60일 첫 번째 목표용 기초 전공서

기초부터 탄탄하게 화학 · 전기 · 반도체 · 로봇

중학교 기초에서 시작해 반도체 공장의 공정 · 장비 · 설비 엔지니어로 가는 첫 책

PART 1 화학 | PART 2 전기 · 전자 | PART 3 반도체 | PART 4 로봇 · 자동화



2026년 11월 · 사용자님 전용 교재 · 공부 도우미와 함께 쓰는 책

HTML판에서는 "움직이는 그림"이 자동으로 재생돼요. PDF판에서는 같은 그림이 단계별로 나란히 보여요.

이 책을 읽는 방법

이 책은 "처음 듣는 사람도 따라올 수 있게" 쓴 기초 전공서예요. 모든 장은 같은 순서로 되어 있어서, 익숙해지면 어디서 무엇을 봐야 할지 바로 알 수 있어요.

이 장의 목표
이 장을 마치면 할 수 있어야 하는 것

일상 비유
어려운 개념을 생활 속 장면으로 먼저 이해해요

용어 정리
처음 나오는 말의 뜻을 표로 정리해요

핵심 공식
반드시 외워야 할 식과 기호의 뜻

예제
풀이 과정을 단계별로 보여 줘요

비유가 깨지는 지점
비유를 너무 믿으면 틀리는 부분

현장 연결
반도체 공장, 장비, 자격증에서 어디에 쓰이는지

확인 문제
정답과 풀이는 각 PART 끝에 있어요

움직이는 그림 · 이렇게 생긴 상자

주황색 테두리 상자는 "움직이는 그림"이에요. HTML판에서는 ①→②→③ 순서로 자동 재생되고, PDF판에서는 단계가 나란히 인쇄돼요. 왼쪽에서 오른쪽으로 무엇이 바뀌는지 찾아보세요.

추천 공부 순서

책은 화학 → 전기 → 반도체 → 로봇 순서로 되어 있지만, 60일 플랜은 **전기(PART 2)부터** 시작해요. 전기가 가장 비어 있는 부분이고, 반도체와 로봇 모두의 토대이기 때문이에요. 아래 표대로 읽으면 플랜과 딱 맞아요.

60일 플랜	읽을 장
Day 1~7	2-1 → 2-2 → 2-3 → 2-4 → 2-5 (Day 5 단위 변환은 2-2), Day 6은 4-1 · 4-2
Day 8~14	1-1 → 1-2 → 1-3 → 1-4 → 1-5 → 1-6 → 1-7
Day 15~21	3-1 → 3-2 → 3-3 → 3-4 → 3-5
Day 22~28	3-6 → 3-7

Day 29~35	3-8 (진공은 1-5, 세정 약품은 1-7을 다시 보기), 2-6
Day 36~42	4-3 → 4-4 → 4-5 → 4-6
Day 43~49	4-6 (PLC 응용) → 4-7
Day 50~60	2-7 (안전), 부록 공식 모음, 각 PART 확인 문제 다시 풀기

함께 쓰면 좋은 것

같은 폴더의 **공부_도우미.html**에는 직접 조작할 수 있는 그림(원자 구조, 몰 변환, 반도체 도핑, 로봇 팔)과 계산기, 60일 체크리스트가 있어요. 책을 읽다가 막히면 도우미의 그림을 같이 움직여 보세요.

차례

PART 1 · 화학 기초

1-1 물질과 원자 구조

1-2 주기율표와 전자 배치

1-3 화학 결합

1-4 몰과 화학 반응식

1-5 기체의 성질과 진공의 기초

1-6 산화와 환원

1-7 용액, 농도, 산과 염기

PART 1 확인 문제 정답과 풀이

PART 2 · 전기 · 전자 기초

2-1 전하, 전압, 전류, 저항

2-2 옴의 법칙

2-3 직렬과 병렬 회로

2-4 전력과 전기 에너지

2-5 직류와 교류

2-6 축전기와 코일, 전자기 기초

2-7 측정과 전기 안전

PART 2 확인 문제 정답과 풀이

PART 3 · 반도체 소자와 공정

3-1 도체, 절연체, 반도체와 에너지 밴드

3-2 도핑과 캐리어

3-3 PN 접합과 다이오드

3-4 트랜지스터와 MOSFET

3-5 메모리 반도체

3-6 반도체 공정 1: 웨이퍼, 산화, 포토

3-7 반도체 공정 2: 식각, 증착, 이온주입

3-8 배선, CMP, 세정, 테스트·패키징 그리고 장비의 기초

PART 3 확인 문제 정답과 풀이

PART 4 · 로봇과 자동화

4-1 로봇을 위한 수학
4-2 힘, 토크, 운동
4-3 센서
4-4 모터와 구동
4-5 공압과 유압
4-6 시퀀스 제어와 PLC
4-7 산업용 로봇과 설비 보전
PART 4 확인 문제 정답과 풀이

부록

부록 A. 핵심 공식 모음
부록 B. 자주 쓰는 표

PART 1

화학 기초

이 부에서는 원자의 구조부터 주기율표, 화학 결합, 몰 계산, 기체 법칙, 산화와 환원, 용액과 농도까지 화학의 뼈대를 다시 세워요. 반도체 공장은 사실상 거대한 화학 공장이에요. 웨이퍼에 막을 키우고(산화, 증착), 깎고(식각), 씻는(세정) 모든 공정이 화학 반응과 기체, 용액으로 움직여요. 로봇과 설비 일을 하더라도 진공 장비, 공정 가스, 약품 안전을 이해하려면 이 기초가 꼭 필요해요.

- 1-1 물질과 원자 구조
- 1-2 주기율표와 전자 배치
- 1-3 화학 결합
- 1-4 몰과 화학 반응식
- 1-5 기체의 성질과 진공의 기초
- 1-6 산화와 환원
- 1-7 용액, 농도, 산과 염기

1-1 물질과 원자 구조

이 장의 목표

- 원자를 이루는 세 입자(양성자, 중성자, 전자)를 구분할 수 있어요.
- 원자번호와 질량수로 양성자, 중성자, 전자 수를 계산할 수 있어요.
- 이온과 동위원소가 무엇인지 설명할 수 있어요.

모든 물질은 원자로 되어 있어요

물, 공기, 실리콘 웨이퍼, 로봇 팔의 금속까지 모든 물질은 아주 작은 알갱이인 원자(atom)로 되어 있어요. 원자의 지름은 약 10^{-10} m(0.1 nm, 나노미터)예요. 머리카락 굵기에 원자가 수십만 개 넘게 나란히 들어갈 만큼 작아요.

같은 종류의 원자를 묶어서 부르는 이름이 원소(element)예요. 수소는 H, 산소는 O, 실리콘은 Si처럼 기호로 써요.

원자의 속: 원자핵과 전자

원자 한가운데에는 원자핵(nucleus, 원자의 중심 알맹이)이 있고, 그 주위를 전자(electron)가 둘러싸고 있어요. 원자핵은 다시 양성자(proton)와 중성자(neutron)로 되어 있어요.

- 양성자: + 전기(양전하)를 가져요.
- 중성자: 전기가 없어요(중성).
- 전자: - 전기(음전하)를 가져요. 질량은 양성자의 약 1/1836로 아주 가벼워요.

그래서 원자 질량의 거의 전부가 원자핵에 몰려 있어요. 그런데 원자핵의 지름은 원자 지름의 약 10만 분의 1밖에 안 돼요. 원자 속은 대부분 빈 공간이에요. 양성자 수와 전자 수가 같으면 +와 -가 상쇄되어(서로 지워져서) 원자 전체는 전기적으로 중성이에요.

일상 비유

원자가 축구장만큼 커졌다고 상상해 보세요. 원자핵은 축구장 한가운데 놓인 작은 구슬 하나 정도예요. 관중석 끝까지 아주 가벼운 전자들이 퍼져 있고, 나머지는 텅 빈 공간이에요. 그런데 축구장 전체 무게의 거의 전부가 그 작은 구슬에 몰려 있어요.

원자번호와 질량수

원자번호 Z는 양성자 수예요. 원소의 주민등록번호 같은 값이라서 양성자 수가 바뀌면 다른 원소가 돼요. 질량수 A는 양성자 수와 중성자 수를 더한 값이에요. 전자는 너무 가벼워서 질량수에 넣지 않아요. 원소 기호의 왼쪽 위에 질량수, 왼쪽 아래에 원자번호를 써서 $^{23}_{11}\mathrm{Na}$처럼 나타내요. 나트륨은 양성자 11개, 중성자 23 - 11 = 12개, 전자 11개예요.

이온과 동위원소

이온(ion)은 원자가 전자를 잃거나 얻어서 전기를 띠게 된 입자예요. 전자를 잃으면 +가 많아져 양이온(Na^+), 전자를 얻으면 -가 많아져 음이온(Cl^-)이 돼요. 이때 양성자 수는 그대로예요. 그래서 이온의 전자

수는 Z에서 전하를 빼서 구해요. Na^+는 11 - (+1) = 10개, Cl^-는 17 - (-1) = 18개예요.

동위원소(isotope)는 양성자 수는 같고 중성자 수가 다른 원자예요. 탄소-12($^{12}_{6}C$)는 중성자 6개, 탄소-14($^{14}_{6}C$)는 중성자 8개예요. 양성자 수가 같으니 둘 다 탄소이고, 화학적 성질도 거의 같아요.

용어 정리

용어	뜻
원자	물질을 이루는 기본 알갱이. 원자핵과 전자로 구성
원소	같은 종류(같은 양성자 수)의 원자를 부르는 이름
원자핵	원자 중심의 알맹이. 양성자와 중성자로 구성
양성자	+ 전하를 가진 원자핵 속 입자
중성자	전하가 없는 원자핵 속 입자
전자	- 전하를 가진 아주 가벼운 입자. 원자핵 주위에 있음
원자번호 Z	양성자 수. 원소를 구분하는 번호
질량수 A	양성자 수 + 중성자 수
이온	전자를 잃거나 얻어 전기를 띤 입자 (양이온, 음이온)
동위원소	양성자 수는 같고 중성자 수가 다른 원자

핵심 공식

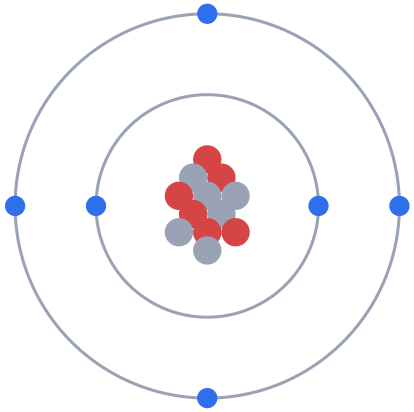
원자번호 **Z** = 양성자 수 = 중성 원자의 전자 수

질량수 **A** = 양성자 수 + 중성자 수

중성자 수 = **A** - **Z**

이온의 전자 수 = **Z** - 전하

Z: 원자번호, A: 질량수. 전하는 부호까지 넣어 계산해요. Na^+는 +1이라 11 - 1 = 10개, O^{2-}는 -2라 8 - (-2) = 10개예요.



$^{12}_{6}C$ (탄소-12)

질량수 A = 12 (양성자 + 중성자)
원자번호 Z = 6 (양성자 수)
중성자 수 = 12 - 6 = 6
전자 수 = 6 (중성 원자)

● 양성자 (+)　● 중성자 (전하 없음)
● 전자 (-), 안쪽 2개 + 바깥 4개

크기 비율은 실제와 달라요.
실제 원자핵은 원자보다 약 10만 배 작아요.

그림 1-1-1. 탄소-12 원자의 구조. 원자핵에 양성자 6개와 중성자 6개, 바깥에 전자 6개가 있어요.

움직이는 그림 · 나트륨 원자가 Na^+ 이온이 되는 과정



움직이는 그림 1-1-A. 나트륨 원자가 바깥 전자 1개를 잃고 Na^+ 이온이 돼요. 양성자 11개는 변하지 않고 전자만 11개에서 10개로 줄어요.

예제 1

$^{27}_{13}Al$(알루미늄) 원자의 양성자, 중성자, 전자 수를 구하세요.

풀이

① 양성자 수 = Z = 13개
② 중성자 수 = A - Z = 27 - 13 = 14개
③ 중성 원자이므로 전자 수 = 양성자 수 = 13개

예제 2

$^{35}_{17}Cl$ 원자가 전자 1개를 얻어 Cl^-이 되었어요. 양성자, 중성자, 전자 수는?

풀이

① 양성자 수는 이온이 되어도 그대로 17개
② 중성자 수 = 35 - 17 = 18개 (역시 그대로)
③ 전자 수 = Z - 전하 = 17 - (-1) = 18개

비유가 깨지는 지점

- 축구장 비유는 크기 비율(원자핵이 원자보다 약 10만 배 작음)을 느끼게 하려는 것이에요. 실제 원자는 축구장처럼 경계가 뚜렷하지 않아요.
- 그림처럼 전자가 동그란 길을 따라 도는 것이 아니에요. 전자는 어디에 있을 확률이 높은지만 말할 수 있어서 '전자구름'이라고 불러요. 껍질 그림은 이해를 돕는 단순화예요.

현장 연결

반도체 공정의 이온 주입(ion implantation)은 붕소(B)나 인(P) 원자를 이온으로 만들어 전기로 가속한 다음 웨이퍼 속에 박아 넣는 공정이에요. 플라스마 식각 장비도 이온과 전자를 다뤄요. 그래서 이온, 전자, 전하라는 말이 장비 매뉴얼과 반도체설비보전기능사 필기에 계속 나와요.

확인 문제

1. $^{16}_{8}O$(산소) 원자의 양성자, 중성자, 전자 수를 구하세요.
2. Mg^{2+} 이온(마그네슘, Z = 12)의 전자 수는 몇 개인가요?
3. 탄소-12와 탄소-14의 공통점과 차이점을 양성자와 중성자로 설명하세요.
4. 원자 질량의 대부분이 원자핵에 몰려 있는 이유를 한 문장으로 쓰세요.

1-2 주기율표와 전자 배치

이 장의 목표

- 1~20번 원소의 전자 배치를 2, 8, 8 규칙으로 쓸 수 있어요.
- 원자가 전자와 족, 주기의 관계를 설명할 수 있어요.
- 실리콘이 왜 14족이고 원자가 전자가 4개인지 설명할 수 있어요.

주기율표는 원소의 지도예요

원소를 원자번호 순서로 늘어놓고, 성질이 비슷한 원소끼리 같은 세로줄에 오도록 정리한 표가 주기율표예요. 가로줄을 주기(period), 세로줄을 족(group)이라고 해요. 같은 족의 원소는 화학적 성질이 비슷해요. 예를 들어 1족의 Li, Na, K는 모두 물과 세게 반응하고, 18족의 He, Ne, Ar은 거의 반응하지 않아서 비활성 기체라고 불러요.

전자 껍질과 전자 배치

전자는 원자핵 주위의 여러 층에 나뉘어 있어요. 이 층을 전자 껍질(shell)이라고 해요. 전자는 핵에 가까운 안쪽 껍질부터 채워요. 1~20번 원소는 첫째 껍질 2개, 둘째 껍질 8개, 셋째 껍질 8개를 채운 다음 넷째 껍질로 넘어간다고 기억하면 돼요. 이렇게 껍질마다 전자 수를 적은 것이 전자 배치예요.

예: Na(11) = 2, 8, 1 / Cl(17) = 2, 8, 7 / Ca(20) = 2, 8, 8, 2. 전자가 들어 있는 껍질 수가 곧 주기 번호예요. Na는 껍질이 3개라 3주기예요.

일상 비유

전자 껍질은 아파트 층과 비슷해요. 1층에는 2명, 2층과 3층에는 8명까지 살 수 있어요(1~20번 범위). 입주는 아래층부터 차례로 해요. 맨 위층에 사는 사람들이 이웃 원자와 교류(결합)하는 사람들이고, 이들이 원자가 전자예요.

원자가 전자와 족

가장 바깥 껍질에 있는 전자를 원자가 전자(valence electron)라고 해요. 화학 결합에 직접 참여하는 전자예요. 1족과 2족은 원자가 전자 수가 족 번호와 같고, 13~17족은 족 번호에서 10을 뺀 값이에요. 18족은 바깥 껍질이 꽉 차서 안정해요(He는 2개, 나머지는 8개). 원자가 전자 수가 같으면 화학적 성질이 비슷해요.

금속, 비금속, 그리고 실리콘

주기율표의 왼쪽은 금속이에요. 전자를 잃고 양이온이 되기 쉽고 전기가 잘 통해요. 오른쪽 위는 비금속이에요. 전자를 얻어 음이온이 되거나 전자를 나눠 써요. 경계에 있는 B, Si 같은 원소는 금속과 비금속의 중간 성질을 가져서 준금속(metalloid)이라고 해요.

실리콘 Si(14)의 전자 배치는 2, 8, 4예요. 껍질이 3개라 3주기, 원자가 전자가 4개라 14족이에요. 이웃 원자 4개와 전자를 하나씩 나눠 쓰며 단단한 결정을 만들어요. 같은 14족인 탄소(C)와 주기율표 아래쪽의 저마늄(Ge)도 원자가 전자가 4개예요.

용어 정리

용어	뜻
주기율표	원소를 원자번호 순으로, 성질이 비슷한 것끼리 세로줄에 모은 표
주기	주기율표의 가로줄. 전자 껍질 수와 같음
족	주기율표의 세로줄. 성질이 비슷한 원소 묶음
전자 껍질	전자가 들어가는 층. 안쪽부터 채움
전자 배치	껍질마다 전자가 몇 개 있는지 적은 것 (예: 2, 8, 4)
원자가 전자	가장 바깥 껍질의 전자. 결합에 참여
비활성 기체	18족. 바깥 껍질이 꽉 차서 거의 반응하지 않음
금속 / 비금속	전자를 잃기 쉬운 원소 / 전자를 얻거나 나누기 쉬운 원소
준금속	금속과 비금속의 중간 성질 (B, Si 등)

핵심 공식

```
껍질에 들어가는 전자 수 (1~20번): 2 → 8 → 8 → 나머지
주기 번호 = 전자 껍질 수
원자가 전자 = 족 번호          (1족, 2족)
원자가 전자 = 족 번호 - 10     (13~17족)
18족: 바깥 껍질이 꽉 참 (He 2개, 나머지 8개)
```

실리콘: Z = 14 → 2, 8, 4 → 껍질 3개(3주기), 원자가 전자 4개(14족).

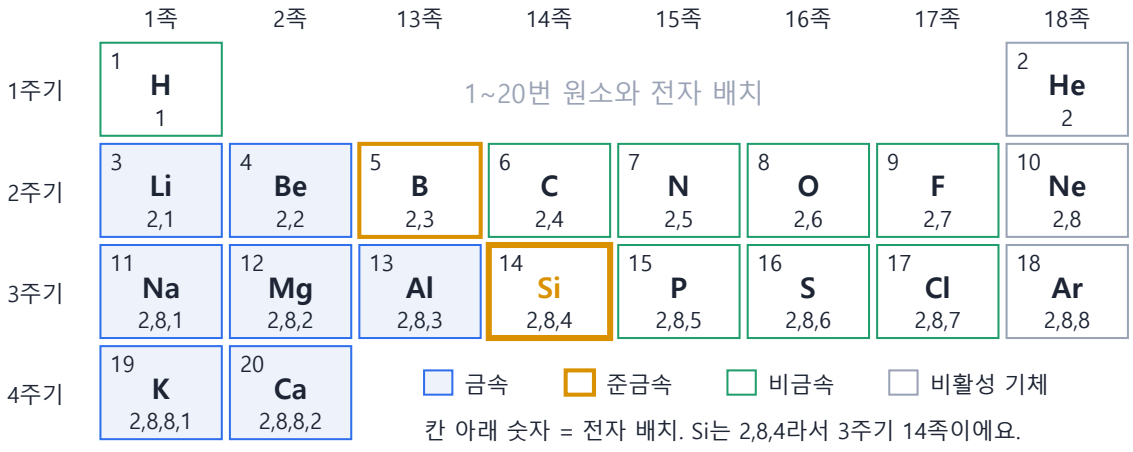


그림 1-2-1. 1~20번 원소의 주기율표. 세로줄(족)이 같으면 원자가 전자 수가 같아요.

움직이는 그림 · 전자가 껍질에 하나씩 채워지는 과정



① Li: 첫째 껍질 2개가 차고 둘째 껍질에 1개



② C: 둘째 껍질에 4개 (실리콘과 같은 14족)



③ Ne: 둘째 껍질 8개가 꽉 차서 안정 (비활성 기체)



④ Na: 셋째 껍질이 새로 열리고 1개 (Li와 같은 1족)

움직이는 그림 1-2-A. 원자번호가 커지면서 전자가 안쪽 껍질부터 채워져요. 주황색 점이 원자가 전자예요. 껍질이 하나 늘 때마다 주기가 하나 내려가요.

예제 1

황 S(Z = 16)의 전자 배치, 주기, 족, 원자가 전자 수를 쓰세요.

풀이

① 전자 16개를 2 → 8 → 나머지 순서로 채워요: 2, 8, 6
② 껍질이 3개 → 3주기
③ 바깥 껍질 전자 6개 → 원자가 전자 6개
④ 13~17족은 원자가 전자 + 10 = 족 번호 → 16족

예제 2

인 P(Z = 15)와 붕소 B(Z = 5)의 원자가 전자 수를 실리콘과 비교하세요.

풀이

① P: 2, 8, 5 → 원자가 전자 5개 (실리콘보다 1개 많음, 15족)
② B: 2, 3 → 원자가 전자 3개 (실리콘보다 1개 적음, 13족)
③ Si: 2, 8, 4 → 원자가 전자 4개 (14족)

비유가 깨지는 지점

- 2, 8, 8 규칙은 1~20번에서만 잘 맞아요. 실제로 셋째 껍질은 최대 18개까지 들어갈 수 있고, 21번 이후(전이 금속)는 채우는 순서가 복잡해져요. 대학에서는 오비탈(1s, 2s, 2p …)로 더 정확하게 배워요.
- 아파트 비유와 달리 전자는 층 안의 정해진 방 위치에 가만히 있지 않아요. 껍질은 에너지 수준을 나타내는 개념이에요.

현장 연결

반도체에 쓰는 원소는 주기율표 위치로 기억하면 쉬워요. 14족 Si가 웨이퍼(기판)이고, 13족 B를 넣으면 p형, 15족 P나 As(비소)를 넣으면 n형 반도체가 돼요(이런 첨가 원소를 도펀트라고 해요). 반도체설비보전기능사 필기에도 원자가 전자 수로 n형과 p형을 구분하는 문제가 자주 나와요.

확인 문제

1. Al(Z = 13)의 전자 배치와 원자가 전자 수를 쓰세요.
2. K(Z = 19)는 몇 주기 몇 족인가요?
3. Li, O, Na, S 중 원자가 전자 수가 같은 것끼리 두 쌍으로 묶으세요.
4. 실리콘이 14족인 이유를 전자 배치로 설명하세요.

1-3 화학 결합

이 장의 목표

- 이온결합, 공유결합, 금속결합의 차이를 전자의 움직임으로 설명할 수 있어요.
- 결합 종류에 따라 전기가 통하는지 아닌지 예상할 수 있어요.
- 실리콘 결정이 어떤 결합으로 이루어졌는지 알아요.

원자는 왜 결합할까요

원자는 바깥 껍질이 꽉 찬 상태(대부분 8개)가 되면 안정해져요. 이것을 옥텟 규칙(octet, 8을 뜻함)이라고 해요. 18족 비활성 기체처럼 되려고 원자들은 전자를 주고받거나 나눠 써요. 이렇게 원자끼리 붙는 것이 화학 결합이에요.

이온결합: 전자를 주고받아요

Na(2, 8, 1)는 전자 1개를 잃으면 2, 8이 되어 Ne와 같은 배치가 돼요. Cl(2, 8, 7)은 전자 1개를 얻으면 2, 8, 8이 되어 Ar과 같아져요. 그래서 Na는 Na^+, Cl은 Cl^-가 되고, 반대 전하끼리 정전기 인력(+와 -가 끌어당기는 힘)으로 붙어요. 이것이 이온결합이에요. 주로 금속과 비금속 사이에서 생겨요.

소금(NaCl) 고체는 Na^+와 Cl^-가 번갈아 규칙적으로 쌓인 결정(crystal, 원자나 이온이 규칙적으로 배열된 고체)이에요. 고체일 때는 이온이 제자리에 묶여 전기가 통하지 않지만, 녹이거나 물에 녹이면 이온이 움직일 수 있어 전기가 통해요.

공유결합: 전자를 나눠 써요

비금속끼리는 전자를 한 쌍씩 함께 써요. 이 전자쌍을 공유 전자쌍이라고 해요. 물(H_2O)에서 O는 원자가 전자가 6개라 2개가 더 필요하고, H는 1개만 더 있으면 He처럼 2개가 돼요. 그래서 O가 H 두 개와 각각 전자쌍 하나씩을 나눠 써요.

실리콘 결정에서는 Si 원자 하나가 이웃 Si 4개와 각각 전자쌍을 하나씩 나눠 써요. 원자가 전자 4개가 모두 결합에 쓰이고, 이것이 3차원으로 끝없이 이어져 단단한 그물 구조가 돼요. 다이아몬드(탄소)도 같은 구조예요. 순수한 실리콘은 전자가 결합에 묶여 있어 전기가 잘 통하지 않지만, 온도나 불순물에 따라 전도성이 크게 바뀌어요. 그래서 반도체라고 불러요.

금속결합: 자유전자가 돌아다녀요

금속 원자는 원자가 전자를 내놓고 양이온이 돼요. 내놓은 전자는 특정 원자에 묶이지 않고 금속 전체를 돌아다니는데, 이것을 자유전자라고 해요. 양이온들이 자유전자 사이에 묶여 있는 결합이 금속결합이에요. 자유전자 덕분에 금속은 고체 상태에서도 전기와 열이 잘 통하고, 두드리면 얇게 펴지고(전성) 당기면 길게 늘어나요(연성).

일상 비유

이온결합은 물건을 아예 건네준 사이예요. 준 쪽은 +, 받은 쪽은 -가 되어 서로 끌려요. 공유결합은 두 사람이 우산 하나를 함께 쓰는 사이예요. 우산(전자쌍)이 두 사람을 묶어 줘요. 금속결합은 마을 공용 자전거와 비슷해요. 자전거(전자)가 특정 집에 속하지 않고 마을 전체를 돌아다니며, 그 덕분에 마을(금속) 전체가 하나로 이어져요.

용어 정리

용어	뜻
화학 결합	원자끼리 전자를 주고받거나 나눠 써서 붙는 것
옥텟 규칙	바깥 껍질 전자 8개가 되면 안정해지는 경향
이온결합	양이온과 음이온이 정전기 인력으로 붙는 결합
정전기 인력	+ 전하와 - 전하가 서로 끌어당기는 힘
공유결합	원자끼리 전자쌍을 함께 써서 붙는 결합
공유 전자쌍	두 원자가 함께 쓰는 전자 2개
금속결합	금속 양이온과 자유전자 사이의 결합
자유전자	특정 원자에 묶이지 않고 움직이는 전자
결정	원자나 이온이 규칙적으로 배열된 고체
전기 전도성	전기가 통하는 정도

핵심 정리

이온결합: 금속 + 비금속 → 전자를 주고받음
고체는 전기 X, 녹이거나 물에 녹이면 전기 O
공유결합: 비금속 + 비금속 → 전자쌍을 나눠 씀
대부분 전기 X (실리콘은 조건에 따라 바뀌는 반도체)
금속결합: 금속 원자끼리 → 자유전자가 돌아다님
고체에서도 전기 O

전기가 통하려면 움직일 수 있는 전하(자유전자 또는 이온)가 있어야 해요. 이 한 가지로 세 결합의 전도성을 모두 설명할 수 있어요.



그림 1-3-1. 세 가지 화학 결합. 움직일 수 있는 전하(이온, 자유전자)가 있어야 전기가 통해요.

움직이는 그림 · Na와 Cl이 전자를 주고받아 결합하는 과정



움직이는 그림 1-3-A. Na의 바깥 전자 1개(주황)가 Cl로 옮겨 가고, 생긴 두 이온이 정전기 인력으로 붙어요. 가운데 원은 원자핵과 안쪽 껍질을 합쳐서 나타낸 거예요.

예제 1

MgO(산화마그네슘)는 어떤 결합인가요? 각 이온의 전하도 쓰세요. (Mg: Z = 12, O: Z = 8)

풀이

① Mg = 2, 8, 2 → 바깥 전자 2개를 잃으면 2, 8로 안정 → Mg^{2+}

② O = 2, 6 → 전자 2개를 얻으면 2, 8로 안정 → O^{2-}

③ 금속과 비금속이 전자를 주고받았으니 이온결합이에요.

예제 2

NaCl 고체, 구리 선, 얼음 중 고체 상태에서 전기가 잘 통하는 것은?

풀이

① NaCl 고체: 이온이 제자리에 묶여 있어 X
② 구리: 금속결합, 자유전자가 움직여 O
③ 얼음: 공유결합 분자(H_2O)라 움직이는 전하가 거의 없어 X
정답은 구리 선이에요.

비유가 깨지는 지점

- 실제 결합은 세 가지로 딱 나뉘지 않아요. 전자를 완전히 건네주는 것(이온결합)과 똑같이 나누는 것(공유결합) 사이에 중간 단계가 있어요. H_2O에서도 O가 전자쌍을 더 세게 끌어당겨서 한쪽으로 치우쳐요(극성 공유결합).
- 우산 비유는 공평하게 나눈다는 느낌을 주지만 실제로는 치우칠 수 있어요. 자유전자도 실제로는 양자역학으로 설명하는 대상이에요.

현장 연결

반도체 칩 안에는 세 결합이 함께 있어요. 실리콘 기판은 공유결합, 구리나 알루미늄 배선은 금속결합, 배선 사이를 막는 절연막 SiO_2는 공유결합 그물 구조라 전기가 거의 통하지 않아요. 배선은 전기가 잘 통해야 하고 절연막은 막아야 하므로, 결합 종류를 아는 것이 재료 이해의 출발점이에요.

확인 문제

1. KCl은 어떤 결합인가요? K와 Cl이 각각 어떤 이온이 되는지도 쓰세요. (K: Z = 19, Cl: Z = 17)
2. O_2, NaCl, H_2O, Fe 중 공유결합 물질 두 개를 고르세요.
3. 금속이 고체 상태에서도 전기가 잘 통하는 이유는 무엇인가요?
4. NaCl 고체는 전기가 안 통하는데 NaCl 수용액은 통하는 이유는 무엇인가요?

1-4 몰과 화학 반응식

이 장의 목표

- 원자량과 몰질량을 이용해 분자 하나의 몰질량을 구할 수 있어요.
- n = m / M, N = n × 6.02 × 10^{23}으로 질량, 몰, 입자 수를 바꿀 수 있어요.
- 반응식의 계수를 맞추고, 반응에 필요한 질량을 계산할 수 있어요.

원자는 너무 작아서 묶음으로 세요

연필 12자루를 1다스라고 부르듯, 화학에서는 6.02 × 10^{23}개를 1몰(mol)이라고 불러요. 이 수를 아보가드로 수라고 해요. 원자 한 개는 너무 가벼워서 저울로 잴 수 없지만, 1몰만큼 모으면 몇 g에서 몇십 g 정도가 되어 저울로 잴 수 있어요.

원자량과 몰질량

원자량은 탄소-12 원자의 질량을 12로 정하고, 다른 원자가 그 몇 배인지 나타낸 상대 질량이에요. 이 책에서 쓰는 값은 다음과 같아요.

원소	H	C	N	O	Na	Si	Cl
원자량	1	12	14	16	23	28	35.5

원자량 뒤에 g/mol을 붙이면 그 물질 1몰의 질량, 즉 몰질량 M이 돼요. Si의 몰질량은 28 g/mol이에요. 분자는 들어 있는 원자의 원자량을 모두 더해요. H_2O = 1 × 2 + 16 = 18 g/mol, SiO_2 = 28 + 16 × 2 = 60 g/mol, NaCl = 23 + 35.5 = 58.5 g/mol이에요.

일상 비유

은행은 동전을 한 개씩 세지 않고 무게로 세요. 예를 들어 동전 하나가 5 g이라면, 동전 더미가 500 g일 때 500 ÷ 5 = 100개라는 걸 바로 알 수 있어요. 원자도 같아요. 1몰 묶음의 무게(몰질량)를 알면, 질량을 재서 몇 몰인지, 몇 개인지 계산할 수 있어요.

질량 → 몰 → 개수

질량을 몰질량으로 나누면 몰수가 나오고, 몰수에 아보가드로 수를 곱하면 입자 수가 나와요. 반대로 가려면 나누기와 곱하기를 바꾸면 돼요(그림 1-4-1).

예를 들어 실리콘 28 g은 1 mol이고, 그 안에 Si 원자가 6.02 × 10^{23}개 들어 있어요. 같은 1 mol이라도 수소 기체(H_2)는 2 g, 산소 기체(O_2)는 32 g이에요. 개수는 같아도 입자 하나의 무게가 달라서 1몰의 질량이 달라지는 거예요.

화학 반응식과 계수 맞추기

반응이 일어나도 원자는 새로 생기거나 사라지지 않아요. 그래서 반응 전후의 원자 종류와 개수가 같아야 해요(질량 보존 법칙). 수소가 타서 물이 되는 반응을 맞춰 볼게요.

① $H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$: 왼쪽 O 2개, 오른쪽 O 1개라 안 맞아요.
② H_2O 앞에 2를 붙여요: $H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$. 이제 오른쪽 H가 4개예요.
③ H_2 앞에 2를 붙여요: $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$. H 4 = 4, O 2 = 2로 맞아요.

앞에 붙은 숫자(계수)는 몰수의 비율이에요. 2 mol H_2(4 g)와 1 mol O_2(32 g)가 반응해 2 mol H_2O(36 g)가 생겨요. 4 + 32 = 36으로 질량도 보존돼요. 실리콘이 산화되는 $Si + O_2 \rightarrow SiO_2$는 처음부터 계수가 모두 1이에요.

