KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE 기술지원규정

자분탐상검사와 침투탐상검사에 관한 기술지원규정 B-M-30-2026

한국산업안전보건공단

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

기술지원규정의 개요

○ 작성자 : 충북대학교 박재학 교수
○ 개정자 : (사)고경력과학기술연우총연합회

○ 제·개정 경과
- 2011년 11월 기계안전분야 제정위원회 심의(제정)
- 2025년 11월 기계·전기안전분야 전문위원회 심의(개정)
- 2026년 1월 표준제정위원회 본위원회 심의(개정)

○ 관련규격 및 자료

- 영국 HSE Best Practice for the Procurement and Conduct of Non-destructive Testing, Part 2 : Magnetic Particle and Dye Penetrant Inspection (2002)
- KS B 0816:2021 침투탐상검사 방법 및 침투 지시의 분류
- KS D 0213:2023 강자성 재료에 대한 자분탐상검사와 지시의 분류
- KS B ISO 12706:2009 비파괴검사 - 침투탐상검사 - 용어 (2022년 개정)
- KS B ISO 12707:2016 비파괴검사 - 자분탐상검사 - 용어
- KS B ISO 3452-1:2021 비파괴검사 - 침투탐상검사 - 제1부:일반원리
- KS B ISO 9934-1:2016 비파괴검사 - 자분탐상검사 - 제1부:일반원리
- KS B ISO 3452-5:2008 비파괴검사 - 침투탐상검사 - 제5부:50°C 초과의 온도에서 침투탐상검사
- KS B ISO 3452-6:2008 비파괴검사 - 침투탐상검사 - 제6부:10°C 미만의 온도에서 침투탐상검사
- KS B ISO 17638:2016: 용접부의 비파괴검사-자분탐상검사
- US Air Force Manual (TO 33B-1-1 NAVAIR 01-1A-16-1 TM 1-1500-335-23)
- Liquid Penetrant and Magnetic Particle Testing at Level 2, IAEA (2002)

○ 관련법규·규칙·고시 등
- 산업안전보건기준에 관한 규칙 제115조(비파괴검사의 실시)
- 산업안전보건기준에 관한 규칙 제168조(변형되어 있는 훅·샤클 등의 사용금지 등)
- 위험기계·기구 안전인증 고시(고용노동부고시 제2023-46호)

○ 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 관련 법적 필수사항 ····· 3

5. 자분탐상검사와 침투탐상검사 개요 ····· 4

5.1 방법 선택 ····· 4

5.2 적용 방법 및 절차 ····· 4

5.2.1 자분탐상검사 절차 ····· 6

5.2.2 침투탐상검사 절차 ····· 8

6. 검사 유의사항 ····· 10

6.1 결함 유형 ····· 10

6.1.1 자분탐상검사의 지시 ····· 11

6.1.2 침투탐상검사의 지시 ····· 13

6.2 피검사물 형상 ····· 14

6.3 피검사물 재료 ····· 15

6.4 표면 상태와 코팅 ····· 16

6.5 세척 ····· 17

6.6 접근 ····· 18

6.7 검사원 수행 능력 ····· 19

6.8 검사 조직과 조달 ····· 19

7. 검사의 효과 ····· 20

8. 안전 대책 ····· 21

자분탐상검사와 침투탐상검사에 관한 기술지원규정

1. 목 적

이 규정은 자분탐상검사와 침투탐상검사를 이용하여 기존 설비를 검사하고 수리하는데 필요한 기술적 사항을 제공함을 목적으로 한다.

2. 적용범위

이 규정은 사업장에서 구조물 또는 기계설비에 존재하는 결함을 탐지하기 위하여 시행하는 자분탐상검사와 침투탐상검사 적용한다.

3. 용어의 정의

(1) 이 규정에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “자분탐상검사(Magneting particle testing)”라 함은 강자성체 재료에서 표면 및 표면 근처의 불연속부를 드러내 보이도록 자기장과 검출 매체를 사용하는 비파괴검사 방법을 말한다.[1)]

(나) “침투탐상검사(Penetrant testing)”라 함은 표면 파단 불연속부의 가시적인 지시를 만들기 위해 전형적으로 침투액, 과잉 침투액의 제거 방법 및 현상제로 구성된 비파괴검사를 말한다.[2)]

(다) “비파괴검사(Non-destructive testing)”라 함은 흠집을 검출하여 위치를 결정하고 측정하여 평가하며, 건전성과 특성과 성분을 평가하고, 기하학적인 특성을 측정하기 위하여, 향후 사용성과 내구성에 손상을 주지 않는 방법으로 재료 또는 구성품을 시험하는 기술적 방법을 개발하여 적용하는 것을 말한다.[3)]

---

1) 출처 : KS B ISO 12707:2016(2020제정) 2.32 적용
2) 출처 : KS B ISO 12706:2009(2022개정) 2.20 적용
3) 출처 : KS B ISO/TS 18173:2005(2023개정) 2.20 적용

(라) “침투액(Penetrant)”이라 함은 대상품에 적용하였을 때, 표면 불연속부 안으로 들어가는 경로를 찾도록 설계되었으며 표면에 과잉 침투액을 제거하는 동안이나 제거한 후에 불연속부에 검출 가능한 양을 남아있도록 한 특별히 고안된 염료 액체를 말한다.[4)]

① 수세성 침투액(Water-washable penetrant) : 침투탐상검사 시 직접적으로 물로 세척할 수 있도록 조제된 침투액[5)]

② 용제 제거성 침투액(Solvent removable penetrant) : 침투탐상검사 시 표면으로부터 과잉 침투액을 제거하기 위한 적절한 용제의 사용을 필요로 하는 침투액[6)]

③ 후유화성 침투액(Post-emulsifiable penetrant)”은: 침투탐상검사 시 침투액을 수세성으로 만들기 위해 별도의 유화제를 적용할 필요가 있는 침투액[7)]

(마) “자외선 램프(Ultraviolet lamp, UV lamp)”라 함은 다른 파장에 비하여 자외선 방사(放射)의 비율이 높은 램프를 말한다.

(바) “유화제(Emulsifier)”은 후유화성 침투액을 수세성으로 만드는 제품을 말한다.

(사) “현상제(Developer)”은 침투탐상검사 시 불연속부를 더욱 쉽게 볼 수 있도록 불연속부로부터 침투액을 빨아내는 성질을 갖는 제품을 말한다.

(아) “색대비 보조페인트(Contrast aid paint)”은 자분탐상검사 시 비형광 검출 매체를 사용한 지시의 가시성을 향상하기 위하여 표면에 적용하는 얇은 도막이나 필름을 말한다.

(자) “검출 매체(Detection medium)”란 사용 준비가 된, 분산 용액에 현탁되었거나 건식 분말 형태인 자분을 말한다.

① 형광검출매체(Fluorescent detection medium) : 일상적으로 자외선-A (UVA)와 같은 복사원에 의해 여기되었을 때 가시광을 방출하는 검출매체

② 비형광 검출 매체(Coloured detection medium) : 가시광을 이용한 검사용 검출 매체

(차) “자기잉크(Magnetic ink)”란 분산용액에 현탁된 자분을 말한다.

