

부울경 제조업 적응 가이드북 — 용접편

아크를 켜기 전에 확인하는 것들

부산·울산·경남에서 용접 일을 시작하는 분께

이름

회사

부서·직무

입사일

2026-08-18 발행 · 약 56쪽 · biz360.kr

차례

1부 · 안전과 권리

— 산업안전 기초 · 화재 예방과 소방 안전 · 전기 안전 · 환경관리 기초 · 화학물질 안전관리 · 근로자 권리와 노동법

2부 · 용접 실무

— 용접 기초 · 용접 절차서(WPS) 이해 · 열처리 실무

3부 · 부록

— 현장 용어집

이 책에 대해

안전과 권리 6개 모듈은 한 줄도 줄이지 않고 전문을 실었고, 용접 모듈 3개도 전문 그대로 담았습니다. 전입신고(14일 이내)·체류지 변경 같은 정착 행정과 현장 오리엔테이션·5S·도면 읽기는 이 책에 없습니다 — 공통편(biz360.kr/guidebook)에 있습니다. 모든 모듈의 전문과 최신본은 biz360.kr/ojt 에서 무료로 보실 수 있습니다.

법령·기한은 발행일 기준입니다. 안전 수칙은 현장 지시와 사업장 규정이 우선합니다. 이 책은 법률 자문이 아닙니다.

안전과 권리

이 책 한 권만 받은 사람도 있습니다. 그래서 안전과 권리는 어느 판에서나 전문을 씁니다.

안전과 권리

다치지 않는 것이 먼저이고, 받을 것을 받는 것이 그다음입니다.

산업안전 기초

안전은 선택이 아니라 의무입니다

배우는 것

- 산업안전보건법 기본 내용을 이해한다
- 개인보호구(PPE)를 올바르게 착용한다
- 위험 상황 대처법을 익힌다

산업안전보건법 개요

근로자의 권리와 의무, 사업주 안전배려의무, 산업재해 신고 절차, 안전보건교육 이수 요건을 학습합니다.

왜 산업안전보건법을 알아야 하나요?

제조 현장에서 일하는 모든 사람은 산업안전보건법(산안법)의 보호를 받아요. 이 법은 1981년 제정 이후 수십 차례 개정되며 한국 산업 현장의 사고를 줄여왔어요. 신입이라도 입사 첫 주 안에 반드시 알아야 할 핵심 4가지를 짚어볼게요.

1. 근로자의 4대 권리

- **알 권리:** 작업장에서 사용하는 화학물질, 위험 기계, 사고 통계를 알 권리. 회사는 MSDS(물질안전보건자료)와 작업환경측정 결과를 게시해야 해요.
- **참여 권리:** 산업안전보건위원회·노사협의회를 통해 의견을 낼 권리. 50인 이상 사업장은 분기 1회 의무 개최.
- **거부 권리:** 급박한 위험이 있을 때 작업을 거부할 권리. 거부 시 어떠한 불이익도 받지 않아요 (산안법 제52조).
- **건강진단 권리:** 일반 건강진단(연 1회) 과 특수 건강진단(소음·분진·유기용제 노출 시 6개월 ~ 1년 1회) 을 회사 비용으로 받을 권리.

2. 근로자의 의무

권리만 있는 게 아니에요. 근로자도 다음 의무가 있어요:

- 안전보건교육 이수 (입사 시 8시간, 매월 정기 교육 2시간)
- 보호구(PPE) 착용
- 위험 작업 시 작업 절차 준수
- 사고·아차사고 발생 시 즉시 신고

3. 사업주의 안전배려의무

회사는 단순히 임금 지급만 하는 게 아니라 **안전한 작업 환경을 제공할 의무**가 있어요 (민법 제655조 + 산안법 제5조). 이를 위반해 사고가 나면:

- **산업재해보상보험** 으로 근로자 치료비·휴업급여 지급

- 사업주 형사 처벌 (중대재해처벌법 시행 후 사망 사고 시 1년 이상 징역)
- 안전관리비 별도 책정 (공사비의 1.5~2.5%)

4. 산업재해 발생 시 신고 절차

[사고 발생]
↓
즉시 119 + 사내 안전관리자
↓
3일 이상 휴업 → 회사가 1개월 내 산업재해조사표 제출 (고용노동부)
↓
사망·중대재해 → 즉시 (24시간 내) 관할 노동지청 신고 의무
↓
근로복지공단 산재 신청 (근로자 직접 가능)

중대재해 정의 (산안법 시행령 제3조):

- 사망자 1명 이상
- 3개월 이상 요양 부상자 2명 이상
- 동시 직업성 질병자 10명 이상

5. 신입 첫 주 체크리스트

- ☐ 입사 시 안전보건교육 8시간 이수 (이수증 보관)
- ☐ 작업장 비상구·소화기·AED 위치 확인
- ☐ 담당 안전관리자 이름·연락처 메모
- ☐ 보호구 사이즈 측정 및 지급 받기
- ☐ 사내 산업재해 신고 양식 위치 확인

출처: 산업안전보건법 (국가법령정보센터) (<https://law.go.kr/법령/산업안전보건법>) · 한국산업안전보건공단(KOSHA) (<https://www.kosha.or.kr>) · 근로복지공단 산재보험 (<https://www.comwel.or.kr>)

개인보호구(PPE) 종류와 착용법

안전모, 안전화, 보안경, 귀마개, 방진마스크, 안전장갑 등 보호구별 올바른 착용법과 점검 방법을 배웁니다.

PPE 가 마지막 방어선입니다

작업 환경 자체를 안전하게 만드는 게 가장 좋지만(공학적 대책), 그래도 남는 위험은 **개인보호구(Personal Protective Equipment, PPE)** 가 막아요. 보호구는 "있다" 가 아니라 "올바르게 착용하고 있다" 가 중요합니다.

6대 기본 PPE

1. 안전모 (Hard Hat)

- **언제:** 머리 위로 떨어질 위험이 있는 모든 작업장 (조선소·건설현장·창고·공장 입고장)
- **착용 점검:**

- 뺨이 앞을 향하게 (뒤로 쓰지 않기) - 턱끈 조절 — 손가락 2개가 들어가는 정도 - 헬멧 안 hammock 끈 조정

- **수명:** 제조일로부터 **3년** (충격 후엔 즉시 폐기, 균열·변색·찌그러짐 있어도 폐기)

2. 안전화 (Safety Shoes)

- **종류:**

- **S1:** 일반 작업 (정전기·미끄럼 방지) - **S3:** 못 박힘 방지 + 발등 보호 - **S5:** 절연 (전기 작업)

- **점검:** 발끝 강화재(스틸캡) 변형 없는지, 밀창 마모도, 끈 풀림

3. 보안경 (Safety Glasses) / 보안면 (Face Shield)

- **사용 구분:**

- 보안경: 비산물·먼지 보호 (가공·연마) - 보안면: 강한 충격·화학물질·열 (용접·그라인딩·화학공정)

- **주의:** 일반 안경은 PPE 가 아님! 안경 위에 over-glasses 착용 또는 처방 보안경 별도 구매

4. 귀마개 / 귀덮개 (Hearing Protection)

- **착용 기준:** 소음 **85dB 이상** 작업장 (장시간 노출 시 청력 손실)

- **선택:**

- 귀마개(폼·실리콘): 가볍고 저렴, NRR 25~33dB - 귀덮개(헤드폰형): 탈착 쉬움, NRR 22~30dB - **고소음(110dB+): 귀마개 + 귀덮개 이중 착용**

5. 방진마스크 / 방독마스크 (Respiratory Protection)

종류	용도	등급
방진 1급 (KF80)	일반 분진	80% 차단
방진 2급 (KF94)	미세분진·용접흄	94% 차단
방진 특급 (KF99)	석면·중금속	99% 차단
방독 (정화통)	유기용제·산성가스	가스별 정화통 색상 다름

중요: 수염이 있으면 마스크 밀착 안 됨 → 면도 후 착용

6. 안전장갑 (Safety Gloves)

- **소재별 용도:**

- 면장갑: 가벼운 작업, **회전 기계엔 절대 사용 금지** (말려들어 갈 위험) - 가죽장갑: 용접·열·날카로운 자재 - 니트릴/라텍스: 화학물질·유체 - 절연장갑: 전기 작업 (등급별 1000V~36000V)

착용 순서 ABC

A – Apparel (작업복) 먼저
B – Boots (안전화) 다음
C – Crown (안전모) 마지막
+ 작업별 추가 PPE

일일 점검표 (작업 시작 전 1분)

- ☐ 안전모: 균열·변색·찌그러짐 없음
- ☐ 안전화: 끈 풀림·밀창 마모 점검
- ☐ 보호구: 만료일·오염도 확인
- ☐ 사이즈: 너무 크거나 작지 않음

자주 하는 실수

✗ 더우니까 안전모 벗고 일하기 → 머리 충격 한 번에 사망 사고 ✗ 안전화 끈을 풀고 신기 (편의) → 밀창 빠짐, 발 다침 ✗ 일회용 마스크 한 달 사용 → 차단 성능 일주일이면 90% 감소 ✗ 회전 기계 작업 시 면장갑 → 손가락 빨려 들어감 (실제 산재 사망 원인 상위)

출처: KOSHA 안전보건자료실 — PPE 가이드 (<https://www.kosha.or.kr/kosha/data/safetyAndHealthGuide.do>) · 산업용 안전모 KS 인증 (한국산업표준) (<https://standard.go.kr>)

위험 예지 훈련(KYT)

작업 전 위험요소를 사전에 발견하고 대책을 세우는 4라운드 KYT 기법을 실습합니다.

KYT 가 무엇인가요?

KYT(危険予知トレーニング, Kiken Yochi Training) = "위험 예지 훈련". 일본에서 시작된 사고 예방 기법으로, 작업 시작 전 5~10분간 팀원이 함께 위험을 찾아내고 대책을 결정하는 활동이에요.

한국에서는 **TBM-KY** (Tool Box Meeting + KY) 라는 이름으로 매일 아침 작업조회에서 실시하는 회사가 많아요.

KYT 4라운드 (가장 표준적인 형식)

1라운드: 사실 파악 — "어떤 상황인가?"

작업 사진이나 도면을 보고 **객관적 사실** 만 나열해요. 추측·평가 금지.

예시 (조선소 용접 작업 현장 사진):

- 작업자가 좁은 곡블록 안에서 용접 중
- 산소 농도 측정기는 입구 쪽에 있음
- 용접면 미착용, 안전도 행이 뒤로 향함
- 바닥에 호스 2개가 놓여있음
- 화기 작업 허가서 미게시

2라운드: 본질 추구 — "위험 요인이 뭐가?"

1라운드의 사실에서 **잠재 위험** 을 추출. "~할 가능성이 있다" 형태로.

- 산소 결핍 → 질식 사고
- 용접면 없음 → 강한 광선에 각막 화상
- 호스 → 발 걸려 넘어짐
- 화기 허가서 없음 → 절차 위반 + 화재 위험

3라운드: 대책 수립 — "어떻게 막을까?"

각 위험에 대해 **구체적인 대책** 을 결정. 실행 가능한 것만.

위험	대책	담당
산소 결핍	작업 시작 전 산소 농도 19.5%↑ 확인, 입구 환기팬 설치	작업자 본인
광선 화상	용접면 즉시 착용, 차광도 #10 이상	작업자 본인
호스 걸림	호스 정리·고정, 통로 확보	조장
화기 허가	작업 전 허가서 발급 + 작업장 게시	안전관리자

4라운드: 목표 설정 — "오늘 우리의 행동 목표는?"

팀이 **함께 외칠 한 줄 슬로건** 을 만들어요. 짧고 구체적으로.

> "좁은 곳 들어가기 전 산소 측정 — 하나, 둘, 셋!" < 팀원 모두 큰소리로

왜 슬로건을 외치나요?

뇌과학적으로 소리내어 말한 정보의 회상률은 목록보다 **35% 높음** (Hopper, 1976). 작업 중 위험 상황에 마주쳤을 때 슬로건이 머릿속에 떠올라요.

TBM-KY 실시 흐름 (매일 아침 5분)

08:55 작업조회 시작



조장이 오늘 작업 내용 공유 (1분)



KYT 4라운드 (3분)



역할 분담 + 슬로건 제창 (1분)



09:00 작업 투입

신입이 KYT 에서 잘하는 법

1. **시각적으로 자주 본 곳을 다시 의심하기** — 익숙해지면 위험을 못 봐요
2. **"이게 위험할까?" 질문 우선** — 침묵보다 질문이 생명을 구함
3. **선배의 경험담 듣기** — 과거 사고·아차사고 사례
4. **체크리스트 만들기** — 자기 작업장 위험 5개 적어두고 매일 확인

부울경 산업별 KYT 핵심 위험 TOP 3

- **조선/해양:** 밀폐공간 산소 결핍 / 추락 / 화기 작업 폭발
- **자동차부품:** 회전기계 협착 / 프레스 양손 미사용 / 운반 중 발등
- **건설/토목:** 추락 / 낙하물 / 감전
- **화학/소재:** 화학물질 누출 / 정전기 폭발 / 호흡 보호구 미착용

각 산업별 세부 KYT 모듈은 해당 카테고리에서 별도 학습.

출처: KOSHA — TBM-KY 활성화 매뉴얼 (<https://www.kosha.or.kr/kosha/data/safetyAndHealthGuide.do>) · 안전보건교육포털 (<https://www.koshasafety.or.kr>)

응급처치 기초

화상, 절상, 감전, 협착 사고 시 초동대처법과 AED 사용법을 학습합니다.

응급처치의 골든 4분

심정지·심한 출혈 사고에서 **첫 4분이 생사를 가른다** 는 말이 있어요. 119 가 도착하기 전 동료가 어떻게 대처했는지가 결과를 바꿉니다. 신입이라도 4가지 사고는 반드시 알아두세요.

1. 화상 (Burn)

분류

도수	깊이	증상	대처
1도	표피	빨강고 따가움	차가운 물 15~20분
2도	진피	물집·심한 통증	물집 터뜨리지 말고 수건 덮어 즉시 병원
3도	피하조직	감각 없음·검게 변함	옷 떼지 말고 119

즉시 대처

1. **차가운 흐르는 물 15~20분** (얼음 직접 X — 동상 위험)
2. 시계·반지·금속 제거 (붓기 전에)
3. 옷이 살에 붙어 있으면 **떼지 않음** — 그대로 병원

4. 화학화상 (산·알칼리) 은 즉시 다량의 물로 20분 이상

2. 절상 (Cut, Laceration)

출혈 정도별

- 소량 출혈 (스미는 정도): 깨끗한 수건으로 5분 압박, 소독 후 밴드
- 중간 출혈 (뚝뚝): 압박 + 환부 심장보다 높이, 10분 후에도 안 멎으면 119
- 다량 출혈 (분수처럼): 동맥 손상 가능성. 직접 압박 + 119, 압박대(tourniquet) 는 마지막 수단

절단 사고 (손가락·발가락)

1. 절단된 부위 출혈 압박
2. 절단된 부분을 깨끗한 천 → 비닐 → 얼음물에 띄움 (얼음에 직접 닿지 않게)
3. 6시간 내 봉합 가능 (시간이 생명)

3. 감전 (Electric Shock)

절대 원칙: 전원 먼저 차단

⚠ 감전된 사람을 맨손으로 만지면 같이 감전. 다음 순서:

1. 차단기·콘센트 먼저 끄기
2. 차단 불가능하면 마른 나무 막대기·플라스틱 으로 환자에서 전원 분리
3. 환자 의식·호흡 확인
4. 호흡 없으면 CPR (심폐소생술) + 119

CPR 30:2

가슴 압박 30회 (분당 100~120회, 깊이 5~6cm)

↓

인공호흡 2회

↓

반복 (구급차 도착까지)

4. 협착 / 끼임 사고

회전 기계·프레스에 손·옷이 끼었을 때:

1. 즉시 기계 정지 (Emergency Stop) — 모든 기계엔 빨간 비상정지 버튼
2. 끼인 부위를無理하게 빼지 않음 — 더 큰 손상 위험
3. 가능하면 기계 역회전으로 빼냄 (조장·정비 담당 호출)
4. 119 + 의료진이 도착할 때까지 체온 유지, 환자 의식 유지

AED (자동심장충격기) 사용법

부울경 대부분 산업단지·공공시설에 AED 가 비치되어 있어요. 사용은 누구나 가능하고 법적 면책됩니다.

4단계

1. 전원 ON — 음성 안내 시작
2. 패드 부착 — 오른쪽 쇄골 아래 + 왼쪽 갈비뼈 옆 (그림 표시됨)
3. 분석 중 대기 — "환자에게서 떨어지세요" 안내. 모두 환자 미접촉
4. 충격 버튼 — 안내 시 빨간 버튼 누름. 충격 후 즉시 CPR 재개

⚠ 물기·금속·약물 패치 위에 패드 부착 X — 화상·전기 분산 위험

응급처치 후 반드시 할 것

- 사고 시간·상황 메모 (병원 진단·산재 신청 시 필요)
- 안전관리자 즉시 보고
- 작업장 사진 촬영 (현장 보존)
- 산재 신청 가이드 (모듈 1: 산업안전보건법 개요 참조)

사내에서 미리 준비할 것

- ☐ 비상 연락망 (안전관리자·119·근처 응급실) 작업장 게시
- ☐ 응급처치함 위치 + 내용물 점검 (월 1회)
- ☐ AED 위치 모든 직원이 알고 있기
- ☐ 사내 응급처치 교육 이수 (KOSHA 무료 교육 가능)

출처: 대한심폐소생협회 — CPR 가이드 (<https://www.kacpr.org>) · 응급의료포털 (E-gen) (<https://www.e-gen.or.kr>) · KOSHA 응급처치 교육 (<https://www.kosha.or.kr>)

현장에서 해볼 것

- 보호구 착용 셀프 체크리스트
- KYT 4라운드 모의 훈련
- AED 사용 시뮬레이션

화재 예방과 소방 안전

초기 진화가 피해를 90% 줄인다

배우는 것

- 화재 유형별 소화기 선택을 할 수 있다
- 대피 경로를 숙지한다

화재 분류

A급(일반), B급(유류), C급(전기), D급(금속), K급(주방) 화재의 구분과 적합한 소화기를 배웁니다.

불이라고 다 같은 불이 아닙니다

화재는 타는 물질에 따라 등급이 나뉘어요. 등급을 모르고 아무 소화기나 쓰면 불이 꺼지기는커녕 더 커지거나 감전됩니다. 그래서 소화기 몸통에는 반드시 "A·B·C" 같은 적응 화재 표시가 붙어 있어요.

5가지 화재 등급

등급	이름	타는 것	현장 예시	소화기 표시색
A급	일반화재	나무·종이·섬유·플라스틱	포장 박스, 파렛트, 작업복	백색
B급	유류화재	기름·페인트·시너·LPG	절삭유, 세척유, 도료	황색
C급	전기화재	전기가 흐르는 설비	배전반, 모터, 케이블	청색
D급	금속화재	마그네슘·알루미늄 분말	가공 칩(chip), 연마 분진	무색
K급	주방화재	식용유	구내식당 튀김기	—

등급별로 왜 소화 방법이 다른가

- A급은 물이 가장 잘 들어요. 물이 온도를 낮춰 불씨까지 꺼줍니다.

