

부울경 제조업 적응 가이드북 — 품질편

재는 법, 판정하는 법, 기록하는 법

부산·울산·경남에서 품질 일을 시작하는 분께

이름

회사

부서·직무

입사일

2026-08-18 발행 · 약 65쪽 · biz360.kr

차례

1부 · 안전과 권리

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

2부 · 품질관리 실무

— 품질관리 기초 · 측정기 사용법 · SPC(통계적 공정관리) · 비파괴검사(NDT) 개요 · 기밀/누설 시험 · 신뢰성 시험 개요

3부 · 부록

— 현장 용어집

이 책에 대해

안전과 권리 6개 모듈은 한 줄도 줄이지 않고 전문을 실었고, 품질 모듈 6개도 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:**

- 행이 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, 안전모 챙이 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 막대·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 범위**에 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 밀동(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 $5,000\Omega \rightarrow 220V \div 5,000 = 44mA$ (위험)

젖은 손 저항 약 $1,000\Omega \rightarrow 220V \div 1,000 = 220mA$ (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	방지사설 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 표지가 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, 노출방지/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	노출방지 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** 적용됩니다. 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 요율**을 확인하세요. 구조만 정확히 기억하면 됩니다.

산재보험료는 근로자가 한 푼도 내지 않습니다. 명세서에서 산재보험료가 공제돼 있다면 잘못된 겁니다. 그리고 산재보험은 근로자 1인 이상이면 **당연 적용**이라, 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 보관**하고 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 다투기 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 근로복지공단**에 신청할 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

품질관리 실무

버니어캘리퍼스 잡는 법과 측정 오차부터 QC 도구와 SPC 관리도, 비파괴검사와 누설·신뢰성 시험까지 실었습니다.

품질관리 실무

품질 교육 모듈 6개를 전문 그대로 실었습니다.

품질관리 기초

QC 7가지 도구와 품질 마인드

배우는 것

- 품질관리의 기본 개념을 이해한다
- QC 7가지 도구를 활용할 수 있다

품질이란?

적합품질, 설계품질, 고객 만족과의 관계, "품질은 공정에서 만든다"는 원칙을 배웁니다.

검사로는 품질을 만들 수 없습니다

품질관리를 처음 배우면 "불량을 잘 골라내는 것"으로 생각하기 쉬워요. 하지만 검사는 이미 만들어진 불량을 **발견할 뿐**, 줄이지는 못합니다. 검사를 아무리 강화해도 불량률은 그대로예요.

그래서 품질관리의 대원칙은 이것입니다.

> 품질은 검사가 아니라 공정에서 만든다 (Quality is built in, not inspected in)

두 가지 품질

구분	의미	누가 책임지나
설계품질	도면·사양 자체가 고객 요구를 만족하는가	설계·개발
적합품질	만들어진 제품이 도면대로 나왔는가	제조 현장

현장에서 우리가 관리하는 건 주로 **적합품질**이에요. 도면이 잘못됐다면 아무리 잘 만들어도 고객은 불만족합니다. 그래서 도면에 이상하다 싶은 게 보이면 반드시 물어보세요.

품질비용 — 예방이 압도적으로 싸입니다

1 : 10 : 100 법칙

공정 내에서 잡으면	1
출하 전 검사에서 잡으면	10
고객에게 간 뒤 잡으면	100

고객 클레임 한 건은 재작업 비용뿐 아니라 **신뢰와 다음 수주**를 잃습니다. 부울경 제조업은 대부분 원청 협력사 구조라, 품질 사고 한 번이 거래 중단으로 이어질 수 있어요.

3정 5S가 품질의 출발점

정리·정돈이 안 된 현장에서는 반드시 **혼입(mix-up)** 이 일어납니다.

- 양품과 불량품이 같은 박스에
- 로트가 다른 자재가 한 파렛트에
- 공정이 다른 부품이 옆자리에

빨간 딱지(불량), 노란 딱지(보류), 초록(양품) 처럼 눈으로 구분되게 하세요.

신입이 지켜야 할 4가지

1. **이상하면 멈춘다** — "좀 이상한데?" 싶으면 계속 만들지 말고 반장에게 알립니다. 100개 더 만들면 100개가 불량이에요.
2. **첫 개(初物) 검사** — 셋업 후 첫 제품은 반드시 확인받고 시작합니다.
3. **불량은 즉시 격리** — 불량품을 작업대에 그냥 두면 반드시 섞입니다.
4. **기록은 그 자리에서** — 나중에 몰아 쓰면 그건 데이터가 아니라 소설이에요.

자주 나오는 용어

- **양품률(수율)**: 투입 대비 양품 비율
- **직행률(FTT, First Time Through)**: 재작업 없이 한 번에 통과한 비율 — 진짜 실력을 보여주는 지표
- **PPM**: 100만 개당 불량 수. 자동차 부품은 보통 **50PPM 이하**를 요구합니다
- **공정능력(Cp/Cpk)**: 공정이 규격을 만족할 능력 (SPC 모듈에서 다룹니다)

출처: 한국표준협회(KSA) — 품질경영 교육 (<https://www.ksa.or.kr>) · 한국생산성본부 — 품질관리 과정 (<https://www.kpc.or.kr>) · 국가기술표준원 — KS 표준 정보 (<https://www.kats.go.kr>)

QC 7가지 도구

파레토도, 특성요인도(어골도), 히스토그램, 관리도, 체크시트, 산점도, 층별의 사용법을 학습합니다.

통계를 몰라도 쓸 수 있게 만든 7가지

QC 7도구는 일본에서 현장 작업자가 직접 쓰라고 만든 도구예요. 그래서 **연필과 종이만 있으면** 됩니다. 실제 현장 문제의 90% 이상이 이 7가지로 해결된다고 해요.

1. 체크시트 — 데이터를 모으는 출발점

가장 단순하지만 가장 중요해요. **무엇을, 언제, 누가, 어떤 항목으로** 셀지 미리 정해둔 양식입니다.

날짜: 8/4 라인: 2호기 검사자: 홍길동

치수 불량	正正正	(12)
스크래치	正正	(9)
버(burr)	正丁	(7)
이물	丁	(3)

체크시트가 없으면 다음 6개 도구를 쓸 데이터 자체가 없습니다.

2. 파레토도 — 무엇부터 잡을지 정하기

80:20 법칙. 불량 항목을 많은 순으로 막대그래프를 그리고, 누적 비율을 꺾은선으로 겹칩니다.



→ 치수와 스크래치만 잡아도 불량량의 66%가 사라집니다. 자원이 한정되어 있으니 여기부터 하는 게 맞아요.

3. 특성요인도(어골도) — 원인을 빠짐없이 뽑기

생선뼈 모양으로 원인을 정리합니다. **4M(+1E)**으로 가지를 나누는 게 표준이에요.



혼자 그리지 말고 여러 명이 브레인스토밍으로 뽑아야 의미가 있어요. 현장 작업자가 아는 원인이 가장 정확합니다.

4. 히스토그램 — 분포 모양 보기

측정값을 구간별로 나눠 막대로 그림니다. 모양이 정보를 줘요.

모양	해석
좌우 대칭 종 모양	정상
쌍봉(봉우리 2개)	두 로트/두 설비가 섞임 → 충별 필요
한쪽으로 치우침	공구 마모, 셋업 편차
절벽형(한쪽이 잘림)	선별 검사로 걸러낸 흔적

5. 산점도 — 두 값의 관계 보기

가로축에 원인 후보, 세로축에 결과를 씁니다. 예) **가공 속도 vs 표면 거칠기**. 점들이 우상향이면 양의 상관, 흩어져 있으면 무관계.

> 상관이 있다고 인과는 아니에요. "아이스크림 판매량과 익사 사고"처럼 숨은 제3의 요인이 있을 수 있습니다.

6. 관리도 — 공정이 안정적인지 보기

시간 순으로 점을 찍고 **UCL(관리상한)·CL(중심선)·LCL(관리하한)**을 긋습니다. 자세한 건 SPC 모듈에서 다뤄요.

7. 충별 — 데이터를 쪼개서 보기

전체를 뭉쳐 보면 안 보이던 게, 나누면 보입니다.

전체 불량률 3% ← 별문제 없어 보임
충별하면:
1호기 0.5%
2호기 0.8%
3호기 8.2% ← 여기가 진짜 문제

충별 기준: 설비별, 작업자별, 교대조별, 자재 로트별, 요일·시간대별

실무 적용 순서

체크시트로 모으고 → 총별로 쪼개고 → 파레토로 우선순위 정하고
→ 어골도로 원인 뽑고 → 산점도·히스토그램으로 검증
→ 대책 실행 → 관리도로 유지 확인

출처: 한국표준협회 — QC 7도구 실무 (<https://www.ksa.or.kr>) · 한국생산성본부 — 현장개선 기법 (<https://www.kpc.or.kr>) · 중소벤처기업진흥공단 — 제조현장 혁신 (<https://www.kosmes.or.kr>)

불량 보고와 시정 조치

불량 발생 시 보고 절차, 8D 보고서 개요, 임시 대책과 항구 대책의 차이를 배웁니다.

숨기면 반드시 더 커집니다

불량을 냈을 때 가장 나쁜 선택은 **혼자 처리하려는 것**이에요. 슬쩍 다시 가공하거나, 양품 틈에 섞어 넣거나, 말없이 폐기하는 것 모두 나중에 훨씬 큰 문제가 됩니다.

현장에서 신뢰받는 사람은 실수를 안 하는 사람이 아니라 **바로 알리는 사람**입니다.

불량 발견 시 즉시 3단계

1. **멈춘다(Stop)** — 같은 불량을 계속 만들지 않도록
2. **격리한다(Isolate)** — 빨간 딱지 붙여 별도 장소로. **양품과 절대 같은 곳에 두지 않기**
3. **알린다(Report)** — 반장·품질담당자에게. 시간·수량·현상·발견 시점을 함께

임시대책 vs 항구대책 — 반드시 둘 다

구분	목적	예시
임시대책 (봉쇄)	당장 고객에게 안 가게	전수검사, 재작업, 재고 선별, 출하 보류
항구대책 (근본)	다시는 안 생기게	지그 개선, 조건 변경, 포카요케 설치, 표준 개정

임시대책만 하고 끝내면 **같은 불량**이 반복됩니다. 반대로 항구대책만 세우고 봉쇄를 안 하면 **그 사이에 불량**이 고객에게 갑니다. 둘 다 필요해요.

왜(Why)를 5번 — 진짜 원인 찾기

문제: 제품에 스크래치가 났다
Why1 왜? → 이송 중 트레이에 긁혔다
Why2 왜? → 트레이 홈이 제품보다 얇다
Why3 왜? → 제품 두께가 변경됐는데 트레이는 그대로다
Why4 왜? → 설변 정보가 현장에 전달되지 않았다
Why5 왜? → 설계변경 통보 대상에 포장 담당이 빠져 있다
↓
근본원인: 설변 통보 프로세스에 포장 공정 누락
대책: 통보 체크리스트에 포장/치공구 항목 추가

"작업자 부주의"에서 멈추면 대책이 "주의하겠습니다" 밖에 안 나와요. 그건 대책이 아닙니다.

8D 리포트 (자동차 부품 업계 표준)

원청이 클레임을 걸면 대부분 8D 양식을 요구해요.

단계	내용
D1	팀 구성
D2	문제 기술 (5W1H, 정량적으로)
D3	임시 봉쇄조치
D4	근본원인 분석 (발생 원인 + 유출 원인)
D5	항구대책 선정
D6	항구대책 실행 및 검증
D7	재발방지 (표준·FMEA·관리계획서 개정)
D8	팀 인정 및 종결

> D4에서 원인을 두 갈래로 나누는 게 핵심이에요. > - 발생 원인: 왜 불량이 만들어졌나 > - 유출 원인: 왜 검사에서 못 걸렸나 > > 둘 다 대책이 있어야 8D가 승인됩니다.

좋은 보고 vs 나쁜 보고

나쁨: "치수가 좀 안 맞는 것 같습니다"

좋음: "2호기 8시 30분 로트 A-0804에서 외경 $\phi 20.05$ 초과품 3개 발견했습니다. 규격은 $\phi 20 \pm 0.03$ 입니다. 라인 세우고 빨간 딱지 붙여 격리했고, 앞 로트 50개 전수 확인 중입니다."

→ 언제·어디서·무엇이·얼마나·지금 어떤 조치 중인지가 들어가면 판단이 바로 됩니다.

재발방지가 진짜 마무리

대책을 세웠으면 문서에 반영해야 끝나요.

- 작업표준서(SOP) 개정
- 관리계획서(Control Plan) 갱신
- 공정 FMEA 재평가
- 신입 교육자료 반영

출처: 한국표준협회 — 8D 문제해결 기법 (<https://www.ksa.or.kr>) · 한국자동차연구원 — 품질 실무 (<https://www.katech.re.kr>) · 한국생산성본부 — 현장 품질 개선 (<https://www.kpc.or.kr>)

현장에서 해볼 것

- 파레토도 작성 실습(불량 데이터 20건)
- 특성요인도 브레인스토밍

측정기 사용법

버니어캘리퍼스부터 3차원측정기까지

배우는 것

- 주요 측정기의 종류와 사용법을 익힌다
- 측정 오차의 원인을 이해한다

기본 측정기

버니어캘리퍼스(0.05mm), 마이크로미터(0.01mm), 다이얼게이지, 높이게이지의 읽기와 사용법을 배웁니다.