---

4) 출처 : KS B ISO 12706:2009(2022개정) 2.17 적용
5) 출처 : KS B ISO 12706:2009(2022개정) 2.37 적용
6) 출처 : KS B ISO 12706:2009(2022개정) 2.29 적용
7) 출처 : KS B ISO 12706:2009(2022개정) 2.24 적용

(카) “지시(Indication)”이란 사용한 비파괴검사방법에 의해 허용된 형태로 불연속으로부터 오는 표시 또는 신호를 말한다.

① 관련 지시(Relevant indication) : 평가가 필요한 흠집의 형태나 조건에 기인한 비파괴검사 지시

② 비관련 지시(Non-relevant indication) : 허용 가능한 흠집의 형태나 조건에 기인한 비파괴검사 지시

③ 거짓 지시(False indication) : 흠집이 아닌 다른 조건에 의해 발생된 것으로 해석되는 사용한 비파괴 방법이 허용하는 형태의 표시 또는 신호로서, 비관련 지시에 해당

(타) “결함(Defect)” 이란 명시된 허용 기준을 충족하지 못하여 배제될 수 있는 전체 크기, 형상, 방향 또는 특성을 지닌 하나 또는 그 이상의 흠집을 말한다.

(파) “불연속부(Discontinuity)” 란 재료 또는 대상품의 물리적 구조나 구성에 있어, 의도적이거나 우발적인 가로막힘에 의한 연속성 또는 결합의 결핍을 말한다.

(하) “흠집(Flaw)” 란 비파괴검사에 의해 검출될 수 있고, 반드시 불합격이라고는 할 수 없는 불완전 또는 불연속을 말한다.

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

4. 비파괴검사 관련 법적 필수사항

다음은 비파괴검사 관련 산업안전보건법령에 관한 사항으로서 반드시 준수하여야 한다.

산업안전보건기준에 관한 규칙 제115조(비파괴검사의 실시)
사업주는 고속회전체(회전축의 중량이 1톤을 초과하고 원주속도가 초당 120미터 이상인 것으로 한정한다)의 회전시험을 하는 경우 미리 회전축의 재질 및 형상 등에 상응하는 종류의 비파괴검사를 해서 결함 유무(有無)를 확인하여야 한다.

산업안전보건기준에 관한 규칙 제168조(변형되어 있는 훅·샤클 등의 사용금지 등)
③ 사업주는 안전성 시험을 거쳐 안전율이 3 이상 확보된 중량물 취급용구를 구매하여 사용하거나 자체 제작한 중량물 취급용구에 대하여 비파괴시험을 하여야 한다.

5. 자분탐상검사와 침투탐상검사 개요

5.1 방법 선택

(1) 자분탐상검사와 침투탐상검사는 표면결함의 검출에 적용하는 일반적인 비파괴검사 방법이다. 흠집의 깊이를 추정하는 것은 어려우며, 이를 위해서는 두 방법 이외의 방법을 사용해야 한다.

(2) 자성재료의 경우 다음과 같은 이유에서 침투탐상검사보다 자분탐상검사가 선호된다. 자분탐상검사는 얇은 코팅 아래의 결함도 탐지할 수 있고, 침투탐상검사보다 검사가 빠르다. 반면, 침투탐상검사는 표면 상태의 영향을 많이 받고, 결함 내 물질의 영향도 받는다.

(3) 피검사물이 자성재료인 경우 두 가지 방법 중에 자분탐상검사가 선호된다. 비자성 물질은 침투탐상검사를 실시해야 한다.

5.2 적용 방법 및 절차

(1) <그림 1>은 두 검사의 일반적인 과정들을 보여준다. 각각 적용 시 필요에 따라 과정에 변화를 줄 수가 있다.



<그림 1> 자분탐상검사와 침투탐상검사의 진행 과정

(2) 자분탐상검사는 검출 매체 적용 시기, 자분의 종류, 분산 용액, 자화 전류의 종류 및 자화기법에 따라 <표 1>과 같이 분류한다. 침투탐상검사는 침투액의 종류, 과잉 침투액의 제거 방법 및 현상방법에 따라 분류한다.

<표 1> 검사 방법의 분류

검사방법	분류의 조건	분류
자분탐상검사	검출 매체 적용 시기	연속법, 잔류법
	검출 매체의 종류	형광 검출 매체, 비형광 검출 매체
	분산 용액의 종류	건식법, 습식법
	자화 전류의 종류	직류, 맥류, 교류, 충격전류
침투탐상검사	자화기법	축 통전법, 직각 통전법, 프로드법(Prod), 전류 관통법, 코일법, 극간법/요크법, 자속관통법
	침투액의 종류	염색 침투액, 형광 침투액, 이원성 염색 침투액, 이원성 형광 침투액
	과잉 침투액 제거 방법	수세에 의한 방법, 유성 유화제 사용 후유화, 용제 제거, 수성 유화제 사용 후유화
	현상 방법	건식 현상법, 습식 현상법, 속건식 현상법, 특수 현상법, 무현상법

5.2.1 자분탐상검사 절차

자분탐상검사는 전처리, 자화, 검출 매체 적용, 지시의 관찰, 기록 및 탈자의 과정을 거쳐 수행되며, 검사의 목적에 따라 각 과정을 적절히 조합하여 수행한다.

(1) 검사 대상체에 부착된 유지, 오염, 그 밖의 부착물 도료, 도금 등의 피막을 제거한다. 만약, 건식법을 사용한다면, 검사대상체의 표면을 건조한다. 검사 대상체와 전극의 접촉 부분을 깨끗하게 닦아놓되, 전극에 도체 패드를 부착할 수 있다. 검사 후 침투된 내부의 자분을 제거하기 어려운 곳은 검사 대상체에 손상을 주지 않는 물질을 채워도 되며, 전처리 범위는 검사범위보다 넓게 잡는다.

(2) 자분탐상검사에서 자화는 다양한 방식으로 이루어진다. 자기장은 자석을 직접 피검사물에 적용하거나 전류를 피검사물에 직접 혹은 가까이 흘림으로써 얻을 수 있다. 용접부를 검사하는 일반적인 방법은 교류 요크(Yoke)를 이용하는 방법이다. <표 2>은 일반적으로 이용되는 자화방법을 보여주고 있다.

<표 2> 자화 기법

자화기법	비고
축 통전법	검사 대상체의 축방향으로 직접 전류를 흐르게 함
직각 통전법	검사 대상체의 축에 대해 직각 방향으로 직접 전류를 흐르게 함
프로드법	검사 대상체 표면의 특정 지점에 2개의 전극을 대어서 전류를 흐르게 힘
유도 전류법	검사 대상체의 구멍 등에 통과시킨 자성체에 교류 자속 등을 가함으로써 검사 대상체에 유도전류에 의한 자기장을 형성시킴
중심 도체법	검사 대상체의 구멍 등에 통과시킨 도체에 전류를 흐르게 함
코일법	검사 대상체를 코일 속에 넣어 코일에 전류를 흐르게 힘
극간법	검사 대상체 또는 검사할 부위를 전자석 또는 영구자석의 자극 사이에 놓음

(가) 자기장을 생성하는 전류로 직류, 교류, 전파정류(Full wave rectified) 또는 반파정류(Half wave rectified)와 같은 맥류(Pulsating current)가 사용된다. 마찬가지로 자석으로 영구자석, 직류 전자석, 교류 전자석이 사용된다. 전류를 사용한 자화 전류 선택 시에, 교류와 충격전류를 사용하는 자화는 원칙적으로 표면 흠집의 검출에만 적용한다. 한편, 직류와 맥류를 사용하는 자화는 연속법과 잔류법에 모두 적용 가능하며, 표면과 표면 근처 내부의 흠집을 검출하는 데 적용가능하다.

