

부울경 제조업 적응 가이드북 — 기계가공편

도면의 치수를 기계 좌표로 옮기는 일

부산·울산·경남에서 기계가공 일을 시작하는 분께

이름

회사

부서·직무

입사일

2026-08-18 발행 · 약 82쪽 · biz360.kr

차례

1부 · 안전과 권리

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

2부 · 기계가공 실무

— CNC 가공 기초 · 절삭 가공 이론 · 공구와 지그/고정구 · 다축 CNC 가공 실무 · 금형 기초

3부 · 부록

— 현장 용어집

이 책에 대해

안전과 권리 6개 모듈은 한 줄도 줄이지 않고 전문을 실었고, 기계가공 모듈 5개도 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, 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 5,000Ω → 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 회로에 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 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 적법한 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 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 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

기계가공 실무

CNC 기계의 좌표계와 G코드부터 절삭 속도·이송·공구 수명, 지그와 금형까지 순서대로 실었습니다.

기계가공 실무

기계가공 교육 모듈 5개를 전문 그대로 실었습니다.

CNC 가공 기초

수치제어 가공의 기본 원리

배우는 것

- CNC 선반/밀링의 기본 구조를 이해한다
- G코드/M코드의 기초를 읽을 수 있다
- 안전한 기계 운전 방법을 익힌다

CNC 기계의 구조

주축, 터렛, 이송축(X/Y/Z), ATC(자동 공구교환장치), 척, 바이스 등 CNC 기계의 주요 구성요소를 학습합니다.

구조를 모르면 알람 메시지도 못 읽습니다

CNC 기계 앞에 서면 버튼이 수십 개예요. 신입이 첫 달에 가장 많이 듣는 말은 "그거 만지지 마"인데, 왜 만지면 안 되는지는 아무도 안 알려줍니다.

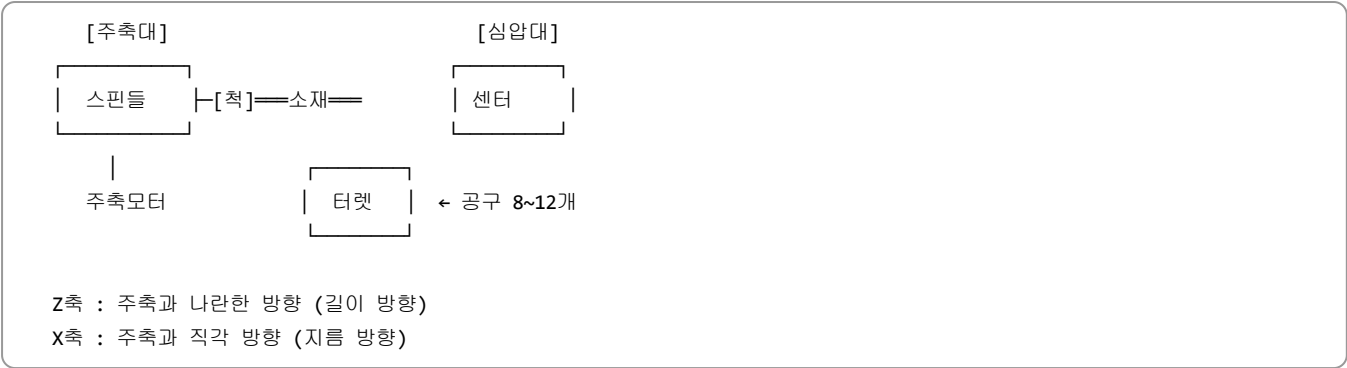
기계는 결국 네 덩어리로 되어 있어요. 소재를 잡는 곳, 공구를 잡는 곳, 그 둘을 움직이는 축, 그리고 지시하는 제어기. 이 네 개만 구분되면 알람 메시지도, 선배 말도 절반은 알아듣습니다.

1. 두 종류부터 구분하세요

구분	CNC 선반 (터닝센터)	머시닝센터 (MC)
무엇이 도나	소재가 돈다	공구가 돈다
소재 고정	척(chuck)	바이스·클램프·전용 지그
공구 고정	터렛(turret)	주축 + ATC 매거진
기본 제어축	X, Z (2축)	X, Y, Z (3축)
만드는 형상	회전체 — 축, 부상, 플랜지, 밸브 바디	각진 형상 — 브래킷, 하우징, 금형
부울경 현장 예시	조선기자재 플랜지, 유압 실린더 로드	자동차 브래킷, 산업기계 하우징

> "돌아가는 게 소재냐 공구냐." 이 한 가지가 두 기계의 모든 차이를 만듭니다. 위험 요소도 여기서 갈려요.

2. CNC 선반 구조



부위	역할	신입이 알아야 할 것
주축(스핀들)	소재를 회전시킴	회전수(rpm)를 여기서 냄. 최고 회전수 제한이 있음
척	소재를 물음	3爪(삼각척)가 표준. 수동척·유압척 구분
터렛	공구를 여러 개 달고 회전	공구 번호(T01, T02...)가 터렛 자리 번호
심압대(테일스톡)	긴 소재의 반대쪽을 지지	길면 반드시 지지. 안 하면 소재가 휘거나 튼
방진구(스테디레스트)	가늘고 긴 소재 중간 지지	진동·힘 억제
칩 컨베이어	칩 배출	여기 손 넣지 않기
바피더·오토로더	봉재 자동 공급	야간 무인운전에 사용

3. 머시닝센터 구조



형식	주축 방향	특징
수직형(VMC)	위에서 아래	가장 흔함. 소재 올리고 내리기 쉬움. 칩이 소재 위에 쌓임
수평형(HMC)	옆에서	칩이 잘 떨어짐. 팔레트 교환으로 무인화 유리. 비쌈
문형(브리지·플레노)	위에서 아래	대형 부품. 조전기·자재·플랜트 쪽

ATC(자동 공구교환장치) 는 매거진에 든 공구를 주축에 자동으로 바꿔 끼웁니다. 공구 번호와 매거진 자리(포트) 번호가 어긋나면 엉뚱한 공구가 나와요. 이게 충돌의 흔한 원인입니다.

4축(로터리 테이블) 을 얹으면 A축 또는 B축이 추가돼 한 번 물려 여러 면을 가공할 수 있어요.

4. 제어기(컨트롤러)

제어기	특징
FANUC	국내 중소 가공업체에서 가장 널리 보임. G코드 표준 취급
미쓰비시	FANUC과 비슷한 계열
지멘스(SINUMERIK)	유럽 기계, 대형·5축에 많음
하이덴하인	대화형 프로그래밍 강점
MAZATROL(마작)	대화형. G코드와 별개 문법
국산기 자체 제어	대개 FANUC 기반

> 회사를 옮기면 제어기가 바뀔 수 있습니다. 기본 G코드는 거의 같지만 **M코드와 화면 조작은 다릅니다**. "전 회사에서는 이랬는데"로 조작하다 사고 납니다.

5. 조작반에서 꼭 아는 버튼

버튼	뜻
EMERGENCY STOP	비상정지. 위치를 몸이 먼저 기억해야 함
FEED HOLD	이송 일시정지 (주축은 돌아감)
CYCLE START	자동 운전 시작
SINGLE BLOCK	한 블록씩 실행 — 첫 가공 때 필수
DRY RUN	소재 없이 궤적 확인
MACHINE LOCK	축은 안 움직이고 좌표만 진행
급속 오버라이드	G00 속도를 25%·50%로 낮춤
이송 오버라이드	F값을 %로 조절
MODE (EDIT / MEM / MDI / JOG / HANDLE / ZRN)	편집 / 자동 / 반자동 / 수동 / 핸들 / 원점복귀

6. 안전 — 여기서 사람이 다칩니다

소재 물림 확인

- **척 렌치(핸들)**를 반드시 **뺐는지 확인**. 꽃아둔 채 기동하면 총알처럼 날아갑니다. 수동척 사고의 대표 유형이에요.
- 척 조에 **충분히 물렸는지**. 물림이 짧으면 절삭력에 소재가 빠져나옵니다.
- 봉재 돌출 길이가 물림부 지름의 **3배를 넘으면 심압대나 방진구로 지지**하세요.
- 유압척은 **척압(클램프 압력)**이 규정 범위인지 확인. 낮으면 소재 비산, 너무 높으면 얇은 부품이 변형됩니다.
- 바이스는 **평행대(패러렐)**가 손으로 **안 움직일 만큼 밀착**됐는지. 들떠 있으면 가공 중 소재가 주저앉아요.
- 클램프 나사·볼트를 조인 뒤 **공구가 지나갈 자리에 걸리지 않는지** 눈으로 한 번 훑습니다.

회전 중 문 열기 금지

- 도어 인터록은 문이 열리면 **주축이 멈추게** 하는 방호장치입니다. 이걸 테이프·자석으로 무효화하는 행위는 **산업안전보건법 제80조 및 같은 법 시행규칙 제99조**가 금지하는 **방호조치 임의 해체**에 해당해요. 해체가 꼭 필요하면 사업주 허가를 받고, 사유가 없어지면 즉시 원상회복해야 합니다.
- "치수만 빨리 보려고" 문을 여는 순간이 가장 위험합니다. **주축 정지 확인 후** 여세요.
- **회전 중에는 절대 장갑을 끼지 않습니다**. 면장갑이 회전체에 스치면 손째 말려 들어갑니다. 긴 소매·목걸이·긴 머리도 정리하세요.

칩 제거는 정지 후

- 칩은 **면도날입니다**. 맨손으로 건어내다 힘줄까지 베이는 사고가 흔해요.
- **주축 정지 → 칩훅(갈고리)**이나 브러시 사용. 손으로 뜯지 않습니다.
- 압축공기로 부는 것은 칩이 눈으로 튀고 슬라이드 커버 안으로 들어가므로 **사업장 규정에 따르세요**.

- 알루미늄·마그네슘 칩이 쌓인 곳은 **금속화재(D급)** 위험이 있습니다. ABC 분말소화기로는 못 끄니다.

> 부울경 가공업체는 **1인 다대(한 사람이 기계 여러 대) 운전**이 많아요. 옆 기계 신경 쓰다 이 기계 문을 연 채 조작하는 일이 생깁니다. **한 대씩 끝내고 이동하는 습관**이 안전을 지켜줍니다.

7. 외국인 근로자와 함께 일할 때

E-9로 입국한 동료가 CNC 조작을 맡는 경우가 많습니다. 문제는 **알람 메시지가 한국어·영어로만 뜬다**는 점이에요.

- 알람이 뜨면 **해제하지 말고 화면을 사진으로 남긴 뒤 반장에게** — 알람 번호가 원인을 알려줍니다
- 비상정지·도어·척 관련 지시는 **그림이나 실물로** 한 번 더 확인
- "알겠어요"라는 대답만 믿지 말고 **직접 해보게 한 뒤** 확인하세요

첫 주 체크리스트

- ☐ 내 기계의 **비상정지 버튼 위치 3곳** (조작반·측면·리모트)
- ☐ 도어 인터록이 실제로 작동하는지 (문 열면 주축 멈추는지)
- ☐ 척 렌치·바이스 핸들의 **정해진 보관 자리**
- ☐ 칩흡·브러시 위치
- ☐ 소화기 위치와 적응 화재 등급 (칩 쌓이는 곳은 D급 확인)
- ☐ 원점복귀(ZRN) 조작 순서
- ☐ 급속 오버라이드를 25%로 내리는 방법

출처: 안전보건공단 — 공작기계 안전작업 자료 (<https://www.kosha.or.kr>) · 한국산업인력공단 — 컴퓨터응용선반·밀링 국가기술자격 (<https://www.hrdkorea.or.kr>) · 한국폴리텍대학 — CNC 가공 훈련과정 (<https://www.kopo.ac.kr>)

좌표계와 원점

기계 원점, 작업 원점(G54~G59), 절대좌표(G90)와 상대좌표(G91)의 차이를 배웁니다.

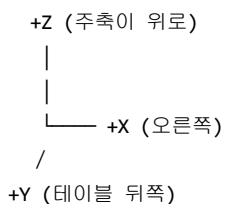
기계는 "어디가 0인지"만 압니다

프로그램에 X100. Y50. 이라고 쓰면 기계는 **어딘가의 0에서 100mm, 50mm 떨어진 곳으로 갑니다**. 그 0을 어디로 잡았느냐가 전부예요.

원점을 1mm 잘못 잡으면 제품이 1mm 틀리는 게 아니라, 공구가 바이스를 뚫습니다. 원점 설정 실수는 CNC 충돌의 대표적인 원인 중 하나입니다.

1. 축 이름과 방향

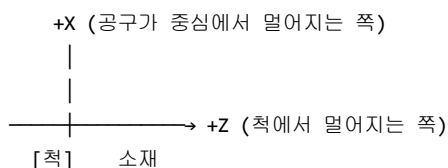
머시닝센터



+Z (주축이 위로)
+X (오른쪽)
+Y (테이블 뒤쪽)

공구가 소재 안으로 파고드는 방향이 **-Z**입니다. 그래서 절삭 깊이는 항상 음수(Z-1.0 처럼)로 나와요.

CNC 선반



+X (공구가 중심에서 멀어지는 쪽)
+Z (척에서 멀어지는 쪽)
[척] 소재

> 선반의 X는 반경이 아니라 지름입니다. 이게 신입이 가장 많이 틀리는 부분이에요.

X50. 지령 → 공구는 중심에서 25mm 떨어진 위치
U-2. 지령 → 반경으로는 1mm 만 파고둠 (지름 2mm 감소)

2. 기계원점 vs 작업원점

[기계원점] Machine Zero
↓
기계가 만들어질 때 정해진 절대 기준. 바꿀 수 없음.
전원 켜고 원점복귀(ZRN) 해야 기계가 자기 위치를 앎.
↓
← 이 거리를 G54 에 넣는다
↓
[작업원점] Work Zero
↓
이번 소재를 위한 기준. 소재를 다시 물 때마다 새로 잡음.
↓
프로그램의 X0 Y0 Z0

구분	기계원점	작업원점
누가 정하나	기계 제조사	작업자가 매번
위치	각 축의 끝(리밋) 부근	소재의 기준면·기준구멍
바뀌나	안 바뀜	소재 바꿀 때마다 바뀜
어디에 저장	기계 내부	G54~G59 오프셋 화면

3. G54~G59 — 작업원점 여섯 벌

한 테이블에 여러 소재를 올려놓고 각각 다른 원점을 쓸 수 있게 만든 게 G54~G59입니다.

코드	용도 예시
G54	기본. 대부분 여기만 씀
G55	같은 테이블의 두 번째 소재
G56~G59	세 번째~여섯 번째
G54.1 P1~ (확장)	다수 소재 치구, 팔레트

G54 오프셋 화면은 이렇게 생겼어요.

G54 X -425.315 Y -218.740 Z 0.
↳ 기계원점에서 소재 기준면까지의 거리 (거의 항상 음수)

4. 원점 잡는 실제 절차 (머시닝센터)

X·Y — 엣지파인더 φ10 사용

- 1) 엣지파인더를 주축에 물고 S500 M03
- 2) 소재 좌측면으로 천천히 접근, 틱이 "튀는" 순간 정지
- 3) 그때의 기계좌표 읽기 X = -430.315
- 4) 엣지파인더 반경 5.000 을 더한다
소재 좌측면 = -430.315 + 5.000 = -425.315
- 5) G54 의 X 에 -425.315 입력

Y도 같은 방법입니다. 원점을 소재 모서리로 잡을지 중앙으로 잡을지는 도면과 프로그램 기준에 맞춰야 해요.

Z — 공구 길이 보정과 세트로 잡습니다

현장에서 가장 널리 쓰는 방식은 **G54의 Z를 0으로 두고, 각 공구가 소재 상면에 닿을 때의 기계좌표를 공구 길이 보정값(H)에 넣는 것**입니다. 자세한 것은 다음 차시(G코드/M코드)에서 다룹니다.

선반은 더 단순합니다

Z0 = 완성 단면 (제품의 끝면)

X0 = 소재 회전 중심

공구를 소재 외경에 살짝 스치게 → 그때 실제 지름을 측정 → 보정에 입력

공구를 단면에 살짝 스치게 → Z 보정 입력

5. G90(절대) / G91(증분)

현재 위치가 X50. Y30. 일 때

G90 X100. Y100. → X100, Y100 으로 간다 (원점 기준)

G91 X100. Y100. → X150, Y130 으로 간다 (지금 자리에서 더)

	장점	단점
G90 절대	한 줄만 봐도 위치를 알 수 있음. 중간에서 재시작 가능	좌표를 다 계산해야 함
G91 증분	같은 패턴 반복에 편함 (서브프로그램)	한 줄 틀리면 그 뒤가 전부 어긋남

> **실무는 G90을 기본으로 씁니다.** G91은 서브프로그램이나 G28 원점복귀 같은 제한된 곳에만 쓰세요.

선반에는 함정이 있습니다

기계	G90의 의미
머시닝센터(M계열)	절대지령
CNC 선반 FANUC A타입	내·외경 절삭 사이클 (전혀 다른 기능)

선반은 절대/증분을 주소 문자로 구분합니다.

X50. Z-40. → 절대 : 지름 50, 단면에서 40mm 안쪽

U-2. W-10. → 증분 : 지름을 2mm 더 작게, 10mm 더 진행

선반 프로그램에 G90을 절대지령인 줄 알고 넣으면 절삭 사이클이 걸려 공구가 소재로 돌진합니다. 실제로 자주 나는 사고예요.

6. 원점 때문에 나는 충돌 — 실제 유형

상황	무슨 일이 벌어지나
G54 값을 옆 호기에서 그대로 복사	기계마다 기계원점 위치가 다름 → 공구가 테이블·바이스로 직행
Z 원점을 바이스 상면으로 잡고 소재를 얇은 걸로 교체	소재 상면이 낮아졌는데 프로그램은 그대로 → 첫 절삭이 예상보다 깊게 파고들
소수점 누락 — Z50 이라고 입력	FANUC 표준 해석에서는 0.050mm . 안전높이 50mm인 줄 알았는데 공구가 소재 바로 위. 그 상태에서 X 급속 이송 → 소재·클램프 측면과 충돌
G90 누락, 앞 프로그램의 G91이 모달로 남음	절대 좌표가 증분으로 해석돼 축이 리밋까지 감
원점복귀 안 하고 자동 운전	기계가 자기 위치를 모르는 상태
선반에서 T0100 (보정번호 00)	공구 보정이 안 걸림 → 공구 길이만큼 어긋나 척이나 소재를 들이받음

> 소수점 문제는 제어기 파라미터(계산기식 소수점 입력)가 켜져 있으면 Z50이 50mm로 해석되기도 합니다. **내 기계가 어느 쪽인지 반드시 확인하세요.** 확인 전까지는 모든 좌표에 소수점을 찍는 습관이 유일한 방어입니다.

7. 첫 절삭 전 안전 절차

이 순서를 지키면 원점 실수의 대부분은 절삭 전에 걸립니다.

- 1 프로그램 헤더 확인 - G54 맞는지, 공구번호와 보정번호 일치하는지
- 2 MACHINE LOCK + DRY RUN 으로 궤적만 확인 - **머신락을 해제한 뒤에는 반드시 원점복귀(ZRN)를 다시 하세요.** 머신락 중에는 화면 좌표만 진행하고 기계는 안 움직여서, 해제 직후에는 표시 위치와 실제 위치가 어긋나 있습니다
- 3 급속 오버라이드 25% 로 내림
- 4 SINGLE BLOCK ON, 손은 FEED HOLD 위에
- 5 안전높이(Z+50 등)에서 1회 공회전 - 공구가 소재 위 어디로 가는지 눈으로 확인
- 6 첫 절삭은 이송 오버라이드 50%
- 7 첫 개(초물)는 반드시 측정하고 반장 확인

체크리스트

- ☐ 전원 투입 후 원점복귀(ZRN) 를 했다
- ☐ G54 값을 내가 직접 잡았고, 다른 기계에서 복사하지 않았다
- ☐ 좌표에 소수점을 전부 찍었다
- ☐ 프로그램 첫 줄에 G90 G54 가 있다
- ☐ 소재 두께·물림 위치가 원점 잡을 때와 같다
- ☐ 싱글블록 + 급속 25%로 첫 사이클을 돌렸다

출처: 국가기술표준원 — 공작기계 좌표축운동 관련 KS 표준 (<https://www.kats.go.kr>) · 한국산업인력공단 — 기계가공 국가기술자격 출제기준 (<https://www.hrdkorea.or.kr>) · HRD-Net — CNC 프로그래밍 훈련과정 검색 (<https://www.hrd.go.kr>)

G코드/M코드 기초

G00(위치결정), G01(직선보간), G02/G03(원호보간), M03(주축정회전), M08(절삭유) 등 필수 코드를 학습합니다.