- **B급에 물을 뿌리면 절대 안 됩니다.** 기름이 물 위에 떠서 불이 사방으로 퍼져요. 거품(포)이나 분말로 덮어서 산소를 차단해야 합니다.
- **C급에 물을 뿌리면 감전됩니다.** 전기를 통하지 않는 CO2나 분말을 쓰고, 가능하면 **먼저 차단기를 내리세요.**
- **D급에 물은 폭발입니다.** 금속 분말이 물과 반응해 수소를 만들어요. 전용 금속화재 소화약제(D급 분말)나 마른 모래를 씁니다.
- **K급은 식용유 온도가 발화점보다 높아 잠깐 꺼져도 다시 붙어요.** 전용 K급 소화기로 유면에 막을 만들어야 합니다.

현장에서 가장 많이 보는 소화기

ABC 분말소화기가 표준입니다. A·B·C 세 등급에 모두 쓸 수 있어서 공장 어디에나 비치돼 있어요. 다만 **D급과 K급에는 쓸 수 없다**는 걸 기억하세요. 가공 칩이 쌓이는 기계가공 현장, 튀김기가 있는 구내식당은 **별도 소화기가 따로 있어야 합니다.**

출근 첫 주에 확인할 것

- ☐ 내 작업 구역에서 가장 가까운 소화기 위치 (보통 20m 이내)
- ☐ 그 소화기의 적응 화재 표시(A·B·C 중 무엇인지)
- ☐ 우리 공정에서 날 수 있는 화재 등급 (예: 절삭유 쓰면 B급, 배전반 옆이면 C급)
- ☐ 소화기 압력계 바늘이 **녹색 범위에** 있는지 (빨간색이면 즉시 보고)

출처: 소방청 — 국민재난안전포털 소화기 사용법 (<https://www.safekorea.go.kr>) · 한국소방안전원 — 소방안전교육 (<https://www.kfsi.or.kr>) · 안전보건공단 — 화재·폭발 예방자료 (<https://www.kosha.or.kr>)

소화기 사용법

분말·CO2·포소화기의 사용 방법 "핀→노즐→방사" 3단계를 실습합니다.

소화기는 "쓸 줄 알아야" 소화기입니다

공장에 소화기가 아무리 많아도, 막상 불이 났을 때 손이 얼어붙으면 소용없어요. 실제 화재에서 소화기로 진화 가능한 시간은 **초기 2분 이내**입니다. 몸이 기억하도록 순서를 외워두세요.

기본 4단계 — "안전핀·노즐·손잡이·비질"

1. 안전핀을 뽑는다 — 손잡이를 잡은 채로 뽑으면 안 빠져요. **손잡이에서 손을 떼고** 핀만 잡아당깁니다.
2. 노즐(호스)을 불 쪽으로 향한다 — 노즐 끝을 잡으세요. 몸통만 들고 쓰면 엉뚱한 곳으로 날아갑니다.
3. 손잡이를 힘껏 움켜쥐다 — 살살 쥐면 약제가 안 나와요.
4. 비질하듯 좌우로 쓸어 뿌린다 — **불꽃이 아니라 불의 밑동(연료 표면)** 을 노립니다. 불꽃에 쓰면 약제가 그냥 날아가요.

종류별 주의사항

종류	특징	주의할 점
분말(ABC)	가장 흔함, 방사 시간 10~15초	시야가 하얗게 가려짐 — 뿌리기 전에 대피로를 등지고 서기
CO2(이산화탄소)	잔여물 없음, 전기설·정밀기기용	노즐이 영하 78°C — 뿔대(흔)를 맨손으로 잡으면 동상. 밀폐공간에서 쓰면 질식 위험
포(폼)	유류화재에 강함	전기화재에 쓰면 감전

반드시 지킬 3가지

- **등지고 서세요.** 항상 출입구·대피로를 등지고 불을 마주봅니다. 불을 등지면 퇴로가 막혀요.
- **바람을 등지세요.** 실외라면 바람을 등져야 약제와 열기가 나에게 오지 않아요.
- **2분 안에 안 꺼지면 포기하고 대피하세요.** 소화기 1대의 방사 시간은 15초 남짓입니다. 불길의 **내 키를 넘으면** 이미 소화기의 범위를 벗어난 겁니다.

"불이야"를 먼저 외치세요

혼자 끄려다 늦는 경우가 많아요. 순서는 ① 크게 알린다 → ② 119 신고 → ③ 초기 진화입니다. 주변에 사람이 있으면 역할을 나누세요.

> "OO씨, 119 신고해주세요!" 처럼 **특정인을 지목**해야 실제로 움직입니다.

실습 체크리스트

- ☐ 안전핀을 손잡이 놓고 뽑아봤다
- ☐ 노즐 끝을 잡고 방향을 조준했다
- ☐ 불의 밑동을 좌우로 쓸었다
- ☐ 대피로를 등지고 섰다

출처: 소방청 — 소화기 사용법 안내 (<https://www.nfa.go.kr>) · 한국소방안전원 — 소방시설 실무교육 (<https://www.kfsi.or.kr>) · 안전보건공단 — 사업장 초기대응 매뉴얼 (<https://www.kosha.or.kr>)

대피 훈련

비상구 위치 확인, 대피 경로, 집결지, 소방 비상연락망을 숙지합니다.

연기는 불보다 빠릅니다

화재 사망 원인의 대부분은 화상이 아니라 **연기 질식**이에요. 연기는 1초에 수직 **3~5m**, 수평 **0.5~1m** 속도로 퍼집니다. 계단실을 타고 올라가는 속도가 사람이 뛰는 속도보다 빨라요.

그래서 대피는 "불을 보고 나서"가 아니라 **경보를 듣는 즉시** 시작해야 합니다.

대피 4원칙

1. **낮은 자세로** — 연기는 위로 뜨기 때문에 바닥 쪽에 신선한 공기가 남아요. 무릎으로 기어서 이동합니다.
2. **젖은 수건으로 코와 입을 막고** — 없으면 옷소매라도 대세요. 유독가스를 조금이라도 거릅니다.
3. **벽을 짚고 한 방향으로** — 연기 속에서는 앞이 안 보여요. 한쪽 벽을 계속 짚고 가면 출구에 닿습니다.
4. **엘리베이터 절대 금지** — 정전되면 갇히고, 승강로가 연기 굴뚝이 돼요. **반드시 계단**입니다.

한 번 나가면 다시 들어가지 않습니다

물건을 두고 왔다고 되돌아가는 순간이 가장 위험해요. 두고 온 것은 포기하세요.

집결지에서 인원 확인

대피의 마지막 단계는 "**전원 나왔는가**" 확인입니다. 집결지에 모여 조/반별로 인원을 세고, 안 보이는 사람이 있으면 **직접 찾으러 가지 말고** 소방대에 위치를 알려주세요.

입사 첫날 반드시 확인할 4가지

- ☐ **내 자리에서 가장 가까운 비상구 2곳** (1곳이 막힐 수 있으니 반드시 두 곳)
- ☐ **집결지 위치** (보통 주차장이나 정문 앞 공터)
- ☐ **경보음이 어떤 소리인지** (사이렌인지 방송인지)
- ☐ **비상연락망** — 안전관리자, 소방안전관리자 연락처

자주 하는 실수

실수	왜 위험한가
비상구 앞에 자재를 쌓아둠	정작 필요할 때 문이 안 열림 — 소방시설법 위반, 과태료 대상
방화문을 열어둠	방화문은 닫혀 있어야 연기를 막아요. 고임목으로 괴어두면 무용지물
경보를 오작동으로 단정	"또 오작동이겠지" 하다 늦습니다. 일단 나가고 나서 확인

> 소방훈련은 연 1회 이상 의무입니다(소방시설법). 형식적으로 참여하지 말고, **실제로 내 동선을 걸어보세요.**

출처: 소방청 — 화재 대피 요령 (<https://www.nfa.go.kr>) · 국민재난안전포털 — 화재 행동요령 (<https://www.safekorea.go.kr>) · 한국소방안전원 — 소방계획서 작성 (<https://www.kfsi.or.kr>)

현장에서 해볼 것

- 소화기 사용 실습
- 비상 대피 동선 확인

전기 안전

감전은 순간, 후유증은 평생

배우는 것

- 감전 사고의 원인과 예방법을 안다
- 전기 작업 안전 수칙을 숙지한다

감전의 위험

인체 감전 경로, 전류량에 따른 위험도(30mA 이상 치명적), 접지의 역할을 학습합니다.

220V도 사람을 죽입니다

"고압만 위험하다"는 오해가 가장 위험해요. 감전 사망 사고의 상당수가 **일반 가정용 220V**에서 발생합니다. 중요한 건 전압이 아니라 **몸에 흐른 전류의 크기와 시간**이에요.

전류량별 인체 영향

전류	몸에 일어나는 일
1mA	찌릿한 느낌 (감지 전류)
5mA	통증, 놀라서 손을 땀
10~20mA	근육 경직 — 손을 땀 수 없음(이탈 불능)
30mA	호흡 곤란, 위험
50mA 이상	심실세동 → 사망
100mA	수초 내 치명적

10mA를 넘으면 스스로 손을 놓을 수 없습니다. 감전된 사람이 전선을 꽂 쥐고 있는 이유가 이것이에요.

옴의 법칙으로 보는 위험

$$\text{전류(I)} = \text{전압(V)} \div \text{저항(R)}$$

마른 손 저항 약 5,000Ω → 220V ÷ 5,000 = 44mA (위험)

젖은 손 저항 약 1,000Ω → 220V ÷ 1,000 = 220mA (치명적)

> 땀·물기가 있으면 저항이 1/5로 떨어져 위험이 5배가 됩니다. 여름철 감전 사고가 많은 이유예요.

전류가 지나가는 경로가 생사를 가릅니다

- 손 → 반대편 손, 손 → 발: 전류가 심장을 통과합니다. 가장 치명적.
- 손 → 같은 쪽 발: 심장을 비껴가 상대적으로 덜 위험.

그래서 전기 작업 시 **한 손은 주머니에 넣는(one-hand rule)** 습관이 있어요. 양손을 쓰면 심장을 관통하는 경로가 만들어집니다.

접지가 왜 중요한가

설비 내부에서 전선 피복이 벗겨져 금속 케이스에 닿으면(누전), 사람이 만지는 순간 **사람 몸이 전기가 흐르는 길이** 돼요.

접지선은 전기가 **사람보다 훨씬 저항이 낮은 길(땅)**로 흐르게 만들어줍니다. 그래서 접지선이 끊겨 있거나 연결 안 된 설비가 가장 위험해요.

누전차단기(ELB/RCD)

접지와 짝을 이루는 장치입니다. 들어간 전류와 나온 전류가 다르면(= 어딘가로 새면) **0.03초 안에 차단**해요. 정격 감도전류가 **30mA**인 이유가 바로 위 표의 위험 기준입니다.

- **매월 1회 시험버튼(TEST)**을 눌러 정상 작동을 확인하세요.
- 자꾸 떨어진다고 **차단기를 고정하거나 우회하면 절대 안 됩니다.** 누전이 있다는 신호예요.

현장에서 지킬 5가지

- ☐ 젖은 손으로 전기 기기를 만지지 않는다
- ☐ 문어발 배선·피복 손상 케이블을 쓰지 않는다
- ☐ 이동식 전동공구는 **접지형 플러그(3핀)** 사용
- ☐ 누전차단기 시험버튼 월 1회 점검
- ☐ 감전자 발견 시 **맨손으로 절대 잡지 말고, 먼저 전원을 차단**하거나 마른 나무·플라스틱으로 떼어낸다

출처: 안전보건공단 — 감전재해 예방 (<https://www.kosha.or.kr>) · 한국전기안전공사 — 전기안전 정보 (<https://www.kesco.or.kr>) · 국가법령정보센터 — 산업 안전보건기준에 관한 규칙(전기작업) (<https://www.law.go.kr>)

전기 작업 안전

차단기 OFF 확인(LOTO), 검전기 사용, 절연장갑/절연화, 활선작업 금지 원칙을 배웁니다.

"꺾꺾지"가 사고를 만듭니다

전기 사고의 전형적인 패턴은 이래요. A가 차단기를 내리고 작업하러 갔는데, B가 "왜 꺼져 있지?" 하며 다시 올립니다. **정전 확인은 반드시 내 눈과 내 손으로.**

정전 작업 5단계

1. **작업 전 회로 확인** — 도면과 실제 배전반 명판이 일치하는지 확인. 라벨이 틀린 경우가 흔합니다.
2. **차단기 OFF + 잠금** — 개인 자물쇠를 걸고 태그를 붙입니다(LOTO).
3. **검전** — **검전기로 무전압을 직접 확인.** 이 단계를 건너뛰는 사고가 가장 많아요.
4. **잔류전하 방전** — 콘덴서·인버터는 전원을 꺼도 전기가 남아 있어요. 방전봉으로 접지시킵니다.
5. **단락접지** — 고압 작업에서는 오송전에 대비해 접지를 걸어둡니다.

검전기 사용의 철칙 — "확인 3단계"

검전기 자체가 고장 나 있으면 "전기 없음"이라는 잘못된 신호를 줘요. 그래서 반드시:

1. **살아 있는 회로**에 대어 검전기가 반응하는지 확인 (검전기 정상 확인)

2. **작업할 회로**를 검전 → 무반응 확인
3. 다시 **살아 있는 회로**에 대어 검전기가 여전히 정상인지 확인

보호구

보호구	기준
절연장갑	저압용/고압용 구분, 사용 전 공기주입 시험 으로 핀홀 확인
절연화	밀창 손상·물기 확인
절연복·안면보호구	아크 플래시 위험 구간에서 착용
절연 공구	손잡이 피복 손상 시 즉시 폐기

절연장갑은 **6개월마다 정기 절연시험**을 받아야 합니다.

활선작업은 원칙적으로 금지

산업안전보건기준에 관한 규칙은 **정전 작업을 원칙**으로 합니다. 부득이하게 활선으로 해야 한다면:

- 사전에 **작업허가서** 발급
- **감시인 배치** (2인 1조, 단독 작업 금지)
- 절연용 방호구 설치
- 활선 접근 한계거리 준수

> 신입은 **활선작업에 절대 투입되지 않습니다**. 지시받았다면 거부하고 안전관리자에게 알리세요. 이는 산안법이 보장하는 **작업중지권**입니다.

아크 플래시 — 감전보다 무서운 것

배전반에서 단락이 일어나면 순간적으로 **수천 도의 아크**가 발생해요. 감전이 아니라 **화상과 폭풍압**으로 다칩니다.

- 배전반 조작 시 **정면에 서지 말고 옆에서** 조작
- 나일론·폴리에스터 작업복 금지 — 녹아서 피부에 달라붙어요. **면 또는 난연복** 착용

작업 종료 절차

작업이 끝났다고 바로 전원을 올리면 안 됩니다.

1. 공구·자재 회수, 작업자 전원 이격 확인
2. 단락접지 제거
3. **잠금장치는 건 사람이 직접 해제** (남이 대신 풀면 안 됨)
4. 송전 사실을 관계자 전원에게 통보
5. 송전 후 이상 유무 확인

출처: 안전보건공단 — 전기작업 안전보건 기술지침 (<https://www.kosha.or.kr>) · 한국전기안전공사 — 전기설비 안전점검 (<https://www.kesco.or.kr>) · 고용노동부 — 산업안전보건기준에 관한 규칙 (<https://www.moel.go.kr>)

현장에서 해볼 것

- LOTO 절차 시뮬레이션
- 접지 저항 측정 실습

환경관리 기초

폐수·폐기물·대기 관리

배우는 것

- 기본 환경법규를 이해한다
- 폐기물 분리 배출을 할 수 있다

환경법규 개요

환경영향평가, 배출허용기준, 특정수질유해물질, 대기오염물질 규제의 기본을 배웁니다.

환경 위반은 "모르고 했다"가 통하지 않습니다

환경법 위반은 과태료로 끝나지 않아요. **조업정지·허가취소·형사처벌**까지 이어집니다. 특히 사업주뿐 아니라 **실제 배출을 담당한 직원**도 처벌 대상이 될 수 있어요.

제조업이 걸리는 3대 매체

대기

- **대기오염물질 배출시설** 설치 신고·허가 필요 (도장부스, 건조로, 보일러, 집진기 등)
- 먼지, 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 휘발성유기화합물(VOCs)이 주요 대상
- **자가측정 의무** — 시설 종별로 반기 1회 ~ 매월

수질

- 폐수배출시설 신고·허가
- **특정수질유해물질**(구리, 납, 크롬, 카드뮴, 시안 등)을 배출하면 규제가 크게 강해집니다. 도금·표면처리 업종이 해당.
- 방류수 수질기준 초과 시 개선명령 → 조업정지

폐기물

- 사업장폐기물 배출자 신고
- **올바로시스템(Allbaro)** 전자인계서 의무

"배출허용기준"은 지역마다 다릅니다

같은 오염물질이라도 **청정지역 / 가지역 / 나지역 / 특례지역**에 따라 기준이 달라요. 부산·울산·경남의 산업단지는 대부분 나지역이지만, 상수원 인근은 훨씬 엄격합니다.

> 우리 공장이 어느 지역 기준을 적용받는지 **환경 담당자에게 반드시 확인**하세요.

신입이 실수하기 쉬운 것

행동	왜 문제인가
세척수를 우수관(빗물관)에 흘림	무단방류 . 우수관은 하천으로 직결됩니다
도장부스 필터 교체 미실시	배출기준 초과 + 화재 위험
집진기 전원을 꺼두고 작업	방지시설 미가동 — 조업정지 사유
폐유를 일반 쓰레기에 버림	지정폐기물 불법처리

우수관과 오수관을 구분하는 것부터 배우세요. 뚜껑 색이나 표시가 다릅니다.

환경영향평가

일정 규모 이상의 사업(산업단지 조성, 대규모 공장 신·증설)은 착공 전 환경영향평가를 받아야 해요. 규모가 작으면 **소규모 환경영향평가**가 적용됩니다.

통합환경허가

대기·수질·폐기물 등 여러 허가를 하나로 묶은 제도예요. **연간 대기·수질 오염물질 배출량이 큰 업종**(발전·정유·화학·비철금속 등 19개 업종)이 대상이며, 5년마다 재검토합니다.

첫 주 확인 체크리스트

- ☐ 우리 공장의 대기·수질 배출시설이 무엇인지
- ☐ 방지시설(집진기·스크러버·폐수처리장) 위치와 가동 상태
- ☐ 우수관 / 오수관 구분 표시
- ☐ 환경 담당자(환경기술인) 누구인지

출처: 환경부 — 환경정책 및 법령 (<https://www.me.go.kr>) · 한국환경공단 — 사업장 환경관리 (<https://www.keco.or.kr>) · 국가법령정보센터 — 대기환경보전법 / 물환경보전법 (<https://www.law.go.kr>)

폐기물 관리

일반폐기물/지정폐기물 구분, 분리 배출, 폐기물 인계서(폐기물관리법)를 학습합니다.