(나) 자화 시 자기장의 방향은 예측되는 흠집의 방향에 대하여 가능한 한 직각, 검사면에 가능한 한 평행으로 하여 상쇄 자기장을 적게 하는 자화 방향을 결정한다.

(다) 설정할 자기장의 세기는 검사 기법과 검사 대상체에 따라 <표 3>을 참고하여 선택한다.

<표 3> 탐상에 필요한 자기장의 세기 (자분탐상검사)[주1)]

검사기법	검사 대상체	자기장의 세기 (A/m)
연속법	일반적인 구조물과 용접부	1,200 ~ 2,000
	주물, 단조품 및 기계 부품	2,400 ~ 3,600
	담금질한 기계 부품	5,600 이상
잔류법	일반적인 담금질한 부품	6,400 ~ 8,000
	공구강 등의 특수강 부품	12,000 이상

주1) 여기서 말하는 자기장의 세기란, 예측되는 결함의 방향에 대하여 직각인 방향의 자기장의 세기를 말한다.

(라) 검사기법에 따라 통전 시간을 설정한다. 연속법은 통전 중에 검출 매체 적용을 완료할 수 있는 시간, 잔류법은 원칙적으로 1/4-1초으로 통전시간을 설정한다. 충격전류는 통전시간을 1/120초 이상으로 3회 이상의 통전을 반복하되 충분한 자기장 세기를 가할 수 있다면, 통전 횟수를 줄여도 된다.

(3) 자분탐상검사에서는 건식 분말 형태의 자분, 분산 용액에 현탁된 자분 등의 검출 매체가 적용된다. 가시성을 향상시키기 위해 색대비 보조페인트(Contrast paint)가 먼저 적용될 수도 있다.

(가) 건조한 자성 입자는 표면에 놓이면 이동성을 잃는다는 단점을 가진다. 그렇지만 거친 표면과 뜨거운 표면에서는 액체 자기잉크가 더 큰 이동성 문제를 가지고 있기 때문에 건조한 자성 입자가 선호된다. 액체 자기잉크는 건조한 입자보다 더 높은 민감성을 가진다.

(나) 용제와 물을 기초로 한 자기잉크들 사이의 선택은 표면을 적시는 능력, 가연성 그리고 용제 기초 잉크의 안전성과 물 기초 잉크의 잠재적인 부식 효과를 고려하여 행한다.

(다) 연속법은 자화 조작 중에 검출 매체 적용을 시키며, 잔류법은 자화 조작을 종료한 후에 자분을 적용한다.

(라) 건식법은 자분과 검사면이 충분히 건조된 후에 적당량의 자분을 살포한다. 습식법은 검사 대상체에 검사액을 뿌리거나 자분이 잘 분산되어 있는 검사액 속에 검사 대상체를 담근 후 꺼내는 방식으로 자분을 적용한다.

(4) 지시 형태를 관찰한다. 조명 수준은 결함을 관찰하는데 중요하다. 지시 형태와 피검사물 표면의 색깔을 고려하여 자성 입자의 종류를 선택한다. 형광 검출 매체는 자외선 아래에서 미세한 균열의 가시성을 향상시킨다.

(가) 지시의 관찰은 지시가 형성된 직후에 흠집에 의한 지시인지 흠집에 의하지 않은 거짓 지시인지를 확인한다.

(나) 비형광 검출 매체를 사용한 경우 자연 조명이나 인공 조명 아래에서 관찰하며, 형광 검출 매체를 사용한 경우 자외선 조사 장치를 사용하여 어두운 곳에서 관찰한다.

(5) 검사했을 때와 같은 자화기법으로 자기장의 방향을 교대로 바꾸면서 자기장의 세기를 줄여가면서 탈자를 수행한다. 탈자할 때 초기에 가하는 자기장의 세기는 검사할 때 자기장의 세기보다 큰 값이거나 검사 대상체가 포화 자화되는 자기장의 세기로부터 영에 가까워지도록 감소시켜야 한다.

5.2.2 침투탐상검사 절차[8)]

(1) 검사 대상체에 침투액을 적용하기 전에 표면처리와 세척을 실시한다.

(가) 유지류, 도료, 녹, 스케일, 오염 등 표면의 부착물 및 흠집 속에 잔류해 있는 유지류, 수분 등을 충분히 제거하여 표면을 준비한다.

(나) 부착물의 종류와 정도, 검사 대상체의 재질을 고려하여 용제에 의한 세척, 증기 세척, 도막 박리제, 알칼리 세제, 산 세척 등의 방법을 사용할 수 있다.

(다) 표면 준비와 세척 이후 충분한 건조가 필요하며, 이후 육안검사가 보통 실시된다.

(2) 침투액을 검사 대상체에 도포한다. 검사체의 모양, 치수, 수량 및 침투액의 종류에 따라 침지, 붓기, 분무 및 붓칠의 방법을 통해 침투처리를 하고, 침투제가 불연속부 안으로 들어갈 시간을 준다. 침투액은 <표 1>의 과잉 침투액 제거 방법에 따라 수세성 침투액, 용제 제거성 침투액, 후유화성 침투액으로 분류한다.

(가) 침투시간은 침투액의 종류, 검사 대상체의 재질, 흠집의 종류와 크기를 고려하여 <표 4>와 같이 정한다.

<표 4> 침투시간과 현상시간

재질	제품	흠집의 종류	모든 종류의 침투액	
			침투시간 (분)	현상시간 (분)
알루미늄, 마그네슘, 구리, 타이타늄, 철강	주조품, 용접부	콜드셧, 융합불량, 기공, 균열	5	7
	압출품, 단조품, 압연품	겹침, 균열	10	7
카바이드 팁붙이 공구	-	융합 불량, 균열, 기공	5	7
플라스틱, 유리, 세라믹스	모든 제품	균열	5	7

8) KS B 0816:2021개정 5.3 내용을 기초로 재구성

(나) 침투액의 침투능력과 과잉 침투액의 세척을 고려하여 수세성 침투액, 용제 제거성 침투액 등 침투액의 종류를 선택한다.

(다) 후유화성 침투액(Post emulsifiable penetrant)을 사용하는 경우, 기름 또는 물 세척 후에 제거를 돕기 위해서 유화제를 사용한다. 유화제는 침지, 붓기 및 분무의 방법으로 균일하게 유화 처리되도록 한다. 유화제 및 침투액의 종류, 온도, 검사 대상체의 표면 거칠기에 따른 유화 시간을 거친다.

(3) 검사 대상체에 부착되어 있는 과잉 침투액을 제거하는 세척 처리와 제거 처리과정을 실시한다. 수세성 및 후유화성 침투액은 물로 세척하며, 용제 제거성 침투액은 헝겊 또는 종이 수건과 세척액으로 제거한다. 검사 대상체를 세척액에 침지하거나 세척액을 다량으로 적용하지 않도록 주의한다.

