는 사항에 대해서는 법령의 기준을 따라야 한다.									

< 별표 2>

배관의 용접전 열처리 기준

모재의 구분	모재의 종류	관의 두께 (mm)	최소규격 인장강도 (kgf/m²)	가열온도 (℃)	권 장 가열온도 (℃)
P- 1, 2	탄소강	≤ 25 > 25 전 체	≤ 49 전 체 > 49	_ _ _	10 80 80
P-3	저합금강 Cr≤½ %	≤ 13 > 13 전 체	≤ 49 전 체 > 49	_ _ _	10 80 80
P-4	저합금강 ½% < Cr≤2%	전 체	전 체	150	-
P-5	저합금강 2½% < Cr≤10%	전 체	전 체	180	-
P-6	고합금강 (마르텐사이트계)	전 체	전 체	_	150
P-7	고합금강 (폐라이트계)	전 체	전 체	_	10
P-8	고합금강 (오오스테나이트계)	전 체	전 체	_	10
P-9A, 9B - - - - -	저온용합금강 Cr-Cu 강 Mn-V 강 27Cr강 8Ni, 9Ni강 5Ni강	전 체 전 체 전 체 전 체 전 체 전 체	전 체 전 체 전 체 전 체 전 체	- 150 ~ 200 - 150 - 10	90 - 80 - 10 -
P- 21~52		전 체	전 체		10

< 별표 3>

배관의 후열처리 기준

						열처리 요	ユルフト	
모재의 구분	모재의 종류	관의 두께 (mm)	최소규격 인장강도 (kg _f /mm)	후열 처리 여부	후열처리 온도범위 (°C)	필시더 쇼 관두께 25 mm 당 요구시간(hr)	최소 요구	브린넬 최대 경도치 (주6)
P- 1, 2	탄소강	<pre></pre>	전 체 전 체	미실시 실 시	- 600 ~ 650	- 1	- 1	_ _
P- 3	저합금강 Cr≤½ %	≤ 20 > 20 전 체	< 49 전 체 > 49	미실시 실 시 실 시	- 600 ~ 720 600 ~ 720	- 1 1	- 1 1	- 225 225
P- 4	저합금강 ½% < Cr≤2% ≤ 2%	≤ 13 > 13 전 체	≤ 49 전 체 > 49	미실시 실 시 실 시	- 700 ~ 750 700 ~ 750	- 1 1	- 2 2	- 225 225
P- 5	저합금강 2½% < Cr≤10% ≤ 10%	≤ 13 > 13	전 체 전 체	미실시 실 시	- 700 ~ 750	- 1	- 2	- 241
P- 6	고합금강 (마르텐사이트계)	전 체	전 체	실 시	730~800(科)	1	2	241
P- 7	고합금강 (폐라이트계)	전 체	전 체	미실시	_	-	_	-
P-8	고합금강 (오스테나이트계)	전 체	전 체	미실시	_	-	_	-
P-9A, 9B	저온용합금강 Cr-Cu 강	≤ 20 > 20 전 체	전 체 전 체 전 체	미실시 실 시 실 시	- 600~640 760~820(学2)	- 12 12	- 1 ½	- - -
_	Mn-V 강	≤ 20 > 20 전 체	≤ 49 전 체 〉 49	미실시 실 시 실 시	- 600 ~ 700 600 ~ 700	- 1 1	- 1 1	- 225 225
-	27Cr7}	전 체	전 체	실 시	660~700(주3)	1	1	_
_	Cr-Ni-Mozl	전 체	전 체	선택사양	1000 ~ 1040	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	_
-	5Ni, 8Ni, 9Ni7	≤ 50	전 체	미실시	_	_	_	-
	7 DC0705	> 50	전체	실시	550~600(주4)	1	1	_
_	Zr R60705	전 체	전 체	실 시	540 - 600(주5)	$\frac{1}{2}$	1	_

- (주)1. ASTM A 240, Gr.429에 상응하는 재질은 621 °C ~ 663 °C의 온도범위에서 후열처리 하여야 한다.
 - 2. 후열처리 후에 가능한 한 신속히 냉각하여야 한다.
 - 3. 후열처리 후 650 ℃까지는 시간당 60 ℃이하로 냉각하여야 하며, 650 ℃이하에 서는 취성(Embrittlement)을 방지하기 위하여 빠른 속도로 냉각하여야 한다.
 - 4. 후열처리 후 320 ℃까지는 시간당 170 ℃이상으로 냉각하여야 한다.
 - 5. 용접 후 14일 이내에 후열처리 하여야 한다. 후열처리 후 430 ℃까지는 시간당 280 ℃이하로 냉각하고 430 ℃부터는 대기중에서 냉각하여야 한다.
 - 6. 열처리로에서 후열처리 한 경우에는 용접부의 10 %에 대해 브리넬 경도를 측정하고, 현장에서 국부적으로 열처리 한 경우에는 용접부 전체에 대하여 경도 측정하여야 한다.

안전보건기술지침 개정 이력

- □ 개정일 : 2023. 8. 24.
 - 개정자 : 알파안전(주) 조필래
 - 개정사유 : 유체 종류 및 취급조건에 따른 비파괴검사율을 명확히 하기 위함
 - 주요 개정내용
 - (1. 목적) 산업안전보건법 적용법령 내용 제외
 - (4. 비파괴적용대상) 비파괴검사 실시기준을 유체 종류 및 취급조건, 비파괴검사율 선정기준을 구체적으로 작성