잘못 버리면 배출자가 끝까지 책임집니다

폐기물은 처리업체에 넘겼다고 끝이 아니예요. **배출자 책임 원칙**에 따라, 위탁한 업체가 불법 투기하면 **배출한 회사도 함께 처벌**받습니다. 그래서 위탁업체의 허가증 확인이 중요해요.

사업장폐기물 분류

사업장폐기물
└─ 사업장일반폐기물
| └─ 배출시설계 폐기물 (대기·수질 방지시설에서 나온 것)
| └─ 그 밖의 사업장 폐기물 (사무실 쓰레기, 포장재 등)
└─ 지정폐기물 ← 유해성이 있어 별도 관리

제조 현장에서 나오는 대표 지정폐기물

품목	어디서 나오나
폐유	절삭유, 유압유, 윤활유 교체
폐산·폐알칼리	세척·에칭·도금 공정 (pH 2 이하 / 12.5 이상)
폐유기용제	시너, 세척용 솔벤트
페페인트·페래커	도장 공정, 도장부스 슬러지
폐흡착제·폐흡수제	기름 닦은 걸레, 흡착포, 필터
분진	집진기 포집 분진
폐형광등·폐배터리	조명 교체, 지게차 배터리

> 기름 묻은 장갑·걸레도 지정폐기물(폐흡착제)입니다. 일반 쓰레기통에 버리면 위반이예요. 이걸 모르는 경우가 정말 많습니다.

보관 기준

- 지정폐기물은 최대 **45일** 보관 가능 (일반은 90일)
- 표지판 부착 의무 — 종류, 보관 가능 용량, 관리책임자, 보관기간
- 바닥은 불침투성 재질, 지붕과 벽으로 바·바람 차단
- 폐유·폐산은 방지턱(방유제) 안에 보관
- 서로 반응하는 폐기물은 분리 (폐산 + 폐알칼리, 폐유 + 산화제)

올바로시스템(Allbaro) 전자인계서

폐기물을 넘길 때 종이가 아니라 **전자적으로 인계·인수**를 기록합니다.

1. 배출자가 인계 정보 입력
2. 운반자가 인수 확인
3. 처리업체가 최종 처리 확인
4. **처리 완료까지 시스템에서 추적**

인계서를 안 쓰거나 허위 입력하면 과태료 대상이에요.

위탁 전 반드시 확인

- ☐ 수집·운반업체의 **허가증** (허가받은 품목에 우리 폐기물이 포함되는지)
- ☐ 최종처리업체의 **허가증과 처리 능력**
- ☐ 계약서에 폐기물 종류·수량·처리방법 명시
- ☐ 차량 등록번호가 허가증과 일치하는지

감량이 최선입니다

처리 비용은 계속 오르고 있어요. 순서는 **감량 → 재사용 → 재활용 → 소각 → 매립**입니다.

- 절삭유는 **정제 재사용**으로 폐유 발생량을 크게 줄일 수 있어요
- 포장재는 **회수형 용기**로 전환
- 분리배출을 잘하면 **재활용 가능 품목이 지정폐기물로 섞여** 비싸게 처리되는 걸 막습니다

현장 실수 사례

실수	결과
폐유 드럼에 걸레·장갑 혼입	처리 거부, 재분류 비용 발생
보관기간 45일 초과	과태료
표지판 미부착	과태료
인계서 미작성	과태료 + 불법처리 의심 조사

출처: 한국환경공단 — 올바로시스템(폐기물 적법처리) (<https://www.allbaro.or.kr>) · 환경부 — 폐기물관리 정책 (<https://www.me.go.kr>) · 국가법령정보센터 — 폐기물관리법 (<https://www.law.go.kr>)

현장에서 해볼 것

- 폐기물 분류 퀴즈
- MSDS 기반 폐기물 처리 경로 결정

화학물질 안전관리

MSDS를 읽고, 위험을 예방하라

배우는 것

- MSDS의 16개 항목을 이해한다
- GHS 경고표지를 읽을 수 있다

GHS 분류와 경고표지

9가지 GHS 픽토그램(폭발, 인화, 산화, 부식, 독성 등)의 의미를 학습합니다.

그림만 봐도 위험을 알 수 있게 만든 것이 GHS입니다

GHS(Globally Harmonized System)는 화학물질 분류·표지를 전 세계가 통일한 체계예요. 나라마다 표시가 다르면 수입 화학물질을 다룰 때 위험하니까요.

한국은 **산업안전보건법**과 **화학물질관리법**에서 GHS를 채택하고 있습니다.

9가지 픽토그램

빨간 마름모 테두리 안에 검은 그림이 들어갑니다.

그림	의미	현장 예시
 폭발 터짐	폭발성, 자기반응성	유기과산화물, 경화제
 불꽃	인화성, 자연발화성	시너, 아세톤, 알코올
 원 위의 불꽃	산화성	과산화수소, 질산
 가스실린더	고압가스	산소·아르곤·질소 봄베
 부식	금속·피부 부식	황산, 가성소다
 해골	급성 독성(치명적)	시아나화물, 포름알데히드
 ! 느낌표	자극성, 경미한 독성	일반 세척제
 건강 유해성	발암성, 생식독성, 호흡기 과민	벤젠, 결정형 실리카
 환경	수생환경 유해	중금속 함유 약품

> 해골  와 느낌표 ! 는 둘 다 독성이지만 강도가 달라요. 해골이 붙어 있으면 소량으로도 치명적입니다.

신호어 — "위험" vs "경고"

- **위험(Danger):** 더 심각한 등급
- **경고(Warning):** 상대적으로 낮은 등급

같은 인화성이라도 인화점이 낮으면 "위험", 높으면 "경고"가 붙어요.

경고표지에 반드시 들어갈 6가지

1. 명칭 (제품명)
2. 그림문자(픽토그램)
3. 신호어 (위험 / 경고)
4. 유해·위험 문구 (H-code, 예: H225 고인화성 액체 및 증기)
5. 예방조치 문구 (P-code, 예: P210 열·스파크로부터 멀리 하시오)
6. 공급자 정보 (제조사·수입사, 연락처)

소분 용기에도 표시가 필요합니다

드럼에서 작은 통으로 옮겨 담으면, 그 통에도 경고표지를 붙여야 해요. 이걸 안 지켜서 생기는 사고가 정말 많습니다.

> 페트병에 시너를 담아두는 것은 **절대 금지**입니다. 음료로 착각한 사망 사고가 반복돼 왔어요.

현장 확인 체크리스트

- ☐ 내가 쓰는 화학물질 용기에 경고표지가 붙어 있는가
- ☐ 픽토그램이 몇 개이고 각각 무슨 뜻인지 아는가
- ☐ 신호어가 "위험"인가 "경고"인가
- ☐ 소분 용기에도 표지를 붙였는가
- ☐ MSDS가 작업장에 게시 또는 비치되어 있는가 (법적 의무)

MSDS 핵심 항목

화학제품 식별, 위험·유해성, 응급조치, 취급/보관, 누출방지/보호구 항목을 읽는 법을 배웁니다.

MSDS는 16개 항목이지만, 현장에서 볼 건 5개입니다

MSDS(물질안전보건자료, 최근에는 SDS)는 16개 항목으로 구성돼요. 전부 외울 필요는 없고, **작업 전에 반드시 봐야 할 5개만** 확실히 읽을 줄 알면 됩니다.

16개 항목 전체 구조

항목	내용
1	화학제품과 회사에 관한 정보
2	유해성·위험성 ← 필수
3	구성성분의 명칭 및 함유량 ← 필수
4	응급조치 요령 ← 필수
5	폭발·화재 시 대처방법
6	누출 사고 시 대처방법
7	취급 및 저장방법 ← 필수
8	누출방지 및 개인보호구 ← 필수
9	물리화학적 특성
10	안정성 및 반응성
11	독성에 관한 정보
12	환경에 미치는 영향
13	폐기 시 주의사항
14	운송에 필요한 정보
15	법적 규제현황
16	그 밖의 참고사항

항목별 읽는 법

2번 — 유해성·위험성

픽토그램, 신호어, H문구가 여기 있어요. "**발암성 1A**" 같은 표기가 보이면 특별관리물질입니다. 취급 기록을 30년 보존해야 해요.

3번 — 구성성분

영업비밀로 성분이 가려진 경우가 있어요. 이때도 유해성이 큰 성분은 공개해야 합니다. CAS 번호로 개별 성분을 검색할 수 있어요.

4번 — 응급조치

사고 나고 나서 읽으면 늦습니다. 미리 봐주세요.

- 눈에 들어갔을 때: 보통 **15분 이상 흐르는 물로** 세척
- 피부 접촉: 오염된 옷을 즉시 벗기고 세척
- 흡입: 신선한 공기가 있는 곳으로

7번 — 취급 및 저장

- 함께 두면 안 되는 물질(혼재 금지)
- 보관 온도, 환기 요구사항

- 접지 필요 여부

8번 — 노출방지 및 개인보호구

가장 실무적인 항목이에요.

- **노출기준(TWA, STEL)** — 8시간 평균 / 단시간
- 필요한 **호흡보호구 종류** (방진마스크인지 방독마스크인지, 정화통 종류)
- 장갑 재질 (**니트릴/네오프렌/부틸** — 물질마다 뚫리는 재질이 다릅니다)

> 유기용제에 **라텍스 장갑**을 끼면 몇 분 만에 투과됩니다. 반드시 MSDS가 지정한 재질을 쓰세요.

노출기준 읽기

TWA (시간가중평균) : 8시간 작업 기준 평균 농도 한계
 STEL (단시간노출) : 15분간 노출 가능한 최대 농도
 C (최고노출기준) : 순간이라도 넘으면 안 되는 값

예) 톨루엔 TWA 50ppm / STEL 150ppm

법적 의무 (사업주)

- MSDS를 취급 근로자가 쉽게 볼 수 있는 장소에 게시·비치
- 경고표지 부착
- **MSDS 교육 실시** (물질이 바뀌거나 새로 도입될 때마다)
- 2021년부터 **MSDS 제출·비공개 승인 제도** 운영 (안전보건공단)

신입이 첫날 해야 할 일

- ☐ 내 공정에서 쓰는 화학물질 목록 확인
- ☐ 각 물질의 MSDS 위치 확인 (파일철 또는 게시판)
- ☐ 4번(응급조치)과 8번(보호구) 항목을 읽어두기
- ☐ 세안기(eye wash)·비상샤워 위치 확인 — **30초 안에 도달 가능해야 합니다**

출처: 안전보건공단 — MSDS 검색 시스템 (<https://msds.kosha.or.kr>) · 고용노동부 — 화학물질 관리 안내 (<https://www.moel.go.kr>) · 화학물질안전원 — 화학물질 종합정보시스템 (<https://icis.me.go.kr>)

현장에서 해볼 것

- MSDS 3종 읽기 실습
- GHS 픽토그램 매칭 퀴즈

근로자 권리와 노동법

내 권리를 알아야 지킬 수 있다

배우는 것

- 기본적인 근로 조건을 이해한다
- 부당 처우 시 대응 방법을 안다

근로계약서

근로계약서 필수 기재사항, 근로시간, 휴게·휴일, 연차 유급휴가의 법적 기준을 배웁니다.

계약을 안 쓰면 손해는 항상 근로자 쪽입니다

일이 급해서, 아는 사람 소개라서, "다음에 쓰자"는 말에 그냥 넘어가서 — 근로계약서 없이 일을 시작하는 경우가 아직도 많아요. 그런데 나중에 임금이나 근무시간을 두고 다툼이 생기면 **말로 한 약속은 증명할 방법이 없습니다**. 조사관도 판단할 근거가 없어요.

근로계약서 작성과 교부는 사용자의 법적 의무입니다(근로기준법 제17조). 쓰기만 하고 회사가 전부 보관하는 것도 위반이에요. **한 부는 반드시 근로자가 받아 가지고 있어야** 합니다.

> 계약을 못 받았다는 것 자체가 신고 대상이에요. 사진으로라도 찍어두세요. 나중에 임금체불을 다룰 때 가장 먼저 요구받는 서류가 근로계약서입니다.

서면에 반드시 있어야 하는 항목

항목	이렇게 적혀 있어야 정상
임금	구성항목(기본급·수당별 금액), 계산방법, 지급방법·지급일
소정근로시간	시업·종업 시각, 1일/1주 몇 시간인지
휴일	주휴일이 무슨 요일인지, 관공서 공휴일 유급 여부
연차 유급휴가	부여 기준
취업 장소	실제 근무할 공장·사업장
담당 업무	"제조 보조" 같은 뭉뚱그린 표현보다 구체적일수록 좋음

"임금 = 월 000만원" 한 줄만 적힌 계약서는 **부실 계약서**예요. 기본급이 얼마고 연장수당이 얼마인지 나뉘어 있지 않으면, 나중에 연장근로수당을 이미 받았는지 못 받았는지 따질 수가 없습니다.

근로시간·휴게·휴일의 법정 기준

구분	기준
소정근로시간	1일 8시간 , 1주 40시간 이내
연장근로	당사자 합의로 1주 12시간 한도
휴게	4시간 근무에 30분 이상, 8시간 근무에 1시간 이상 — 근로시간 도중에
주휴일	1주 소정근로일을 개근하면 1일 이상 유급휴일
야간근로	오후 10시 ~ 오전 6시

휴게시간은 자유롭게 쉬는 시간이에요. "밥 먹으면서 기계 보라"는 휴게가 아니라 근로시간입니다. 대기 상태로 자리를 못 뜨면 그건 일한 시간이에요.

연차 유급휴가는 이렇게 쌓입니다

[임사 1년 미만]

1개월 개근할 때마다 1일 → 최대 11일

[임사 1년, 전년도 80% 이상 출근]

15일

[3년 이상 계속근로]

최초 1년을 넘는 매 2년마다 1일씩 가산

3~4년차 : 16일

5~6년차 : 17일

7~8년차 : 18일

...

21년차~ : 25일 (한도)

연차는 **근로자가 원하는 날에 쓰는 것이 원칙**입니다. 회사는 사업 운영에 막대한 지장이 있을 때만 시기를 바꿔달라고 할 수 있어요. 못 쓰고 남은 연차는 원칙적으로 **연차수당**으로 정산받습니다(회사가 적절한 사용촉진 절차를 밟은 경우는 예외).

5인 미만 사업장이면 기준이 달라집니다

부울경에는 2·3차 협력사 중 상시근로자 5인 미만인 곳이 적지 않아요. **내 회사가 몇 명인지에 따라 적용되는 조항이 달라집니다.**

제도	5인 미만	5인 이상
최저임금	적용	적용
근로계약서 작성·교부	적용	적용
주휴수당	적용	적용
퇴직금	적용	적용
산재보험	적용	적용
연장·야간·휴일 가산수당(50%)	적용 안 됨	적용
연차 유급휴가	적용 안 됨	적용
주 52시간 한도	적용 안 됨	적용
부당해고 구제신청	적용 안 됨	적용

상시근로자 수는 사장 개인의 말이 아니라 **실제 고용 인원**으로 판단합니다. 헛갈리면 고용노동부 고객상담센터(국번없이 **1350**)에 물어보세요.

누가 내 "사용자"인지 확인하세요

조선소·자동차부품 현장은 원청 안에 사내협력사가 여러 개 들어와 있는 구조가 흔합니다. 근로계약서에 적힌 회사(내 사용자)와, 현장에서 지시하는 사람의 소속이 다를 수 있어요.

- **도급**: 협력사 관리자가 지휘·명령. 정상 구조.
- **파견**: 파견법에 따라 허용 업무·기간이 정해져 있고, 제조업 직접생산공정 업무는 원칙적으로 파견 금지.

원청 직원이 직접 작업 지시를 하고 근태를 관리한다면 불법파견 소지가 있습니다. 판단이 어려운 문제이니, 이상하다고 느끼면 노동청에 상담부터 하세요.

외국인 근로자(E-9)가 추가로 확인할 것

- **표준근로계약서**를 씁니다. 모국어 번역본을 함께 받아 두세요.
- **여권·외국인등록증을 회사가 보관하는 것은 위법**입니다. 본인이 소지하세요.
- 국적을 이유로 임금·근로조건을 차별하는 것은 근로기준법 제6조 위반입니다. 최저임금도 내국인과 **동일하게** 적용됩니다.
- 사업장 변경은 정해진 횟수 안에서 가능하고, **사용자의 근로조건 위반 등 근로자 책임이 아닌 사유**는 그 횟수에 넣지 않습니다. 고용센터에서 확인하세요.
- 외국인력 관련 상담: **1577-0071** (다국어 상담 지원)

서명하기 전 체크리스트

- ☐ 임금이 **기본급·수당별로 나뉘어** 적혀 있는가
- ☐ 시업·종업 시각과 휴게시간이 구체적으로 적혀 있는가
- ☐ 주휴일이 어느 요일인지 적혀 있는가
- ☐ 빈칸이 있는 채로 서명하지 않았는가 (**빈칸 서명 절대 금지**)
- ☐ **서명한 계약서 한 부를 받았는가**
- ☐ 사진을 찍어 내 휴대폰에도 저장해 두었는가

출처: 고용노동부 — 표준근로계약서 서식과 작성 안내 (<https://www.moel.go.kr>) · 국가법령정보센터 — 근로기준법 (<https://www.law.go.kr>) · 고용노동부 민원마당 — 근로조건 상담·민원 신청 (<https://minwon.moel.go.kr>)

임금과 4대 보험

최저임금, 통상임금, 퇴직금, 국민연금·건강보험·고용보험·산재보험의 기본을 학습합니다.

급여명세서를 읽을 줄 알아야 손해를 앎니다

"통장에 들어온 돈이 얼마"만 보면 무엇을 덜 받았는지 알 수 없어요. 임금은 **기본급 + 각종 수당 - 공제(4대보험·세금)** 구조로 되어 있고, 각 항목마다 계산 근거가 있습니다.

2021년 11월부터 사용자는 **임금명세서 교부 의무**가 있어요(근로기준법 제48조). 임금 구성항목, 계산방법, 공제 내역이 적힌 명세서를 급여를 줄 때마다 서면이나 전자문서로 줘야 합니다. 안 주면 과태료 대상이에요.

최저임금 — 매년 새로 고시됩니다

최저임금은 **매년 8월 초에 다음 해 금액이 결정·고시**되고, **다음 해 1월 1일부터** 적용됩니다. 금액은 해마다 바뀌므로 반드시 **그해 고시액을 확인**하세요. 고용노동부 홈페이지와 사업장 게시판에 공지됩니다.

기억할 원칙은 이것들입니다.

- **1인 이상 모든 사업장에 적용**됩니다. 5인 미만도 예외 없어요.
- **국적과 무관**합니다. E-9 외국인 근로자에게도 동일 금액이 적용돼요.
- 1년 이상 계약을 맺은 근로자의 **수습 3개월 이내**에는 10% 감액이 가능하지만, 고용노동부가 고시한 **단순노무 직종은 감액할 수 없습니다**.
- 최저임금에 산입되는 임금의 범위(정기상여금·복리후생비 포함 여부)는 법 개정으로 단계적으로 바뀌어 왔습니다. 내 임금이 최저임금 위반인지 계산할 때는 **그해 기준으로 확인**하세요.