(4) 과잉 침투액이 제거되면 결함 내의 침투액을 표면으로 끌어내고 결함을 나타내기 위하여 현상제를 적용한다. 현상제는 침투액 및 피검사물에 적합한 것이어야 한다. 현상제는 침투액을 표면으로 끌어내고 결함을 지시할 수 있도록 <표 4>에 나타낸 시간 그대로 둔다.

(가) 건식 현상제를 사용한 건식 현상법의 경우, 현상제를 검사 대상체 전체에 균일하게 덮이도록 적용하고 소정의 시간을 유지한다.

(나) 습식 현상제를 사용하였다면, 검사 대상체를 세척 처리 후 그대로 습식 현상제 속에 침지하거나 분무, 붓기 및 붓칠 중 한 방법으로 현상제를 적용하고, 과잉 현상제는 재빨리 배액하여 건조처리를 한다.

(다) 속건식 현상제를 사용하였다면, 건조처리 후 현상제를 분무, 붓기 또는 붓칠로 적용하고, 검사 면을 자연 건조시킨다. 현상제 속에 검사 대상체를 침지하지 않는다.

(5) 지시 형태를 관찰한다. 조명 수준은 결함을 관찰하는데 중요하다. 형광 침투액은 자외선 아래에서 미세한 균열의 가시성을 향상시킨다. 현상제 적용 후 7분에서 60분 사이에 침투 지시를 관찰하며, 침투 지시가 나타나면 관련 침투 지시인지 의사 지시인지를 확인한다.

(가) 형광 침투액을 사용할 때, 관찰하기 전에 1분 이상 어두운 곳에서 눈을 적응시키고 나서 검사 대상체 표면에 800 $\mu W/cm^2$ 이상의 자외선을 비추면서 관찰한다.

(나) 염색 침투액을 사용할 때, 검사 면의 조도가 500 lx 이상인 자연광 또는 백색광 아래에서 관찰하는 것이 바람직하다.

6. 검사 유의사항

6.1 결함 유형

(1) 결함 유형은 검사방법을 선택하고 적용하는데 중요한다. 침투탐상검사는 원형 결함에 특히 민감한 반면, 자분탐상검사는 균열과 선형 불연속 결함에 적합하다.

(2) 자분탐상검사에서 결함 유형에 대한 유의사항은 다음과 같다.

(가) 결함에 대하여 수직에 가깝게 자기장을 형성시키기 위하여 균열의 방향을 아는 것이 필요하다. 자분탐상검사의 신뢰도를 높이기 위하여 검사원은 피검사물의 특성과 함께 결함의 유형, 방향 및 크기에 대하여 정확한 정보를 얻어야 한다.

(나) 흠집의 방향을 예측할 수 없거나 여러 방향의 흠집을 검출하여야 한다면, 적어도 2방향 이상의 다른 방향의 자기장을 검사 대상체에 가해 각 방향마다 각각 검사를 실시하여야 한다.[9)]

(다) 피검사물 표면에 있는 불연속부(균열, 금속 내부의 겹침, 접힘, 이음매, 게재물, 기공 등)로 인한 지시는 자분 축적으로 명확한 가장 자리를 가지며, 표면 아래에 존재한 불연속부로 인한 지시는 넓고 흐릿해 보이는 특징을 갖는다.[10)]

(3) 침투탐상검사에서 결함 유형에 대한 유의사항은 다음과 같다.

(가) 균열의 벌어진 정도는 침투탐상의 검사시간에 영향을 미친다. 또한 균열 내에 존재하는 산화물이나 이물질은 검사에 해로운 영향을 미친다. 이러한 결함과 관련된 변수들은 잘 알 수가 없으므로, 특정한 결함 유형에 대한 경험을 기초로 하여 검사 시간 등의 검사 계획이 수립되어야 한다.

(나) 검사 발주자는 검사원에게 탐지해야 하는 결함의 유형과 크기에 대하여 분명히 설명하여야 한다. 이런 설명에는 결함 특성의 가능한 범위, 특히 표면에서 예상되는 결함 모양과 방향에 대한 가능한 많은 정보를 포함하여야 한다.

(다) 결함에 대한 자세한 설명이 가능하지 않을 때에는 검사원에게 보고해야 하는 결함의 유형, 방향과 크기를 알려야 한다.

---

9) KS D 0213:2023개정 8.8b) 적용
10) US Airforce manual 적용

(라) 탐지되어야 하는 결함을 묘사하는 것에 더하여, 측정되어야 하는 결함의 특징들을 구체적으로 설명하여야 한다.

(마) 검사 설계는 결함 설명에 기초하여야 한다.

(바) 검사 절차는 적절한 자격을 가진 검사원에 의해 설계되고 승인되어야 한다.

(사) 검사원은 검사한 피검사물의 범위를 보고해야 한다.

6.1.1 자분탐상검사의 지시

(1) 재질과 형상상태, 제조 방법에 따라 자분탐상검사의 관련 지시가 나타날 수 있는 경우는 다음과 같다.

(가) 피로균열은 일반적으로 표면에서 시작하므로, 강자성 재료의 자분탐상검사로 쉽게 지시가 나타난다. 피로균열의 지시는 길이 전체에 걸쳐 균일하고 끊어지지 않고 날카롭고 선명한 패턴을 갖는다.

(나) 응력부식균열은 매우 얕은 균열부터 깊은 균열부터 다양하기 때문에, 강자성 재료의 응력부식 균열의 지시는 다양한 형태의 지시를 갖는다.

(다) 소성가공 중에 발생하는 이음매(Seam)으로 인한 지시는 보통 곧고 날카로우며 미세하다. 표면 아래에 있는 경우 지시가 간헐적이거나 보이지 않을 수 있다.

(라) 소성가공 중에 발생하는 겹침(Lap)으로 인한 지시는 굵고 불규칙하다. 겹침 내부에 스케일이 포함되어 있으면, 작은 고사리 모양의 지시들이 뻗어나오는 형상이다.

(마) 소성가공 중에 발생하는 표면 또는 표면 근처의 파열(Burst)은 얇고 날카로운 지시를 나타낸다.

(바) 절삭가공으로 인해 형성된 찢김(Tear)는 가공 방향과 직각의 짧고 불규칙한 선형 패턴의 지시를 나타낸다.

(사) 담금질 열처리 시 발생한 열처리 균열은 키, 스플라인, 나사산 등의 뿌리가 발생하기 쉬운 지점에서 얇고 날카로운 자분 패턴의 지시를 나타낸다.

(아) 용접 결함인 용입 부족은 표면 근처에 있다면 넓고 흐릿한 지시를 나타낸다.

(자) 용접 결함인 융합 부족은 용접부 가장자리를 따라 나타나며 약한 패턴의 지시를 나타낸다.

(차) 표면 혹은 표면 근처에 존재하는 용접 결함 (수축 균열, 언더컷, 크레이터 균열, 열영향부 균열)은 자분탐상검사를 통해 찾아낼 수 있다.

(카) 표면 연삭 균열은 검출 매체의 큰 축적이 되지 않아 단일 선형 지시부터 다양한 방향을 가진 그룹패턴까지 다양한 형태의 지시를 나타낸다.