측정을 못 하면 품질도 없습니다

"이 정도면 됐겠지"는 제조업에서 통하지 않아요. 도면에 $\phi 20 \pm 0.03$ 이라고 적혀 있으면 **19.97 ~ 20.03** 안에 들어야 합니다. 0.01mm는 머리카락 굵기의 1/8이에요. 눈으로는 절대 알 수 없습니다.

버니어 캘리퍼스 — 가장 많이 쓰는 측정기

측정 범위가 넓고 외경·내경·깊이·단차를 하나로 다 잹니다.

읽는 법 (0.05mm 눈금 기준)

1. **어미자(주척)** 에서 부척 0의 왼쪽 눈금을 읽는다 → 정수 mm
2. **아들자(부척)** 눈금 중 어미자와 **일직선으로 겹치는 곳을** 찾는다 → 소수점

어미자에서 부척 0이 32와 33 사이 → 32mm
부척의 7번째 눈금이 딱 겹침 → 0.35mm (7 × 0.05)
측정값 = 32.35mm

주의사항

- 측정력을 일정하게. 세게 조이면 작게, 약하면 크게 나옵니다
- 조(jaw) **뿌리** 쪽으로 물어야 정확해요. 끝으로 물면 벌어집니다
- 사용 전 **0점 확인** — 조를 닫고 0이 아니면 그만큼 보정하거나 교정 의뢰

마이크로미터 — 정밀도 0.01mm

캘리퍼스보다 10배 정밀해요. 대신 측정 범위가 **25mm 단위**(0~25, 25~50...)로 나뉩니다.

읽는 법

슬리브(고정) 눈금 : 7.5mm (위 눈금 7 + 아래 0.5)
심블(회전) 눈금 : 0.28mm (28번째)
측정값 = 7.78mm

핵심 — 래칫(ratchet)을 반드시 쓰세요

심블을 손으로 끝까지 조이면 사람마다 값이 달라져요. **래칫이 "딸깍" 3번 소리 날 때까지** 돌리면 항상 같은 힘으로 측정됩니다. 이것만 지켜도 측정 편차가 확 줄어요.

다이얼 게이지 — 차이를 잴다

절대 치수가 아니라 **기준면 대비 변위**를 봅니다.

- 진원도, 흔들림(런아웃), 평행도
- 선반 척에 물린 소재의 편심 확인
- 스피들 축방향 유격

측정자(스핀들)를 **피측정면에 수직**으로 대야 해요. 기울면 코사인 오차가 생깁니다.

하이트 게이지

정반(surface plate) 위에서 **높이와 금긋기**에 씁니다. 정반의 평면도가 기준이므로, 정반에 흠집이 나면 모든 측정이 틀어져요. **정반 위에 공구를 떨어뜨리지 마세요.**

측정기 관리 — 공통 수칙

- ☐ 사용 전 **0점 확인**
- ☐ 사용 후 기름칠 후 케이스에 (녹 방지)
- ☐ 떨어뜨렸으면 반드시 신고 — 걸이 멀쩡해도 들어집니다
- ☐ 교정 스티커 유효기간 확인 (보통 1년)
- ☐ 절삭유·칩을 닦고 측정
- ☐ 가공 직후 뜨거운 제품은 식힌 뒤 측정 (열팽창)

어떤 측정기를 쓸 것인가 — 1/10 법칙

> 측정기의 최소 눈금은 공차의 1/10 이하여야 합니다.

공차 ± 0.03 → 전체 공차 0.06
 $0.06 \div 10 = 0.006$ → 0.01mm 눈금 (마이크로미터)도 빠듯
→ 0.001mm 급 측정기 권장

공차 ± 0.5 → 전체 1.0 → 0.1 이하 → 캘리퍼스(0.05)로 충분

캘리퍼스로 ± 0.01 공차를 재고 있다면, 그 데이터는 신뢰할 수 없어요.

출처: 한국계량측정협회 — 측정기 사용 및 교정 (<https://www.kasto.or.kr>) · 한국표준과학연구원(KRISS) (<https://www.kriss.re.kr>) · 국가기술표준원 — KS B 표준(측정) (<https://www.kats.go.kr>)

게이지류

핀게이지, 블록게이지, 한계게이지(GO/NO-GO), 나사게이지의 용도를 학습합니다.

재지 않고 판정만 하는 도구

측정기는 값을 알려주고, 게이지는 합격/불합격만 알려줍니다. 값이 필요 없고 판정만 빠르게 해야 하는 양산 현장에서는 게이지가 훨씬 효율적이에요.

한계 게이지 (GO / NO-GO)

가장 중요한 개념입니다.

구멍 $\phi 20 +0.03/0$ 을 검사한다면

GO 측 = $\phi 20.00$ (최소 허용치수) → 들어가야 한다 ✓
NO-GO 측 = $\phi 20.03$ (최대 허용치수) → 들어가면 안 된다 ✗

판정: GO 통과 + NO-GO 불통과 → 합격
GO 불통과 → 구멍이 작음 (불합격)
NO-GO 통과 → 구멍이 큼 (불합격)

측을 검사할 때는 반대예요. 링 게이지의 GO 측이 최대치수, NO-GO가 최소치수입니다.

주의

- **NO-GO를 억지로 밀어 넣지 마세요.** 게이지가 마모되고 제품도 상합니다
- GO 측은 자주 통과하므로 **NO-GO보다 빨리 마모돼요.** 정기 교정 필수

핀 게이지

0.01mm 단위로 굵기가 다른 핀 세트예요. 구멍 지름을 **핀을 바꿔 끼워보며** 확인합니다. 캘리퍼스가 들어가지 않는 작은 구멍에 유용해요.

블록 게이지 (게이지 블록)

길이의 기준이 되는 정밀 블록입니다. 측정기 교정, 하이트 게이지 세팅에 씁니다.

링잉(wringing)

블록 두 개를 밀착시켜 비틀면 **기름막 분자력으로 딱 붙어요**. 이렇게 조합해 원하는 치수를 만듭니다.

32.372mm 를 만들려면
 $1.002 + 1.37 + 10 + 20 = 32.372$
→ 되도록 적은 개수로 조합 (오차 누적 방지)

취급

- 맨손 금지 — 체온으로 열팽창, 땀으로 부식. 장갑 또는 핀셋
- 사용 후 방청유 도포
- 20°C 항온실 기준 — 온도가 다르면 보정 필요

나사 게이지

- 플러그 게이지: 암나사(탭 구멍) 검사
- 링 게이지: 수나사 검사
- 역시 GO/NO-GO 방식

나사는 지름만이 아니라 **유효경·피치·각도**가 종합적으로 맞아야 해서, 캘리퍼스로는 판정이 불가능해요.

기타 자주 쓰는 게이지

게이지	용도
틈새(필러) 게이지	얇은 판을 겹쳐 간극 측정 (밸브 간극, 조립 틈새)
반지름(R) 게이지	모서리 라운드 확인
피치 게이지	나사 피치 판별
각도 게이지	면취각, 경사면
한계 스냅 게이지	축 외경 양산 검사

게이지 관리

게이지도 **측정기와 동일하게 교정 대상**입니다. 마모되면 불량품을 합격시켜요.

- ☐ 교정 유효기간 확인
- ☐ 사용 빈도 높은 GO 측 마모 점검
- ☐ 떨어뜨린 게이지는 즉시 격리
- ☐ 온도가 안정된 곳에 보관

출처: 한국계량측정협회 — 게이지 교정 (<https://www.kasto.or.kr>) · 한국표준과학연구원 — 길이 표준 (<https://www.kriss.re.kr>) · 국가기술표준원 — KS 표준 정보 (<https://www.kats.go.kr>)

측정 오차

계통 오차, 우연 오차, 시차(Parallax), 온도 보정의 필요성을 이해합니다.

같은 제품을 3번 재면 3번 다 다릅니다

이건 측정기가 고장 나서가 아니에요. **모든 측정에는 오차가 있습니다**. 중요한 건 오차를 없애는 게 아니라, **크기를 알고 관리하는 것**이에요.

두 가지 오차

구분	특징	예시	대처
계통 오차	항상 같은 방향으로 치우침	0점이 +0.02 어긋난 캘리퍼스	보정 가능 — 교정으로 제거
우연 오차	매번 무작위로 변함	손 떨림, 읽는 각도	제거 불가 — 여러 번 재서 평균

계통 오차는 **정확도(accuracy)**, 우연 오차는 **정밀도(precision)**에 영향을 줍니다.

정확도 높고 정밀도 낮음 : 과녁 중심 주변에 흩어짐
 정확도 낮고 정밀도 높음 : 한쪽에 몰려서 찍힘 ← 계통 오차
 둘 다 높음 : 중심에 촘촘히 ← 목표

주요 오차 원인 5가지

1. 시차(Parallax) — 읽는 각도

눈금을 **비스듬히** 보면 값이 달라져요. 반드시 **눈금과 수직**으로 봅니다. 아날로그 계기에서 흔한 오차입니다.

2. 온도

금속은 온도가 오르면 늘어나요.

길이 변화 = 원래 길이 × 선팽창계수 × 온도차

강(steel) 100mm, 20℃ → 30℃ (10℃ 상승)
 = $100 \times 11.7 \times 10^{-6} \times 10$
 = 0.0117mm ≈ 0.012mm 증가

±0.01 공차 부품이라면 온도 10℃ 차이만으로 불합격 판정이 뒤집힙니다. 그래서 정밀 측정은 **20℃ 항온실**이 표준이에요.

- 가공 직후 뜨거운 제품은 **식힌 뒤 측정**
- 겨울철 외부 반입 자재는 실온에 두고 측정
- 손으로 오래 쥐고 있어도 체온이 전달됩니다

3. 측정력

캘리퍼스를 세게 조이면 값이 작게 나와요. 마이크로미터의 **래칫**이 이걸 해결합니다.

4. 아베(Abbe) 원리 위반

> 측정축과 피측정물의 축이 **일직선상에 있어야 한다**

캘리퍼스는 측정축이 어긋나 있어 구조적으로 오차가 큼니다. 마이크로미터는 일직선이라 더 정확해요. 이게 정밀도 차이의 이유 중 하나입니다.

5. 측정기 자체 오차

- 조(jaw) 마모, 스피들 유격
- 교정 주기 초과

반복 측정으로 우연 오차 줄이기

5회 측정: 20.01, 20.03, 20.02, 20.01, 20.03
 평균 = 20.02
 범위(R) = 0.02 ← 측정 산포

산포가 공차 대비 크면 **그 측정 방법 자체를 못 믿는다는** 뜻이에요. MSA(Gage R&R)로 정량 평가합니다.

현장에서 지킬 것

- ☐ 눈금은 정면에서 읽는다
- ☐ 마이크로미터는 래치 3딸깍
- ☐ 제품과 측정기를 같은 온도로
- ☐ 중요 치수는 **3회 측정 후 평균**
- ☐ 사용 전 0점 확인
- ☐ 다른 사람과 값이 다르면 **둘 다 다시 재고 방법을 맞춘다**

> 검사자에 따라 값이 다르면 그건 사람 문제가 아니라 **측정 방법이 표준화되지 않은 것**입니다. 어디를, 어떤 힘으로, 몇 회 재는지 작업표준에 적혀 있어야 해요.

출처: 한국표준과학연구원 — 측정 불확도 (<https://www.kriss.re.kr>) · 한국계량측정협회 — 측정 표준 (<https://www.kasto.or.kr>) · 안전보건공단 — 정밀측정 실무 (<https://www.kosha.or.kr>)

현장에서 해볼 것

- 캘리퍼스로 샘플 부품 10개 측정
- 측정 데이터 시트 작성

SPC(통계적 공정관리)

데이터로 공정을 제어하다

배우는 것

- 관리도의 원리와 해석을 할 수 있다
- Cp/Cpk를 계산하고 해석할 수 있다

관리도 기초

Xbar-R 관리도, p 관리도의 작성 방법, UCL/LCL 계산, 이상 판정 규칙을 배웁니다.

관리도는 제품이 아니라 "공정"을 봅니다

검사는 이미 만들어진 제품이 합격인지 판정합니다. 관리도는 다릅니다. 불량률이 아직 하나도 안 나왔어도, 공정이 평소와 다르게 움직이기 시작하면 **관리도에 먼저 신호가 뜹니다**. 불량률이 터지기 전에 손을 쓰려고 그리는 그림이에요.

모든 공정에는 산포가 있습니다. 같은 기계로 같은 사람이 같은 자재를 써도 치수는 조금씩 달라요. 이 산포는 두 종류입니다.

구분	우연원인 (공통원인)	이상원인 (특수원인)
정체	늘 있는 자잘한 변동	평소에 없던 사건
현장 예	자재 로트 내 미세 편차, 실온 변화, 기계 진동	공구 파손, 자재 업체 변경, 셋업 실수, 인수인계 누락
대응	없앨 수 없음. 줄이려면 설비·공법을 바꿔야 함	즉시 찾아서 제거
관리도 모습	한계선 안에서 무작위로 흔들림	한계선 이탈 또는 규칙적 패턴

관리도의 목적은 **이 둘을 구별하는 것** 딱 하나예요. 우연원인 때문에 흔들리는 걸 이상으로 보고 설비를 만지면 오히려 산포가 커집니다(과잉조정). 반대로 이상원인을 우연으로 넘기면 불량률이 쏟아져요.

가장 흔한 오해 — 관리한계와 규격한계는 완전히 다른 선입니다

이걸 헷갈리면 관리도 전체가 무의미해집니다. 신입뿐 아니라 경력자도 자주 틀려요.