> 최저임금 위반 여부는 "월급 총액"이 아니라 **시간당 금액**으로 따집니다. 월급을 그달의 소정근로시간으로 나눠서 비교해야 해요.

통상임금과 평균임금 — 쓰이는 곳이 다릅니다

구분	정의	어디에 쓰이나
통상임금	소정근로의 대가로 정기적·일률적 으로 지급하기로 정한 금액	연장·야간·휴일 가산수당, 연차수당, 해고예고수당
평균임금	산정사유 발생일 이전 3개월 임금총액 ÷ 그 기간 총일수	퇴직금, 산재 휴업급여·장해급여, 휴업수당

평균임금이 통상임금보다 적게 나오면 **통상임금을 평균임금으로 봅니다**.

어떤 수당이 통상임금에 들어가는지는 대법원 판례로 계속 정리되어 왔고, 재직조건이 붙은 정기상여금의 취급 등 실무 기준이 바뀐 부분이 있습니다. **회사가 통상임금 범위를 좁게 잡아 수당을 적게 준 사례가 많으니**, 금액이 이상하면 노동청 상담을 받아보세요.

통상시급과 가산수당 계산

주 40시간제에서 월 소정근로시간은 보통 **209시간**으로 계산합니다.

$$\begin{aligned}\text{월 소정근로시간} &= (\text{주 } 40\text{시간} + \text{주휴 } 8\text{시간}) \times 365\text{일} \div 7\text{일} \div 12\text{개월} \\ &= 48 \times 52.14 \div 12 \\ &\approx 209\text{시간}\end{aligned}$$

예) 통상임금에 해당하는 월 급여가 2,090,000원이라면
통상시급 = 2,090,000 ÷ 209 = 10,000원

$$\begin{aligned}\text{연장근로 } 10\text{시간} &\rightarrow 10,000 \times 1.5 \times 10 = 150,000\text{원} \\ \text{야간근로 } 8\text{시간} &\rightarrow 10,000 \times 0.5 \times 8 = 40,000\text{원} \quad (\text{가산분만}) \\ \text{휴일근로 } 8\text{시간} &\rightarrow 10,000 \times 1.5 \times 8 = 120,000\text{원} \\ \text{휴일 } 8\text{시간 초과분} &\rightarrow 10,000 \times 2.0 \times \text{초과시간}\end{aligned}$$

연장이면서 야간(밤 10시 이후 잔업)이면 가산이 겹칩니다. 연장 50% + 야간 50%로 통상시급의 2배가 돼요. 야간작업이 많은 조선·주물 현장에서 이 부분이 자주 누락됩니다.

퇴직금

- 계속근로 1년 이상, 4주 평균 1주 소정근로시간 15시간 이상이면 대상입니다.
- 1인 이상 모든 사업장에 적용됩니다. 5인 미만도 받아요.
- 퇴직일부터 14일 이내 지급이 원칙(합의로 연장 가능).

퇴직금 = 1일 평균임금 × 30일 × (계속근로일수 ÷ 365)

예) 퇴직 전 3개월 임금총액 9,200,000원, 그 기간 총일수 92일

1일 평균임금 = 9,200,000 ÷ 92 = 100,000원

계속근로 1,278일(약 3년 6개월)이면

퇴직금 = 100,000 × 30 × (1,278 ÷ 365)

= 3,000,000 × 3.5014

≈ 10,504,000원

> "월급에 퇴직금이 포함되어 있다"는 계약(퇴직금 분할약정)은 원칙적으로 무효입니다. 퇴직할 때 별도로 청구할 수 있어요.

E-9 외국인 근로자의 퇴직금은 사업주가 가입하는 **출국만기보험**으로 갈음되는 구조입니다. 보험금이 법정 퇴직금보다 적으면 **차액**은 사업주가 지급해야 해요. 금액을 반드시 대조해 보세요.

4대보험 — 부담 주체가 다릅니다

보험	무엇을 보장하나	보험료 부담
국민연금	노령·장애·유족 연금	근로자와 사업주가 절반씩
건강보험	질병·부상 진료비, 장기요양	근로자와 사업주가 절반씩
고용보험	실업급여, 직업능력개발, 육아휴직급여	실업급여분은 절반씩, 고용안정·직업능력개발 사업분은 사업주 전액
산재보험	업무상 재해 치료·보상	전액 사업주 부담

보험료율은 매년 고시로 바뀌므로 그해 요율을 확인하세요. 구조만 정확히 기억하면 됩니다.

산재보험료는 근로자가 한 푼도 내지 않습니다. 명세서에서 산재보험료가 공제돼 있다면 잘못된 겁니다. 그리고 산재보험은 근로자 1인 이상이면 당연 적용이라, 회사가 가입을 안 했더라도 재해가 나면 근로자는 보상을 받을 수 있어요.

외국인 근로자의 4대보험

- 건강보험·산재보험: 적용됩니다.
- 국민연금: 국가 간 상호주의에 따라 국적으로 적용 여부와 반환일시금 수령 가능 여부가 다릅니다. 본인 국적 기준을 반드시 확인하세요.
- 고용보험: 체류자격에 따라 당연적용과 임의가입이 갈립니다.
- 이 밖에 외국인 근로자에게는 **출국만기보험, 귀국비용보험, 상해보험, 임금체불 보증보험**이 별도로 있습니다. 누가 가입하는지, 언제 받는지 계약 시점에 확인해 두세요.

급여명세서에서 확인할 것

- ☐ 기본급과 각 수당이 항목별로 나뉘어 있는가
- ☐ 연장·야간·휴일 근로시간이 실제 일한 시간과 맞는가
- ☐ 산재보험료가 공제돼 있지 않은가 (있으면 오류)
- ☐ 4대보험 취득신고가 실제로 되어 있는가 (건강보험공단·국민연금공단에서 본인 조회 가능)
- ☐ 매달 명세서를 파일로 보관하고 있는가 — 체불 다툼의 핵심 증거입니다

출처: 고용노동부 — 최저임금·임금제도 안내 (<https://www.moel.go.kr>) · 국가법령정보센터 — 최저임금법 / 근로자퇴직급여 보장법 (<https://www.law.go.kr>) · 근로복지공단 — 고용·산재보험 가입과 보험료 (<https://www.comwel.or.kr>)

부당 처우 대응

임금체불, 부당해고, 직장 내 괴롭힘, 산업재해 신고 시 연락처와 절차를 안내합니다.

참는 동안 시효가 흘러갑니다

부당한 일을 당했을 때 가장 흔한 선택이 "일단 참고 보자"예요. 그런데 노동관계 권리에는 **기한**이 있습니다. 임금채권은 **3년**, 부당해고 구제신청은 **3개월**. 이 기간을 넘기면 내용이 아무리 정당해도 다룰 수 없어요.

그리고 신고는 회사를 망하게 하는 일이 아닙니다. 대부분 **시정 지시와 지급**으로 끝나요.

무엇보다 먼저 — 증거를 모으세요

조사가관이 판단할 수 있는 건 기록뿐입니다. 다음을 평소에 남겨두세요.

증거	왜 필요한가
근로계약서 사본	약속한 임금·근로시간의 기준
급여명세서, 통장 입금 내역	실제 지급액
출퇴근 기록 (지문·카드 기록, 작업일보, 본인이 쓴 수기 메모)	연장근로 입증의 핵심
업무 지시 문자·메신저 캡처	지시 내용과 시각
녹음	본인이 대화 당사자인 경우 녹음은 가능합니다

> 손으로 쓴 근무 기록이라도 **매일 그날 적은 것**이면 증거로 인정받는 경우가 많아요. 나중에 몰아서 쓴 건 신빙성이 떨어집니다.

임금체불

임금은 **정해진 날에, 전액, 통화로, 근로자 본인에게** 지급해야 합니다(임금 지급의 4원칙). 퇴직한 경우에는 퇴직일부터 **14일 이내**에 임금·퇴직금 등 모든 금품을 청산해야 해요.

신고 절차

- ① 관할 지방고용노동청(지청)에 진정 제기
 - 온라인: 고용노동부 민원마당에서 "임금체불 진정" 신청
 - 방문·우편도 가능
- ↓
- ② 근로감독관 배정 → 출석 조사 (근로자·사업주 대면 조사)
- ↓
- ③ 체불 확인 시 시정 지시 → 사업주 지급
- ↓
- ④ 그래도 안 주면 → 체불금품확인원 발급
→ 대지급금 청구 / 민사소송 / 사업주 형사처벌

- **관할**: 사업장 소재지 기준입니다. 부울경은 부산지방고용노동청과 산하 지청(부산동부·부산북부·창원·울산·양산·진주·통영)이 담당해요.
- **대지급금**: 회사가 도산했거나 지급 능력이 없을 때 **근로복지공단**이 일정 한도까지 대신 지급하는 제도입니다. 상한액과 신청 기한이 정해져 있으니 공단(1588-0075)에 확인하세요.
- **지연이자**: 퇴직 후 14일이 지나도 안 주면 그 다음 날부터 연 20%의 지연이자가 붙습니다(재직 중 체불에는 적용되지 않아요).

부당해고

확인 사항	기준
해고 서면통지	해고 사유와 시기를 서면으로 알려야 유효 (5인 이상). 문자·구두 해고는 무효 소지
해고예고	30일 전 예고 또는 30일분 이상의 통상임금 (해고예고수당). 계속근로 3개월 미만 등은 예외
정당한 이유	5인 이상 사업장은 정당한 이유 없이 해고할 수 없음
구제신청 기한	해고가 있었던 날부터 3개월 이내 지방노동위원회에 신청

부울경은 부산지방노동위원회·울산지방노동위원회·경남지방노동위원회가 사업장 소재지 기준으로 각각 담당합니다(세 곳은 별개 기관이니 접수 전에 관할을 확인하세요). 구제신청에 **비용은 들지 않고**, 일정 요건을 갖추면 국선노무사 지원도 받을 수 있어요.

> "권고사직서에 서명하라"는 요구를 조심하세요. 서명하면 **자진 퇴사**가 되어 부당해고를 다루기 어려워지고 실업급여에도 영향이 갑니다. 납득이 안 되면 **서명하지 말고** 먼저 상담받으세요.

직장 내 괴롭힘

법이 정한 직장 내 괴롭힘은 세 가지가 모두 맞을 때입니다.

1. 직장에서의 **지위 또는 관계의 우위**를 이용해서
2. **업무상 적정범위를 넘어**
3. 신체적·정신적 고통을 주거나 **근무환경을 악화**시키는 행위

정당한 업무 지시나 질책은 해당하지 않아요. 반면 폭언, 따돌림, 일 안 주기, 사적 심부름, 국적을 이유로 한 조롱은 해당할 수 있습니다.

처리 절차

- ① 누구든지 사용자에게 신고 가능 (피해자 본인이 아니어도 됨)
↓
- ② 사용자는 지체 없이 조사 의무
↓
- ③ 조사 기간 중 피해자 보호 (근무장소 변경, 유급휴가 등)
→ 피해자 의사에 반하는 조치는 안 됨
↓
- ④ 확인되면 가해자 징계·근무장소 변경 등 조치
↓
- ⑤ 회사가 조사·조치를 안 하면 → 관할 노동청에 진정

> **신고자·피해자에게 해고나 불리한 처우를 하는 것은 형사처벌 대상**입니다. 이 조항이 신고를 가능하게 만드는 핵심이에요. 5인 이상 사업장에 적용됩니다.

산업재해 — 공상처리 권유를 그냥 받아들이지 마세요

다쳤을 때 "산재 넣으면 회사가 곤란해지니 치료비는 우리가 주겠다"는 제안을 받는 일이 흔합니다. 이걸 **공상처리**라고 해요. 문제는 이렇습니다.

- 회사가 주는 돈은 대개 **치료비**까지입니다. 일 못 한 기간의 **휴업급여**, 후유증에 대한 **장해급여**는 빠져요.
- 나중에 후유증이 생겨도 기록이 없어 다시 인정받기 어렵습니다.
- **산재 은폐는 사업주의 범죄**입니다. 근로자가 배려해 줄 일이 아니에요.

산재는 **회사의 승인 없이 근로자가 직접 근로복지공단에 신청**할 수 있습니다. 회사가 확인 날인을 거부해도 신청은 가능해요.

어디에 신고하나 — 한 장 정리

문제	창구	기한
임금체불, 최저임금 위반, 연장수당 미지급, 근로계약서 미교부	관할 지방고용노동청 진정 (온라인 민원마당)	임금채권 3년
부당해고·부당징계	지방노동위원회 구제신청	해고일부터 3개월
직장 내 괴롭힘	회사 신고 → 미조치 시 노동청 진정	—
산업재해	근로복지공단 지사에 요양급여 신청	급여 종류별 3년 또는 5년
위험한 작업 지시, 안전조치 미비	노동청 산재예방 부서 / 안전보건공단	—
일반 노동법 상담	고용노동부 고객상담센터 1350	—
외국인 근로자 상담(다국어)	1577-0071	—

외국인 근로자가 특히 알아둘 것

- 신고했다는 이유로 불리한 처우를 하거나 강제로 출국시킬 수 없습니다.
- 사업주의 근로조건 위반, 임금체불, 부당한 처우 등은 **사업장 변경 사유**가 되고, 이 경우는 변경 횟수에 산입하지 않습니다. 고용센터에 사유를 정확히 신고하세요.
- 여권·외국인등록증 보관 요구, 통장·체크카드 제출 요구는 응하지 마세요.
- 상담은 **1350**(통역 지원)과 **1577-0071**에서 모국어로 받을 수 있습니다.

오늘 확인할 것

- ☐ 근로계약서 사본이 내 손에 있는가
- ☐ 최근 3개월 급여명세서와 임금 내역을 보관하고 있는가
- ☐ 출퇴근·연장근로 시간을 **매일** 기록하고 있는가
- ☐ 우리 회사 관할 지방고용노동청이 어디인지 아는가
- ☐ 다쳤을 때 산재 신청은 **내가 직접** 할 수 있다는 걸 아는가

출처: 고용노동부 민원마당 — 임금체불 진정 등 민원 신청 (<https://minwon.moel.go.kr>) · 고용노동부 — 직장 내 괴롭힘 판단 및 예방·대응 안내 (<https://www.moel.go.kr>) · 국가법령정보센터 — 근로기준법(해고·괴롭힘 조항) (<https://www.law.go.kr>)

현장에서 해볼 것

- 근로계약서 주요 항목 체크
- 고용노동부 신고 절차 확인

용접 실무

용접 종류와 자세, 도면의 용접 기호와 절차서(WPS) 읽는 법, 결함 검사와 열처리까지 담았습니다.

용접 실무

용접 교육 모듈 3개를 전문 그대로 실었습니다.

용접 기초

아크용접부터 TIG/MIG까지

배우는 것

- 주요 용접 방법의 원리를 이해한다
- 용접 자세와 비드 형태를 구분한다
- 용접 안전 수칙을 숙지한다

용접의 종류

피복아크용접(SMAW), TIG(GTAW), MIG/MAG(GMAW), CO2 용접의 원리와 적용 범위를 비교 학습합니다.

붙이는 방법이 다르면, 배우는 것도 다릅니다

용접은 "녹여서 붙이는 것"이 아니라 **모재와 용가재를 녹여 한 덩어리(용착금속)로 만드는 것**입니다. 그래서 붙는 부분은 접착이 아니라 금속 그 자체예요.

문제는 녹은 금속이 공기와 닿으면 **산소·질소를 빨아들여 기공과 취성**이 생긴다는 겁니다. 아크용접 방식이 여러 개인 이유는 결국 하나예요. **녹은 쇠물을 공기로부터 어떻게 지킬 것인가.**

- 용접봉 겉의 피복제를 태워 gas와 슬래그로 덮는다 → **SMAW**
- 별도 가스통에서 아르곤을 흘려 덮는다 → **GTAW(TIG)**
- 가스를 흘리면서 와이어를 자동으로 밀어넣는다 → **GMAW(MIG·MAG·CO2)**

이 차이가 속도, 품질, 옥외 작업 가능 여부, 배우는 난이도를 전부 결정합니다.

3대 아크용접 비교

구분	SMAW (피복아크)	GTAW (TIG)	GMAW (MIG-MAG-CO2)
현장 호칭	전기용접, 아크용접	티그, 알곤용접	반자동, 시오투(CO2)
전극	용접봉이 녹아 들어감	텅스텐(안 녹음)	와이어가 녹아 들어감
보호 방식	피복제가 타며 가스+슬래그	아르곤 등 불활성 가스	가스(Ar/CO2 혼합 또는 순 CO2)
용가재 공급	손으로 밀어 넣음	원손으로 따로 넣음	자동 송급(반자동)
용착속도(대략)	1~3 kg/h	0.3~1 kg/h	3~6 kg/h
슬래그	있음(매 층 제거)	없음	순 CO2-슬러드는 적음, FCAW는 있음
옥외·바람	강함	매우 약함	약함
전자세	가능	가능	단락이행이면 가능
배우는 난이도	중	상	하~중
주 적용	구조물, 보수, 좁은 곳	스테인리스·알루미늄 배관, 루트패스	후판 구조물, 조선 블록, 자동차부품

방식별로 실제 무엇이 다른가

SMAW — 장비가 단순해서 어디든 갑니다

용접기와 케이블, 봉만 있으면 됩니다. 가스통이 없으니 **죽장 위, 배관 사이, 옥외 어디서든** 작업이 가능해요. 부울경 협력사 현장에서 여전히 기본기로 취급하는 이유입니다.

용접봉은 피복제 계열에 따라 성격이 갈립니다.

계열	대표 표기	성격	쓰는 곳
일미나이트계	E4301	무난, 전자세	일반 구조물
고산화티탄계	E4313	비드 외관이 예뻐, 용입 얇음	박판, 외관 중시
저수소계	E4316 / E7018	확산성 수소 낮음, 균열에 강함	후판, 고장력강, 압력용기

> 저수소계는 습기를 먹으면 의미가 없어집니다. 개봉 후 방치한 봉은 통상 **300~350°C에서 1시간 이상 재건조한 뒤 보온통(100°C 내외)**에 넣어 꺼내 씁니다. 정확한 조건은 봉 제조사 지침과 WPS를 따르세요. 봉통 없이 주머니에 봉을 꽂고 다니는 습관이 저온균열의 시작입니다.

GTAW(TIG) — 느리지만 가장 깨끗

텅스텐 전극은 녹지 않고 아크만 만듭니다. 용가재를 손으로 넣기 때문에 **입열과 용융지를 가장 정밀하게 제어**할 수 있어요. 스테인리스 배관, 알루미늄, 얇은 판, 그리고 **배관 루트패스(첫 층)**는 거의 TIG입니다.