G코드는 문장, M코드는 스위치

- **G코드(준비기능)** — "어떻게 움직일지"를 정합니다. 직선으로 갈지, 원호로 갈지, 절대인지 증분인지.
- **M코드(보조기능)** — "무엇을 켜고 끌지"를 정합니다. 주축, 절삭유, 공구교환, 척 개폐.

외울 코드는 생각보다 적어요. 현장 프로그램의 90%는 아래 20개 안에서 돕니다.

1. 모달과 원샷

종류	뜻	예
모달(modal)	한 번 쓰면 바뀔 때까지 계속 유효	G01, G90, G54, G41
원샷(one-shot)	그 줄에서만 유효	G04(드웰), G28, G92

> 모달이 사고의 원인입니다. 앞 프로그램에서 켜둔 G91이나 G41이 살아 있는 채로 다음 가공이 시작돼요. 그래서 프로그램 첫 줄에 **안전 블록**을 넣습니다.

```
G21 G17 G40 G49 G80 G90 ;
|   |   |   |   |   L 절대지령
|   |   |   |   |   L 고정사이클 취소
|   |   |   |   |   L 공구길이보정 취소
|   |   |   |   |   L 공구반경보정 취소
|   |   |   |   |   L XY 평면
|   |   |   |   |   L mm 단위
```

2. 이동 G코드

코드	이름	설명
G00	위치결정(급속)	최고 속도로 이동. 절삭 금지
G01	직선보간	F(이송속도) 지령 필수. 실제 절삭
G02	원호보간 CW	시계 방향
G03	원호보간 CCW	반시계 방향
G04	드웰	G04 P500 = 0.5초 정지 (구멍 바닥 다듬기)
G28	기계원점 복귀	보통 G91 G28 Z0. 로 Z만

G00은 직선으로 안 갈 수 있습니다

급속 이동은 각 축이 자기 최고속도로 따로 움직여요. 그래서 시작점과 끝점 사이가 **꺾인 경로**가 됩니다.



소재나 클램프 위를 G00으로 대각선 통과시키지 마세요. Z를 먼저 안전높이까지 올리고, 그다음 XY를 움직이는 것이 원칙입니다.

이송속도(F)의 단위

기계	코드	단위
머시닝센터	G94	mm/min (분당 이송)
머시닝센터	G95	mm/rev
CNC 선반	G98	mm/min
CNC 선반	G99	mm/rev (회전당 이송) — 선반의 기본

> 머시닝센터의 G98/G99는 고정사이클 복귀 높이를 뜻하고, 선반의 G98/G99는 이송 단위를 뜻합니다. 같은 코드가 기계에 따라 다른 의미예요. 헛갈리면 매뉴얼 확인.

3. 원호보간 G02/G03

두 가지로 지령할 수 있어요.

시작점 (0, 0) 에서 끝점 (20, 20) 까지 반지름 20 원호 (시계방향)

G02 X20. Y20. R20. ; ← R 방식 (간단)

G02 X20. Y20. I20. J0. ; ← I·J 방식 (시작점 → 원 중심 벡터)

I = 원 중심의 X - 시작점의 X = 20 - 0 = 20

J = 원 중심의 Y - 시작점의 Y = 0 - 0 = 0

방식	쓸 때	한계
R	180도 이하 원호	180도 초과는 R을 음수로. 완전한 원(360도)은 불가
I·J	모든 경우	계산이 번거로움

CW/CCW는 그 평면을 위에서 내려다본 기준입니다. G17(XY평면)이면 +Z에서 내려다본 방향이에요.

4. 고정사이클 — 구멍은 사이클로

코드	용도
G81	일반 드릴
G83	펍 드릴 — 깊은 구멍, 칩 배출하며
G73	고속 펍 드릴
G84	탭핑
G76	정밀 보링
G80	고정사이클 취소 (반드시)

```
G90 G98 G81 X20. Y20. Z-15. R2. F100 ;
      |           |           |
      |           |           | L 소재 위 2mm 에서 절삭이송 시작
      |           |           | L 구멍 깊이 (작업원점 기준 -15mm)
      |           |           | L 첫 번째 구멍 위치
X50. Y20. ;      ← 같은 조건으로 두 번째 구멍
X80. Y20. ;      ← 세 번째
G80 ;             ← 사이클 취소
```

> **G80**을 안 넣으면 그다음 XY 이동에서도 계속 구멍을 뚫습니다. 엉뚱한 자리에 구멍이 나요.

5. M코드

코드	뜻
M00	프로그램 정지 (측정할 때)
M01	선택 정지 (OPTIONAL STOP 켜야 작동)
M03	주축 정회전(CW)
M04	주축 역회전(CCW)
M05	주축 정지
M06	공구 교환
M08 / M09	절삭유 ON / OFF
M30	프로그램 종료 + 선두 복귀
M02	프로그램 종료 (선두 복귀 안 함)
M98 / M99	서브프로그램 호출 / 복귀

> **M10** 이후 번호(척 개폐, 도어, 칩컨베이어, 에어블로우, 미스트)는 기계 제조사마다 다릅니다. 다른 호기 프로그램을 그대로 옮기면 엉뚱한 장치가 작동해요. 반드시 그 기계 매뉴얼의 **M코드** 일람을 확인하세요.

6. 공구보정 — 길이와 반경

공구 길이 보정 (G43 / G49)

공구마다 길이가 다릅니다. 그 차이를 보정에 넣어두면 프로그램은 공구가 바뀌어도 같은 Z값을 쓸 수 있어요.

가장 널리 쓰는 방식은 **G54**의 **Z**를 **0**으로 두고, 각 공구가 소재 상면에 닿을 때의 기계좌표를 **H**에 그대로 넣는 것입니다.

```
T01 (짧은 공구) 소재 상면 터치 시 기계좌표 Z = -312.450 → H01
T02 (긴 공구) 소재 상면 터치 시 기계좌표 Z = -287.130 → H02
G54 의 Z = 0.

G43 H01 Z50. → T01 끝이 소재 상면 +50mm
G43 H02 Z50. → T02 끝도 소재 상면 +50mm (같은 프로그램 그대로)
```

여기서 번호를 틀리면 충돌합니다.

두 공구의 길이 차 = $312.450 - 287.130 = 25.320\text{mm}$

T02(긴 공구)를 물고 실수로 G43 H01 Z0. 을 지령하면
→ 기계는 Z 를 -312.450 까지 내림
→ T02 의 끝은 소재 상면보다 25.32mm 아래
→ 소재 → 평행대 → 바이스 → 테이블 순으로 파고듭니다

> T번호와 H번호를 항상 함께 쓰는 것이 현장 표준입니다. T01이면 H01, T05면 H05. 규칙을 깨는 순간 사고가 시간 문제예요.

공구 반경 보정 (G41 / G42 / G40)

프로그램은 **제품 윤곽 그대로** 짜고, 공구 반경만큼 비껴가는 것은 기계가 계산하게 하는 기능입니다.

코드	뜻
G41	진행 방향 기준 왼쪽 으로 비껴감 (소재가 오른쪽에 있을 때)
G42	진행 방향 기준 오른쪽 으로 비껴감
G40	보정 취소

- 보정값은 **D**번호에 넣습니다 (길이는 H, 반경은 D).
- 보정을 걸고 푸는 동작은 반드시 절삭이 아닌 구간에서 **직선 이동(G00/G01)** 으로 합니다.
- 가공할 내측 코너 R이 공구 반경보다 작으면 과절삭이 나거나 알람이 뜹니다.

마모 보정으로 치수 잡기

첫 개를 측정한 결과로 미세 조정하는 것이 마모 보정이예요.

도면 $\phi 20 +0.02 / 0$

실측 $\phi 20.06 \rightarrow 0.06\text{mm}$ 크다

선반 : 공차 중앙($\phi 20.010$)을 노려 공구 마모보정의 X 에 -0.050 입력 (X는 지름 지령이므로 지름값 그대로. 하한 20.000 에 딱 맞추면 다음 개부터 바로 불합격이 납니다)

밀링 : 엔드밀로 외곽을 돌았다면

반경 보정 D 값을 0.030 줄임 (지름 $0.06 = \text{반경 } 0.03$)

형상 보정(geometry)과 **마모 보정(wear)**은 다른 칸입니다. 형상 보정을 함부로 건드리면 원점 자체가 틀어져요. 일상적인 치수 미세조정은 **마모 보정만** 만집니다.

선반의 인선반경 보정

선반 바이트 끝은 뾰족하지 않고 **노즈 R(0.4 / 0.8 / 1.2 등)** 이 있어요. 외경·단면만 깎을 때는 문제없지만 **테이퍼나 원호를 깎으면 R만큼 형상이 틀립니다.** 이때 G41/G42 + 가상 인선 번호를 씁니다.

7. 완결 프로그램 예시

머시닝센터 — 상면 페이싱

소재 $100(X) \times 60(Y) \times 20$, 작업원점은 소재 상면 중앙.

```

O0100 (FACE MILL) ;
G21 G17 G40 G49 G80 ;      ( 안전 블록 )
G91 G28 Z0. ;              ( Z축 기계원점 복귀 )
T01 M06 ;                  ( T01 = 페이스밀 φ63 )
G90 G54 G00 X-90. Y0. ;    ( 절대지령, 소재 왼쪽 바깥에서 대기 )
S1000 M03 ;                ( 주축 1000rpm 정회전 )
G43 H01 Z50. ;             ( 공구길이보정 적용, 안전높이 )
M08 ;                      ( 절삭유 ON )
G00 Z-0.5 ;                ( 상면에서 0.5mm 아래 - 아직 소재 바깥 )
G01 X90. F400 ;            ( 직선 절삭 400mm/min )
G00 Z50. M09 ;
G91 G28 Z0. M05 ;          ( Z축 기계원점 복귀 + 주축 정지 )
G49 G90 ;                  ( 공구길이보정 취소 · 절대지령 복귀 - 다음 프로그램에 G91이 남지 않게 )
M30 ;

```

확인 계산

절삭속도 $V_c = \pi \times 63 \times 1000 / 1000 = 198 \text{ m/min}$

날 5개 기준 날당 이송 $f_z = 400 / (1000 \times 5) = 0.08 \text{ mm/날}$

→ SS400 에 코팅 초경 페이스밀로 무난한 조건

CNC 선반 — 단면 + 외경

소재 φ55 환봉, 완성 단면 Z0 기준으로 1mm 남기고 물림.

```

O0200 (OD TURN) ;
G21 G40 G99 ;              ( mm / 인선R보정 취소 / 회전당 이송 )
T0101 ;                    ( 1번 공구 · 1번 보정 )
G50 S2500 ;                ( 주축 최고 2500rpm 제한 )
G96 S180 M03 ;             ( 주축 180m/min 일정 제어 )
G00 X57. Z0. M08 ;
G01 X-1.0 F0.15 ;          ( 단면 페이스링 - 중심을 지나가게 )
G00 Z2. ;
X50. ;                     ( 지름 50 위치로 )
G01 Z-40. F0.2 ;           ( φ50 외경을 길이 40mm 구간 절삭 )
X56. ;                     ( 공구를 소재 밖으로 )
G00 X150. Z150. M09 ;
M05 ;
M30 ;

```

G96(주축 일정)이면 지름이 작아질수록 회전수가 올라갑니다

φ55 에서 $N = 1000 \times 180 / (\pi \times 55) \approx 1042 \text{ rpm}$

φ50 에서 $N = 1000 \times 180 / (\pi \times 50) \approx 1146 \text{ rpm}$

단면 페이스링으로 중심(φ0)에 가까워지면 회전수가 무한대로 치솟음

→ 그래서 G50 S2500 으로 상한을 걸어둡니다

> G50(또는 제어기에 따라 G92) 회전수 제한을 빠뜨리면 단면 가공 중 주축이 최고 회전까지 올라가 소재가 척에서 빠지거나 공구가 파손됩니다.

8. 신입이 자주 내는 실수

실수	결과
소수점 누락 (Z50 → 0.05mm)	안전높이인 줄 알았는데 소재 바로 위 → 다음 급속 이송에서 충돌
T번호와 H-D번호 불일치	공구 길이 차만큼 파고들
G43 없이 Z 이동	보정 없이 내려가 충돌
G80 미취소	영동한 자리에 구멍
G40 미취소	다음 윤곽이 공구 반경만큼 틀림
M03 없이 G01	안 도는 공구로 밀고 들어가 파손
M30 대신 M02	선두 복귀가 안 돼 다음 사이클이 중간부터 시작
선반에서 G90을 절대지령으로 착각	절삭 사이클이 걸려 공구가 돌진

체크리스트

- ☐ 프로그램 첫 줄에 **안전 블록(G40 G49 G80 G90)** 이 있다
- ☐ 모든 좌표에 소수점을 찍었다
- ☐ T번호 = H번호 = D번호 규칙을 지켰다
- ☐ 프로그램 끝에 **G40 · G49 · M05 · M30** 이 들어 있다
- ☐ M코드가 **이 기계의 매뉴얼**과 맞는지 확인했다
- ☐ 싱글블록 + 급속 25%로 첫 사이클을 돌렸다

출처: 한국폴리텍대학 — NC 프로그래밍 교육과정 (<https://www.kopo.ac.kr>) · 한국산업인력공단 — 컴퓨터응용가공 실기 출제기준 (<https://www.hrdkorea.or.kr>) · 안전보건공단 — 기계 운전 중 위험 예방자료 (<https://www.kosha.or.kr>)

현장에서 해볼 것

- 시뮬레이터로 G코드 10줄 입력 실습
- 원점 설정 실습

절삭 가공 이론

절삭속도·이송·절입깊이의 3요소

배우는 것

- 절삭 3요소를 이해하고 계산할 수 있다
- 절삭 조건 선정의 기준을 익힌다

절삭 속도(Vc)

$Vc = \pi \times D \times N / 1000$. 재료별 권장 절삭 속도, 공구 수명과의 관계를 학습합니다.

회전수와 절삭속도는 다른 겁니다

현장에 처음 오면 "몇 회전으로 돌려요?"라고 묻게 돼요. 그런데 정답은 **소재와 공구 지름에 따라 매번 달라집니다.**

- **N (회전수)** — 주축이 1분에 몇 바퀴 도는가. 단위 rpm(min⁻¹)
- **Vc (절삭속도)** — 공구 날끝이 소재를 지나가는 속도. 단위 m/min

공구 수명, 표면 상태, 발열을 결정하는 건 회전수가 아니라 **Vc**예요. φ10 엔드밀과 φ100 페이스밀을 같은 1,000rpm으로 돌리면 날끝 속도는 10배 차이가 납니다. 그래서 조건표는 회전수가 아니라 Vc로 적혀 있어요.

공식은 하나입니다

$$V_c = \frac{\pi \times D \times N}{1000} \quad (\text{m/min})$$

D = 지름 (mm) N = 회전수 (rpm)

회전수를 구할 때는 뒤집어서

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} \quad (\text{rpm})$$

1000으로 나누는 건 mm를 m로 바꾸는 것뿐이에요. 어렵게 볼 게 없습니다.

숫자를 넣어서 3번만 해봅시다

① 밀링 — φ50 페이스밀로 SM45C 면가공, Vc 150 권장

$$\begin{aligned} N &= 1000 \times 150 / (3.1416 \times 50) \\ &= 150,000 / 157.08 \\ &= 954.9 \rightarrow \text{약 } 955 \text{ rpm} \end{aligned}$$

② 선삭 — φ80 환봉(SM45C) 외경, Vc 200 권장

$$\begin{aligned} N &= 1000 \times 200 / (3.1416 \times 80) \\ &= 200,000 / 251.33 \\ &= 795.8 \rightarrow \text{약 } 796 \text{ rpm} \end{aligned}$$

③ 드릴 — φ8 HSS 드릴로 SS400 구멍, Vc 25 권장

$$\begin{aligned} N &= 1000 \times 25 / (3.1416 \times 8) \\ &= 25,000 / 25.13 \\ &= 994.7 \rightarrow \text{약 } 995 \text{ rpm} \end{aligned}$$

세 경우 모두 회전수는 800~1,000rpm 근처로 비슷하지만, **소재도 공구도 전혀 다릅니다**. 회전수만 외우면 안 되는 이유예요.

기계가 못 따라가는 경우

φ10 초경 엔드밀로 알루미늄을 Vc 300으로 가공하려면

$$N = 300,000 / (3.1416 \times 10) = 9,549 \text{ rpm}$$

그런데 현장의 범용 머시닝센터는 주축 최고 8,000rpm인 경우가 많아요. 8,000rpm으로 돌리면 실제 Vc는

$$V_c = 3.1416 \times 10 \times 8000 / 1000 = 251 \text{ m/min}$$

권장 조건에 못 미치는 상태로 가공하는 겁니다. 이걸 모르면 "카탈로그대로 했는데 왜 면이 안 나오지?" 하게 돼요. 소경 공구는 기계 회전수가 먼저 한계에 걸린다는 걸 기억하세요.

선반과 밀링은 D가 다릅니다

가공	공식의 D	이유
선삭	공작물 지름	공작물이 돌고 공구는 멈춰 있음
밀링·드릴·엔드밀	공구 지름	공구가 돌

선반에서 **정면가공(facing)** 을 하면 바이트가 중심으로 갈수록 D가 작아져 Vc가 계속 떨어져요. 위 ②번 조건(796rpm 고정)으로 φ20 지점까지 깎아 들어가면

$$Vc = 3.1416 \times 20 \times 796 / 1000 = 50 \text{ m/min}$$

200에서 시작해 50까지 떨어집니다. 중심 근처에서 면이 뜯기고 구성인선이 생기는 게 이 때문이에요.

> CNC 선반에서 **G96(정속 절삭)** 을 쓰면 제어가 지름 변화에 맞춰 회전수를 자동으로 올려줍니다. 다만 중심에 가까워지면 회전수가 무한대로 치솟으므로 **G50 S000** 으로 최고 회전수를 반드시 걸어주세요. 안 걸면 척이 위험 회전수까지 올라갑니다. 회전수를 직접 지정할 때는 G97입니다.

재질별 권장 절삭속도

초경 코팅 인서트, 선삭 황삭~중삭 기준입니다. **실제 값은 쓰는 공구 메이커 카탈로그가 우선**이에요.

소재	권장 Vc (m/min)	현장 메모
알루미늄 합금 (A6061, ADC12)	300~1,000	기계 회전수가 먼저 한계
황동·청동	150~400	칩이 잘게 부서짐
연강 (SS400, SM20C)	150~250	구성인선 주의
중탄소강 (SM45C)	120~220	가장 흔한 기준 소재
합금강 (SCM440, 조질재)	100~180	경도 따라 하향
회주철 (GC250)	100~200	분진 심함, 집진 필요
스테인리스 (STS304)	80~150	가공경화·노치마모
담금질강 (HRC45 이상)	40~80 (초경)	경도 오를수록 하향, HRC55↑는 CBN·세라믹 영역(120~200)
티타늄 (Ti-6Al-4V)	30~60	발열·칩 화재 주의
내열합금 (인코넬 718)	15~40	조선기자재 밸브류에 등장

> **HSS(고속도강)** 공구는 위 값의 **1/4~1/5** 로 잡고, **드릴링은 그보다 더 낮게**(연강 기준 Vc 20~30) 뵙니다. φ8 HSS 드릴에 초경용 조건을 넣으면 몇 초 만에 날이 뭉개져요.