(타) 다양한 제작공정 중에 생성되는 블로우홀, 편석, 기공, 비금속개재물은 표면 또는 표면근처에 존재한다면, 자분탐상검사를 통해 지시를 형성한다.

(2) 자분탐상검사에서 비관련지시가 나타날 수 있는 경우는 다음과 같다.

(가) 두 이종 금속 간 마찰용접, 플래시 용접 등과 같이 서로 다른 투자율을 가진 두 개의 강자성 금속 사이의 용접부 또는 강자성 금속과 비자성 재료 사이의 용접부에서는 접합부가 결함이 없는 건전한 상태라도 지시가 발생할 수 있다.

(나) 납땜이나 브레이징 등과 같이 비자성 접합 재료로 연결된 두 강자성 금속의 접합부에서는 접합부가 결함이 없는 건전한 상태라도 지시가 발생할 수 있다.

(다) 합금의 미세 조직이 서로 다른 투자율을 가진다면 지시를 유발할 수 있다. 고탄소강 내의 저탄소 영역이나 오스테나이트계 강 내의 자성을 가지는 페라이트 영역, 동일한 합금으로 용접된 부품의 용접부 및 열영향부 등이 그 예이다.

(라) 냉간가공 금속은 투자율의 변화를 겪게 되어 투자율 변화된 영역의 경계에서 지시를 유발할 수 있다.

(마) 피검사체의 특정 영역이 다른 경도를 가지는 경우 일반적으로 투자율도 달라지게 된다. 이로 인해 해당 영역의 경계에서 지시를 형성할 수 있다.

(바) 키 홈, 기어 및 스플라인와 같이 급격한 단면 변화가 있는 부위에서 자기장 누설 또는 왜곡으로 인해 결함이 없더라도 지시가 발생할 수 있다. 결함이 없다면 흐릿하게 지시가 나타나지만, 결함이 있다면 더 선명한 지시를 생성한다.

6.1.2 침투탐상검사의 지시

(1) 재질과 형상상태, 제조 방법에 따라 침투탐상검사의 지시 및 특징은 다음과 같다.

(가) 연속 선형지시는 균열, 이음매(Seam) 및 겹침(Lap)과 같은 불연속부로 인해 나타날 수 있다. 균열은 보통 들쭉날쭉한 선으로 나타나고, 이음매와 겹침은 매끄럽고 물결 모양의 선으로 나타난다.

(나) 간헐적 선형지시는 단조 겹침(Forging lap)이나 기계적 스미어링(Mechanical smearing action)에서 나타날 수 있다. 매우 미세한 균열도 간헐적 선형지시가 나타날 수 있다.

(다) 원형 지시는 금속 부품 표면의 기공, 용접 크레이터 등에서 나타날 수 있다.

(라) 내부의 기공, 게재물은 침투 지시를 형성하지 않으나, 표면에 개방되어 있을 경우 지시가 나타날 수 있다.

(마) 피로 균열은 일반적으로 표면에서 발생하기 때문에 침투 지시가 나타난다.

(바) 응력과 부식 작용의 조합으로 발생하는 응력부식균열에서 침투 지시가 나타날 수 있다. 다만, 부식 생성물로 인해 오염되어 있거나 높은 압축 잔류 응력 하에서는 탐상에 영향을 미칠 수 있다.

(사) 입계부식(Intergranular corrosion)이나 공식(Pitting corrosion)에서는 침투 지시가 나타날 수 있다.

(아) 표면에서의 용접 결함 (용입부족, 융합부족, 용접 비드 및 열영향부에서의 용접 균열)은 침투 지시가 나타난다.

(자) 담금질 시 발생한 열처리 균열은 패턴을 형성하지 않는 지시를 나타낸다.

(차) 소성가공 중에 발생할 수 있는 겹침(Lap), 찢김(Tear), 이음매(Seam)에서 침투지시가 나타날 수 있다. 겹침은 물결 모양의 불규칙한 선형지시를 생성하며, 희미하거나 간헐적일 수 있다. 찢김과 이음매는 각각 짧은 선형, 길고 직선적인 불연속이 특징이다.

(카) 경화된 표면의 연삭 균열은 얕고 뿌리가 날카로운 표면 균열로서 불규칙 혹은 흩어져 있는 미세한 선 패턴의 지시를 형성한다.

(3) 어떤 종류의 불연속부와도 관련이 없는 거짓 지시는 침투제의 세척이 적절하지 못하거나 외부 오염 발생할 때 나타날 수 있다.

(4) 압입, 키, 스플라인 또는 점용접된 물품에 나타나는 지시나 주물에 느슨하게 붙어있는 스케일에서는 비관련지시가 나타나 올바른 해석을 할 수 없게 만들기 때문에, 주의깊게 기록해야 한다.

6.2 피검사물 형상

(1) 피검사물 형상은 자분탐상검사와 침투탐상검사 모두에 영향을 끼친다. 용접부의 끝이나 캡, 나사부 등과 같이 단면이 갑자기 변하는 부분은 잘못된 지시를 나타낼 수 있다.

(2) 자분탐상검사와 침투탐상검사 모두 침투액 또는 자분이 피검사물 표면 위를 흘러갈 필요가 있고, 지시를 나타내는데 요구되는 시간 동안 침투액 또는 자분이 검사 영역 내에서 평평하게 분포할 필요가 있지만, 피검사물의 형상과 방향이 이러한 점을 어렵게 할 수 있다.

(3) 자분탐상검사에 대한 피검사물 형상의 영향과 유의사항은 다음과 같다.

(가) 피검사물에 유도된 자속밀도는 피검사물의 형상 및 자기적 특성에 따라 달라진다. 그리고 결함 있을 것으로 예상되는 영역에서 적절한 자속밀도가 형성되도록 하는 것이 중요하다.

(나) 자석을 사용하는 경우 자극 근처에서, 전류 흐름이 사용되는 경우 프로드(Prod, 휴대용 전극)[11]나 케이블 근처에서 자속이 최대가 된다. 만약 요구되는 자속밀도가 자극 또는 프로드로부터 떨어져 생성되면 자극 또는 프로드 근처 자속값이 너무 높을 수 있고, 이 때문에 검사의 질이 떨어질 수 있다.

(다) 요구되는 자속밀도 값이 최대값 근처이면 자극 또는 프로드에서 멀리 떨어진 곳에서의 자속밀도는 너무 낮은 것을 의미한다. 이러한 문제를 피하기 위하여 피검사물의 형상과 자성 특성 모두를 고려한 주의 깊은 검사설계가 필요하다. 예를 들어 1회의 연속되는 검사 과정에 의해 검사면 전체를 검사할 수 없다면, 검사면을 적당하게 분할하여 필요한 횟수로 검사 과정을 반복한다.

(4) 침투탐상검사에 대한 피검사물 형상의 영향과 유의사항은 다음과 같다.

11) KS B ISO 12707:2016(2020제정) 2.38

(가) 신뢰성 있는 검사를 위하여 피검사물의 구체적인 모양과 자성 특성들이 검사 절차를 설계할 때 고려되어야 한다.

(나) 피검사물의 모양과 방향에 따라 침투액이 다른 곳에서 흘러와 어떤 영역에 모일 수 있고, 피검사물에서 초과 침투액을 제거하려고 할 때에도 문제가 발생할 수 있다.