- 극성: 탄소강·스테인리스는 **직류 정극성(DCEN)**, 알루미늄은 **교류(AC)** — 교류의 클리닝 작용이 산화막을 깨줍니다.
- 전극: 순텅스텐(녹색), 2%토륨(적색), 2%세륨(회색), 2%란탄(청색). **토륨은 방사성이라 연삭 분진이 문제가 되어 세륨·란탄으로 바꾸는** 현장이 늘고 있어요.
- 스테인리스 배관은 이면 산화를 막기 위해 **백퍼지(back purge)**로 관 내부까지 아르곤을 채웁니다. 이걸 빼먹으면 이면이 검게 타서(슈가) 전량 재작업이에요.

GMAW(MIG-MAG-CO2) — 물량이 나오는 방식

와이어가 자동으로 나오니 **손이 멈추지 않습니다**. 용착속도가 SMAW의 2~3배라 조선 블록, 후판 구조물, 자동차부품 라인에 여기가 주력이에요.

가스	이름	특징
순 Ar / Ar+He	MIG	불활성. 알루미늄·스테인리스·비철
Ar + CO2(또는 O2)	MAG	스패터 적고 비드 양호. 자동차부품에서 흔함
순 CO2	CO2 용접	가스값이 싸고 용입 깊음. 스패터 많음

이행 형태도 알아두세요.

- 단락이행:** 저전류. 와이어가 모재에 닿았다 끊기며 이행. 박판·전자세 가능

- **스프레이 이행:** 고전류 + Ar 80% 이상. 스파터가 거의 없지만 **아래보기·수평필릿에서만** 가능

조선소에서는 슬래그를 만드는 심선을 넣은 **FCAW(플럭스코어드)** 를 많이 씁니다. 용착속도가 높으면서 전자세가 되고 비드가 안정적이라 블록 용접의 표준이에요.

무엇을 쏠지 정하는 5가지 기준

1. **모재** — 알루미늄이면 TIG(AC) 또는 MIG. 스테인리스 박판은 TIG. 일반 구조용강 후판이면 FCAW-CO2
2. **판 두께** — 얇으면 TIG·단락이행, 두꺼우면 CO2·FCAW·SAW
3. **품질 요구** — 방사선검사(RT)를 받는 배관·압력용기라면 루트는 TIG
4. **작업 환경** — 옥외·바람·좁은 곳이면 SMAW. 가스실드 방식은 **풍속이 대략 2m/s를 넘으면 방풍막**이 필요합니다
5. **물량과 납기** — 같은 품질이면 용착속도가 높은 쪽

숫자로 감 잡기 — 전류와 입열량

봉경·와이어경에 맞는 전류를 벗어나면 그때부터 결함이 시작됩니다.

피복봉 적정 전류 대략 = 봉경(mm) x 30~40

3.2mm 봉 -> 약 100 ~ 130 A

피복봉 적정 전류 대략 = 봉경(mm) x 30~40

3.2mm 봉 -> 약 100 ~ 130 A

4.0mm 봉 -> 약 120 ~ 160 A

5.0mm 봉 -> 약 150 ~ 200 A

(실제 적용 전류는 봉 제조사 카탈로그와 WPS 범위를 우선합니다)

5.0mm 봉 -> 약 170 ~ 220 A

입열량(Heat Input)은 WPS에서 반드시 관리하는 값입니다. 재료의 성질을 바꾸기 때문이에요.

입열량 H (J/mm) = 60 x 전류(A) x 전압(V) / 용접속도(mm/min)

예) CO2 반자동, 280A, 30V, 300mm/min

= 60 x 280 x 30 / 300

= 504,000 / 300

= 1,680 J/mm = 1.68 kJ/mm

- **입열이 너무 높으면:** 열영향부(HAZ)가 넓어지고 결정립이 커져 **인성이 떨어집니다**. 변형도 커져요.
- **입열이 너무 낮으면:** 급냉되어 **경화·저온균열** 위험이 올라갑니다.

같은 전류라도 **속도를 반으로 줄이면 입열은 두 배**가 됩니다. "천천히 정성껏"이 항상 좋은 게 아니에요.

첫 주에 확인할 것

- ☐ 우리 공정의 주 용접법은 무엇인가 (SMAW / TIG / CO2 / FCAW)
- ☐ 쓰는 **용접봉·와이어 규격**과 보관 장소(봉 건조로가 있는가)
- ☐ 실드가스 종류와 **유량계 설정값** (통상 CO2·MAG 15~25 L/min, TIG 8~15 L/min)
- ☐ 우리 라인의 **WPS 번호**와 거기 적힌 전류·전압·속도 범위
- ☐ 모재 재질 (연강인지, 고장력강인지, 스테인리스인지) — 재질에 따라 봉이 완전히 달라집니다

출처: 대한용접·접합학회 — 용접기술 자료실 (<https://www.kwjs.or.kr>) · 국가기술표준원 — KS 표준(용접 재료·기호) 정보 (<https://www.kats.go.kr>) · 한국산업 인력공단 — 용접 분야 국가기술자격 정보 (<https://www.hrdkorea.or.kr>)

용접 자세

아래보기(F), 수평(H), 수직(V), 위보기(O) 자세별 특징과 난이도, 적용 상황을 배웁니다.

같은 용접인데 자세가 바뀌면 다른 일이 됩니다

용융된 쇠물은 물처럼 **중력을 그대로 받습니다**. 아래보기에서는 중력이 쇠물을 용융지에 눌러줘서 도와주지만, 위보기에서는 그 쇠물이 그대로 **얼굴 쪽으로 떨어집니다**.

그래서 자세가 바뀌면 전류도, 운봉도, 봉 각도도, 심지어 쓸 수 있는 이형 형태까지 바뀌어요. 현장에서 "저 사람 6G 된다"는 말이 곧 실력 평가인 이유입니다.

4가지 기본 자세

자세	현장 표기	ISO(KS)	AWS 그루브	AWS 필릿	난이도
아래보기	F (Flat)	PA	1G	1F	★☆☆☆
수평	H (Horizontal)	PC	2G	2F	★★★★
수직	V (Vertical)	PF(상진) / PG(하진)	3G	3F	★★★★☆
위보기	O-OH (Overhead)	PE	4G	4F	★★★★★

> 필릿 전용 기호도 있습니다. **PB는 수평필릿(가장 흔한 자세)**, **PD는 위보기필릿**이에요. 도면과 WPS에서 PA~PG 표기를 보면 어떤 자세로 시험·시공하라는 지시입니다.

자세별로 무엇이 달라지는가

아래보기(F) — 가능하면 여기로 만드세요

가장 쉽고, 가장 빠르고, 품질도 가장 좋습니다. **스프레이 이형 같은 고능률 조건은 아래보기·수평필릿에서만 쓸 수 있어요**.

그래서 실력 있는 반장은 용접을 잘하는 게 아니라 **포지셔너(회전지그)나 크레인**으로 제품을 돌려 아래보기로 만드는 사람입니다. 조선소 블록 조립에서 "터닝(turning)"을 왜 그렇게 신경 쓰는지 여기 있습니다.

수평(H) — 위아래가 서로 다른 결함이 납니다

쇠물이 아래로 흘러내려요. 그 결과가 이겁니다.

- **비드 윗변**: 쇠물이 빠져나가 언더컷
- **비드 아랫변**: 쇠물이 처져 쌓여 오버랩

대책은 봉 각도를 **아래쪽으로 5~15도 기울여** 쇠물을 받쳐주고, 위빙 폭을 줄여 여러 층으로 쌓는 겁니다.

수직(V) — 상진이나 하진이나가 핵심

구분	상진(위로 올라감, PF)	하진(아래로 내려감, PG)
속도	느림	빠름
용입	깊음	얕음
슬래그	아래로 흘러 잘 빠짐	앞질러 흘러 슬래그 혼입 위험
적용	후판, 강도 요구 부위	박판, 가용접, 파이프라인 전용 절차

> **후판에서 하진으로 임의 시공하면 융합불량이 납니다**. 하진은 전용 WPS와 전용 용접봉이 있을 때만 쓰는 방법이에요. "빨리 끝내려고" 방향을 바꾸면 안 됩니다.

위보기(O) — 안전이 먼저입니다

쇠물이 떨어지므로 **전류를 아래보기 대비 10~15% 낮추고**, 아크를 짧게 유지하고, 위빙을 작게 가져갑니다. 한 층에 많이 쌓으려 하면 그대로 흘러내려요.

안전 측면이 더 큼니다. 스파터가 목·어깨·소매 안으로 들어갑니다.

- **목수건(용접용 넥커치프)**, 어깨덮개, 소매를 조인 방염 작업복
- 장갑 안으로 들어가지 않게 **소매를 장갑 위로** 덮기
- 목을 계속 젖히므로 30~40분마다 자세를 바꾸거나 교대 — 조선소에서 흔한 근골격계 질환 원인입니다

자세별 조건 조정 요령

아래보기 기준 전류를 **100** 이하 하면

수평(H) : 95 ~ 100

수직(V) : 85 ~ 90

위보기(O) : 85 ~ 90

위빙 폭 상한 = 봉경 x 2 ~ 3 배

(4.0mm 봉이면 약 8 ~ 12mm)

위빙 폭이 봉경의 3배를 넘으면 입열이 과해져 **언더컷과 변형**이 같이 옵니다. 넓게 한 번 굽지 말고 **여러 층으로 나눠 쌓는(다층 용접)** 것이 원칙이에요.

파이프 자세 — 여기서 실력이 갈립니다

배관은 판재와 기호 체계가 다릅니다.

기호	조건	나오는 자세
1G	축 수평, 파이프를 회전시킴	아래보기만
2G	축 수직, 고정	수평
5G	축 수평, 고정	아래보기 + 수직 + 위보기 전부
6G	축 45도 경사 , 고정	모든 자세가 연속으로
6GR	6G + 제한링(R) 부착	6G에 접근 제약 추가

6G가 최고 난이도로 취급되는 이유는 한 바퀴 도는 동안 자세가 계속 바뀌기 때문입니다. 아래보기로 시작해 수직을 지나 위보기까지 끊김 없이 이어 가야 해요. 울산·거제의 플랜트 배관, 화공 배관 현장에서 6G 보유자를 따로 찾는 이유입니다.

자세 자격이 곧 배치이고 단가입니다

용접사 자격시험은 **합격한 자세보다 쉬운 자세를 자동으로 커버**하는 구조입니다(적용 규격에 따라 세부는 다릅니다).

- 아래보기(1G)만 합격 → 아래보기 작업만
- 수직(3G) + 위보기(4G) 합격 → 판재 전자세
- **6G 합격 → 사실상 전 자세 커버**

그래서 조선·플랜트 협력사에서는 보유 자세에 따라 배치되는 공정과 단가가 다릅니다. 신입이 가장 빨리 몸값을 올리는 길은 **자세를 넓히는 것**이에요. 아래보기만 3년 하는 것보다 1년 안에 3G를 붙는 편이 낫습니다.

자세 연습 체크리스트

- ☐ 아래보기 비드가 **폭과 높이가 일정하게** 나오는가 (이게 안 되면 다른 자세는 무의미)
- ☐ 수평에서 **왼편 언더컷**이 없는가 — 손톱으로 긁어 걸리면 언더컷
- ☐ 수직 상진에서 슬래그가 앞질러 흐르지 않는가
- ☐ 위보기 전에 **목·어깨 보호구**를 착용했는가
- ☐ 다층 용접 시 **층간 슬래그**를 **완전히 제거**했는가
- ☐ 필요한 자세의 자격을 갖고 있는가, 다음 목표 자세는 무엇인가

용접 안전

아크광(자외선) 보호, 용접 흠 방지, 감전 예방, 화재 방지 조치를 학습합니다.

용접은 위험이 다섯 방향에서 동시에 옵니다

용접은 제조 현장에서 위험 요인이 가장 많이 겹치는 작업입니다. **빛, 연기, 전기, 산소 결핍, 불티**가 한자리에서 동시에 발생해요. 하나만 챙기면 다른 데서 다칩니다.

위험	어떻게 다치나	특징
아크광	전기성 안염, 피부 화상	몇 시간 뒤에 아파움
용접 흠	폐 질환, 신경계 손상, 발암	수년에 걸쳐 쌓임
감전	심실세동, 추락 2차 재해	젖으면 위험이 급증
밀폐공간	산소결핍 질식	의식을 잃을 때까지 자각 없음
화재·폭발	불티 비산, 밀폐용기 폭발	작업 끝난 뒤에 불이 남

아크광 — 6시간 뒤에 눈이 아파웁니다

아크에서는 강한 가시광뿐 아니라 **자외선(UV)**과 **적외선(IR)**이 나옵니다. 자외선이 각막을 태우면 **전기성 안염(광각막염)**이 생겨요.

무서운 건 **바로 안 아프다**는 것입니다. 노출 후 보통 **6~12시간이 지나서** 증상이 시작돼요. 눈에 모래가 들어간 느낌, 눈물, 눈부심, 통증. 대부분 하루 이틀이면 회복되지만 **반복되면 시력이 남지 않습니다**.

차광번호는 전류에 맞춰야 합니다

용접법	작업 전류	권장 차광번호
SMAW	100A 미만	9~10
SMAW	100~200A	10~11
SMAW	200~400A	12~13
GMAW-FCAW	100~300A	11~13
GTAW	50~200A	10~12

(표 아래 문구도 '작업 여건에 따라 ±1 정도 조정합니다' → '작업 여건에 따라 ±1 정도 조정하되, KS/EN 169-ANSI Z49.1 권장치 미만으로는 내리지 않습니다'로 보완)

| GTAW | 50~200A | 9~11 |

| 가스 용접·절단 | — | 3~6 |

작업 여건에 따라 ±1 정도 조정합니다. **어둡다고 낮은 번호를 쓰면 안 되고, 밝다고 무조건 높이면 용융지가 안 보여 품질이 떨어져요.**

놓치기 쉬운 것

- **주변 사람이 더 자주 당합니다.** 용접사는 헬멧을 쓰지만, 옆에서 그라인딩하던 사람, 지나가던 물류 담당자는 무방비예요. **차광막(용접 커튼)**은 나를 위한 게 아니라 남을 위한 겁니다.
- **반사광도 화상을 입힙니다.** 광택 있는 스테인리스 벽, 밝게 도장한 벽면은 자외선을 반사해요. 밀폐공간이나 좁은 구획에서 특히 심합니다.
- **자동차광 헬멧은 배터리·센서를 점검하세요.** 반응이 늦거나 안 되면 그대로 눈에 들어옵니다. 작업 전 아크를 짧게 쳐서 작동 확인.
- 목·손목·발목 등 옷 사이로 노출된 피부는 **일광화상**을 입습니다.

용접 흠 — 눈에 안 보이는 게 더 위험합니다

용접 흠은 금속이 증발했다가 다시 굳은 **초미세 입자**입니다. 크기가 작아 마스크 틈으로 새고, 폐 깊숙한 곳까지 들어가요.

모재·조건	주요 유해 성분	건강 영향
일반 탄소강	산화철, 망간	망간 과다 노출 시 신경계 손상(파킨슨 유사 증상)
스테인리스	6가 크롬, 니켈	발암성, 호흡기·비중격 손상
아연도금강(갈바)	산화아연	금속열 — 발열·오한·근육통이 노출 몇 시간 뒤 발생
도장면·기름 낀 면	열분해 유해가스	호흡기 자극, 유독가스

> 국제암연구소(IARC)는 2017년 용접 흠을 1군(인체 발암성 확인 물질)으로 분류했습니다. "예전 선배들도 다 그렇게 했다"가 근거가 되지 않는 이유입니다.

노출기준과 법정 관리

고용노동부 「화학물질 및 물리적 인자의 노출기준」 고시에 따라 관리합니다. 용접 흠은 TWA 5mg/m³, 망간 및 그 무기화합물은 TWA 1mg/m³ 수준으로 정해져 있어요(개정될 수 있으니 최신 고시 확인).

- 용접 흠·망간은 특수건강진단 대상 유해인자입니다. 배치 전 건강진단과 정기 특수건강진단을 받아야 해요.
- 작업환경측정 대상이기도 합니다. 협력사라도 원청 구내에서 일한다고 면제되지 않습니다.

실제로 효과 있는 순서

1. 발생원 제거 — 도장·기름·아연도금을 개선면에서 미리 제거(양측 25mm 이상 그라인딩)
2. 국소배기(LEV) — 후드를 아크에서 15~30cm 이내에 둘 것. 1m 떨어뜨리면 사실상 효과가 없습니다. 용접사가 손이 바쁘다고 후드를 옮기지 않는 게 가장 흔한 실패예요.
3. 전체 환기 — 밀폐 구획은 급기·배기를 같이
4. 호흡보호구 — 방진마스크 특급 또는 전동식(PAPR). 밀폐공간·고농도는 송기마스크

> 머리를 흠 기둥 바로 위에 두지 마세요. 흠은 수직으로 올라옵니다. 고개를 살짝 옆으로 비켜 용융지를 보면 흡입량이 크게 줄어요.

감전 — 무부하 전압이 진짜 위험합니다

용접 중보다 아크를 켜기 전이 더 위험합니다. 아크가 없을 때 홀더와 모재 사이에 걸리는 전압을 무부하 전압(OCV)이라 하는데, 교류 아크용접기는 통상 70~90V에 이릅니다.

건조한 상태의 인체 저항은 수천 옴이지만, 땀이나 물에 젖으면 수백 옴까지 떨어집니다. 이 상태에서 70V는 충분히 치명적이에요.

자동전격방지기는 선택이 아닙니다

「산업안전보건기준에 관한 규칙」은 아래 장소에서 교류아크용접기를 쓸 때 자동전격방지기 설치를 의무화합니다. 아크가 끊기면 무부하 전압을 25V 이하로 자동으로 낮춰주는 장치예요.

- 선박의 이중선체 내부, 밸러스트 탱크, 보일러 내부 등 도전체에 둘러싸인 좁은 장소
- 높이 2m 이상의 추락 위험 장소로, 철골 등 도전성 높은 물체에 접촉할 우려가 있는 곳
- 물·땀 등으로 젖은 습윤 상태에서 작업하는 곳

거제·울산 조선소의 블록 내부 작업은 첫 번째 항목에 그대로 해당합니다. 전격방지기가 달려 있어도 작동하는지 확인하세요. 고장 난 채 붙어만 있는 경우가 많습니다.

현장 감전의 실제 원인

원인	상황
케이블 피복 손상	대차·지게차에 밟히거나 스패터에 녹아 심선 노출
홀더 파손	절연 커버가 깨진 채 사용
땀에 젖은 장갑	젖은 장갑은 절연체가 아니라 도체입니다
접지(어스) 불량	클램프를 녹·페인트 위에 물림
리턴 케이블 우회	전류가 크레인 레일·철골로 흘러 다른 곳에서 아크 발생

> **접지 클램프는 용접부에 최대한 가깝게, 금속 표면(녹·도장 제거)에 직접 물립니다.** 멀리 물리면 전류가 예상 밖의 경로로 흘러 베어링을 태우거나 다른 설비에서 아크가 튕니다. > 홀더를 거드랑이에 끼거나 용접봉 끝을 몸에 대는 습관은 절대 금물입니다.