구분	관리한계 UCL / LCL	규격한계 USL / LSL
어디서 오나	공정 데이터에서 계산한 결과	도면·고객이 정한 요구사항
무엇을 판단	공정이 안정한가 (변화가 있나)	제품이 합격인가
대상	부분군의 평균값 (또는 범위 R)	개별 제품 하나하나
벗어나면	이상원인 조사 — 제품이 불량이라는 뜻은 아님	그 제품이 불량 — 격리
바꾸려면	공정이 바뀌면 다시 계산	설계변경 승인이 있어야 함

> 관리도에 규격선(USL/LSL)을 같이 긋지 마세요. 규격선이 그어져 있으면 사람은 반드시 "아직 규격 안이니까 괜찮다"고 판단합니다. 그 순간 관리도는 조기 경보 장치가 아니라 그냥 합격 판정표가 됩니다.

엑셀로 관리도를 만들 때 **UCL 칸에 USL 값을 그대로 넣는 실수**가 특히 많아요. 그러면 점이 한계를 벗어나는 일이 거의 없어서 "우리 공정은 아주 안정적"이라는 착시가 생깁니다.

Xbar-R 관리도 만들기 — 실제 숫자로

Xbar-R은 길아·지름·무게처럼 **재서 숫자가 나오는 특성**에 씁니다. Xbar는 부분군 평균, R은 부분군 안의 최대-최소 차이(범위)예요.

품목: 샤프트 외경 도면 규격: $\phi 20 \pm 0.03$ (LSL 19.970 / USL 20.030)
 채취 규칙: 2시간마다 연속 5개 부분군 크기 $n = 5$

부분군 1의 측정값 (mm)

20.002 20.008 19.996 20.004 20.000

$Xbar = (20.002 + 20.008 + 19.996 + 20.004 + 20.000) / 5 = 20.002$

$R = 20.008 - 19.996 = 0.012$

이걸 10군 반복하면 아래처럼 정리됩니다. (실무 관리한계는 **25군 이상**으로 잡습니다. 여기서는 계산을 보이려고 10군만 썼어요.)

군	Xbar (mm)	R (mm)
1	20.002	0.012
2	19.998	0.010
3	20.000	0.014
4	20.001	0.009
5	19.996	0.011
6	20.003	0.013
7	20.000	0.008
8	19.999	0.012
9	20.004	0.010
10	19.997	0.011
평균	20.000	0.011

계수표에서 n에 맞는 값을 찾는다

n	A2	D3	D4	d2
2	1.880	—	3.267	1.128
3	1.023	—	2.574	1.693
4	0.729	—	2.282	2.059
5	0.577	—	2.114	2.326
6	0.483	—	2.004	2.534
7	0.419	0.076	1.924	2.704
8	0.373	0.136	1.864	2.847
10	0.308	0.223	1.777	3.078

D3이 "—"인 건 n이 6 이하이면 **R 관리도의 하한선이 없다**는 뜻이에요. 범위가 0에 가까워지는 건 이상 아니니까요.

한계선 계산

[중심선]

CL(Xbar) = 20.000 mm (Xbar들의 평균)
CL(R) = 0.011 mm (Rbar)

[Xbar 관리도]

UCL = CL + A2 × Rbar = 20.000 + 0.577 × 0.011 = 20.000 + 0.00635 = 20.0063 mm
LCL = CL - A2 × Rbar = 20.000 - 0.577 × 0.011 = 20.000 - 0.00635 = 19.9937 mm

[R 관리도]

UCL = D4 × Rbar = 2.114 × 0.011 = 0.0233 mm
LCL = 없음 (n = 5 이므로)

규격과 비교해보면

관리한계 폭 : 19.9937 ~ 20.0063 (폭 0.0126)
규격한계 폭 : 19.970 ~ 20.030 (폭 0.060)
→ 관리폭이 규격폭의 약 1/5

관리한계가 규격보다 훨씬 좁은 게 **정상**입니다. 관리도에 찍는 점은 개별 제품이 아니라 5개의 평균이고, 평균의 산포는 개별값보다 √5배(약 2.2배) 작기 때문이에요.

> Xbar가 20.007로 UCL을 넘었다고 그 로트가 불량인 게 아닙니다. 개별 제품 5개가 전부 규격 안일 수 있어요. 그래도 **공정이 변했다는 신호**이니 원인을 찾아야 합니다.

R 관리도를 먼저 봅니다

R이 불안정하면 Rbar 자체가 못 믿을 값이 되고, 그걸로 계산한 Xbar 한계선도 틀립니다. 순서는 **R 안정화 → Xbar 판정**이에요. R이 튀는 원인은 보통 척킹 불량, 지그 헐거움, 측정자 편차입니다.

p 관리도 — 불량률처럼 세는 데이터

재는 게 아니라 **개수를 세는 특성**(외관 불량, 도금 벗겨짐, 누유)에는 계수형 관리도를 씁니다.

관리도	데이터	시료 크기	현장 예
p	불량률	날마다 달라도 됨	일별 외관검사 불량률
np	불량 개수	일정해야 함	매일 200개 중 불량 개수
c	결점 수	일정해야 함	도장 패널 1장당 핀홀 수
u	단위당 결점 수	달라도 됨	용접 1m당 결함 수

같은 제품에 결점이 2개, 3개 있을 수 있으면 c/u, 합격이나 불합격이나만 따지면 p/np예요.

20일간 매일 200개 외관검사, 총 4,000개 중 불량 120개

$$pbar = 120 / 4,000 = 0.03 \quad (3.0\%)$$

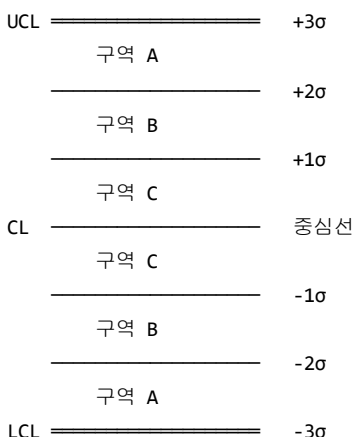
$$\begin{aligned} UCL &= pbar + 3 \times \sqrt{(pbar \times (1 - pbar) / n)} \\ &= 0.03 + 3 \times \sqrt{(0.03 \times 0.97 / 200)} \\ &= 0.03 + 3 \times \sqrt{0.0001455} \\ &= 0.03 + 3 \times 0.01206 \\ &= 0.03 + 0.0362 = 0.0662 \quad (6.6\%) \end{aligned}$$

$$LCL = 0.03 - 0.0362 = -0.0062 \rightarrow \text{불량률이 음수일 수 없으므로 } 0$$

날마다 검사 수량 n이 다르면 UCL/LCL도 날마다 달라져서 **계단 모양 한계선**이 됩니다. n이 클수록 한계선이 좁아져요.

이상 판정 규칙 — 한계선만 보는 게 아닙니다

점이 한계 안에 있어도 **패턴**이 있으면 이상입니다. 중심선과 한계선 사이를 3등분해서 구역을 나눠 판단해요.



번호	규칙	무엇을 뜻하나
1	1점이 관리한계 밖	명백한 이상 — 공구 파손, 셋업 오류, 자재 혼입
2	연속 7점(또는 8-9점)이 중심선 한쪽	평균이 이동 — 자재 로트 교체, 온도 변화, 교대조 차이
3	연속 6~7점이 계속 상승 또는 하강	경향 — 공구 마모, 지그 풀림, 온도 상승
4	연속 14점이 위아래 교대	두 설비·두 작업자가 번갈아 투입됨 (충별 필요)
5	연속 3점 중 2점이 구역 A (2σ 밖)	산포 확대의 초기 신호
6	연속 5점 중 4점이 1σ 밖 (구역 B 이상)	평균 이동의 초기 신호
7	연속 15점이 구역 C 안에만	너무 좋다 — 데이터를 안 재고 베껴 썼거나, 측정기 분해능 부족
8	연속 8점이 구역 C 밖	서로 다른 두 분포가 섞임

> 규칙 2와 3의 **점 개수는 규격 체계마다 다릅니다**. 예전 KS-JIS 계열은 7점, Western Electric은 8점, Nelson 규칙은 9점을 씁니다. 사내 표준이나 원청이 지정한 기준을 확인하고, 소프트웨어 기본값이 무엇으로 잡혀 있는지도 반드시 보세요.

규칙 7이 의외로 중요합니다. 점이 중심선 근처에만 얹전히 모여 있으면 좋아 보이지만, **실제로 측정하지 않고 비슷한 숫자를 적어 넣은 경우가 많**아요. 원청 심사에서 이걸로 걸립니다.

신입이 관리도 앞에서 할 일

부울경 자동차부품·조선기자재 협력사에서는 원청이 관리도 제출을 요구하는 경우가 많아 라인마다 관리도가 붙어 있습니다. 그런데 그리기만 하고 아무도 안 보는 경우도 흔해요. 아래만 지키면 절반은 합니다.

- ☐ 내 공정 관리도가 어느 특성을 보는 것인지 안다 (외경? 두께? 불량률?)
- ☐ 측정값을 그 자리에서 기입한다 (몰아서 쓰면 그건 데이터가 아니라 소설)
- ☐ 관리한계선의 숫자를 외운다 — 이 값을 넘으면 즉시 호출
- ☐ 점이 한 방향으로 계속 흘러가면 한계 안이라도 반장에게 알린다
- ☐ 이상이 생겼을 때 그래프 여백에 원인과 조치를 메모한다 (나중에 이게 자산이 됨)
- ☐ 관리한계선과 도면 규격은 다른 숫자라는 걸 안다

출처: 한국표준협회(KSA) — 통계적 공정관리(SPC) 교육 (<https://www.ksa.or.kr>) · 한국생산성본부(KPC) — 현장 품질관리 과정 (<https://www.kpc.or.kr>) · 국가기술표준원 — KS 표준 정보 (<https://www.kats.go.kr>)

정규분포와 6σ

정규분포의 특성, 3σ/6σ의 의미, 불량률(ppm)과의 관계를 이해합니다.

왜 하필 3σ에서 선을 긋는가

관리한계를 왜 2σ도 4σ도 아닌 3σ에 긋는지 이유가 있습니다. 두 가지 실수 사이의 균형점이기 때문이에요.

한계를 좁게 잡으면 (2σ)	한계를 넓게 잡으면 (4σ 이상)
정상인데 이상이라 판정	이상인데 정상이라 판정
헛경보로 라인을 자주 세움	불량이 쏟아진 뒤에야 알아챈
약 4.55% 확률로 헛경보 — 약 22점에 한 번	진짜 변화를 놓침

3σ는 정상 공정에서 헛경보가 날 확률이 **0.27%** 입니다. 약 370점에 한 번이에요. 하루 12점(2시간마다)씩 찍으면 한 달에 한 번 정도라 현장에서 감당할 수 있는 수준입니다.

정규분포의 성질과 불량률

측정값을 많이 모아 히스토그램을 그리면 대부분 가운데가 볼록한 종 모양이 됩니다. 이것 정규분포라고 하고, 평균에서 몇 σ 떨어졌는지만 알면 **밖으로 나가는 비율을 정확히 계산**할 수 있어요.

범위	안에 들어가는 비율	밖으로 나가는 비율	ppm으로
±1σ	68.27%	31.73%	317,300
±2σ	95.45%	4.55%	45,500
±3σ	99.73%	0.27%	2,700
±4σ	99.9937%	0.0063%	63
±5σ	99.999943%	—	0.57
±6σ	99.9999998%	—	0.002

ppm(parts per million) 은 100만 개당 불량 개수입니다. 자동차 부품 원청은 계약서에 PPM 목표를 넣는 경우가 흔해요. 감이 잘 안 오면 이렇게 환산해보세요.

월 50,000개 납품, 목표 50 PPM

허용 불량 = $50,000 \times 50 / 1,000,000 = 2.5$ 개

→ 한 달에 3개 이상 나가면 목표 미달

조전기자재처럼 소량·대형 부품을 만드는 곳은 PPM 대신 **건당 부적합 건수**나 재작업 공수로 관리하는 경우가 많습니다. 업종에 맞는 지표를 쓰면 됩니다.

"6시그마 = 3.4 ppm"의 진짜 의미

위 표를 보면 $\pm 6\sigma$ 는 0.002 ppm인데, 왜 6시그마 방법론에서는 3.4 ppm이라고 할까요? **공정 평균이 장기적으로 1.5σ 만큼 흔들린다고 가정하기** 때문입니다.

	단기 (평균이 중심에 고정)	장기 (1.5σ 이동 가정)
3 σ 수준	2,700 ppm	66,807 ppm
4 σ 수준	63 ppm	6,210 ppm
5 σ 수준	0.57 ppm	233 ppm
6 σ 수준	0.002 ppm	3.4 ppm

현실에서 공정 평균은 절대 한자리에 고정되지 않아요. 공구가 마모되고, 자재 로트가 바뀌고, 계절에 따라 공장 온도가 달라집니다. 오른쪽 열은 그 현실을 감안한 값이에요.

> 보고서에 ppm 숫자를 쓸 때는 **단기 기준인지 1.5σ 이동을 반영한 값인지** 밝혀야 합니다. 같은 공정인데 63 ppm으로도, 6,210 ppm으로도 쓸 수 있으니까요.

우리 공정의 σ 는 얼마인가

σ 를 모르면 위 표는 아무 쓸모가 없습니다. Xbar-R 관리도를 그렸다면 이미 σ 를 구할 재료가 있어요. **Rbar를 d2로 나누면** 됩니다.