용어 정리

용어	뜻
원자량	탄소-12를 12로 정했을 때 원자의 상대 질량
분자량	분자를 이루는 원자량의 합 (예: H_2O = 18)
몰 (mol)	입자 6.02×10^{23}개 묶음
아보가드로 수	1몰에 들어 있는 입자 수, 6.02×10^{23}
몰질량 M	물질 1몰의 질량 (단위 g/mol)
화학 반응식	반응 전후 물질을 화학식과 화살표로 나타낸 식
계수	화학식 앞의 숫자. 몰수 비율을 나타냄
질량 보존 법칙	반응 전후 전체 질량이 같다는 법칙

핵심 공식

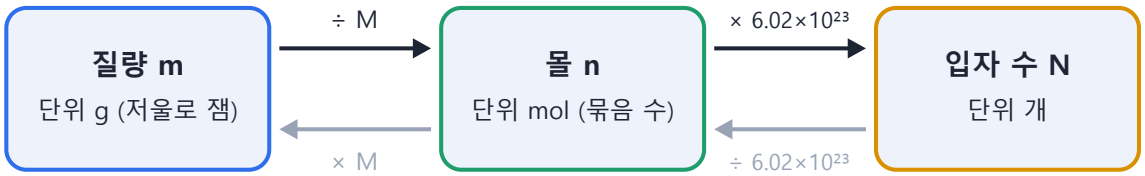
$n = m / M$

$N = n \times 6.02 \times 10^{23}$

몰질량 M = 화학식 속 원자량의 합 (g/mol)

n: 물질의 양 (mol), m: 질량 (g), M: 몰질량 (g/mol), N: 입자 수 (개). 반응식의 계수 비 = 몰수 비예요.

몰은 질량과 개수를 잇는 다리예요

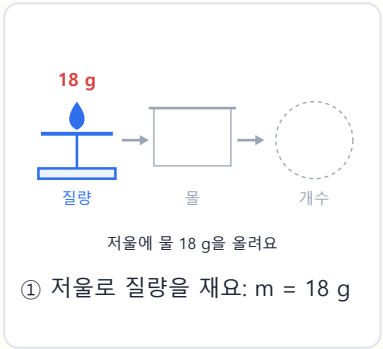


예: 물 18 g → 18 ÷ 18 = 1 mol → 1 × 6.02×10²³ = 6.02×10²³개 분자

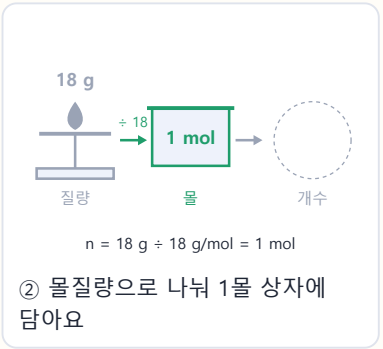
물의 몰질량 M = 1 × 2 + 16 = 18 g/mol

그림 1-4-1. 질량, 몰, 입자 수 사이의 변환. 오른쪽으로 갈 때는 위쪽 화살표, 왼쪽으로 돌아올 때는 아래쪽 화살표를 써요.

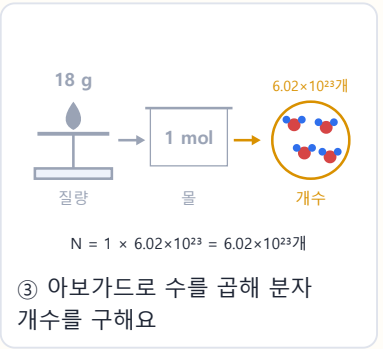
움직이는 그림 · 물 18 g을 몰과 분자 개수로 바꾸기



① 저울로 질량을 재요: m = 18 g



② 몰질량으로 나눠 1몰 상자에 담아요



③ 아보가드로 수를 곱해 분자 개수를 구해요

움직이는 그림 1-4-A. 물 18 g은 1 mol이고, 그 안에 물 분자가 6.02 × 10²³개 들어 있어요. 질량 → 몰 → 개수 순서로 바꿔요.

예제 1

물 36 g은 몇 mol이고, 물 분자는 몇 개인가요?

풀이

① H_2O의 몰질량 M = 1 × 2 + 16 = 18 g/mol

② n = m / M = 36 ÷ 18 = 2 mol

③ N = n × 6.02 × 10^{23} = 2 × 6.02 × 10^{23} = 12.04 × 10^{23} = 1.204 × 10^{24}개

예제 2

실리콘 14 g이 모두 $Si + O_2 \rightarrow SiO_2$ 반응을 했어요. 필요한 O_2의 질량과 생기는 SiO_2의 질량은?

풀이

① Si의 몰수 n = 14 ÷ 28 = 0.5 mol
② 계수가 모두 1이므로 O_2 0.5 mol, SiO_2 0.5 mol
③ O_2 질량 = 0.5 × 32 = 16 g
④ SiO_2 질량 = 0.5 × 60 = 30 g
확인: 14 g + 16 g = 30 g으로 질량이 보존돼요.

비유가 깨지는 지점

- 동전 비유는 동전 무게가 모두 같다고 가정해요. 실제 원소는 동위원소가 섞여 있어 원자 하나하나의 질량이 조금씩 달라요. 원자량은 그 평균값이라서 Cl처럼 35.5 같은 소수가 나와요.
- 반응식 계산은 반응물이 남김없이 반응한다고 가정한 값이에요. 실제 공정에서는 일부만 반응하기도 해서 수율(실제로 얻은 양의 비율)을 따로 따져요.

현장 연결

CVD(화학 기상 증착)처럼 기체 원료로 막을 만드는 공정에서는 원료 가스가 몇 몰 들어가야 원하는 막이 생기는지 몰 개념으로 계산해요. 장비 화면에서 보는 가스 유량 단위 sccm(분당 표준 상태 기준 cm^3)도 결국 1분에 들어가는 기체의 몰수를 나타내는 값이에요. 약품 조성 계산에도 몰질량이 계속 쓰여요.

확인 문제

1. NaCl 117 g은 몇 mol인가요?
2. CO_2 0.5 mol의 질량은 몇 g인가요?
3. 계수를 맞추세요: $N_2 + H_2 \rightarrow NH_3$
4. 실리콘 56 g이 모두 SiO_2가 되면 SiO_2는 몇 g 생기나요?

1-5 기체의 성질과 진공의 기초

이 장의 목표

- 압력의 뜻을 알고 Pa, atm, Torr 단위를 서로 바꿀 수 있어요.
- 보일 법칙, 샤를 법칙, PV = nRT로 기체의 부피, 압력, 몰수를 계산할 수 있어요.
- 반도체 공정에 진공이 왜 필요한지 설명할 수 있어요.

압력이란 무엇일까요

압력은 넓이 1 m²에 작용하는 힘이에요. P = F / A로 쓰고, 단위는 파스칼(Pa = N/m²)이에요. 기체의 압력은 수많은 기체 분자가 벽에 부딪히며 미는 힘에서 생겨요. 분자가 많을수록, 분자가 빠를수록(온도가 높을수록) 압력이 커져요.

우리가 사는 지표면의 공기 압력(대기압)을 1 atm(기압)이라고 해요. 1 atm = 101325 Pa = 760 Torr예요. Torr는 수은 기둥의 높이(mm)로 압력을 나타내던 단위라서, 1 atm이 수은 기둥 760 mm를 밀어 올린다는 뜻이에요. 1 Torr는 약 133 Pa이에요. 진공 장비에서는 Torr, mTorr(1/1000 Torr), Pa를 자주 써요.

보일 법칙과 샤를 법칙

보일 법칙: 온도가 일정하면 기체의 압력과 부피를 곱한 값이 일정해요(P × V = 일정). 부피를 절반으로 줄이면 분자가 벽에 두 배 자주 부딪혀 압력이 두 배가 돼요.

샤를 법칙: 압력이 일정하면 기체의 부피는 절대온도에 비례해요(V / T = 일정). 절대온도는 켈빈(K) 단위이고, K = °C + 273으로 바꿔요. 계산할 때 °C를 그대로 넣으면 틀리니 꼭 K로 바꿔야 해요.

이상 기체 방정식 PV = nRT

두 법칙과 몰수를 한꺼번에 묶은 식이 PV = nRT예요. R은 기체 상수로, 압력을 atm, 부피를 L로 쓰면 R = 0.082 L·atm/(mol·K)이에요. 이 식으로 0 °C(273 K), 1 atm에서 기체 1 mol의 부피를 구하면 V = 1 × 0.082 × 273 ÷ 1 ≈ 22.4 L가 나와요.

일상 비유

기체 분자를 버스 안에서 이리저리 움직이는 사람이라고 생각해 보세요. 사람 수는 그대로인데 버스가 작아지면 벽에 더 자주 부딪혀요(보일 법칙). 사람들이 신나서 더 빨리 움직이면(온도 상승) 벽을 더 세게 밀어서 공간이 넓어져야 해요(샤를 법칙). 거의 텅 빈 버스(진공)에서는 한 사람이 앞에서 뒤까지 아무와도 부딪히지 않고 걸어갈 수 있어요.

진공이 공정에 필요한 이유

진공은 아무것도 없는 상태가 아니라 대기압보다 압력이 낮은 상태를 말해요. 반도체 공정이 진공 챔버(밀폐된 작업 공간)에서 이루어지는 이유는 크게 세 가지예요.

① 오염 방지: 공기 속 산소, 수분, 먼지가 웨이퍼 표면을 더럽히거나 원하지 않는 반응을 일으켜요.
② 평균 자유 행로: 분자가 다른 분자와 부딪히기 전까지 평균적으로 날아가는 거리예요. 압력이

낮을수록 길어져서, 막을 만드는 원자나 이온이 중간에 방해받지 않고 웨이퍼까지 날아가요.
③ 플라스마: 식각, 증착에 쓰는 플라스마(기체가 이온과 전자로 쪼개진 상태)는 낮은 압력에서 안정적으로 만들기 쉬워요.

용어 정리

용어	뜻
압력	단위 넓이에 작용하는 힘 (P = F / A)
파스칼 Pa	압력의 SI 단위, 1 Pa = 1 N/m²
기압 atm	대기압 기준 단위, 1 atm = 101325 Pa
Torr	수은 기둥 1 mm 높이의 압력, 760 Torr = 1 atm
절대온도 K	켈빈 온도, K = °C + 273
보일 법칙	온도 일정 → PV 일정
샤를 법칙	압력 일정 → V / T 일정
이상 기체	분자 크기와 분자 사이 힘을 무시한 가상의 기체
진공	대기압보다 압력이 낮은 상태
평균 자유 행로	분자가 충돌 없이 날아가는 평균 거리. 압력이 낮을수록 길어짐

핵심 공식

$P = F / A$

$1\ \text{atm} = 101325\ \text{Pa} = 760\ \text{Torr}$

보일 법칙: $P_1V_1 = P_2V_2$ (T 일정)

샤를 법칙: $V_1 / T_1 = V_2 / T_2$ (P 일정, T는 K)

이상 기체: $PV = nRT$

P: 압력, V: 부피, T: 절대온도(K), n: 몰수(mol), R: 기체 상수 0.082 L·atm/(mol·K) (= 8.314 J/(mol·K)), F: 힘(N), A: 넓이(m²). 아래 첨자 1은 처음, 2는 나중 상태예요.

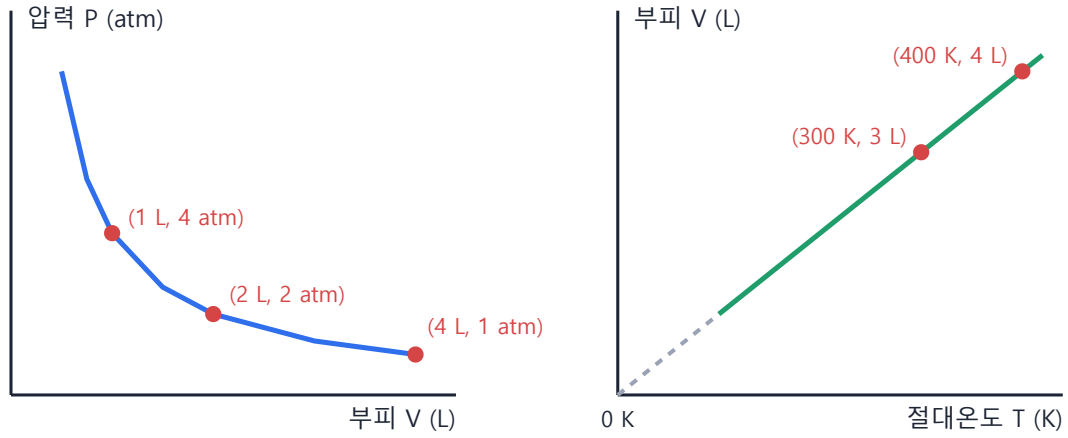
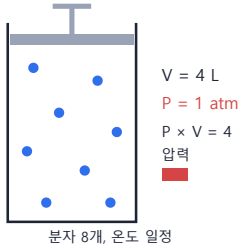
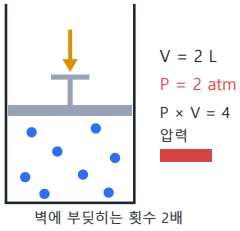


그림 1-5-1. 왼쪽: 온도가 일정할 때 부피가 줄면 압력이 커져요. 오른쪽: 압력이 일정할 때 부피는 절대온도에 비례해요 (점선은 실제 기체가 액체로 변해 맞지 않는 구간).

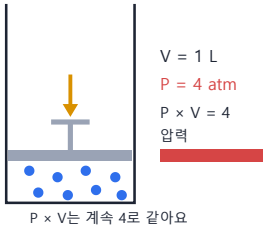
움직이는 그림 · 피스톤을 누르면 부피가 줄고 압력이 커지는 과정



① 처음 상태: 부피 4 L, 압력 1 atm



② 피스톤을 눌러 부피를 절반으로: 압력 2배



③ 부피를 1/4로: 압력 4배 (보일 법칙)

움직이는 그림 1-5-A. 온도와 분자 수가 그대로일 때 피스톤을 누르면 부피가 4 L → 2 L → 1 L로 줄고, 압력은 1 atm → 2 atm → 4 atm으로 커져요. 두 값의 곱은 항상 4예요.

예제 1

1 atm에서 6 L인 기체를 온도는 그대로 두고 3 L로 압축했어요. 압력은?

풀이

① 온도 일정 → 보일 법칙 $P_1V_1 = P_2V_2$

② $1 \times 6 = P_2 \times 3$

③ $P_2 = 6 \div 3 = 2$ atm

예제 2

진공 챔버의 압력이 152 Torr예요. 몇 atm이고 몇 Pa인가요?

풀이

① atm으로: 152 ÷ 760 = 0.2 atm

② Pa로: 0.2 × 101325 = 20265 Pa (약 2.03×10^4 Pa)

비유가 깨지는 지점

- 이상 기체는 분자 크기가 없고 분자끼리 끌어당기지 않는다고 가정해요. 압력이 아주 높거나 온도가 아주 낮으면 실제 기체는 이 식에서 벗어나요.
- 버스 속 사람과 달리 기체 분자는 스스로 방향을 정하지 않고, 부딪힐 때만 방향이 바뀌어요. 또 완벽한 진공(분자가 하나도 없는 상태)은 만들 수 없어서, 진공의 수준은 언제나 압력 숫자로 말해요.

현장 연결

증착(CVD, PVD), 식각, 이온 주입 장비는 모두 챔버를 진공으로 만든 다음 작업해요. 설비 엔지니어는 진공 펌프, 압력 게이지, 누설(leak, 바깥 공기가 새어 들어오는 것) 점검을 매일 다뤄요. 반도체설비보전기능사 필기에도 압력 단위 환산과 진공 펌프 관련 문제가 나와요.

확인 문제

1. 2 atm은 몇 Pa이고 몇 Torr인가요?
2. 4 L, 2 atm인 기체를 온도 일정하게 1 L로 압축하면 압력은 몇 atm인가요?
3. 27 °C에서 3 L인 기체를 압력 일정하게 127 °C로 데우면 부피는 몇 L인가요?
4. 0 °C(273 K), 1 atm에서 44.8 L인 기체는 몇 mol인가요? (R = 0.082 L·atm/(mol·K))

1-6 산화와 환원

이 장의 목표

- 산화와 환원을 산소, 전자, 산화수 세 가지 기준으로 설명할 수 있어요.
- 간단한 화합물에서 원소의 산화수를 계산할 수 있어요.
- 실리콘 열산화와 녹슬기를 산화·환원으로 이해하고 산화제, 환원제를 구분할 수 있어요.

산소와 전자로 보는 산화와 환원

가장 쉬운 정의는 산소예요. 물질이 산소를 얻으면 산화(oxidation), 산소를 잃으면 환원(reduction)이에요. Si + O_2 → SiO_2에서 실리콘은 산소를 얻었으니 산화됐어요. CuO + H_2 → Cu + H_2O에서 CuO는 산소를 잃고 구리로 환원됐고, H_2는 산소를 얻어 산화됐어요.

더 넓은 정의는 전자예요. 전자를 잃으면 산화, 전자를 얻으면 환원이에요. $Na \rightarrow Na^+ + e^-$는 산화, $Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$는 환원이에요. 이 정의를 쓰면 산소가 없는 반응도 설명할 수 있어요. 한쪽이 잃은 전자를 다른 쪽이 받기 때문에, 산화와 환원은 항상 동시에 일어나요.

일상 비유

산화·환원은 돈을 주고받는 거래와 같아요. 전자(돈)를 내준 쪽은 산화, 받은 쪽은 환원이에요. 누군가 돈을 내주면 반드시 누군가 받으니, 산화만 혼자 일어나는 일은 없어요. 깎아 둔 사과가 갈색으로 변하는 것, 철이 녹스는 것도 생활 속 산화예요.

산화수 기초

산화수는 원자가 전자를 얼마나 잃었는지(+) 또는 얻었는지(-)를 나타내는 계산용 숫자예요. 다음 규칙으로 구해요.

① 원소 상태(Si, O_2, Fe, H_2)는 0이에요.
② 화합물 전체의 산화수 합은 0, 이온은 그 이온의 전하와 같아요.
③ 화합물 속 O는 보통 -2, H는 보통 +1이에요.
④ 화합물 속 1족 원소는 +1, 2족 원소는 +2예요.

SiO_2의 Si 산화수를 x라고 하면 $x + 2 \times (-2) = 0$이라 $x = +4$예요. 반응 전 Si는 0이었으니 0 → +4로 산화수가 늘었어요(산화). O는 0 → -2로 줄었어요(환원). 산화수가 늘면 산화, 줄면 환원이에요.

산화제와 환원제, 그리고 녹

산화제는 상대를 산화시키고 자신은 환원되는 물질이에요. 환원제는 상대를 환원시키고 자신은 산화되는 물질이에요. Si + O_2 → SiO_2에서 O_2가 산화제, Si가 환원제예요. 철이 녹스는 반응은 간단히 $4Fe + 3O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3$로 써요. Fe는 0 → +3으로 산화되고, O_2가 산화제예요. 실제 녹은 물이 함께 있어야 잘 생기고 성분도 더 복잡해요.

실리콘 열산화

실리콘 웨이퍼를 높은 온도(대략 800~1200 °C)의 산소나 수증기 속에 두면 표면에 SiO_2 막이 자라요. 이것이 열산화예요. 산소를 쓰면 건식 산화($Si + O_2 \rightarrow SiO_2$), 수증기를 쓰면 습식 산화($Si + 2H_2O \rightarrow SiO_2 + 2H_2$)예요. 습식은 빨리 자라고, 건식은 느리지만 막이 더 치밀해요. 산화막은 실리콘을 먹으면서 자라기 때문에, 막 두께의 약 44%만큼 원래 표면 아래의 실리콘이 소모돼요. 산소는 이미 생긴 막을 뚫고 실리콘과의 경계(계면)까지 가야 반응하므로, 막이 두꺼워질수록 자라는 속도가 느려져요.

용어 정리

용어	뜻
산화	산소를 얻음 = 전자를 잃음 = 산화수 증가
환원	산소를 잃음 = 전자를 얻음 = 산화수 감소
산화수	원자가 전자를 잃거나 얻은 정도를 나타내는 계산용 숫자
산화제	상대를 산화시키고 자신은 환원되는 물질 (예: O_2)
환원제	상대를 환원시키고 자신은 산화되는 물질 (예: H_2, Si)
열산화	고온에서 실리콘 표면에 SiO_2 막을 키우는 공정
건식 / 습식 산화	O_2를 쓰는 산화 / 수증기(H_2O)를 쓰는 산화
계면	서로 다른 두 물질이 맞닿은 경계면
절연막	전기가 통하지 않게 막는 얇은 층 (예: SiO_2)

핵심 공식

산화 = 산소 얻음 = 전자 잃음 = 산화수 증가

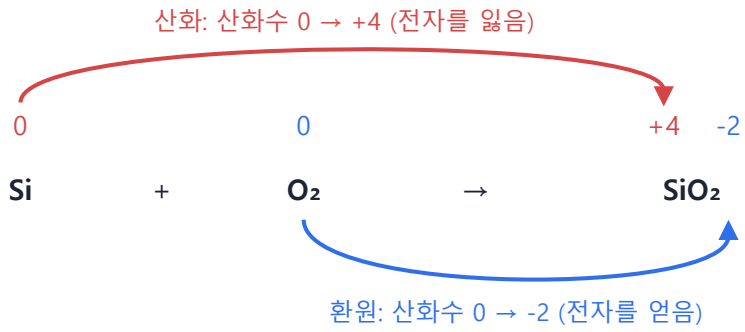
환원 = 산소 잃음 = 전자 얻음 = 산화수 감소

화합물의 산화수 합 = 0 (이온은 그 전하)

건식 산화: $Si + O_2 \rightarrow SiO_2$

습식 산화: $Si + 2H_2O \rightarrow SiO_2 + 2H_2$

산화수 계산은 O = -2, H = +1을 먼저 넣고, 합이 0(이온이면 전하)이 되도록 나머지 원소의 값을 정해요.



Si = 환원제
자신은 산화되면서 O_2를 환원시켜요

O_2 = 산화제
자신은 환원되면서 Si를 산화시켜요

그림 1-6-1. 열산화 반응의 산화수 변화. 원소 위의 숫자가 산화수예요. Si는 산화되고 O는 환원돼요.

움직이는 그림 · 실리콘 표면에 산화막이 자라는 과정



움직이는 그림 1-6-A. 열산화가 진행되면 SiO_2 막(초록)이 두꺼워지고, 실리콘과의 경계(계면)는 원래 표면(점선)보다 아래로 내려가요.

예제 1

녹의 주성분인 Fe_2O_3에서 Fe의 산화수는?

풀이

① Fe의 산화수를 x, O는 -2로 둬요.
② 합이 0: $2x + 3 \times (-2) = 0 \rightarrow 2x = 6$
③ $x = +3$. 철(0)이 +3이 되었으니 산화된 거예요.

예제 2

$CuO + H_2 \rightarrow Cu + H_2O$에서 산화된 물질, 환원된 물질, 산화제, 환원제를 쓰세요.

풀이

① Cu의 산화수: CuO에서 +2 → Cu에서 0 (감소) → CuO가 환원됨
② H의 산화수: H_2에서 0 → H_2O에서 +1 (증가) → H_2가 산화됨
③ 상대를 산화시킨 CuO가 산화제, 상대를 환원시킨 H_2가 환원제예요.

비유가 깨지는 지점

- 돈 비유는 전자가 한 원자에서 다른 원자로 통째로 옮겨 가는 그림이에요. 하지만 SiO_2, H_2O 같은 공유결합 물질에서는 전자가 완전히 넘어가지 않고 O 쪽으로 치우칠 뿐이에요.
- 그래서 산화수는 모두 이온이라고 가정했을 때의 전하라는 계산용 약속이에요. SiO_2 속 Si 원자가 실제로 +4 전하를 띠고 있는 것은 아니에요.

현장 연결

열산화는 게이트 산화막처럼 소자의 핵심 절연막을 만드는 기본 공정이고, 퍼니스(furnace, 고온 열처리로) 장비에서 진행해요. 설비 엔지니어는 온도, 가스 유량, 산화막 두께 측정값을 관리해요. 금속 배선의 부식도 산화 반응이라 수율(정상 칩 비율)에 영향을 주기 때문에, 산화·환원 개념은 현장에서 계속 나와요.

확인 문제

1. SiO_2에서 Si의 산화수는 얼마인가요?
2. H_2SO_4(황산)에서 S의 산화수를 구하세요.
3. $2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$에서 산화된 물질과 산화제를 쓰세요.
4. 열산화로 SiO_2 막을 100 nm 키웠어요. 원래 표면 아래로 소모된 실리콘 부분은 대략 몇 nm 깊이인가요? (막 두께의 약 44% 기준)

1-7 용액, 농도, 산과 염기

이 장의 목표

- 용질, 용매, 용액을 구분할 수 있어요.
- 퍼센트 농도, 몰농도, ppm을 계산할 수 있어요.
- pH의 뜻과 반도체 세정 약품의 역할, 안전 수칙을 알아요.

용액은 고르게 섞인 물질이에요

소금을 물에 넣으면 녹아서 눈에 보이지 않게 고르게 섞여요. 이때 녹는 물질(소금)을 용질, 녹이는 물질(물)을 용매, 섞여서 만들어진 전체(소금물)를 용액이라고 해요. 물이 용매인 용액은 수용액이라고 불러요. 녹는다는 것은 용질 입자가 용매 분자 사이사이로 흩어져 고르게 퍼지는 것이에요.

농도를 나타내는 세 가지 방법

농도는 용액이 얼마나 진한지를 나타내는 값이에요.

① 퍼센트 농도(%): 용액 100 g 속에 용질이 몇 g 있는지예요. 분모는 용매가 아니라 용액(용질 + 용매) 질량이라는 점을 꼭 기억하세요.
② 몰농도(M): 용액 1 L 속에 용질이 몇 mol 있는지예요. 단위는 mol/L이고 M(몰)으로 줄여 써요. 반응식 계산과 바로 연결돼서 화학에서 가장 많이 써요.
③ ppm(parts per million): 100만분의 1을 뜻해요. 아주 적은 양을 나타낼 때 쓰고, 묽은 수용액에서는 1 ppm ≈ 1 mg/L예요(물 1 L ≈ 1 kg). 더 작은 단위인 ppb는 10억분의 1이고, 1 ppm = 1000 ppb예요.

일상 비유

커피에 설탕을 넣는 것과 같아요. 설탕이 용질, 커피(물)가 용매예요. 같은 각설탕 1개라도 작은 컵에 넣으면 진하고 큰 머그잔에 넣으면 연해요. 농도는 양이 아니라 비율이라는 뜻이에요. 1 ppm은 쌀 100만 톨 중에 다른 알갱이 1톨이 섞인 비율이에요.

산과 염기, 그리고 pH

산은 물에 녹아 수소 이온(H^+)을 내놓는 물질이에요(예: HCl 염산, HF 불산). 염기는 물에 녹아 수산화 이온(OH^-)을 만드는 물질이에요(예: NaOH 수산화나트륨, 암모니아수). pH는 H^+ 농도를 간단한 숫자로 나타낸 값으로, pH = -log[H^+]예요. [H^+]는 H^+의 몰농도를 뜻해요. [H^+] = 10^{-3} M이면 pH = 3이에요.

25 °C의 순수한 물은 pH 7로 중성이에요. 7보다 작으면 산성, 크면 염기성이에요. pH가 1 작아질 때마다 H^+ 농도는 10배가 돼요. 그래서 pH 3은 pH 5보다 H^+가 100배 많아요.

반도체 세정 약품과 안전

웨이퍼 표면의 파티클(아주 작은 먼지), 유기물, 금속 오염을 없애는 공정이 세정이에요. 대표적인 RCA 세정에서는 SC-1(암모니아수 + 과산화수소 + 물)로 파티클과 유기물을, SC-2(염산 + 과산화수소 + 물)로 금속 오염을 제거해요. 과산화수소(H_2O_2)는 강한 산화제라서 오염물을 산화시켜 떼어 내는 역할을 해요. 묽은 불산(HF)은 SiO_2 막을 녹여 없애는 데 써요.

불산은 특히 위험해요. 피부로 스며들어 몸속 칼슘과 반응하고, 처음에는 통증이 적어서 늦게 알아챌 수 있어요. 세정 약품을 다룰 때는 반드시 다음을 지켜요.

① 내화학 장갑, 보안경이나 안면 보호구, 내화학 앞치마 같은 보호구를 착용해요.
② 작업 전에 MSDS(물질안전보건자료)로 위험성과 응급 조치를 확인해요.
③ 산을 묽힐 때는 물에 산을 조금씩 넣어요. 반대로 하면 열이 나서 튈 수 있어요.
④ 몸에 묻으면 즉시 많은 물로 씻고, 불산은 현장의 응급 절차(칼슘 글루코네이트 젤 등)를 따르며 바로 보고하고 의료 조치를 받아요.

용어 정리

용어	뜻
용질 / 용매	녹는 물질 / 녹이는 물질
용액, 수용액	용질과 용매가 고르게 섞인 것 / 물이 용매인 용액
퍼센트 농도	용액 질량에 대한 용질 질량의 백분율
몰농도 M	용액 1 L에 녹은 용질의 mol 수 (mol/L)
ppm / ppb	100만분의 1 / 10억분의 1
산	물에 녹아 H^+를 내놓는 물질
염기	물에 녹아 OH^-를 만드는 물질
pH	H^+ 농도를 나타내는 값. 7 중성, 작을수록 산성
세정	웨이퍼 표면의 오염을 약품으로 씻어 내는 공정
MSDS	물질안전보건자료. 화학물질의 위험성과 취급법을 적은 문서

핵심 공식

퍼센트 농도(%) = 용질 질량 ÷ (용질 질량 + 용매 질량) × 100

몰농도 M = 용질 mol ÷ 용액 L

$1\ ppm = 1 / 10^6$ (묽은 수용액에서 1 ppm ≈ 1 mg/L)

$pH = -\log[H^+]$ (25 °C에서 pH 7이 중성)

몰농도의 분모는 용매가 아니라 완성된 용액의 부피(L)예요. mL로 주어지면 1000으로 나눠 L로 바꿔요. $[H^+]$는 H^+의 몰농도(M)예요.



pH가 1 작아질 때마다 H^+ 농도는 10배 (pH 7 = 25 °C 순수한 물, 초순수)

산성 쪽 세정 약품

묽은 불산(HF): SiO_2 막 제거, 매우 위험

SC-2: 염산 + 과산화수소 + 물 (금속 제거)

염기성 쪽 세정 약품

SC-1: 암모니아수 + 과산화수소 + 물 (파티클, 유기물 제거)

그림 1-7-1. pH 눈금과 세정 약품의 대략적인 구분. 약품의 정확한 pH는 농도와 조성에 따라 달라요.

움직이는 그림 · 용질이 물에 녹아 퍼지는 과정



① 용질 결정을 물에 넣어요

② 결정 표면부터 입자가 하나씩 떨어져 나와요

③ 녹은 입자가 물 분자 사이로 퍼져 나가요

④ 결정이 모두 녹아 농도가 고른 용액이 돼요

움직이는 그림 1-7-A. 용질 결정(주황 네모)이 녹아 입자(주황 점)로 흩어지고, 시간이 지나면 용기 어디서나 농도가 같아져요.

예제 1

소금 20 g을 물 80 g에 녹였어요. 퍼센트 농도는?

풀이

① 용액 질량 = 20 + 80 = 100 g (용매 80 g이 아니에요)

② 퍼센트 농도 = 20 ÷ 100 × 100 = 20%

예제 2

NaCl 5.85 g을 물에 녹여 전체 용액을 500 mL로 만들었어요. 몰농도는?

풀이

① NaCl 몰질량 = 23 + 35.5 = 58.5 g/mol

② n = 5.85 ÷ 58.5 = 0.1 mol

③ 용액 부피 = 500 mL = 0.5 L

④ M = 0.1 ÷ 0.5 = 0.2 M

비유가 깨지는 지점

- 설탕 커피 비유는 녹는 모습만 보여 줘요. 실제로는 온도마다 녹을 수 있는 최대량(용해도)이 정해져 있어서 무한히 녹지 않아요.
- pH 0~14 범위는 묽은 수용액 기준이에요. 아주 진한 산이나 염기는 이 범위를 벗어날 수 있어요. 또 불산은 화학적으로 약산으로 분류되지만 인체에는 매우 위험해요. 산의 세기와 인체 위험은 다른 이야기예요.

현장 연결

웨트(wet) 세정과 식각 장비에서는 약품의 농도와 온도를 정해진 범위로 관리해요. 약품 공급 설비와 초순수 설비 점검도 설비 엔지니어의 일이고, 불순물 기준은 ppm, ppb 단위로 다뤄요. 화학물질 안전 교육은 입사하면 반드시 받으며, 기능사 필기의 안전관리 내용과도 이어져요.

확인 문제

1. NaOH 4 g을 물에 녹여 전체 용액을 250 mL로 만들었어요. 몰농도는? (Na 23, O 16, H 1)
2. pH 2인 용액은 pH 4인 용액보다 H^+ 농도가 몇 배인가요?
3. 물 1 kg 속에 금속 불순물이 2 mg 녹아 있어요. 몇 ppm이고 몇 ppb인가요?
4. 불산(HF)이 특히 위험한 이유와, 피부에 묻었을 때 해야 할 행동을 쓰세요.

PART 1 확인 문제 정답과 풀이

1-1

1. 양성자 8개, 중성자 8개, 전자 8개. 중성자 = A - Z = 16 - 8 = 8이고, 중성 원자라 전자 = 양성자 = 8이에요.
2. 10개. 이온의 전자 수 = Z - 전하 = 12 - (+2) = 10이에요.
3. 공통점: 양성자가 6개로 같아서 둘 다 탄소예요. 차이점: 중성자가 6개와 8개로 달라서 질량수가 12와 14예요. 이런 관계를 동위원소라고 해요.
4. 무거운 양성자와 중성자가 모두 원자핵에 있고, 전자는 양성자의 약 1/1836로 아주 가볍기 때문이에요.