밀폐공간 — 조선 블록 안에서 벌어지는 일

용접에 쓰는 아르곤과 CO2는 공기보다 무겁습니다. 아르곤은 약 1.4배, CO2는 약 1.5배예요. 그래서 탱크나 블록 바닥에 **고여서 산소를 밀어냅니다.**

산소가 부족해도 숨이 차거나 아프지 않습니다. 그냥 판단력이 흐려지다 쓰러져요. 이게 밀폐공간 사고가 반복되는 이유입니다.

적정 공기 기준

항목	기준
산소	18% 이상 23.5% 미만
탄산가스(CO2)	1.5% 미만
일산화탄소(CO)	30ppm 미만
황화수소(H2S)	10ppm 미만

CO2 아크용접은 아크 열로 CO2가 분해되며 **일산화탄소가 발생**합니다. 환기 없는 좁은 공간에서 CO2 용접은 특히 위험해요.

밀폐공간 작업 원칙

- 작업 전과 작업 중 계속 산소·유해가스 농도 측정
- 환기를 멈추지 않습니다. 용접 중에도 계속
- 감시인을 밖에 배치하고 상시 연락 유지
- 구명줄·대피용 호흡보호구 준비
- 작업 중단 시 **가스 호스와 토치를 밖으로 빼놓기** — 새는 가스가 밤새 고입니다

> **쓰러진 동료를 보고 그냥 들어가면 두 명이 됩니다.** 밀폐공간 사망사고에서 구조하러 들어간 사람이 함께 사망하는 사례가 반복돼요. **송기마스크 없이는 절대 진입 금지**, 즉시 신고하고 환기부터 하세요.

화재 — 불티는 10m 넘게 날아갑니다 (법정 관리 반경은 11m)

아크 중심부는 수천 도, 튀는 스파터도 **1,000°C를 훨씬 넘습니다.** 그리고 이 불티는 생각보다 멀리 갑니다.

작업 높이	불티 비산 거리(참고값)
2m	약 4m
5m	약 8m
10m	약 13m

바람이 있으면 더 갑니다. 그래서 「산업안전보건기준에 관한 규칙」 제241조의2는 **작업반경 11m 이내에 가연물이 있는 경우 등에 화재감시자를 지정·배치**하도록 정하고 있습니다. 여기에 더해 안전보건공단 기술지침(KOSHA GUIDE F-1-2023)은 **작업 종료 후에도 최소 30분 이상 잔불을 감시**하도록 권고하고 있어요.

화재는 대개 "작업이 끝난 뒤에" 납니다

불티가 틈으로 들어가 안에서 천천히 타다가, 사람이 모두 철수한 뒤에 불꽃이 올라옵니다.

위험 경로	실제 사례 유형
우레탄 샌드위치 패널 틈	불티가 심재에 착화 → 몇 시간 뒤 대형 화재
배관 보온재(글라스울 + 기름)	흡수된 기름에 착화
바닥 그레이팅 아래	아래층 자재·유증기에 낙하
드럼·탱크 용접	잔류 유증기 폭발 — 비어 보여도 증기가 남습니다
절삭유·시너 보관대 인접	인화성 액체 증기 발화

반드시 지킬 것

- **화기작업허가서(Hot Work Permit)** 발급 — 조선·플랜트 현장은 필수 절차입니다
- 반경 11m 이내 **가연물 제거**, 못 치우면 **불연포로 덮기**
- **틈새·개구부를 막기** — 아래층·옆칸으로 가는 경로 차단
- **소화기를 손 닿는 곳에 두기** (가지러 가는 시간이 화재를 키웁니다)
- **드럼·탱크는 내부를 완전히 세척·불활성화하기 전에는 용접 금지**
- 작업 후 **30분 이상 잔불 확인** — 냄새와 연기를 확인하고 철수

작업 시작 전 체크리스트

- ☐ 헬멧 차광번호가 **오늘 쓸 전류에 맞는가**, 자동차광이 작동하는가
- ☐ 방염 작업복·가죽 앞치마·목수건·발등덮개 착용 (**폴리에스터 옷은 녹아 붙습니다**)
- ☐ 케이블 피복·홀더 절연 상태 확인, **접지 클램프를 용접부 가까운 맨금속에 물렸는가**
- ☐ 교류용접기에 **자동전격방지기**가 있고 작동하는가
- ☐ **국소배기 후드를 아크 30cm 이내**에 두었는가, 호흡보호구를 썼는가
- ☐ 밀폐공간이면 **산소농도 측정 + 환기 + 감시인 + 허가서**
- ☐ 반경 11m 가연물 제거, **소화기 비치**, 화재감시자 지정
- ☐ 주변 작업자를 위한 **차광막** 설치
- ☐ 작업 종료 후 **30분 잔불 확인** 계획이 있는가

출처: 안전보건공단(KOSHA) — 용접·용단 작업 안전보건자료 (<https://www.kosha.or.kr>) · 국가법령정보센터 — 산업안전보건기준에 관한 규칙 (<https://www.law.go.kr>) · 고용노동부 — 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준 고시 (<https://www.moel.go.kr>)

현장에서 해볼 것

- 비드 외관 평가 기준 체크리스트
- 보호구 착용 실습

용접 절차서(WPS) 이해

표준 용접 절차의 핵심

배우는 것

- WPS/PQR의 구성 항목을 이해한다
- 용접 기호를 도면에서 읽을 수 있다

용접 기호

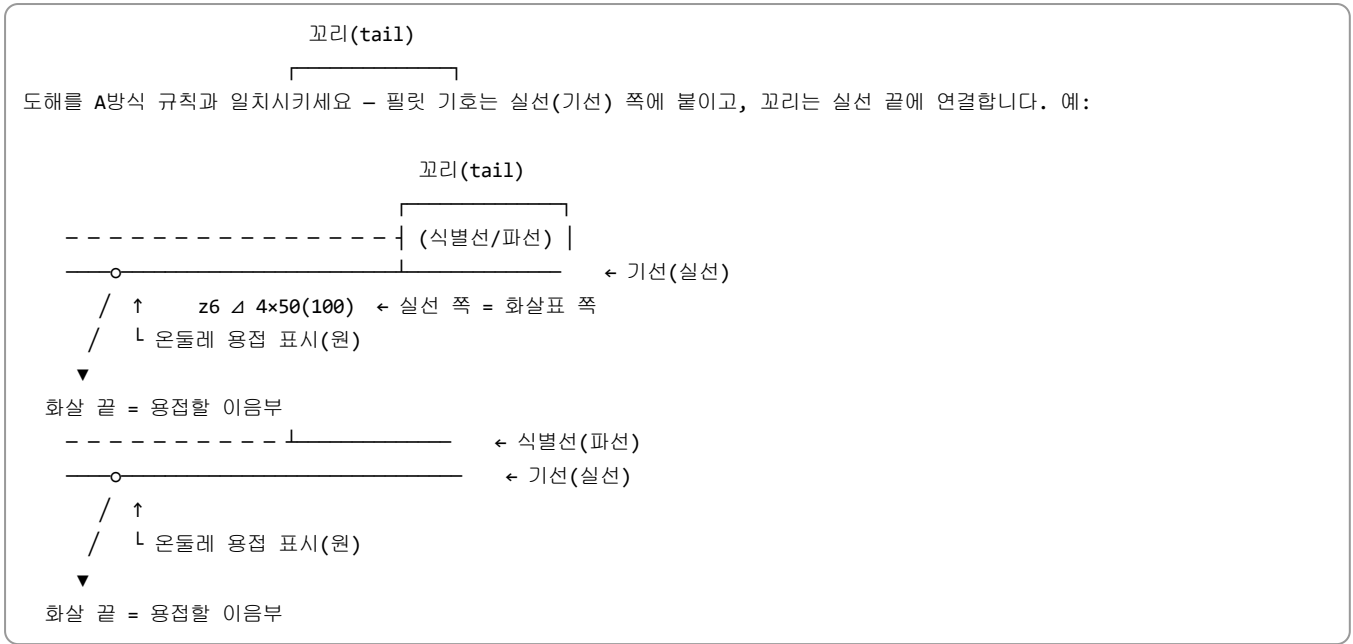
AWS/KS 용접 기호 체계, 필릿용접·맞대기용접·플러그용접 기호의 해석 방법을 학습합니다.

삼각형 하나를 거꾸로 읽으면 블록을 다시 뒤집습니다

부울경 조선·플랜트 현장에서 반복되는 손실 중 하나가 **화살표 쪽과 반대쪽을 바꿔 용접하는 것**이에요. 이미 붙인 비드를 아크에어가우징으로 파내고, 그라인더로 갈고, 다시 용접하고, 다시 비파괴검사를 받습니다. 기호 하나 잘못 읽은 대가치고는 큼니다.

용접 기호는 **KS B ISO 2553**(용접, 브레이징 및 솔더링 접합부 — 도면에서의 기호 표시)로 정해져 있고, 이 표준은 국제 표준 **ISO 2553**을 부합화한 것입니다. 예전 규격이던 KS B 0052(용접 기호)는 2023년 11월 폐지되어 KS B ISO 2553으로 대체됐지만, 현장 도면·사내 표준에는 아직 KS B 0052 표기가 남아 있는 경우가 많으니 둘 다 알아두세요. 규칙 자체는 생각보다 단순해요.

1. 기호의 뼈대 — 화살·기선·꼬리



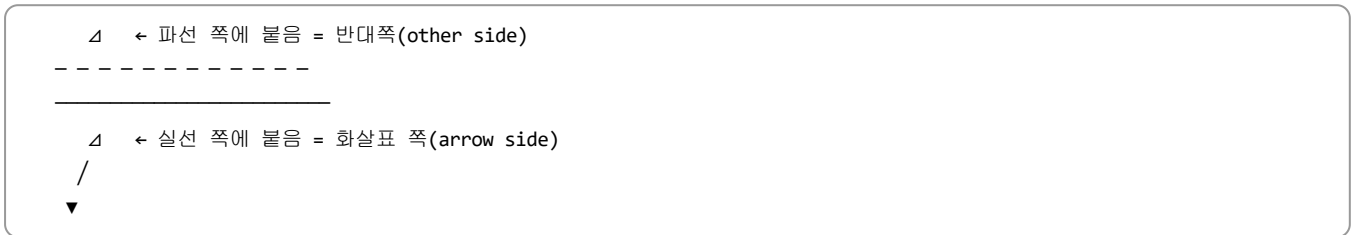
요소	하는 일
화살(arrow)	어느 이음부를 용접할지 지목
기선(reference line)	항상 수평. 기호·치수가 붙는 자리
식별선(파선)	ISO 2553 A방식에서 "반대쪽"을 나타내는 선
꼬리(tail)	WPS 번호, 적용 규격, 검사 등급 기입
원(O)	온둘레(전주) 용접
깃발(▶)	현장 용접 — 공장이 아니라 현장에서 시공

> 꼬리에 적힌 WPS 번호를 그냥 지나치는 사람이 많아요. **거기가 이 이음부를 어떤 조건으로 용접하라는 지시입니다.** 꼬리에 번호가 있는데 현장에 그 WPS가 없다면 작업을 시작하면 안 됩니다.

2. 화살표 쪽 / 반대쪽 — 여기가 전부입니다

두 가지 표기 방식이 섞여 돌아다닙니다. **도면 표제란에서 어느 방식인지 먼저 확인하세요.**

A방식 (ISO 2553 System A) — 실선 + 파선



- 기호가 **실선(기선)**에 걸치면 **화살표 쪽**
- 기호가 **파선(식별선)**에 걸치면 **반대쪽**
- 양쪽 다 같은 용접(대칭)이면 **파선을 아예 그리지 않습니다**

B방식 (ISO 2553 System B ≡ AWS A2.4) — 파선 없음

△ ← 기선 위 = 반대쪽

△ ← 기선 아래 = 화살표 쪽

/
▼

> 두 방식은 판단 기준 자체가 다릅니다. A방식은 위·아래가 아니라 어느 선(실선이나 파선이나)에 기호가 붙었는지로 판단하고, 파선은 실선 위에 그려질 수도 아래에 그려질 수도 있습니다. 반면 B방식은 파선이 없고 기선 위/아래만으로 판단합니다. 그래서 A방식 도면을 'B방식처럼 위·아래로' 읽으면 반대로 시공할 수 있어요. 조선소 협력사는 선주·선급에 따라 두 방식 도면을 다 받습니다. 표제란 확인이 습관이 되어야 합니다.

화살표 쪽의 정의: 화살이 꺾여서 최종적으로 닿은 그 면 쪽. 화살이 여러 번 꺾여도 끝점이 닿은 판의 그쪽이 기준이에요.

3. 기본 용접 기호

기호	이름	언제 쓰나
△(직각삼각형)	필릿(fillet)	T이음, 겹치기이음 — 현장에서 가장 흔함
(평행 두 줄)	I형 맞대기	얇은 판, 개선 없이 맞댐
V	V형 맞대기	한쪽에서만 접근 가능한 두꺼운 판
Y	Y형(루트면 있는 V형)	루트면(root face)을 남긴 V형
V 반쪽	베벨(반V)형	한쪽 판만 개선 — 반대 판은 그대로
U	U형	두꺼운 판, 용착금속 절감
J	J형	한쪽만 U형태로 개선
X(V 두 개)	양면 V형	양쪽 접근 가능, 변형 적음
K	양면 베벨형	T이음 완전용입
□(사각형)	플러그/슬롯 용접	겹친 판에 구멍 뚫고 그 안을 채움
○(기선에 걸친 원)	점(spot) 용접	박판 저항용접 — 화살/기선 꺾임점의 온둘레 원(○)과 위치로 구별한다

베벨-J형은 화살이 꺾입니다

반V형과 J형은 어느 판을 개선하는지 지정해야 하므로, 화살이 개선할 판 쪽으로 꺾여 들어가요. 이 꺾임을 무시하고 반대 판을 개선하면 개선 가공을 통째로 다시 해야 합니다.

4. 필릿 치수 — 각장(z)과 목두께(a)

필릿에서 가장 많이 틀리는 부분입니다. 기호 왼쪽 숫자 앞의 알파벳을 보세요.

z6 △ → 각장(다리길이) 6mm

a5 △ → 목두께 5mm

6 △ → 표기 관례에 따라 다름 (도면 주기 확인 필요)

등각 필릿에서 둘의 관계는 이렇습니다.

$$a = z / \sqrt{2} = z \times 0.707$$

$$z = a \times \sqrt{2} = a \times 1.414$$

예1) 도면 z7 → $a = 7 \times 0.707 = 4.95 \approx 5.0\text{mm}$

예2) 도면 a6 → $z = 6 \times 1.414 = 8.49 \approx 8.5\text{mm}$ 각장으로 시공

즉 a5 와 z7 은 사실상 같은 용접입니다.

> a와 z를 같은 숫자로 착각하면 30~40% 차이가 납니다. a6을 z6으로 알고 놓으면 목두께가 4.2mm밖에 안 나와 설계 강도 미달, 반대로 z6을 a6으로 알면 필요 없이 크게 놓게 됩니다.

크게 놓으면 좋은 게 아닙니다

필릿 단면적은 각장의 **제곱**에 비례해요.

각장 6mm 필릿 단면적 $\approx 6^2 / 2 = 18.0 \text{ mm}^2$

각장 9mm 필릿 단면적 $\approx 9^2 / 2 = 40.5 \text{ mm}^2$

각장 1.5배 → 용착금속 2.25배

→ 용접봉 2.25배, 시간 2배 이상, 입열 2배 이상

→ 각변형·수축 증가, 잔류응력 증가

"튼튼하게 해주려고" 크게 놓은 필릿이 **변형과 균열을 만들고 원가를 잡아먹습니다**. 도면 치수대로가 정답이에요. 필릿 각장은 **용접게이지(필릿 게이지)** 로 그 자리에서 확인합니다.

5. 기호 오른쪽 숫자 — 길이·개수·간격

연속 용접이 아니라 **단속(斷續)** 필릿일 때 붙습니다.

z6 $\triangle$ 4x50(100)

| | | L 용접부 사이 간격 100mm ← ISO 방식

| | L 각 용접부 길이 50mm

| L 용접부 개수 4곳

L 각장 6mm

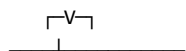
→ 50mm 용접 / 100mm 쉬고 / 50mm 용접 ... 을 4번

> 괄호 안 숫자의 의미가 규격마다 다릅니다. ISO 계열은 **용접부 사이의 빈 거리**, AWS 계열은 **피치(중심 간 거리)** 로 쓰는 경우가 있어요. 같은 도면이라도 표제란의 적용 규격을 보고 판단하세요. 헛갈리면 총 용접 길이를 계산해 설계자에게 확인하는 게 빠릅니다.

지그재그(엇갈림) 단속 필릿은 기선 위아래에 기호를 어긋나게 배치해 표시합니다.

6. 그루브(맞대기) 치수 표기

60° ← 개선각(포함각)



2 ← 루트간격(root gap) 2mm

s8 V → s = 그루브 목두께(용입 깊이) 8mm

표기 위치	의미
기호 왼쪽	목두께·각장 등 단면 치수
기호 안쪽/아래	루트간격
기호 위	개선각(포함각)
기호 오른쪽	길이·개수·간격
꼬리	WPS 번호, 규격, 검사 등급

루트간격을 무시하면 용입 부족(IP) 이 나옵니다. 조립할 때 갭이 도면과 다르면 임의로 붙이지 말고 조립 담당에게 알려야 해요. 갭이 과다할 때 그냥 용접봉으로 메우는 것은 대부분 WPS 위반입니다.

7. 신입이 자주 하는 실수

실수	결과
화살표 쪽/반대쪽 혼동	반대 면에 용접 → 전량 재작업
A방식/B방식 확인 안 함	위아래 의미가 뒤집혀 정확히 반대로 시공
a와 z 혼동	목두께 미달(강도 부족) 또는 과다 용접
튼튼하라고 각장 키움	변형·잔류응력·원가 증가, 검사 지적
현장용접 깃발(▶) 무시	공장에서 미리 붙여 탑재 불가
온둘레(O) 무시	한쪽만 용접 → 누설시험 불합격
꼬리의 WPS 번호 무시	조건 미준수 → 절차 위반

도면을 받았을 때 순서

- ☐ 표제란에서 적용 규격(KS B ISO 2553 / ISO 2553 A-B방식 / AWS A2.4) 확인 — 구도면에는 폐지된 KS B 0052 표기가 남아 있을 수 있음
- ☐ 화살이 최종적으로 닿은 면 확인
- ☐ 기호가 실선 쪽인지 파선 쪽인지(또는 기선 위인지 아래인지) 확인
- ☐ 기호 왼쪽 문자 확인 — a인가 z인가 s인가
- ☐ 오른쪽 숫자 — 연속인가 단속인가, 괄호 값의 의미
- ☐ 보조기호 — 온둘레(O), 현장(▶), 표면 마무리 지시
- ☐ 꼬리의 WPS 번호로 실제 WPS를 찾아 손에 들기

출처: 국가기술표준원 — KS B ISO 2553 용접부 기호 표시(구 KS B 0052 대체) (<https://www.kats.go.kr>) · 대한용접·접합학회 — 용접 표준·기술자료 (<https://www.kwjs.or.kr>) · 한국폴리텍대학 — 용접 도면 해독 훈련과정 (<https://www.kopo.ac.kr>)

WPS 기본 항목

모재 종류, 용접 방법, 전류/전압, 입열량, 예열/후열처리 조건 등 핵심 항목을 배웁니다.