Vc를 올리면 무엇이 나빠지나

절삭속도는 **공구 수명에 가장 큰 영향**을 주는 변수입니다. 이송이나 절입보다 훨씬 민감해요.

Vc ↑ → 가공시간 ↓ (좋음)
 절삭온도 ↑↑
 공구 마모 ↑↑↑ ← 여기가 제일 빨리 반응

경력편에서 다루는 Taylor 공구수명식으로 계산해보면, **속도를 25% 올렸을 때 수명은 절반 이하**로 떨어집니다. 반대로 20%만 낮춰도 수명이 2배 넘게 늘어요. "빨리 돌리면 빨리 끝난다"가 항상 이득은 아닙니다.

신입이 자주 하는 실수

실수	결과
앞 작업의 회전수를 그대로 씀	소재·공구가 바뀌면 Vc가 완전히 달라짐
선삭에서 공구 지름을 D에 대입	계산 자체가 틀림
소재를 확인 안 하고 가공	STS를 연강 조건으로 → 즉시 날 파손
드릴에 초경 조건 적용	HSS 드릴 소손
기계 최고 회전수 확인 안 함	조건표대로 못 도는데 그대로 진행

작업 전 체크리스트

- ☐ 도면과 자재표에서 **소재 재질**을 확인했다
- ☐ 공구 재종(HSS / 초경 / 코팅 / 서멧)을 확인했다
- ☐ 지름(선삭=공작물, 밀링=공구)을 정확히 넣어 N을 계산했다
- ☐ 계산한 N이 **기계 최고 회전수 이내**다
- ☐ 척·바이스가 그 회전수를 견디는지 확인했다

출처: 한국폴리텍대학 — 기계가공 직업훈련 과정 (<https://www.kopo.ac.kr>) · 한국산업인력공단 — 컴퓨터응용선반·밀링 자격 정보 (<https://www.hrdkorea.or.kr>) · 국가기술표준원 — KS 기계가공 표준정보 (<https://www.kats.go.kr>)

이송속도(f)와 절입깊이(ap)

이송속도 결정 요인, 절입깊이에 따른 가공력 변화, 항삭/정삭 조건 차이를 배웁니다.

속도만 정해서는 절삭이 안 됩니다

절삭 조건은 **세 개가 한 세트**예요.

Vc (절삭속도) → 날끝이 지나가는 속도 → 주로 공구 수명을 좌우
 f (이송) → 한 번 지날 때 밀어 넣는 양 → 주로 표면거칠기를 좌우
 ap (절입깊이) → 한 번에 깎아내는 두께 → 주로 절삭력·부하를 좌우

셋 중 하나만 바뀌어도 나머지 결과가 다 흔들립니다. 그래서 "면이 안 좋다"고 무작정 회전수만 올리는 건 잘못된 대응이에요.

이송의 단위 — 선반과 밀링이 다릅니다

가공	기호	단위	의미
선삭	f	mm/rev	1회전당 밀어 넣는 거리
밀링	fz	mm/tooth	날 1개당 밀어 넣는 거리
공통	Vf	mm/min	실제 테이블 이송속도

밀링은 날이 여러 개라 한 단계가 더 있어요.

$$Vf = fz \times z \times N \quad (z = \text{날 수})$$

예) $\phi 50$ 페이스밀, 날 5개, fz 0.15, N 955rpm
 $Vf = 0.15 \times 5 \times 955 = 716 \text{ mm/min}$

> 여기서 **날 수를 빼먹고 fz를 그대로 Vf에 넣는 실수**가 정말 흔합니다. 위 예에서 716 대신 143을 넣으면 이송이 1/5이라 가공은 되지만 시간이 5배 걸리고, 반대로 fz 자리에 Vf 값을 넣으면 공구가 그 자리에서 부러져요.

이송이 표면거칠기를 결정합니다

선삭에서 이론 표면거칠기는 이 식으로 나옵니다. 인서트 **노즈 반경($r\epsilon$)** 이 소재에 남기는 나선 자국의 깊이(산-골 높이차)예요. 여기서 나오는 h 는 **최대높이 계열(Rz/R_{max})** 기준이며, 도면에 흔히 쓰는 **Ra는 대략 h 의 1/4 수준($Ra \approx f^2/(32 \cdot r\epsilon)$)**으로 봅니다. 도면 지시가 Ra인지 Rz인지 먼저 확인하고 비교하세요.

$$h = \frac{f^2}{8 \times r\epsilon} \quad (\text{mm})$$

f = 이송 (mm/rev)
 $r\epsilon$ = 노즈 반경 (mm)

노즈 R 0.8 인서트로 계산해봅시다.

$$f = 0.3 \text{ mm/rev} \rightarrow h = 0.09 / (8 \times 0.8) = 0.01406 \text{ mm} = \text{약 } 14.1 \mu\text{m}$$
$$f = 0.15 \text{ mm/rev} \rightarrow h = 0.0225 / 6.4 = 0.00352 \text{ mm} = \text{약 } 3.5 \mu\text{m}$$

이송을 절반으로 줄이면 거칠기는 1/4이 됩니다. 제곱이 붙어 있으니깐요. 노즈 R을 키워도 같은 효과가 나요.

$$f = 0.15, r\epsilon = 1.2 \rightarrow h = 0.0225 / 9.6 = 0.00234 \text{ mm} = \text{약 } 2.3 \mu\text{m}$$

> 이걸 어디까지나 **이론값**입니다. 실제 측정값은 진동, 구성인선, 공구 마모 때문에 이보다 나쁘게 나와요. 도면 거칠기가 뽀뽀하면 이론값에 여유를 두고 조건을 잡습니다.

절입깊이(ap) — 힘과 열을 결정합니다

밀링에서는 두 방향으로 나눠 부릅니다.

- **ap (축방향 절입)** — 공구 축 방향 깊이
- **ae (반경방향 절입)** — 옆으로 물리는 폭

절삭력은 **깎아내는 단면적($ap \times f$)**에 거의 비례해요. 개략 계산을 해봅시다. SM45C의 비절삭저항을 약 2,000 N/mm²로 잡으면

$$\text{단면적 } A = ap \times f = 3 \text{ mm} \times 0.3 \text{ mm} = 0.9 \text{ mm}^2$$
$$\text{주분력 } F_c \approx 2,000 \times 0.9 = 1,800 \text{ N} \quad (\text{약 } 180\text{kgf})$$

$$\begin{aligned} \text{절삭동력 } P_c(\text{kW}) &= F_c(\text{N}) \times V_c(\text{m/min}) / 60,000 \\ &= 1,800 \times 200 / 60,000 \\ &= 6.0 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\text{기계효율 } 0.8 \text{ 가정} \rightarrow \text{주축 소요동력} = 6.0 / 0.8 = 7.5 \text{ kW}$$

주축 출력 7.5kW짜리 기계라면 **이미 한계**예요. 여기서 ap를 4mm로 올리면 10kW가 필요해 주축이 멈추거나 인서트가 깨집니다. 조건을 올리기 전에 **기계 명판의 주축 출력**을 한 번 보세요.

같은 조건의 재료 제거율(MRR)도 계산됩니다.

$$Q = V_c \times ap \times f = 200 \times 3 \times 0.3 = 180 \text{ cm}^3/\text{min}$$

황삭과 정삭 — 목적이 다릅니다

구분	목적	Vc	f	ap	여유(취성)
황삭(荒削)	빨리 많이 떼기	낮게	크게	크게	0.3~0.5mm 남김
정삭(精削)	치수면 맞추기	높게	작게	작게(0.2~0.5)	—

- 황삭은 **MRR이 목표**입니다. 면이 거칠어도 상관없어요.
- 정삭은 **치수와 거칠기가 목표**입니다. 이때 남긴 **가공 여유(다듬질 여유)**가 너무 작으면(0.05mm 이하) 공구가 소재를 깎지 못하고 문질러서 오하러 면이 나빠집니다. (표 headers의 '여유(취성)'는 '다듬질 여유', 실수 표의 '정삭 취성을 너무 적게 남김'은 '정삭 여유를 너무 적게 남김'으로 함께 수정)

> **경험칙:** 이송 f는 노즈반경 r_n 의 **절반 이하**, 절입 ap는 노즈반경 **이상**으로 잡으면 칩 배출과 면이 안정적이에요. R0.8 인서트라면 f는 0.4 이하, ap는 0.8 이상. ap가 노즈R보다 훨씬 작으면 절삭이 아니라 문지르기가 되면서 진동과 마모가 커집니다.

트레이드오프 — 공짜는 없습니다

조건을 올리면	얻는 것	잃는 것
Vc ↑	가공시간 단축, 구성인선 억제	공구 수명 급감, 발열
f ↑	가공시간 단축, 칩 두꺼워져 칩브레이커 작동	표면거칠기 악화, 절삭력↑, 날 결손 위험
ap ↑	MRR 증가, 패스 수 감소	절삭력·동력↑, 진동, 공작물 변형

세 변수 중 **공구 수명에 미치는 영향은 $Vc > f > ap$ 순**입니다. 그래서 가공시간을 줄여야 한다면 **속도부터 올리지 말고, 절입을 먼저 키우는 게 유리**해요. 물론 기계 강성과 출력이 받쳐줄 때 얘기입니다.

얇은 벽·긴 축은 다릅니다

부울경 현장에서 흔한 케이스예요.

- **긴 환봉 선삭** — 절삭력이 크면 소재가 휘어 중앙이 볼록해집니다(배부름). ap를 줄이고 방진구(스테디레스트)를 쓰세요.
- **얇은 벽 알루미늄 부품** — 절삭력에 벽이 밀렸다가 공구가 지나간 뒤 돌아옵니다. 치수가 안 나와요. ap·f를 낮추고 패스를 나눕니다.
- **주물 흑피면** — 첫 패스는 표면 스케일과 모래가 있어 ap를 흑피보다 깊게(스케일 밑으로) 넣어야 합니다. 얇게 굽으면 인서트가 스케일에 걸려 순식간에 마모돼요.

신입이 자주 하는 실수

실수	결과
밀링에서 날 수를 곱하지 않음	이송이 1/z로 떨어져 시간 낭비 또는 과부하
면이 나쁘다고 회전수만 올림	원인이 이송이면 개선 안 됨
정삭 취성을 너무 적게 남김	문지르기 → 면 악화, 치수 산포
황삭에서 얇게 여러 번	시간만 늘고 공구는 더 마모됨
진동(채터)이 나는데 계속 진행	인서트 치핑, 면에 떨림 자국

조건 결정 순서

- ☐ 소재와 공구를 확인하고 **Vc부터** 정한다 → N 계산
- ☐ 황삭/정삭을 구분해 **ap**를 정한다 (기계 출력 확인)
- ☐ 도면 거칠기를 보고 **f**를 정한다 (정삭은 이론식으로 계산)
- ☐ 밀링이면 $V_f = f_z \times z \times N$ 로 환산했는지 확인
- ☐ 첫 개는 조건을 **80%로 낮춰** 시운전하고, 칩과 소리를 보고 올린다

출처: 국가기술표준원 — KS B 0161 표면거칠기 등 KS 표준정보 (<https://www.kats.go.kr>) · 한국생산기술연구원 — 정밀가공 기술지원 (<https://www.kitech.re.kr>) · 한국폴리텍대학 — CNC 가공 실무 훈련 (<https://www.kopo.ac.kr>)

칩 형태와 절삭유

유동형·전단형·균열형 칩의 발생 조건, 수용성/불수용성 절삭유의 선택을 이해합니다.

칩은 공짜로 주어지는 계기판입니다

가공 중에는 날끝이 안 보여요. 절삭유가 튀고 커버가 닫혀 있으니까요. 그런데 **칩은 계속 나옵니다**. 칩의 모양과 색을 보면 안에서 무슨 일이 벌어지는지 거의 다 알 수 있어요.

베테랑이 기계 앞을 지나가다 칩 하나 집어 들고 "조건 낮춰"라고 하는 게 감이 아니라 **관찰**입니다. 이걸 배우는 게 이 과정의 핵심이에요.

칩의 4가지 형태

형태	모양	언제 생기나	판단
유동형	끊이지 않고 연속으로 흐름	연성 재료, 높은 Vc, 큰 경사각, 윤활 양호	절삭 상태는 가장 좋음. 단 긴 칩은 위험
전단형	툰치처럼 부분적으로 끊김	중간 속도, 경사각 작음	보통. 면이 유동형보다 거침
열단형(경작형)	뜯기며 떨어짐, 표면에 뜯긴 자국	저속 + 큰 이송 , 연성 재료	나쁨. 구성인선 동반, 면 불량
균열형	잘게 부서진 조각 가루	취성 재료 (회주철, 황동), 저속	주철에서는 정상. 강에서 나오면 이상

> 회주철 가공에서 칩이 가루처럼 부서지는 건 **정상**이에요. 반대로 연강을 깎는데 칩이 부스러진다면 공구가 심하게 마모됐거나 소재가 다른 겁니다.

모양으로 진단하기 — 이상적인 칩은 짧습니다

절삭 상태가 좋다고 해서 긴 칩이 좋은 건 아니에요. 현장에서 원하는 건 **C자, 6자, 짧은 나선(숫자 9 모양)**으로 끊어지는 칩입니다.

좋음: C 자 / 6 자 / 짧은 나선 ← 배출 잘 되고 안전
 나뭇: 긴 리본, 새집(bird nest) ← 공구·공작물에 감김, 손 베임
 나뭇: 가루처럼 잘게 부서짐(강) ← 공구 마모 진행

칩 증상	의심 원인	조치
긴 리본 칩이 계속	이송 부족, 칩브레이커 미작동	이송을 올린다, 브레이커 형상 인서트로 교체
칩이 새집처럼 엉킴	칩 배출 불량, 절삭유 미도달	노즐 방향 조정, 고압 콜런트, 펌크(peck) 드릴링
칩이 지나치게 잘게 부서짐	이송 과다 또는 공구 마모	날끝 확인 후 교체
칩 두께가 들쭉날쭉	진동(채터), 클램프 헐거움	고정 재확인, ap·Vc 조정

색으로 온도를 읽습니다 (강 가공 기준)

은백색 — 짙색(연노랑) — 갈색 — 자주 — 청색 — 검정
저온 과열

- **은백~짙색:** 열이 잘 빠지고 있습니다. 습식 가공의 정상 범위.
- **갈색~자주:** 건식·고속 코팅공구에서는 정상일 수 있어요. 단, 조건을 더 올릴 여유는 없습니다.
- **짙은 청색~검정:** 과열입니다. Vc를 낮추거나 절삭유를 점검하세요. 이 상태로 계속 돌리면 인서트 수명이 몇 분 단위로 끝납니다.

> 색만으로 온도를 단정할 수는 없어요. 공구 재종:코팅:건습식에 따라 정상 색이 다릅니다. "어제와 오늘 색이 달라졌다" 는 변화를 잡는 용도로 쓰게 정확합니다.

칩 안전 — 이 항목이 이 모듈에서 가장 중요합니다

절삭 칩은 면도날과 같습니다. 게다가 방금 나온 칩은 수백 도예요.

> 긴 칩을 손으로 잡아당기지 마세요. 절대로. > 기계는 계속 돌고 있고, 칩은 소재에 붙어 있습니다. 잡아당기는 순간 손이 회전부로 끌려 들어갑니다. 부울경 기계가공 현장에서 반복되는 사고 유형이에요.

칩을 제거하는 올바른 순서

1. 기계를 정지시킨다 — 주축이 완전히 멈춘 뒤에
2. **칩 갈고리(칩 후)**를 쓴다 — 맨스·목장갑 금지. 얇은 목장갑은 칩을 못 막아요

3. 가죽장갑 + 보안경 착용

4. 바닥의 칩은 브러시·삽·진공으로. 발로 밀지 않습니다

절대 하지 말 것

금지 행동	이유
회전 중 칩 제거	손이 말려 들어감 — 절단 사고
회전 중 측정	캘리퍼스가 물려 튀어나옴, 손 끼임
선반 회전부 작업 시 장갑 착용	장갑이 감기면 손이 통째로 끌려감. 산업안전보건 기준은 말려들 위험이 있는 회전 작업에서 장갑 착용을 금지합니다
에어건으로 칩 불어내기	칩이 눈으로 튀고, 절삭유 미스트가 공기 중에 퍼짐
칩을 맨손으로 쓸어 담기	손바닥 열상, 파상풍 위험

> 마그네슘·티타늄·알루미늄 미분 칩은 D급 화재를 냅니다. 물이나 ABC 분말 소화기로는 못 꺼요(오히려 위험). 이런 소재를 다루는 라인엔 금속화재용 소화약제나 마른 모래가 별도로 비치돼 있어야 합니다. 자동차 경량화 부품 가공 라인에서 실제로 문제가 되는 항목이에요.

절삭유가 하는 일 — 4가지

1. 냉각 — 공구·공작물 온도를 낮춰 마모와 열변형을 줄입니다
2. 윤활 — 마찰을 낮춰 구성인선과 소부(윤착)를 억제합니다
3. 칩 배출 — 흘러보내 재절삭을 막습니다
4. 방청 — 가공면이 녹스는 걸 막습니다

수용성 vs 불수용성

구분	수용성 절삭유	불수용성 절삭유
사용법	물에 희석 (보통 3~10%)	원액 그대로
냉각성	우수 (물이 주성분)	낮음
윤활성	보통	우수
주 용도	일반 선삭·밀링·드릴링, 고속 가공	브로칭, 호빙, 탭핑, 심공 드릴, 난삭재
화재 위험	낮음	있음 (인화점 관리 필요)
관리	부패·농도 관리 필요	부패 없음, 대신 미스트·유증
비용	저렴 (물로 늘림)	비쌈

수용성은 다시 에멀션형(유화형, 유백색) / 반합성 / 합성(투명) 으로 나뉩니다. 유분이 많을수록 윤활은 좋고 냉각과 세정은 떨어져요.

농도 관리 — 굴절계로 숫자를 봅니다

"눈으로 보니 뿌옇던데요"는 관리가 아닙니다. 브릭스 굴절계로 잽니다.

실제 농도(%) = 굴절계 읽은 값(Brix) × 굴절계 계수

예) Brix 2.5, 제품 계수 1.6
→ 2.5 × 1.6 = 4.0 %

계수는 절삭유 제품마다 달라요. 통에 붙은 라벨이나 MSDS에 적혀 있습니다.

상태	무슨 일이 생기나
농도가 낮음 (물 많음)	윤활 부족 → 공구 마모↑, 녹 발생, 세균 번식 빨라짐
농도가 높음 (원액 많음)	냉각 저하, 거품, 피부염, 원가 낭비, 잔사 끈적임

증발하는 건 물이라 시간이 지나면 탱크 농도가 올라갑니다. 그렇다고 물만 보충하면 농도가 기준 아래로 떨어져 윤활 부족·녹·부패로 가고, 원액만 보충하면 농도가 폭등합니다. 반드시 굴절계로 현재 농도를 잰 뒤, 미리 권장 농도로 희석해 둔 액으로 보충하세요.

부패 관리 — pH가 알려줍니다

수용성 절삭유는 세균·곰팡이가 자랍니다. 특히 여름철 부울경 공장은 습도가 높아 부패가 빨라요.

항목	관리 기준(일반적)	주기
농도	제품 권장치 $\pm 1\%$ 이내	주 2회 이상
pH	8.5~9.5 (알칼리)	주 1회
부유유(tramp oil)	스키머로 상시 제거	상시
탱크 슬러지	정기 청소	교환 시

> pH가 8.3 아래로 떨어지면 부패가 진행 중이라는 신호입니다. 곧 악취(월요일 아침에 나는 그 냄새)와 갈변, 방청력 저하가 따라와요. 이 상태에서 원액만 부어 냄새를 덮으려 하면 문제가 커집니다. **폐액 배출 → 탱크 세정·살균 → 신액 조액**이 정답이에요.