1-2

1. 2, 8, 3. 원자가 전자 3개예요(13족).
2. 4주기 1족. 전자 배치가 2, 8, 8, 1이라 껍질이 4개이고 원자가 전자가 1개예요.
3. (Li, Na): 원자가 전자 1개, (O, S): 원자가 전자 6개. Li 2, 1 / Na 2, 8, 1 / O 2, 6 / S 2, 8, 6이에요.
4. Si의 전자 배치는 2, 8, 4라서 원자가 전자가 4개예요. 13~17족은 원자가 전자 + 10 = 족 번호이므로 4 + 10 = 14족이에요.

1-3

1. 이온결합. K(2, 8, 8, 1)는 전자 1개를 잃어 K^+, Cl(2, 8, 7)은 전자 1개를 얻어 Cl^-이 돼요.
2. O_2와 H_2O. 둘 다 비금속끼리 전자쌍을 나눠 써요. NaCl은 이온결합, Fe는 금속결합이에요.
3. 금속 원자가 내놓은 자유전자가 특정 원자에 묶이지 않고 금속 전체를 움직이며 전하를 운반하기 때문이에요.
4. 고체에서는 Na^+와 Cl^-가 제자리에 묶여 움직이지 못하지만, 물에 녹으면 이온이 자유롭게 움직여 전하를 운반하기 때문이에요.

1-4

1. 2 mol. NaCl의 몰질량은 23 + 35.5 = 58.5 g/mol이고, 117 ÷ 58.5 = 2예요.
2. 22 g. CO_2의 몰질량은 12 + 16 × 2 = 44 g/mol이고, 0.5 × 44 = 22예요.
3. $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$. 확인하면 N: 2 = 2, H: 3 × 2 = 6 = 2 × 3이에요.
4. 120 g. Si 몰수 = 56 ÷ 28 = 2 mol이고, 계수가 1 : 1이라 SiO_2도 2 mol이에요. 2 × 60 = 120 g이에요.

1-5

1. 202650 Pa, 1520 Torr. 2 × 101325 = 202650이고, 2 × 760 = 1520이에요.
2. 8 atm. 보일 법칙으로 2 × 4 = P_2 × 1이라 P_2 = 8이에요.
3. 4 L. 온도를 K로 바꾸면 27 + 273 = 300 K, 127 + 273 = 400 K예요. V_2 = 3 × 400 ÷ 300 = 4 L예요.
4. 약 2 mol. n = PV ÷ RT = (1 × 44.8) ÷ (0.082 × 273) = 44.8 ÷ 22.386 ≈ 2.0이에요. 0 °C, 1 atm에서 1 mol이 약 22.4 L라는 것으로도 44.8 ÷ 22.4 = 2를 바로 구할 수 있어요.

1-6

1. +4. x + 2 × (-2) = 0이라 x = +4예요.
2. +6. 2 × (+1) + x + 4 × (-2) = 0 → 2 + x - 8 = 0 → x = +6이에요.
3. 산화된 물질: Mg (산화수 0 → +2). 산화제: O_2 (자신은 0 → -2로 환원되면서 Mg를 산화시켜요).
4. 약 44 nm. 100 nm × 0.44 = 44 nm예요. 나머지 약 56 nm는 원래 표면 위쪽으로 자란 부분이에요.

1-7

1. 0.4 M. NaOH 몰질량 = 23 + 16 + 1 = 40 g/mol, n = 4 ÷ 40 = 0.1 mol, 부피 250 mL = 0.25 L라서 0.1 ÷ 0.25 = 0.4 M예요.
2. 100배. pH 2는 $[H^+] = 10^{-2}$ M, pH 4는 10^{-4} M이라 $10^{-2} \div 10^{-4} = 10^2 = 100$배예요.
3. 2 ppm, 2000 ppb. 1 kg = 1,000,000 mg이라 2 ÷ 1,000,000 = 2 / 10^6 = 2 ppm이고, 1 ppm = 1000 ppb라서 2000 ppb예요.
4. 불산은 피부로 스며들어 몸속 칼슘과 반응하고, 처음에는 통증이 적어 늦게 알아챌 수 있어서 위험해요. 묻으면 즉시 많은 물로 씻고 오염된 옷을 벗은 뒤, 현장 응급 절차(칼슘 글루코네이트 젤 등)를 따르고 바로 보고해 의료 조치를 받아요.

PART 2

전기 · 전자 기초

2부에서는 전기가 무엇인지부터 시작해서 전압, 전류, 저항, 전력, 교류, 축전기와 코일, 그리고 안전한 측정 방법까지 차근차근 배워요. 반도체 공장의 장비는 모두 전기로 움직이고, 설비 엔지니어는 매일 전압을 재고, 차단기를 다루고, 모터와 밸브를 점검해요. 반도체설비보전기능사 필기에서도 옴의 법칙, 합성저항, 전력 계산, 전기 안전은 빠지지 않는 단골 주제예요. 공식은 몇 개 안 되니까 비유로 감을 잡고 예제로 손에 익혀 봐요.

- 2-1 전하, 전압, 전류, 저항
- 2-2 옴의 법칙
- 2-3 직렬과 병렬 회로
- 2-4 전력과 전기 에너지
- 2-5 직류와 교류
- 2-6 축전기와 코일, 전자기 기초
- 2-7 측정과 전기 안전

2-1 전하, 전압, 전류, 저항

이 장의 목표

- 전하와 전자가 무엇인지 말할 수 있어요.
- 물탱크 비유로 전압, 전류, 저항의 관계를 설명할 수 있어요.
- 전류 방향과 전자 이동 방향이 반대인 이유를 알아요.
- 단위 V, A, Ω, C를 구별해서 쓸 수 있어요.

전기의 주인공: 전하와 전자

모든 물질은 원자로 되어 있고, 원자 안에는 (+) 전기를 띤 양성자와 (-) 전기를 띤 전자가 있어요. 물체가 띠고 있는 전기의 양을 **전하**(電荷, 전기의 짐)라고 해요. 전하는 같은 종류끼리 밀어내고, 다른 종류끼리 끌어당겨요.

구리 같은 금속에서는 원자에 약하게 붙어 있는 전자가 금속 안을 자유롭게 돌아다녀요. 이런 전자를 **자유전자**라고 해요. 전선에 전기가 흐른다는 것은 이 자유전자들이 한쪽 방향으로 우르르 이동한다는 뜻이에요. 전하의 양은 **쿨롬(C)**으로 재요. 전자 1개의 전하는 약 1.6×10^{-19} C로 아주 작아서, 1 C이 되려면 전자가 약 6.25×10^{18}개나 모여야 해요.

전압, 전류, 저항이란

전압은 전하를 밀어 주는 힘의 크기예요. 정확히는 두 지점 사이의 전기적인 높이 차이(전위차)이고, 단위는 **볼트(V)**예요. 건전지 하나는 1.5 V, 한국 가정용 콘센트는 220 V예요.

전류는 1초 동안 전선의 한 단면을 지나가는 전하의 양이에요. 단위는 **암페어(A)**이고, 1초에 1 C이 지나가면 1 A예요.

저항은 전류가 흐르기 어렵게 만드는 정도예요. 단위는 **옴(Ω)**이에요. 구리선은 저항이 아주 작고, 고무나 유리는 저항이 너무 커서 전류가 거의 흐르지 않아요. 앞의 것을 도체, 뒤의 것을 절연체(전기를 막는 물질)라고 해요. 그 중간 성질을 가진 것이 3부에서 배울 반도체예요.

일상 비유

높은 곳에 있는 물탱크에서 아래로 관이 이어져 있다고 생각해 봐요. 물탱크가 높을수록 물을 미는 압력(수압)이 커져요 → 이것이 **전압**이에요. 관을 따라 1초 동안 흐르는 물의 양 → **전류**예요. 관 중간에 좁은 부분이 있으면 물이 잘 못 지나가요 → 이것이 **저항**이에요. 물탱크를 높이면 물이 더 세게 흐르고, 관을 좁히면 덜 흘러요. 전기도 똑같이 전압을 높이면 전류가 커지고, 저항을 키우면 전류가 작아져요.

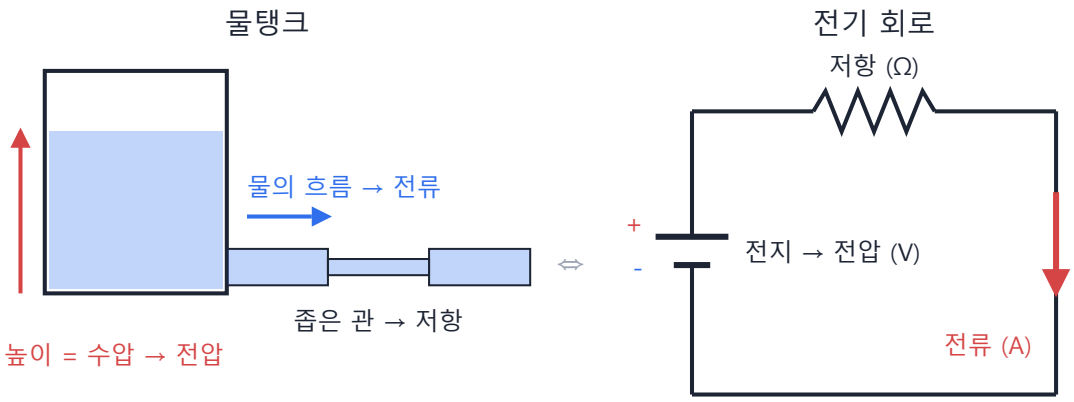


그림 2-1-1. 물탱크와 전기 회로의 대응. 물탱크 높이는 전압, 물의 흐름은 전류, 좁은 관은 저항에 해당해요.

전류 방향과 전자 방향은 반대예요

회로 그림에서 전류는 항상 전지의 (+)극에서 나와서 (-)극으로 들어가는 방향으로 그려요. 그런데 실제로 전선 속에서 움직이는 전자는 (-)극에서 나와서 (+)극으로 가요. 왜 반대일까요?

1700년대 과학자들은 전자의 존재를 몰랐어요. 그래서 "(+) 전기가 흐른다"고 가정하고 방향을 정했어요. 1897년에 전자가 발견되고 보니, 실제로 움직이는 것은 (-) 전하를 가진 전자였어요. 하지만 이미 모든 공식과 책이 옛날 방향으로 쓰여 있어서 그대로 쓰기로 했어요. 그래서 지금도 "전류 방향 = (+) 전하가 움직인다고 가정한 방향 = 전자 이동의 반대 방향"이에요. (-) 전하가 왼쪽으로 가는 것과 (+) 전하가 오른쪽으로 가는 것은 전기적으로 같은 효과라서, 어느 쪽으로 생각해도 계산 결과는 똑같아요.

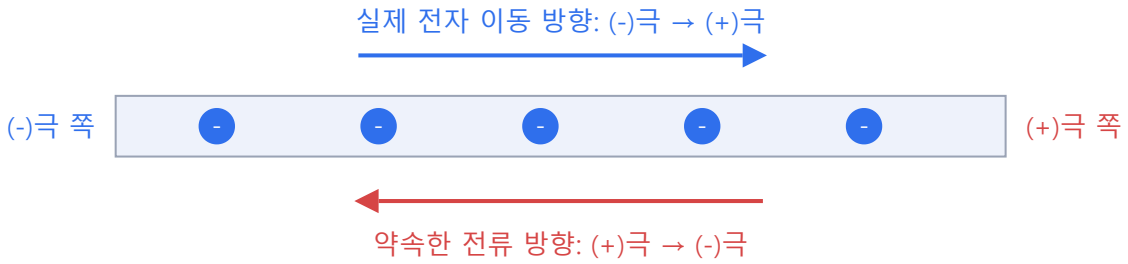


그림 2-1-2. 전선 속 전자(파랑)는 (+)극 쪽으로 움직이지만, 전류(빨강)는 반대 방향으로 약속해서 그려요.

용어 정리

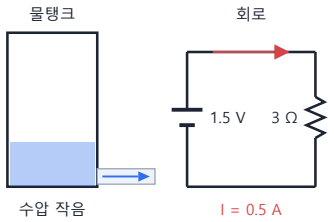
용어	뜻
전하	물체가 띠는 전기의 양. (+)와 (-) 두 종류. 단위 C(쿨롬)
자유전자	금속 안을 자유롭게 돌아다니는 전자. 전류를 실어 나르는 주인공
전압	두 지점 사이의 전기적 높이 차이(전위차). 전하를 미는 힘. 단위 V(볼트)
전류	1초 동안 지나가는 전하의 양. 단위 A(암페어), 1 A = 1 C/s
저항	전류가 흐르기 어려운 정도. 단위 Ω(옴)
도체 / 절연체	전기가 잘 통하는 물질(구리, 알루미늄) / 거의 안 통하는 물질(고무, 유리)
회로	전류가 한 바퀴 돌아올 수 있게 끊김 없이 이어진 길

핵심 공식

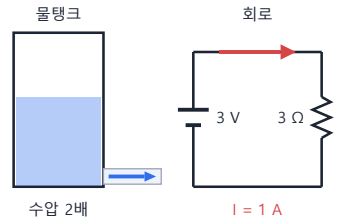
$$I = Q \div t \qquad (Q = I \times t)$$

I: 전류(A), Q: 지나간 전하량(C), t: 걸린 시간(s). 단위 정리: 전압 V(볼트), 전류 A(암페어), 저항 Ω(옴), 전하 C(쿨롬).

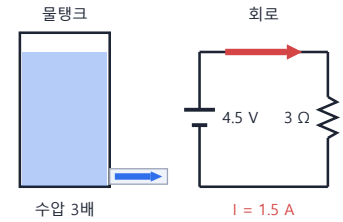
움직이는 그림 · 물탱크를 높이면 전류가 커져요



① 물이 낮으면 수압이 작아 천천히 흘러요. 전압 1.5 V, 저항 3 Ω이면 전류 0.5 A예요.



② 물 높이를 2배로 올리면 흐름도 2배. 전압을 3 V로 올리면 전류도 1 A로 2배가 돼요.



③ 물 높이 3배 → 흐름 3배. 전압 4.5 V → 전류 1.5 A. 저항이 같으면 전류는 전압에 비례해요.

움직이는 그림 2-1-A. 물탱크의 물 높이(전압)가 올라갈수록 관의 물 흐름(전류)이 같은 비율로 커져요. 좁은 관(저항 3 Ω)은 그대로예요.

예제 1

전선의 한 단면을 4초 동안 12 C의 전하가 지나갔어요. 전류는 몇 A인가요?

풀이

전류 = 전하량 ÷ 시간이에요. I = 12 C ÷ 4 s = 3 A. 1초마다 3 C씩 지나간다는 뜻이에요.

예제 2

2 A의 전류가 1분 동안 흘렀어요. 지나간 전하량은 몇 C인가요?

풀이

먼저 시간을 초로 바꿔요: 1분 = 60 s. Q = I × t = 2 A × 60 s = 120 C예요.

비유가 깨지는 지점

- 물은 관이 끊기면 밖으로 쏟아지지만, 전기는 회로가 끊기면 전류가 그냥 멈춰요. 전류는 끊김 없는 고리(회로)가 있어야만 흘러요.
- 물탱크의 물은 아래로 흘러가서 사라지지만, 전하는 회로를 한 바퀴 돌아 전지로 돌아와요. 전지는 전하를 새로 만드는 것이 아니라, 전하를 다시 높은 곳으로 끌어올리는 펌프에 더 가까워요.
- 전선 속 전자는 실제로 아주 느리게 움직여요(보통 1초에 1 mm도 안 돼요). 그래도 스위치를 켜면 전등이 바로 켜지는 것은, 물이 꽉 찬 관의 한쪽을 밀면 반대쪽에서 바로 물이 밀려 나오는 것과 비슷해요.

현장 연결

반도체 장비의 전원 패널에는 "AC 220 V", "DC 24 V" 같은 표시가 붙어 있고, 설비 엔지니어는 작업 전에 어떤 전압이 들어오는지부터 확인해요. 장비의 센서와 제어기는 대부분 DC 24 V로 동작하고, 고장이 나면 전압과 전류를 재서 원인을 찾아요. 기능사 필기에서도 Q = I × t 계산과 전류 방향 문제가 자주 나와요.

확인 문제

1. 회로 그림에서 전류는 전지의 어느 극에서 어느 극으로 흐르나요? 실제 전자는 어느 쪽으로 움직이나요?
2. 어떤 전선에 2초 동안 5 C의 전하가 지나갔어요. 전류는 몇 A인가요?
3. 물탱크 비유에서 "물탱크의 높이"와 "관의 좁은 부분"은 각각 전기의 무엇에 해당하나요?
4. 0.5 A의 전류가 10초 동안 흐르면 지나간 전하량은 몇 C인가요?

2-2 옴의 법칙

이 장의 목표

- V = I × R로 전압, 전류, 저항 중 모르는 하나를 구할 수 있어요.
- 삼각형 암기법으로 공식 세 개를 바로 떠올릴 수 있어요.
- m, k, M, μ 같은 단위 접두어를 기본 단위로 바꿀 수 있어요.

전압, 전류, 저항의 관계

2-1에서 전압을 높이면 전류가 커지고, 저항을 키우면 전류가 작아진다고 했어요. 독일 과학자 옴(Ohm)은 1827년에 이 관계가 아주 단순한 곱셈이라는 것을 밝혔어요. 이것을 **옴의 법칙**이라고 해요.

말로 풀면 이래요. 저항이 같을 때 전류는 전압에 **비례**해요(전압 2배 → 전류 2배). 전압이 같을 때 전류는 저항에 **반비례**해요(저항 2배 → 전류 절반). 이 두 문장을 한 줄로 쓴 것이 V = I × R이에요. 이 식 하나만 외우면 나머지 두 식은 양변을 나눠서 만들 수 있어요.

일상 비유

같은 높이의 물탱크(같은 전압)에 좁은 관을 하나 달았을 때와, 똑같은 좁은 관을 두 개 이어 붙였을 때를 비교해 봐요. 두 개를 이으면 물이 두 번 힘들게 지나가야 해서 흐름이 줄어요. 전기에서는 저항을 2배로 하면 전류가 정확히 절반이 돼요. 반대로 관은 그대로 두고 물탱크만 2배 높이면 흐름이 2배가 돼요.

핵심 공식

```
V = I × R
I = V ÷ R
R = V ÷ I
```

V: 전압(V, 볼트), I: 전류(A, 암페어), R: 저항(Ω, 옴). 공식에 넣기 전에 모든 값을 기본 단위(V, A, Ω)로 바꿔요.

삼각형 암기법

삼각형 위칸에 V, 아래 두 칸에 I와 R을 써요. 구하고 싶은 것을 손가락으로 가리면 남은 두 글자가 공식이 돼요. 남은 글자가 옆으로 나란히 있으면 곱하기, 위아래로 있으면 나누기예요. V를 가리면 I × R, I를 가리면 V ÷ R, R을 가리면 V ÷ I가 남아요.

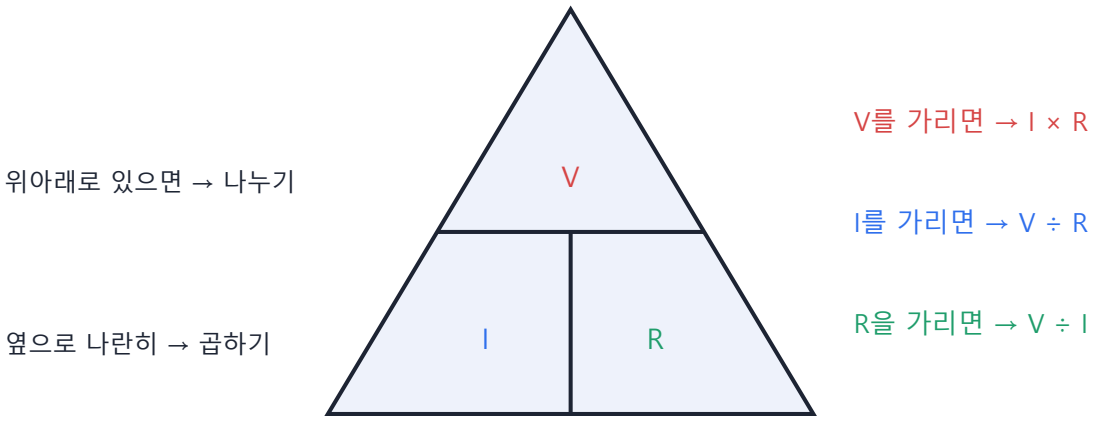


그림 2-2-1. 옴의 법칙 삼각형. 구하려는 값을 가리면 나머지가 공식이에요.

단위 접두어 바꾸기

실제 회로에서는 4,700 Ω이나 0.02 A처럼 아주 크거나 작은 수가 많이 나와요. 그래서 0의 개수를 줄여 주는 **접두어**를 붙여요. k(킬로)는 1,000배, M(메가)는 1,000,000배, m(밀리)는 1,000분의 1, μ(마이크로)는 1,000,000분의 1이에요. 예를 들어 4.7 kΩ = 4,700 Ω, 20 mA = 0.02 A, 1 MΩ = 1,000,000 Ω, 50 μA = 0.00005 A예요. 대문자 M(메가)과 소문자 m(밀리)은 10억 배 차이가 나니까 꼭 구별해요.

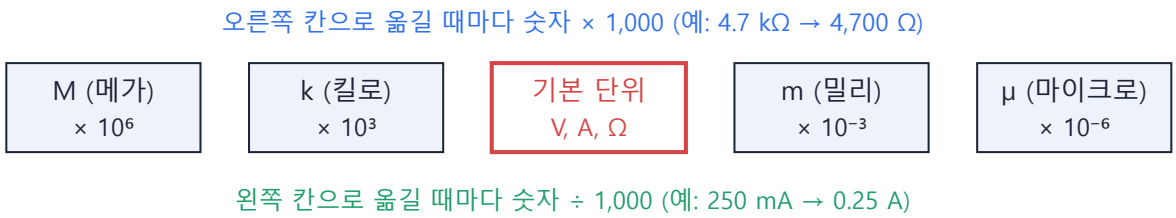
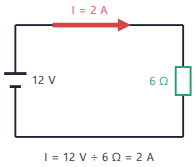


그림 2-2-2. 접두어 사다리. 한 칸마다 1,000배씩 차이가 나요.

용어 정리

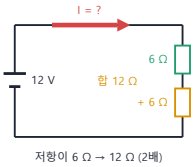
용어	뜻
옴의 법칙	V = I × R. 전압은 전류와 저항의 곱이라는 법칙
비례	한쪽이 2배가 되면 다른 쪽도 2배가 되는 관계
반비례	한쪽이 2배가 되면 다른 쪽은 절반이 되는 관계
k (킬로)	1,000배. 1 kΩ = 1,000 Ω
M (메가)	1,000,000배. 1 MΩ = 1,000,000 Ω
m (밀리)	1,000분의 1. 1 mA = 0.001 A
μ (마이크로)	1,000,000분의 1. 1 μA = 0.000001 A

움직이는 그림 · 저항을 두 배로 늘리면 전류는 절반



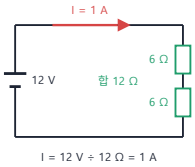
I = 12 V ÷ 6 Ω = 2 A

① 12 V 전지에 6 Ω 저항 하나. 전류는 12 ÷ 6 = 2 A예요.



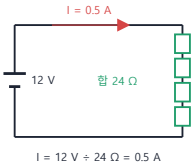
저항이 6 Ω → 12 Ω (2배)

② 똑같은 6 Ω 저항을 하나 더 이어 붙여요. 전체 저항이 12 Ω으로 2배가 됐어요.



I = 12 V ÷ 12 Ω = 1 A

③ 전압은 그대로 12 V. 전류는 12 ÷ 12 = 1 A로 절반이 됐어요.



I = 12 V ÷ 24 Ω = 0.5 A

④ 저항을 다시 2배(24 Ω)로 하면 전류는 또 절반(0.5 A). 저항과 전류는 반비례해요.

움직이는 그림 2-2-A. 전압 12 V는 고정한 채 저항을 6 Ω → 12 Ω → 24 Ω으로 늘리면 전류가 2 A → 1 A → 0.5 A로 절반씩 줄어요.

예제 1

12 V 전원에 4 Ω 저항을 연결했어요. 전류는 몇 A인가요?

풀이

전류를 구하니까 삼각형에서 I를 가려요 → I = V ÷ R. I = 12 V ÷ 4 Ω = 3 A예요.

예제 2

2 kΩ 저항에 5 mA가 흐르고 있어요. 저항 양 끝의 전압은 몇 V인가요?

풀이

① 기본 단위로 바꿔요: 2 kΩ = 2,000 Ω, 5 mA = 0.005 A. ② V = I × R = 0.005 A × 2,000 Ω = 10 V예요. (요령: mA × kΩ = V이라서 5 × 2 = 10 V로 바로 계산해도 돼요.)

예제 3

9 V 건전지에 어떤 저항을 연결했더니 0.5 A가 흘렀어요. 저항은 몇 Ω인가요?

풀이

R을 가려요 → R = V ÷ I = 9 V ÷ 0.5 A = 18 Ω이에요.

비유가 깨지는 지점

- 옴의 법칙은 금속 저항처럼 온도가 거의 일정할 때 잘 맞아요. 전구 필라멘트는 뜨거워질수록 저항이 커져서, 전압을 2배로 해도 전류가 정확히 2배가 되지 않아요.
- 다이오드, LED, 트랜지스터 같은 반도체 소자는 전압과 전류가 비례하지 않아요(3부). 이런 소자에는 옴의 법칙을 그대로 쓰면 안 돼요.
- 물 비유에서 관을 "얼마나" 좁히면 흐름이 "정확히 얼마나" 줄어드는지는 전기의 반비례와 같지 않아요. 비유는 방향(커지면 줄어든다)만 기억해요.

현장 연결

설비 엔지니어는 히터나 코일이 정상인지 볼 때 저항을 재고, 옴의 법칙으로 흘러야 할 전류를 계산해요. 저항이 무한대(멀티미터에 OL 표시)로 나오면 선이 끊어진 것이에요. 공장 센서의 표준 신호인 4~20 mA 전류를 250 Ω 저항에 흘려 1~5 V 전압으로 바꾸는 것도 옴의 법칙이에요(0.004 A × 250 Ω = 1 V, 0.02 A × 250 Ω = 5 V).

확인 문제

1. 24 V 전원에 8 Ω 저항을 연결하면 전류는 몇 A인가요?
2. 1.5 kΩ 저항에 3 mA가 흐를 때 저항 양 끝의 전압은 몇 V인가요?
3. 5 V를 걸었더니 20 mA가 흘렀어요. 저항은 몇 Ω인가요?
4. 단위를 바꿔 보세요. (가) 2,200 Ω = ? kΩ (나) 0.3 A = ? mA (다) 0.047 MΩ = ? kΩ

2-3 직렬과 병렬 회로

이 장의 목표

- 직렬과 병렬 연결을 그림으로 구별할 수 있어요.
- 직렬, 병렬의 합성저항(전체 저항)을 계산할 수 있어요.
- 전압 분배, 전류 분배를 계산하고 키르히호프 법칙의 뜻을 말할 수 있어요.

직렬 연결: 한 줄로 이어요

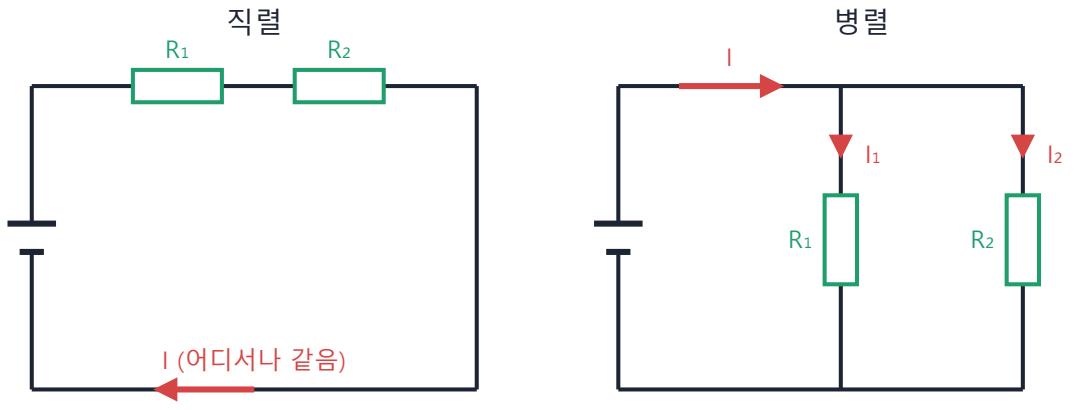
저항을 기차 칸처럼 한 줄로 이어 붙이는 것을 **직렬**이라고 해요. 전류가 지나갈 길이 하나뿐이라서, 모든 저항에 **똑같은 전류**가 흘러요. 대신 전지의 전압은 저항들이 나눠 가져요. 전체 저항(**합성저항**)은 그냥 더하면 돼요: $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$ 그래서 직렬로 이을수록 전체 저항은 커지고 전류는 줄어요.

병렬 연결: 갈래길을 만들어요

저항들의 양쪽 끝을 각각 한데 묶어서 갈래길처럼 나란히 연결하는 것을 **병렬**이라고 해요. 모든 갈래의 양 끝이 같은 두 점에 붙어 있으니까, 각 저항에는 **똑같은 전압**이 걸려요. 전류는 갈래마다 나뉘어 흘러요. 합성저항은 역수로 더해요: $1/R = 1/R_1 + 1/R_2$. 저항이 두 개뿐이면 더 쉬운 공식 $R = (R_1 \times R_2) \div (R_1 + R_2)$, 즉 "곱 나누기 합"을 써요. 길이 늘어나는 셈이라서 병렬 합성저항은 가장 작은 저항보다도 작아져요. 같은 저항 두 개를 병렬로 이으면 딱 절반이 돼요.

일상 비유

직렬은 좁은 골목 두 개를 연달아 지나가야 하는 길이에요. 골목이 늘수록 더 막혀요. 병렬은 고속도로 톨게이트 창구가 늘어나는 것과 같아요. 창구가 하나 더 열리면 전체적으로 차가 더 잘 빠져요. 창구 하나하나가 좁아도, 창구가 많을수록 전체 통과량은 커져요.



$R = R_1 + R_2$
전압은 나눠 가져요

$1/R = 1/R_1 + 1/R_2$
전압은 같고, 전류는 나뉘어요 ($I = I_1 + I_2$)

그림 2-3-1. 직렬(왼쪽)은 길이 하나라서 전류가 같고, 병렬(오른쪽)은 갈래마다 전압이 같아요.

핵심 공식

직렬: $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

병렬: $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots$

병렬 2개: $R = (R_1 \times R_2) \div (R_1 + R_2)$

전압 분배(직렬): $V_1 = V \times R_1 \div (R_1 + R_2)$

전류 분배(병렬 2개): $I_1 = I \times R_2 \div (R_1 + R_2)$

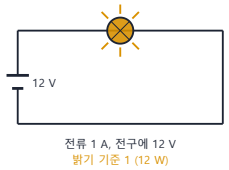
R: 합성저항(Ω), V: 전체 전압(V), I: 전체 전류(A). 직렬에서는 큰 저항이 큰 전압을 가져가고, 병렬에서는 작은 저항 쪽으로 큰 전류가 흘러요(전류 분배 공식의 분자에 "반대쪽" 저항이 들어가는 점에 주의).

전압 분배, 전류 분배, 키르히호프 법칙 맛보기

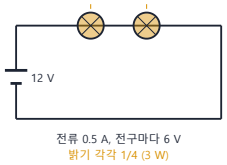
직렬에서는 같은 전류가 흐르니까, 저항이 큰 쪽에 V = I × R로 더 큰 전압이 걸려요. 이것을 **전압 분배**라고 해요. 병렬에서는 전압이 같으니까, 저항이 작은 갈래로 전류가 더 많이 흘러요. 이것을 **전류 분배**라고 해요.

이 두 가지를 일반적인 규칙으로 정리한 것이 **키르히호프 법칙**이에요. 제1법칙(전류 법칙): 한 점으로 들어온 전류의 합 = 그 점에서 나가는 전류의 합. 갈림길에서 물이 사라지거나 생기지 않는 것과 같아요. 제2법칙(전압 법칙): 회로를 한 바퀴 돌면 전원이 올려 준 전압 = 저항들에서 떨어진 전압의 합. 산을 한 바퀴 돌아 제자리에 오면 높이 변화가 0인 것과 같아요.

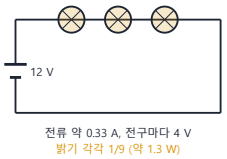
움직이는 그림 · 전구를 직렬로 늘릴 때 vs 병렬로 늘릴 때



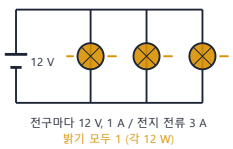
① 전구 1개(12 Ω이라고 가정). 12 V가 전부 걸려서 가장 밝아요.



② 직렬로 2개. 전체 저항 24 Ω, 전류 절반. 전압도 반씩 나눠 가져서 각 전구 밝기는 1/4이에요.



③ 직렬로 3개. 전체 저항 36 Ω. 각 전구 4 V, 밝기 1/9로 더 어두워져요. 하나가 끊어지면 모두 꺼져요.



④ 병렬로 3개. 전구마다 12 V가 그대로 걸려서 모두 처음처럼 밝아요. 대신 전지에서 나가는 전류는 3배가 돼요.

움직이는 그림 2-3-A. 같은 전구(저항 12 Ω으로 일정하다고 가정)를 직렬로 늘리면 각 전구가 1 → 1/4 → 1/9로 어두워지지만, 병렬로 늘리면 밝기는 그대로이고 전체 전류만 늘어나요.