(다) 피검사물의 모양에 따라 적용될 기술이 결정되기도 한다. 예를 들어 수세성 침투액은 일반적으로 가느다란 피검사물에 사용된다.

(라) 자격을 갖춘 검사원이 검사 설계를 하거나 적절한 검사 절차를 승인해야 한다.

(마) 피검사물의 모양 등이 새로운 경우 필요하다고 판단되면 검사원들은 결함을 포함한 대표적인 시험편에 대하여 훈련과 연습을 하여야 한다.

6.3 피검사물 재료

(1) 일반적으로 자성 물질에는 자분탐상이 적용되고 비금속을 포함한 비자성 물질에는 침투탐상이 적용된다. 그러나 모넬(Monel)과 같이 자분탐상으로 검사하기 힘든 자성 물질이 있고, 이 경우는 침투탐상이 적용된다.

(2) 자분탐상검사에 관한 피검사물 재료의 영향과 유의사항은 다음과 같다.

(가) 피검사물은 자분탐상 전에 철저히 탈자해야 한다. 만약 피검사물에 잔류 자장이 있으면 검사의 감도(Sensitivity)[12]가 줄어들거나 잘못된 지시가 나타날 수 있다.

(나) 프로드 또는 자극 간격을 결정하거나 전류 등을 계산할 수 있도록 피검사물의 자성 특성을 알아야 한다.

(다) 용접부와 모재 사이의 투자율(Permeability)의 차이는 잘못된 지시를 나타낼 수 있다.

(라) 만약, 용접 후 열처리가 지정되었다면, 검사는 최종 열처리 후에 수행되어야 한다. 압력용기 용접부가 열처리 후 내압 시험을 한 후에는 극간법으로 하고 프로드법은 사용하지 않아야 한다.[13]

12) KS B ISO 12706:2009(2022제정) 2.27적용
13) KS D 0213:2023개정 8.8f) 적용

(마) 비표준 물질의 경우 검사원은 결함을 포함하는 대표적인 시험편에 대하여 특별한 훈련을 받거나 연습할 기회를 가져야 한다.

(3) 침투탐상검사에 관한 피검사물 재료의 영향과 유의사항은 다음과 같다.

(가) 침투탐상검사는 피검사물의 종류에 덜 의존적이나 표면 위의 산화물 층이나 다른 오염물질에 의해 영향을 받는다. 또한 침투액과 세척액은 함께 사용할 수 있는 것인지 평가하여야 한다.

(나) 비표준 물질에 대한 검사 절차는 자격이 있는 검사원에 의해 설계되거나 승인되어야 한다. 필요한 경우 시험절차는 피검사물과 동일한 재료로 된 대표적인 시험편을 사용하여 개발되어야 한다.

6.4 표면 상태와 코팅

(1) 표면 거칠기는 표면 위의 입자의 흐름을 제한하고 잘못된 지시를 보임으로써 두 방법에 불리한 영향을 끼친다. 자분탐상에서 프로드 또는 자극과 피검사물 사이의 접촉을 줄일 수 있고, 침투탐상검사에서 세척하기 어렵게 할 수 있다.

(2) 표면 다듬질의 정도는 발견할 수 있는 결함의 최소 크기와 검사의 효율과 잘 맞아야 한다. 다양한 표면 다듬질에 대하여 자분탐상검사에서 신뢰성 있게 결함을 탐지할 수 있다.

(3) 용접부 끝단과 같은 계단 모양의 표면 변화는 잘못된 지시를 이끌어 낼 수 있고, 실제 결함지시를 발견하지 못하게 할 수도 있다. 이러한 변화는 완화할 필요가 있고, 스패터(Spatter)와 같은 표면 불규칙은 검사 이전에 제거할 필요가 있다.

(4) 자분탐상검사에 관한 표면 상태의 영향과 유의사항은 다음과 같다.

(가) 자분탐상검사는 숨겨진 코팅 밑에 결함을 탐지하는 능력이 있다.

(나) 색 대비 보조페인트는 결함의 가시성을 향상시키기 위해 피검사물 위에 종종 적용된다. 고착된 페인트와 같은 비자성 피막은 대략 50 ㎛ 까지 검출감도에 영향을 미치지 않으나, 색 대비 보조페인트의 적용 시 주의하여야 한다.

(다) 만약 검사가 50 ㎛보다 더 두꺼운 코팅을 가진 피검사물에 대하여 수행되어야 한다면 와전류탐상과 같은 다른 방법을 고려하여야 한다.

(5) 침투탐상검사에 관한 표면 상태의 영향과 유의사항은 다음과 같다.

(가) 침투탐상검사는 표면으로 열려진 결함만을 탐지하므로 표면 다듬질에 대한 요구 정도는 자분탐상에 비해 높다. 숏 블라스팅 같은 기계세척은 균열 입구를 막을 수 있고 이것은 검사 감도를 감소시키므로 가능한 피해야 한다.

(나) 도색과 코팅이 검사에 영향을 끼치는 경우 검사 이전에 제거해야 한다.

(다) 만약 코팅이 제거 되지 않으면 도색이나 코팅의 두께를 확인하고 코팅이 단단히 표면에 결합되었는지 확인해야 한다.

(라) 전기적 접촉이 행해지는 지점의 도색은 항상 제거되어야 한다.

(마) 만약 50 ㎛를 초과하는 두께의 도색층이 제거되지 않는다면 와전류탐상과 같은 다른 방법을 이용해야 한다.

(바) 검사 절차에서 결함의 최소 크기에 상응하는 표면 다듬질의 수준을 정의하여야 한다.

(사) 검사원은 피검사물의 표면 다듬질이 검사 절차의 요구 사항을 충족시키고 검사에 충분함을 확인하여야 한다.

(아) 기계적 세척은 결함이 닫히는 것을 피하기 위해서 침투탐상검사 이전에 주의를 기울여 적용되어야 한다. 만약 결함을 다시 여는데 필요하다고 판단되면 산 에칭의 사용을 고려해야 한다. 이때 에칭이 피검사물 재료에 영향을 미치지 않아야 한다.

6.5 세척

(1) 세척은 침투탐상검사와 자분탐상검사의 성공적인 수행에 중요한 요소이다.

(2) 특정한 검사에서 세척 요구사항을 검사 절차에서 구체화하여야 하고, 검사원은 세척 결과가 만족스러운지 확인하여야 한다. 문제점이 있는 경우 검사 보고서에 기록하여야 한다.

(3) 만약 잔류 물질이 피검사물 재료나 이후 표면 처리에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있는 경우 두 기술의 적용 후 검사 표면을 세척해야 한다. 이러한 과정을 검사 절차에서 구체화하여야 한다.

(4) 자분탐상검사에 관한 세척의 영향과 유의사항은 다음과 같다.

(가) 자분탐상검사에서 입자의 이동성은 먼지, 녹, 스케일, 그리스, 용접스패터, 기름 및 물과 같은 성질이 다른 물질의 존재에 의해 상당히 영향을 받았다.

(나) 어떤 유형의 부식 부산물은 그것들의 경계에서 잘못된 지시를 나타낸다.

(다) 만약 건조한 입자가 사용된다면 그 표면은 세척 후에 철저히 건조시켜야 한다.