주말에 순환펌프를 완전히 꺼두면 산소 공급이 끊겨 혐기성 세균이 번식합니다. 타이머로 하루 몇 차례 순환시키는 것만으로 수명이 크게 늘어요.

건강과 환경

- 금속가공용 미스트는 호흡기 자극·과민성 폐렴, 유증 접촉은 피부염을 일으킵니다. 국소배기와 커버를 닫고 작업하세요. 노출기준은 고용노동부 고시와 사업장 MSDS를 확인합니다
- 작업 후 손을 비누로 씻고, 절삭유에 젖은 작업복은 갈아입습니다. 젖은 걸레를 주머니에 넣고 다니지 마세요
- 폐절삭유는 폐기물관리법상 지정폐기물(폐유)로 분류되는 경우가 많습니다. 허가업체에 위탁 처리해야 하고, 하수구·우수구 방류는 명백한 불법이에요
- 작업장에 해당 절삭유의 MSDS(물질안전보건자료)가 비치돼 있어야 합니다. 외국인 근로자가 있는 라인에는 그림·다국어 경고 표시를 함께 두세요

매일 확인할 것

- ☐ 오늘 나오는 칩의 색과 모양이 어제와 같은가
- ☐ 긴 리본 칩이 감기고 있지 않은가
- ☐ 절삭유가 날끝에 실제로 닿고 있는가 (노즐 방향)
- ☐ 절삭유 냄새가 평소와 다르지 않은가
- ☐ 칩 갈고리와 가족장갑이 기계 옆에 있는가
- ☐ 칩 박스가 넘치지 않았는가 (넘치면 발에 밟혀 미끄러짐)

출처: 안전보건공단 — 금속가공용 취급 안전보건 자료 (<https://www.kosha.or.kr>) · 고용노동부 — 물질안전보건자료(MSDS) 제도 안내 (<https://www.moel.go.kr>) · 국가법령정보센터 — 산업안전보건기준에 관한 규칙 (<https://www.law.go.kr>)

현장에서 해볼 것

- 재료별 절삭 조건 계산 5문제
- 칩 형태 관찰 보고서

공구와 지그/고정구

올바른 공구 선택이 품질을 결정한다

배우는 것

- 주요 절삭 공구의 종류와 용도를 안다
- 지그와 고정구의 역할을 이해한다

선삭 공구

외경바이트, 내경바이트, 홈파기, 나사절삭 공구의 종류와 인서트 코드(CNMG, DNMG 등) 읽기를 배웁니다.

공구 선반에서 "아무거나 꽃으면" 벌어지는 일

선반 공구함을 열면 비슷하게 생긴 인서트가 수십 종류 들어 있어요. 신입이 가장 먼저 겪는 일은 비슷하게 생겼길래 꽃았는데 홀더에 안 앉거나, 앉아도 3분 만에 날이 깨지는 것입니다.

인서트에 찍힌 CNMG120408 같은 코드는 장식이 아니에요. **형상·여유각·공차·구멍과 칩브레이커·크기·두께·코너R** 이 순서대로 적힌 규격 코드(ISO 1832)입니다. 이걸 읽을 줄 알면 공구함에서 물건을 찾는 시간이 10분에서 30초로 줄어요.

부울경 협력사는 다품종 소량이라 **한 사람이 하루에 공구를 대여섯 번 바꿉니다**. 코드 읽기는 선택이 아니라 기본기예요.

1. 선삭 공구는 "무슨 일을 하느냐"로 나뉩니다

공구	하는 일	대표 인서트	부울경 현장 예시
외경 바이트	바깥지름·단면·테이퍼 절삭	CNMG, DNMG, WNMG, VBMT	유압 실린더 로드, 플랜지 외경
내경 바이트(보링바)	뚫린 구멍을 넓히고 다듬음	CCMT, DCMT, TCMT	밸브 바디 내경, 부상
홈파기(그루빙)	원주 홈, O링 홈, 스냅링 홈	MGMN, GX, N151 계열	실린더 O링 홈
절단(파팅·컷오프)	봉재를 잘라냄	홈파기와 같은 계열, 폭 2~4mm	봉재 자동선반 제품
나사절삭(스레딩)	수나사·암나사	16ER, 16IR 계열	배관 피팅, 볼트류
단면 홈파기(페이스 그루빙)	끝면에 원형 홈	전용 곡선 홀더	씰 홈

> **황삭용과 정삭용은 같은 코드가 아닙니다**. 황삭은 두껍고 강한 인서트, 정삭은 얇고 예리한 인서트예요. 정삭 인서트로 3mm씩 파면 몇 개 못 가서 깨집니다.

2. 인서트 코드 읽기 — 자리마다 뜻이 있습니다

C	N	M	G	12	04	08	
							코너 R : 08 = 0.8mm
							두께 : 04 = 4.76mm
							크기 : 12 = 절삭날 길이 12.9mm (내접원 IC 는 12.7mm)
							형식 : 구멍 있음 + 양면 칩브레이커
							공차 등급 : M (일반급)
							여유각 : N = 0° (네거티브)
							형상 : C = 80° 마름모

1) 형상 — 강도와 접근성은 반비례합니다

기호	형상	코너 강도	주 용도
R	원형	가장 강함	프로파일 황삭, 곡면
S	정사각 90°	강함	단면·외경 황삭(접근 제한)
C	마름모 80°	강함	가장 범용 . 외경+단면 겸용
W	트라이곤 80°	강함	날이 6개 — 경제적
T	삼각 60°	중간	날 6개, 좁은 곳
D	마름모 55°	약함	윤곽(프로파일링)
V	마름모 35°	가장 약함	깊은 윤곽, 좁은 코너

2) 여유각 — 네거티브냐 포지티브냐

기호	여유각	성격
N	0°	네거티브. 양면 사용 가능, 강함, 절삭력 큼
B	5°	포지티브. 편면
C	7°	포지티브. 절삭력 작음
P	11°	포지티브. 알루미늄·얇은 부품

> 강성 좋은 기계 + 두꺼운 소재 = 네거티브(N), 약한 고정 + 얇은 벽 + 내경 = 포지티브(C·P). 얇은 파이프를 네거티브로 깎으면 절삭력에 밀려 진동이 터집니다.

3) 공차 등급 (세 번째 글자)

기호	성격	쓰는 곳
M	일반급. 현장 대부분	항삭·중삭
G	내접원 공차가 더 좁음	정밀 반복
E, F, H	정밀급	정밀 정삭, 소형 인서트

4) 형식 — 구멍과 칩브레이커

기호	뜻
N	구멍 없음, 칩브레이커 없음
A	원통 구멍, 칩브레이커 없음
M	원통 구멍, 편면 칩브레이커
G	원통 구멍, 양면 칩브레이커
T	편면 원뿔 구멍 + 편면 칩브레이커
U	양면 원뿔 구멍 + 양면 칩브레이커

5~7) 크기·두께·코너R

크기 기호 = 절삭날 길이(mm)의 소수점 이하를 버린 값

※ 내접원(IC) 지름과는 다른 숫자입니다. 헛갈리지 마세요.

CNMG 12 → 날길이 12.9mm (IC 12.7)

DNMG 15 → 날길이 15.5mm (IC 12.7)

TNMG 16 → 날길이 16.5mm (IC 9.525)

WNMG 08 → 날길이 8.7mm (IC 12.7)

두께

02 = 2.38mm 03 = 3.18mm 04 = 4.76mm 06 = 6.35mm

코너 R

00 = 샤프 02 = 0.2mm 04 = 0.4mm

08 = 0.8mm 12 = 1.2mm 16 = 1.6mm

실제 코드 세 개 해독

DNMG150608

D=55° 마름모 / N=여유각0° / M=공차M급 / G=구멍+양면칩브레이커
 15 = 날길이 15.5mm / 06 = 두께 6.35mm / 08 = 코너R 0.8mm
 → 윤곽 가공용 중황삭. 코너가 뾰족해 형상 추종에 유리, 대신 약함

VBMT160404

V=35° 마름모 / B=여유각5°(포지티브) / M=공차M급 / T=원뿔구멍+편면칩브레이커
 16 = 날길이 16.6mm / 04 = 두께 4.76mm / 04 = 코너R 0.4mm
 → 좁은 코너까지 들어가는 정삭. 절삭력이 작아 가는 축·얇은 벽에 적합

CCMT09T304

C=80° 마름모 / C=여유각7° / M=공차M급 / T=원뿔구멍+편면칩브레이커
 09 = 날길이 9.7mm (IC 9.525) / T3 = 두께 3.97mm / 04 = 코너R 0.4mm
 → 보링바용 소형 포지티브. 내경 정삭의 표준

뒤에 붙는 것도 정보입니다. CNMG120408-PM 처럼 하이픈 뒤에 오는 두 글자는 칩브레이커 코드예요. 제조사마다 다르지만 대체로 앞 글자는 피삭재군(P 강 / M 스테인리스 / K 주철), 뒷 글자는 가공 영역(F 정삭 / M 중삭 / R 황삭) 을 뜻합니다. 그 뒤 숫자·문자는 재종(모재+코팅) 코드이고 이 건 반드시 제조사 카탈로그로 확인해야 합니다.

3. 홀더 코드도 같은 방식입니다

P C L N R 2525 M 12
 | | | | | | | L 인서트 크기 (12 = CNMG12__)
 | | | | | | | L 공구 전장 : M = 150mm
 | | | | | | | L 생크 : 25 × 25mm
 | | | | | | | L 손방향 : R 오른손 / L 왼손 / N 양용
 | | | | | | | L 인서트 여유각 : N = 0°
 | | | | | | | L 홀더 스타일(접근각) : L = 95°
 | | | | | | | L 인서트 형상 : C = 80° 마름모
 | | | | | | | L 클램핑 방식 : P = 레버 클램프 (S 스크류 / M 상부+핀 / C 상부)

PCLNR2525M12에는 CNMG12 계열만 들어갑니다. DNMG를 억지로 얹으면 시트에 안 맞아 절삭 중 인서트가 튀어나와요.

내경 보링바는 앞에 생크 정보가 붙습니다.

S 25 S - PCLNR 12
 | | L 생크 길이 코드 (S = 250mm)
 | L 생크 지름 25mm
 L 생크 재질/급유 : S = 강, 내부급유 없음
 A = 강 + 내부급유 / E = 초경 + 내부급유

접근각(κr)이 하는 일

접근각	특징	쓰는 곳
95°	축방향 힘이 커 안정, 직각 어깨 가능	외경 황삭 표준(PCLNR 등)
93°	윤곽 추종	DNMG-VNMG 프로파일링
75°	칩이 얇아져 이송 크게 가능	강한 황삭, 스케일 소재
45°	반경방향 힘 균형, 진동 적음	단면 검용, 페이스밀

4. 코너 R — 면 거칠기와 강도를 동시에 결정합니다

코너 R이 크면 날이 강하고 수명이 길지만 반경방향 힘이 커져 가는 축이 됩니다. 작으면 힘은 작지만 잘 깨져요.

이론 표면거칠기 $Rz(\mu m) \approx f^2 / (8 \times r\epsilon) \times 1000$

f = 이송(mm/rev), $r\epsilon$ = 코너 R(mm)

예 1) $f = 0.20$, $r\epsilon = 0.8$

$Rz \approx 0.04 / 6.4 \times 1000 = 6.25 \mu m$ (Ra 대략 1.5~1.6)

→ 도면이 Ra 1.6 이면 여유가 거의 없음

예 2) f 를 0.15 로 낮추면

$Rz \approx 0.0225 / 6.4 \times 1000 = 3.5 \mu m$ (Ra 대략 0.9)

→ 안전. 대신 사이클 타임이 33% 늘어남

예 3) f 0.20 을 유지하고 $r\epsilon$ 를 1.2 로 키우면

$Rz \approx 0.04 / 9.6 \times 1000 = 4.2 \mu m$ (Ra 대략 1.0)

→ 이송을 유지한 채 면을 잡는 방법. 단 절삭력이 커짐

> **절입 깊이(ap)는 코너 R의 2/3 이상**으로 잡으세요. R0.8 인서트로 ap 0.3mm를 깎으면 칩이 코너 R 안에서만 얇게 흘러 반경방향 힘이 튀고 채터가 납니다. "정삭인데 왜 떨리지?" 의 가장 흔한 원인이예요.

5. 홈파기·절단·나사

홈파기와 절단

- 인서트 폭이 곧 홈 폭입니다. **MGMN300 = 폭 3.0mm**. 도면 홈 폭을 먼저 보고 인서트를 고르세요.
- 절단은 **돌출을 최소화**로. 절단 지름보다 조금 더 나오는 만큼만 내밀어야 부러지지 않아요.
- 이송은 0.05~0.15mm/rev 수준으로 낮게. **중심 부근에서는 G96(주속 일정)을 G97(회전수 고정)로 바꿔야** 회전수가 치솟지 않습니다.
- 절단 직전 마지막 0.5mm는 이송을 더 낮춥니다. 그대로 밀면 제품 끝면에 심(꼭지)이 남아요.

나사절삭

- **부분 프로파일(예: 16ER AG60)** 은 60° 형상만 만들어 여러 피치에 두루 쓰고, **전 프로파일(예: 16ER 1.5ISO)** 은 피치 전용이라 산 꼭대기까지 한 번에 완성됩니다. 다품종이면 부분, 양산이면 전 프로파일이 유리해요.
- 나사는 한 번에 못 깎습니다. ISO 미터 수나사 기준 산 높이는 대략 **0.61 × 피치**예요.

M20 × 1.5 수나사

산 높이(반경) $\approx 0.613 \times 1.5 \approx 0.92mm$

지름으로는 1.84mm 를 줄여야 함 ($\phi 20 \rightarrow \phi 18.16$ 부근)

8~12 패스로 나눠 절입, 마지막 1~2 패스는 스프링 패스(무절입)

- 나사 절삭 중에는 **이송 오버라이드가 들지 않습니다**. 회전과 이송이 동기화돼 있어서예요. 잘못 걸면 손덜 방법이 없으니 첫 사이클은 반드시 싱클블록으로.

6. 신입이 자주 내는 실수

실수	결과
홀더에 안 맞는 인서트를 억지로 조임	시트 손상 → 인서트가 절삭 중 튀어나감
인서트 시트에 칩 낀 채 조임	0.05mm 틈 → 치수 산포·조기 결손
정삭 인서트로 황삭	몇 개 만에 코너 결손
코너 R보다 얇게 정삭	채터, 면 불량, "기계 탓" 오진
토크렌치 없이 스크류를 세게 조임	스크류 파단, 나사산 뭉개짐
인서트 돌려 끼울 때 방향 착각	이미 쓴 날을 다시 씀 → 즉시 불량
보링바 돌출을 길게	진동·나팔형 구멍(내경이 입구 쪽만 커짐)
절단 공구를 중심 높이보다 낮게 셋업	심 남음, 인서트 파손

> **인서트 스크류는 규정 토크가 있습니다.** 손 감으로 조이는 습관이 스크류 파단의 1위 원인이에요. 전용 토크 드라이버를 공구함에 같이 두세요.

체크리스트

- ☐ 지금 물린 인서트의 **코드 7자리를 읽고 뜻을 말할 수 있다**
- ☐ 홀더 코드의 인서트 크기와 실제 인서트 크기가 같다
- ☐ 인서트 시트를 **에어·솔로 청소한 뒤** 앉혔다
- ☐ 스크류를 **토크 드라이버**로 조였다
- ☐ 절입 깊이가 코너 R의 2/3 이상이다
- ☐ 보링바 돌출을 필요한 만큼만 냈다
- ☐ 절단·홈파기 공구의 **중심 높이**를 맞췄다

출처: 국가기술표준원 — KS 절삭공구·인서트 관련 표준 검색 (<https://www.kats.go.kr>) · 한국산업인력공단 — 컴퓨터응용선반 국가기술자격 출제기준 (<https://www.hrdkorea.or.kr>) · 한국폴리텍대학 — 선반가공 훈련과정 (<https://www.kopo.ac.kr>)

밀링 공구

엔드밀, 페이스밀, 드릴, 탭, 리머의 용도와 선택 기준을 학습합니다.

밀링은 공구를 잘못 고르면 "구멍이 안 맞습니다"

선반은 공구 하나로 여러 형상을 만들지만, 밀링은 **형상마다 공구가 따로** 있습니다. 면은 페이스밀, 옆은 엔드밀, 구멍은 드릴, 정밀 구멍은 리머, 나사는 탭이에요.

선입이 가장 많이 저지르는 사고가 **탭 하수 구멍을 잘못 뚫는** 것입니다. M10 나사에 φ10 드릴을 뚫으면 나사가 아예 안 나요. 반대로 너무 작게 뚫으면 탭이 부러지고, 부러진 탭은 빼는 데 하루가 걸립니다.

부울경 자동차부품 협력사는 **서열 납품**이라 하루라도 밀리면 라인이 섭니다. 공구 선택 실수 하나가 회사 신뢰도로 이어져요.

1. 공구별 역할 정리

공구	만드는 것	주 재질	특징
페이스밀	넓은 평면	인덱서블 인서트	지름 φ50~φ160, 한 번에 넓게
엔드밀	측면·홈·포켓·윤곽	초경 솔리드, 하이스, 인덱서블	옆날과 밑날 둘 다 씀
볼 엔드밀	3D 곡면	초경 솔리드	중심 속도 0 → 경사 가공 필수
드릴	구멍 뚫기	하이스, 초경, 인덱서블	정밀도 대략 H12~H13
리머	구멍 다듬기	하이스, 초경	H7 급 정밀 구멍
보링 공구	큰 정밀 구멍	인덱서블	지름을 자유롭게 조정
탭	암나사	하이스, 초경	절삭탭 / 전조탭
챔퍼밀(면취)	모따가·버 제거	초경	90°·120°

2. 엔드밀 — 날수·헬릭스·코너로 고릅니다

날수

날수	칩 배출 공간	잘 맞는 곳
2날	매우 큼	알루미늄, 깊은 홈, 플랜지
3날	큼	알루미늄 고능률, 범용
4날	보통	강·주철 측면 가공의 표준
6날 이상	작음	정삭, 경화강, 절입 얇게

> **알루미늄에 4날 이상을 쓰면 칩이 홈에 막혀 공구가 부러집니다.** 알루미늄 칩은 끈적하고 부피가 커서 나갈 공간이 필요해요.

헬릭스각

헬릭스	성격
30°	표준. 대부분의 강
45° 이상	면이 곱고 절삭이 부드러움. 대신 축방향 힘이 커져 공구가 척에서 뺄릴 수 있음
저헬릭스(15° 이하)	취성 재료, 판재

코너 형상

형상	용도
스퀘어(각)	직각 바닥·모서리
코너 R(라디우스)	가장 잘 깨지는 코너를 R로 보강. 수명이 확 늘어남
볼	곡면

도면이 직각을 요구하지 않으면 **코너 R 엔드밀을 기본으로** 쓰세요. 결손이 눈에 띄게 줄어요.

돌출 길이가 전부입니다

외팔보 처짐 $\delta \propto L^3 / D^4$

L = 척에서 나온 돌출 길이, D = 공구 지름

φ10 엔드밀을 30mm 돌출 → 40mm 로 늘리면

$(40 / 30)^3 = 2.37$ 배 더 휨

φ10 을 φ12 로 키우면 (같은 돌출)

$(10 / 12)^4 = 0.48 \rightarrow$ 처짐이 절반 이하

결론 : 짧게, 굵게. 깊은 포켓은 위쪽을 굵은 공구로 먼저 넓히고
바닥만 가는 공구로 마무리합니다.

하향절삭 vs 상향절삭

구분	하향절삭(클라이밍)	상향절삭(컨벤셔널)
칩 두께	두껍게 시작 → 얇게	얇게 시작 → 두껍게
면 품질	좋음	보통
공구 수명	김	짧음
요구 조건	백래시가 작아야 함	백래시 커도 됨
실무	CNC 기본	범용 밀링, 스케일 있는 흑피

> 볼스크류가 얇아 백래시가 큰 오래된 기계에서 하향절삭을 하면 **공구가 소재로 끌려 들어가** 순간 과절삭이 납니다. 내 기계 상태를 먼저 확인하세요.