용어 정리

용어	뜻
직렬	한 줄로 이어 붙인 연결. 전류가 모두 같음
병렬	양 끝을 같은 두 점에 묶은 갈래 연결. 전압이 모두 같음
합성저항	여러 저항을 하나로 바꿔 본 전체 저항
전압 분배	직렬 저항들이 저항 크기에 비례해서 전압을 나눠 갖는 것
전류 분배	병렬 갈래로 전류가 저항 크기에 반비례해서 나뉘는 것
키르히호프 법칙	제1법칙: 들어온 전류 합 = 나간 전류 합. 제2법칙: 한 바퀴 돈 전압의 합 = 0
단락(쇼트)	저항 거의 없이 전원의 두 극이 바로 이어진 상태. 큰 전류가 흘러 위험

예제 1 (직렬, 전압 분배)

12 V 전원에 4 Ω과 8 Ω 저항을 직렬로 연결했어요. 전체 저항, 전류, 각 저항의 전압을 구하세요.

풀이

① 합성저항 R = 4 + 8 = 12 Ω. ② 전류 I = 12 V ÷ 12 Ω = 1 A (두 저항 모두 1 A). ③ V_1 = 1 A × 4 Ω = 4 V, V_2 = 1 A × 8 Ω = 8 V. ④ 확인: 4 + 8 = 12 V로 전원 전압과 같아요 (키르히호프 제2법칙).

예제 2 (병렬, 전류 분배)

6 V 전원에 6 Ω과 3 Ω 저항을 병렬로 연결했어요. 합성저항, 전체 전류, 각 갈래 전류를 구하세요.

풀이

① 곱 나누기 합: R = (6 × 3) ÷ (6 + 3) = 18 ÷ 9 = 2 Ω (가장 작은 3 Ω보다 작아요). ② 전체 전류 I = 6 V ÷ 2 Ω = 3 A. ③ 각 갈래는 6 V가 그대로 걸려요: I_1 = 6 ÷ 6 = 1 A, I_2 = 6 ÷ 3 = 2 A. ④ 확인: 1 + 2 = 3 A(키르히호프 제1법칙).

비유가 깨지는 지점

- 실제 전구는 밝기에 따라 필라멘트 온도와 저항이 바뀌어서, 직렬 2개일 때 밝기가 정확히 1/4이 되지는 않아요. 여기서는 저항이 일정하다고 가정했어요.
- 톨게이트 창구는 계속 늘려도 괜찮지만, 전기에서는 병렬로 많이 달수록 전원에서 나가는 전류가 커져요. 전지나 전선이 감당할 수 있는 한계를 넘으면 뜨거워지고 위험해요(2-4 퓨즈).
- 여기서는 전선의 저항을 0으로 봤어요. 아주 길거나 가는 전선은 저항이 있어서 전압이 조금 떨어져요.

현장 연결

공장의 조명, 콘센트, 장비 전원은 모두 병렬로 연결되어 있어서 하나를 꺼도 나머지는 같은 전압을 받아요. 반대로 비상정지 스위치나 문 열림 감지 같은 안전 접점(인터록)은 직렬로 이어서, 하나만 열려도 장비 전체가 멈추게 만들어요. 기능사 필기에서는 합성저항과 전압 분배 계산이 거의 매번 나와요.

확인 문제

1. 10 Ω, 20 Ω, 30 Ω 저항을 직렬로 연결했을 때 합성저항은 몇 Ω인가요?
2. 12 Ω과 4 Ω 저항을 병렬로 연결했을 때 합성저항은 몇 Ω인가요?
3. 9 V 전원에 1 kΩ과 2 kΩ 저항을 직렬로 연결했어요. 2 kΩ 저항 양 끝의 전압은 몇 V인가요?
4. 회로의 한 점으로 5 A가 들어와서 두 갈래로 나뉘어요. 한 갈래로 2 A가 흐른다면 다른 갈래로는 몇 A가 흐르나요?

2-4 전력과 전기 에너지

이 장의 목표

- 전력의 뜻을 알고 P = V × I = I²R = V²/R을 상황에 맞게 골라 쓸 수 있어요.
- kWh로 전기 에너지와 전기요금을 계산할 수 있어요.
- 전류가 클수록 열이 많이 나는 이유와 퓨즈의 역할을 설명할 수 있어요.

전력: 1초 동안 쓰는 전기 에너지

전력은 전기가 1초 동안 하는 일의 양이에요. 단위는 **와트(W)**이고, 1 W는 1초에 1 J(줄, 에너지 단위)을 쓰는 거예요. 전력은 전압과 전류를 곱하면 나와요: P = V × I. 여기에 옴의 법칙 V = I × R을 넣으면 P = I × R × I = I²R, I = V ÷ R을 넣으면 P = V²/R이 돼요. 세 식은 같은 내용이고, 문제에 주어진 값에 맞춰 고르면 돼요. 전류와 저항을 알면 I²R, 전압과 저항을 알면 V²/R을 써요.

일상 비유

물레방아를 떠올려 봐요. 물이 높은 곳에서 떨어질수록(수압 = 전압), 그리고 물이 많이 흐를수록(유량 = 전류) 물레방아가 세게 돌아요. 물레방아가 1초에 하는 일의 양이 전력이에요. 그래서 전력 = 전압 × 전류예요. 높이만 높고 물이 한 방울씩 떨어지면 물레방아는 거의 안 돌아요.

전기 에너지와 kWh, 전기요금

에너지는 전력에 시간을 곱한 값이에요: W = P × t. 그런데 J 단위로 쓰면 숫자가 너무 커져서, 전기요금에는 **킬로와트시(kWh)**를 써요. 1 kWh는 1,000 W를 1시간 쓴 에너지예요. J로 바꾸면 1,000 W × 3,600 s = 3,600,000 J(3.6 MJ)이에요. 계산 순서는 간단해요: ① 전력을 kW로 바꾸고 ② 사용 시간(시간 단위)을 곱해 kWh를 구하고 ③ 1 kWh당 요금을 곱해요. 한국 가정 요금은 많이 쓸수록 단가가 올라가는 누진 구조라서 실제 계산은 더 복잡해요. 이 책에서는 연습을 위해 1 kWh당 200원이라고 가정해요.

핵심 공식

$$P = V \times I = I^2 \times R = V^2 \div R$$

$$W(\text{에너지}) = P \times t$$

$$1\ \text{kWh} = 1{,}000\ \text{W} \times 1\ \text{h} = 3.6 \times 10^6\ \text{J}$$

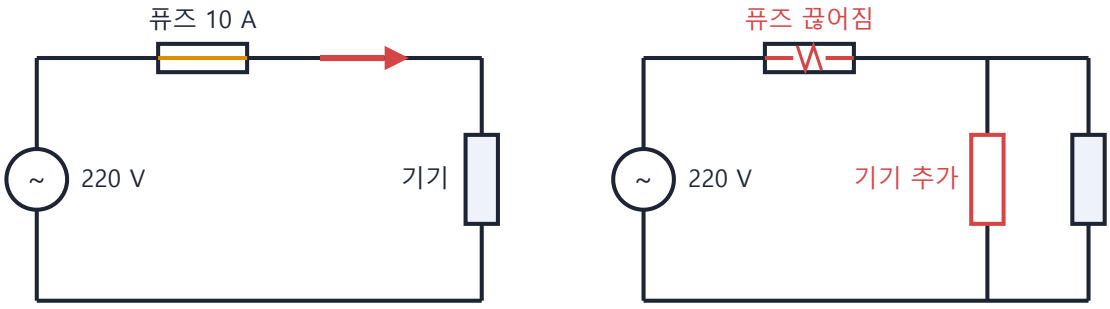
P: 전력(W), V: 전압(V), I: 전류(A), R: 저항(Ω), t: 시간(s 또는 h). 요금 = kWh × 1 kWh당 단가.

발열과 퓨즈

전류가 저항을 지나가면 전기 에너지가 열로 바뀌어요. 이 열을 **줄열**이라고 하고, 발열량은 I²R에 시간을 곱한 만큼이에요. 전류가 제곱으로 들어가서 **전류가 2배면 열은 4배, 3배면 9배**가 돼요. 전기 히터, 헤어드라이어, 납땜인두는 이 열을 일부러 쓰는 기기예요.

반대로 전선에 너무 큰 전류가 흐르면 전선이 뜨거워져 피복(겉의 절연 껍질)이 녹고 불이 날 수 있어요. 그래서 회로에 **퓨즈**를 넣어요. 퓨즈는 일부러 약하게 만든 짧은 금속선이라서, 정해진 전류를

넘으면 자기가 먼저 녹아 끊어지면서 회로를 지켜요. **차단기**(브레이커)는 같은 일을 하지만 끊어진 뒤 손잡이를 다시 올려서 쓸 수 있어요.



정상: 5 A 흐름 → 퓨즈 그대로 — 과전류: 15 A → 퓨즈가 녹아 회로가 끊어짐
(전류가 0이 되어 전선과 기기를 보호해요)

그림 2-4-1. 퓨즈의 역할. 정해진 전류(여기서는 10 A)를 넘으면 퓨즈가 먼저 녹아 끊어져요.

움직이는 그림 · 전류가 커지면 저항선이 뜨거워져요



① 전류 0 A. 저항선은 차가운 회색이에요.

② 전류 1 A. 10 W의 열이 나서 미지근해져요.

③ 전류 2배(2 A). 열은 4배(40 W)가 되어 주황색으로 뜨거워져요.

④ 전류 3배(3 A). 열은 9배(90 W). 빨갛게 달아올라요. 전선이 이렇게 되면 화재 위험이에요.

움직이는 그림 2-4-A. 같은 10 Ω 저항선에 흐르는 전류를 0 → 1 → 2 → 3 A로 늘리면 발열은 0 → 10 → 40 → 90 W로 전류의 제곱만큼 커지고, 선의 색이 회색 → 주황 → 빨강으로 변해요.

용어 정리

용어	뜻
전력	1초 동안 쓰는 전기 에너지. 단위 W(와트), 1 W = 1 J/s
전력량(전기 에너지)	전력 × 시간. 단위 J 또는 kWh
kWh(킬로와트시)	1,000 W를 1시간 쓴 에너지. 전기요금의 기준 단위
줄열	전류가 저항을 지날 때 생기는 열. I^2R에 비례
과전류	정해진 값보다 큰 전류. 발열, 화재의 원인
퓨즈 / 차단기	과전류가 흐르면 회로를 끊는 보호 장치. 퓨즈는 녹아서 끊기고(교체), 차단기는 다시 올려 쓸 수 있음

예제 1 (세 가지 공식)

(가) 220 V에서 5 A가 흐르는 전기 주전자의 전력은? (나) 10 Ω 저항에 2 A가 흐를 때 전력은? (다) 6 Ω 저항에 12 V를 걸 때 전력은?

풀이

(가) V와 I를 아니까 $P = V \times I = 220 \times 5 = 1{,}100$ W. (나) I와 R을 아니까 $P = I^2R = 2^2 \times 10 = 4 \times 10 = 40$ W. (다) V와 R을 아니까 $P = V^2/R = 12^2 \div 6 = 144 \div 6 = 24$ W.

예제 2 (전기요금과 퓨즈)

(가) 1.5 kW 히터를 하루 2시간씩 30일 썼어요. 사용한 전력량과 요금(1 kWh당 200원으로 가정)은? (나) 220 V 멀티탭에 1,100 W 전자레인지와 1,320 W 전기밥솥을 동시에 켰어요. 멀티탭에 10 A 퓨즈가 있다면 어떻게 될까요?

풀이

(가) 전력량 = 1.5 kW × 2 h × 30 = 90 kWh. 요금 = 90 × 200 = 18,000원. (나) 병렬이라 전력을 더하면 1,100 + 1,320 = 2,420 W. 전류 $I = P \div V = 2{,}420 \div 220 = 11$ A. 10 A를 넘으니까 퓨즈가 끊어져요.

비유가 깨지는 지점

- 물레방아 비유로는 전기가 열로 바뀌는 과정이 잘 안 보여요. 전기에서는 저항 속에서 전자가 원자와 계속 부딪히면서 에너지가 열로 바뀌어요.
- $P = I^2R$만 보면 저항이 클수록 열이 많이 날 것 같지만, 같은 전압에 연결하면 $P = V^2/R$이라서 저항이 작을수록 전력이 커요. 문제에서 전류가 고정인지, 전압이 고정인지 먼저 확인해요.
- 퓨즈는 정격을 조금 넘는 전류에서는 바로 끊어지지 않기도 해요. 끊어지는 속도는 퓨즈 종류(속단형, 지연형)에 따라 달라요.

현장 연결

반도체 장비에는 웨이퍼나 챔버를 데우는 히터가 많아서 전력 계산을 자주 해요. 차단기 용량과 전선 굵기를 고를 때도 $P = V \times I$로 전류를 먼저 구해요. 장비 퓨즈가 끊어졌을 때 같은 용량으로 바로 갈아 끼우기 전에, 왜 과전류가 흘렀는지 원인(단락, 부품 고장)을 먼저 찾는 것이 설비 엔지니어의 기본이에요.

확인 문제

1. 12 V에서 60 W를 쓰는 전구에 흐르는 전류는 몇 A인가요?
2. 5 Ω 저항에 3 A가 흐를 때 전력은 몇 W인가요?
3. 500 W 기기를 10시간 쓰면 전력량은 몇 kWh이고, 1 kWh당 200원이면 요금은 얼마인가요?
4. 같은 저항에 흐르는 전류가 3배가 되면 발열량은 몇 배가 되나요?

2-5 직류와 교류

이 장의 목표

- 직류(DC)와 교류(AC)의 차이를 그래프로 설명할 수 있어요.
- 주파수와 주기의 관계(T = 1/f)를 계산할 수 있어요.
- 220 V가 실효값이라는 뜻과 최댓값(약 311 V)의 관계를 알아요.
- 교류를 직류로 바꾸는 정류가 왜 필요한지 말할 수 있어요.

직류(DC): 한 방향으로 꾸준히

직류(DC, Direct Current)는 전류의 방향과 크기가 시간이 지나도 일정한 전기예요. 건전지, 자동차 배터리, 휴대폰 충전기에서 나오는 전기가 직류예요. 그래프로 그리면 시간 축 위에 평평한 가로줄 하나가 그려져요. 회로 기호에서는 (+)와 (-)극이 정해져 있어요.

교류(AC): 방향이 계속 바뀌어요

교류(AC, Alternating Current)는 전압과 전류의 방향이 주기적으로 (+)와 (-)를 오가는 전기예요. 그래프로 그리면 물결 모양의 사인파가 돼요. 1초 동안 물결이 몇 번 반복되는지를 **주파수**라고 하고, 단위는 **헤르츠(Hz)**예요. 물결 하나가 걸리는 시간은 **주기**(T)이고, T = 1 ÷ f예요.

한국 가정용 전기는 **220 V, 60 Hz**예요. 1초에 물결이 60번 반복된다는 뜻이에요. 일본 가정용은 100 V이고, 주파수가 지역에 따라 달라요. 도쿄 같은 동쪽은 50 Hz, 나고야, 오사카 같은 서쪽은 60 Hz예요. 옛날에 동쪽은 독일식, 서쪽은 미국식 발전기를 들여왔기 때문이에요. 모터는 주파수에 따라 회전 속도가 달라져서, 장비를 다른 지역으로 옮길 때는 주파수를 꼭 확인해요.

발전소에서 집까지 전기를 보낼 때 교류를 쓰는 가장 큰 이유는 **변압기**로 전압을 쉽게 올리고 내릴 수 있기 때문이에요. 같은 전력을 높은 전압으로 보내면 전류가 작아져서, 전선에서 열(I^2R)로 잃는 에너지가 줄어요.

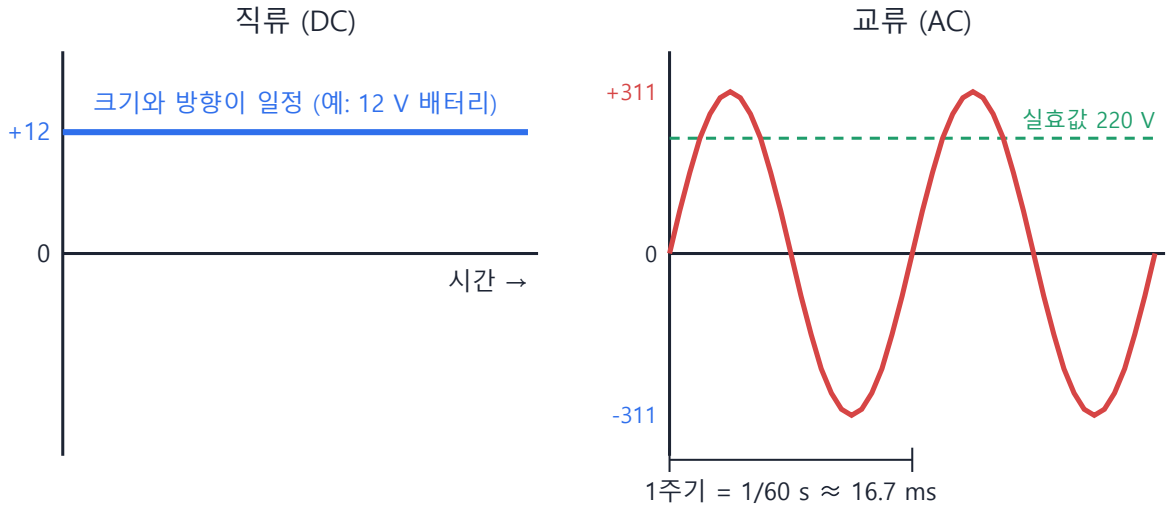


그림 2-5-1. 직류(왼쪽)는 평평한 줄, 교류(오른쪽, 한국 가정용 220 V, 60 Hz)는 +311 V와 -311 V 사이를 오가는 사인파예요. 초록 점선은 실효값 220 V예요.

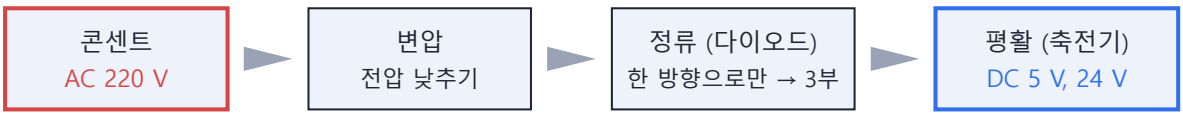
일상 비유

직류는 한 방향으로 흐르는 강물이에요. 교류는 톱질과 같아요. 톱은 앞뒤로 왔다 갔다만 하는데도 나무는 잘려요. 교류에서도 전자는 제자리 근처에서 앞뒤로 흔들릴 뿐이지만, 전구를 켜고 모터를 돌리는 에너지는 잘 전달돼요.

실효값 맛보기와 정류가 필요한 이유

교류 전압은 계속 바뀌는데, 왜 "220 V"라고 한 숫자로 부를까요? 220 V는 **실효값**이에요. 실효값은 "같은 저항에 같은 열을 내는 직류 전압"이에요. 즉 220 V 교류는 220 V 직류와 같은 만큼 히터를 데워요. 사인파에서 최댓값은 실효값의 √2배(약 1.414배)라서, 220 V 교류의 최댓값은 220 × 1.414 ≈ 311 V예요.

그런데 컴퓨터, 반도체 칩, 장비 제어기, 센서는 대부분 **직류**로만 제대로 동작해요. 1초에도 여러 번 방향이 뒤집히는 전기를 그대로 넣으면 회로가 오작동해요. 그래서 교류를 직류로 바꾸는 **정류**가 필요해요. 정류의 핵심 부품은 전류를 한쪽 방향으로만 통과시키는 **다이오드**이고, 3부에서 반도체 PN 접합과 함께 자세히 배워요. 정류한 뒤에는 울퉁불퉁한 전압을 축전기(2-6)로 평평하게 다듬어요.



휴대폰 충전기, 장비 전원 장치 안에서 일어나는 일

그림 2-5-2. 교류를 직류로 바꾸는 흐름. 변압 → 정류 → 평활 순서로 바뀌어요.

용어 정리

용어	뜻
직류 (DC)	방향과 크기가 일정한 전기. 배터리, 충전기 출력
교류 (AC)	방향과 크기가 주기적으로 바뀌는 전기. 가정용 콘센트
주파수 (f)	1초 동안 반복되는 횟수. 단위 Hz(헤르츠)
주기 (T)	물결 한 번에 걸리는 시간. T = 1/f, 단위 s
실효값	같은 열을 내는 직류 값으로 나타낸 교류 크기. 가정용 220 V가 실효값
최댓값	사인파의 가장 높은 값. 실효값 × √2
변압기	교류 전압을 올리거나 내리는 장치
정류	교류를 한 방향 전류(직류)로 바꾸는 것. 다이오드가 핵심

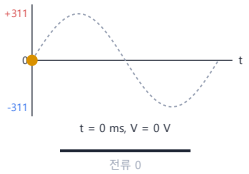
핵심 공식

$T = 1 \div f$

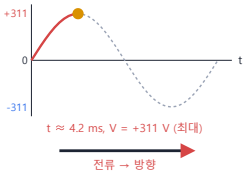
$V_{최대} = \sqrt{2} \times V_{실효} \approx 1.414 \times V_{실효}$

T: 주기(s), f: 주파수(Hz). 한국 가정용: 220 V(실효값), 60 Hz, 최댓값 약 311 V. 일본 가정용: 100 V, 동쪽 50 Hz / 서쪽 60 Hz.

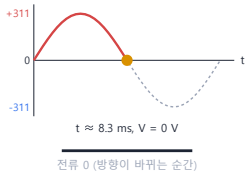
움직이는 그림 · 교류 전압이 +와 -로 바뀌는 모습



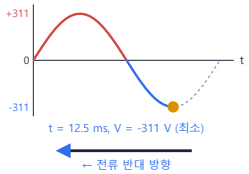
① 시작점. 전압이 0 V라서 전류도 흐르지 않아요.



② 1/4주기 뒤 (+) 최댓값 311 V. 전류가 오른쪽(→)으로 가장 세게 흘러요.



③ 반주기 뒤 다시 0 V. 여기서 전류 방향이 뒤집혀요.



④ 3/4주기 뒤 (-) 최댓값. 전류가 왼쪽(←)으로 세게 흘러요. 16.7 ms 뒤 ①로 돌아가 다시 반복해요.

움직이는 그림 2-5-A. 60 Hz 교류에서 전압은 0 → +311 V → 0 → -311 V → 0을 1/60초마다 반복하고, 그때마다 전류 방향도 바뀌어요.

예제 1

한국(60 Hz)과 일본 동쪽 지역(50 Hz) 교류의 주기는 각각 몇 ms인가요?

풀이

T = 1 ÷ f예요. 60 Hz: T = 1 ÷ 60 ≈ 0.0167 s = 16.7 ms. 50 Hz: T = 1 ÷ 50 = 0.02 s = 20 ms. 주파수가 낮을수록 주기는 길어요.

예제 2

한국 가정용 220 V(실효값) 교류의 최댓값은 약 몇 V인가요?

풀이

$V_{최대} = \sqrt{2} \times V_{실효} \approx 1.414 \times 220 \approx 311$ V. 그래서 220 V 콘센트에는 순간적으로 311 V 가까운 전압이 걸려요. 부품을 고를 때는 이 최댓값을 견딜 수 있는지 봐야 해요.

비유가 깨지는 지점

- 톱질은 눈에 보일 만큼 크게 움직이지만, 교류에서 전자는 아주 작은 거리만 왔다 갔다 해요. 에너지는 전자가 멀리 이동해서가 아니라 전기장을 통해 전달돼요.
- 실효값은 평균값이 아니에요. 사인파를 그냥 평균하면 (+)와 (-)가 상쇄되어 한 주기 동안 0이 돼요. 실효값은 "열을 내는 효과"로 본 값이에요.
- 실제 콘센트 전압은 정확히 220 V가 아니라, 전력 회사가 허용하는 범위 안에서 조금씩 오르내려요.

현장 연결

반도체 공장에는 동력용 3상 380 V, 단상 220 V, 장비 안의 DC 24 V, DC 5 V 같은 여러 전원이 함께 있어요. 장비 안의 SMPS(스위칭 전원 장치)가 교류를 직류로 바꿔 제어기와 센서에 공급하고, 고장 진단 때는 SMPS 출력 전압부터 재요. 일본 공장에서 일한다면 지역 주파수(50 / 60 Hz)와 100 V / 200 V 전원을 장비 사양과 꼭 맞춰야 해요.

확인 문제

1. 50 Hz 교류의 주기는 몇 ms인가요?
2. 일본 가정용 100 V(실효값) 교류의 최댓값은 약 몇 V인가요?
3. 60 Hz 교류에서 1초 동안 전류 방향은 몇 번 바뀌나요?
4. 휴대폰 충전기가 콘센트 전기를 바꾸는 두 가지 일은 무엇인가요?

2-6 축전기와 코일, 전자기 기초

이 장의 목표

- 축전기가 전하를 저장하는 원리와 충전, 방전 과정을 설명할 수 있어요.
- Q = C × V와 시정수 τ = R × C를 계산할 수 있어요.
- 코일에 전류를 흘리면 자기장이 생기고, 이것이 전자석, 모터, 솔레노이드 밸브의 원리라는 것을 알아요.

축전기: 전하를 담는 그릇

축전기(커패시터)는 두 장의 금속판 사이에 절연체를 끼운 부품이에요. 전지를 연결하면 한쪽 판에는 (+) 전하가, 다른 쪽 판에는 (-) 전하가 쌓여요. 판 사이는 절연체라서 전하가 건너가지 못하고 그대로 저장돼요. 얼마나 많이 담을 수 있는지를 **정전용량**(C)이라고 하고, 단위는 **패럿(F)**이에요. 1 F은 아주 큰 값이라서 실제로는 μF(마이크로패럿), pF(피코패럿, 10^{-12} F)을 많이 써요. 저장되는 전하량은 Q = C × V예요. 같은 축전기라면 전압을 높일수록 전하가 많이 쌓여요.

충전과 방전

축전기에 저항을 거쳐 전지를 연결하면 **충전**이 시작돼요. 처음에는 축전기가 텅 비어 있어서 전류가 세게 흐르고 전압이 빠르게 올라가요. 전하가 쌓일수록 축전기 전압이 전지 전압에 가까워지고, 미는 힘의 차이가 줄어서 전류가 약해져요. 그래서 전압은 처음엔 빠르게, 나중엔 천천히 올라가는 곡선을 그려요.

충전 속도는 **시정수** τ(타우) = R × C로 알 수 있어요. τ만큼 시간이 지나면 전지 전압의 약 63%까지, 5τ가 지나면 거의 100%(약 99%)까지 충전돼요. 충전된 축전기 양 끝을 저항으로 이으면 전하가 흘러나오는데, 이것이 **방전**이에요. 중요한 점: 전원을 꺼도 축전기에는 전하가 남아 있을 수 있어요.

일상 비유

축전기는 펌프로 물을 채우는 밀폐된 물탱크와 비슷해요. 처음엔 물이 쑥쑥 들어가지만, 탱크 안 압력이 높아질수록 펌프가 밀어 넣기 힘들어져서 점점 천천히 차요. 탱크 압력이 펌프 압력과 같아지면 더 이상 안 들어가요(충전 완료). 밸브를 열면 담긴 물이 한꺼번에 쏟아져 나와요(방전).

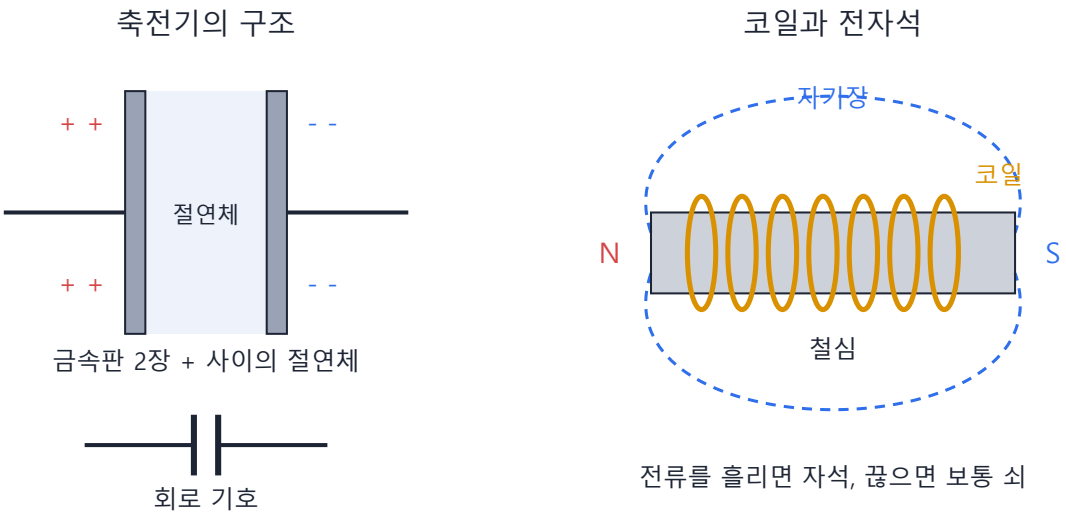


그림 2-6-1. 왼쪽: 축전기는 두 금속판에 (+)와 (-) 전하를 나눠 저장해요. 오른쪽: 철심에 감은 코일에 전류를 흘리면 N극과 S극이 생기는 전자석이 돼요.

코일과 자기장, 전자석

전선에 전류가 흐르면 전선 주위에 **자기장**(자석의 힘이 미치는 공간)이 생겨요. 전선을 용수철처럼 여러 번 감은 것을 **코일**이라고 하는데, 감으면 각 바퀴의 자기장이 한 방향으로 모여서 막대자석처럼 N극과 S극이 생겨요. 코일 안에 철심을 넣으면 자기장이 훨씬 세져요. 이것이 **전자석**이에요. 전자석을 세게 만드는 방법은 ① 감은 횟수 늘리기 ② 전류 늘리기 ③ 철심 넣기예요. 전류를 끊으면 자석 성질이 사라져서, 스위치로 자석을 켜고 끌 수 있어요.

코일은 전류가 갑자기 변하는 것을 싫어하는 성질도 있어요. 흐르던 전류를 갑자기 끊으면 코일 양 끝에 순간적으로 높은 전압이 생겨요. 그래서 코일을 쓰는 회로에는 이 전압을 흡수하는 다이오드를 달아요(3부).

모터와 솔레노이드 밸브

자기장 속에 있는 전선에 전류를 흘리면 전선이 힘을 받아요(힘의 방향은 플레밍의 왼손 법칙으로 찾아요). 이 힘으로 코일을 계속 돌게 만든 것이 **모터**예요. 전기 에너지를 회전 운동으로 바꾸는 장치죠. **솔레노이드 밸브**는 코일에 전류를 흘리면 전자석이 쇠막대(플런저)를 끌어당겨서 밸브가 열리거나 닫히는 장치예요. 전기 신호 하나로 공기나 가스의 흐름을 켜고 끌 수 있어요. 둘 다 4부(로봇, 공압)에서 다시 만나요.

용어 정리

용어	뜻
축전기 (커패시터)	두 금속판 사이에 절연체를 끼워 전하를 저장하는 부품
정전용량 (C)	축전기가 전하를 담는 능력. 단위 F(패럿), 보통 μF, pF
충전 / 방전	축전기에 전하가 쌓이는 과정 / 쌓인 전하가 빠져나가는 과정
시정수 (τ)	R × C. 충전이 약 63% 되는 데 걸리는 시간(s)
자기장	자석의 힘이 미치는 공간. 전류 주위에도 생김
코일 / 전자석	전선을 감은 것 / 코일에 철심을 넣고 전류를 흘려 만든 자석
솔레노이드 밸브	전자석이 쇠막대를 당겨 유체(공기, 가스, 물) 흐름을 여닫는 밸브

핵심 공식

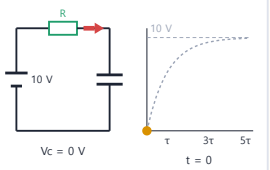
$Q = C \times V$

$\tau = R \times C$

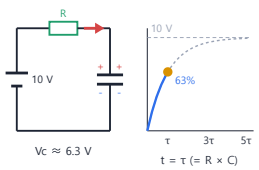
충전: τ 뒤 약 63%, 5τ 뒤 거의 100%

Q: 전하량(C, 쿨롬), C: 정전용량(F, 패럿), V: 전압(V), τ: 시정수(s), R: 저항(Ω). 기호 C(정전용량)와 단위 C(쿨롬)가 같은 글자라서 헷갈리지 않게 조심해요.

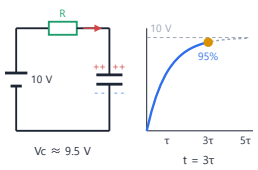
움직이는 그림 · 축전기가 충전되며 전압이 올라가요



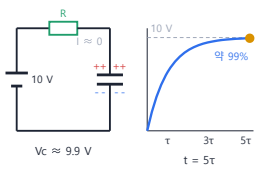
① 스위치를 켠 순간. 축전기는 비어 있어(0 V) 전류가 가장 세게 흘러요.



② τ가 지나면 약 63% (6.3 V)까지 차요. 전하가 쌓이면서 전류는 약해져요.



③ 3τ 뒤 약 95%(9.5 V). 곡선이 점점 눕고 전류는 더 약해져요.



④ 5τ 뒤 거의 다 찼어요 (약 9.9 V). 전지와 전압이 같아져서 전류가 거의 0이에요.

움직이는 그림 2-6-A. 10 V 전지로 축전기를 충전하면 전압이 0 → 6.3 → 9.5 → 9.9 V로 처음엔 빠르게, 나중엔 천천히 올라가고, 회로 전류는 점점 약해져요.

예제 1

100 μF 축전기를 12 V로 충전했어요. 저장된 전하량은 몇 C인가요?

풀이

① 기본 단위로: 100 μF = 100 × 10^{-6} F = 1 × 10^{-4} F. ② Q = C × V = 1 × 10^{-4} × 12 = 1.2 × 10^{-3} C = 1.2 mC이에요.

예제 2

10 kΩ 저항과 100 μF 축전기로 충전 회로를 만들었어요. 시정수와 거의 다 충전되는 시간은?