(5) 침투탐상검사에 관한 세척의 영향과 유의사항은 다음과 같다.

(가) 결함의 입구를 막는 먼지나 표면의 그리스 또는 용제도 탐지 능력에 좋지 않은 영향을 미친다.

(나) 표면 오염 물질의 존재와 성질을 확인하여야 하고 오염 물질은 적절한 용제 또는 세제로 제거하여야 한다.

(다) 검사 절차에서 사용될 세척 방법을 구체화하여야 한다.

(라) 검사원은 표면이 충분히 깨끗했는지 검토하여야 하고, 문제가 있는 경우 검사 보고서에 기술하여야 한다.

(마) 검사 절차는 검사 후 세척 요구사항을 명시하여야 한다.

6.6 접근

(1) 자분탐상검사와 침투탐상검사는 검사표면에 물리적인 접근이 필요하므로, 원격 검사가 필요한 곳에서는 다른 검사 방법이 사용되어야 한다.

(2) 비파괴검사 표준에 명시된 적절한 조명 레벨을 적용하여야 하고, 비파괴검사 표준의 준수 여부를 확인하기 위해 조명 수준을 측정하여야 한다.

(3) 검사 표면으로의 접근을 위한 안정된 플랫폼이 제공되어야 한다. 불안정한 플랫폼은 검사원의 집중도에 영향을 미칠 수 있다. 또한, 로프를 사용하여 검사 표면에 접근할 경우 효과적인 검사를 위한 훈련과 평가가 요구된다.

(4) 접근을 제한하는 방해물은 제거되어야 한다.

(5) 검사 표면에 접근하는 것이 본질적으로 어려울 때는 와전류탐상 등 다른 검사법의 적용을 고려하여야 한다.

(6) 검사원은 검사를 방해하는 모든 사항을 보고하여야 한다.

6.7 검사원 수행 능력

(1) 침투탐상검사와 자분탐상검사의 효과적인 적용을 위하여 검사원은 물리적인 원리 이해를 할 수 있도록 훈련되어야 한다. 또한, 검사 방법에 대한 절차서가 필요하다.

(2) 지시에 대한 정확한 해석을 위해 결함의 유형과 크기에 대해 상세히 기록한 절차서가 검사원에게 제공되어야 한다. 또한, 검사원은 비관련 지시나 거짓 지시가 나타나게 된 원인을 분석할 수 있도록 훈련되어야 한다.

(3) 좋은 접근과 작업 환경은 검사원의 능력을 향상시킨다. 검사가 수행되는 장소의 대기 온도, 먼지, 피검사물로부터의 대피장소, 보호복 등을 고려하여야 한다.

(4) 부당한 시간 압박과 과도하게 긴 근무 시간은 검사 품질 저하의 원인이 된다. 검사를 수행하는 지속 검사 시간은 최대 2 시간으로 제한하는 것이 권장된다. 주어진 시간 동안 최대한의 검사 물량을 수행하도록 장려하는 것은 검사 품질의 저하로 이어질 수 있기 때문이다.

(5) 검사원의 시력은 가장 중요하고 적절한 표준에 요구된 대로 정기적으로 확인해야 한다.

(6) 최대한의 검사 신뢰도가 요구될 때에는 인적 오류 최소화를 위해 검사 혹은 결함 지시 해석을 독립적으로 여러 번 반복할 수 있다.

(7) 검사원은 적절한 훈련과 자격 심사를 받아야 한다. 필요한 경우 검사원은 검사 이전에 실제 시험편에 대한 연습을 하여야 한다.

6.8 검사 조직과 조달

(1) 비파괴검사가 효과적이려면, 결함 유형이 지시에 미치는 영향이 정의되어야 한다. 검사 방법을 선택하고 검사 절차를 앞에서 언급한 검사유의사항을 고려하여 기록하여야 한다.

(2) 계약에서 구매자와 공급자 간의 상대적인 책임을 명확하게 정의하여야 한다.

(3) 주어진 시간 동안 검사 물량을 최대화하도록 하는 장려책은 검사 품질의 저하로 이어진다. 계약할 때 비파괴검사 회사가 빠른 검사를 위하여 안전과 품질을 경시하지 않도록 주의할 필요가 있다.

(4) 비파괴검사 업체들은 자체 품질관리 시스템이 있어야 한다. 이러한 시스템은 소모품의 구매와 관리, 회사의 조직, 검사품질의 관리 방법 등과 감사를 포함하여야 한다.

(5) 비파괴검사 업체의 인증 제도는 자체 품질관리 시스템에 대한 신뢰를 구매자에게 줄 수 있다.

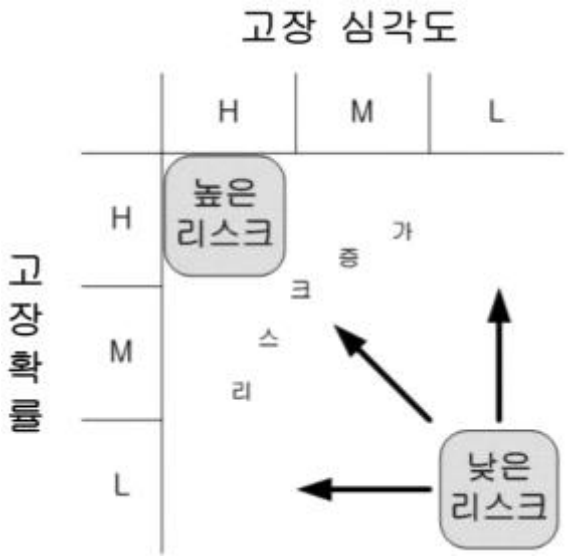
(6) 비파괴검사 업체의 검사원은 개인으로가 아닌 업체의 관리 하에서 작업을 하는 것이다. 검사원을 구매자가 직접 고용한 경우는 구매자의 품질관리 시스템 내에서 작업하여야 한다.

7. 검사의 효과

(1) 검사를 의뢰하는 사람은 어떤 검사 방법이 그들의 목적에 적합한지를 판단하고 결정하여야 한다.

(2) 추가적으로 대상체의 고장 리스크를 줄이는 데 요구되는 검사의 역할과 효과를 고려하여야 한다. 대상체의 고장 리스크(Failure risk)는 고장 심각도(Consequence)과 고장 확률의 조합으로 결정된다. 고장 심각도는 안전이나 고장에 따른 경제적인 영향과 관련이 있다.

(3) 검사는 확률을 줄임으로써 리스크를 줄일 수 있다. 고장 확률은 대상체에 존재하는 결함의 존재 가능성과 관련이 있다. 만약 고장 심각도와 고장 확률이 각각 높음(H), 중간(M), 낮음(L)으로 표시된다면 그것들이 결합된 효과들은 <그림 2>와 같은 3×3 행렬이 된다.



<그림 2> 고장 심각도와 고장 확률의 리스크와의 관계

(4) 검사의 효과는 검사를 통한 고장 확률의 감소 정도에 따라 1(낮음), 2(중간) 및 3(높음)의 세 가지 레벨 척도로 평가된다. 을 높은 고장 확률에서 낮은 고장 확률로 줄이기 위해서는 높은 레벨의 검사가 요구된다. 반면 중간의 고장 확률에서 낮은 고장 확률로 고장 확률을 줄이는 경우에는 중간 레벨의 검사가 요구된다.