3. 페이스밀 — 접근각과 걸치는 위치

접근각	특징	주의
45°	칩이 얇아져 이송을 크게 줄 수 있음. 진동 적음	축방향 힘이 큼 → 얇은 판은 휨
90°	직각 어깨 가공 가능	반경방향 힘 큼
원형 인서트	날이 가장 강함	난삭재·거친 황삭

페이스밀 지름 고르기

공구 지름 $D \approx$ 절삭 폭 ae 의 1.2 ~ 1.5 배

소재 폭 100mm → D 125~160 (한 번에 지나감)

소재 폭 200mm → D 125 로 두 번 나눠 지나감

중심을 소재 중앙에 정확히 두지 마세요

→ 인서트 진입·이탈 각이 나빠져 충격이 커집니다

→ 중심을 소재 폭의 5~10% 만큼 옆으로 비켜 놓습니다

4. 드릴 — 종류와 심공 가공

종류	지름 범위	특징
하이스트위스트 드릴	전 범위	싸고 무난. 선단각 118°(일반) / 135°(스테인리스)
초경 코팅 드릴	$\phi 3 \sim \phi 20$	선단각 140°, 이송·속도 3배 이상. 강성 필요
인덱서블 드릴	$\phi 16$ 이상	인서트 교환식. L/D 2~5, 내부급유 필수
건드릴	심공	L/D 10 이상, 전용 설비

스팟(센터) 드릴

구멍 위치를 잡는 공구예요. 스팟 드릴의 선단각이 본 드릴의 선단각보다 같거나 커야 합니다.

본 드릴 118° → 스팟 120° 또는 142° (OK)

본 드릴 140° → 스팟 142° (OK)

본 드릴 140° → 스팟 120° (X)

스팟 원뿔이 드릴보다 뾰족해서

드릴의 바깥 코너가 스팟 벽에 먼저 닿습니다

→ 코너에 충격이 몰려 결손되고, 중심이 지지되지 않아 흔들립니다

→ 구멍이 커지고 위치가 틀림

반대로 스팟이 드릴보다 무디면(각이 크면)

드릴 중심부터 스팟 바닥에 닿아 원뿔이 드릴을 안내합니다

심공은 펙 드릴링

구멍 깊이 / 드릴 지름 = L/D

L/D ≤ 3 G81 로 한 번에

L/D 3~5 G83 펙 드릴링, 1회 절입 = 지름의 1배

L/D 5 이상 G83 + 절입량 축소 + 내부급유(쿨런트 스루)

예) $\phi 8$ 드릴로 깊이 40mm → L/D = 5

G83 Z-40. Q8000 R2. F120 ; (8mm 씩 나눠 뚫고 침 배출)

칩이 홈에 꽉 차면 드릴이 그 자리에서 부러집니다. "드릴 소리가 갑자기 높아지면 칩이 막힌 것" 이니 즉시 멈추세요.

5. 탭 — 하수 구멍이 전부입니다

절삭탭 하수 구멍 $\approx$ 호칭지름 - 피치

$M6 \times 1.0 \rightarrow 6 - 1.0 = 5.0$
 $M8 \times 1.25 \rightarrow 8 - 1.25 = 6.75 \rightarrow 6.8$ 드릴
 $M10 \times 1.5 \rightarrow 10 - 1.5 = 8.5$
 $M12 \times 1.75 \rightarrow 12 - 1.75 = 10.25 \rightarrow 10.2$ 드릴
 $M16 \times 2.0 \rightarrow 16 - 2.0 = 14.0$
 $M20 \times 2.5 \rightarrow 20 - 2.5 = 17.5$

호칭(보통나사)	절삭탭 드릴	전조탭 드릴
M3 × 0.5	2.5	2.75
M4 × 0.7	3.3	3.7
M5 × 0.8	4.2	4.6
M6 × 1.0	5.0	5.6
M8 × 1.25	6.8	7.4
M10 × 1.5	8.5	9.3
M12 × 1.75	10.2	11.0

절삭탭 vs 전조탭

구분	절삭탭	전조탭(성형탭)
원리	깎아냄	눌러서 밀어 올림
칩	나옴	안 나옴
하수 구멍	작게	크게
나사 강도	보통	높음(조직이 연속)
맞는 재료	주철, 패삭강 등 대부분	연신을 있는 재료 — 알루미늄, 연강, 스테인리스
안 맞는 재료	—	주철, 경화강 (안 늘어나서 깨짐)

> 전조탭에 절삭탭용 하수 구멍(작은 구멍)을 뚫으면 100% 부러집니다. 반대로 절삭탭에 전조탭용 큰 구멍을 뚫으면 나사가 헐렁해져 체결력이 안 나와요. 탭 종류를 먼저 정하고 드릴을 고르세요.

리지드 태핑 이송 계산

탭 이송 $F(\text{mm/min}) = \text{주축 회전수 } N(\text{rpm}) \times \text{피치 } P(\text{mm})$

$M10 \times 1.5$ 를 S500 으로 태핑
 $F = 500 \times 1.5 = 750 \text{ mm/min}$

G84 Z-25. R5. F750 S500 ;

피치를 틀리게 넣으면 탭이 그 자리에서 부러집니다. 태핑 이송은 계산기로 두 번 확인하세요.

관통 구멍은 **포인트(스파이럴 포인트) 탭**으로 칩을 앞으로 밀어내고, 막힌 구멍은 **스파이럴 탭**으로 칩을 위로 빼냅니다. 막힌 구멍에 포인트 탭을 쓰면 칩이 바닥에 쌓여 탭이 부러져요.

6. 리머 — 정밀 구멍의 마무리

리머 여유량 (드릴 지름 = 리머 지름 - 여유량)

φ5 이하 : 0.1 ~ 0.2mm

φ5 ~ φ20 : 0.2 ~ 0.3mm

φ20 이상 : 0.3 ~ 0.5mm

예) φ10 H7 구멍

φ9.8 드릴 → φ10 H7 리머

- 회전수는 드릴의 절반, 이속은 2~3배. 빠르게 돌리면 오히려 구멍이 커지고 면이 나빠집니다.
- 절대 역회전으로 빼지 마세요. 날 뒷면이 구멍 벽을 긁어 치수가 커지고 리머가 망가집니다. 정회전 상태로 빼냅니다.
- 여유량이 너무 적으면 리머가 낡지 못하고 문질러서 경화층을 만들고, 너무 많으면 구멍이 커지고 진원도가 깨져요.

7. 실수와 그 결과

실수	결과
탭 하수 구멍 지름 착오	탭 파단 → 방전가공으로 제거, 반나절 손실
태핑 F 값 계산 착오	첫 구멍에서 탭 파단
막힌 구멍에 포인트 탭	칩이 바닥에 쌓여 파단
알루미늄에 4날 엔드밀	칩 막힘 → 공구 파손, 소재에 융착
엔드밀 돌출 과다	벽면이 기울고 채터, 치수 불량
스팟 각 < 드릴 각	구멍 위치·지름 불량
L/D 5인데 G81 한 번에	칩 막힘 → 드릴 파단
리머를 역회전으로 뺌	구멍 확대, 리머 손상
코너 R 없는 스퀘어 엔드밀로 강 할삭	코너 결손 반복

> 외국인 동료와 함께 작업할 때는 **탭·드릴 대응표를 코팅해서 기계 옆에 붙여주세요.** 한국어 설명보다 표 한 장이 확실합니다. M10 옆에 8.5 라고만 적혀 있어도 사고가 크게 줄어요.

체크리스트

- ☐ 도면의 나사 호칭과 피치를 확인했다
- ☐ 절삭탭인지 전조탭인지 정하고 그에 맞는 드릴을 골랐다
- ☐ 태핑 F = N × P 를 계산기로 확인했다
- ☐ 막힌 구멍 / 관통 구멍에 맞는 탭 형식을 골랐다
- ☐ 엔드밀 돌출을 가공 깊이 + 여유만큼만 났다
- ☐ L/D 3 이상 구멍에 펙 드릴링을 걸었다
- ☐ 리머 앞 드릴 여유량이 규정 범위다

출처: 국가기술표준원 — KS B 0201 미터 보통나사 등 나사 표준 (<https://www.kats.go.kr>) · 한국산업인력공단 — 컴퓨터응용밀링 국가기술자격 출제기준 (<https://www.hrdkorea.or.kr>) · 한국생산기술연구원 — 절삭가공·뿌리기술 지원 (<https://www.kitech.re.kr>)

지그와 클램프

바이스, 척, 마그네틱 테이블, 전용 지그의 원리와 정확한 고정 방법을 익힙니다.

아무리 좋은 공구도 소재가 움직이면 끝입니다

절삭 조건을 완벽하게 잡고, 최고급 인서트를 물려도 소재가 0.05mm 움직이면 제품은 불량입니다. 그리고 크게 움직이면 사람이 다칩니다.

현장에서 나오는 치수 불량률의 상당 부분은 공구나 프로그램이 아니라 **고정(클램핑)**에서 시작해요. "어제는 됐는데 오늘은 안 되네"의 범인은 대개 평행대 사이에 낀 칩 한 조각입니다.

부울경 협력사는 **다품종 소량 + 잦은 셋업 교체**가 기본이라, 고정 실력이 곧 생산성입니다.

1. 물체는 6개 방향으로 움직입니다

자유도 6개

이동 : X, Y, Z (앞뒤·좌우·상하로 미끄러짐)

회전 : X축돌기, Y축돌기, Z축돌기

고정이란 = 이 6개를 전부 못 움직이게 만드는 것

여기서 두 가지를 구분해야 합니다.

	위치결정(Locating)	클램핑(Clamping)
하는 일	소재가 어디에 앉을지 정함	그 자리에서 안 움직이게 누름
정밀도	여기서 결정됨	정밀도에 기여 안 함
요소	기준면, 위치결정 핀, 고정조	클램프, 볼트, 유압

> 클램프는 위치를 정하지 않습니다. 클램프로 위치를 잡으려 하면 조일 때마다 소재가 조금씩 다른 자리로 갑니다. 이게 "같은 프로그램인데 개체마다 치수가 다른" 대표 원인이에요.

2. 3-2-1 위치결정 원리

가장 기본이 되는 규칙입니다. **면 3개에 3점·2점·1점으로 총 6점을 대면 6자유도가 모두 잡힙니다.**

[1차 기준면] 가장 넓은 면에 3점

→ Z 이동 + X축 회전 + Y축 회전 = 3개 구속

[2차 기준면] 두 번째 넓은 면에 2점

→ Y 이동 + Z축 회전 = 2개 구속

[3차 기준면] 마지막 면에 1점

→ X 이동 = 1개 구속

합계 6개 = 완전 구속

기준	몇 점	왜 그 면인가
1차	3점	가장 넓고 평평한 면. 넓을수록 안정
2차	2점	1차와 직각인 긴 면
3차	1점	남은 방향 하나만 막으면 됨

과잉구속(Over-constraint)이 왜 문제인가

"더 튼튼하게" 하려고 1차 기준면에 지지점을 4개 두면 어떻게 될까요.

평면에 4점 지지 → 소재가 어느 3점에 앉을지 알 수 없음
 → 누를 때마다 다른 조합으로 앉음 (덜컹거림)
 → 개체마다 높이·기울기가 달라짐

해결 : 지지점은 3점. 더 필요하면 "조절식 서포트(auxiliary support)"를 써서 소재가 앉은 뒤에 밑에서 받쳐 올립니다.

> 정밀도를 위한 지지는 3점, 힘을 받기 위한 보조 지지는 소재가 앉은 뒤에. 이 순서를 지키는 것이 지그 설계의 기본입니다.

3. 현장에서 쓰는 고정 수단

수단	원리	강점	약점
머시닝 바이스	고정조 + 이동조	가장 범용, 셋업 빠름	조 들림, 얇은 부품 변형
3爪 스크류척	3조가 동시 이동(자동조심)	원형 소재에 빠름	반복 정밀도 0.05~0.1mm
4爪 독립척	조를 하나씩 조절	편심·사각·비대칭 가능	인디케이터로 잡아야 함, 느림
콜릿척	원통 전체를 균일하게	정밀·고속, 봉재	지름별 콜릿 필요
소프트조	생가공해 소재 형상에 맞춤	진원도·반복성 최상	매번 가공 필요
마그네틱 테이블	자력으로 흡착	얇은 판, 상면 전체 개방	강자성체만, 측면력에 약함
진공척	대기압으로 누름	비자성·얇은 판·판재	싹 관리, 흡착력 한계
전용 지그(픽스처)	이 부품 전용 설계	셋업 30초, 재현성 최고	제작비·개정 대응

바이스에서 나는 문제 — 조 들림(Jaw Lift)

바이스를 조이면 이동조가 위로 살짝 기울어집니다

- 소재가 평행대에서 0.02~0.05mm 들림
- 가공 후 풀면 소재가 내려앉음
- 상면이 기울고 두께 치수가 틀림

대책

- 1) 소재를 물린 뒤 플라스틱 해머로 톡톡 쳐서 평행대에 얹힌다
- 2) 평행대를 손으로 밀어본다 — 움직이면 아직 안 앉은 것
- 3) 조 들림 보정된 정밀 바이스 사용
- 4) 물림 깊이를 5mm 이상 충분히

바이스 고정조 직각 잡기

다이얼 게이지를 주축에 물고 고정조 면을 따라 X축을 이동시킵니다. 0.01mm 이내로 맞춘 뒤 볼트를 조여요. 조인 뒤 다시 한 번 확인합니다 — 조 이면서 틀어지는 경우가 흔합니다.

척에서 나는 문제

- 척 렌치를 꽂아둔 채 기동 — 사망 사고로 이어지는 대표 유형입니다. 손을 떼면 렌치도 뻗다, 몸에 붙이세요.
- 물림 길이 부족 — 돌출 길이가 물림부 지름의 3배를 넘으면 심압대나 방진구로 지지합니다.
- 유압 척압 과다 — 얇은 링을 세게 물면 삼각형으로 눌립니다. 가공 후 풀면 진원도가 깨져 있어요. 척압을 낮추거나 접촉 면적이 넓은 소프트조를 쓰세요.

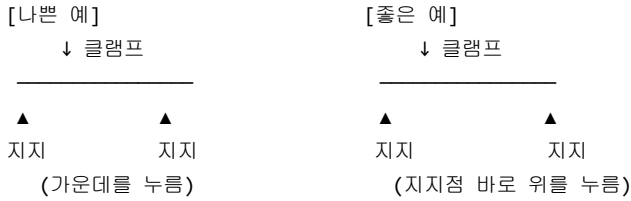
마그네틱 테이블

- 자력은 소재를 아래로 당기는 힘입니다. 옆으로 미는 힘에는 약해요. 반드시 백스톱(스토퍼)을 대고 절삭력이 스톱퍼 쪽으로 가게 방향을 잡습니다.
- 얇은 소재는 자속이 다 통과하지 못해 흡착력이 떨어집니다. 판재 사이에 자속을 이어주는 블록을 놓기도 해요.
- 가공 후 잔류자기가 남으면 칩이 달라붙어 다음 공정에서 상처가 납니다. 탈자기로 지우세요.
- 전자석식은 정전되면 흡착이 풀립니다. 영구자석식 또는 영전자석(전기로 켜고 끄되 자력은 영구자석)이 안전해요.

4. 클램프 위치가 변형을 만듭니다

이게 이 차시에서 가장 중요한 부분입니다.

원칙 1 — 클램프는 지지점 바로 위에



가운데를 누르면 소재가 활처럼 휩니다

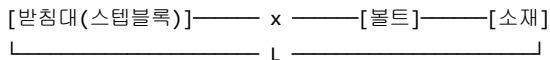
- 흰 상태로 평면을 깎음
- 클램프를 풀면 소재가 퍼지면서 가공면이 오목/볼록해짐

원칙 2 — 얇은 벽·링은 힘을 분산

3爪 척으로 얇은 링을 물면 세 군데가 눌러 **삼각형(3엽 형상)** 이 됩니다. 그 상태로 내경을 깎아 진원으로 만들어도, 풀면 다시 원래대로 돌아가 **내경이 삼각형**이 돼요.

대책	방법
척압 낮추기	절삭력이 견디는 최소값까지
소프트조	접촉 면적을 넓혀 면압을 낮춤
링 지그(스플릿 슬리브)	원주 전체를 감싸 균일하게
축방향 클램핑	반경 대신 끝면을 눌러 고정
정삭 전 재클램핑	황삭 후 풀었다 약하게 다시 물기

원칙 3 — 스트랩 클램프의 지렛대



소재를 누르는 힘 = 볼트 조임력 $\times x / L$

$L = 60\text{mm}$, 볼트가 받침대에서 40mm ($x=40$) → 볼트 힘의 0.67 배

볼트를 소재 쪽으로 옮겨 $x=50$ → 볼트 힘의 0.83 배

규칙

- 볼트는 소재에 가깝게
- 받침대 높이는 소재 상면과 같거나 아주 살짝 높게
(받침이 낮으면 클램프가 기울어 힘이 옆으로 새고, 소재를 밀어냅니다)
- 클램프 높이는 소재보다 낮게 → 공구와 부딪히지 않게

원칙 4 — 절삭력 방향을 읽으세요

페이스밀이 왼쪽에서 오른쪽으로 지나가면
 절삭력은 소재를 오른쪽으로 밀니다
 → 소재의 오른쪽에 스톱퍼(고정 기준)를 둡니다
 → 클램프에만 의존하면 소재가 밀려 나갑니다

바이스는 고정조가 기준입니다

- 절삭력이 고정조 쪽으로 향하게 가공 방향을 잡으세요

5. 고정 전에 반드시 하는 것

항목	안 하면
바이스·척·평행대의 칩 제거	0.05mm 뜯 채 가공 → 전량 치수 불량
기준면의 버(burr) 제거	버 하나가 소재를 들어 올림
소재 기준면 확인(황삭면 vs 정삭면)	거친 면을 기준으로 잡으면 재현성 없음
클램프가 공구 경로에 있는지 눈으로 훑기	충돌
척 렌치·바이스 핸들 제거 확인	기동 순간 비산 — 중대재해
물림 깊이 확인	절삭력에 소재가 빠져나감
첫 개(초물) 측정	고정 문제를 뒤늦게 발견

6. 외국인 근로자와 셋업을 공유할 때

E-9 동료가 셋업을 맡는 경우가 늘고 있습니다. 말로 설명한 셋업은 재현되지 않아요.

- 지그에 **위치결정 핀 자리와 클램프 조임 순서를 번호로 각인**해 두세요 (1 → 2 → 3)
- 클램프 규정 토크를 **숫자와 색 라벨**로 표시
- 셋업 사진을 A4로 뽑아 기계 옆에 부착 — 문장보다 사진이 확실합니다
- "알겠어요" 대신 **직접 한 번 물려보게 하고** 다이얼로 확인

체크리스트

- ☐ 1차 기준면을 **가장 넓고 평평한 면**으로 잡았다
- ☐ 지지점이 **3점**이다 (4점 이상 아님)
- ☐ 바이스·평행대·기준면의 **칩과 버를 제거**했다
- ☐ 평행대가 손으로 안 움직일 만큼 **소재가 앉았다**
- ☐ 클램프가 **지지점 바로 위**를 누른다
- ☐ 받침대 높이가 소재 상면과 같다
- ☐ 클램프 높이가 소재보다 낮아 **공구 경로와 안 겹친다**
- ☐ **척 렌치·바이스 핸들**을 뺐다
- ☐ 얇은 부품이면 척압·클램프 힘을 낮췄다
- ☐ 초물을 측정하고 반장 확인을 받았다

출처: 안전보건공단 — 공작기계 방호·고정작업 안전자료 (<https://www.kosha.or.kr>) · 한국기계연구원 — 정밀가공·계측 연구자료 (<https://www.kimm.re.kr>) · 한국폴리텍대학 — 치공구설계 훈련과정 (<https://www.kopo.ac.kr>)

현장에서 해볼 것

- 인서트 코드 해석 퀴즈
- 바이스 고정 후 직각도 측정

다축 CNC 가공 실무

5축 가공과 복합기 활용

배우는 것

- 5축 가공의 원리와 장점을 이해한다
- 복합 선반의 활용 방법을 안다

5축 가공이란?