풀이

τ = R × C = 10,000 Ω × 0.0001 F = 1 s. 거의 다 충전되려면 5τ = 5 s가 걸려요. 1초 뒤에는 전지 전압의 약 63%까지 올라가 있어요.

비유가 깨지는 지점

- 축전기는 전지처럼 화학 반응으로 에너지를 만들지 않고 전하를 잠깐 담아 둘 뿐이에요. 보통 저장량이 작아서 오래 쓰는 전원으로는 맞지 않아요.
- 물탱크에서는 물이 실제로 안으로 들어가지만, 축전기에서는 전자가 절연체를 건너가지 않아요. 한쪽 판에 전자가 쌓이고 다른 쪽 판에서 전자가 빠져나가서, 바깥 회로에서만 전류가 흐르는 것처럼 보여요.
- "코일은 전류 변화를 싫어한다"는 표현은 성질을 기억하기 위한 말이에요. 실제로는 자기장에 저장된 에너지와 전자기 유도로 설명해요.

현장 연결

장비 전원부에는 큰 축전기가 있어서 전원을 꺼도 한동안 위험한 전압이 남을 수 있어요. 그래서 점검 전에는 방전 여부를 측정으로 확인해요(2-7). 반도체 장비의 공압 밸브와 가스 밸브는 대부분 솔레노이드 밸브이고, 웨이퍼 이송 로봇과 진공 펌프는 모터로 움직여요(4부). 기능사 필기에는 전자석 세기, 플레밍 법칙, 축전기 계산 문제가 나와요.

확인 문제

1. 47 μF 축전기를 10 V로 충전하면 저장되는 전하량은 몇 C인가요?
2. 1 kΩ 저항과 1,000 μF 축전기로 만든 회로의 시정수 τ는 몇 초이고, 거의 다 충전되는 데는 몇 초가 걸리나요?
3. 전자석을 더 세게 만드는 방법을 두 가지 쓰세요.
4. 전원을 끈 장비의 전원부를 바로 손으로 만지면 안 되는 이유를 축전기와 연결해 설명하세요.

2-7 측정과 전기 안전

이 장의 목표

- 멀티미터로 전압, 전류, 저항을 올바르게 연결해서 잴 수 있어요.
- 접지와 누전차단기가 사람을 지키는 원리를 설명할 수 있어요.
- LOTO(잠금 · 표지)의 뜻과 순서, 정전기(ESD)가 반도체에 위험한 이유를 알아요.

멀티미터 기본

멀티미터는 전압, 전류, 저항을 하나로 재는 측정기예요. 가운데 다이얼로 측정 종류를 고르고, 아래 단자에 측정선(프로브)을 꽂아요. 검은 선은 항상 **COM**(공통) 단자에, 빨간 선은 전압이나 저항을 잴 때 **VΩ** 단자에, 전류를 잴 때만 **A**(또는 mA) 단자에 꽂아요. 직류 전압은 DC V, 교류 전압은 AC V(물결 표시 ~)를 골라요. 범위를 직접 고르는 미터라면 예상보다 큰 범위부터 시작해요. 값이 범위를 넘으면 화면에 **OL**(Over Limit, 범위 초과)이 떠요. 저항 측정에서 OL은 "끊어져 있다(무한대)"는 뜻이에요.

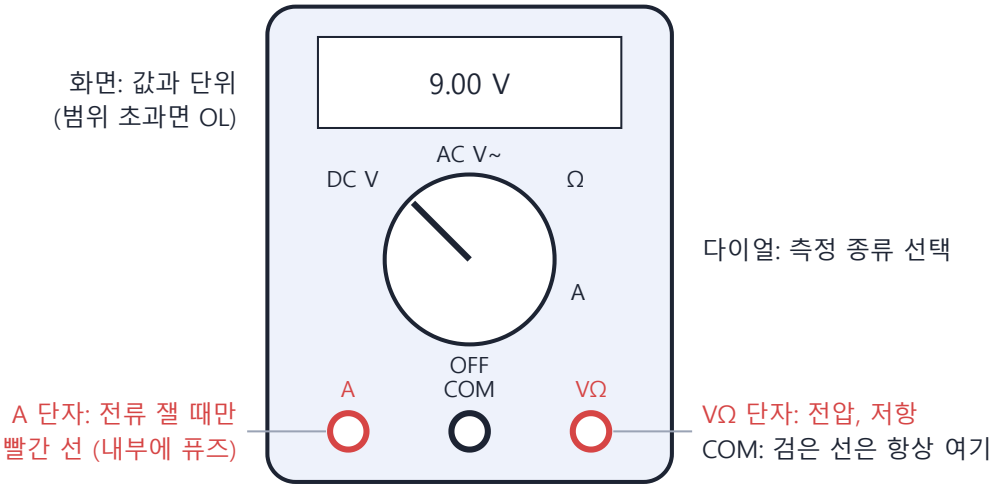


그림 2-7-1. 멀티미터의 구성. 측정할 종류를 다이얼로 고르고, 빨간 선 단자를 종류에 맞게 바꿔 꽂아요.

전압은 병렬, 전류는 직렬, 저항은 전원 끄고

전압은 두 점의 높이 차이라서, 재고 싶은 부품의 양 끝에 프로브를 **병렬**로 대요. 전압계는 내부 저항이 아주 커서 전류를 거의 빼앗지 않아요. 그래서 회로가 그대로 동작하는 채로 잴 수 있어요.

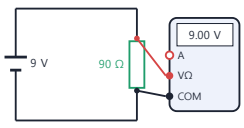
전류는 "지나가는 양"이라서, 회로를 한 곳 끊고 그 사이에 미터를 **직렬**로 끼워서 전류가 미터를 통과하게 해야 해요. 전류계는 내부 저항이 거의 0이에요. 그래서 전류 모드로 전원 양 끝에 병렬로 대면 단락(쇼트)이 되어 큰 전류가 흐르고, 미터 안의 퓨즈가 끊어지거나 불꽃이 튈 수 있어요.

저항은 미터가 자기 전지로 작은 전류를 흘려 보고 계산하는 방식이라서, 반드시 **전원을 끄고** 축전기를 방전한 뒤에 재요. 전원이 살아 있으면 값이 틀리고 미터가 망가질 수 있어요. 회로에 붙은 채로 재면 다른 길로 새는 전류 때문에 값이 달라질 수 있어서, 부품 한쪽 다리를 떼고 재기도 해요.

일상 비유

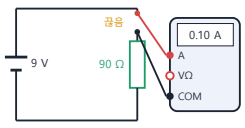
전압 측정은 댐 위와 아래의 수위를 옆에서 눈금자로 비교하는 거예요. 물길을 건드리지 않아요. 전류 측정은 수도관을 잘라서 그 사이에 유량계를 끼우는 거예요. 물이 유량계를 지나가야 양을 셀 수 있어요. 저항 측정은 물을 다 빼고 관만 떼어서 막힘이 있는지 검사하는 거예요.

움직이는 그림 · 멀티미터 연결 3가지 방법



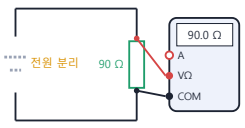
전압: 부품 양 끝에 병렬로

① 전압 측정. 다이얼은 DC V, 빨간 선은 VΩ. 저항 양 끝에 병렬로 대면 9.00 V가 나와요. 회로는 끊지 않아요.



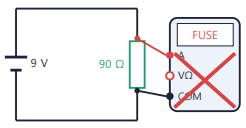
전류: 회로를 끊고 직렬로

② 전류 측정. 전원을 끄고 회로 한 곳을 끊은 뒤, 빨간 선을 A 단자로 옮겨 끊은 자리에 직렬로 끼워요. 9 V ÷ 90 Ω = 0.10 A.



저항: 전원 끄고 부품 양 끝에

③ 저항 측정. 전원을 분리하고 다이얼을 Ω로. 빨간 선은 다시 VΩ. 부품 양 끝에 대면 90.0 Ω이 나와요.



잘못된 예: A 단자로 병렬 = 단락

④ 잘못된 예. 빨간 선이 A 단자에 꽂힌 채로 병렬로 대면, 저항이 거의 0인 길이 생겨 단락! 미터 퓨즈가 끊어져요.

움직이는 그림 2-7-A. 같은 회로(9 V, 90 Ω)에서 전압은 병렬, 전류는 회로를 끊고 직렬, 저항은 전원을 분리하고 재요. 마지막은 전류 모드로 병렬 연결했을 때의 사고 예예요.

감전과 안전 장치: 접지, 누전차단기, LOTO

감전의 위험은 전압 자체보다 **몸을 지나가는 전류**의 크기, 지나가는 길(심장을 지나는지), 시간으로 정해져요. 몇 mA면 찌릿한 정도지만, 수십 mA가 되면 근육이 굳어 손을 뗄 수 없고 생명이 위험할 수 있어요. 젖은 손은 몸의 저항이 작아져서 같은 전압에서도 더 큰 전류가 흘러요(V = I × R).

접지는 기기의 금속 외함을 땅과 전선으로 이어 두는 거예요. 기기 안에서 전기가 새어 외함에 닿아도(누전), 전류가 사람 몸 대신 저항이 작은 접지선으로 흘러가요. **누전차단기**는 기기로 나가는 전류와 돌아오는 전류를 계속 비교해요. 둘이 같으면 정상이고, 차이가 생기면 어딘가로 새고 있다는 뜻이라 아주 짧은 시간 안에 전기를 끊어요. 가정용은 보통 30 mA의 차이에서 동작해요.

LOTO(Lock Out, Tag Out: 잠금 · 표지)는 장비를 점검할 때 다른 사람이 실수로 전원을 켜지 못하게 하는 절차예요. ① 작업을 알리고 장비를 정지 → ② 차단기 등 에너지원 차단 → ③ 차단기에 개인 자물쇠를 잠그고(잠금) 이름과 작업 내용을 적은 꼬리표를 붙임(표지) → ④ 남은 에너지 제거(축전기 방전, 공압 배출) → ⑤ 측정기로 0 V를 확인한 뒤 작업 시작. 열쇠는 작업자 본인만 가지고 있어요.

정전기와 반도체 (ESD)

건조한 날 문고리에서 찌릿한 것이 **정전기**예요. 사람이 걷기만 해도 몸에 수천 V의 정전기가 쌓일 수 있어요. 전하량은 작아서 사람은 놀라는 정도지만, 반도체 칩 안에는 아주 얇은 절연막이 있어서 정전기가 순간적으로 흐르면(**ESD**, Electrostatic Discharge: 정전기 방전) 이 막이 뚫려 칩이 망가져요. 사람이 느끼지 못할 만큼 약한 정전기로도 손상될 수 있어요. 그래서 반도체 현장에서는 손목 접지 밴드(리스트 스트랩), 정전기 방지 매트와 작업복, 이오나이저(공기 중 이온으로 전하를 중화하는 장치), 습도 관리로 정전기를 막아요.

용어 정리

용어	뜻
멀티미터	전압, 전류, 저항 등을 하나로 재는 측정기
COM / VΩ / A 단자	검은 선 공통 단자 / 전압, 저항용 / 전류용 단자
OL	측정 범위 초과. 저항 측정에서는 끊어짐(무한대)
접지	기기 금속 외함을 땅에 연결해서 새는 전류를 땅으로 보내는 것
누전 / 누전차단기	전기가 정해진 길 밖으로 새는 것 / 나가는 전류와 돌아오는 전류 차이를 감지해 끊는 장치
LOTO	Lock Out, Tag Out. 에너지원을 차단하고 자물쇠와 꼬리표로 재가동을 막는 절차
ESD	정전기 방전. 반도체 칩을 손상시킬 수 있음

핵심 정리

전압 → 병렬, 빨간 선 VΩ, 회로는 그대로

전류 → 직렬, 빨간 선 A, 회로를 끊고 끼움

저항 → 전원 OFF, 방전 후, 빨간 선 VΩ

LOTO → 정지 → 차단 → 잠금 · 표지 → 잔류 에너지 제거 → 0 V 확인

검은 선은 항상 COM. 전류 측정이 끝나면 빨간 선을 VΩ로 되돌려 놓는 습관을 들여요(다음 전압 측정 때 단락 사고 예방).

예제 1

젖은 손일 때 몸의 저항을 1,000 Ω이라고 가정해요. 220 V에 닿으면 몸에 흐르는 전류는 몇 mA인가요? 누전차단기 동작 전류 30 mA와 비교해 보세요.

풀이

I = V ÷ R = 220 ÷ 1,000 = 0.22 A = 220 mA. 30 mA의 7배가 넘는 매우 위험한 전류예요. 그래서 젖은 손으로 전기 기기를 만지면 안 되고, 누전차단기가 빠르게 끊어 주는 것이 중요해요.

예제 2

범위를 직접 고르는 멀티미터에 DC V 범위가 2 V, 20 V, 200 V가 있어요. 9 V 건전지를 잴 때 어느 범위가 가장 좋을까요?

풀이

2 V는 9 V보다 작아서 OL(범위 초과)이 떠요. 200 V로도 잴 수는 있지만 소수점 아래 자리가 줄어 덜 정밀해요. 9 V보다 크면서 가장 작은 범위인 20 V가 가장 좋아요. 값을 모를 때는 200 V부터 시작해서 내려와요.

비유가 깨지는 지점

- 유량계를 끼우면 물 흐름이 조금 방해받듯, 전류계와 전압계도 회로에 아주 작은 영향을 줘요. 아주 민감한 회로에서는 측정 자체가 값을 바꿀 수 있어요.
- 저항 모드에서 OL이 나왔다고 "전기가 없다"는 뜻은 아니에요. 전기가 남아 있는지는 반드시 전압 모드로 따로 확인해요.
- 누전차단기는 "나가는 전류와 돌아오는 전류의 차이"를 보기 때문에, 사람이 두 전선을 동시에 잡아 몸이 회로의 일부가 되는 경우에는 끊지 못할 수 있어요. 그래서 차단기를 믿기보다 LOTO로 에너지를 확실히 없애고 작업해요.

현장 연결

반도체 공장에서는 장비 커버를 열기 전 LOTO가 필수이고, 이를 어기면 감전이나 끼임 같은 큰 사고로 이어져요. 클린룸에서는 정전기 방지복과 손목 밴드를 착용하고 웨이퍼와 보드를 다뤄요. 멀티미터 사용법, 접지, 누전차단기 원리는 기능사 시험과 현장 실무 모두에서 기본으로 다뤄요.

확인 문제

1. 전구 양 끝의 전압을 잴 때와 전구에 흐르는 전류를 잴 때, 멀티미터는 각각 직렬과 병렬 중 어떻게 연결하나요?
2. 전류 모드(빨간 선이 A 단자)로 전지 양 끝에 병렬로 대면 어떤 일이 생기나요? 이유도 쓰세요.
3. 누전차단기는 무엇과 무엇을 비교해서 누전을 알아내나요?
4. LOTO는 무엇의 줄임말이고, 자물쇠 열쇠를 작업자 본인이 가지고 있어야 하는 이유는 무엇인가요?

PART 2 확인 문제 정답과 풀이

2-1

1. 전류는 (+)극 → 회로 → (-)극으로 흐른다고 그려요. 실제 전자는 반대로 (-)극 → (+)극으로 움직여요. 전자를 알기 전에 정한 약속을 그대로 쓰기 때문이에요.
2. 2.5 A. I = Q ÷ t = 5 C ÷ 2 s = 2.5 A.
3. 물탱크의 높이(수압) = 전압, 관의 좁은 부분 = 저항이에요. (물의 흐름 = 전류)
4. 5 C. Q = I × t = 0.5 A × 10 s = 5 C.

2-2

1. 3 A. I = V ÷ R = 24 ÷ 8 = 3 A.
2. 4.5 V. V = I × R = 0.003 A × 1,500 Ω = 4.5 V (mA × kΩ = V: 3 × 1.5 = 4.5).
3. 250 Ω. R = V ÷ I = 5 V ÷ 0.02 A = 250 Ω.
4. (가) 2.2 kΩ (2,200 ÷ 1,000) (나) 300 mA (0.3 × 1,000) (다) 47 kΩ (0.047 × 1,000)

2-3

1. 60 Ω. 직렬은 더해요: 10 + 20 + 30 = 60 Ω.
2. 3 Ω. 곱 나누기 합: (12 × 4) ÷ (12 + 4) = 48 ÷ 16 = 3 Ω.
3. 6 V. 합성저항 3 kΩ, 전류 I = 9 V ÷ 3,000 Ω = 0.003 A = 3 mA. V = 0.003 A × 2,000 Ω = 6 V. (전압 분배로 9 × 2 ÷ 3 = 6 V도 같아요.)
4. 3 A. 키르히호프 제1법칙: 들어온 전류 = 나간 전류의 합 → 5 = 2 + I, I = 3 A.

2-4

1. 5 A. I = P ÷ V = 60 W ÷ 12 V = 5 A.
2. 45 W. P = I^2R = 3^2 × 5 = 9 × 5 = 45 W.
3. 5 kWh, 1,000원. 500 W = 0.5 kW, 0.5 kW × 10 h = 5 kWh. 요금 5 × 200 = 1,000원.
4. 9배. 발열은 I^2R에 비례하므로 3^2 = 9배예요.

2-5

1. 20 ms. T = 1 ÷ 50 = 0.02 s = 20 ms.
2. 약 141 V. V최대 = 1.414 × 100 ≈ 141 V.
3. 120번. 한 주기 동안 (+) → (-), (-) → (+)로 방향이 2번 바뀌고, 1초에 60주기이므로 2 × 60 = 120번이에요.
4. ① 220 V를 기기에 맞는 낮은 전압(예: 5 V)으로 낮춰요(변압). ② 교류를 직류로 바꿔요(정류, 평활).

2-6

1. 4.7 × 10^{-4} C (= 470 μC). Q = C × V = 47 × 10^{-6} F × 10 V = 470 × 10^{-6} C.
2. τ = 1 s, 거의 다 충전 = 5 s. τ = R × C = 1,000 Ω × 0.001 F = 1 s, 5τ = 5 s.
3. 다음 중 두 가지: 코일을 감은 횟수 늘리기, 전류 늘리기, 코일 안에 철심 넣기.
4. 전원을 꺼도 전원부의 큰 축전기에 전하가 남아 있어 높은 전압이 걸려 있을 수 있어요. 손을 대면 그 전하가 몸으로 흘러 감전될 수 있으니, 방전시키고 전압계로 0 V를 확인한 뒤 작업해요.

2-7

1. 전압은 병렬(전구 양 끝에 대기), 전류는 직렬(회로를 끊고 미터를 끼우기)이에요.
2. 단락(쇼트)이 생겨요. 전류계는 내부 저항이 거의 0이라 전지 양 끝을 바로 잇는 셈이 되고, 아주 큰 전류가 흘러 미터 퓨즈가 끊어지거나 불꽃, 발열, 기기 손상이 생길 수 있어요.

3. 기기로 나가는 전류와 돌아오는 전류를 비교해요. 둘의 차이가 생기면(새는 전류가 있으면) 누전으로 보고 전기를 끊어요.
4. Lock Out, Tag Out(잠금 · 표지)의 줄임말이에요. 열쇠를 작업자 본인이 가지고 있어야, 작업 중에 다른 사람이 모르고 차단기를 다시 켜서 감전이나 끼임 사고가 나는 것을 막을 수 있어요.

PART 3

반도체 소자와 공정

이 부에서는 반도체가 왜 전기를 "반만" 통하는지부터 시작해서 도핑, PN 접합, 트랜지스터, 메모리까지 소자의 원리를 배워요. 그다음 웨이퍼 한 장이 칩이 되기까지 거치는 8대 공정과, 공정 장비가 공통으로 가진 진공 챔버, 플라즈마, 가스 공급 장치를 살펴봐요. 공정 / 장비 엔지니어는 이 원리를 알아야 장비 경보나 불량이 왜 생겼는지 짐작할 수 있어요. 반도체설비보전기능사 필기에도 자주 나오는 내용이에요.

- 3-1 도체, 절연체, 반도체와 에너지 밴드
- 3-2 도핑과 캐리어
- 3-3 PN 접합과 다이오드
- 3-4 트랜지스터와 MOSFET
- 3-5 메모리 반도체
- 3-6 반도체 공정 1: 웨이퍼, 산화, 포토
- 3-7 반도체 공정 2: 식각, 증착, 이온주입
- 3-8 배선, CMP, 세정, 테스트·패키징 그리고 장비의 기초

3-1 도체, 절연체, 반도체와 에너지 밴드

이 장의 목표

- 도체, 절연체, 반도체를 전기가 통하는 정도로 구분할 수 있어요.
- 가전자대, 전도대, 밴드갭이 무엇인지 그림으로 설명할 수 있어요.
- 온도가 오르면 반도체가 왜 전기를 더 잘 통하는지 말할 수 있어요.

전기가 잘 통하는 물질과 안 통하는 물질

구리나 알루미늄처럼 전기가 잘 흐르는 물질을 **도체**라고 해요. 유리, 고무, 이산화규소(SiO_2)처럼 전기가 거의 흐르지 않는 물질은 **절연체**예요. 그 중간에 있는 물질이 **반도체**예요. 대표 선수는 실리콘(Si)이에요.

반도체가 특별한 이유는 단지 "중간"이라서가 아니에요. 온도, 빛, 불순물, 전압으로 전기가 통하는 정도를 크게 바꿀 수 있어서예요. 마음대로 조절할 수 있으니 스위치와 메모리를 만들 수 있어요.

에너지 밴드: 전자가 머무를 수 있는 층

원자가 아주 많이 모여 고체가 되면, 전자가 가질 수 있는 에너지가 띠(밴드) 모양으로 묶여요. 아래쪽 띠는 **가전자대**예요. 원자끼리 결합하는 데 쓰이는 가전자(최외각 전자)가 머무는 곳이에요. 위쪽 띠는 **전도대**예요. 여기에 올라간 전자는 자유롭게 움직이며 전류를 만들어요. 두 띠 사이에는 전자가 머무를 수 없는 빈 구간이 있는데, 이것을 **밴드갭**(띠 사이의 틈)이라고 해요.

도체는 두 띠가 겹쳐 있어서 전자가 바로 움직여요. 절연체는 밴드갭이 아주 커서 전자가 거의 올라가지 못해요. 반도체는 밴드갭이 적당히 작아요. 실리콘의 밴드갭은 상온에서 약 1.12 eV예요.

온도가 오르면 반도체는 더 잘 통해요

앞에서 배운 손잡기 놀이를 떠올려 봐요. 실리콘 원자는 손(가전자)이 4개라서 이웃 4명과 손을 꼭 잡고 있어요. 모두 손을 잡고 있으면 아무도 돌아다니지 못하니 전류가 거의 없어요. 그런데 열을 받으면 몇몇 전자가 에너지를 얻어 손을 놓고 뛰쳐나가요. 밴드 그림으로 말하면 밴드갭을 넘어 전도대로 올라간 거예요. 전자가 떠난 자리에는 빈손이 남는데, 이것을 **정공**이라고 해요.

온도가 높을수록 뛰쳐나가는 전자가 많아지니 반도체의 전도도는 커져요(저항은 작아져요). 금속은 반대예요. 금속은 원래 자유전자가 아주 많고, 온도가 오르면 원자가 더 심하게 흔들려 전자의 길을 막기 때문에 저항이 커져요.

일상 비유

에너지 밴드는 2층 건물과 비슷해요. 1층(가전자대)은 사람이 꽉 찬 만원 지하철 같아서 아무도 움직일 수 없어요. 2층(전도대)은 텅 빈 광장이라 올라간 사람은 자유롭게 걸어 다녀요. 두 층 사이 계단의 높이가 밴드갭이에요. 도체는 계단이 아예 없고, 반도체는 계단이 조금 높고, 절연체는 계단이 너무 높아서 아무도 못 올라가요.

용어 정리

용어	뜻
도체	전기가 잘 통하는 물질 (구리, 알루미늄)
절연체	전기가 거의 통하지 않는 물질 (유리, SiO_2)
반도체	도체와 절연체 중간. 온도, 불순물, 전압으로 성질을 조절할 수 있는 물질 (Si)
에너지 밴드	고체 속 전자가 가질 수 있는 에너지 값들이 모인 띠
가전자대	결합에 쓰이는 전자가 채우고 있는 아래쪽 띠
전도대	전자가 자유롭게 움직일 수 있는 위쪽 띠
밴드갭	가전자대와 전도대 사이, 전자가 머무를 수 없는 에너지 구간
정공	전자가 빠져나간 빈자리. + 전하처럼 행동해요
eV (전자볼트)	전자 1개가 1 V의 전압을 지날 때 얻는 에너지

핵심 공식

$1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}\ J$

실리콘 밴드갭 $E_g \approx 1.12\ eV$ (상온)

전도도 $\sigma = 1 / \rho$

E_g는 밴드갭 에너지예요. σ(시그마)는 전기가 통하는 정도인 전도도, ρ(로)는 전기가 통하지 않으려는 정도인 비저항이에요. 하나가 커지면 다른 하나는 작아져요. J(줄)은 에너지의 단위예요.

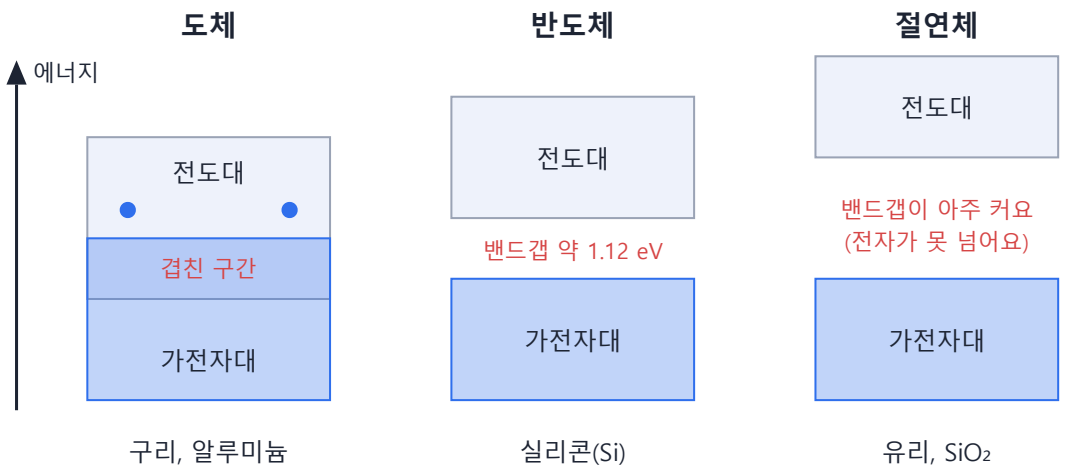


그림 3-1-1. 도체, 반도체, 절연체의 에너지 밴드. 밴드갭의 크기가 전기가 통하는 정도를 정해요.

움직이는 그림 · 열을 받은 전자가 밴드갭을 넘어가요



움직이는 그림 3-1-A. 열 에너지를 받은 전자가 밴드갭을 넘어 전도대로 올라가고, 전자와 정공이 함께 전류를 만들어요.

예제 1

실리콘의 밴드갭 1.12 eV를 줄(J) 단위로 바꾸면 얼마인가요?

풀이

① 1 eV = 1.6×10^{-19} J이에요.

② 1.12 eV = $1.12 \times 1.6 \times 10^{-19}$ J = 1.792×10^{-19} J

③ 약 1.8×10^{-19} J이에요. 아주 작은 값이지만 전자 1개에게는 꽤 높은 계단이에요.

예제 2

방의 온도를 올렸을 때 구리선과 실리콘 조각의 저항은 각각 어떻게 변할까요?

풀이

① 구리(도체): 자유전자 수는 거의 그대로인데 원자의 흔들림이 커져 전자를 방해해요 → 저항이 커져요.

② 실리콘(반도체): 밴드갭을 넘는 전자와 정공이 늘어나요 → 저항이 작아져요.

비유가 깨지는 지점

- 밴드는 건물의 층처럼 실제 공간이 아니라 "전자가 가질 수 있는 에너지 값의 범위"예요. 전도대 전자가 결정의 위쪽에 모여 있다는 뜻이 아니에요.
- 전자는 계단을 한 칸씩 오르지 않아요. 밴드갭 이상의 에너지를 받아야 넘어가고, 모자라면 넘어가지 못해요.
- 절연체도 아주 큰 전압을 걸면 갑자기 전류가 흐르며 망가질 수 있어요(절연 파괴). "절대 안 통한다"는 뜻은 아니에요.

현장 연결

칩 하나 안에 실리콘(반도체), 게이트 산화막 SiO_2(절연체), 금속 배선(도체)이 모두 들어 있어요. 반도체의 성질은 온도에 따라 바뀌기 때문에 공정 장비는 웨이퍼 온도를 정밀하게 관리해요. SiC, GaN처럼 밴드갭이 큰 반도체는 높은 전압과 온도를 잘 견뎌서 전력 반도체에 쓰여요.

확인 문제

1. 도체, 반도체, 절연체를 밴드갭이 작은 것부터 순서대로 쓰세요.
2. 상온에서 실리콘의 밴드갭은 약 몇 eV인가요?
3. 온도가 오르면 반도체의 전도도는 어떻게 되나요? 손잡기 놀이로 이유를 설명해 보세요.
4. 가전자대의 전자가 전도대로 올라간 뒤, 가전자대에 남는 빈자리를 무엇이라고 하나요?

3-2 도핑과 캐리어

이 장의 목표

- 진성 반도체와 외인성 반도체의 차이를 말할 수 있어요.
- n형(P, As)과 p형(B) 반도체가 만들어지는 원리를 손잡기 놀이로 설명할 수 있어요.
- 자유전자, 정공, 다수 캐리어, 소수 캐리어를 구분할 수 있어요.
- 인과 비소를 어디에 나누어 쓰는지 이유와 함께 말할 수 있어요.

진성 반도체와 외인성 반도체

불순물이 거의 없는 순수한 실리콘을 **진성 반도체**라고 해요. 상온에서 열 때문에 생긴 자유전자와 정공이 같은 수만큼 아주 조금 있을 뿐이라 전기가 잘 안 통해요. 그래서 실리콘에 다른 원소를 아주 조금 섞어요. 이것을 **도핑**이라 하고, 섞는 원소를 **도펀트**라고 해요. 도핑한 반도체는 **외인성 반도체**라고 불러요. 바깥(외)에서 온 원인으로 성질이 바뀌었다는 뜻이에요.

n형: 손이 하나 남아요, p형: 손이 하나 모자라요

인(P)과 비소(As)는 15족(예전 이름 5족) 원소라 손이 5개예요. 실리콘 자리에 들어가면 4개는 이웃과 잡고 1개가 남아요. 남은 전자는 작은 에너지로도 쉽게 떨어져 자유전자가 돼요. 이렇게 전자를 내주는 도펀트를 **도너**(주는 쪽)라 하고, 전자가 많은 반도체를 **n형**(negative, 음)이라고 해요.

붕소(B)는 13족(예전 이름 3족) 원소라 손이 3개예요. 실리콘 자리에 들어가면 한 군데가 손을 못 잡아 빈자리가 생겨요. 이 빈자리가 **정공**이에요. 옆 전자가 빈자리로 옮겨 오면, 빈자리는 반대쪽으로 한 칸 이동한 것처럼 보여요. 그래서 정공을 + 전하를 가진 알갱이처럼 다뤄요. 전자를 받아들이는 도펀트는 **억셉터**(받는 쪽), 정공이 많은 반도체는 **p형**(positive, 양)이에요.

다수 캐리어와 소수 캐리어

캐리어는 전하를 실어 나르는 운반자라는 뜻이에요. 전자와 정공이 캐리어예요. n형에서는 전자가 **다수 캐리어**, 정공이 **소수 캐리어**예요. p형은 그 반대예요. 도핑하면 다수 캐리어가 크게 늘고, 소수 캐리어는 오히려 줄어들어요.

인과 비소는 무엇이 다를까요

둘 다 n형을 만들지만 쓰임이 달라요. 비소는 인보다 무거워서 열을 받아도 실리콘 속으로 천천히 퍼져요(확산이 느려요). 그래서 표면 가까이에 얕고 또렷하게 만들어야 하는 소스, 드레인 같은 얕은 접합에 잘 맞아요. 인은 가볍고 확산이 빨라서 웰(well, 트랜지스터를 넣는 넓고 깊은 바탕 영역)처럼 깊은 영역을 만들 때 많이 써요.

일상 비유

극장에 관객이 빈틈없이 앉아 있다고 해요. 가운데 한 자리가 비어 있으면, 옆 사람이 그 자리로 옮겨 앉고, 또 그 옆 사람이 옮겨 앉아요. 사람은 한 칸씩 왼쪽으로 옮겼을 뿐인데, 멀리서 보면 "빈자리"가 오른쪽으로 쭉 걸어가는 것처럼 보여요. 이 빈자리가 정공이에요. 반대로 n형은 꽉 찬 극장에 자리 없는 관객이 한 명 더 들어와 통로를 돌아다니는 모습이에요.

용어 정리

용어	뜻
진성 반도체	불순물이 거의 없는 순수한 반도체
외인성 반도체	도펀트를 넣어 성질을 바꾼 반도체 (n형, p형)
도핑 / 도펀트	불순물을 일부러 조금 넣는 일 / 넣는 원소
도너	전자를 내주는 도펀트. 15족 (P, As)
억셉터	전자를 받아들이는 도펀트. 13족 (B)
자유전자	결합에서 떨어져 자유롭게 움직이는 전자
정공	전자가 빠진 빈자리. + 전하를 가진 것처럼 움직여요
다수 캐리어	그 반도체에 더 많은 캐리어 (n형: 전자, p형: 정공)
소수 캐리어	그 반도체에 더 적은 캐리어 (n형: 정공, p형: 전자)
확산	농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 퍼져 나가는 현상

핵심 공식

n형: 전자 농도 $n \gg$ 정공 농도 p (도펀트: P, As)

p형: 정공 농도 $p \gg$ 전자 농도 n (도펀트: B)

열평형에서 $n \times p = n_i^2$

n은 자유전자 농도, p는 정공 농도, n_i는 진성 반도체의 캐리어 농도예요. 농도는 1 cm^3 안에 있는 개수로 나타내고 단위는 cm^{-3}이에요. $\gg$는 "훨씬 크다"는 뜻이에요. 한쪽이 늘면 다른 쪽이 줄어서 둘의 곱은 일정하게 유지돼요.