WPS는 "감으로 하지 말라"는 문서입니다

WPS(Welding Procedure Specification, 용접절차사양서)는 **이 이음부를 어떤 조건으로 용접하라는** 숫자로 못 박은 지시서예요. 요리 레시피와 비슷하지만, 지키지 않으면 밥맛이 없는 게 아니라 **선체나 압력용기가 깨집니다**.

부울경 조선·플랜트 협력사에서 실제로 자주 벌어지는 일이 있어요. 20년 경력 용접사가 "이 조건이면 비드가 안 예쁘다"며 전류를 30A 올리는 것. 비드는 예뻐지지만 입열량이 올라가 **열영향부 인성이 떨어지고**, 선급 검사에서 절차 위반으로 걸립니다. WPS는 개인 기량보다 우선합니다.

WPS에 반드시 들어가는 항목

구분	항목	왜 중요한가
모재	재질·규격·그룹·두께 범위	재질이 바뀌면 예열·용가재가 전부 바뀜
용접법	SMAW/GTAW/GMAW/FCAW/SAW	입열·용착속도·적용 자세가 다름
이음 형상	개선팅·루트면·루트간격·백킹	용입 확보의 전제
용가재	규격·분류·기호·지름·건조 조건	용착금속 성분과 확산성 수소량 결정
자세	아래보기·수평·수직·위보기	자세가 바뀌면 전류·속도가 다 바뀜
전기 특성	전류 종류·극성·전류(A)·전압(V)	용입 깊이와 아크 안정성
용접속도	cm/min 또는 mm/min	입열량 계산의 분모
예열	최소 예열온도(°C)	저온균열(수소균열) 방지
패스간 온도	하한 = 예열온도 이상 유지, 상한 = 최대 허용온도(°C)	하한 미달 시 저온(수소)균열, 상한 초과 시 인성 저하·연화
후열처리	온도·유지시간·승온/냉각률	잔류응력 제거
가스	실드가스 종류·유량, 백가스	기공·산화 방지
청소/그라인딩	패스 간 슬래그 제거, 백가우징	결함 혼입 방지

용접법 번호 — ISO 4063

WPS에 숫자로만 적혀 있는 경우가 많아요.

번호	용접법	현장 통칭
111	피복아크용접(SMAW)	손용접, 전기용접
121	서브머지드아크(SAW)	자동용접, 잠호용접
131	불활성가스 솔리드와이어(MIG)	알루미늄·스테인리스
135	활성가스 솔리드와이어(MAG)	CO2 용접
136	플렉스코어드 MAG(FCAW)	조선소 주력
141	텅스텐 불활성가스(GTAW)	알곤용접, 티그

용접 자세 — 두 가지 표기가 섞입니다

ISO 6947	AWS(그루브/필릿)	자세
PA	1G / 1F	아래보기
PB	— / 2F	수평 필릿
PC	2G / —	수평
PD	— / 4F	위보기 필릿
PE	4G / —	위보기
PF	3G(상진) / 3F	수직 상진
PG	3G(하진)	수직 하진
H-L045	6G	45° 고정 배관

> **PF(상진)와 PG(하진)를 바꾸면 완전히 다른 용접입니다.** 하진은 빠르지만 용입이 얇아요. WPS가 PF인데 작업자가 편해서 하진으로 내려오면 용입 부족이 나옵니다. 고장력강 구조물에서 특히 문제가 됩니다.

입열량(Heat Input) — 숫자 하나가 인성을 좌우

WPS의 전류·전압·속도가 왜 범위로 묶여 있는지는 이 식으로 설명됩니다.

입열량 Q [J/mm] = 전압(V) × 전류(A) × 60 / 용접속도(mm/min)

예) FCAW, 26V · 260A · 300mm/min

$Q = 26 \times 260 \times 60 / 300$

$= 405,600 / 300$

$= 1,352 \text{ J/mm} = 1.35 \text{ kJ/mm}$

여기에 용접법별 열효율 계수 k 를 곱해 실제 입열로 보정하기도 합니다(규격에 따라 다름).

k 값 예시 (ISO 1011 계열)

SAW(121) $k \approx 1.0$

SMAW·MAG·FCAW(111/135/136) $k \approx 0.8$

GTAW(141) $k \approx 0.6$

위 예에 $k=0.8$ 적용 → $1.35 \times 0.8 = 1.08 \text{ kJ/mm}$

입열이 크면 / 작으면

입열 과다	입열 부족
열영향부 결정립 조대화 → 인성(충격값) 저하	용입 부족(IP)
각변형·수축 증가	융합 불량(LOF)
고장력강 강도 저하	냉각 빨라짐 → 경화·저온균열
스테인리스 예민화·변형	슬래그 혼입

> 조선·해양 고장력강(예: EH36급)은 WPS에 입열 상한이 붙습니다. "속도를 늦추고 천천히 예쁘게"가 오히려 규격 위반이 되는 이유예요. 용접속도도 WPS 준수 대상입니다.

예열 — 왜 데우고 시작하나

예열의 목적은 냉각속도를 늦춰 경화 조직과 수소를 줄이는 것입니다. 두꺼운 판일수록, 탄소·합금이 많을수록 필요해요.

판단 근거로 탄소당량(CE, IIW식)을 씁니다.

$CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$

예) C 0.18, Mn 1.20, Cr 0.10, Mo 0.02, V 0, Ni 0.10, Cu 0.20

$CE = 0.18 + 1.20/6 + (0.10+0.02+0)/5 + (0.10+0.20)/15$

$= 0.18 + 0.200 + 0.024 + 0.020$

$= 0.424$

CE 범위	일반적인 경향
0.40 이하	박판은 예열 없이도 무난
0.40 ~ 0.50	예열 검토 구간 — 두께·구속도에 따라 필요
0.50 초과	예열 + 저수소계 용가재 + 후열 검토

> 위 구간은 판단의 출발점일 뿐입니다. 실제 예열온도는 두께·구속도·수소량·적용 규격(AWS D1.1 부속표, EN 1011-2 등)으로 결정돼요. 최종 기준은 언제나 그 이음부의 WPS에 적힌 숫자입니다.

예열 실무에서 틀리는 것

- 온도를 아크 시점의 이음부에서 재야 하는데, 토치로 걸만 데우고 바로 시작
- 측정 위치가 규정과 다름 — 보통 개선면에서 일정 거리 떨어진 지점을 규정합니다
- 두꺼운 판에서 반대면까지 열이 통하지 않은 상태로 시작

- 중단 후 재개할 때 예열을 다시 안 함
- 온도계(접촉식 온도계·초크·써모크레용) 미비치

패스간 온도는 "최대"입니다

예열은 **최소**, 패스간 온도는 **최대**예요. 방향이 반대라서 헷갈립니다.

예열 150℃ 이상 → 이 온도보다 낮으면 아크 금지
 패스간 250℃ 이하 → 이 온도보다 높으면 식을 때까지 대기

재질	패스간 온도 관리 경향
일반 탄소강	상한이 비교적 느슨
고장력강(TMCP강 등)	상한 엄격 — 넘기면 강도·인성 저하
오스테나이트계 스테인리스	낮게 유지 — 예민화·변형·고온균열 방지
니켈합금	낮게 유지 — 고온균열 민감

> 납기에 쫓겨 식기 전에 다음 패스를 올리는 것이 현장에서 가장 흔한 WPS 위반입니다. 대책은 단순해요 — 이음부를 여러 개 돌아가며 작업하면 자연 냉각 시간이 생깁니다.

후열처리(PWHT)와 후열(DHT)은 다릅니다

구분	목적	온도대
후열(DHT, 수소제거)	확산성 수소를 빼내 저온균열 방지	용접 직후 200~350℃ 유지
후열처리(PWHT, 응력제거)	잔류응력 제거, 조직 안정화	탄소강 기준 약 600℃ 전후

PWHT는 유지시간·승온속도·냉각속도까지 WPS에 지정됩니다. 탄소강은 관례적으로 두께 25mm당 1시간 수준의 유지시간을 적용하는 경우가 많지만, **정확한 값은 적용 규격(ASME Sec.VIII, 선급 규칙 등)의 표를 따라야** 합니다.

> **PWHT 여부는 WPS 승인 범위에 묶여 있습니다.** "이번엔 시간이 없으니 생략하자"가 불가능한 이유예요. PWHT를 뺀 제품은 인정된 절차로 만든 제품이 아닙니다.

부울경 현장에서 WPS가 안 지켜지는 이유

상황	실제로 벌어지는 일
WPS가 사무실 캐비닛에만 있음	작업자가 본 적이 없음
외국인 근로자에게 한글 WPS만 제공	숫자만 보고 감으로 시공
여러 이음부에 WPS 하나 사용	두께·재질 범위를 벗어남
용가재 상표 변경	분류기호가 달라져 절차 무효
예열 온도계 없음	"손으로 만져보니 따뜻하다"
원청 도면 개정 미반영	구버전 WPS로 시공

> **WPS는 작업 위치에 물리적으로 걸려 있어야** 합니다. 외국인 근로자 비중이 높은 협력사는 전류·전압·속도·예열 온도를 숫자와 그림 중심의 요약 카드로 만들어 붙이는 게 효과적이에요. 언어와 무관하게 읽힙니다.

작업 시작 전 확인

- ☐ 이 이음부의 **WPS 번호**를 도면 꼬리에서 확인했다
- ☐ 해당 WPS 실물(또는 요약 카드)이 작업 위치에 있다
- ☐ 모재 재질·두께가 WPS 적용 범위 안이다
- ☐ 용가재 규격·지름이 WPS와 일치하고, **건조 조건**을 지켰다
- ☐ 용접기 전류·전압을 WPS 범위로 설정했다

- ☐ 예열 온도를 규정 위치에서 측정했다
- ☐ 패스간 온도 상한을 알고 있고, 측정 도구가 있다
- ☐ 실드가스 종류·유량, 백가스 여부를 확인했다

출처: 대한용접접합학회 — 용접절차 기술자료 (<https://www.kwjs.or.kr>) · 한국산업인력공단 — 용접기사·피복아크/가스텅스텐아크/이산화탄소가스아크용접기능사 출제기준 (<https://www.hrdkorea.or.kr>) · 국가기술표준원 — KS B ISO 15609 용접절차사양서 (<https://www.kats.go.kr>)

현장에서 해볼 것

- WPS 양식 작성 실습
- 도면 용접 기호 해석 10문제

열처리 실무

강을 단련하는 기술

배우는 것

- 4대 열처리의 원리와 목적을 이해한다
- 열처리 조건(온도·시간·냉각)을 안다

4대 열처리

담금질(Quenching), 뜨임(Tempering), 풀림(Annealing), 불림(Normalizing)의 목적과 방법을 배웁니다.

같은 재질인데 어떤 건 휘고 어떤 건 깨집니다

현장에서 이런 말을 듣습니다. "같은 SCM440인데 왜 이걸 안 꺾이고 저걸 툭 부러지냐." 성분표를 아무리 봐도 답이 안 나와요. **차이는 성분이 아니라 조직입니다.**

열처리는 강의 화학성분을 바꾸는 작업이 아니에요. **가열 온도, 유지 시간, 냉각 속도** 세 가지만으로 강 내부의 조직을 다시 짜는 작업입니다. 조직이 바뀌면 경도, 인성, 절삭성, 치수까지 전부 바뀝니다.

부울경에서는 열처리를 자체 설비로 하는 회사가 드뭅니다. 창원·김해·양산·녹산의 전문 열처리 업체에 외주로 보내는 구조예요. 그래서 **"내가 직접 로를 돌리지는 않아도, 무엇을 지시하고 무엇을 확인해야 하는지"** 는 반드시 알아야 합니다. 지시가 틀리면 가공비가 전부 들어간 부품이 통째로 폐기됩니다.

1. 조직 이름 먼저 — 다섯 개면 충분합니다

조직	어떤 상태인가	성질
오스테나이트	727°C 이상에서만 존재하는 고온 조직. 탄소를 많이 녹여 품음	열처리의 출발점
마르텐사이트	오스테나이트를 급랭해 탄소가 빠져나가지 못하고 갇힌 조직	가장 단단, 가장 잘 깨짐
펄라이트	페라이트와 시멘타이트가 층층이 쌓인 조직	보통 강도, 보통 인성
페라이트	탄소가 거의 없는 순철에 가까운 조직	무르고 질김
템퍼드 마르텐사이트	마르텐사이트를 재가열해 미세 탄화물을 석출시킨 조직	강도와 인성의 균형

> 열처리 지시서에 나오는 모든 요구는 결국 **"어떤 조직을 만들어 달라"** 는 뜻입니다. 조직 이름을 모르면 지시서를 읽을 수 없어요.

2. 4대 열처리 — 한 표로

구분	가열 온도(대표)	냉각 방법	조직 변화	결과	언제 쓰나
담금질 (Quenching)	Ac3 + 30~50°C (탄소강 820~880°C)	급랭 (물·기름·폴리머)	오스테나이트 → 마르텐사이트	최고 경도, 극심한 취성, 큰 잔류응력	경도가 필요한 모든 부품의 1 단계
뜨임(Tempering)	A1 이하 (150~650°C)	공랭 (일부 급랭)	마르텐사이트 → 템퍼드 마르텐사이트	경도 약간 하락, 인성 회복·응력 제거	담금질 직후 반드시
풀림(Annealing)	Ac3 또는 Ac1 + 30~50°C	노냉(로 안에서 천천히)	조대한 페라이트 + 펄라이트	최대 연화, 절삭성 향상, 응력 제거	가공 전 연화, 단조·용접 후 응력 제거
불림(Normalizing)	Ac3 또는 Ac _m + 40~60°C	공랭(대기 중)	미세한 펄라이트 조직	조직 미세화·균질화, 풀림보다 약간 단단	주조·단조·용접 후 조직 정리, 열처리 전 준비

풀림과 불림은 목적이 다릅니다. 풀림은 "무르게 만들어 깎기 좋게", 불림은 "조직을 고르게 만들어 다음 열처리가 균일하게 되도록". 대형 단조품이나 두꺼운 용접부는 불림을 먼저 하고 조직에 들어가는 경우가 많아요.

3. 담금질 — 냉각 속도가 전부입니다

담금질은 가열해서 오스테나이트로 만든 뒤, 펄라이트가 생길 틈을 주지 않고 단숨에 식히는 작업입니다. 식는 속도가 임계냉각속도보다 빨라야 마르텐사이트가 나옵니다.

냉각능 순서

냉각 매체	상대 냉각능(대략)	얻는 경도	균열·변형 위험	주 용도
염수(소금물)	매우 큼	최고	매우 높음	탄소강 소형품 한정
물(교반)	큼 (H ≈ 1.0~2.0, 격렬 교반 시 4 수준)	높음	높음	탄소강, 단순 형상
폴리머 수용액	중간 (농도로 조절)	중상	중간	알루미늄, 유랭·수랭 공간
기름(교반, 60~80°C)	중간 (H ≈ 0.5~1.1)	중상	중간	합금강 조질의 표준
공기(공랭)	작음	낮음	낮음	불림, 고합금 공구강
노냉	매우 작음	최저	거의 없음	풀림

> "수랭 > 유랭 > 공랭"은 경도 순서인 동시에 균열 위험 순서입니다. 빨리 식힐수록 단단해지지만, 표면과 중심의 온도 차가 커지면서 부품이 스스로를 찢습니다. 경도가 조금 부족한 건 다시 처리할 수 있지만, 균열은 폐기밖에 답이 없어요.

경화능은 소재가 정합니다

같은 냉각을 해도 두께가 두꺼우면 중심까지 마르텐사이트가 안 됩니다. 이 "속까지 굳는 능력"이 경화능이고, Cr-Mo-Mn 같은 합금원소가 경화능을 올려줍니다.

- **S45C(탄소강)** — 경화능이 낮아 두꺼우면 중심이 안 굳음. 얇은 부품·고주파 경화용
- **SCM440(Cr-Mo강)** — 경화능이 좋아 유랭으로도 중심까지 조질 가능. 축·볼트·기어 소재의 표준
- **SNCM439** — 더 두꺼운 대형 축에 사용

"두꺼운 부품을 수랭하면 되겠지"가 아니라, 두꺼우면 합금강으로 바꿔야 합니다. 소재 선정이 열처리 조건보다 먼저입니다.

4. 담금질 후 반드시 뜨임하는 이유

담금질만 하고 끝낸 부품은 쓸 수 없는 부품입니다. 이유가 세 가지예요.

(1) 잔류응력이 극단적으로 큼니다

오스테나이트가 마르텐사이트로 바뀔 때 부피가 늘어납니다(약 3~4%). 표면이 먼저 변태해 굳은 뒤에 중심이 뒤늦게 팽창하니, 내부에서 서로 잡아당기는 응력이 남아요. 이 상태로 두면 가만히 놔둔 부품이 며칠 뒤 저절로 갈라지는 일이 실제로 일어납니다(시효 균열).

(2) 유리처럼 깨집니다

갓 담금질한 마르텐사이트는 경도가 최고지만 인성이 거의 없어요. 떨어뜨리기만 해도 깨집니다. 기어 이빨이라면 첫 회전에 부러집니다.

(3) 잔류 오스테나이트가 나중에 변합니다

급랭해도 전부 마르텐사이트가 되지는 않고 일부 오스테나이트가 남습니다. 이게 시간이 지나며 서서히 변태하면 **치수가 조금씩 변해요**. 정말 게이지·금형에서 문제가 됩니다.

> **담금질 → 뜨임 사이는 최대한 짧게**. 현장 원칙은 "담금질한 그날 안에, 부품이 손으로 만질 만큼 식기 전에 뜨임로에 넣는다"입니다. 외주 열처리에 서 담금질만 하고 다음 날 뜨임하는 업체는 균열 위험을 안고 있는 겁니다.

뜨임 온도 선택

뜨임 온도	이름	얻는 것	대표 부품
150~200°C	저온 뜨임	경도 거의 유지 + 응력만 제거	침탄품, 베어링, 절삭공구, 게이지
250~400°C	(피하는 구간)	—	저온 뜨임취성 구간. 충격값이 오히려 떨어짐
400~500°C	중온 뜨임	탄성 + 어느 정도 경도	스프링, 판스프링
500~650°C	고온 뜨임 = 조질(Q&T)	강도와 인성의 균형	축, 크랭크, 고장력 볼트, 기어 소재

> **약 450~550°C에서 천천히 식하면 고온 뜨임취성이** 나올 수 있습니다(Cr·Mn·Ni 함유강에서 불순물이 결정립계에 몰림). 이 온도대를 쓰는 조질은 뜨임 후 수랭·유랭으로 빠르게 통과시키는 것이 대책입니다.