3축+2축(인덱싱) vs 동시 5축의 차이, 적용 부품(임펠러, 터빈 블레이드 등)을 학습합니다.

3축은 "위치"만, 5축은 "자세"까지 정합니다

3축 머시닝센터도 공구 끝을 원하는 좌표로 정확히 보낼 수 있어요. 문제는 **공구가 항상 수직**이라는 겁니다. 소재가 어떻게 생겼든 위에서 아래로만 내려가요.

5축은 여기에 **회전축 2개**가 붙습니다. 그러면 공구 끝의 위치(X·Y·Z)와 **공구축이 향하는 방향(각도 2개)**을 따로 지령할 수 있게 돼요.

> 공간에서 막대기 하나의 방향을 정하려면 각도 2개면 충분합니다. 공구는 자기 축으로 도니까 세 번째 회전은 의미가 없어요. **그래서 5가 최소 개수**입니다. 6축·7축 기계는 가공을 위한 축이 아니라 로더·팔레트 같은 부가축인 경우가 대부분이에요.

항목	3축	5축
지령할 수 있는 것	공구 끝 위치	위치 + 공구 자세
접근 방향	위에서 아래 한 방향	임의 방향
6면 가공	3~4회 재물림	1회 물림으로 5면
깊은 벽면	공구를 길게 빼야 함	헤드를 기울여 짧은 공구로
언더컷(밑으로 파인 형상)	불가	가능
프로그램	수동도 가능	CAM 사실상 필수
충돌 시 피해	공구 파손	주축 헤드 파손 + 기하정밀도 재조정

1. 회전축 이름부터

회전축	무엇을 중심으로 도나
A축	X축을 중심으로 회전
B축	Y축을 중심으로 회전
C축	Z축을 중심으로 회전

5축은 이 셋 중 **2개**를 씁니다. 어느 2개인지, 그리고 그것이 테이블에 붙었는지 헤드에 붙었는지가 기계 성격을 결정해요.

기구 형식	회전축 위치	성격	부울경 적용 예
테이블/테이블 (트러니언형, 보통 A+C)	둘 다 테이블	강성 좋고 값이 싼. 적재 중량·크기 제한이 큼	김해·창원 소형 정밀부품, 항공 브래킷
헤드/헤드 (보통 B+C)	둘 다 주축 헤드	테이블은 고정 → 대형·중량물 가능	부산 조선기자재, 대형 밸브·플랜지
헤드/테이블 (보통 B는 헤드, C는 테이블)	하나씩	절충형. 중형 부품에 무난	창원 산업기계 하우징

> 중량물을 트러니언 테이블에 올리면 **회전축 모터가 버티지 못하거나, 견뎌도 각도 정밀도가 무너집니다**. 기계 사양서의 "테이블 최대 적재 중량"과 "경사 시 허용 중량"은 **다른 숫자**예요. 경사 시 값을 봐야 합니다.

2. 3+2와 동시 5축 — 완전히 다른 물건입니다

원본 제목에 "3축+2축(인덱싱)"이라고 붙은 그것이 **3+2 위치결정 5축**이에요.

[3+2 (인덱싱)]

- A축을 -30도로 돌린다 → 그 자리에서 잠근다(클램프)
- 그 뒤로는 그냥 3축 가공
- 다 깎으면 다시 각도를 바꿔 잠그고 3축 가공

[동시 5축]

- X, Y, Z, A, C 다섯 축이 한 블록 안에서 함께 움직인다
- 공구 끝이 곡면을 깎는 동안 자세도 계속 변한다

구분	3+2 (위치결정 5축)	동시 5축
회전축	각도 고정 후 클램프	절삭 중에도 연동
절삭 중 강성	높음 (회전축이 잠겨 있음)	낮음 (회전축이 살아 있음)
프로그램 난이도	낮음	높음 — RTCP 필수
CAM·포스트	비교적 단순	전용 포스트 + G코드 검증 필수
대상 형상	다면 가공, 경사 구멍, 경사면 포켓, 깊은 벽면	임펠러, 블리스크, 터빈 블레이드, 자유곡면, 언더컷
충돌 위험	중간	높음
도입 순서	여기서 시작	3+2가 안정된 뒤

> 5축 기계를 들여놓고도 실제로는 3+2만 쓰는 회사가 많습니다. 그런데 그게 잘못된 게 아니에요. 셋업 횟수가 절반 이하로 줄어드는 것만으로 이미 투자 회수가 됩니다. 처음부터 동시 5축을 목표로 잡으면 프로그램이 안 나와서 기계가 놀아요.

3. 5축의 이점은 세 가지입니다

이점 ① 공구를 짧게 쓸 수 있다 — 강성이 살아납니다

이게 현장에서 체감이 가장 큰 부분이에요.

$$\delta = F \times L^3 / (3 E I)$$

L = 공구 돌출 길이

돌출을 2배 늘리면 L^3 이 8배 → 같은 절삭력에 처짐 8배
돌출을 30% 줄이면 $0.7^3 = 0.343$ → 처짐이 1/3 수준

깊이 80mm 포켓의 옆면을 깎는다

3축 : $\phi 12$ 엔드밀을 95mm 빼야 바닥까지 닿음
5축 : 헤드를 30도 기울이면 같은 면을 돌출 45mm 로 접근

돌출비 $95 / 45 \approx 2.1$
처짐비 $2.1^3 \approx 9$ 배 차이

→ 채터가 안 나니 이송을 올릴 수 있고, 벽면 직각도가 살아남

볼엔드밀의 "중심 문제"도 같이 풀립니다. 볼엔드밀의 회전 중심은 절삭속도가 0이에요. 그 지점은 깎는 게 아니라 문지릅니다. 공구를 조금만 기울이면 그 지점이 절삭에서 빠져 면조도가 눈에 띄게 좋아져요.

이점 ② 셋업이 줄어 누적 오차가 줄어든다

6면 부품을 3축으로 (가정 예시)
OP10 상면 → OP20 뒤집기 → OP30 옆면 → OP40 반대 옆면 = 셋업 4회

셋업 1회당 원점 재설정 편차를 $\pm 0.02\text{mm}$ 로 보면
서로 다른 셋업에서 가공된 두 면 사이 위치도는
최악의 경우 0.04mm , 통계적으로도 $0.02 \times \sqrt{2} \approx 0.028\text{mm}$

준비 시간도 셋업 1회당 20~40분 → 4회면 하루 100분 이상이 준비에만

3+2 5축으로 1회 물림 5면 가공
면과 면 사이 관계에는 셋업 오차가 아예 없음
기계 회전축 정밀도(피벗 캘리브레이션)만 관리하면 됨

> 도면에 "A 기준면에 대한 직각도 0.02"처럼 면 사이 관계 공차가 걸려 있으면 3축 다회 셋업으로는 원리적으로 불리합니다. 이런 도면이 반복해서 들어오면 5축 검토 신호예요.

이점 ③ 언더컷을 깎을 수 있다

위에서 아래로만 접근하는 3축은 **밀으로 파인 형상**을 물리적으로 못 깎아요. 5축은 공구를 눌러 아래에서 위로 접근할 수 있습니다. 임펠러 날개 뿌리, 흡배기 포트 내부, 블레이드 사이 유로가 여기 해당합니다.

4. RTCP — 5축 프로그램의 심장

회전축이 돌면 공구 끝점이 원래 자리에서 밀려납니다. 회전 중심(피벗)과 공구 끝이 떨어져 있으니깐요. **기계가 X·Y·Z를 실시간으로 보정해 공구 끝 점을 지령한 자리에 붙들어두는 기능**이 RTCP입니다.

제어기	명칭
FANUC	G43.4 / G43.5 (공구중심점 제어)
지멘스(SINUMERIK)	TRAORI
하이덴하인	TCPM (M128 계열)

RTCP가 켜져 있으면:

- CAM은 공구 끝점 좌표 + 공구축 방향만 내보내면 됩니다 → 포스트가 단순해져요
- 공구 길이가 바뀌어도 프로그램을 다시 안 짭니다. 보정값만 갱신하면 됨
- 수동(핸들)으로 각도를 조금 틀어도 끝점이 유지돼요

> **RTCP는 옵션입니다.** 사양서에 "5축"이라고 적혀 있어도 RTCP가 빠진 기계가 있어요. 이 기계에 RTCP 코드를 내보내면 알람이 뜨거나, 더 나쁜 기계는 **보정 없이 엉뚱한 자리로 이동합니다.** "5축이니깐 당연히 있겠지"는 통하지 않아요. 계약서·사양서에서 **활성화된 옵션인지** 확인하세요.

RTCP가 없으면 CAM 포스트가 회전 후 좌표를 미리 계산해 넣어야 하는데(피벗 보상 출력), **공구 길이가 조금만 달라져도 프로그램 전체를 다시 뽑아야 합니다.** 실무 부담이 완전히 달라져요.

5. 어떤 부품에 쓰이나

부품	왜 5축인가	부울경
임펠러·블리스크	날개 사이가 좁고 뒤틀려 있음. 동시 5축 아니면 접근 자체가 안 됨	창원 펌프·압축기
터빈 블레이드	자유곡면 + 뿌리 언더컷	창원 발전설비
항공 구조물 (알루미늄 포켓, 티타늄 피팅)	얇은 벽 + 다면 + 높은 위치도 공차	사천·진주 항공부품 협력사
금형 코어·캐비티	깊은 벽면을 짧은 공구로. 방전가공 공정을 줄임	양산·김해 금형
다면 브래킷·하우징	3+2로 셋업만 줄여도 이득	창원·김해 산업기계
대형 밸브 바다·플랜지	경사 노즐 구멍, 다면 시트	부산 조선기자재

6. 5축의 충돌은 성격이 다릅니다

	3축 충돌	5축 충돌
부딪히는 것	대부분 공구 끝	주축 헤드·홀더·회전 테이블 전체
방향	주로 Z	전 방향. 예측이 어려움
피해	공구 파손, 소재 폐기	스핀들 교체 + 회전축 기하정밀도 재조정 + 장기 정지

그래서 5축에서 가장 위험한 순간은 자동 운전이 아니라 수동 조작이에요. 회전축을 몇 도만 돌려도 헤드 끝은 크게 움직입니다.

> 수동으로 각도를 바꿀 때는 반드시 Z를 안전높이까지 올린 뒤 돌리세요. 이걸 예외가 없습니다. 소재에 붙은 상태로 A축을 돌리다 헤드가 고정구를 치는 사고가 5축 도입 초기의 대표 유형이에요.

7. 함께 일하는 사람 관점

- 3축 오퍼레이터가 바로 5축을 다루지는 못합니다. 좌표 감각 + CAM 이해 + 충돌 예측이 같이 필요해요. 기계 도입 전에 프로그래머 1명을 먼저 교육시키는 순서가 안전합니다.

- 부울경 협력사 구조에서는 **모기업이 5축 가공품을 요구하면서 도면만 넘기는 경우가 많아요.** 기계값만 보고 결정하지 말고 프로그램·검증·교육 비용을 같이 잡으세요.
- E-9 외국인 근로자에게는 보통 소재 착탈과 셋업 보조를 맡깁니다. 이때 **"각도가 돌아가면 헤드가 크게 움직인다"** 는 것을 실물로 한 번 보여주세요. 3축 감각으로 접근하다 다칩니다. 말로만 설명하고 "알겠어요"를 믿으면 안 돼요.

체크리스트

- ☐ 우리 기계의 **회전축 조합(A+C인지 B+C인지)** 과 기구 형식을 안다
- ☐ 경사 상태에서의 **테이블 하용 중량**을 확인했다
- ☐ **RTCP 옵션이 실제로 활성화**되어 있는지 사양서로 확인했다
- ☐ **3+2부터 정착**시킨 뒤 동시 5축으로 넘어가는 계획인가
- ☐ 회전축 **각도 리밋(예: A -120도 ~ +30도)** 을 알고 있다
- ☐ 수동 각도 변경 전 **Z 안전높이 확보**가 몸에 배어 있다
- ☐ 도면에 **면 사이 관계 공차**가 걸려 있는지 먼저 본다

출처: 한국표준과학연구원 — 공작기계 기하정밀도·각도 측정 표준 (<https://www.kriss.re.kr>) · 국가기술표준원 — 공작기계 좌표축·운동 관련 KS 표준 (<https://www.kats.go.kr>) · 한국폴리텍대학 — 5축 가공·CAM 훈련과정 (<https://www.kopo.ac.kr>)

복합 선반

선반+밀링 기능이 통합된 복합기의 장점, 1회 셋업 완성의 효율을 배웁니다.

부품이 공장 안을 돌아다니는 시간이 원가입니다

유압 밸브 바디 하나를 만든다고 해봅시다. 3공정으로 나뉜 흔한 흐름이에요.

[선반]	외경·내경·나사 가공	가공 25분
↓	대차에 실어 이동, 대기	대기 2시간
[MC]	옆면 구멍·평면 밀링	가공 12분
↓	다시 물림 (뒤집기)	준비 30분
[선반]	뒷면 마감	가공 8분
실제 절삭 시간 45분		
공정 사이 대기·이동·재셋업 수 시간		
셋업 3회 → 원점 재설정 오차가 3번 쌓임		

복합선반(터닝센터)은 이 셋을 한 기계에서 끝냅니다. 봉재를 넣고 완성품을 받는 게 목표예요. 얻는 건 사이클타임 단축만이 아니라 **재고·중간품 관리·누적 오차가 통째로 사라지는 것**입니다.

1. 어떤 축이 붙었느냐로 등급이 갈립니다

축·장치	무엇을 하나	없으면 못 하는 것
C축	주축(척)을 각도로 제어 . 0.001도 단위 인덱싱·연동	원주 위 등분 구멍, 축 방향 키홈
구동공구(라이브 툴)	터렛에 달려 스스로 도는 밀링·드릴·탭	밀링 자체가 불가
Y축	공구를 중심선에서 벗어나게 이동	중심을 벗어난 평면·키홈·오프셋 구멍
B축	밀링 헤드가 선회	경사 구멍, 경사면. 여기부터 사실상 5축
대향주축(서브스핀들)	반대편에서 부품을 받아 뒷면 가공	뒤집어 다시 물려야 함
하부(제2) 터렛	두 공구 동시 절삭	사이클타임 단축
바피더	봉재 자동 공급	무인 연속 운전

C축만 있고 Y축이 없을 때 할 수 있는 것 / 없는 것

- 가능 : 중심을 지나는 키홈, 원주 등분 구멍(반경 방향), 단면 등분 구멍
불가 : 중심에서 15mm 옆으로 비껴난 평면
중심을 안 지나는 폭 10mm 키홈
→ 공구가 중심선 위에서만 움직이니 원리적으로 안 됨

> 견적을 받을 때 "복합기"라는 말만 보면 안 됩니다. 구동공구만 있는 선반, Y축까지 있는 터닝센터, B축 밀링헤드가 붙은 풀복합기는 가격도 가능한 형상도 전혀 달라요. 우리 도면에 필요한 축이 무엇인지 먼저 정리한 뒤 사양을 고르세요.

2. Y축이 있으면 무엇이 달라지나

Y축은 복합기의 가치를 가장 크게 바꾸는 축입니다.

Y축 없음	Y축 있음
구동공구는 중심선 위에서만 움직임	공구를 중심에서 옆으로 이동
오프셋 평면은 별도 MC 공정	한 번에 처리
엔드밀 측면 절삭이 제한적	정상적인 밀링 가공
편심 구멍 불가	가능

C축 + Y축 조합으로 회전체 옆면의 대부분 형상이 해결됩니다. 커넥터, 밸브 바디, 피팅류가 여기 딱 맞아요.

3. 대향주축 — 뒷면까지 한 번에

- [주주축] [대향주축]
- 척 = 소재 ————— ← 다가와서 받는다
- 1) 앞쪽 형상 완성
 - 2) 대향주축이 접근해 소재를 물음 (C축 위상 맞춤)
 - 3) 절단 공구로 컷오프
 - 4) 대향주축 쪽에서 뒷면 가공
 - 5) 완성품 배출 (파트캐처)

이게 "1회 셋업 완성"의 실체입니다. 사람이 소재를 다시 물리지 않으니:

- 앞뒤 동심도가 사람 손이 아니라 기계 정밀도로 결정됩니다
- 재물림 준비 시간이 0
- 야간 무인 운전이 가능해져요 (바피더 + 파트캐처)

> 인수 위상(C축 각도)이 어긋나면 뒷면 가공 위치가 앞면과 안 맞습니다. 앞면에 각도 기준(키홈·평면)이 있는 부품이면 인수 전 C축 동기화가 반드시 프로그램에 들어가야 해요.

4. 프로그래밍이 선반과 다른 점

복합기는 여러 개의 계통(채널)이 동시에 움직입니다. 주축계 터렛과 대향주축계 터렛이 각자 자기 프로그램을 돌아요.

채널 1 (주주축 · 상부 터렛)	채널 2 (대향주축 · 하부 터렛)
외경 황삭	대기
외경 정삭	대기
- 대기 코드 ————— 대기 코드 -	
(동기)	대향주축 접근·인수
컷오프	-
- 대기 코드 ————— 대기 코드 -	
다음 봉재 인출	뒷면 가공

- 대기 코드(웨이팅 코드)가 짝이 안 맞으면 한쪽은 서 있고 한쪽만 진행합니다. 최악의 경우 두 터렛이 같은 공간에서 만나 충돌해요.

- 상·하 터렛 **동시 절삭 구간**은 두 공구의 간섭 영역을 반드시 시뮬레이션해야 합니다.
- 절삭유·칩 배출 조건이 밀링과 선삭이 섞여 까다로워요. 특히 **긴 칩이 구동공구에 감기는** 것이 잦은 정지 원인입니다.

5. 도입 판단 — 기계값보다 이게 더 중요합니다

확인 항목	안 하면 벌어지는 일
우리 도면에 Y축·B축이 정말 필요한가	과잉 사양 구매. 안 쓰는 축에 값을 지불
다품종 소량인가, 소품종 다량인가	복합기는 셋업 시간이 깁니다. 로트가 너무 작으면 준비만 하다 끝남
프로그래머가 다채널을 다룰 수 있는가	기계는 왔는데 프로그램이 안 나옴
공구 수량 제한	터렛 자리가 부족해 결국 공정을 나눠야 함
고장 시 대체 기계	한 대에 전 공정을 몰면 그 기계가 서면 라인이 섬
설비투자 지원사업	자부담 부담으로 도입 자체가 미뤄짐

> "복합기 한 대가 선반 1대 + MC 1대를 대체한다"는 계산만으로 결정하면 위험합니다. 기계 한 대에 부하가 몰리면 가동률이 곧 납기예요. 고장·정기점검 때 대체 경로가 있는지 같이 봐야 합니다.

부울경 현장에서의 현실

- 김해·창원의 유압기·밸브·피팅 업체가 복합기 전환의 중심입니다. 회전체에 옆면 구멍·평면이 붙는 형상이 딱 맞아요.
- **인력난이 전환을 밀어붙이고 있습니다.** 선반 한 대, MC 한 대에 각각 사람이 붙던 것을 복합기 한 대로 줄이면 인원 배치가 달라져요.
- 다만 **모기업이 도면을 자주 개정하는 협력사 구조**에서는 복합기 프로그램 재작업 부담이 큼니다. 개정 빈도가 높은 품목은 복합기보다 공정 분리가 유리할 수 있어요.
- 조선기자재 쪽 대형 축·플랜지는 복합기보다 **대형 선반 + 별도 밀링**이 여전히 현실적인 경우가 많습니다. 크기가 복합기 사양을 넘어가요.