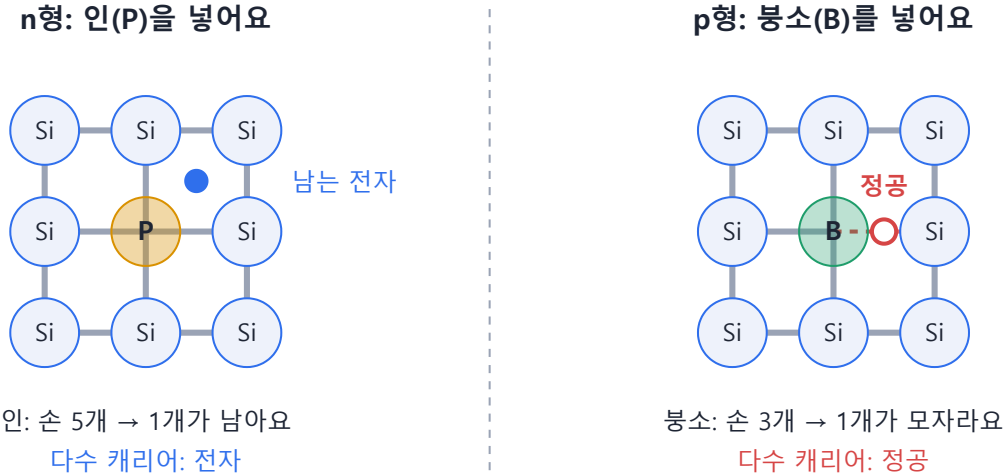
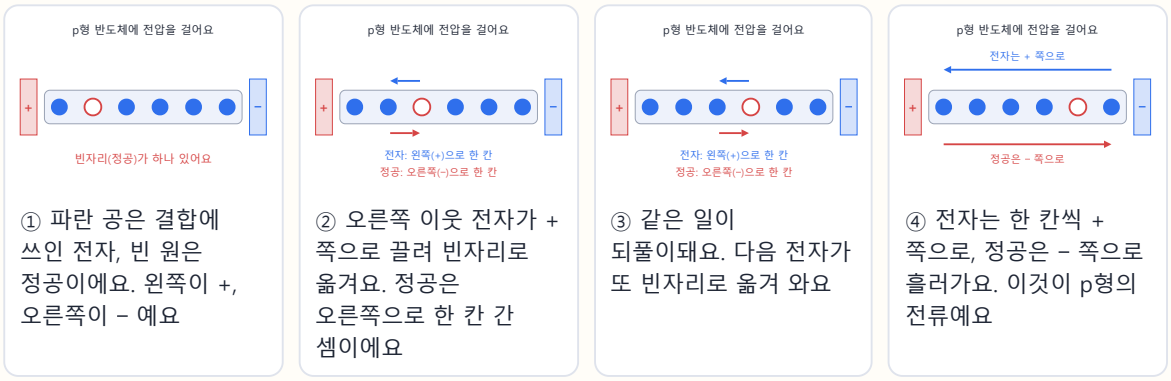


그림 3-2-1. 실리콘 손잡기 놀이에 도펀트가 끼어든 모습. 선 하나가 잡은 손(공유 결합) 하나예요.

움직이는 그림 · p형에서 정공이 움직이는 모습



움직이는 그림 3-2-A. 전자가 한 칸씩 빈자리로 옮기면 정공은 반대 방향으로 이동하는 것처럼 보여요.

예제 1

실리콘에 붕소(B)를 도핑하면 어떤 형의 반도체가 되고, 다수 캐리어는 무엇인가요?

풀이

① 붕소는 13족이라 손(가전자)이 3개예요.
② 실리콘 자리에 들어가면 손 1개가 모자라 정공이 생겨요.
③ 정공이 많으니 p형이고, 다수 캐리어는 정공이에요.

예제 2

n형 실리콘의 전자 농도가 $n = 1 \times 10^{16}\ cm^{-3}$이에요. 계산하기 쉽게 $n_i = 1 \times 10^{10}\ cm^{-3}$로 두면 정공 농도 p는 얼마인가요?

풀이

① $n \times p = n_i^2$이므로 $p = n_i^2 / n$ 이에요.
② $n_i^2 = (10^{10})^2 = 10^{20}$
③ $p = 10^{20} / 10^{16} = 10^4\ cm^{-3}$
④ 전자가 정공보다 10^{12}배 많아요. 그래서 전자가 다수 캐리어예요.

비유가 깨지는 지점

- 정공은 실제로 존재하는 알갱이가 아니에요. "전자가 빠진 자리"의 움직임을 + 알갱이처럼 생각하면 계산이 편해서 쓰는 개념이에요.
- n형이라고 전체가 음(−)전하를 띠지는 않아요. 전자를 내준 도너 원자는 + 이온으로 제자리에 남아서 전체로는 전기적으로 중성이에요.
- 그림처럼 원자 9개 중 1개가 도펀트인 것은 아니에요. 실제로는 실리콘 원자에 비해 아주 적은 양만 넣고, 그 양을 정밀하게 조절해요.

현장 연결

공장에서는 주로 이온주입 공정으로 도핑해요. 이때 비소는 AsH_3(아르신), 인은 PH_3(포스핀), 붕소는 B_2H_6(디보란)이나 BF_3 같은 가스로 공급해요. 이 가스들은 독성이 강해서 3-8장에서 안전 수칙을 따로 다뤄요. n형 / p형 도펀트가 몇 족 원소인지는 기능사 필기의 단골 문제예요.

확인 문제

1. 실리콘에 인(P)을 도핑하면 어떤 형의 반도체가 되고, 다수 캐리어는 무엇인가요?
2. p형 반도체를 만드는 대표 도펀트 한 가지와 그 원소의 가전자(손) 수를 쓰세요.
3. 얕은 소스·드레인 접합에 인보다 비소를 많이 쓰는 이유는 무엇인가요?
4. n형 반도체는 전체적으로 음(−)전하를 띠나요? 이유와 함께 답하세요.

3-3 PN 접합과 다이오드

이 장의 목표

- P와 N을 붙이면 공핍층과 내부 전위가 생기는 과정을 설명할 수 있어요.
- 순방향 바이어스와 역방향 바이어스의 차이를 말할 수 있어요.
- 다이오드의 정류 작용과 LED의 원리를 이해해요.
- 다이오드가 들어간 간단한 회로의 전류를 계산할 수 있어요.

P와 N을 붙이면 생기는 일

p형과 n형을 한 결정 안에서 맞닿게 만든 것을 **PN 접합**이라고 해요. N쪽에는 전자가, P쪽에는 정공이 많아요. 잉크 한 방울이 물에 퍼지듯, 많은 쪽에서 적은 쪽으로 퍼지는 현상을 **확산**이라고 해요. 그래서 N의 전자는 P쪽으로, P의 정공은 N쪽으로 넘어가다가 서로 만나 함께 사라져요. 전자가 빈자리를 채워 둘 다 없어지는 이 현상을 **재결합**이라고 해요.

공핍층과 내부 전위

재결합이 일어난 경계 근처에는 움직이는 캐리어가 거의 없어요. 남는 것은 제자리에 고정된 이온뿐이에요. N쪽에는 전자를 내준 도너가 + 이온으로, P쪽에는 전자를 받은 억셉터가 − 이온으로 남아요. 캐리어가 텅 빈 이 얇은 영역을 **공핍층**(캐리어가 고갈된 층)이라고 해요.

+ 이온과 − 이온 사이에는 전기장이 생겨서, 더 넘어오려는 전자와 정공을 밀어내요. 퍼지려는 힘과 밀어내는 힘이 균형을 이루면 확산이 멈춰요. 이때 경계 양쪽에 생긴 전압 차이를 **내부 전위**라고 해요. 캐리어가 넘어야 하는 언덕이라고 생각하면 돼요.

순방향과 역방향

P쪽에 +, N쪽에 −를 걸면 **순방향 바이어스**예요. 바깥 전압이 언덕을 낮춰서 공핍층이 얇아지고 전류가 잘 흘러요. 실리콘 다이오드는 약 0.6~0.7 V를 넘으면 전류가 크게 늘어요. 반대로 P쪽에 −, N쪽에 +를 걸면 **역방향 바이어스**예요. 언덕이 더 높아지고 공핍층이 넓어져서 전류가 거의 흐르지 않아요.

정류와 LED

PN 접합으로 만든, 한쪽으로만 전류를 흘리는 부품이 **다이오드**예요. 방향이 계속 바뀌는 교류를 한 방향 흐름으로 바꾸는 것을 **정류**라고 하는데, 다이오드가 이 일을 해요. **LED**(발광 다이오드)는 순방향 전류가 흐를 때 전자와 정공이 재결합하면서 남는 에너지를 빛으로 내보내는 다이오드예요. 밴드갭이 클수록 에너지가 큰 빛, 곧 파란색 쪽에 가까운 빛이 나와요.

일상 비유

N마을에는 사람(전자)이 넘치고, P마을에는 빈집(정공)이 많아요. 경계를 열면 사람들이 빈집으로 몰려가 짐을 풀어요. 그러다 경계 근처에는 사람도 빈집도 없는 "무인 지대"가 생기고, 그곳에 세워진 울타리(내부 전위) 때문에 더는 못 넘어가요. 다이오드는 이 울타리를 이용한 일방통행 문이에요. 한쪽에서 밀면(순방향) 울타리가 낮아져 열리고, 반대쪽에서 밀면(역방향) 더 단단히 잠겨요.

용어 정리

용어	뜻
PN 접합	p형과 n형 반도체가 맞닿은 구조
재결합	전자가 정공을 채워 둘 다 사라지는 현상
공핍층	접합 경계에서 캐리어가 빠져나가 고정 이온만 남은 영역
내부 전위	공핍층의 이온 때문에 접합 양쪽에 저절로 생긴 전압 차이 (빌트인 전위)
순방향 바이어스	P에 +, N에 −. 공핍층이 얇아지고 전류가 흘러요
역방향 바이어스	P에 −, N에 +. 공핍층이 넓어지고 전류가 거의 없어요
정류	교류를 한 방향 전류로 바꾸는 일
애노드 / 캐소드	다이오드의 P쪽 단자 / N쪽 단자
항복	역방향 전압이 너무 커져 갑자기 큰 전류가 흐르는 현상
LED	순방향 전류가 흐를 때 빛을 내는 다이오드

핵심 공식

실리콘 다이오드 순방향 전압 $V_F \approx 0.6\sim0.7\ \text{V}$

다이오드 + 저항 직렬 회로의 전류

$$I = (V - V_F) / R$$

V는 전원 전압, V_F는 다이오드가 켜져 있을 때 다이오드 양끝에 걸리는 전압, R은 직렬 저항, I는 회로에 흐르는 전류예요. 전원 전압에서 다이오드 몫을 빼고 남은 전압이 저항에 걸린다고 생각하면 돼요(옴의 법칙 V = I × R).

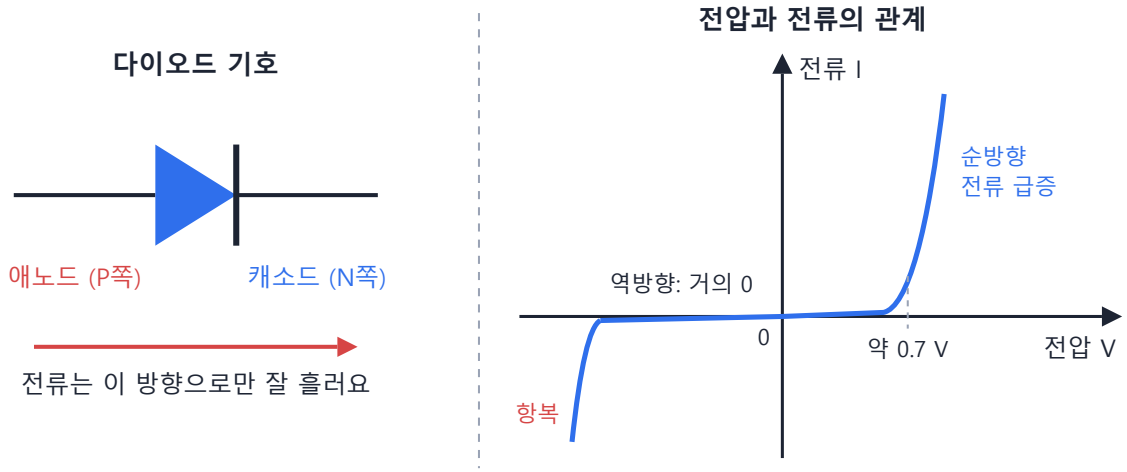


그림 3-3-1. 다이오드 기호(왼쪽)와 전압-전류 그래프(오른쪽). 순방향으로 약 0.7 V를 넘으면 전류가 크게 늘고, 역방향에서는 항복 전까지 거의 흐르지 않아요.

움직이는 그림 · 공핍층이 생기고 순방향 전압으로 얇아져요



① 떨어져 있을 때: P형에는 정공(빈 원), N형에는 전자(파란 점)가 많아요

② 붙이면 전자와 정공이 서로 반대쪽으로 퍼져 나가다 경계에서 만나 재결합해요

③ 경계에는 고정된 이온만 남은 공핍층이 생기고, 이온이 만든 전기장이 더 넘어오지 못하게 막아요

④ 순방향 전압을 걸면 언덕이 낮아져 공핍층이 얇아지고, 전자와 정공이 경계를 넘어 전류가 흘러요

움직이는 그림 3-3-A. P와 N을 붙이면 확산과 재결합으로 공핍층이 생기고, 순방향 전압을 걸면 공핍층이 얇아져 전류가 흘러요.

예제 1

5 V 전원에 실리콘 다이오드(V_F = 0.7 V)와 430 Ω 저항을 직렬로 순방향 연결했어요. 회로에 흐르는 전류는 얼마인가요?

풀이

① 저항에 걸리는 전압 = 5 − 0.7 = 4.3 V

② I = 4.3 V / 430 Ω = 0.01 A

③ 0.01 A = 10 mA예요.

예제 2

예제 1의 회로에서 다이오드만 거꾸로 꽂으면 어떻게 될까요?

풀이

① P쪽이 −, N쪽이 +가 되니 역방향 바이어스예요.

② 공핍층이 넓어져 전류가 거의 0이에요.

③ 전류가 없으니 저항에 걸리는 전압도 거의 0이고, 전원 전압 5 V가 거의 모두 다이오드 양끝에 걸려요.

비유가 깨지는 지점

- 공핍층은 "무인 지대"라고 했지만 진짜 빈 공간은 아니에요. 실리콘 원자와 도펀트 이온은 그대로 있고, 움직이는 캐리어만 거의 없어요.
- 일방통행 문이라도 역방향으로 아주 작은 누설 전류는 흘러요.
- 역방향 전압을 너무 크게 걸면 문이 부서지듯 갑자기 큰 전류가 흘러요(항복). 제너 다이오드는 이 현상을 일부러 이용해 전압을 일정하게 맞춰요.

현장 연결

공정 장비의 전원 장치에는 교류를 직류로 바꾸는 정류 회로가 들어 있어요. 장비를 점검할 때 멀티미터의 다이오드 측정 모드로 재면, 정상 실리콘 다이오드는 순방향에서 약 0.6~0.7 V가 나오고 역방향에서는 측정 범위를 넘었다는 표시(OL)가 나와요. 정류 회로와 다이오드 특성은 설비보전기능사 필기에 자주 나와요.

확인 문제

1. 공핍층에 남아 있는 것과 거의 없는 것은 각각 무엇인가요?
2. 순방향 바이어스가 되려면 P쪽과 N쪽에 각각 전원의 어느 극을 연결해야 하나요?
3. 12 V 전원, 실리콘 다이오드(V_F = 0.7 V), 1130 Ω 저항을 직렬로 순방향 연결했어요. 전류는 몇 mA인가요?
4. 교류를 한 방향 전류로 바꾸는 다이오드의 작용을 무엇이라고 하나요?

3-4 트랜지스터와 MOSFET

이 장의 목표

- 트랜지스터가 전압으로 켜고 끄는 스위치라는 것을 이해해요.
- MOSFET의 게이트, 게이트 산화막, 소스, 드레인, 기판을 그림에서 찾을 수 있어요.
- 문턱전압과 채널이 무엇인지 설명할 수 있어요.
- NMOS, PMOS, CMOS 인버터의 동작을 간단히 말할 수 있어요.

트랜지스터: 전기로 누르는 스위치

벽의 전등 스위치는 손으로 눌러요. **트랜지스터**는 손 대신 작은 전압으로 켜고 끄는 스위치예요. 작은 신호로 큰 전류를 조절할 수 있어서 소리를 키우는 증폭에도 써요. 컴퓨터 칩 안의 트랜지스터는 대부분 켜짐(1)과 꺼짐(0)을 오가는 스위치로 일해요. 지금 칩에서 가장 많이 쓰는 종류가 **MOSFET**(모스펫, 금속 산화막 반도체 전계 효과 트랜지스터)이에요.

MOSFET의 구조

MOS는 위에서부터 Metal(금속, 게이트), Oxide(산화막), Semiconductor(반도체 기판) 순서로 쌓은 구조라는 뜻이에요. NMOS를 예로 들면, p형 **기판**에 전자가 아주 많은 n^+ 영역 두 곳을 만들어요. 전자가 출발하는 쪽이 **소스**, 도착하는 쪽이 **드레인**이에요. 둘 사이 기판 위에 아주 얇은 **게이트 산화막**(절연막)을 깔고, 그 위에 **게이트** 전극을 올려요. 게이트는 절연막 위에 떠 있어서 게이트로는 전류가 거의 흐르지 않아요.

문턱전압과 채널

게이트 전압이 0이면 소스와 드레인 사이가 p형이에요. n^+ / p / n^+ 순서라서 어느 방향으로 전압을 걸어도 PN 접합 하나는 역방향이 돼요. 그래서 전류가 못 흘러요(꺼짐). 게이트에 + 전압을 걸면 산화막 바로 아래의 정공은 밀려나고 전자가 끌려와 모여요. 전압이 어떤 값을 넘으면 표면에 전자가 충분히 모여 얇은 n형 통로가 생겨요. 이 통로가 **채널**이고, 채널이 생기기 시작하는 게이트 전압을 **문턱전압**(V_{th})이라고 해요. 채널이 생긴 뒤 드레인에 + 전압을 걸면 전류가 흘러요(켜짐).

NMOS, PMOS, 그리고 CMOS

NMOS는 게이트에 높은 전압을 주면 켜져요. PMOS는 n형 기판에 p^+ 소스·드레인을 만들고 정공이 채널이 되는 구조라서, 반대로 게이트 전압을 낮추면 켜져요. 둘을 짝지어 쓰는 방식이 **CMOS**(상보형 MOS)예요. 가장 간단한 CMOS 회로는 인버터(NOT 회로)예요. 입력이 1이면 NMOS가 켜져 출력이 0이 되고, 입력이 0이면 PMOS가 켜져 출력이 1이 돼요. 가만히 있을 때는 둘 중 하나가 늘 꺼져 있어서 전력을 아주 적게 써요.

일상 비유

MOSFET은 수도꼭지와 같아요. 소스는 물탱크, 드레인은 물이 나가는 곳, 채널은 수도관, 게이트는 손잡이예요. 손잡이를 조금 돌릴 때는 물이 안 나오다가 어느 지점을 넘으면 물이 나오기 시작해요. 그 지점이 문턱전압이에요. 더 돌리면 물이 더 많이 나와요. CMOS 인버터는 시소처럼 한쪽 꼭지(PMOS)가 열리면 다른 쪽(NMOS)은 닫히는 한 쌍의 꼭지예요.

용어 정리

용어	뜻
트랜지스터	작은 전압이나 전류로 큰 전류를 켜고 끄거나 조절하는 소자
MOSFET	게이트 전압이 만드는 전기장으로 채널을 여닫는 트랜지스터
게이트 (G)	전압을 걸어 채널을 조절하는 전극. 금속이나 폴리실리콘으로 만들어요
게이트 산화막	게이트와 기판 사이의 아주 얇은 절연막
소스 (S) / 드레인 (D)	캐리어가 출발하는 곳 / 도착하는 곳
기판 (바디)	트랜지스터가 만들어지는 바탕 반도체
채널	게이트 아래 표면에 생기는 얇은 전류 통로
문턱전압 (V_{th})	채널이 생기기 시작하는 게이트 전압
NMOS / PMOS	전자가 채널인 MOSFET / 정공이 채널인 MOSFET
CMOS	NMOS와 PMOS를 짝지어 만든 회로 방식

핵심 공식

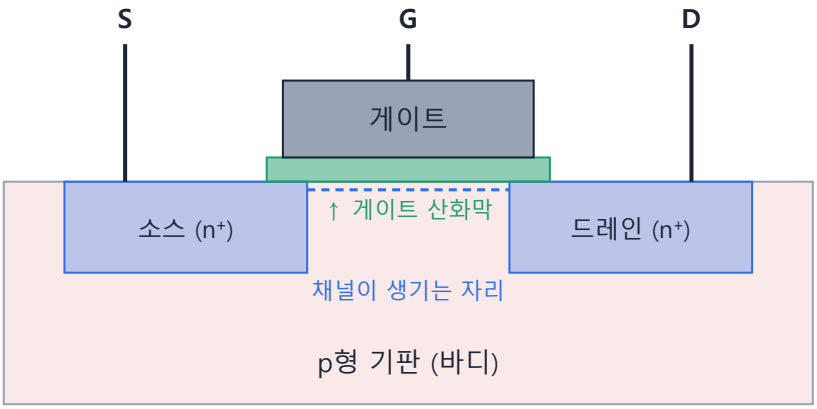
NMOS: $V_{GS} \geq V_{th}$ → 켜짐 (채널 있음)

$V_{GS} < V_{th}$ → 꺼짐 (채널 없음)

PMOS: 게이트를 소스보다 충분히 낮추면 켜짐

CMOS 인버터: 입력 1 → 출력 0, 입력 0 → 출력 1

V_{GS}는 소스를 기준으로 잰 게이트 전압, V_{th}는 문턱전압이에요. 켜짐 / 꺼짐은 채널이 있느냐 없느냐로 정해져요.



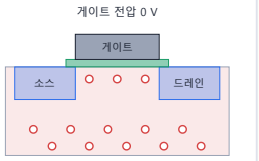
n⁺ 영역
전자가 아주 많아요

게이트 산화막
아주 얇은 절연막

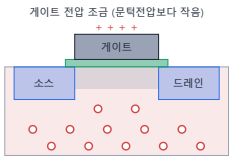
게이트 전압으로
S와 D 사이 통로를 열고 닫아요

그림 3-4-1. NMOS 트랜지스터의 단면. 게이트 아래 얇은 산화막을 사이에 두고 소스와 드레인이 마주 보고 있어요.

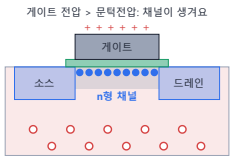
움직이는 그림 · 게이트 전압으로 채널이 생겨요



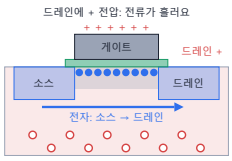
① 게이트 전압이 0이면 소스와 드레인 사이에 통로가 없어 전류가 흐르지 않아요



② 게이트에 + 전압을 조금 걸면 표면의 정공이 아래로 밀려나요. 아직 채널은 없어요



③ 문턱전압을 넘으면 산화막 아래에 전자가 모여 소스와 드레인을 잇는 얇은 n형 채널이 생겨요



④ 드레인에 + 전압을 걸면 전자가 채널을 따라 소스에서 드레인으로 흘러요. 전류의 방향은 그 반대(드레인 → 소스)예요

움직이는 그림 3-4-A. NMOS에서 게이트 전압이 문턱전압을 넘으면 채널이 생기고, 드레인 전압을 걸면 전류가 흘러요.

예제 1

문턱전압이 0.7 V인 NMOS가 있어요. V_{GS}가 0.3 V일 때와 1.5 V일 때 각각 켜질까요?

풀이

① 0.3 V < 0.7 V → 채널이 없어서 꺼짐이에요.
② 1.5 V ≥ 0.7 V → 채널이 생겨서 켜짐이에요.

예제 2

CMOS 인버터에 입력 0(낮은 전압)을 넣으면 두 트랜지스터와 출력은 어떻게 되나요?

풀이

① 게이트 전압이 낮으니 NMOS는 꺼져요.
② PMOS는 게이트가 낮을 때 켜지므로 켜져요.
③ 켜진 PMOS가 출력을 전원 쪽에 연결해서 출력은 1(높은 전압)이에요.

비유가 깨지는 지점

- 수도꼭지는 손의 힘이 필요하지만, 게이트는 전류를 거의 쓰지 않고 전압이 만드는 전기장만으로 채널을 조절해요.
- 채널은 미리 뚫려 있는 관이 아니에요. 게이트 전압이 있을 때만 산화막 바로 아래에 생기는 아주 얇은 전자 층이고, 전압을 끄면 사라져요.
- 실제 트랜지스터는 꺼져 있어도 아주 작은 누설 전류가 있고, 켜짐과 꺼짐 사이의 중간 상태도 있어요.

현장 연결

MOSFET 하나를 만드는 데 거의 모든 공정이 들어가요. 게이트 산화막은 산화 / 증착, 게이트 모양은 포토와 식각, 소스와 드레인은 이온주입으로 만들어요. 게이트 산화막은 아주 얇아서 오염이나 결함이 조금만 있어도 문턱전압이 바뀌어 불량이 돼요. 칩 하나에 이런 트랜지스터가 수십억 개 들어가요.

확인 문제

1. MOSFET에서 전압을 걸어 채널을 조절하는 전극과, 캐리어가 출발하는 곳, 도착하는 곳의 이름을 쓰세요.
2. MOSFET의 게이트로 전류가 거의 흐르지 않는 이유는 무엇인가요?
3. 문턱전압이 1.0 V인 NMOS에 V_{GS} = 0.5 V를 걸었어요. 켜짐인가요, 꺼짐인가요?
4. CMOS 인버터에 입력 1을 넣으면 켜지는 트랜지스터는 어느 쪽이고, 출력은 무엇인가요?

3-5 메모리 반도체

이 장의 목표

- 휘발성 메모리와 비휘발성 메모리를 구분할 수 있어요.
- DRAM 셀의 구조(트랜지스터 1개 + 커패시터 1개)와 리프레시가 필요한 이유를 말할 수 있어요.
- NAND 플래시가 전자를 가두어 0과 1을 저장하는 원리를 설명할 수 있어요.

휘발성과 비휘발성

메모리는 0과 1을 저장하는 반도체예요. 전원을 끄면 내용이 사라지는 메모리를 **휘발성**, 전원을 꺼도 남는 메모리를 **비휘발성**이라고 해요. 휘발은 알코올이 날아가듯 사라진다는 뜻이에요. 대표 휘발성 메모리는 DRAM, 대표 비휘발성 메모리는 NAND 플래시예요. 1비트를 저장하는 가장 작은 단위를 **셀**이라고 해요.

DRAM: 트랜지스터 1개와 커패시터 1개

DRAM 셀은 트랜지스터 1개와 **커패시터** 1개로 이뤄져요. 커패시터는 전하를 담는 작은 그릇이에요. 그릇에 전하가 차 있으면 1, 비어 있으면 0이에요. 트랜지스터는 그릇의 문 역할을 해요. 워드라인이 트랜지스터를 켜면 비트라인을 통해 전하를 넣거나(쓰기) 꺼내 봐요(읽기).

문제는 그릇이 조금씩 샌다는 점이에요. 가만히 두면 전하가 빠져나가 1이 0처럼 바뀌어요. 그래서 DRAM은 짧은 간격으로 내용을 읽어서 다시 채우는 **리프레시**를 계속해요. 이름의 D(Dynamic, 동적)도 이렇게 계속 손봐야 한다는 뜻이에요. 속도가 빨라서 컴퓨터의 주기억장치(램)로 써요.

NAND 플래시: 전자를 가두는 방

NAND 플래시 셀은 MOSFET과 닮았지만 게이트가 두 겹이에요. 기판 위에 얇은 **터널 산화막**, 그 위에 전자를 가두는 **플로팅 게이트**(떠 있는 게이트), 다시 절연막, 맨 위에 **컨트롤 게이트**가 있어요. 컨트롤 게이트에 높은 전압을 걸면 전자가 얇은 산화막을 뚫고 들어가 플로팅 게이트에 갇혀요. 사방이 절연막이라 전원을 꺼도 전자가 오래 남아요.

갇힌 전자가 있으면 문턱전압이 높아져서, 정해진 읽기 전압에서는 셀이 켜지지 않아요. 보통 이 상태를 0, 전자가 없어 켜지는 상태를 1로 읽어요. 요즘은 도체 대신 질화막 같은 절연막에 전자를 붙잡아 두는 **전하 트랩** 방식도 많이 써요. 이런 셀을 수직으로 높이 쌓은 것이 3D NAND예요.

SSD

SSD는 NAND 플래시 칩 여러 개와 이를 관리하는 컨트롤러 칩을 묶은 저장장치예요. 움직이는 부품이 없어 하드디스크보다 빠르고 충격에 강해요. NAND 셀은 쓰고 지우기를 아주 많이 반복하면 산화막이 닳기 때문에, 컨트롤러가 여러 셀에 골고루 나누어 써서 수명을 늘려요.

일상 비유

DRAM 셀은 바닥에 아주 작은 구멍이 난 물컵이에요. 물이 차 있으면 1, 비어 있으면 0인데, 물이 조금씩 새니 계속 다시 부어 줘야 해요(리프레시). NAND 셀은 사방이 막힌 유리 상자 속 구슬이에요. 구슬을 넣을 때는 아주 세게 밀어 넣어야 하지만(높은 전압), 한번 들어가면 뚜껑을 열지 않는 한 빠져나오지 않아요(비휘발성).

용어 정리

용어	뜻
휘발성 / 비휘발성	전원을 끄면 내용이 사라짐 / 남음
셀	1비트(또는 몇 비트)를 저장하는 가장 작은 단위
DRAM	커패시터의 전하로 저장하는 휘발성 메모리
커패시터	두 전극 사이에 전하를 모아 두는 소자
워드라인 / 비트라인	셀의 트랜지스터를 켜는 선 / 데이터를 주고받는 선
리프레시	새어 나가는 전하를 주기적으로 다시 채우는 동작
NAND 플래시	게이트 속에 전자를 가두어 저장하는 비휘발성 메모리
플로팅 게이트	절연막으로 둘러싸여 전자를 가두는 게이트
전하 트랩	질화막 같은 절연막에 전자를 붙잡아 두는 저장 방식
터널 산화막	기판과 저장층 사이의 얇은 산화막. 높은 전압일 때 전자가 통과해요
SSD	NAND 플래시와 컨트롤러로 만든 저장장치

핵심 공식

DRAM 셀 = 트랜지스터 1개 + 커패시터 1개 (1T1C)

커패시터에 담긴 전하량: $Q = C \times V$

NAND 셀: 전자 갇힘 → V_{th} 높음 → 읽을 때 꺼짐 → 0

전자 없음 → V_{th} 낮음 → 읽을 때 켜짐 → 1

Q는 전하량(단위 C, 쿨롬), C는 정전용량(전하를 담는 능력, 단위 F, 패럿), V는 전압이에요. 기호 C와 단위 C(쿨롬)가 같은 글자라 헷갈리기 쉬워요. 전자 1개의 전하는 1.6×10^{-19} C예요.

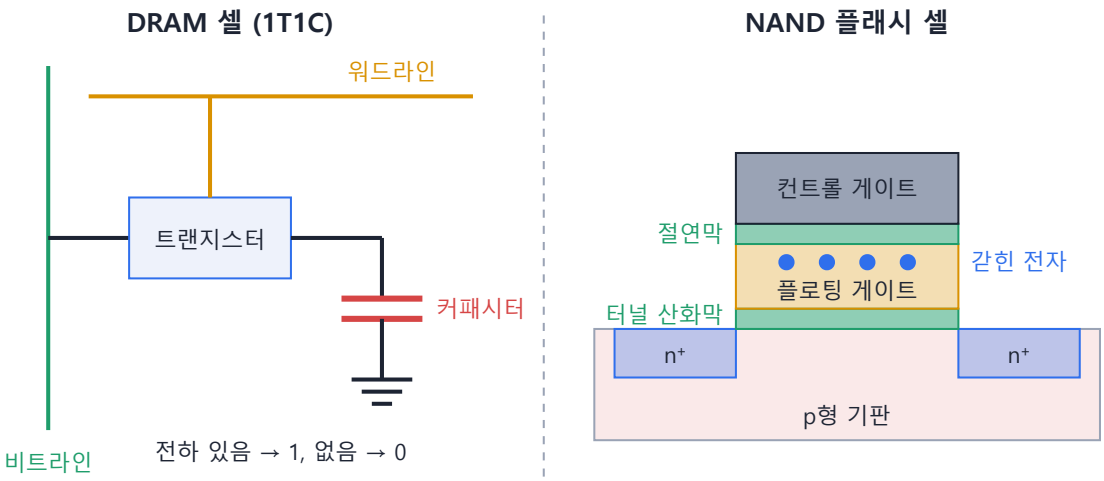
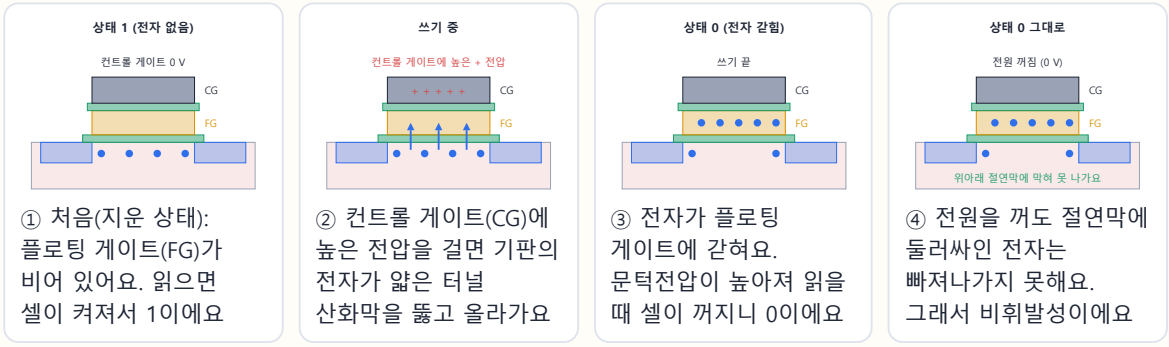


그림 3-5-1. DRAM 셀 회로(왼쪽)와 NAND 플래시 셀 단면(오른쪽). DRAM은 커패시터에, NAND는 절연막에 둘러싸인 플로팅 게이트에 정보를 저장해요.