5. 실제 지시 예시 — 이렇게 읽습니다

[부품] 유압 실린더 로드 SCM440 $\phi 40 \times 600\text{mm}$

[요구] HRC 28~32, 인장강도 900MPa 급

- 1) 불림 $870^\circ\text{C} \times 60\text{분}$ → 공랭
(단조 조직을 미세하게 정리, 다음 담금질을 균일하게)
- 2) 담금질 $850^\circ\text{C} \times 45\text{분}$ → 유랭 (유온 $60\sim 80^\circ\text{C}$, 교반 ON)
→ 마르텐사이트, 이 시점 경도 HRC 52~56
- 3) 뜨임 $600^\circ\text{C} \times 90\text{분}$ → 수랭 (취성 구간 빠르게 통과)
→ 템퍼드 마르텐사이트, HRC 28~32
- 4) 후가공 연삭으로 열처리 변형·탈탄층 제거 (가공 여유 편측 0.3mm)

[유지시간 경험칙]

두께(또는 지름) 25mm 당 30~60분 + 로 안정화 시간
 $\phi 40 \rightarrow 40 \div 25 \times 30 \approx 48\text{분}$ → 실제 45~60분 적용
 ※ 로 사양과 사내 표준이 있으면 그것이 우선입니다

후가공 여유를 남기는 것을 잊지 마세요. 열처리 후에는 반드시 변형이 생기고 표면에 탈탄층·스케일이 있습니다. 완성 치수로 가공한 뒤 열처리를 보 내면 그대로 불량입니다.

6. 안전 — 열처리장은 고온·유증기 구역입니다

- 담금질 기름은 **인화점 이상으로 가열되면 발화**합니다. 유면 위로 부품이 노출된 채 담금질하면 화염이 솟아요. 투입은 유면 아래까지 신속하게, 완전히 잠기게.
- 기름에 물기가 들어가면 순간 비등하며 기름이 튕니다. 젖은 부품·젖은 지그 절대 금지.
- 유면 화재에는 **물을 뿌리지 않습니다(B급 화재)**. 로 뚜껑을 덮어 질식소화하거나 지정 소화기를 씁니다.
- 고온물 취급은 **가죽 장갑, 안면보호구, 발등 덮는 안전화**가 기본입니다.
- 외국인 동료가 많은 공정입니다. "뜨겁다", "젖은 것 금지", "유면 아래로" 는 그림·픽토그램으로 붙여두고 직접 시연해 확인하세요.

체크리스트

☐ 이 부품에 필요한 것이 **경도인지, 연화인지, 조직 균질화인지** 말할 수 있다

- ☐ 담금질만 지시하고 뜨임을 빠뜨리지 않았다
- ☐ 소재의 **경화능이 두께를 감당하는지** 확인했다 (S45C인데 두꺼운 건 아닌지)
- ☐ 냉각 매체(수랭/유랭/공랭)를 지시서에 적었다
- ☐ 열처리 후 **가공 여유**를 남겼다
- ☐ 뜨임 온도가 취성 구간(250~400°C, 450~550°C 서냉)에 걸치지 않는다

출처: 한국생산기술연구원 — 뿌리기술(열처리) 연구·지원 (<https://www.kitech.re.kr>) · 국가기술표준원 — 금속 열처리·강재 KS 표준 정보 (<https://www.kats.go.kr>) · 한국산업인력공단 — 금속열처리기능사·기사 출제기준 (<https://www.hrdkorea.or.kr>)

표면경화 열처리

침탄, 질화, 고주파열처리의 원리와 적용 부품(기어, 축류)을 학습합니다.

겉은 단단하고 속은 질겨야 하는 부품이 있습니다

기어 이빨을 생각해 보세요. 이빨 **표면**은 상대 기어와 맞물려 계속 문질러지니 무르면 금방 닳습니다. 그런데 이빨 **뿌리**는 회전할 때마다 굽힘을 받으니 단단하기만 하면 뚝 부러져요.

표면은 단단해야 하고, 속은 질겨야 한다. 전체를 담금질하면 표면은 연지만 속까지 유리가 됩니다. 그래서 **표면만 골라서 굳히는 열처리**가 따로 있습니다.

부울경에서 이 열처리가 집중되는 부품은 명확해요. 자동차 변속기 기어·샤프트(김해·양산), 건설기계 핀·부싱·트랙링크(창원), 선박 엔진 밸브·캠(부산·울산), 유압 스플과 로드(녹산·진해). 전부 "마모는 견디되 부러지면 안 되는" 부품입니다.

1. 3가지 방법 — 원리부터 다룹니다

구분	침탄(Carburizing)	질화(Nitriding)	고주파(Induction)
원리	표면에 탄소를 침투시킨 뒤 담금질	표면에 질소를 침투시켜 질화물 형성	표면만 유도가열 후 즉시 급랭
처리 온도	900~950°C	500~570°C	850~950°C(표면만, 수초)
담금질 필요	필요	불필요	필요(즉시 수랭)
적용 소재	저탄소 합금강 SCM415/420, SNCM220	질화강 SACM645, SKD61, SCM440	중탄소강 S45C, SCM440
표면 경도	HRC 58~62	HV 900~1200 (매우 높음)	HRC 50~60
경화 깊이	0.3~2.0mm (깊음)	0.1~0.6mm (얕음)	0.5~5mm (조절 폭 큼)
변형	큼 (담금질을 하므로)	거의 없음	중간 (국부 가열이라 힘 발생)
처리 시간	수 시간 ~ 십수 시간	매우 김 (10~90시간)	수 초 ~ 수십 초
부분 경화	어려움(방탄 도료·구리도금 필요)	어려움(마스크)	쉬움 — 코일 형상으로 지정
대표 부품	변속기 기어, 스포로킷, 핀	금형, 스크류, 크랭크, 밸브	축 저널, 스플라인, 랙, 롤

> 선택 기준은 세 가지입니다. "얼마나 깊게", "변형을 얼마나 허용할 수 있나", "부분만 굳혀도 되나". 이 세 개가 정해지면 방법은 거의 자동으로 결정됩니다.

2. 침탄 — 깊고 강하지만 변형이 따라옵니다

저탄소강은 탄소가 적어(0.15~0.25%) 담금질해도 안 굳습니다. 그래서 **표면에만 탄소를 밀어 넣어 0.8% 수준으로 만든 뒤 담금질**하면, 표면은 마르텐사이트가 되고 심부는 여전히 저탄소라 질긴 상태로 남아요.

[침탄 전]	[침탄 + 담금질 후]
표면 0.20%C	표면 0.80%C → 마르텐사이트 HRC 60
↓	↓
심부 0.20%C	심부 0.20%C → 저탄소 조직 HRC 35 (질김)

- **가스 침탄**이 주류입니다. 흡열형 변성가스(RX 가스) 분위기에서 카본 포텐셜을 제어해요.

- 침탄 후 **바로 담금질**하는 직접 담금질과, 서냉 후 다시 가열해 담금질하는 **재가열 담금질**이 있습니다. 재가열 방식이 결정립이 미세해져 인성이 좋지만 공정이 하나 늘어요.
- 침탄 뒤에는 **저온 뜨임(150~200°C)** 이 반드시 불습니다. 응력만 빼고 경도는 유지하기 위해서예요.
- **부분 침탄**이 필요하면 침탄 방지 도료를 바르거나 구리 도금을 합니다. 나사부처럼 굳으면 안 되는 곳에 씁니다.

침탄의 최대 약점은 변형입니다. 900°C 넘게 오래 가열하고 담금질까지 하니 안 휘는 게 이상해요. 그래서 정밀 기어는 **침탄 후 연삭(기어 그라인딩)**으로 마무리합니다. 이때 연삭 여유가 경화층보다 크면 경화층을 다 갈아버리는 사고가 납니다.

3. 질화 — 변형이 거의 없는 대신 알고 느립니다

질화는 500~570°C에서 암모니아 분위기에 오래 두어 질소를 침투시킵니다. **오스테나이트 변태 온도 아래**라서 담금질이 필요 없고, 담금질이 없으니 **변형이 거의 없습니다.**

종류	특징
가스 질화	암모니아 분위기, 500~550°C, 수십 시간. 경도 최고
연질화(가스 소프트 질화)	570°C 부근에서 짧게(2~4시간). 질소+탄소 동시. 표면에 화합물층 형성
플라즈마(이온) 질화	진공 + 글로우 방전. 깊이·층 구조 제어 우수, 마스크 쉬움
염욕 질화(터프트라이드계)	짧고 저렴하나 염 폐기물 관리 필요

- 질화 대상은 **미리 조질(Q&T)된 소재**여야 합니다. 질화 온도가 뜨임 온도보다 낮아야 심부 경도가 안 떨어지니, **뜨임을 600°C 이상으로 해둔 뒤 550°C에서 질화**하는 식이에요.
 - 질화층은 얇습니다. **후가공으로 갈아내면 없어집니다.** 질화는 원칙적으로 **최종 공정**이에요.
 - 표면의 화합물층(백층)은 단단하지만 부서지기 쉬워, 면압이 큰 부품에서는 얇게 관리하거나 제거합니다.
- > "**변형을 절대 허용할 수 없다**" 면 답은 질화입니다. 대신 시간과 비용, 그리고 "얇다"는 한계를 받아들여야 해요.

4. 고주파 — 빠르고, 부분만 굳힐 수 있습니다

코일에 고주파 전류를 흘리면 부품 표면에 유도전류가 흘러 **표면만 수 초 만에 오스테나이트화**됩니다. 그 즉시 물을 뿌려 급랭하면 표면만 마르텐사이트가 돼요.

- **주파수가 깊이를 정합니다.** 주파수가 높을수록 얇게, 낮을수록 깊게 들어갑니다.
- 심부는 아예 가열되지 않으므로 **원래의 조질 조직 그대로** 남습니다. 표면 경도 + 심부 인성이 자연스럽게 얻어져요.
- **필요한 부위에만** 코일을 대면 됩니다. 축의 저널부만, 스플라인부만 굳히는 식이에요.
- 사이클이 짧아 **인라인 자동화**가 쉽습니다. 대량 생산 부품(자동차 샤프트, 트랙 링크)에서 압도적으로 유리해요.
- 고주파도 뜨임이 필요합니다. 보통 **150~200°C 저온 뜨임**을 불입니다.

주의점: 국부 가열·국부 급랭이라 **휨이 발생**합니다. 긴 축은 경화 후 직진도를 측정하고 교정(스트레이팅닝)합니다. 또 경화 끝나는 지점(경계부)은 응력이 몰리는 곳이라 **키홈이나 단차의 R부에 경계가 오지 않게** 설계해야 합니다.

5. 유효경화깊이 — 도면이 요구하는 진짜 숫자

"경화깊이 1mm"라는 말은 그 자체로는 애매합니다. 표면에서 멀어질수록 경도는 서서히 떨어지는데, **어디까지를 경화층으로 볼 것인가**를 정해야 하니까요.

용어	정의
유효경화깊이(Effective case depth)	표면에서 규정된 한계경도 에 도달하는 지점까지의 거리. 도면·검사 에서 쓰는 값
전경화깊이(Total case depth)	표면에서 심부 조직과 구별되지 않는 지점까지의 거리. 참고값

한계경도는 방법과 소재에 따라 다르게 정합니다.

방법	한계경도(대표)
침탄 담금질	HV 550
고주파·화염 경화	소재 탄소량 구간별로 결정 (예: 탄소 0.43~0.52% → HV 450, 0.53% 이상 → HV 500)
질화	심부 경도 + 일정값(예: 심부 HV + 50)을 기준으로 하는 방식

> 한계경도와 측정 조건은 **도면 지시와 사내 규격, 고객사 표준이 우선**입니다. "보통 HV550"이라고 외워두고 도면을 안 보면 판정이 뒤집힙니다.

실제 측정과 판정

[도면 지시]

침탄 담금질 + 저온 뜨임
 표면 경도 HRC 58~62
 유효경화깊이 CD 0.8~1.2 mm (한계경도 HV 550)

[측정 방법]

부품을 절단 → 단면 연마·폴리싱 (연삭 발열로 조직이 변하지 않게)
 표면에서 수직 방향으로 0.1mm 간격 마이크로비커스 (예: HV0.3)

[측정 결과]

깊이 0.1mm HV 720
 깊이 0.4mm HV 660
 깊이 0.8mm HV 590
 깊이 1.0mm HV 552 ← 한계경도 550 도달 지점
 깊이 1.2mm HV 470
 심부 HV 350 (모재 조질 경도)

[판정]

유효경화깊이 ≈ 1.0mm
 0.8 ≤ 1.0 ≤ 1.2 → 합격

깊이가 깊을수록 좋은 게 아닙니다. 너무 깊으면 표면 압축응력이 줄고 심부 인성이 떨어져 오히려 잘 깨져요. 도면에 **상한이 함께 적혀 있는 이유**가 이것입니다.

6. 부품별 선택 가이드

이런 요구	이 방법
기어 이빨, 깊은 경화층 + 면압 견딜	침탄
정밀 금형·다이캐스팅 금형, 변형 불가	질화(또는 플라즈마 질화)
축의 특정 구간만, 대량, 짧은 사이클	고주파
이미 조질된 부품에 마모 저항만 추가	질화 / 연질화
대형 롤·가이드 레일 국부 경화	화염경화 또는 고주파

체크리스트

- ☐ 이 부품이 요구하는 것이 **표면 경도인지 전체 경도인지** 구분했다
- ☐ 선택한 방법에 **소재가 맞는지** 확인했다 (침탄=저탄소, 고주파=중탄소, 질화=질화강)
- ☐ 도면의 **유효경화깊이와 한계경도**를 확인했다
- ☐ **후가공 연삭 여유가 경화층보다 작다** (갈아서 경화층을 날리지 않는다)
- ☐ 질화는 **최종 공정**으로 배치했다
- ☐ 고주파 경화 경계가 **키홈·단차 R부에 걸치지 않는다**
- ☐ 침탄·고주파 뒤에 **저온 뜨임**이 공정표에 들어 있다

출처: 한국생산기술연구원 — 표면처리·열처리 뿌리기술 지원 (<https://www.kitech.re.kr>) · 국가기술표준원 — 경화층 깊이 측정 관련 KS 표준 (<https://www.kats.go.kr>) · 한국폴리텍대학 — 금속재료·열처리 훈련과정 (<https://www.kopo.ac.kr>)

현장에서 해볼 것

- 경도 측정 실습(열처리 전후 비교)
- 열처리 조건표 해석

부록

현장에서 자주 나오는 말들입니다. 못 알아들었을 때 찾아보세요.

현장 용어집

제조 현장 공통 용어와 용접 용어를 함께 실었습니다. 반장·선임에게 그대로 보여줘도 됩니다.

라인 Production Line

제품이 순서대로 가공·조립되는 직선형 생산 흐름. 컨베이어벨트로 연결된 경우가 많다.

셀 생산 Cell Manufacturing

U자형 등으로 배치하여 1명 또는 소수 작업자가 여러 공정을 담당하는 생산 방식.

택트타임 Takt Time

고객 수요를 맞추기 위해 제품 1개를 만들어야 하는 시간 간격. $\text{가용시간} \div \text{일 수요량}$.

사이클타임 Cycle Time

한 공정에서 제품 1개를 처리하는 데 실제 걸리는 시간.

잔업(OT) Overtime

법정 근로시간(주 40시간)을 초과하여 근무하는 것. 통상임금의 150%를 지급한다.

교대근무 Shift Work

24시간 공장 가동을 위해 2교대(주간·야간) 또는 3교대로 나누어 근무하는 체계.

호렌소(보·연·상) Ho-Ren-So

보고(報告)·연락(連絡)·상담(相談)의 일본어 줄임말. 제조 현장 커뮤니케이션의 기본 원칙.

5S 5S

정리·정돈·청소·정결·습관화. 현장 개선의 기본이 되는 5가지 활동.

적카드 Red Tag

5S 활동에서 불필요한 물건에 붙이는 빨간 태그. 일정 기간 후 폐기/이동 판단 기준이 된다.

다기능공 Multi-skilled Worker

2개 이상의 공정을 수행할 수 있는 작업자. 유연한 생산 대응이 가능하다.

제3각법 Third Angle Projection

정면도 기준으로 위에 평면도, 오른쪽에 측면도를 배치하는 투상법. 한국/미국 표준.

공차 Tolerance

허용되는 치수의 최대·최소 차이. 예: $50 \pm 0.1\text{mm}$ 이면 공차는 0.2mm.

GD&T Geometric Dimensioning & Tolerancing

기하학적 형상 허용차를 체계적으로 표시하는 국제 규격. 위치도, 진원도 등 14가지 기호 사용.

데이텀 Datum

GD&T에서 기하공차의 기준이 되는 면, 축, 점. A, B, C로 표기한다.

Ra Arithmetic Average Roughness

표면거칠기의 산술평균값. 숫자가 작을수록 매끄러운 표면이다.

TIG Tungsten Inert Gas

텅스텐 전극과 불활성가스(아르곤)를 사용하는 정밀 용접법. 스테인리스, 알루미늄에 적합.

MIG Metal Inert Gas

소모성 와이어 전극과 불활성가스를 사용하는 반자동 용접법. 생산성이 높다.

비드 Bead

용접으로 생긴 볼록한 용착 금속의 자국. 비드 외관이 품질 판정의 첫 기준이다.

용입 Penetration

모재가 녹아서 용접 금속과 결합된 깊이. 충분한 용입이 접합 강도를 결정한다.

WPS Welding Procedure Specification

용접 절차서. 모재, 용접 방법, 전류/전압, 입열량 등을 규정한 표준 문서.

PPE Personal Protective Equipment

개인보호구. 안전모, 안전화, 보안경, 귀마개, 방진마스크 등 작업자를 보호하는 장비.

KYT Kiken Yochi Training

위험예지훈련. 작업 전 위험요소를 발견하고 대책을 세우는 4라운드 기법.

TBM Tool Box Meeting

작업 시작 전 도구함 주변에서 하는 짧은 안전미팅. KYT와 함께 실시.

LOTO Lock Out / Tag Out

설비 정비 시 에너지를 차단하고 잠금장치와 경고표지를 붙이는 안전 절차.

MSDS Material Safety Data Sheet

물질안전보건자료. 화학물질의 위험성, 응급조치, 보관법 등 16개 항목으로 구성된 안전 정보 문서.

GHS Globally Harmonized System

화학물질 분류·표시에 관한 국제 조화 시스템. 9가지 픽토그램으로 위험을 표시한다.

아차사고 Near Miss

사고로 이어질 뻔했지만 부상이 없었던 상황. 하인리히 법칙에 따르면 300건의 아차사고 뒤에 1건의 중대재해가 있다.

이 책을 만든 곳

BIZ360 은 부산·울산·경남 제조업의 채용과 교육을 돕는 서비스입니다. 강소기업 2,000곳의 현장정보, 직무별 교육자료 50개 모듈, 부울경 정착 가이드를 무료로 운영합니다.

웹 biz360.kr

정착 가이드 biz360.kr/live

교육자료 전문 biz360.kr/ojt

문의 biz360.kr/contact

2026-08-18 발행. 법령·기한·제도는 발행일 기준이며 이후 바뀔 수 있습니다. 안전에 관한 사항은 사업장 규정과 현장 지시가 우선합니다. 이 책은 법률 자문이 아닙니다. 내용을 그대로 복사해 사내 교육에 쓰셔도 됩니다.