6. 안전 — 복합기 특유의 위험

- 구동공구가 도는 상태에서 주축도 돌 수 있습니다. 회전하는 것이 두 개예요. 어느 쪽이 도는지 화면으로 확인하는 습관이 필요합니다.
- **대향주축이 이동하는 구간**은 사람이 보기 어려운 기계 안쪽입니다. 도어 인터록을 무효화한 상태로 들여다보다 사고가 납니다. 이걸 **산업안전보건법**이 금지하는 방호조치 임의 해체에 해당해요.
- **긴 칩이 구동공구에 감기면** 정지 후 제거합니다. 칩훅을 쓰고 맨손으로 뜯지 마세요.
- 바피더 무인 운전 중에는 **봉재 잔재 길이**를 관리해야 합니다. 짧아진 잔재가 물림 길이를 못 채우면 소재가 빠져나와요.

체크리스트

- ☐ 우리 부품에 필요한 축이 **C축까지인지, Y축까지인지, B축까지인지** 정리했다
- ☐ 대향주축 인수 전 **C축 위상 동기화**가 프로그램에 있다
- ☐ 채널 간 **대기 코드**가 짝을 이루는지 확인했다
- ☐ 상·하 터렛 **동시 절삭 구간 간섭**을 시뮬레이션했다
- ☐ 터렛 **공구 자리 수**가 전 공정을 담을 수 있는지 계산했다
- ☐ 이 기계가 정지했을 때의 **대체 경로**가 있다
- ☐ 바피더 운전 시 **잔재 최소 길이** 기준이 정해져 있다

출처: 중소벤처기업진흥공단 — 중소기업 설비투자 지원사업 (<https://www.kosmes.or.kr>) · 스마트제조혁신추진단 — 공정통합·설비 고도화 사례 (<https://www.smart-factory.kr>) · 한국산업인력공단 — 컴퓨터응용가공·기계가공기능장 출제기준 (<https://www.hrdkorea.or.kr>)

현장에서 해볼 것

- 5축 시뮬레이션 소프트웨어 체험
- 복합기 프로그램 분석

금형 기초

대량 생산의 핵심, 금형

배우는 것

- 사출/프레스 금형의 구조를 이해한다
- 금형 관리의 기본을 안다

사출 금형 구조

고정측/가동측, 코어/캐비티, 런너/게이트, 이젝터 핀의 역할을 학습합니다.

금형을 모르면 불량 원인을 평생 못 찾습니다

사출 현장에 들어오면 처음 배우는 건 대개 성형 조건이에요. 온도 올려라, 압력 낮춰라, 시간 늘려라. 그런데 **조건을 아무리 만져도 안 잡히는 불량**이 있습니다. 웰드라인, 캐비티마다 다른 종량, 특정 자리에만 나는 버, 매번 같은 곳에 생기는 싱크마크.

이건 조건 문제가 아니라 **금형 구조 문제**예요. 구조를 알면 "조건으로 잡을 수 있는 것"과 "금형을 고쳐야 하는 것"이 구분됩니다. 그 구분이 되는 순간, 하루 종일 조건만 만지다 퇴근하는 일이 없어져요.

부울경은 자동차 부품 2·3차 벤더와 가전 사출업체가 몰려 있습니다. 대부분 **원청이 금형을 지급(사급)하고 협력사가 성형만** 하는 구조라, 금형을 마음대로 뜯을 수도 없어요. 그래서 더더욱 "구조를 읽고 원인을 지목하는 능력"이 필요합니다.

1. 금형은 두 덩어리로 갈라집니다

사출 금형은 **고정측과 가동측** 두 덩어리로 나뉘고, 그 사이가 벌어졌다 닫히면서 제품이 나옵니다. 갈라지는 면이 **파팅라인(PL)**이에요.

구분	고정측 (Cavity side)	가동측 (Core side)
사출기 어디에 붙나	고정반 — 노즐이 닿는 쪽	이동반 — 형체 실린더가 미는 쪽
주로 담당하는 형상	제품 바깥면(외관면)	제품 안쪽(속)
대표 부품	로케이트링, 스프루 부시, 캐비티판	코어판, 이젝터 플레이트, 이젝터 핀
열림 때 제품은	여기 붙으면 안 됨	여기 붙어야 정상

> **제품은 반드시 가동측(코어)에 붙어서 열려야 합니다.** 이젝터가 가동측에만 있기 때문이에요. 고정측에 붙어 버리면 뽑아낼 장치가 없어 제품이 금형에 남고, 그 상태로 다음 형체가 걸리면 **금형이 깨집니다**. 그래서 고정측은 매끄럽게, 가동측은 붙잡는 형상(구배 작게, 언더컷 미세하게)으로 설계해요.



캐비티와 코어라는 말이 헷갈리는데, 단순합니다.

- **캐비티(cavity)** = 움푹 팬 쪽. 제품의 **바깥 모양**을 만듭니다
- **코어(core)** = 튀어나온 쪽. 제품의 **속 모양(구멍, 안쪽 벽)**을 만듭니다

컵을 생각하면 쉬워요. 컵 바깥면은 캐비티가, 컵 안쪽 빈 공간은 코어가 만듭니다. 둘 사이의 틈이 곧 **제품 살두께**입니다.

2. 수지가 흘러가는 길 — 스프루·러너·게이트

녹은 수지는 노즐에서 나와 세 단계를 거쳐 제품 자리로 들어갑니다.

구간	역할	실무에서 보는 것
스프루(sprue)	노즐 → 금형 안으로 들어오는 세로 통로	뽑히기 쉽도록 아래로 갈수록 넓어지는 테이퍼. 표면이 거칠면 스프루가 안 빠짐
러너(runner)	각 캐비티로 나눠주는 가로 통로	단면은 원형이 가장 효율적. 사다리꼴이 가공은 쉬움
게이트(gate)	러너에서 제품으로 들어가는 좁은 입구	일부러 좁게 만들. 여기서 압력·속도·절단이 결정됨
콜드 슬러그 웰	러너 끝의 여유 공간	노즐 끝에서 식은 수지 덩어리를 여기서 잡아둠. 없으면 식은 덩어리가 제품으로 들어가 흑점·미성형

게이트를 왜 일부러 좁게 만드나요? 세 가지 이유가 있습니다.

1. 좁은 곳을 빠르게 통과하면서 **전단열로 수지가 다시 뜨거워져** 잘 흐릅니다
2. 게이트가 먼저 굳어야 **역류가 막히고** 보압이 제대로 걸립니다
3. 제품과 러너를 **떼어내기 쉽습니다**

게이트 종류	특징	흔한 적용
사이드 게이트	가장 기본. 제품 측면에 붙임	대부분의 일반 부품. 후가공으로 절단
핀포인트 게이트	아주 가늘게. 3단 금형에서 자동 절단	외관 중요 부품. 게이트 자국 작음
서브마린(터널) 게이트	파팅면 아래로 파고들어 진입	형개 시 자동 절단 . 2단 금형에서 자동화
다이렉트(스프루) 게이트	스프루가 곧장 제품에 붙음	대형 단일 제품. 자국이 크고 잔류응력 큼
팬 게이트 / 필름 게이트	넓게 퍼뜨려 진입	넓고 얇은 판. 변형 억제
밸브 게이트(하터너)	핀으로 열고 닫음	순차 제어 가능. 웰드라인 제어의 최종 수단

콜드러너 vs 핫러너

	콜드러너	핫러너
러너가	매번 같이 굳어서 나옴	금형 안에서 계속 녹아 있음
재료 손실	러너 분량만큼 발생 (분쇄 재사용)	거의 없음
금형 가격	저렴	비쌈 (매니폴드·히터·열전대)
관리	단순	히터 단선, 열전대 이상, 수지 탄화 관리 필요

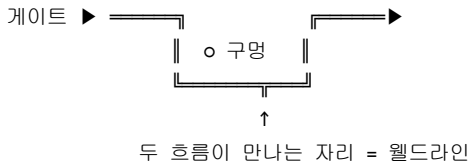
> 핫러너 금형에서 **특정 캐비티만 미성형**이 나면 성형 조건보다 **그 노즐의 히터·열전대**를 먼저 의심하세요. 온도가 낮은 노즐 하나가 그 캐비티만 못 채웁니다.

3. 게이트 위치가 제품 품질의 절반입니다

여기가 이 차시의 핵심이에요. 게이트를 어디에 뚫느냐가 **웰드라인 위치와 충전 균형을 결정합니다**. 그리고 이걸 금형을 다시 만들기 전에는 못 바꿉니다.

웰드라인이 생기는 원리

흐르던 수지가 **구멍, 보스, 인서트, 리브** 같은 장애물을 만나면 좌우로 갈라집니다. 갈라진 두 흐름은 장애물 뒤에서 다시 만나요. 그런데 만나는 순간, 두 흐름의 선단은 이미 금형 벽에 닿아 식어 있고 **표면에 얇은 껍질(스킨)**이 생긴 상태입니다.



- 선단은 이미 식음 → 분자가 서로 얹히지 못함
- 흐름 앞쪽 공기와 휘발분이 그 자리에 갇힘
- 겉으로는 가는 선, 속으로는 강도 저하

웰드라인은 보기 싫은 선이 아니라 강도 결함입니다.

- 유리섬유 강화 수지(PA6-GF30 등)는 특히 심각합니다. 섬유가 흐름 방향으로 배열되는데, 합류면에서는 섬유가 면을 가로지르지 못해요. **합류 부 강도가 모재 대비 크게 떨어집니다.**
- 착색제-필 안료가 들어간 수지는 합류면에서 **색이 다르게** 보입니다
- 나사 체결부, 하중 걸리는 리브 근처에 웰드라인이 오면 **사용 중 크랙**으로 이어집니다

대책은 세 층위로 나뉩니다

층위	방법	현실성
성형 조건	수지 온도 ↑, 금형 온도 ↑, 사출 속도 ↑, 보압 ↑	즉시 가능. 선이 없어지지만 없어지지 는 않음
금형 소폭 수정	합류부에 가스벤트 추가, 오버플로(도피부) 설치	웰드라인을 제품 밖으로 밀어냄
게이트 재설계	게이트 위치·개수 변경, 밸브게이트 순차 제어	근본 대책. 하지만 금형 대공사

> 웰드라인을 없앨 수는 없고 위치를 옮길 수만 있습니다. 그래서 설계 단계에서 "웰드라인이 반드시 생긴다면 어디에 두는 게 가장 덜 위험한가"를 정해요. 눈에 안 띄고 하중 안 걸리는 자리로 보냅니다.

충전 불균형 — 게이트가 만드는 또 하나의 문제

수지는 **게이트에서 가까운 곳부터, 두꺼운 곳부터** 채웁니다. 그래서 흐름 거리(flow length)가 다르면 채워지는 시점이 달라져요.

- 한 제품 안에서 불균형 → 먼 쪽에 미성형(쇼트샷), 가까운 쪽에 과충전으로 버(플래시)
- 다캐비티 금형에서 불균형 → 캐비티마다 제품 중량이 다름

다캐비티 금형은 러너를 **자연 밸런스(H형·대칭 배치)**로 짜는 게 원칙입니다. 모든 캐비티까지의 유로 길이를 똑같이 만드는 거예요. 공간이 안 나와 비대칭으로 짜면 **인공 밸런스**(먼 쪽 러너를 굵게)로 맞추는데, 이걸 조건이 바뀌면 다시 어긋납니다.

캐비티 밸런스 점검 — 솟샷 테스트

가장 확실한 진단법이에요. **사출량을 일부러 줄여** 덜 채워진 제품을 뽑아 보면 어디가 먼저 채워지는지 눈으로 보입니다.

[솟샷 테스트 절차]

- 1) 보압 0, 사출량을 정상 50%로 낮춰 성형
- 2) 60% → 70% → 80% → 90%로 단계별로 올리며 각 단계 제품 보관
- 3) 캐비티별로 나란히 놓고 채워진 정도를 비교

[4캐비티 금형 중량 편차 판정 예]

캐비티 1 : 24.6 g
 캐비티 2 : 25.1 g
 캐비티 3 : 25.0 g
 캐비티 4 : 23.8 g ← 눈에 띄게 가벼움

평균 = $(24.6 + 25.1 + 25.0 + 23.8) / 4 = 24.625 \text{ g}$

최대 편차 = $(25.1 - 23.8) / 24.625 \times 100 = 5.3 \%$

→ 통상 관리 목표는 캐비티 간 편차 2~3% 이내

→ 5.3%는 러너·게이트 불균형 또는 4번 게이트 막힘 의심

캐비티 4번만 계속 가벼우면 조건이 아니라 그 캐비티의 게이트 단면이 좁거나 막혔거나, 벤트가 막혀 가스가 안 빠지는 겁니다.

4. 이젝터 — 뽑아내는 장치

굳은 제품을 코어에서 밀어내는 장치입니다. 사출기의 이젝터 로드가 **이젝터 플레이트**를 밀면, 거기 꽂힌 핀들이 제품을 밀어내요.

종류	형태	쓰는 곳
이젝터 핀	둥근 막대	가장 기본. 대부분 여기서 해결
이젝터 슬리브	원통형. 보스를 감싸서 밀	보스(나사 자리) 주변
블레이드 핀	납작한 판	얇은 리브 밑
스트리퍼 플레이트	제품 둘레 전체를 판으로 밀	얇은 컵·용기. 자국이 안 남음
에어 밸브	압축공기로 띄움	깊은 박스형. 진공 불음 방지

핀 위치의 원칙

- **살이 두꺼운 곳, 리브·보스 바로 밑**에 놓습니다. 얇은 면을 밀면 뚫리거나 백화(흰 자국)가 생겨요
- **균등하게 배치**합니다. 한쪽만 밀면 제품이 기울며 빠지다 변형됩니다
- 외관면에는 놓지 않습니다. 이젝터 자국은 반드시 남아요

빠기 구배(draft) 도 이젝터와 한 세트입니다. 코어에 수직 벽이 있으면 아무리 밀어도 안 빠지거나 긁혀요. 최소 0.5~1도, **시보(텍스처)** 면은 더 크게 잡습니다. 시보가 깊을수록 필요한 구배가 커져요.

> 신입이 가장 많이 겪는 게 **제품이 안 빠져 라인이 서는 상황**입니다. 이때 드라이버로 쑤서 빼는 건 절대 금지예요. **코어면이 긁히면 그 자국이 이후 모든 제품에 전사**되고, 그때부터 금형 연마 공사입니다.

5. 냉각수로 — 사이클 타임의 주인

사출 사이클은 대체로 **충전 → 보압 → 냉각 → 형개·취출** 순인데, 이 중 **냉각이 가장 긴 구간**입니다. 냉각을 1초 줄이면 그 금형으로 만드는 모든 제품의 원가가 내려가요.

[사이클 타임 구성 예 - 살두께 2.5mm, PP]

형폐 1.0 초
사출·보압 3.5 초
냉각 14.0 초 ← 여기가 가장 큼
형개·취출 3.0 초

합계 21.5 초

냉각을 12.0 초로 2초 단축하면 → 19.5 초

연 20만 개 생산 시 $200,000 \times 2 \text{ 초} = 400,000 \text{ 초} \approx 111 \text{ 시간}$ 절감

수로 설계의 기본

항목	일반적 기준
수로 지름	8~12mm (금형 크기에 따라)
제품면과의 거리	수로 지름의 1~3배
수로 간 간격	수로 지름의 3~5배
냉각수 유동	난류가 되도록 유량 확보 (층류면 냉각 효율 급락)

코어 쪽이 항상 문제입니다. 캐비티는 넓은 판이라 수로를 넉넉히 파지만, 코어는 좁고 깊은 돌출부라 물길을 넣기 어려워요. 그래서 코어가 더 뜨겁고, 뜨거운 코어에 제품이 더 잘 달라붙습니다. 좁은 코어에는 **배플(칸막이)**이나 **버블러(분수형 관)**를 넣어 물을 억지로 돌립니다.

현장 점검 포인트

- 입·출구 온도차가 **3도 이내**인지 (차이가 크면 유량 부족)

- 금형 온도기 설정과 **실제 금형 표면온도**가 맞는지 (표면온도계로 확인)
- 수로가 **스케일·녹으로 막히지 않았는지** — 오래된 금형의 고질병입니다. 냉각 불균일 → 변형·힘으로 나타나요

6. 슬라이드 — 옆으로 걸린 형상 처리

금형은 위아래로만 열립니다. 그런데 제품에 **옆으로 튀어나온 구멍이나 후크**가 있으면 그대로는 못 빼요. 이것 **언더컷**이라고 합니다.

장치	작동 원리	쓰는 곳
슬라이드 코어	비스듬한 앵글러 핀 이 형개와 함께 슬라이드를 옆으로 후퇴시킴	측면 구멍, 측면 후크
로킹 블록(경사면 블록)	형폐 시 슬라이드를 사출압에 밀리지 않게 눌러줌	슬라이드와 한 세트
경사 이젝터(리프터)	이젝터가 밀리며 비스듬히 올라와 안쪽 언더컷을 벗김	제품 안쪽 언더컷
유압 실린더	앵글러 핀 대신 유압으로 구동	큰 슬라이드, 스트로크 긴 경우

> **슬라이드 사고는 금형을 깨뜨립니다.** 슬라이드가 덜 후퇴한 상태에서 형폐가 걸리거나, 슬라이드에 붙은 제품 조각이 끼인 채 닫히면 로킹 블록이나 앵글러 핀이 부러져요. 수리비도 크지만 **라인이 며칠 섭니다.** 슬라이드 금형은 형개 시 슬라이드가 끝까지 후퇴했는지, 미끄럼면에 윤활이 되어 있는지를 매 교체마다 확인하세요.

7. 불량과 금형 원인 대조표

불량	겉모습	금형 쪽 원인
미성형(쇼트샷)	끝부분이 안 채워짐	게이트 좁음, 벤트 막힘 (가스가 못 나가 수지가 못 들어감), 유로 길이 과다
버(플래시)	파팅라인에 얇은 막	파팅면 마모·이물, 형체력 부족, 캐비티 밸런스 불량
웰드라인	가는 선	게이트 위치 , 장애물 형상, 합류부 벤트 없음
싱크마크	두꺼운 살 뒤가 움푹	살두께 급변, 리브가 너무 두꺼움, 게이트가 너무 일찍 굳음
가스 탄 자국(디젤 효과)	끝단이 갈색으로 탐	벤트 부족 — 갇힌 공기가 단열압축돼 탐
힘·변형	뒤틀림	냉각 불균일(코어/캐비티 온도차), 이젝터 편심
이젝터 백화	핀 자리 흰 자국	핀이 얇은 면에 위치, 이젝터 힘 과다, 구배 부족
균형(스크래치)	측면 세로 흠	구배 부족, 코어면 손상 , 슬라이드 마모

첫 달 체크리스트

- ☐ 내가 돌리는 금형이 **몇 캐비티**인지 안다
- ☐ **게이트 종류와 위치**를 제품에서 짚을 수 있다
- ☐ 웰드라인이 어디에 생기는지 제품에서 찾을 수 있다
- ☐ 파팅라인·이젝터 자국을 제품에서 구분할 수 있다
- ☐ 냉각수 **입·출구 호스 연결 순서**를 안다
- ☐ 슬라이드가 있는 금형인지 없는 금형인지 안다
- ☐ 제품이 안 빠질 때 **드라이버로 쏘지 않는다**
- ☐ 캐비티별 중량을 재본 적이 있다

출처: 한국생산기술연구원 — 금형·사출성형 뿌리기술 지원 (<https://www.kitech.re.kr>) · 한국산업기술시험원 — 고분자·플라스틱 제품 시험평가 (<https://www.ktl.re.kr>) · 한국산업인력공단 — 사출금형 관련 국가기술자격 출제기준 (<https://www.hrdkorea.or.kr>)

프레스 금형 구조

상형/하형, 펀치/다이, 스트리퍼, 가이드 포스트의 구조를 배웁니다.