움직이는 그림 · NAND 셀에 전자가 갇히며 저장돼요



움직이는 그림 3-5-A. NAND 플래시 셀에 높은 전압으로 전자를 밀어 넣어 가두면 0, 비어 있으면 1로 저장돼요.

예제 1

계산 연습을 위해 DRAM 커패시터의 정전용량을 30 fF(1 fF = 10^{-15} F), 전압을 1 V라고 해요. 저장된 전하량과 전자의 수는 대략 얼마인가요?

풀이

① $Q = C \times V = 30 \times 10^{-15}\ \text{F} \times 1\ \text{V} = 3 \times 10^{-14}\ \text{C}$

② 전자 수 = Q ÷ (전자 1개 전하) = $3 \times 10^{-14} \div 1.6 \times 10^{-19} \approx 1.9 \times 10^{5}$

③ 약 19만 개예요. 아주 적은 양이라 조금만 새도 값이 바뀌어서 리프레시가 필요해요.

예제 2

컴퓨터 전원을 완전히 끄면 램(DRAM)과 SSD의 내용은 각각 어떻게 될까요?

풀이

① DRAM은 휘발성이고 리프레시도 멈춰서 내용이 사라져요.
② SSD는 NAND 플래시(비휘발성)라서 내용이 남아요.

비유가 깨지는 지점

- 비유에서는 한 셀에 0 또는 1만 담았지만, 실제 NAND는 갇힌 전자의 양을 여러 단계로 나누어 한 셀에 2비트(MLC), 3비트(TLC) 이상을 저장하기도 해요.
- 어느 상태를 0, 어느 상태를 1로 부를지는 약속이에요. 물리적으로 정해진 것이 아니에요.
- DRAM의 "물컵"은 아주 작아서 읽을 때 신호가 매우 약해요. 그래서 약한 신호를 키워 주는 감지 증폭 회로가 함께 필요해요.

현장 연결

한국의 삼성전자와 SK하이닉스는 DRAM과 NAND를 모두 만들고, 일본의 키옥시아 같은 회사도 NAND 플래시를 만들어요. DRAM 커패시터는 좁고 깊은 구조라 고르게 막을 입히는 증착(ALD)이 중요하고, 3D NAND는 아주 깊은 구멍을 뚫는 식각이 핵심이에요. 다음 장부터 배우는 공정이 바로 이런 구조를 만드는 일이에요.

확인 문제

1. DRAM 셀은 무엇과 무엇, 각각 몇 개로 이뤄지나요?
2. DRAM에 리프레시가 필요한 이유는 무엇인가요?
3. NAND 플래시에서 전자를 저장하는 두 가지 방식의 이름을 쓰세요.
4. 정전용량 20 fF인 커패시터에 1 V를 걸었을 때 저장되는 전하량 Q는 몇 C인가요?

3-6 반도체 공정 1: 웨이퍼, 산화, 포토

이 장의 목표

- 8대 공정의 순서와 각 공정이 하는 일을 한 줄로 말할 수 있어요.
- 클린룸이 필요한 이유와 웨이퍼가 만들어지는 과정을 알아요.
- 건식 산화와 습식 산화의 차이를 설명할 수 있어요.
- 포토 공정의 순서와 양성 / 음성 감광액의 차이를 말할 수 있어요.

웨이퍼 한 장이 칩이 되기까지: 8대 공정

반도체 칩은 실리콘 원판인 **웨이퍼** 위에 아주 작은 회로를 층층이 쌓아 만들어요. 이 과정을 크게 8단계로 나누어 **8대 공정**이라고 불러요. 웨이퍼 제조 → 산화 → 포토 → 식각 → 증착·이온주입 → 금속배선 → EDS(전기 검사) → 패키징 순서예요. 증착과 이온주입은 하나로 묶어 세는 경우가 많아요. 실제로는 포토, 식각, 증착, 이온주입을 여러 번 되풀이하며 층을 쌓아 올려요.

클린룸과 웨이퍼 제조

회로의 선폭이 머리카락 굵기보다 수천 배 가늘어서 먼지 한 톨도 불량의 원인이 돼요. 그래서 공기 속 먼지를 아주 엄격하게 줄인 **클린룸**에서 일하고, 사람은 방진복을 입어요. 사람의 몸과 옷이 가장 큰 먼지 발생원이기 때문이에요.

웨이퍼는 순도가 아주 높은 실리콘을 녹인 뒤, 씨앗 결정을 담갔다가 천천히 돌리며 끌어올려 만든 기둥, 곧 **잉곳**에서 시작해요. 잉곳을 얇게 잘라 표면을 거울처럼 연마하면 웨이퍼가 돼요. 요즘 공장에서는 지름 300 mm 웨이퍼를 주로 써요.

산화: 실리콘에 보호막 입히기

실리콘을 높은 온도에서 산소나 수증기와 만나게 하면 표면에 이산화규소(SiO_2)막이 자라요. 이 **산화막**은 전기를 막는 절연막, 표면을 지키는 보호막, 이온주입 때 원하지 않는 곳을 가리는 가림막으로 쓰여요. 산소 기체만 쓰는 **건식 산화**는 느리지만 막이 치밀해서 얇고 중요한 게이트 산화막에 알맞아요. 수증기를 쓰는 **습식 산화**는 빨리 자라서 두꺼운 막을 만들 때 써요.

포토: 빛으로 회로 그림 그리기

포토 공정(포토리소그래피)은 웨이퍼에 회로 그림을 옮기는 단계예요. 먼저 빛에 반응하는 **감광액**(PR, 포토레지스트)을 웨이퍼를 빠르게 돌리며 얇고 고르게 발라요(도포). 다음으로 회로 그림이 새겨진 **마스크**를 통해 빛을 쪼여요(**노광**). 마지막으로 현상액으로 필요 없는 감광액을 씻어 내요(**현상**). **양성 감광액**은 빛 받은 부분이 녹아 없어지고, **음성 감광액**은 빛 받은 부분이 굳어서 남아요. 남은 감광액은 다음 식각 공정에서 가림막이 돼요.

일상 비유

여름에 팔에 스티커를 붙인 채 햇볕을 쬐면, 스티커를 떼었을 때 그 모양만 하얗게 남아요. 포토 공정도 같아요. 마스크는 스티커, 빛은 햇볕, 감광액은 피부예요. 차이는 피부가 타는 대신 감광액이 녹거나 굳는다는 점, 그리고 그 결과를 다음 공정의 가림막으로 쓴다는 점이에요.

용어 정리

용어	뜻
웨이퍼	반도체 회로를 만드는 얇은 실리콘 원판
잉곳	녹인 실리콘에서 끌어올려 만든 단결정 기둥
클린룸	공기 중 먼지를 엄격히 관리하는 작업 공간
산화막	실리콘 표면에 만든 SiO_2 막
건식 산화 / 습식 산화	산소 기체로 산화 (느리고 치밀) / 수증기로 산화 (빠르고 두꺼움)
포토리소그래피	빛으로 회로 그림을 감광액에 옮기는 공정
감광액 (PR)	빛을 받으면 성질이 바뀌는 액체 막
마스크	회로 그림이 새겨진 판. 빛이 통하는 곳과 막히는 곳이 있어요
노광 / 현상	빛을 쪼이는 단계 / 필요 없는 감광액을 녹여 내는 단계
양성 / 음성 감광액	빛 받은 부분이 녹아 없어짐 / 빛 받은 부분이 남음

핵심 공식

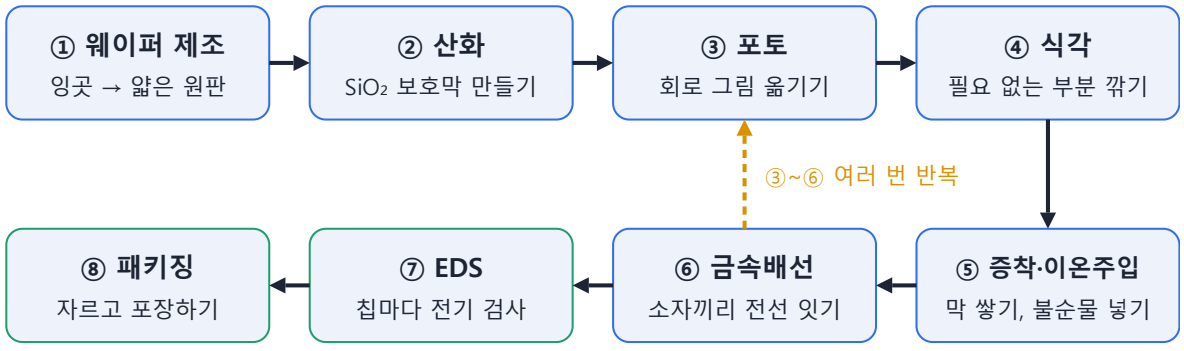
건식 산화: $Si + O_2 \rightarrow SiO_2$

습식 산화: $Si + 2H_2O \rightarrow SiO_2 + 2H_2$

포토 순서: 감광액 도포 → 노광 → 현상

양성 PR: 빛 받은 곳이 녹아요 / 음성 PR: 빛 받은 곳이 남아요

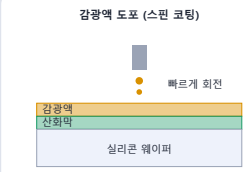
두 산화 반응식 모두 왼쪽과 오른쪽의 원자 수가 같아요. 습식 산화에서는 물(H_2O)의 산소가 실리콘과 결합하고 수소(H_2) 기체가 나와요.



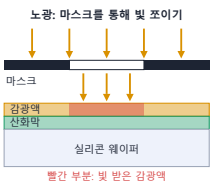
클린룸 안에서 웨이퍼 한 장이 수백 단계를 거쳐 칩이 돼요

그림 3-6-1. 8대 공정의 흐름. ③~⑥을 여러 번 되풀이하며 층을 쌓고, 마지막에 검사(⑦)와 포장(⑧)을 해요.

움직이는 그림 · 포토 공정 4단계



① 산화막 위에 감광액을 떨어뜨리고 웨이퍼를 빠르게 돌려 얇고 고르게 발라요



② 마스크를 대고 빛을 쪼이면 뚫린 곳 아래 감광액만 빛을 받아 성질이 바뀌어요



③ 현상액에 담그면 빛 받은 부분(양성 감광액)이 녹아 없어지고 창이 열려요



④ 남은 감광액을 가림막 삼아 산화막을 식각하고 감광액을 벗겨 내면, 마스크의 그림이 산화막에 남아요

움직이는 그림 3-6-A. 감광액 도포 → 노광 → 현상을 거쳐 감광액 패턴을 만들고, 식각 뒤 벗겨 내면 그림이 아래 막으로 옮겨져요.

예제 1

가운데만 빛이 통하는 마스크로 노광했어요. 양성 감광액과 음성 감광액을 썼을 때 현상 후 모습은 각각 어떤가요?

풀이

① 빛을 받은 곳은 가운데뿐이에요.
② 양성: 빛 받은 가운데가 녹아서, 가운데만 창이 열리고 양옆은 남아요.
③ 음성: 빛 받은 가운데가 굳어서, 가운데만 남고 양옆은 녹아요. 두 결과는 서로 반대 모양이에요.

예제 2

습식 산화 반응식 $Si + 2H_2O \rightarrow SiO_2 + 2H_2$ 의 원자 수가 맞는지 확인해 보세요.

풀이

① 왼쪽: Si 1개, H 2 × 2 = 4개, O 2개
② 오른쪽: Si 1개, O 2개, H 2 × 2 = 4개
③ 양쪽이 같으니 맞는 반응식이에요.

비유가 깨지는 지점

- 스티커 자국과 달리 반도체 회로는 너무 작아서, 빛의 파장이 짧아야 가는 선을 그릴 수 있어요. 그래서 파장 193 nm인 ArF 빛이나 13.5 nm인 EUV(극자외선)를 써요.
- 마스크 그림을 그대로 찍지 않고 렌즈로 줄여서 웨이퍼에 비추는 경우가 많아요.
- 감광액은 최종 회로가 아니라 잠깐 쓰고 벗겨 내는 가림막이에요.

현장 연결

포토 공정에는 감광액을 바르고 현상하는 트랙 장비와 빛을 쪼이는 노광 장비(스캐너)가 짝을 이뤄 쓰여요. EUV 노광 장비는 네덜란드 ASML이 만들어요. 포토 구역은 감광액이 반응하지 않도록 노란 조명을 써요. 산화는 여러 장의 웨이퍼를 한꺼번에 넣는 퍼니스(산화로) 장비에서 주로 해요.

확인 문제

1. 8대 공정을 순서대로 쓰세요.
2. 게이트 산화막처럼 얇고 치밀해야 하는 막은 건식 산화와 습식 산화 중 어느 쪽이 알맞나요?
3. 포토 공정의 세 단계를 순서대로 쓰세요.
4. 음성 감광액에서 빛을 받은 부분은 현상 후 어떻게 되나요?

3-7 반도체 공정 2: 식각, 증착, 이온주입

이 장의 목표

- 습식 식각과 건식 식각, 등방성과 이방성의 차이를 설명할 수 있어요.
- 플라즈마가 무엇이고 식각에서 어떤 일을 하는지 알아요.
- CVD, PVD, ALD를 원리와 장단점으로 비교할 수 있어요.
- 이온주입 뒤에 어닐링을 하는 이유를 말할 수 있어요.

식각: 필요 없는 부분 깎아 내기

식각(에칭)은 감광액이 덮지 않은 부분의 막을 깎아 내서 회로 모양을 실제 막에 새기는 공정이에요. 액체 화학약품에 담가 녹이는 **습식 식각**과, 기체와 플라즈마로 깎는 **건식 식각**이 있어요. 습식은 빠르고 값싸지만 사방으로 똑같이 녹는 **등방성**이라 감광액 아래까지 파고들어요(언더컷). 건식은 위에서 아래로 곧게 깎는 **이방성** 식각이 가능해서 미세한 패턴에 주로 써요.

플라즈마는 기체에 큰 에너지를 주어 전자, 이온, 반응성이 아주 큰 라디칼이 섞여 있는 상태예요. 고체, 액체, 기체 다음의 네 번째 상태라고도 해요. 건식 식각에서는 라디칼이 막과 화학 반응하고, 전기장으로 가속된 이온이 아래쪽으로 부딪혀서 수직으로 깎여요. 깎고 싶은 막과 남겨야 할 막이 깎이는 속도의 비율을 **선택비**라고 해요.

증착: 얇은 막 쌓기

증착은 웨이퍼 위에 절연막, 금속막 같은 얇은 막을 입히는 공정이에요. 대표 방법 세 가지를 비교해 봐요.

방법	원리	장점	약점 / 주 용도
PVD (물리 기상 증착)	금속 판(타깃)을 플라즈마 이온으로 때려 떨어져 나온 원자를 붙여요(스퍼터링)	순수한 금속막을 만들기 좋아요	깊은 구멍의 옆벽은 얇게 덮여요 / 금속막
CVD (화학 기상 증착)	원료 기체가 웨이퍼 표면에서 화학 반응해 막이 쌓여요	빠르고 여러 종류의 막을 만들 수 있어요	아주 깊은 구멍에서는 고르기가 떨어질 수 있어요 / 절연막 등
ALD (원자층 증착)	원료 기체 A 넣고 빼기, B 넣고 빼기를 반복해 한 번에 원자층 한 겹씩 쌓아요	두께가 아주 정확하고 깊은 구멍도 고르게 덮어요	느려요 / 아주 얇고 중요한 막

이온주입과 어닐링

이온주입은 도펀트(B, P, As)를 이온으로 만들어 높은 전압으로 가속한 뒤 웨이퍼에 쏘아 넣는 공정이에요. 넣는 양(도즈)과 깊이(가속 에너지)를 정확하게 조절할 수 있어요. 하지만 이온이 세게 부딪히면서 실리콘 결정이 흐트러지고, 들어간 도펀트도 아직 실리콘 자리에 제대로 앉지 못해 제 역할을 못 해요. 그래서 웨이퍼를 높은 온도로 가열하는 **어닐링**(열처리)으로 결정을 회복시키고

도펀트를 활성화해요. 도펀트가 너무 퍼지지 않도록 아주 짧은 시간에 빠르게 가열하는 방법을 많이 써요.

일상 비유

등방성 식각은 각설탕을 물에 넣는 것과 같아요. 위, 아래, 옆 모든 방향으로 똑같이 녹아요. 이방성 식각은 위에서 아래로만 파 내려가는 드릴이에요. 증착에서 PVD는 스프레이 페인트(뿌리는 방향 쪽만 두껍게 묻어요), CVD는 차가운 유리창에 서리는 김(표면 전체에 생겨요), ALD는 바닥에 타일을 한 장씩 빈틈없이 까는 일이에요. 이온주입은 아주 작은 총알을 박아 넣기, 어닐링은 흐트러진 이불을 다림질해 펴는 일이에요.

용어 정리

용어	뜻
식각 (에칭)	필요 없는 막을 화학 반응이나 이온 충돌로 없애는 공정
습식 / 건식 식각	액체 약품으로 녹임 / 기체와 플라즈마로 깎음
등방성	모든 방향으로 같은 속도로 깎이는 성질
이방성	한 방향(주로 아래)으로만 깎이는 성질
언더컷	감광액 아래 옆쪽까지 파고든 부분
플라즈마	전자, 이온, 라디칼이 섞인 에너지가 높은 기체 상태
선택비	대상 막과 남길 막의 식각 속도 비율
CVD / PVD / ALD	화학 기상 증착 / 물리 기상 증착 / 원자층 증착
스퍼터링	이온으로 타깃을 때려 원자를 떼어 내 막을 만드는 PVD 방법
이온주입	도펀트 이온을 가속해 웨이퍼에 넣는 공정
어닐링	열처리로 결정을 회복하고 도펀트를 활성화하는 공정

핵심 공식

```
식각 속도 = 깎인 두께 ÷ 걸린 시간          (단위 예: nm/min)
선택비 = 대상 막의 식각 속도 ÷ 남길 막(마스크)의 식각 속도
이방성: 아래로만 깎임   /   등방성: 모든 방향으로 같이 깎임
```

nm(나노미터)는 10^{-9} m, min은 분이에요. 선택비가 클수록 마스크는 덜 깎이고 대상 막만 잘 깎여요.

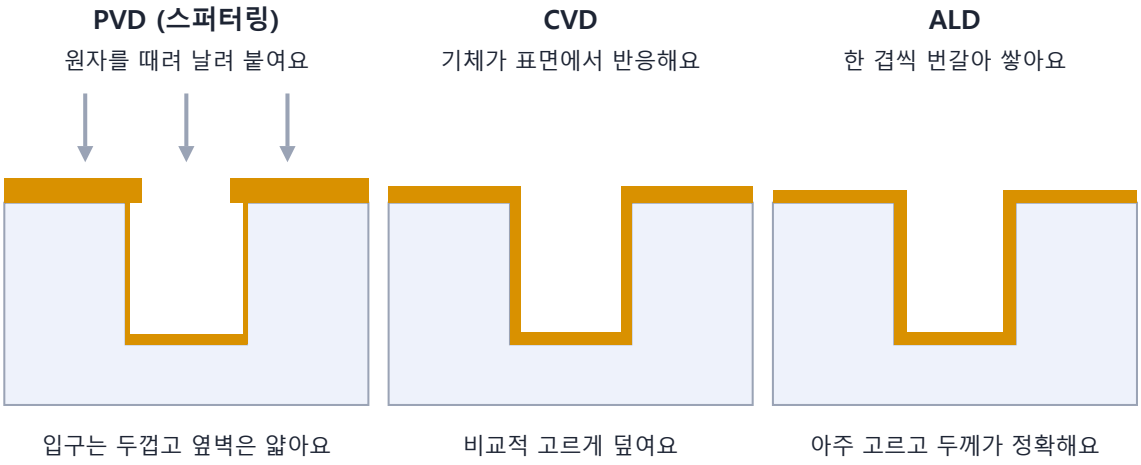


그림 3-7-1. 홈이 파인 표면에 막(주황)을 입힌 모습 비교. 깊은 홈일수록 ALD처럼 고르게 덮는 방법이 유리해요.

움직이는 그림 · 등방성 식각과 이방성 식각 비교



① 같은 감광액(주황) 패턴 사이로 드러난 막(초록)을 두 가지 방법으로 깎아요

② 습식은 아래와 옆으로 함께 녹고, 건식 이온은 아래로만 깎아요

③ 막을 끝까지 깎으면 습식은 감광액 아래 옆쪽까지 파고들어요 (언더컷)

④ 감광액을 벗기면 차이가 분명해요. 미세한 패턴에는 마스크 폭을 그대로 지키는 이방성 식각이 필요해요

움직이는 그림 3-7-A. 같은 마스크로 깎아도 등방성 식각은 옆으로 넓게, 이방성 식각은 아래로 곧게 파여요.

예제 1

식각 속도가 200 nm/min인 조건에서 두께 600 nm인 산화막을 끝까지 깎으려면 몇 분이 걸리나요?

풀이

① 시간 = 두께 ÷ 식각 속도

② 600 nm ÷ 200 nm/min = 3 min

③ 3분이에요.

예제 2

산화막은 300 nm/min, 감광액은 60 nm/min으로 깎이는 조건이에요. 선택비는 얼마이고, 산화막 600 nm를 깎는 동안 감광액은 얼마나 깎이나요?

풀이

① 선택비 = 300 ÷ 60 = 5
② 산화막 600 nm를 깎는 시간 = 600 ÷ 300 = 2 min
③ 그동안 감광액은 60 × 2 = 120 nm 깎여요. 감광액이 120 nm보다 두꺼워야 끝까지 가림막 역할을 해요.

비유가 깨지는 지점

- 각설탕 비유는 습식 식각에만 잘 맞아요. 건식 식각도 이온보다 라디칼의 화학 반응이 강한 조건에서는 등방성에 가까워져요.
- 플라즈마는 "불"이 아니에요. 공정용 플라즈마는 낮은 압력에서 만들어지고, 웨이퍼 온도는 따로 조절해요.
- 이온은 총알처럼 한 깊이에 딱 박히지 않아요. 실리콘 원자와 부딪히며 퍼져서 깊이에 따라 농도가 다르게 분포해요.

현장 연결

식각 장비(에처), CVD / PVD / ALD 장비, 이온주입기는 모두 진공, 플라즈마, 가스를 다루는 장비예요. 장비 엔지니어는 챔버 벽에 쌓인 부산물이 파티클(먼지 알갱이)이 되지 않도록 정기적으로 챔버를 열어 세정하고 부품을 교체해요(PM, 예방 정비). 이온주입기는 아주 높은 전압을 쓰므로 감전 안전 수칙이 특히 중요해요.

확인 문제

1. 습식 식각은 주로 등방성인가요, 이방성인가요?
2. 두께 400 nm인 막을 식각 속도 100 nm/min으로 깎으면 몇 분이 걸리나요?
3. 깊고 좁은 구멍 안쪽까지 가장 고르고 정확한 두께로 막을 입히는 증착 방법은 CVD, PVD, ALD 중 무엇인가요?
4. 이온주입 뒤에 어닐링을 하는 이유 두 가지를 쓰세요.

3-8 배선, CMP, 세정, 테스트·패키징 그리고 장비의 기초

이 장의 목표

- 알루미늄 배선과 구리 다마신 배선의 차이, CMP의 역할을 설명할 수 있어요.
- 세정, EDS 테스트, 패키징이 하는 일을 말할 수 있어요.
- 공정 장비의 공통 요소(진공 챔버와 펌프, RF 전원, MFC, 이송 로봇)를 알아요.
- AsH_3, PH_3, B_2H_6 같은 독성 가스의 위험과 기본 안전 장치를 알아요.

금속배선과 CMP

트랜지스터를 다 만들면 금속 선으로 서로 이어야 회로가 돼요. 이것이 **금속배선**이에요. 예전에는 알루미늄(Al)을 증착하고 포토와 식각으로 선 모양만 남겼어요. 지금은 저항이 더 낮은 구리(Cu)를 많이 써요. 그런데 구리는 식각으로 깎기 어려워서 순서를 바꿔요. 절연막에 먼저 선 모양의 홈을 파고, 구리를 가득 채운 뒤, 넘친 부분을 갈아 내요. 이 방법을 **다마신**(상감) 공정이라고 해요. 구리는 절연막이나 실리콘 속으로 퍼지기 쉬워서 홈 안쪽에 얇은 차단막(배리어)을 먼저 깔아요.

갈아 내는 공정이 **CMP**(화학적 기계적 연마)예요. 연마 입자와 약품이 섞인 **슬러리**를 뿌리면서 회전하는 패드에 웨이퍼를 눌러, 화학 반응과 기계적 마찰로 표면을 평평하게 만들어요. 층을 쌓을수록 표면이 울퉁불퉁해지는데, 평평해야 다음 포토 공정에서 초점이 잘 맞아요.

세정, EDS 테스트, 패키징

공정 사이사이에는 파티클, 금속 오염, 남은 감광액을 없애는 **세정**을 해요. 약품과 초순수(불순물을 거의 없앤 아주 깨끗한 물)를 써서 웨이퍼를 씻고 말려요. 세정은 전체 공정 중 가장 자주 반복되는 단계 가운데 하나예요. 웨이퍼가 완성되면 **EDS**(전기적 다이 분류)에서 프로브 카드의 가는 바늘을 칩마다 대고 전기 신호를 넣어 좋은 칩과 나쁜 칩을 골라내요. 좋은 칩의 비율을 **수율**이라고 해요. 마지막 **패키징**에서는 웨이퍼를 칩 단위로 자르고, 기판에 붙이고, 전기 연결을 한 뒤, 몰딩으로 감싸 보호하고 최종 테스트를 해요.

공정 장비의 공통 요소

식각, 증착, 이온주입 장비는 생김새는 달라도 뼈대가 비슷해요. 먼저 공기를 뺀 **진공 챔버**가 있어요. 공기 분자가 반응을 방해하거나 웨이퍼를 오염시키지 않게 하려는 거예요. 드라이 펌프로 먼저 공기를 대부분 빼고, 더 높은 진공이 필요하면 터보 분자 펌프를 함께 써요. 플라즈마를 쓰는 장비에는 기체에 에너지를 주는 **RF 전원**(고주파 전원, 흔히 13.56 MHz)이 있어요. 공정 가스는 **MFC**(질량 유량 제어기)가 정해진 양만큼 정확히 흘려보내요. 웨이퍼는 사람이 만지지 않아요. 웨이퍼 상자(FOUP)에서 꺼내 로드락(대기와 진공 사이의 중간 방)을 거쳐 **이송 로봇**이 챔버로 옮겨요.

독성 가스 안전

도핑에 쓰는 아르신(AsH_3), 포스핀(PH_3), 디보란(B_2H_6)은 아주 적은 양으로도 생명을 위협하는 맹독성 가스예요. 불이 붙기 쉬운 성질도 있어요. 그래서 가스 용기는 배기가 되는 가스 캐비닛에 보관하고, 가스 감지기로 누출을 늘 감시하며, 이상이 생기면 차단 밸브가 자동으로 잠겨요. 쓰고 난 배기가스는 스크러버로 정화해서 내보내요. 경보가 울리면 원인을 찾기 전에 먼저 정해진 경로로 대피하는 것이 원칙이에요.

일상 비유

다마신은 고려청자의 상감 기법과 같아요. 그릇 표면에 무늬를 파고, 다른 색 흙을 메운 뒤, 겉을 깎아 내면 무늬만 남아요. 절연막이 그릇, 구리가 메우는 흙, CMP가 겉을 깎는 일이에요. 공정 장비는 진공 포장 기계와 가스레인지를 합친 것과 비슷해요. 공기를 빼고(펌프), 가스를 정확히 넣고(MFC), 불꽃 대신 전기로 에너지를 넣어(RF) 반응을 일으켜요.

용어 정리

용어	뜻
금속배선	소자들을 금속 선으로 연결하는 공정
다마신	절연막에 홈을 파고 금속을 채운 뒤 갈아 내는 배선 방법 (주로 구리)
CMP	슬러리와 패드로 표면을 화학적, 기계적으로 평평하게 가는 공정
슬러리	연마 입자와 약품을 섞은 액체
세정 / 초순수	오염을 씻어 내는 공정 / 불순물을 거의 없앤 물
EDS / 수율	웨이퍼 상태에서 칩마다 하는 전기 검사 / 좋은 칩의 비율
패키징	칩을 자르고 연결하고 감싸서 제품으로 만드는 공정
진공 챔버	공기를 빼고 공정을 하는 밀폐된 방
드라이 펌프 / 터보 분자 펌프	대기압에서 먼저 공기를 빼는 펌프 / 더 높은 진공을 만드는 펌프
RF 전원	플라즈마를 만들기 위해 고주파 전력을 주는 장치
MFC	가스의 유량을 정확히 재고 조절하는 장치
로드락 / 이송 로봇	대기와 진공 사이 중간 방 / 웨이퍼를 옮기는 로봇
스크러버	배기가스 속 유해 성분을 없애는 정화 장치

핵심 정리: 8대 공정 한눈에 보기

순서	공정	하는 일	대표 단어
1	웨이퍼 제조	실리콘 원판 만들기	잉곳, 절단, 연마, 300 mm
2	산화	SiO_2 막 만들기	건식 / 습식, 퍼니스
3	포토	회로 그림 옮기기	감광액, 마스크, 노광, 현상
4	식각	필요 없는 부분 없애기	습식 / 건식, 플라즈마, 등방성 / 이방성
5	증착·이온주입	막 쌓기, 도펀트 넣기	CVD, PVD, ALD, 어닐링
6	금속배선	소자끼리 연결하기	Al, Cu, 다마신, CMP
7	EDS	칩마다 전기 검사	프로브 카드, 수율
8	패키징	자르고 연결하고 포장하기	절단, 본딩, 몰딩, 최종 테스트

압력: 1 atm = 760 Torr ≈ 101 kPa

가스 유량: sccm = 표준 상태 기준으로 1분에 흐르는 기체 부피(cm^3)

Torr(토르)는 진공 장비에서 많이 쓰는 압력 단위예요. sccm은 MFC 화면에서 자주 보는 단위예요. 세정은 공정 사이사이에 계속 들어가서 표에는 따로 넣지 않았어요.

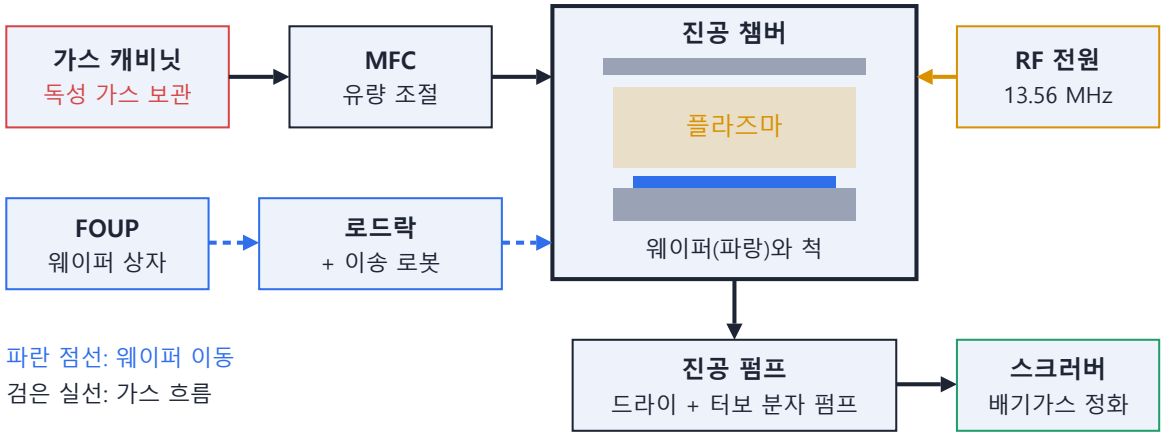
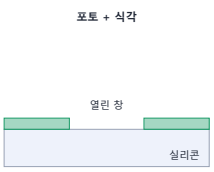


그림 3-8-1. 플라즈마 공정 장비의 공통 구조. 가스는 캐비닛 → MFC → 챔버 → 펌프 → 스크러버로, 웨이퍼는 FOUP → 로드락 → 챔버로 이동해요.

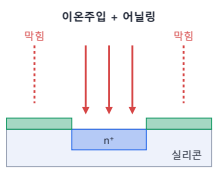
움직이는 그림 · 웨이퍼 위에 층이 쌓여 가는 과정



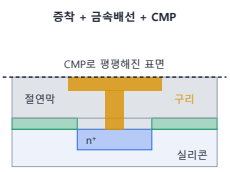
① 맨 웨이퍼를 산화해서 표면에 산화막(초록)을 만들어요



② 포토와 식각으로 산화막의 필요한 자리에 창을 열어요



③ 창으로만 이온이 들어가 n^+ 영역(파랑)이 생겨요. 산화막이 덮인 곳은 이온이 막혀요



④ 절연막(회색)을 증착하고, 홈을 파서 구리(주황)로 n^+ 영역과 연결한 뒤 CMP로 평평하게 해요

움직이는 그림 3-8-A. 산화 → 포토·식각 → 이온주입 → 증착·배선·CMP를 거치며 웨이퍼 위에 층이 하나씩 쌓여요. 실제 칩은 이 과정을 여러 번 되풀이해요.