앞 단원의 데이터: Rbar = 0.011 mm, n = 5 → d2 = 2.326
$\sigma(\text{추정}) = \text{Rbar} / d2 = 0.011 / 2.326 = 0.00473 \text{ mm}$
개별 제품이 들어갈 예상 범위 (평균 $\pm 3\sigma$)
= 20.000 $\pm 3 \times 0.00473$
= 20.000 ± 0.0142
= 19.9858 ~ 20.0142
도면 규격
= 19.970 ~ 20.030

공정의 3 σ 범위(폭 0.0284)가 규격 폭(0.060)의 절반도 안 씁니다. 여유가 충분한 공정이예요. 반대로 3 σ 범위가 규격을 넘어가면, 관리도가 아무리 예쁘게 안정돼 있어도 **불량은 계속 나옵니다**.

> **안정한 것과 규격을 만족하는 것은 별개입니다.** > - 관리도가 보는 것: 공정이 평소와 같은가 (안정성) > - 공정능력지수가 보는 것: 산포가 규격 안에 들어갈 만큼 작은가 (능력) > > 안정한데 능력이 없는 공정, 능력은 있는데 불안정한 공정 둘 다 존재합니다.

정규분포가 아닌 데이터를 조심하세요

정규분포를 전제로 ppm을 계산했는데 실제 분포가 정규가 아니면, 추정값이 몇 배씩 어긋납니다. 계산 전에 **히스토그램을 반드시 먼저** 그려보세요.

히스토그램 모양	원인	대응
좌우 대칭 종 모양	정상	그대로 계산
0에서 잘린 비대칭	진원도·흔들림·조도처럼 0 이하가 없는 특성	정규 가정 쓰지 않음. 변환 또는 비정규 모델
절벽형(한쪽이 뚝 잘림)	선별 검사로 불량을 골라낸 뒤의 데이터	선별 전 원데이터로 다시
쌍봉(봉우리 2개)	두 설비·두 교대조·두 자재 로트가 섞임	층별해서 각각 분석
이빨 빠진 모양	측정기 분해능 부족, 눈금 읽기 습관	더 정밀한 측정기로

특히 **선별 후 데이터로 계산한 ppm**은 실제보다 훨씬 좋게 나옵니다. 이미 나쁜 걸 빼놓고 계산했으니까요. 공정능력은 **선별 전, 공정에서 나온 그대로**의 데이터로 평가해야 합니다.

정리 체크리스트

☐ 3 σ 관리한계가 헛경보 0.27%를 기준으로 정해진 값임을 안다

- ☐ $\pm 3\sigma = 2,700 \text{ ppm}$, $\pm 4\sigma = 63 \text{ ppm}$ 을 기억한다
- ☐ "6시그마 3.4 ppm"이 1.5 σ 이동을 가정한 값을 안다
- ☐ $Rbar / d2$ 로 우리 공정의 σ 를 구할 수 있다
- ☐ 공정의 $\pm 3\sigma$ 범위와 도면 규격을 나란히 놓고 비교해봤다
- ☐ 계산 전에 히스토그램으로 분포 모양을 확인했다
- ☐ 선별한 뒤의 데이터로 공정능력을 계산하지 않는다

출처: 한국표준협회(KSA) — 6시그마 / 통계적 품질관리 (<https://www.ksa.or.kr>) · 한국생산성본부(KPC) — 6시그마 벨트 과정 (<https://www.kpc.or.kr>) · 한국 산업기술시험원(KTL) — 시험-측정 데이터 신뢰성 (<https://www.ktl.re.kr>)

현장에서 해볼 것

- Xbar-R 관리도 수작업 작성
- Cpk 계산 연습 5문제

비파괴검사(NDT) 개요

부수지 않고 결함을 찾는 기술

배우는 것

- 5대 비파괴검사 방법의 원리를 이해한다
- 적용 분야를 구분할 수 있다

NDT 5대 방법

방사선(RT), 초음파(UT), 자분(MT), 침투(PT), 와전류(ET)의 원리와 장단점을 비교합니다.

잘라볼 수 없으니 검사법이 따로 있습니다

인장시험처럼 시편을 잘라 부수는 검사는 **그 시편 하나만** 확인할 수 있어요. 하지만 거제·울산 조선소의 블록 용접부, 울산 석유화학 플랜트의 배관 이음부는 잘라볼 수가 없습니다. 이미 붙어 있고, 그게 제품이니까요.

그래서 물건을 그대로 둔 채 속을 보는 기술이 **비파괴검사(NDT, Non-Destructive Testing)** 입니다. 부울경은 조선·플랜트·자동차부품이 몰려 있어 **NDT 물량의 상당 부분이 용접부 검사**예요. 용접이 있는 곳에는 반드시 검사가 따릅니다.

6가지 방법 한눈에

약어	이름	원리	잡히는 결함	결함 위치	재질 조건
VT	육안검사	눈·확대경·내시경으로 직접 본다	언더컷, 오버랩, 비드 불량, 표면 균열	표면	없음
PT	침투탐상	모세관 현상으로 침투액이 빈틈에 스며들	표면으로 열린 균열·기공	표면	다공성 재료 불가
MT	자분탐상	자화 시 결함에서 새는 자속에 자분이 붙음	표면 + 표면 바로 아래 균열	표면·근접표면	강자성체만
RT	방사선투과	X선·감마선 투과량 차이를 영상으로	기공, 슬래그 개재물, 용입부족	내부	두께 제한, 안전 규제
UT	초음파탐상	초음파가 결함에 반사되는 시간·크기	균열, 용합불량, 두께 감육	내부	형상·표면 상태 영향
ET	와전류	코일이 만든 와전류의 변화	표면·근접표면 균열, 튜브 감육	표면·근접표면	도전체만

첫 번째 갈림길 — 결함이 표면에 있나, 속에 있나

NDT 방법 선택은 결국 이 질문에서 시작해요.

- **표면 결함** → MT, PT, VT, ET
- **내부 결함** → RT, UT

표면용 방법으로 내부 결함을 잡을 수 없고, 그 반대로 안 됩니다. **PT로 내부 기공을 찾겠다**는 건 원리상 불가능해요. 침투액은 표면으로 뚫려 있는 틈에만 들어가니까요.

두 번째 갈림길 — 결함이 등근가, 납작한가

내부 결함이라면 다시 나뉩니다.

결함 종류	예시	유리한 방법	이유
체적 결함(등근 것)	기공(블로홀), 슬래그 개재물	RT	밀도 차이가 커서 영상에 뚜렷이 나옴
면상 결함(납작한 것)	균열, 융합불량, 용입부족	UT	초음파가 면에 부딪혀 강하게 반사됨

> **RT는 균열을 놓칠 수 있습니다.** 방사선 진행 방향과 균열면이 거의 나란해야 두께 차이가 생겨 보여요. 균열이 필름과 나란히 누워 있으면 아무것도 안 나옵니다. 반대로 UT는 그런 균열을 가장 잘 잡아요.

선택 흐름도

결함이 표면에 있나?

- └ 예 → 재질이 자성체인가? (탄소강·주철·저합금강)
 - └ 예 → MT (감도 높고 빠름, 표면 바로 아래도 잡힘)
 - └ 아니오 → PT (STS304, 알루미늄, 구리, 티타늄)
- └ 아니오(내부) → 결함 모양이?
 - └ 기공·슬래그 등 등근 결함 → RT
 - └ 균열·융합불량 등 납작한 결함 → UT

방법마다 "못 하는 것"이 분명합니다

MT — 자석에 붙는 재질만

오스테나이트계 스테인리스(STS304, STS316), 알루미늄, 구리, 티타늄은 **자화가 안 돼요**. 자분을 뿌려도 아무 반응이 없습니다. 이 재질에 MT를 걸었다면 검사를 한 게 아니라 시간을 쓴 겁니다. → **PT로 가야 합니다.**

또 하나. 결함은 **자속선과 직각일 때** 가장 잘 보여요. 자속과 나란한 균열은 안 보입니다. 그래서 **방향을 90° 바꿔 두 번** 검사합니다.

PT — 다공성 재료와 도장면에 못 씌

- **다공성 재료**(소결재, 일부 주물 표면): 표면 기공 전체에 침투액이 남아 온통 빨갛게 나와요. **판독 자체가 불가능합니다.**
- **도장면·도금면·양극산화 표면**: 결함 입구가 막혀 있어 침투액이 못 들어갑니다. **도막을 먼저 제거**해야 해요.
- **표면에 열려 있지 않은 결함**은 원리상 절대 못 잡습니다.

RT — 두껍거나 형상이 복잡하면 곤란

두께가 두꺼울수록 노출 시간이 길어지고 상질이 나빠져요. T형 필렛 용접부처럼 **투과 경로가 겹치는 형상**은 판독이 어려워 보통 MT/PT나 UT로 대체합니다.

UT — 표면 상태와 기량에 좌우됨

- 표면이 거칠거나 스패터가 붙어 있으면 초음파가 안 들어가요. **연마와 커플런트(접촉매질)**가 필수입니다.
- 탐촉자 바로 아래 얇은 부위에는 **불감대(dead zone)**가 있어 표면 근처 결함을 놓칠 수 있습니다.
- 화면의 에코를 해석하는 건 사람이예요. **검사자 기량 의존도가 가장 큰 방법**입니다.

ET — 얇은 것, 튜브 전용에 가까움

전기가 통하는 재질만 되고, 표피효과 때문에 **침투 깊이가 얕아요**. 열교환기 튜브, 박판, 봉재 표면 검사에 주로 씁니다.

VT — 가장 싸고 가장 자주 놓칩니다

NDT의 출발점은 눈입니다. 언더컷, 오버랩, 크레이터 균열, 비드 사행은 대부분 눈으로 보여요. 규격에서는 검사면의 **최소 조도**와 검사자 시력 요건을 정해 두고 있으니, "그냥 보는 것"과 VT는 다릅니다.

RT는 검사하기 전에 방사선입니다

RT만 유일하게 **원자력안전법**의 규제를 받아요. 방사선발생장치(X선)나 방사성동위원소(Ir-192, Se-75)를 쓰기 때문입니다.

방사선작업종사자 선량한도 (원자력안전법 시행령)

유효선량 연속 5년간 100 mSv, 단 어느 1년에도 50 mSv 초과 금지

등가선량 손·발 및 피부 연간 500 mSv

수시출입자·운반종사자 연간 6 mSv

일반인 연간 1 mSv

수정체 등가선량 방사선작업종사자 연간 150 mSv, 수시출입자·운반종사자 및 일반인 연간 15 mSv

※ 수정체 한도는 ICRP 권고에 맞춘 강화 논의가 진행 중입니다. 작업 전 국가법령정보센터에서 시행 중인 별표를 확인하세요.

현장에서 지켜야 할 것은 단순합니다.

- **관리구역 경계 로프와 "방사선 촬영 중" 표지를 절대 넘지 않습니다.** 눈에 안 보이고 냄새도 없어요.
- 조선소·플랜트에서 RT를 **야간이나 휴무일에 하는 이유**가 이겁니다. 사람이 없어야 해서예요.
- 촬영 종사자는 **개인선량계(TLD/OSL)** 착용, 서베이미터로 경계 선량을 확인, 2인 1조가 기본입니다.
- 외국인 근로자가 많은 현장은 로프의 의미가 전달됐는지 확인해야 합니다. **모국어 표지와 그림 표지**를 병행하세요.

> 감마선 조사기의 선원이 차폐 용기로 완전히 회수됐는지 확인하지 않고 철수했다가 피폭되는 사고가 실제로 반복됩니다. **선원 회수 확인은 서베이미터로, 눈이 아니라 계측기로 합니다.**

신입이 첫 주에 확인할 것

- ☐ 우리 공정에서 하는 NDT가 무엇인지 (MT? PT? UT? RT?)
- ☐ 우리가 다루는 재질이 자성체인지 (MT 가능 여부가 같습니다)
- ☐ RT 촬영 구역과 촬영 시간대, 경계 표지의 위치
- ☐ PT-MT 약품의 MSDS 위치와 환기 조건
- ☐ 지시(indication)를 발견했을 때 누구에게 보고하는지

출처: 한국비파괴검사학회 — 비파괴검사 기술자료 (<https://www.ksnt.or.kr>) · 국가기술표준원 — KS 비파괴시험 표준정보 (<https://www.kats.go.kr>) · 안전보건공단 — 방사선·유해물질 취급 안전자료 (<https://www.kosha.or.kr>)

적용 사례

용접부 검사(RT/UT), 표면 균열 검사(MT/PT), 박판 결함(ET)의 실제 적용 사례를 학습합니다.

검사 방법은 내가 고르는 게 아닙니다

현장에서 "이건 UT로 할까요?"라고 묻는 일은 거의 없어요. **어떤 부위를, 몇 %를, 어떤 방법으로, 어떤 합격기준으로** 검사할지는 이미 문서에 적혀 있습니다.

문서	정하는 것
WPS/WPQR	용접 조건
ITP(검사 및 시험 계획서)	어느 단계에서 어떤 검사를 하는지
NDT 절차서(Procedure)	장비·약품·감도·기법·판정 기준
발주처/선급 사양	검사 비율, 합격기준, 자격 요건

> 원청이 지정한 규격과 다른 방법으로 검사하면 **성적서 자체가 무효**입니다. 다시 하려면 도장을 벗기고 발판을 다시 세워야 해요. 비용은 대부분 협력사 부담입니다.

조선 — 맞대기는 RT/UT, 필렛은 MT/PT

거제·울산 조선 현장의 검사는 이음 형상에 따라 갑니다.