(5) 예를 들면, 고장 심각도가 중대한 경우에는 검사는 고장 확률을 낮은 수준으로 줄일 수 있어야 한다. 그러므로 고장 확률이 높은 경우 검사 효과는 3(높음)이 되어야 한다. 그러나 실제에서는 검사 효과를 결정하기 전에 비파괴검사의 기여를 먼저 평가하여야 한다.

(6) 반대로 고장 심각도가 낮고 고장 확률이 중간이거나 낮은 경우에는, 검사는 리스크를 줄이는 제한된 능력을 가지면 되고, 일상의 유지관리 프로그램의 일부로서 수행할 수 있다.

8. 안전 대책

(1) 자분탐상검사와 침투탐상검사의 적용은 다음과 같은 몇 가지 안전관련 사항을 가지고 있다.

(가) 검사에 사용되는 연무제, 염색제, 현상제, 잉크와 다른 화학 물질의 독성과 가연성의 정도

(나) 자외선 램프의 사용

(다) 자외선 램프 사용 시의 낮은 조명으로 인한 미끄러짐, 헛디딤과 넘어짐

(라) 접근(Access)

(마) 밀폐 공간에서의 작업

(바) 세척액의 독성과 밀폐 공간에서의 사용

(사) 검사 기구의 전기안전

(아) 작동중인 설비의 세척

(자) 고소작업

(차) 본질 안전장치

(카) 작동중인 설비에서의 작업과 작업에 대한 허가

(2) 자분탐상검사와 침투탐상검사에서는 유해성, 인화성 및 휘발성 재료의 사용이 요구되므로, 사용된 화학 물질의 제조자가 권고하는 안전 예방 조치를 준수하여야 한다. 이에 대한 책임은 회사, 조직 및 작업자에 있다. 자외선 램프에 대해서도 동일하다.

(가) 일반적으로 침투제 재료는 높은 인화점을 가진 가연성 재료로서 미스트 형태로 분사될 때 점화 가능성이 높아져 위험성이 높아질 수 있고, 메스꺼움을 유발할 수 있는 휘발성 용제가 포함되어 있다. 작업장은 충분히 환기되어야 하고, 열원, 불꽃 및 노출된 화염에 떨어져 있어야 한다. 적절한 환기가 보장되지 않는 경우 보호구를 착용하여야 한다.

(나) 자외선 (UV-A)광원은 항상 양호한 상태로 유지되어야 한다. 자외선 램프는 작동 중 고온에 이르므로, 가연성 증기가 있는 곳에서 작동을 하지 않는다. 하우징에 신체 접촉을 하지 않도록 주의한다. 자외선에 대해서는 UV 필터링이 된 고글을 사용한다.

(다) 침투탐상검사의 침투제 재료의 취급 시 안전장갑을 권장하며, 승인되지 않은 대체품은 착용하지 않는다. 장갑 내부는 항상 깨끗하게 유지하고, 신체 노출 시 비누와 물로 씻는다. 자분탐상검사의 습식법에 사용되는 오일과 페이스트에 지속적으로 노출될 경우, 피부염 등을 유발할 수 있어 장갑을 착용하도록 한다.

(라) 에어로졸 캔은 가열되면 압력이 증가하여 파열될 수 있고, 가연성 물질은 미세하게 분말화되어 공기 중에 분산되면 점화 가능성이 있다. 따라서, 자분탐상검사와 침투탐상검사에 사용되는 재료는 직사광선을 피해 서늘하고 건조한 곳에 보관한다.

(3) 자분탐상검사는 검사 중인 대상체와 자화 장비 주위에 종종 높은 자기장을 형성한다. 이러한 자기장에 민감한 품목들은 이 영역에서 제외되어야 한다.

(4) 침투탐상검사와 자분탐상검사의 검사 라인 앞에는 전기적 위험성과 미끄러짐을 방지하기 위해 고무 절연 바닥 매트를 사용한다.

(5) 고정식 자분 탐상 장비의 접촉 불량으로 인한 아크 또는 과도한 자화 전류는 눈에 상해를 입힐 수 있고, 가연성 자분 용액을 점화시킬 수 있다. 이러한 가능성을 방지하기 위해 헤드 스톡과 검사 대상 부품 간의 양호한 전기적 접촉을 보장해야 한다. 헤드 스톡을 자분 용액으로 적시는 방법은 아크 발생 가능성을 줄일 수 있다.

(6) 50 °C 초과 온도, 10 °C 미만 온도, 극저온 등 특정 온도 환경에서의 관련 위험성을 추가적으로 고려하여야 한다.

(가) 50 °C 초과의 고온 환경에서 탐상은 피부 화상, 가연성 및 휘발성이 온도 변화에 따라 변화하는 잠재적 위험을 고려하여야 한다.

(나) 10 °C 미만 온도에서 가열기를 사용할 때, 탐상제의 증기 또는 스프레이가 화염이나 가열 표면에 닿지 않도록 주의한다. 검사자는 저온의 부품에 접촉되지 않도록 옷과 장갑을 착용해야 한다.

(다) 극저온 환경에서는 침투탐상검사의 일부 장비가 제대로 작동하지 않을 수 있으므로, 사용 전에 천으로 덮거나 검사자 신체에 가깝게 하여 장비들을 허용 가능한 온도로 유지하거나 기능을 발휘할 수 있도록 조치가 취해져야 한다.

(7) 자성 고무의 검사 시에는 다음과 같은 안전 주의사항이 있다.

(가) 자성 고무에는 유해물질이 포함될 가능성이 있어, 물질안전보건자료를 참조하여야 한다.

(나) 자성 고무의 성분인 실리콘 오일은 바닥 표면을 미끄럽게 만들 수 있어 주의하여야 한다.

(다) 전자석을 사용하여 자화시키는 방식으로 자성 고무 검사 수행 시에는 검사 대상체가 반드시 접지되어야 한다.

기술지원규정 개정 이력

□ 개정일 : 2026. 1. 30.

○ 개정자 : (사)고경력과학기술연우총연합회

○ 개정사유 : 검사방법, 결함사례, 안전대책 등 관련 내용 최신화

○ 주요 개정내용

- “3. 용어의 정의” 항목 추가 및 KS 부합화하여 용어 수정
- 4번 항목 법적 필수사항 추가
- “5.2 적용 방법 및 절차” 내용 보강하여 “5.2.1 자분탐상검사 절차” “5.2.2 침투탐상검사절차” 신설
- “6.1 결함 유형”에서 재질, 형상, 제조방법에 따라 나타날 있는 결함에 대한 지시의 특징 추가 (“6.1.1 자분탐상검사의 지시” 및 “6.1.2 침투탐상검사의 지시”신설)
- “6.6 접근” “6.7 검사원 수행 능력” “6.8 검사 조직과 조달” 표현 수정
- “7. 검사의 효과” 표현 수정
- “8. 안전 대책”에서 내용 보강하여 항목 추가

KOSHA GUIDE
기술지원규정

·규정번호 : B-M-30-2026
·심　　의 : 산업안전보건표준제정위원회
·공 표 일 : 2026. 1. 30.