프레스 금형은 결국 "칼"입니다

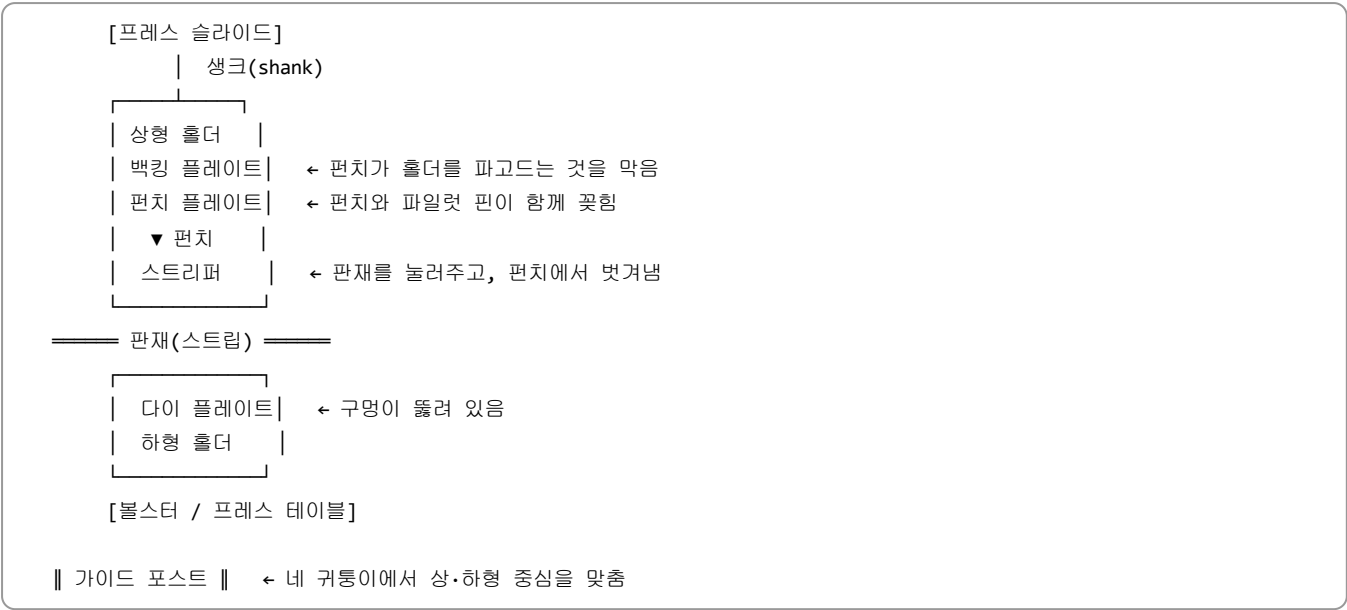
사출 금형이 봉어빵 틀이라면, 프레스 금형은 **가위이자 도장**이에요. 판재를 자르고, 뚫고, 구부리고, 늘입니다.

부울경에서 프레스는 어디에나 있습니다. 자동차 차체 패널과 브래킷, 조선기자재 보강판, 가전 판금, 건설기계 커버. 문제는 **프레스가 국내 제조 재해에서 손 끼임·절단 사고의 대표 설비**라는 점이에요. 구조를 모르면 위험한 조작을 위험한 줄 모르고 합니다.

그리고 하나 더. 프레스 금형은 "클리어런스"라는 눈에 안 보이는 틈 하나가 제품 품질과 금형 수명을 동시에 결정합니다. 이 차시의 절반은 그 틈 이야기예요.

1. 상형과 하형 — 다이세트가 뼈대입니다

위치	이름	주요 부품
상형(상다이)	프레스 슬라이드(램)에 붙어 오르내림	생크, 상형 홀더, 백킹 플레이트, 펀치 플레이트, 펀치, 스트리퍼, 파일럿 핀
하형(하다이)	프레스 볼스터(테이블)에 고정	하형 홀더, 다이 플레이트(다이 인서트), 스톱퍼(스톱 핀), 스크랩 배출구
공통	상·하형을 정렬	가이드 포스트 + 가이드 부시



각 부품이 왜 있는지 이유를 알아야 합니다.

부품	없으면 무슨 일이 생기나
가이드 포스트·부시	상·하형 중심이 어긋남 → 클리어런스가 한쪽으로 몰림 → 한쪽만 버가 커지고 펀치가 부러짐
백킹 플레이트	펀치 뒷면이 홀더 강재를 파고들어감 (펀치 침몰)
스트리퍼	펀치가 올라올 때 판재가 떨어 올라감. 다음 이송 불가, 금형 파손
스톱퍼(하형) / 파일럿 핀(상형)	판재 위치가 매번 달라짐 → 구멍 위치 산포
다이 인서트(분할형)	날끝이 상하면 다이 전체를 새로 만들어야 함

> **스톱퍼와 파일럿 핀은 붙는 자리가 다릅니다.** 스톱퍼는 하형에 고정되어 스트립을 대략의 위치에서 멈춰 세우고, 파일럿 핀은 상형(펀치 플레이트)에 끼워 슬라이드와 함께 내려오면서 앞 공정에서 뚫어둔 구멍에 들어가 위치를 정밀하게 잡아줍니다. 거친 위치잡이는 하형, 정밀 위치잡이는 상형이 한다고 기억하세요.

> **스트리퍼는 두 가지 일을 합니다.** 하나는 이름 그대로 펀치에서 판재를 벗기는 것, 또 하나는 절단 직전에 판재를 **눌러 붙잡는** 것입니다. 눌러주는 힘이 있으면 전단면이 깨끗해지고 제품 변형이 줄어요. 그래서 정밀 부품에는 스프링이나 우레탄으로 강하게 누르는 **가동 스트리퍼**를 씁니다.

2. 프레스 가공 4가지 — 무엇이 제품인지 헷갈리지 마세요

가공	무엇을 하나	제품은 어느 쪽	현장 주의점
블랭킹(blanking)	판재에서 원하는 외형을 오려냄	떨어져 나온 조각이 제품	다이 치수 = 제품 치수
피어싱(piercing)	구멍을 뚫음	구멍이 뚫린 판이 제품, 떨어진 건 스크랩	펀치 치수 = 구멍 치수
벤딩(bending)	구부림	구부러진 판	스프링백, 전개 길이
드로잉(drawing)	평판을 컵·박스 모양으로 늘임	성형된 용기	주름과 파단 사이의 좁은 창

부수 공정도 같이 나옵니다. **트리밍**(성형 후 가장자리 정리), **노칭**(가장자리 일부 절결), **세이빙**(전단면을 얇게 다시 깎아 매끈하게), **파인블랭킹**(전 두께가 광택 전단면인 초정밀 전단).

> 블랭킹과 피어싱은 물리적으로 똑같은 전단입니다. 다른 건 "떨어진 게 제품이나, 남은 게 제품이나"뿐이에요. 이게 다음 절의 치수 계산을 완전히 뒤집습니다.

3. 클리어런스가 전단면을 결정합니다

클리어런스는 펀치와 다이 사이의 편측 틈입니다.

$$\text{클리어런스(편측)} = (\text{다이 구멍 치수} - \text{펀치 치수}) / 2$$

관리는 판두께 t 에 대한 % 로 합니다.

전단면은 네 층으로 나뉩니다

펀치가 판재를 자를 때 위에서 아래까지 한 번에 잘리는 게 아니에요. 눌러다가, 밀려 잘리다가, 결국 찢어집니다.

펀치 ↓

다이

① 처짐(롤오버)

② 전단면(광택)

③ 파단면(거침)

④ 버(burr)

눌러 동글게 말린 부분

다이와 스치며 매끈하게 밀린 면

결국 찢어진 면

반대편 모서리에 삐죽 남음

이 네 층의 비율이 곧 클리어런스의 성적표입니다. 제품을 잘라 단면을 보면 클리어런스가 맞는지 바로 알 수 있어요.

클리어런스	전단면(광택) 비율	버	전단 하중	금형 수명	판정
과소(너무 좁음)	크지만 2차 전단면이 겹쳐 층이 짐	작지만 질김	높음	짧음 — 날끝 치핑, 펀치 파손	불리
적정	전체의 1/3 안팎, 매끈	균일하게 작음	표준	양호	목표
과대(너무 넓음)	작고 파단면 위주	크고 늘어짐(말림)	낮음	길지만 품질 불가	불리

버가 커졌다 = 클리어런스가 벌어졌다 = 날끝이 마모됐다. 이 연결이 프레스 금형 관리의 출발점입니다. 그래서 현장 관리 지표를 **버 높이**로 잡아요.

재질별 클리어런스 기준

재질	편측 클리어런스 (판두께 대비)
알루미늄·구리 (연질)	약 3~6%
연강(SPCC, SPHC)	약 5~8%
스테인리스(STS304)	약 7~11%
고장력강·규소강	더 크게 (재질 사양 확인 필수)
파인블랭킹	0.5% 이하 — 전 두께 광택면을 얻기 위해

두꺼운 판일수록 % 도 큰 쪽을 씁니다. 최종 값은 반드시 **금형 사양서와 실제 시타 결과**로 확정하세요.

실제 치수 계산 — 여기서 신입이 반드시 한 번 틀립니다

[조건] 판재 SPHC $t = 2.0$ mm, 편측 클리어런스 6%
편측 클리어런스 = $2.0 \times 0.06 = 0.12$ mm

■ 블랭킹 (오려낸 조각이 제품) → 다이를 제품 치수로
다이 구멍 = 50.00 mm ← 제품 치수 그대로
펀치 = $50.00 - (0.12 \times 2) = 49.76$ mm

■ 피어싱 (뚫린 구멍이 제품) → 펀치를 제품 치수로
펀치 = 20.00 mm ← 구멍 치수 그대로
다이 구멍 = $20.00 + (0.12 \times 2) = 20.24$ mm

기억법 : "제품이 되는 쪽에 치수를 주고, 클리어런스는 반대쪽에 준다"

이걸 거꾸로 하면 블랭킹 제품이 0.24mm 작게, 피어싱 구멍이 0.24mm 크게 나옵니다. 금형을 다 만든 뒤에 발견되는 실수라 손실이 커요.

전단 하중 — 프레스 능력을 정하는 계산

$$P = L \times t \times \tau$$

L = 전단 길이 (잘리는 윤곽의 총 길이, mm)

t = 판두께 (mm)

τ = 전단저항 (N/mm^2) $\approx$ 인장강도의 0.7~0.8 배

[예] SPHC t2.0, $\phi 50$ 블랭킹, $\tau \approx 300$ N/mm^2 로 가정

$$L = \pi \times 50 = 157.1 \text{ mm}$$

$$P = 157.1 \times 2.0 \times 300 = 94,260 \text{ N} \approx 9.6 \text{ tonf}$$

여기에 더해야 하는 것

스트리핑력 : 전단하중의 약 5~20% → 약 1.9 tonf

합계 : 약 11.5 tonf

안전율 1.3 : 약 15 tonf

→ 최소 20톤급 프레스 선정

※ τ 값은 재질·로트에 따라 달라집니다. 밀시트의 인장강도로
그때그때 환산하고, 회사 표준값을 따로 정해 두세요.

하중을 줄이는 방법도 알아두세요. 펀치 날끝에 전단각(세어각)을 주면 한 번에 다 잘리지 않고 순차적으로 잘려 최대 하중이 떨어집니다. 단, 각을 준 쪽이 휘므로 스크랩이 되는 쪽에 각을 주는 것이 원칙이에요.

4. 벤딩 — 스프링백과 전개 길이

스프링백

구부렸다 힘을 빼면 탄성 성분만큼 되돌아옵니다. 90도로 눌렀는데 92도가 나오는 현상이에요.

조건	스프링백
재료 강도가 높을수록	커짐 (고장력강은 특히 심함)
굽힘 반경 R이 클수록	커짐
판두께가 얇을수록	커짐

대책

- 오버벤딩 — 되돌아올 만큼 더 구부림. 가장 흔한 방법
- 보텀잉·코이닝 — 굽힘부를 강하게 눌러 소성변형을 확실히 줌

- 굽힘 반경을 작게

> 같은 금형인데 **로트가 바뀌자 각도가 틀어지는** 일이 흔합니다. 금형이 아니라 **재료 강도가 달라진** 것이예요. 프레스 금형 트러블의 상당수가 여기서 시작합니다. 각도 이상이 나면 재료 시험성적서(밀시트)부터 확인하세요.

최소 굽힘 반경과 압연 방향

굽힘 반경이 너무 작으면 바깥쪽이 늘어나다 **터집니다**. 그리고 판재에는 압연 방향(결)이 있어요.

> **굽힘선은 압연 방향과 직각**이 되게 잡습니다. 결과 나란하게 구부리면 균열이 잘 생겨요. 큰 블랭크에서 여러 방향으로 굽히는 부품은 **레이아웃 단계에서 결 방향을 지정**해야 합니다.

전개 길이 계산

$$L = A + B + BA \quad (A, B \text{는 접선까지의 직선 구간})$$

$$BA = \theta(\text{rad}) \times (R + K \times t) \quad K = \text{중립축 계수 (대략 } 0.33 \sim 0.45)$$

[예] $t = 2.0$, 내측 $R = 2.0$, 90도 굽힘, $K = 0.4$

$$\theta = \pi/2 = 1.5708 \text{ rad}$$

$$BA = 1.5708 \times (2.0 + 0.4 \times 2.0)$$

$$= 1.5708 \times 2.8$$

$$= 4.40 \text{ mm}$$

$A = 30.0$, $B = 20.0$ 이면

$$\text{전개 길이 } L = 30.0 + 20.0 + 4.40 = 54.40 \text{ mm}$$

K값은 재질·공법에 따라 달라집니다. **첫 로트에서 실측해 회사 표준값을 만들어 두는** 것이 실무예요.

5. 드로잉 — 주름과 파단 사이

평판을 컵으로 만드는 가공입니다. 블랭크 홀더로 판재 둘레를 눌러가며 펀치가 다이 안으로 밀어 넣어요.

불량	원인	대책
주름(플랜지 부위)	블랭크 홀더력 부족	홀더력 ↑, 드로우비드 추가
파단(펀치 R 근처)	홀더력 과다, 펀치 R 과소, 윤활 부족	홀더력 ↓, R 확대, 윤활 개선
이어링(귀 발생)	재료의 이방성	블랭크 형상 보정, 소재 변경
벽 두께 감소	드로잉률 과다	다단 드로잉으로 분할

$$\text{드로잉률 (한계 드로잉비)} = \text{블랭크 지름} / \text{펀치 지름}$$

1차 드로잉의 실용 한계는 대략 **1.8~2.0**
그 이상은 재드로잉으로 나눕니다.

[예] 블랭크 $\phi 100 \rightarrow$ 펀치 $\phi 40$ 컵을 만들려면
 $100 / 40 = 2.5 \leftarrow 1\text{차로는 불가}$
 1차 : $\phi 100 \rightarrow \phi 55$ (비 1.82)
 2차 : $\phi 55 \rightarrow \phi 40$ (비 1.38)

> **드로잉은 홀더력과 윤활이 전부**라고 해도 과언이 아니예요. 주름과 파단은 반대 방향의 대책이라, 조정이 한쪽으로 치우치면 곧바로 반대 불량이 납니다. 좁은 창을 찾는 작업이에요.

6. 순차이송(프로그레시브) 금형

한 금형 안에 여러 스테이션을 두고, 판재(스트립)를 한 피치씩 보내며 단계별로 가공해 마지막에 제품이 떨어지는 방식입니다.

요소	역할
스트립 레이아웃	어느 순서로 무엇을 할지 설계한 도면. 금형의 설계도이자 설명서
파일럿 핀	상형(핀치 플레이트)에 장착. 슬라이드와 함께 내려와 앞 공정에서 뚫은 구멍에 꽂혀 정확한 위치를 재확정
이송 피치	한 번에 보내는 거리. 피더 설정값
미스피드 감지 센서	소재가 덜 갔거나 스크랩이 남아 있으면 프레스를 정지

> 프로그레시브 금형에서 **미스피드 감지를 꺼놓고 돌리는** 것은 금형을 걸고 도박하는 것과 같습니다. 스크랩 한 조각이 다이 위에 남은 채 슬라이드가 내려오면 수천만 원짜리 금형이 그 한 타에 깨집니다.

부울경에서는 소형 부품 대량 생산이면 프로그레시브, 대형 차체 패널이면 **탠덤·트랜스퍼** 라인으로 나뉩니다.

7. 안전 — 프레스는 손이 잘리는 설비입니다

항목	내용
방호장치	양수조작식, 광전자식(광선식), 가드식. 임의 해체·무효화는 법 위반
안전블록	금형 교체·점검 시 슬라이드 아래에 반드시 삽입 . 유압·공압만 믿지 않음
급정지 성능	광전자식은 정지 시간과 안전거리가 맞아야 유효. 정기 확인
금형 교체	2인 이상, 전원 차단, 크레인·리프터 사용. 맨손으로 들다 손가락 끼임
금지 행동	슬라이드 하강 중 금형 사이에 손 넣기, 스크랩을 손으로 걷어내기, 양수 버튼을 테이프로 고정

> 프레스에서 손이 잘리는 상황은 대부분 "**소재가 뺄어져서 손으로 살짝 고치려던 순간**"입니다. 그 순간을 없애는 게 안전관리예요. 이송 불량이 반복되면 손으로 고치지 말고 **가이드·스톱퍼를 손보세요**. 반복되는 수작업 개입 자체가 위험 신호입니다. > > 외국인 근로자가 프레스를 조작하는 사업장이 많습니다. **작업 지시는 말이 아니라 그림과 실제 시연으로** 하고, 방호장치 사용법은 반드시 직접 해보게 한 뒤 확인하세요.

체크리스트

- ☐ 내 금형이 **블랭킹인지 피어싱인지** 구분한다 (어느 쪽이 제품인지)
- ☐ 버가 커지면 **클리어런스가 벌어진 것**임을 안다
- ☐ 제품 단면의 **처짐·전단면·파단면·버**를 눈으로 구분할 수 있다
- ☐ 스트리퍼와 가이드 포스트의 역할을 설명할 수 있다
- ☐ **스톱퍼는 하형, 파일럿 핀은 상형**이라는 것을 안다
- ☐ 벤딩 각도 이상 시 **재료 로트부터 확인**한다
- ☐ 미스피드 센서를 끄고 운전하지 않는다
- ☐ 금형 교체 시 **안전블록을 넣는다**
- ☐ 소재를 손으로 고치는 상황이 반복되면 **보고한다**

출처: 안전보건공단 — 프레스 방호장치·안전작업 자료실 (<https://www.kosha.or.kr>) · 국가기술표준원 — 판재가공·프레스 관련 KS 표준정보 (<https://www.kats.go.kr>) · 한국산업인력공단 — 프레스금형 관련 국가기술자격 출제기준 (<https://www.hrdkorea.or.kr>)

현장에서 해볼 것

- 금형 구조 단면도 분석
- 금형 점검 체크리스트

부록

현장에서 자주 나오는 말들입니다. 못 알아들었을 때 찾아보세요.

현장 용어집

제조 현장 공통 용어와 기계가공 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.

CNC Computer Numerical Control

컴퓨터 수치 제어. G코드로 프로그래밍하여 공작기계를 자동 운전하는 기술.

G코드 G-code

CNC 기계의 이동 명령어. G00(급속이동), G01(직선절삭), G02/G03(원호절삭) 등.

M코드 M-code

CNC 기계의 보조 기능 명령어. M03(주축 정회전), M08(절삭유 ON) 등.

CAM Computer Aided Manufacturing

CAD 데이터를 기반으로 CNC 가공 경로를 자동 생성하는 소프트웨어.

황삭 Roughing

큰 절입깊이로 빠르게 재료를 제거하는 가공. 치수 정밀도보다 속도가 우선.

정삭 Finishing

최종 치수와 표면거칠기를 맞추는 마무리 가공. 작은 절입깊이로 정밀하게 가공.

인서트 Insert

교체 가능한 절삭 날. 초경합금, 서멧, CBN 등 재질이 다양하며 코드로 규격을 표시한다.

BUE Built-Up Edge

구성인선. 절삭 시 피삭재가 공구 날에 달라붙는 현상. 가공면 불량 원인이 된다.

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.