이음 형상	대표 검사	이유
맞대기 용접(Butt)	RT 또는 UT(PAUT)	두께 방향 전체를 봐야 함
필렛 용접(Fillet)	MT 또는 PT	형상 때문에 RT/UT 투과·주사가 어려움
가용접·취부 자리	VT + MT	아크 스트라이크, 미세 균열 확인
후판 고정력강	UT + MT	지연균열 은 시간이 지나 생기므로 시간 경과 후 재검사

선급(KR, DNV, LR, ABS)과 발주처가 **검사 비율(스폿 %)**과 촬영 위치 선정 방식을 정합니다. 통상 교차점(cross joint)과 용접 시작·끝 부위처럼 결함이 잘 생기는 곳이 우선 선정돼요.

실제로 자주 나오는 흐름은 이렇습니다.

UT/RT에서 지시 발견
 ↓
 지시 위치 마킹 (길이·깊이 기록)
 ↓
 그라인딩으로 결함부 제거 → MT/PT로 완전 제거 확인
 ↓
 보수용접(승인된 보수 WPS로)
 ↓
 재검사 - 같은 방법으로, 보수부 + 좌우 여유 구간까지

여기서 자주 나는 실수는 **그라인딩으로 결함이 다 제거됐는지 확인하지 않고 바로 재용접**하는 겁니다. 균열이 남은 채 덮으면 재검사에서도 또 걸리고, 두 번째 보수는 승인 절차가 더 까다로워져요.

플랜트 — 배관 이음부와 감육 측정

- **배관 맞대기 용접부**: RT가 전통적이지만, 방사선 통제로 주변 작업이 멈추기 때문에 PAUT로 바꾸는 현장이 늘고 있어요.
- **소켓 용접부**: 형상상 RT/UT 모두 어려워 **PT/MT + VT**로 관리합니다.
- **운전 중 배관 감육**: UT 두께 측정이 표준입니다. 같은 지점을 정기적으로 재서 감육 속도를 추적해요. 엘보 바깥쪽, 오리피스 하류처럼 유속이 빠른 부위가 우선 측정점입니다.

자동차부품 — 단조·주조품 표면

김해·양산·창원의 부품 협력사에서 가장 흔한 건 **MT**예요.

- **단조품·기계가공품(탄소강)**: 형광자분 습식 MT. 암실에서 자외선등(블랙라이트) 아래 관찰합니다.
- **알루미늄 다이캐스팅**: 자성체가 아니라 MT 불가 → 표면은 PT, 내부 기공은 **X-ray**로 봅니다.
- **열처리 후 퀀칭 크랙**은 MT로 잡습니다. 열처리 전에 검사하고 끝내면 놓쳐요. **검사 시점이 공정 순서만큼 중요합니다.**

PT 실무 7단계

- ① 전처리 도막·기름·스케일·수분 제거 (여기서 대부분 실패합니다)
- ② 침투 침투액 도포, 침투 시간 유지 - 절차서 규정값
- ③ 제거 마른 천으로 닦고 → 세척액 묻힌 천으로 마무리
- ④ 건조 자연 건조 또는 온풍
- ⑤ 현상 현상액을 얇고 균일하게 (두껍게 뿌리면 지시가 덮입니다)
- ⑥ 관찰 현상 시간 경과 후 관찰, 지시 길이·모양 기록
- ⑦ 후처리 잔류 약품 제거

세척 단계에서 사고가 가장 많이 납니다. 세척액을 표면에 직접 뿌리면 결함 속 침투액까지 씻겨 나가요. 그러면 결함이 있어도 아무 지시가 안 나오니까. **반드시 천에 묻혀서 닦습니다.**

> 오스테나이트계 스테인리스와 니켈 합금에는 **염소·황 함량이 규제된 전용 약품**을 써야 합니다. 일반 약품의 잔류 염소가 응력부식균열을 일으켜요. 통(캔)에 적힌 표기를 확인하세요.

MT 실무 포인트

항목	내용
자화 방법	요크(휴대용, 가장 흔함), 프로드, 코일, 중앙전도체
자분	건식/습식, 형광/비형광 — 감도는 형광 습식 이 높음
검사 방향	자속과 직각인 결함이 잘 보임 → 90° 바꿔 2방향
감도 확인	표준시험편(A형 등)으로 매 작업 전 확인
탈자	잔류 자기는 이후 용접에서 아크 블로우 를 일으킴 → 필요 시 탈자

> **프로드법은 아크 스트라이크로 모재를 손상**시킬 수 있어요. 마르텐사이트계·페라이트계 스테인리스(STS410·420 등)나 고장력강처럼 아크 흔적이 균열 기점이 되는 재질에는 제한됩니다. 요크법이 안전합니다. (오스테나이트계 STS304·316은 자화 자체가 안 되므로 MT 대상이 아니라 PT로 갑니다.)

ET — 열교환기 튜브와 박판

- 조선 기자재·화공 설비의 **열교환기 튜브 검사**가 대표 용도입니다. 튜브 안으로 프로브를 넣어 감육·구멍을 찾아요.
- **표준시험편으로 교정**한 뒤 검사합니다. 교정 없는 ET 데이터는 해석이 불가능해요.
- 프로브가 표면에서 뜨면(리프트오프) 신호가 흔들립니다. 스케일 제거와 일정한 주사 속도가 중요해요.
- **강자성체 튜브는 일반 ET가 어렵습니다.** 투자율 변동이 노이즈로 잡혀요.

지시가 다 결함은 아닙니다

용어를 정확히 쓰는 게 실무의 시작이에요.

용어	의미
지시(Indication)	검사에서 나타난 신호나 흔적. 아직 판정 전
불연속(Discontinuity)	실제로 재료가 끊긴 부분
결함(Defect)	불연속 중 합격기준을 초과한 것 . 즉 불합격

지시에는 형상 때문에 생기는 것(무관 지시), 치공구 자국이나 자분이 묻힌 것(의사 지시)도 있어요. **이걸 구분하고 합부를 판정하는 건 자격을 가진 사람의 일입니다.**

신입이 할 일은 명확해요. **지시를 발견하면 지우지 말고, 위치를 표시하고, 보고합니다.**

흔한 실수와 결과

실수	결과
STS 용접부에 MT 적용	자화가 안 돼 아무것도 안 나옴 → 검사 안 한 것과 동일
도장 위에 PT	침투액이 못 들어감 → 균열 있어도 미검출
세척액을 표면에 직접 분사	결함 속 침투액까지 제거 → 지시 소멸
현상액을 두껍게 도포	미세 지시가 덮여 안 보임
MT를 한 방향만	자속과 나란한 균열 전량 누락
열처리 전에만 MT	퀀칭 크랙 미검출
표면 연마 없이 UT	초음파 미입사 → 정상으로 오판
보수용접 후 재검사 생략	출하 후 클레임, 원청 감사 대상

출처: 한국비파괴검사학회 — 용접부 비파괴검사 실무자료 (<https://www.ksnt.or.kr>) · 한국산업기술시험원 — 재료·용접 시험평가 (<https://www.ktl.re.kr>) · 국가 기술표준원 — KS 용접·비파괴시험 표준 (<https://www.kats.go.kr>)

현장에서 해볼 것

- PT 검사 시뮬레이션
- NDT 방법 선택 매트릭스 작성

기밀/누설 시험

새지 않는 것을 증명하라

배우는 것

- 기밀시험의 종류와 적용을 이해한다
- 허용 누설량의 개념을 안다

기밀시험 종류

에어 리크 테스트, 수압시험, 헬륨 리크 테스트, 거품(비눗물) 시험의 원리를 배웁니다.

"안 샐니다"는 말로 증명할 수 없습니다

치수는자로 재면 됩니다. 경도는 짚으면 나와요. 그런데 누설은 눈에 안 보이고, 안 새는 것을 증명할 방법도 없습니다. 할 수 있는 건 "정해진 조건에서 정해진 양보다 적게 샌다"를 확인하는 것뿐이에요.

부울경 현장에서 리크 검사가 걸린 부품은 생각보다 많습니다.

지역·업종	리크 검사 대상
창원·김해 자동차부품	밸브바디, 워터펌프 하우징, 오일팬, 인터쿨러, 연료계 부품
부산 냉동공조	컴프레서, 열교환기, 냉매 배관
울산 화학·플랜트	배관 스톱, 플랜지 조인트, 압력용기
조전기자재	밸브, 열교환기, 탱크, 유압 실린더
양산·김해 다이캐스팅	알루미늄 하우징 (기공 누설)

리크 불량은 라인에서 안 걸리면 필드에서 걸립니다. 조립 완료 후, 심하면 고객 차량에서 나와요. 그래서 1차 벤더가 2·3차 협력사에 리크 스펙을 강하게 겁니다.

5가지 방법과 원리

1. 수물(기포)법 — 물에 담그고 기포를 본다

부품에 공기를 넣고 물속에 담급니다. 기포가 올라오면 누설이예요.

- **장점:** 장비가 싸다(수조 + 공압 레귤레이터). 누설 위치를 바로 알 수 있다.
- **단점:** 검사자 눈에 의존, 정량화 불가, 부품이 젖어 건조 공정이 붙음, 사이클이 길다
- **비눗물(발포액) 도포**는 물에 못 담그는 대형품·배관 조인트에 쓰는 변형입니다

> 물에 담근 뒤 기포가 안 나오는데 물이 부품 안으로 빨려 들어가는 경우가 있어요. 압력이 안 걸린 겁니다. 압력계를 먼저 보세요.

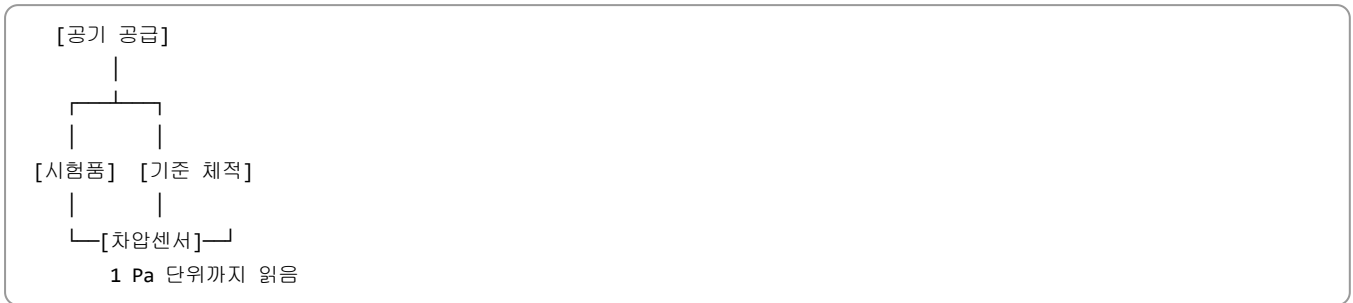
2. 압력강하법 — 넣고, 잠그고, 떨어지는지 본다

가장 널리 쓰입니다. 규정 압력을 넣고 밸브를 잠근 뒤, 일정 시간 동안 압력이 얼마나 떨어지는지 잽니다.

- **장점:** 자동화 쉽고, 사이클 짧고, 정량화 가능
- **단점:** 누설 위치를 모른다. 그리고 온도·체적 변화에 극도로 민감합니다(다음 항목에서 상세히)

3. 차압법 — 기준 체적과 비교한다

압력강하법의 개량형이예요. 시험품과 같은 체적의 기준통(마스터 체적)에 같은 압력을 넣고, 둘 사이의 압력 차이만 잽니다.



절대압을 재면 400,000 Pa 중에서 100 Pa 변화를 읽어야 합니다. 차압으로 재면 처음부터 0 근처에서 100 Pa를 읽어요. 같은 센서로 훨씬 미세한 변화를 잡습니다. 또 실온이 서서히 변해도 양쪽이 같이 변해 상쇄됩니다.

자동 리크 시험기 대부분이 이 방식입니다.

4. 헬륨 리크 — 추적가스를 넣고 질량분석기로 찾는다

헬륨은 분자가 작아 미세한 통로도 잘 빠져나가고, 대기 중 농도가 약 5 ppm으로 낮아 배경 신호가 작습니다. 불활성이라 안전하고요.

방식	하는 법	알 수 있는 것
스니퍼법	부품 안에 헬륨을 채우고, 바깥에서 탐침으로 훑음	누설 위치
진공 챔버법	부품을 챔버에 넣고 챔버를 진공으로 뺀 뒤, 부품 안에 헬륨 주입	전체 누설량(정량)
스프레이법	부품 안을 진공으로 빼고, 바깥에서 헬륨 분사	누설 위치 (진공 설비 부품)
누적(축적)법	부품을 봉지·박스에 넣고 시간을 두어 헬륨을 모음	감도 향상, 위치는 모름

5. 초음파 — 새는 소리를 듣는다

누설 지점에서 난류가 생기며 40 kHz 부근의 초음파가 나옵니다. 사람 귀엔 안 들리지만 검출기는 잡아요.

- **장점:** 가동 중인 설비를 세우지 않고 검사, 주변 소음(기계음)이 커도 잡힘, 대형 압축공기 배관에 강함
- **단점:** 감도가 낮음, 정량화 불가
- **주 용도:** 제품 검사보다 공장 압축공기 배관 누설 진단. 공기 누설은 그대로 전기요금이라 에너지 절감 진단에 많이 씁니다

검출한계와 비용 — 이게 선택의 전부입니다

방법	대략적 검출한계 (Pa·m³/s)	참고 환산	위치 특정	정량화	초기 비용	사이클
초음파	10 ⁻² ~ 10 ⁻³	약 6 ~ 0.6 cc/min	가능	불가	낮음	짧음
비눗물 도포	10 ⁻³ ~ 10 ⁻⁴	약 0.6 ~ 0.06 cc/min	가능	불가	매우 낮음	김
수물(기포)	10 ⁻⁴ ~ 10 ⁻⁵	약 0.06 ~ 0.006 cc/min	가능	불가	낮음	김
압력강하(절대압)	10 ⁻³ ~ 10 ⁻⁴	체적에 의존	불가	가능	중간	중간
차압법	10 ⁻⁴ ~ 10 ⁻⁶	체적에 의존	불가	가능	중간~높음	중간
헬륨 스니퍼	10 ⁻⁶ ~ 10 ⁻⁷	—	가능	참고 수준	높음	김
헬륨 진공 챔버	10 ⁻⁹ ~ 10 ⁻¹¹	—	불가	정밀	매우 높음	김

> 위 값은 **이상적 조건에서의 대략치**입니다. 장비 사양, 부품 체적, 온도 환경, 검사자 숙련도에 따라 한 자릿수 이상 달라져요. **카탈로그 숫자를 믿지 말고 반드시 마스터(기준 누설 시료)로 우리 라인에서 확인**하세요.

비용은 장비값만이 아닙니다

헬륨 리크가 비싼 진짜 이유는 장비값보다 운영비예요.

- **헬륨 가스비**: 전량 수입이라 가격 변동이 큼니다. 회수 설비 없이 대량 흘려보내면 원가가 무너져요
- **대안**: 헬륨 5~10 %를 질소에 섞어 쓰거나, **수소 5 % + 질소 95 % 혼합가스(포밍가스)**와 수소 센서 스니퍼를 씁니다. 훨씬 쌉니다
- **배경 오염**: 크게 새는 부품 하나가 챔버와 작업장을 헬륨으로 오염시켜 **뒤이은 양품까지 NG로 만듭니다**. 퍼지·환기 시간이 사이클에 포함돼요

가스 종류가 바뀌면 누설량도 바뀝니다

같은 구멍이라도 무슨 기체가 지나가느냐에 따라 흐르는 양이 달라집니다.

- **큰 누설(점성류)** — 점도가 지배. 헬륨과 공기가 비슷합니다
- **미세 누설(분자류)** — 분자량이 지배. 헬륨은 공기의 약 2.7배(분자량 비의 제곱근)로 빠져나갑니다

그래서 "공기로 3 cc/min"과 "헬륨으로 3 cc/min"은 같은 구멍이 아닙니다. 스펙을 받을 때 **시험 가스와 시험 압력이 같이 적혀 있는지** 확인하세요.

수압시험 — 물로 하는 이유는 안전입니다

압력용기·배관은 물을 채워 설계압보다 높은 압력을 겁니다.

왜 공기가 아니라 물인가? 같은 압력·같은 체적이라도 **압축된 기체는 물보다 훨씬 큰 에너지를 저장**합니다. 터지면 기체는 폭발이 되고, 물은 압력이 순식간에 빠져 파열음으로 끝나요.

> **기압시험(공기로 하는 내압시험)은 별개의 위험작업입니다**. 접근 금지 구역 설정, 단계별 승압(예: 시험압의 25 % → 50 % → 100 %, 실제 단계 구분은 적용 규격·고객 사양을 따릅니다), 가압 중 볼트 조임·타격 금지가 기본이에요. "그냥 컴프레서로 밀어넣자"가 사고로 이어집니다.

수압시험에도 함정이 있습니다.

- 시험 후 **물을 완전히 빼고 건조**해야 합니다. 남으면 부식, 겨울엔 동파
- 스테인리스는 **염화물 이온에 의한 응력부식균열** 위험이 있어 시험수 수질(염화물 농도 상한)을 규정하는 사양이 많습니다. 아무 수돗물이나 쓰면 안 되는 경우가 있어요
- 물이 미세 구멍을 막아 **누설을 가려버릴 수 있습니다**

방법을 고르는 순서

1. **스펙이 몇인가** — 요구 누설량이 10⁻⁵ Pa·m³/s 근처보다 작아지면 공기식은 한계에 부딪힙니다. 헬륨 검토
2. **양상 검사인가, 원인 추적인가** — 양산은 정량·자동(차압식), 추적은 위치 특정(수물·스니퍼)
3. **부품 체적이 얼마인가** — 체적이 크면 압력 변화가 안 나타나 차압식이 힘들어집니다
4. **택트타임이 얼마인가** — 감도를 올리면 사이클이 길어집니다. 여기가 항상 충돌합니다

5. 부품이 젖어도 되는가 — 수물은 건조 공정을 부릅니다

> 실제로는 **조합**해서 씁니다. 양산 라인은 차압식으로 전수 검사하고, NG가 나온 것만 따로 수물이나 스니퍼로 위치를 찾는 방식이 가장 흔해요.

신입 첫 주 체크리스트

- ☐ 우리 라인의 **시험 압력, 시험 가스, 합격 기준값**을 정확히 말할 수 있다
- ☐ 그 기준이 적힌 **검사기준서·도면 주기(NOTE)** 위치를 안다
- ☐ 부품을 지그에 물릴 때 **실링 어댑터가 제대로 앉았는지** 확인하는 법을 안다
- ☐ NG가 났을 때 **내가 임의로 재시험해도 되는지, 몇 번까지인지** 규칙을 안다
- ☐ NG품을 **어디에 어떻게 격리**하는지 안다
- ☐ 세척·가공 직후의 **뜨겁거나 젖은 부품을 바로 검사하면 안 되는 이유**를 안다

출처: 한국표준과학연구원 — 진공·압력 측정 표준 (<https://www.kriss.re.kr>) · 한국산업기술시험원 — 제품 시험·평가 서비스 (<https://www.ktl.re.kr>) · 한국표준협회 — KS 규격 정보 및 품질 교육 (<https://www.ksa.or.kr>)

허용 누설량

Pa·m³/s, mbar·l/s 단위, 시험 압력과 보유 시간의 관계를 학습합니다.

숫자 없는 기밀시험은 시험이 아닙니다

"물에 담가서 기포 안 나오면 OK." 현장에서 아직도 흔한 기준입니다. 그런데 이건 **검사자·조명·수온·보는 시간에 따라 결과가 달라지는 기준**이에요. 같은 부품을 A가 보면 OK, B가 보면 NG가 나옵니다.

누설량을 숫자로 정의해야 검사가 재현되고, 고객과 다룰 때 근거가 됩니다.

단위부터 정리합니다

누설량은 "단위 시간당 빠져나가는 기체의 양" 인데, 기체의 양을 **압력 × 체적**으로 표현합니다. 그래서 단위가 낫설어요.

단위	쓰는 곳
Pa·m ³ /s	SI 정식 단위. 규격 문서
mbar·L/s	진공·헬륨 리크 장비
atm·cc/s	미국계 도면
cc/min (sccm)	현장 자동 리크 시험기 표시값

$$1 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s} = 10 \text{ mbar} \cdot \text{L}/\text{s}$$

$$1 \text{ mbar} \cdot \text{L}/\text{s} \approx 1 \text{ atm} \cdot \text{cc}/\text{s} \quad (1 \text{ mbar} \cdot \text{L} = 0.1 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3, 1 \text{ atm} \cdot \text{cc} = 0.101 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3)$$

$$1 \text{ cc}/\text{min} \approx 1.7 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$$

$$1 \text{ cc}/\text{min} \approx 1.7 \times 10^{-2} \text{ mbar} \cdot \text{L}/\text{s}$$

감각 잡기

$$10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s} \approx 6 \text{ cc}/\text{min} \quad \leftarrow \text{초음파 검출기로 잡히는 수준}$$

$$10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s} \approx 0.6 \text{ cc}/\text{min} \quad \leftarrow \text{비눗물로 겨우 보임}$$

$$10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s} \approx 0.006 \text{ cc}/\text{min} \quad \leftarrow \text{공기로는 여기가 한계 근처}$$

$$10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s} \quad \leftarrow \text{헬륨 챔버 영역}$$

> 단위를 안 붙인 숫자는 받지 마세요. "리크 3 이하"라고만 적힌 도면이 실제로 돌아다닙니다. 3 cc/min인지 3 Pa/s인지 3 mL/min인지에 따라 완전히 다른 부품이 됩니다.

압력 강하로 누설량 구하기

자동 시험기가 화면에 cc/min을 띄우는 원리입니다.

$$Q = \Delta P \times V / \Delta t$$

Q : 누설량 (Pa·m³/s)

ΔP : 측정 시간 동안의 압력 강하 (Pa)

V : 시험품 내부 체적 (m³)

Δt : 측정 시간 (s)

$$\text{예) } V = 0.5 \text{ L} = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\Delta t = 10 \text{ s}$$

$$\Delta P = 100 \text{ Pa}$$

$$Q = 100 \times 5 \times 10^{-4} \div 10$$

$$= 5 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$$

$$= 5 \times 10^{-3} \div 1.7 \times 10^{-3} \approx 3 \text{ cc/min}$$

여기서 **체적 V가 결정적**입니다. 체적을 잘못 입력하면 누설량이 그대로 틀려요. 시험품 내부 체적에 **지그·호스·어댑터 내부 체적까지 포함**되므로, 실제 값은 마스터로 캘리브레이션해서 잡습니다.

압력 강하 값(Pa/s)과 누설량(cc/min)은 다릅니다

현장에서 자주 혼동합니다.

표시	뜻	체적이 바뀌면
Pa/s, ΔP	압력이 떨어진 정도	같은 누설이라도 값이 달라짐
cc/min, Pa·m³/s	실제 빠져나간 기체의 양	값이 유지됨

> 도면 스펙이 cc/min인데 장비는 Pa로 표시하는 조합이 흔해요. 이때 **환산에 쓰인 체적 값이 맞는지** 반드시 확인하세요. 여기가 틀리면 라인 전체가 잘못된 기준으로 돌아갑니다.

시험 압력이 바뀌면 기준도 바뀝니다

같은 구멍이라도 압력이 높으면 더 많이 샅니다. 그래서 누설량 스펙은 반드시 **시험 압력과 짝**입니다.

"3 cc/min 이하"

← 불완전한 스펙

"0.3 MPa(G)에서 3 cc/min 이하, 건조공기, 상온 20±5℃" ← 쓸 수 있는 스펙

시험 압력을 정하는 기준:

기준	설명
사용압 기준	실제 사용 압력, 또는 그 이상
규격·고객 사양	1차 벤더가 지정
부품 강도 한계	너무 높으면 시험 자체가 부품을 손상시킴
감도 확보	낮으면 미세 누설이 안 잡힘

> 냉각수 라인 부품을 **사용압보다 낮은 압력으로 검사**하고 있던 사례가 실제로 있습니다. 라인에서는 전수 OK인데 필드에서 누설이 났어요. **시험 압력의 근거를 물어보는 것**이 신입이 할 수 있는 가장 좋은 질문입니다.

허용 누설량은 어떻게 정하나

"관행상 3 cc/min"이 아니라 **제품 기능에서 역산**하는 게 원칙입니다.

요구: 냉매 R-134a 봉입량 800 g, 10년간 손실 10 % 이내

→ 허용 손실 80 g / 10년 = 8 g/년

8 g/년 ÷ 102 g/mol = 0.078 mol/년

0.078 mol × 22.4 L/mol = 1.76 L/년 (0℃, 1기압 기준)

1.76 L ÷ 31,536,000 s = 5.6 × 10⁻⁸ L/s

= 5.6 × 10⁻¹¹ m³/s

× 101,325 Pa ≈ 5.7 × 10⁻⁶ Pa·m³/s

→ 공기 압력강화법(10⁻³~10⁻⁴ 수준)으로는 절대 못 잡는 영역.

이 부품은 헬륨 검사가 필수다.

이렇게 역산하면 왜 이 부품만 헬륨을 써야 하는지가 설명됩니다. 반대로 오일팬처럼 "새면 눈에 보이면 된다" 수준이면 수물법으로 충분해요.

라인 기준값은 여기에 안전여유를 더 깎습니다. 필드 요구의 1/2~1/3을 라인 스펙으로 잡는 것이 일반적인데, 측정 산포·조립 후 열화·개체 차이를 흡수하기 위해서예요.

여기가 진짜 함정 — 온도가 누설을 이깁니다

압력강화법은 압력이 왜 떨어졌는지 구분하지 못합니다. 새서 떨어진 건지, 식어서 떨어진 건지 모릅니다.

$\Delta P = P_{\text{절대}} \times \Delta T / T_{\text{절대}}$ (체적 일정, 게이뤼삭 법칙)

시험압 0.3 MPa(게이지) → 절대압 0.4 MPa = 400,000 Pa

실온 20℃ = 293 K

부품이 0.1℃ 식으면

$\Delta P = 400,000 \times 0.1 \div 293 \approx 137 \text{ Pa}$ 하락

같은 조건(V = 0.5 L, 측정 10 s)에서 스펙 3 cc/min 누설이 만드는 압력 강하는

$\Delta P = 101 \text{ Pa}$

→ 0.1℃ 온도 변화가 스펙 누설보다 큰 신호를 만든다.

0.1℃입니다. 손으로 부품을 잡고 있었던 것만으로도 넘습니다.

현장에서 실제로 온도를 흔드는 것들:

원인	무슨 일이 일어나
가공 직후 부품	절삭열로 따뜻함 → 검사 중 식음 → 압력 하락 → 가성 NG
세척 직후 부품	표면 수분 증발이 열을 뺏음 → 온도 하락
압축공기 온도	공급 공기가 부품보다 차갑거나 뜨거움
단열 압축	급속 충전 시 기체가 순간적으로 데워짐 → 이후 식으며 압력 하락
직사광선·난방기·출입문	오전과 오후 판정이 달라짐
검사자 손	부품을 잡고 있던 시간만큼 데워짐

체적도 변합니다

시험 압력을 넣으면 부품과 호스가 부풀어 오릅니다. 체적이 커지면 압력은 떨어져요. 고무호스, 얇은 판금 부품, 플라스틱 하우징에서 특히 큼니다.

이 팽창은 즉시 끝나지 않고 몇 초에 걸쳐 서서히 진행됩니다. 그래서 충전 직후에 바로 측정하면 팽창분이 누설로 잡힙니다.

그래서 사이클이 4단계입니다



안정화(dwell) 시간을 아끼면 검사가 무너집니다. 텍타임 압박이 오면 제일 먼저 잘리는 게 이 구간인데, 여기를 줄이면 가성 NG가 폭증하고, 그걸 막으려고 판정 기준을 느슨하게 풀면 **가성 OK(진짜 불량이 통과)** 가 시작됩니다.

안정화 시간 정하는 법

감으로 정하지 말고 **무누설 마스터로 실측**하세요.

새지 않는 마스터로 dwell 시간을 바꿔가며 측정치를 기록

dwell 2 s → 측정 4.1 cc/min (펄창·온도가 아직 살아 있음)
dwell 5 s → 측정 1.8
dwell 10 s → 측정 0.4
dwell 15 s → 측정 0.2
dwell 20 s → 측정 0.2 ← 여기서 평탄해짐

→ 안정화 시간 15 s. 여유를 더해 18 s로 설정한다.

흔한 실수와 결과

실수	결과
가공·세척 직후 뜨거운 부품 검사	가성 NG 폭증 → 양품 폐기, 재작업
세척 후 건조 불충분	물방울이 미세 구멍을 막아 가성 OK — 가장 위험
dwell 시간을 텍트 맞추려고 축소	산포 증가 → 판정 신뢰도 붕괴
체적 입력값이 실제와 다름	cc/min 표시값 자체가 틀림
시험 압력을 사용압보다 낮게	필드 누설
NG 나오면 될 때까지 재시험	불량 유출. 가장 흔한 관행적 부정

> 세척 후 건조 불충분이 만드는 **가성 OK가 정말 위험합니다.** 검사에서 통과했으니 아무도 의심하지 않고, 필드에 나가서 물이 마른 뒤에 새기 시작해요. 세척-건조-방치(온도 평형)-검사 순서를 공정으로 못박아야 합니다.

외국인 근로자와 함께 일할 때

리크 검사는 **OK/NG 램프로 판정이 끝나** 언어 장벽이 상대적으로 작습니다. 그래서 오히려 놓치기 쉬운 게 있어요.

- **재시험 규칙**을 그림·수치로 명확히 게시하세요. "NG 나면 한 번 더 눌러서 OK 나오면 통과"가 가장 빨리 퍼지는 나쁜 습관입니다
- **NG품 격리 위치와 표시 방법**은 말이 아니라 **빨간 통 하나로** 정하세요
- **부품이 뜨겁거나 젖었을 때 기다려야 하는 이유**는 반드시 설명이 필요합니다. 이유를 모르면 반드시 생략됩니다

체크리스트

- ☐ 우리 스펙에 **시험 가스·시험 압력·온도 조건**이 함께 적혀 있다
- ☐ 표시 단위(cc/min / Pa)와 도면 단위가 **환산되어 일치**한다

- ☐ 환산에 쓰는 **체적 값이 마스터로 검증**되었다
- ☐ **안정화 시간이 무누설 마스터 실측**으로 정해졌다
- ☐ 검사 전 부품 온도 조건(방치 시간)이 작업표준에 있다
- ☐ 세척 후 **건조 확인** 단계가 공정에 있다
- ☐ 재시험 허용 횟수가 정해져 있고 게시되어 있다

출처: 국가기술표준원 — KS 표준 및 적합성 평가 제도 (<https://www.kats.go.kr>) · 한국표준과학연구원 — 압력·누설 표준 및 교정 (<https://www.kriss.re.kr>) · 안전보건공단 — 압력용기·기압시험 안전자료 (<https://www.kosha.or.kr>)

현장에서 해볼 것

- 에어 리크 테스트 실습
- 합격/불합격 판정 연습

신뢰성 시험 개요

제품 수명을 예측하는 과학

배우는 것

- 주요 신뢰성 시험의 종류를 안다
- 가속 수명 시험의 개념을 이해한다

신뢰성 시험 종류

온도 사이클, 열충격, 진동, 낙하, 방수(IP등급), 내구 시험의 목적과 규격을 배웁니다.

검사는 "지금", 신뢰성은 "3년 뒤"

출하검사는 **지금 이 제품이 규격에 맞는가**를 봅니다. 치수, 외관, 기능 — 전부 오늘 기준이에요.

신뢰성 시험은 다릅니다. **3년 뒤에도, 여름 부산 아적장에서, 트럭에 실려 흔들린 뒤에도 작동하는가**를 미리 확인합니다. 출하검사 100% 합격인데 6개월 뒤 필드에서 클레임이 쏟아지는 이유가 여기 있어요.

부울경 현장에서 이게 직접 돈이 되는 지점은 세 곳입니다.

상황	요구되는 것
자동차 부품 협력사 양산 승인(PPAP/PSW)	고객사 사양서에 명시된 환경·내구 시험 성적서
조선기자재 선급 승인	염수분무·진동·온도 시험 성적서
건설기계·산업기계 수출	IP 등급, 진동, 온도 시험 성적서

> 성적서가 없으면 물건이 좋아도 납품이 안 됩니다. 기술이 아니라 서류에서 막히는 협력사가 실제로 많아요.

시험은 크게 세 갈래

갈래	무엇을 보나	시험 상태	대표 결과
환경시험	외부 스트레스를 견디는가	시험 후에도 기능 유지	합격/불합격
수명시험	언제 고장나는가	고장날 때까지 또는 정해진 시간까지	수명 분포, B10, MTBF
내구시험	반복 사용에 견디는가	실사용 동작을 반복	목표 사이클 달성 여부

환경시험은 **"이 조건에서 죽지 않는다"**를 증명하고, 수명시험은 **"언제 죽는다"**를 예측합니다. 목적이 달라요. 고객사가 "신뢰성 시험 해주세요"라고만 하면 어느 갈래인지부터 물어봐야 합니다.

환경시험 — 항목별 정리

항목	무엇을 재현하나	조건 예시	대표 규격
고온/저온 저장	창고·컨테이너 방치	85°C 또는 -40°C, 96h	IEC 60068-2-2 / 2-1
고온/저온 동작	여름 엔진룸, 겨울 옥외	규격 상하한에서 기능 확인	IEC 60068-2-2 / 2-1
온도 사이클	밤낮·계절 반복	-40°C ↔ +85°C, 1사이클 2h, 500사이클	IEC 60068-2-14 (Nb)
열충격	급격한 온도 전환	조 이동 10초 이내, -40°C/+125°C	IEC 60068-2-14 (Na)
항온항습(정상)	장마철·해안 다습	85°C / 85%RH, 1000h	IEC 60068-2-78
습열 사이클	결로 발생	25↔55°C, 95%RH, 6~12사이클	IEC 60068-2-30
정현파 진동	회전 기계 특정 주파수	10~500Hz, 스위프	IEC 60068-2-6 (Fc)
랜덤 진동	도로 주행·수송	PSD 프로파일, grms 지정	IEC 60068-2-64 (Fh)
충격	급제동, 취급 충격	반정현파 50G, 11ms, 6방향	IEC 60068-2-27 (Ea)
낙하·전도	취급 중 낙하	높이는 종량별, 면·모서리·꼭짓점	IEC 60068-2-31 (Ec) / 포장품은 ISO 2248
염수분무(SST)	해안 부식	5% NaCl, 35°C, pH 6.5~7.2	ISO 9227 계열
방진·방수	분진, 물 침입	IP 등급별	IEC 60529

> 자동차 부품은 위 일반 규격 대신 **고객사 사양서와 ISO 16750 시리즈**가 우선합니다. 조선기자재는 선급 규칙이 우선이에요. **일반 규격으로 시험 해놓고 고객 사양서와 안 맞아 재시험하는 낭비**가 협력사에서 흔합니다.

온도 사이클과 열충격은 다릅니다

온도 사이클 : -40°C —(30분에 걸쳐 서서히)—> +85°C
→ 재료 팽창·수축 반복 → 솔더 크랙, 접합부 피로

열충격 : -40°C —(10초 이내 조 이동)—> +125°C
→ 순간 온도 구배 → 취성 파괴, 실링 박리

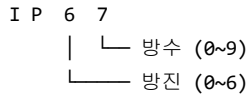
둘 다 요구되면 둘 다 해야 합니다. 고장 메커니즘이 달라요.

염수분무는 "몇 시간"이 아니라 "몇 시간에 어떤 상태"

흔한 오해	실제
"480시간 통과했다"	480시간 후 적녹(red rust) 발생 면적 기준 이 있어야 판정 가능
백녹은 불합격	아연도금은 백녹 허용 시간 / 적녹 발생 시간을 따로 규정하는 경우가 많음
실제 해안 부식 기간과 비례	비례 관계가 검증되지 않았습니다. 상대 비교용이지 수명 예측용이 아님

> 염수분무 시간을 실제 사용 연수로 환산하는 것은 근거가 약합니다. **동일 조건에서 A안과 B안 중 어느 쪽이 나은가**를 비교하는 용도로 쓰세요.

IP 등급 읽는 법



방진 (첫 번째 숫자)

- 4 : 1.0mm 이상 고형물
- 5 : 방진형 - 분진 침투를 완전히 막지는 않으나 동작에 지장 없음
- 6 : 완전 방진 - 분진 침투 없음

방수 (두 번째 숫자)

- 4 : 모든 방향 물 튀김
- 5 : 저압 분사수 (노즐 6.3mm)
- 6 : 강한 분사수 (노즐 12.5mm)
- 7 : 일시적 침수 (수심 1m, 30분)
- 8 : 계속 침수 (제조사 지정 조건)
- 9 : 고온·고압 세척수

주의 두 가지.

- IP67과 IP65는 **포함 관계가 아닙니다**. IP67 통과가 IP65 통과를 보장하지 않아요. 침수는 견뎌도 고압 분사에는 실링이 뚫릴 수 있습니다. 둘 다 필요하면 **IP65/IP67** 병기해야 합니다.
- IP 등급은 **시험 시점의 신제품 기준**입니다. 가스켓이 열화된 3년 뒤를 보장하지 않아요. 그래서 **온도 사이클 후 IP 재시험**을 요구하는 고객사가 있습니다.

수명시험과 내구시험

구분	수명시험	내구시험
목적	고장 시점 분포 파악	목표 사용량 달성 확인
종료 조건	고장날 때까지 (또는 정해진 중도절단 시점)	목표 사이클 도달
결과	B10 수명, MTBF, 와이بل 모수	합격/불합격 + 마모량
예시	베어링 회전 수명, LED 광속 유지	스위치 10만 회 조작, 커넥터 50회 착탈, 유압 실린더 왕복

내구시험에서 진짜 중요한 건 **시험 후 분해 검사**입니다. "10만 회 돌아갔다"로 끝내지 말고 **씰 마모량, 점점 소모량, 윤활유 상태**를 측정해 기록해야 다음 설계에 씁니다.

흔한 실수와 결과

실수	결과
시험 전후 측정 항목을 안 정함	시험은 끝났는데 "합격인지 아닌지" 판정 불가 → 재시험
시료를 2~3개만 보냄	통계적 의미 없음. 고객사 반려
시험 중 기능 모니터링 없이 전후만 측정	고온에서만 나는 간헐 불량률 놓침
시험 시료를 양산품이 아닌 시제품으로 제출	양산 공정 반영 안 됨 → 필드 불량 재발
성적서만 받고 고장 시료를 폐기	원인 분석 불가. 다음에 똑같이 실패
고객 사양서를 안 읽고 일반 규격으로 시험	조건 불일치 → 전량 재시험, 비용 2배

> 시험 의뢰비는 항목당 수십만~수백만 원입니다. **의뢰 전에 고객 사양서의 시험 조건·판정 기준·시료 수를 표로 정리해 시험기관과 합의**하는 30분이 재시험 비용을 막습니다.

외국인 근로자와 함께 시험 시료를 준비할 때

시험 시료는 **양산과 똑같은 조건**으로 만들어야 의미가 있어요. 그런데 "시험용이니까 잘 만들어라"라고 지시하면 정반대가 됩니다.

- 시료 제작은 **평소 작업표준 그대로** — 특별 취급 금지를 명확히 전달
- 시료마다 **일련번호를 매기고 로트·작업자·날짜를 기록** — 불합격 시 추적용
- 포장·운송 중 손상이 시험 결과로 둔갑하지 않도록 **발송 전 사진 촬영**

시험 의뢰 전 체크리스트

- ☐ 고객 사양서의 **시험 항목·조건·판정 기준**을 표로 옮겼다
- ☐ 시료 수와 시료 상태(양산품/시제품)를 합의했다
- ☐ **시험 전 초기 측정값**을 기록했다
- ☐ 시험 중 기능 모니터링이 필요한지 정했다
- ☐ 고장 시 **시료를 회수해 분석**하기로 시험기관과 합의했다
- ☐ 성적서에 들어갈 **제품명·도번·Rev**가 도면과 일치한다

출처: 한국산업기술시험원 — 환경·신뢰성 시험 서비스 (<https://www.ktl.re.kr>) · 국가기술표준원 — KS C IEC 60068(환경시험) / KS C IEC 60529(IP 등급) (<https://www.kats.go.kr>) · 한국표준협회 — 신뢰성 시험 실무 교육 (<https://www.ksa.or.kr>)

수명 분포

와이블 분포, 욕조 곡선(초기고장/우발고장/마모고장)의 개념을 학습합니다.

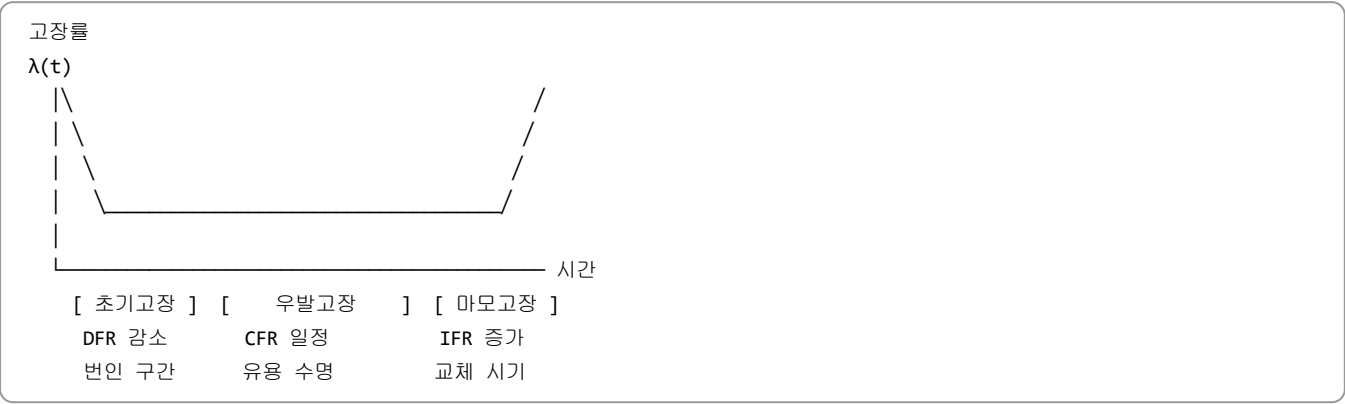
"불량률 2%"로는 아무것도 못 합니다

불량률 2%라는 숫자는 **언제 고장나는지**를 말해주지 않아요. 납품 다음 주에 2%가 죽는 것과 5년 뒤에 2%가 죽는 것은 완전히 다른 문제인데, 같은 숫자로 표현됩니다.

그래서 신뢰성은 **고장 개수가 아니라 고장 시점의 분포**를 봅니다. 분포를 알면 세 가지가 가능해져요.

- 보증 기간을 근거 있게 정한다
- 예방 교체 주기를 정한다
- 불량이 설계 문제인지 공정 문제인지 마모인지 구분한다

욕조곡선 — 고장률의 일생



구간	고장률	주된 원인	대책
초기고장	감소(DFR)	공정 불량, 조립 실수, 재료 결함, 오염	변인·스크리닝(HASS), 공정능력 개선, 초도품 관리
우발고장	일정(CFR)	과부하, 사용 오류, 예측 불가 외란	안전율 확보, 사용 조건 관리, 예방교체는 효과 없음
마모고장	증가(IFR)	마모, 피로, 부식, 산화, 윤활 열화	예방교체 주기 설정 , 수명 부품 재설계

> **여기가 실무의 핵심입니다.** 우발고장 구간에 있는 부품을 예방교체하면 **돈만 쓰고 신뢰도는 안 올라갑니다.** 오히려 교체 작업 자체가 초기고장을 새로 만들어요. 예방교체는 **마모고장 구간에 진입한 부품에만** 의미가 있습니다.

구간을 어떻게 아느냐 — 와이블 형상모수로 압니다

곡선을 눈으로 보고 짐작하는 게 아니라 데이터에서 β (형상모수)를 뽑아 판정합니다. 아래에서 다룹니다.

지수분포 — 우발고장 구간의 수학

고장률이 일정한(CFR) 구간을 표현하는 분포예요. 가장 단순해서 가장 남용됩니다.

고장률	λ = 일정 (시간당 고장 확률)
평균수명	$MTBF = 1 / \lambda$
신뢰도	$R(t) = \exp(-t / MTBF)$

계산 예 — 유압 밸브 MTBF 100,000시간

$MTBF = 100,000 \text{ h}$
 $\lambda = 1 / 100,000 = 1.0e-5 \text{ 건/시간}$

1년 연속 가동 = 8,760 h 일 때
 $R(8760) = \exp(-8760 / 100000)$
 $= \exp(-0.0876)$
 $= 0.9161$

→ 1년 뒤 생존율 91.6%
→ 100대 납품하면 1년 안에 약 8~9대 고장

MTBF만 크면 안심이라고 생각하면 위험합니다. $t = MTBF$ 시점을 넣어보세요.

$R(MTBF) = \exp(-1) = 0.368$

→ MTBF 시점까지 살아남는 비율은 36.8%
→ "MTBF 10만 시간"은 "10만 시간 쓸 수 있다"가 아니라
"10만 시간이면 63%가 이미 죽어 있다"는 뜻

> MTBF를 수명으로 읽는 것이 현장에서 가장 흔한 오독입니다. 카탈로그의 MTBF 100만 시간(114년)을 보고 "평생 안 고장난다"고 이해하는 순간 보증 설계가 틀어집니다.

MTBF와 MTTF

용어	대상	뜻
MTBF	수리 가능 제품(설비, 시스템)	고장과 고장 사이 평균 시간
MTTF	수리 불가 부품(베어링, LED, 퓨즈)	고장까지의 평균 시간
MTTR	수리 가능 제품	평균 수리 시간
가용도(A)	설비	$MTBF / (MTBF + MTTR)$

베어링에 MTBF를 쓰는 성적서는 용어를 잘못 쓴 겁니다. 베어링은 마모고장(IFR)이라 지수분포 자체가 안 맞아요.

와이블 분포 — 세 구간을 다 표현합니다

$R(t) = \exp(-(t / \eta)^\beta)$

β (베타) = 형상모수 - 고장 유형을 알려줌
 η (에타) = 척도모수 - 특성수명. $t = \eta$ 일 때 63.2%가 고장

β 값이 곧 진단서입니다

β	고장률	육조곡선 위치	실제 원인	우선 대책
β < 1	감소	초기고장	조립 불량, 공정 산포, 이물, 재료 결함	공정 개선 + 번인/스크리닝
β = 1	일정	우발고장	랜덤 과부하, 사용 오류	안전율, 사용 조건 관리
β > 1	증가	마모고장	마모, 피로, 부식, 열화	예방교체, 재설계

세부적으로는 이렇게 읽습니다.

β ≈ 0.5 심한 초기고장. 공정이 무너져 있음
 β = 1 지수분포와 동일
 β ≈ 1.5~2.5 초기 마모, 피로 시작
 β ≈ 3~4 정규분포에 가까움 – 뚜렷한 마모 수명
 β > 5 매우 균일한 마모. 교체 주기 예측이 쉬움

> β를 뺀다면 대책이 자동으로 정해집니다. 클레임 데이터를 와이블로 돌려 β가 0.7이 나왔다면, 그건 설계 수명 문제가 아니라 **공정 문제**예요. 설계 팀을 소집할 게 아니라 라인을 봐야 합니다.

계산 예 — 감속기 베어링 β=2.5, η=50,000h

β = 2.5, η = 50,000 h

(1) 20,000시간 시점 생존율

$$\begin{aligned}
 R(20000) &= \exp(- (20000/50000)^{2.5}) \\
 &= \exp(- (0.4)^{2.5}) \\
 &= \exp(-0.1012) \\
 &= 0.904 \quad \rightarrow 90.4\% \text{ 생존}
 \end{aligned}$$

(2) B10 수명 (10%가 고장나는 시점)

$$\begin{aligned}
 t &= \eta \times (-\ln(0.9))^{1/\beta} \\
 &= 50000 \times (0.10536)^{0.4} \\
 &= 50000 \times 0.4065 \\
 &= 20,325 \text{ h}
 \end{aligned}$$

→ 2교대(연 5,000h) 기준 약 4년에서 10%가 고장

→ 예방교체 주기를 20,000h 부근에 두는 것이 근거 있는 판단

B10, B50 표기를 익혀두세요. 베어링·모터 카탈로그의 L10 수명이 바로 B10입니다.

표기	뜻
B10 (L10)	10%가 고장나는 시점 — 부품 수명의 사실상 표준
B50	50%가 고장나는 시점 (중앙값)
η	63.2%가 고장나는 시점

중도절단(censoring) 데이터를 버리지 마세요

시험을 1,000시간에 끝냈는데 5개는 아직 살아 있다면, 그 5개는 **"1,000시간 이상 생존"**이라는 정보입니다. 버리면 안 돼요.

시료 10개, 1000h 시험 종료 시점

고장: 310, 480, 620, 750, 910 (5개)

생존: 1000+ (5개) ← 우측 중도절단 데이터

고장난 5개만으로 계산하면 → 수명을 심하게 과소평가

생존 5개를 포함해야 → 올바른 β, η

> 필드 클레임 분석도 같습니다. **반품된 것만 세면 안 되고, 팔려나가서 잘 쓰고 있는 수량을 분모에 넣어야** 합니다. 이걸 빼먹으면 실제보다 훨씬 나쁜 결론이 나와요.

와이블 확률지 읽는 법

전용 소프트웨어가 없어도 확률지에 점을 찍어 대략 읽을 수 있습니다.

가로축 : 시간 (로그)

세로축 : 누적고장률 $F(t)$ (이중로그)

점들이 직선으로 잘 정렬 → 단일 고장 메커니즘. 신뢰할 만함

직선의 기울기 → β

$F(t)=63.2\%$ 지점의 가로값 → η

점들이 두 개의 꺾인 직선 → 고장 메커니즘이 두 가지 섞임

(예: 초기 공정불량 + 후기 마모)

→ 나눠서 각각 분석해야 함

꺾인 그래프를 억지로 하나의 직선으로 피팅하는 것이 대표적 오분석입니다. 두 원인의 대책이 완전히 다른데 평균 내버리는 셈이에요.

현장에서 자주 나는 오류

오류	왜 문제인가
모든 것에 MTBF를 씌	마모고장 부품에 지수분포는 안 맞음 → 교체 주기 오판
MTBF를 보증 수명으로 사용	63%가 죽는 시점을 보증하는 꼴
중도절단 데이터 제외	수명을 심하게 과소평가
필드 클레임을 판매량 없이 분석	분모가 없어 고장률 계산 불가
시료 3개로 와이블 추정	β 신뢰구간이 너무 넓어 의미 없음. 최소 7~10개 권장
서로 다른 로트·조건을 합쳐 분석	꺾인 그래프가 나옴. 층별(stratification) 후 분석해야
β 가 1보다 작으면 예방교체 도입	초기고장 구간 — 교체할수록 나빠짐

실무 체크리스트

- ☐ 고장 데이터에 **정확한 고장 시점(시간 또는 사이클)** 이 기록돼 있다
- ☐ **생존 시료(중도절단)** 수량과 시점을 함께 기록했다
- ☐ 로트·라인·사용 조건별로 **층별**한 뒤 분석했다
- ☐ 와이블 플롯이 **하나의 직선**으로 정렬되는지 확인했다
- ☐ β 값을 보고 **초기·우발·마모 중 어디인지** 판정했다
- ☐ 판정에 맞는 대책(공정개선 / 조건관리 / 예방교체)을 골랐다
- ☐ MTBF를 수명이라고 표기한 문서가 없는지 확인했다

출처: 한국표준협회 — 신뢰성 공학·와이블 분석 교육과정 (<https://www.ksa.or.kr>) · 한국산업기술시험원 — 신뢰성 평가 및 수명 예측 (<https://www.ktl.re.kr>) · 한국생산성본부 — 품질·신뢰성 관리 실무 (<https://www.kpc.or.kr>)

현장에서 해볼 것

- 와이블 분포 그래프 해석
- IP 등급 매칭 퀴즈

부록

현장에서 자주 나오는 말들입니다. 못 알아들었을 때 찾아보세요.

현장 용어집

제조 현장 공통 용어와 품질 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.

파레토도 Pareto Chart

불량 항목을 빈도순으로 막대그래프로 표시하고 누적 비율을 꺾은선으로 나타낸 도표.

어골도 Fishbone Diagram

특성요인도. 문제(결과)와 원인을 물고기 뼈 모양으로 정리하는 분석 도구.

관리도 Control Chart

공정 데이터를 시간 순으로 점찍어 관리한계선(UCL/LCL) 이내인지 감시하는 도표.

Cpk Process Capability Index

공정능력지수. 규격 대비 공정의 산포 위치를 나타내며, 1.33 이상이면 양호.

8D 8 Disciplines

고객 클레임 대응용 문제해결 보고서. 팀 구성~재발방지까지 8단계로 구성.

MSA Measurement System Analysis

측정 시스템 분석. 측정기의 반복성·재현성(Gage R&R)을 평가하여 신뢰성을 확인.

FMEA Failure Mode and Effects Analysis

잠재적 고장모드 영향분석. RPN(심각도×발생도×검출도) 점수로 위험 우선순위를 정한다.

PPAP Production Part Approval Process

양산 부품 승인 절차. 자동차 산업에서 양산 전 18가지 문서를 제출하여 승인받는 과정.

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.