예제 1

MFC를 50 sccm으로 맞추고 3분 동안 가스를 흘렸어요. 흘러간 가스는 표준 상태 기준으로 몇 cm^3인가요?

풀이

① sccm은 표준 상태 기준 1분에 흐르는 cm^3예요.
② 50 cm^3/min × 3 min = 150 cm^3
③ 표준 상태 기준 150 cm^3예요.

예제 2

챔버 압력이 7.6 Torr예요. 대기압(1 atm = 760 Torr)의 몇 분의 1인가요?

풀이

① 7.6 ÷ 760 = 0.01
② 0.01 atm, 곧 대기압의 100분의 1이에요.

비유가 깨지는 지점

- 상감은 장인이 손으로 무늬를 하나씩 메우지만, 다마신은 웨이퍼 전체의 수많은 선을 한꺼번에 채우고 갈아 내요.
- 진공은 "아무것도 없음"이 아니에요. 공정 중에는 가스를 넣으면서 펌프로 빼서, 공정에 맞는 낮은 압력을 일정하게 유지해요.
- 8대 공정은 이해를 돕는 큰 분류예요. 실제 공장에서는 세정, 계측, 검사까지 포함해 수백 개가 넘는 세부 단계를 거쳐요.

현장 연결

설비 엔지니어는 펌프, RF 전원, MFC, 이송 로봇에서 생기는 경보를 처리하고, 정기적으로 부품을 점검하고 교체해요. 가스 용기를 교체할 때는 배관 속 가스를 불활성 가스로 밀어내는 퍼지 절차를 반드시 지켜요. 진공 단위 환산, 펌프 종류, 가스 안전은 설비보전기능사 필기에도 나오는 내용이에요.

확인 문제

1. 구리 배선에 식각 대신 다마신 공정을 쓰는 이유는 무엇인가요?
2. 공정 장비에서 가스의 흐르는 양을 정확히 재고 조절하는 장치의 이름은 무엇인가요?
3. AsH_3, PH_3, B_2H_6 같은 독성 가스를 다루는 설비의 안전 장치를 두 가지 이상 쓰세요.
4. 챔버 압력 3.8 Torr는 몇 atm인가요? (1 atm = 760 Torr)

PART 3 확인 문제 정답과 풀이

3-1

1. 도체 → 반도체 → 절연체. 도체는 밴드가 겹쳐 밴드갭이 없고, 절연체는 밴드갭이 가장 커요.
2. 약 1.12 eV예요.
3. 전도도가 커져요. 열을 받은 전자가 잡고 있던 손을 놓고 뛰쳐나가(밴드갭을 넘어) 자유전자와 정공이 늘어나기 때문이에요.
4. 정공이에요. + 전하처럼 행동해요.

3-2

1. n형이고, 다수 캐리어는 전자예요. 인은 손이 5개라 1개가 남아 자유전자가 돼요.
2. 붕소(B), 가전자 3개예요. 손 1개가 모자라 정공이 생겨요.
3. 비소는 인보다 무거워 확산이 느려서, 열을 받아도 덜 퍼지므로 얕고 또렷한 접합을 만들기 좋아요.
4. 아니에요. 전자를 내준 도너가 + 이온으로 남아 전자의 − 전하와 균형을 이루므로 전체는 전기적으로 중성이에요.

3-3

1. 남아 있는 것: 제자리에 고정된 이온(P쪽 − 이온, N쪽 + 이온). 거의 없는 것: 움직이는 캐리어(자유전자와 정공).
2. P쪽에 +극, N쪽에 −극을 연결해요.
3. 10 mA예요. (12 − 0.7) ÷ 1130 = 11.3 ÷ 1130 = 0.01 A = 10 mA.
4. 정류예요.

3-4

1. 채널을 조절하는 전극은 게이트, 출발하는 곳은 소스, 도착하는 곳은 드레인이에요.
2. 게이트와 기판 사이에 얇은 절연막(게이트 산화막)이 있어서 전류가 통하지 않고, 전압이 만드는 전기장만 전달되기 때문이에요.
3. 꺼짐이에요. 0.5 V < 1.0 V라서 채널이 생기지 않아요.
4. NMOS가 켜지고(PMOS는 꺼짐), 출력은 0이에요.

3-5

1. 트랜지스터 1개와 커패시터 1개로 이뤄져요(1T1C).
2. 커패시터에 담긴 전하가 시간이 지나면 조금씩 새어 나가 1이 0처럼 바뀌기 때문에, 주기적으로 읽고 다시 채워야 해요.
3. 플로팅 게이트 방식과 전하 트랩 방식이에요.
4. $Q = C \times V = 20 \times 10^{-15}\ \text{F} \times 1\ \text{V} = 2 \times 10^{-14}\ \text{C}$예요.

3-6

1. 웨이퍼 제조 → 산화 → 포토 → 식각 → 증착·이온주입 → 금속배선 → EDS → 패키징.
2. 건식 산화예요. 느리지만 막이 치밀해요.
3. 감광액 도포 → 노광 → 현상.
4. 빛을 받은 부분이 굳어서 현상 후에도 남아요. 빛을 받지 않은 부분이 녹아 없어져요.

3-7

1. 주로 등방성이에요. 모든 방향으로 같이 녹아서 언더컷이 생겨요.

2. 4분이에요. 400 ÷ 100 = 4 min.
3. ALD예요. 원자층을 한 겹씩 쌓아서 깊은 구멍도 고르고 정확하게 덮어요.
4. ① 이온 충돌로 흐트러진 실리콘 결정을 회복하려고, ② 들어간 도펀트를 실리콘 자리에 앉혀 활성화(제 역할을 하게)하려고 해요.

3-8

1. 구리는 식각으로 깎기 어려워서, 절연막에 홈을 먼저 파고 구리를 채운 뒤 CMP로 갈아 내는 방법을 써요.
2. MFC(질량 유량 제어기)예요.
3. 배기가 되는 가스 캐비닛, 가스 감지기(누출 감시), 자동 차단 밸브, 배기가스를 정화하는 스크러버 등이 있어요. 경보 시 먼저 대피하는 것도 기본 수칙이에요.
4. 0.005 atm이에요. 3.8 ÷ 760 = 0.005.

PART 4

로봇과 자동화

반도체 공장에서는 사람 대신 로봇이 웨이퍼를 옮기고, 센서와 PLC가 장비의 동작 순서를 지켜요. 이 부에서는 로봇 팔을 이해하는 삼각함수와 토크부터 센서, 모터, 공압, PLC, 설비 보전까지 차례로 배워요. Part 2에서 배운 전압과 전류가 여기서 실제 기계를 움직이는 힘으로 바뀌어요. 반도체설비보전기능사와 자동화설비기능사에서 자주 다루는 내용(센서, 모터 제어, 공기압 제어, PLC)이 중심이에요.

- 4-1 로봇을 위한 수학: 삼각함수, 피타고라스, 벡터
- 4-2 힘, 토크, 운동: 무게, 토크, 관성
- 4-3 센서: 근접, 광전, 압력, 온도, 엔코더
- 4-4 모터와 구동: DC, 스테핑, 서보, 감속기, 볼스크류
- 4-5 공압과 유압: 실린더, 솔레노이드 밸브, FRL
- 4-6 시퀀스 제어와 PLC: 접점, 자기유지, 래더
- 4-7 산업용 로봇과 설비 보전: EFEM, FOUP, MTBF, 고장 진단

4-1 로봇을 위한 수학

이 장의 목표

- sin, cos, tan이 직각삼각형의 어떤 비율인지 말할 수 있어요.
- 특수각 0°, 30°, 45°, 60°, 90°의 값을 표로 기억해요.
- 팔 길이와 각도로 팔 끝의 높이와 가로 길이를 계산해요.
- 피타고라스 정리와 벡터로 두 점 사이의 거리를 구해요.

직각삼각형과 세 가지 비율

로봇 팔은 관절의 각도를 바꿔서 움직여요. 팔 끝이 "얼마나 높이, 얼마나 멀리" 가는지 알려면 각도와 길이를 이어 주는 도구가 필요해요. 그 도구가 삼각함수(삼각형의 각도와 변의 길이 비율을 나타내는 함수)예요.

직각삼각형에서 가장 긴 변을 빗변이라고 해요. 기준 각도를 θ(세타)라고 할 때, θ와 마주 보는 세로 변을 높이, θ에 붙어 있는 바닥 변을 밑변이라고 부를게요. 그러면 세 가지 비율이 생겨요. sin θ = 높이 ÷ 빗변, cos θ = 밑변 ÷ 빗변, tan θ = 높이 ÷ 밑변이에요. 이 비율은 삼각형의 크기와 상관없이 각도만으로 정해져요.

일상 비유

벽에 기댄 사다리를 떠올려 보세요. 사다리 길이가 빗변, 사다리 끝이 닿은 벽의 높이가 높이, 벽에서 사다리 발까지의 거리가 밑변이에요. 사다리를 세울수록(각도가 커질수록) 높이는 커지고 밑변은 짧아져요. sin은 "사다리 길이 중 몇 %가 높이로 쓰였나", cos은 "몇 %가 바닥 쪽 거리로 쓰였나"를 알려 주는 숫자예요.

특수각 값 표

자주 쓰는 각도의 값은 외워 두면 계산이 빨라져요. √2 ≈ 1.414, √3 ≈ 1.732를 같이 기억하면 좋아요.

θ	0°	30°	45°	60°	90°
sin θ	0	1/2 = 0.5	√2/2 ≈ 0.707	√3/2 ≈ 0.866	1
cos θ	1	√3/2 ≈ 0.866	√2/2 ≈ 0.707	1/2 = 0.5	0
tan θ	0	√3/3 ≈ 0.577	1	√3 ≈ 1.732	정의 안 됨

sin은 0에서 1로 커지고, cos은 1에서 0으로 작아져요. sin 30°와 cos 60°가 같은 것처럼 두 값은 거울처럼 짝을 이뤄요.

높이 = L sin θ, 가로 = L cos θ

길이 L인 팔을 바닥에서 θ만큼 올리면, 팔 끝의 높이는 L × sin θ, 관절에서 팔 끝까지의 가로 거리는 L × cos θ예요. 비율 식 sin θ = 높이 ÷ L의 양변에 L을 곱한 것뿐이에요. 로봇 제어기가 관절 각도로 팔 끝 위치를 계산하는 일(순기구학)의 가장 단순한 모양이 바로 이 식이에요.

피타고라스 정리와 벡터

직각삼각형에서는 빗변² = 밑변² + 높이²가 항상 성립해요. 그래서 sin²θ + cos²θ = 1도 늘 맞아요. 벡터는 크기와 방향을 함께 가진 양이에요. 평면에서는 좌표 (x, y)로 나타내고, 크기는 √(x² + y²)로 구해요. 두 벡터를 더할 때는 x는 x끼리, y는 y끼리 더해요. 로봇 팔 두 마디를 이어 붙이면 마디마다 벡터를 더해서 팔 끝 위치를 구해요.

좌표는 기준점(원점)에서 가로로 얼마, 세로로 얼마 떨어졌는지를 적은 숫자 쌍이에요. 로봇에서는 보통 로봇 바닥 중심을 원점으로 잡아요. "팔 길이 1 m, 30°"처럼 길이와 각도로 말하는 방식과 "(0.87, 0.50) m"처럼 좌표로 말하는 방식은 같은 점을 다르게 표현한 것이고, 삼각함수가 둘을 서로 바꿔 줘요.

용어 정리

용어	뜻
삼각함수	직각삼각형의 각도와 변 길이 비율(sin, cos, tan)
빗변	직각삼각형에서 직각과 마주 보는 가장 긴 변
특수각	값을 간단한 수로 쓸 수 있는 0°, 30°, 45°, 60°, 90°
피타고라스 정리	빗변² = 밑변² + 높이²
벡터	크기와 방향을 함께 가진 양, 좌표 (x, y)로 표시
좌표	기준점(원점)에서 가로, 세로로 얼마나 떨어졌는지 나타낸 숫자 쌍
순기구학	관절 각도로부터 팔 끝 위치를 계산하는 일

핵심 공식

$\sin\theta = \text{높이} \div \text{빗변}$ $\cos\theta = \text{밑변} \div \text{빗변}$ $\tan\theta = \text{높이} \div \text{밑변}$

$\text{높이} = L \times \sin\theta$ $\text{가로} = L \times \cos\theta$

$c^2 = a^2 + b^2$ $|(x, y)| = \sqrt{x^2 + y^2}$

L: 팔(빗변) 길이, θ: 바닥에서 올린 각도, c: 빗변, a와 b: 나머지 두 변, |(x, y)|: 벡터의 크기.

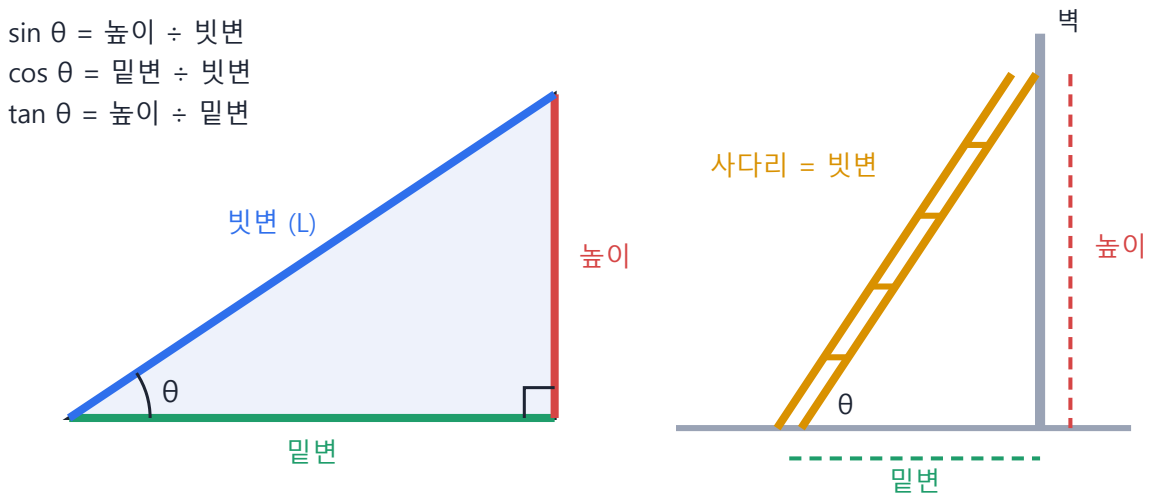
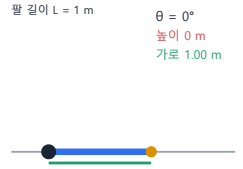
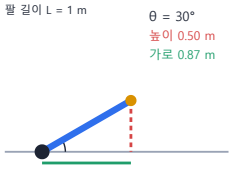


그림 4-1-1. 직각삼각형의 세 변과 삼각함수(왼쪽), 벽에 기댄 사다리 비유(오른쪽)

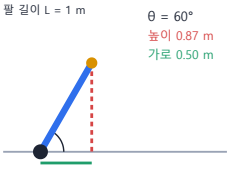
움직이는 그림 · 1 m 로봇 팔이 올라갈 때 높이와 가로 길이



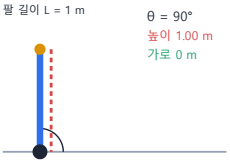
① θ = 0°: 팔이 바닥과 나란해요. 높이 = 1 × sin 0° = 0, 가로 = 1 × cos 0° = 1.00 m



② θ = 30°: 높이 = 1 × 0.5 = 0.50 m, 가로 = 1 × 0.866 ≈ 0.87 m



③ θ = 60°: 높이 = 1 × 0.866 ≈ 0.87 m, 가로 = 1 × 0.5 = 0.50 m (30°일 때와 값이 서로 바뀌어요)



④ θ = 90°: 팔이 똑바로 서요. 높이 = 1.00 m, 가로 = 0 m

움직이는 그림 4-1-A. 각도가 커질수록 높이(빨강, L sin θ)는 커지고 가로 길이(초록, L cos θ)는 줄어들어요.

예제 1

길이 0.8 m인 로봇 팔을 바닥에서 30° 올렸어요. 팔 끝의 높이와 가로 거리는 얼마예요?

풀이

① 높이 = L × sin 30° = 0.8 × 0.5 = 0.40 m

② 가로 = L × cos 30° = 0.8 × 0.866 = 0.6928 ≈ 0.69 m

③ 검산: $0.40^2 + 0.6928^2 = 0.16 + 0.48 = 0.64 = 0.8^2$. 피타고라스 정리와 맞아요.

예제 2

그리퍼가 좌표 (0.3, 0.4) m에서 (0.9, 1.2) m로 이동했어요. 이동 벡터와 이동한 직선 거리는 얼마예요?

풀이

① 이동 벡터 = (0.9 − 0.3, 1.2 − 0.4) = (0.6, 0.8) m

② 거리 = $\sqrt{(0.6^2 + 0.8^2)} = \sqrt{(0.36 + 0.64)} = \sqrt{1} = 1.0$ m

비유가 깨지는 지점

- 실제 사다리는 미끄러지거나 휘지만, 계산에서는 팔을 휘지 않는 곧은 막대로 봐요. 실제 로봇 팔은 무게 때문에 아주 조금 처져요.
- tan 90°는 값이 없어요. 사다리를 완전히 세우면 밑변이 0이 되어 0으로 나눌 수 없기 때문이에요.
- 실제 로봇은 관절이 여러 개라 각도가 겹겹이 더해져요. 높이 = L sin θ는 관절 하나짜리 가장 단순한 경우예요.
- 계산기가 라디안(rad) 모드면 sin 30이 0.5가 나오지 않아요. 각도 모드(DEG)를 먼저 확인하세요.

현장 연결

웨이퍼 이송 로봇을 티칭(위치 가르치기)할 때 팔 끝 위치를 좌표로 확인하고, 제어기는 관절 각도를 삼각함수로 바꿔 위치를 계산해요. 웨이퍼가 몇 mm 어긋났는지, 정렬 오차가 얼마인지 따질 때도 피타고라스 정리와 벡터를 그대로 써요.

확인 문제

1. 길이 2 m인 팔을 바닥에서 60° 올렸어요. 팔 끝의 높이는 약 몇 m예요?
2. 가로로 0.6 m, 세로로 0.8 m 떨어진 두 점 사이의 직선 거리는 얼마예요?
3. tan 45°의 값은 얼마이고, 사다리 비유로 무슨 뜻이에요?
4. 벡터 (1, 2)와 (3, 1)을 더한 결과와 그 크기를 구하세요.

4-2 힘, 토크, 운동

이 장의 목표

- 힘의 단위 N을 알고 무게 = m × g를 계산해요.
- 토크 = 힘 × 수직 거리를 이해하고, 팔 자세에 따라 토크가 어떻게 바뀌는지 설명해요.
- 관성과 F = m × a로 가속에 필요한 힘을 구해요.
- 그리퍼가 무거워지면 모터 부담과 발열이 커지는 이유를 말해요.

힘과 무게

힘은 물체를 밀거나 당기는 작용이에요. 단위는 N(뉴턴)이고, 1 N은 질량 1 kg인 물체를 1 m/s²로 가속시키는 힘이에요. 무게는 지구가 물체를 아래로 당기는 힘이에요. 무게 = m × g이고, g(중력 가속도)는 약 9.8 m/s²예요. 어림할 때는 10으로 써요. 질량(kg)은 물체에 든 양이고 무게(N)는 힘이라서 서로 달라요. 1 kg 물건의 무게는 약 9.8 N이에요.

토크: 돌리는 힘의 효과

토크(회전력)는 물체를 축 둘레로 돌리려는 효과예요. 토크 = 힘 × 거리이고, 여기서 거리는 회전축에서 힘이 작용하는 선까지의 수직 거리예요. 단위는 N·m예요.

일상 비유

문을 열 때 경첩 바로 옆을 밀면 잘 안 열리고, 경첩에서 먼 손잡이를 밀면 쉽게 열려요. 같은 힘이라도 축에서 멀리 떨어진 곳에 주면 돌리는 효과(토크)가 커져요. 문 손잡이가 경첩 반대쪽 끝에 달린 이유예요.

로봇 팔에서 중력은 늘 아래로 작용해요. 그래서 수직 거리는 관절에서 물체까지의 "가로 거리"가 돼요. 4-1에서 배운 대로 가로 거리는 L × cos θ예요. 팔을 수평으로 뻗으면 가로 거리가 L로 가장 길어서 토크가 최대이고, 팔을 똑바로 세우면 가로 거리가 0이라서 중력이 만드는 토크도 0이에요. 계산할 때 거리는 m 단위로 바꿔 넣어요. 300 mm는 0.3 m예요.

관성과 가속

관성은 물체가 지금 상태를 유지하려는 성질이에요. 무거울수록 출발시키기도, 멈추기도 어려워요. 가속에 필요한 힘은 F = m × a로 구해요(a: 가속도, m/s²). 회전에서도 같아서, 무거운 물건이 축에서 멀리 있을수록 돌리기 시작하거나 멈추기가 어려워요. 그래서 로봇은 멈추는 순간에도 큰 토크를 내야 해요. 예를 들어 질량 2 kg을 3 m/s²로 가속하려면 F = 2 × 3 = 6 N이 필요해요. 같은 가속도라도 질량이 두 배면 힘도 두 배예요.

사례: 무거운 그리퍼로 교체

팔 끝의 그리퍼를 두 배 무거운 것으로 바꾸면 같은 자세에서 중력 토크도 두 배가 돼요. 모터는 토크를 더 내려고 전류를 더 흘려요(모터 토크는 대략 전류에 비례해요). Part 2에서 배운 대로 도선의 발열은 I² × R이라서, 전류가 두 배면 구리선에서 나는 열은 약 네 배가 돼요. 팔을 수평으로 들고 가만히 있기만 해도 토크가 필요하니 열이 계속 나요.

용어 정리

용어	뜻
힘 (N)	물체를 밀거나 당기는 작용, 1 N = 1 kg × 1 m/s²
질량 (kg)	물체에 든 양, 장소가 바뀌어도 그대로
무게 (N)	중력이 물체를 당기는 힘, m × g
중력 가속도 g	약 9.8 m/s² (어림 10)
토크 (N·m)	축 둘레로 돌리려는 효과, 힘 × 수직 거리
관성	지금 운동 상태를 유지하려는 성질
가속도 (m/s²)	1초 동안 속도가 얼마나 바뀌는지

핵심 공식

무게 $W = m \times g$ $(g \approx 9.8\ m/s^2)$

토크 $\tau = F \times d$ $(d$: 축에서 힘의 작용선까지 수직 거리$)$

팔의 중력 토크 $\tau = m \times g \times L \times \cos\theta$

$F = m \times a$

m: 질량(kg), F: 힘(N), d: 수직 거리(m), L: 관절에서 물체까지 팔 길이(m), θ: 팔을 수평에서 올린 각도, a: 가속도(m/s²), τ(타우): 토크(N·m).

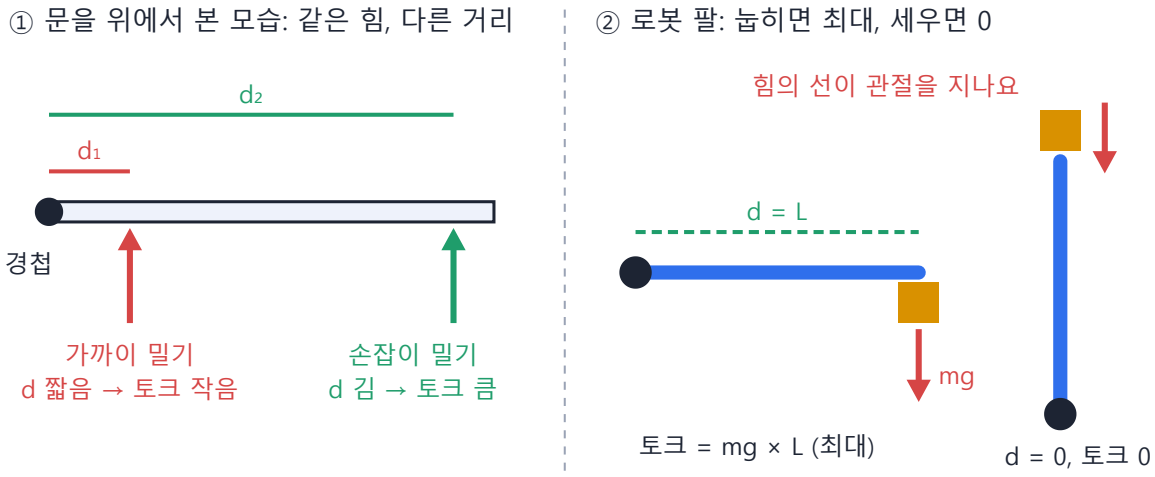
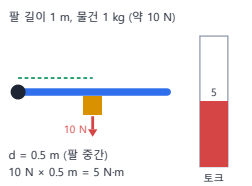


그림 4-2-1. 토크는 힘 × 수직 거리예요. 문은 손잡이를 밀 때, 로봇 팔은 수평일 때 토크가 커요.

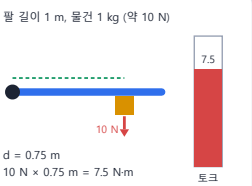
움직이는 그림 · 같은 물건을 팔 끝 쪽으로 옮길 때 토크



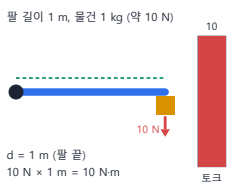
① 물건이 관절에서 0.25 m: 토크 2.5 N·m



② 팔 중간(0.5 m)으로 옮김: 토크 5 N·m



③ 0.75 m로 옮김: 토크 7.5 N·m



④ 팔 끝(1 m)으로 옮김: 토크 10 N·m, 처음의 4배

움직이는 그림 4-2-A. 무게는 그대로인데 관절에서의 거리(초록 점선)가 길어질수록 토크 막대가 거리에 비례해 커져요. (g ≈ 10으로 어림)

예제 1

수평으로 뻗은 로봇 팔에서 관절부터 그리퍼까지 거리가 0.6 m예요. 1 kg 그리퍼를 2 kg 그리퍼로 바꾸면 중력 토크는 각각 얼마예요? (g = 9.8 m/s²)

풀이

① 기존: 무게 = 1 × 9.8 = 9.8 N, 토크 = 9.8 × 0.6 = 5.88 N·m
② 교체 후: 무게 = 2 × 9.8 = 19.6 N, 토크 = 19.6 × 0.6 = 11.76 N·m
③ 토크가 2배가 됐어요. 모터 전류도 약 2배가 필요하고, 구리선 발열(I^2R)은 약 $2^2 = 4$배로 늘 수 있어요.

예제 2

길이 1 m인 팔 끝에 20 N짜리 물건이 있어요. 팔을 수평에서 60° 올렸을 때 관절에 걸리는 중력 토크는 얼마예요?

풀이

① 수직 거리(가로 거리) = L × cos 60° = 1 × 0.5 = 0.5 m
② 토크 = 20 × 0.5 = 10 N·m
③ 수평일 때(20 × 1 = 20 N·m)의 절반이에요. 팔을 세울수록 토크가 줄어요.

비유가 깨지는 지점

- 문 손잡이 비유는 문에 수직으로 밀 때 그대로 맞아요. 비스듬히 밀면 수직 방향 성분만 돌리는 데 쓰여요.
- 예제에서는 팔 자체의 무게를 빼고 계산했어요. 실제로는 팔도 무게가 있어서 토크를 더 만들어요.
- 팔을 세우면 중력 토크는 0이지만, 움직이기 시작하거나 멈추는 순간에는 관성 때문에 토크가 필요해요.
- "발열 4배"는 구리선 저항 손실만 본 어림이에요. 실제 모터에는 다른 손실도 있어요.

현장 연결

로봇 사양서에는 들 수 있는 질량(페이로드)과 허용 관성이 적혀 있어요. 그리퍼를 바꾸면 이 범위 안인지 확인하고 로봇에 새 부하 값을 입력해야 해요. 설비 보전에서 볼트를 정해진 N·m로 조이는 체결 토크 관리도 같은 단위를 써요.

확인 문제

1. 질량 5 kg인 물체의 무게는 몇 N이에요? (g = 9.8 m/s²)
2. 경첩에서 0.8 m 떨어진 손잡이를 문에 수직으로 15 N의 힘으로 밀었어요. 토크는 얼마예요?
3. 로봇 팔을 똑바로 세웠을 때 끝에 달린 물건의 중력이 관절에 만드는 토크는 얼마이고, 그 이유는 뭐예요?
4. 질량 3 kg인 물체를 2 m/s²로 가속하려면 힘이 얼마나 필요해요? (마찰은 무시)

4-3 센서

이 장의 목표

- 리밋 스위치, 근접 센서(유도형, 정전용량형), 광전 센서의 차이를 말해요.
- 압력 센서, 온도 센서(열전대, RTD), 엔코더가 무엇을 재는지 알아요.
- 디지털 신호와 아날로그 신호(4~20 mA)를 구분하고 값을 환산해요.
- NPN 출력과 PNP 출력의 차이를 맛보기로 이해해요.

센서는 장비의 감각 기관

센서는 위치, 빛, 압력, 온도 같은 물리량을 전기 신호로 바꾸는 부품이에요. PLC(4-6)는 센서 신호를 보고 "웨이퍼가 있다, 실린더가 끝까지 갔다"를 판단해 다음 동작을 정해요. 센서가 틀리면 장비 전체가 틀린 판단을 해요.

일상 비유

엘리베이터 문에 사람이 끼면 문이 다시 열려요. 문 양쪽에서 빛을 쏘고 받다가 사람이 빛을 가리면 "사람 있음"으로 판단하기 때문이에요. 리밋 스위치는 손으로 만져서 확인하는 것, 근접 센서는 손을 가까이 대면 느끼는 것, 광전 센서는 눈으로 빛이 가려지는지 보는 것과 비슷해요.

물체가 있는지 아는 센서

리밋 스위치는 물체가 레버를 눌러 안쪽 접점이 바뀌는 접촉식 스위치예요. 단순하고 튼튼해요. 유도형 근접 센서는 코일이 만든 교류 자기장에 금속이 다가오면 금속 표면에 와전류(소용돌이 모양 전류)가 생기는 변화를 감지해요. 그래서 금속만 감지해요. 정전용량형 근접 센서는 전극과 물체 사이의 정전용량(전기를 담는 능력) 변화를 감지해서 금속뿐 아니라 플라스틱, 유리, 액체도 감지해요. 광전 센서는 투광부(빛을 쏘는 쪽)와 수광부(빛을 받는 쪽)로 물체를 감지해요. 투과형, 회귀반사형, 확산반사형이 있어요(그림 4-3-1). 웨이퍼 유무 감지나 로드포트에서 슬롯마다 웨이퍼가 있는지 확인하는 매핑에 빛을 이용한 센서가 많이 쓰여요.

양을 재는 센서

압력 센서는 압축공기나 진공의 압력을 재요. 진공으로 웨이퍼를 붙잡는 그리퍼에서 "제대로 붙었는지" 확인할 때 써요. 온도 센서 중 열전대는 서로 다른 두 금속을 붙인 접점에 온도 차가 있으면 작은 전압이 생기는 현상을 이용해요(K형이 흔해요). RTD(측온저항체)는 금속의 저항이 온도에 따라 변하는 성질을 이용하고, 대표인 Pt100은 0 °C에서 100 Ω이고 온도가 오르면 저항이 커져요. 엔코더는 회전축의 각도를 펄스(짧은 ON/OFF 신호)로 알려 줘요. 펄스 수를 세는 증분형과 위치마다 고유한 값을 주는 절대형이 있어요.

디지털과 아날로그, NPN과 PNP

디지털 신호는 ON/OFF 두 가지뿐이에요(산업 현장에서는 DC 24 V가 흔해요). 아날로그 신호는 연속된 값이고, 4~20 mA나 0~10 V를 많이 써요. 4~20 mA에서는 4 mA가 측정 범위의 0%, 20 mA가 100%예요. 0 mA가 아니라 4 mA에서 시작하면 선이 끊겼을 때(0 mA) 고장을 바로 알 수 있어요.

3선식 센서는 보통 갈색(+24 V), 파랑(0 V), 검정(출력) 선을 가져요. NPN 출력은 감지하면 출력선을 0 V 쪽에 연결해 전류를 빨아들이고(싱크), PNP 출력은 감지하면 출력선을 +24 V 쪽에 연결해 전류를 내보내요(소스). PLC 입력 카드의 공통 단자(COM) 방식과 맞지 않으면 신호가 들어가지 않아요.

용어 정리

용어	뜻
리밋 스위치	물체가 레버를 눌러 접점이 바뀌는 접촉식 스위치
유도형 근접 센서	자기장과 와전류로 금속만 비접촉 감지
정전용량형 근접 센서	정전용량 변화로 금속, 플라스틱, 유리, 액체까지 감지
광전 센서	빛이 가려지거나 반사되는 것으로 물체를 감지
열전대	두 금속 접점의 온도 차로 생기는 전압으로 온도 측정
RTD (측온저항체)	온도에 따른 금속 저항 변화로 온도 측정, 예: Pt100
엔코더	회전 각도를 펄스로 알려 주는 센서 (증분형, 절대형)
NPN / PNP	감지 시 출력선을 0 V로 연결(NPN) 또는 +24 V로 연결(PNP)

핵심 공식

4~20 mA 환산: 측정값 = 최소 + (I − 4) ÷ 16 × (최대 − 최소)

엔코더 각도 = 펄스 수 ÷ 1회전 펄스 수 × 360°

Pt100: 0 °C에서 100 Ω, 온도가 오르면 저항이 커짐

I: 현재 전류(mA), 16: 20 mA − 4 mA, 최소와 최대: 센서의 측정 범위(예: 0~1 MPa).

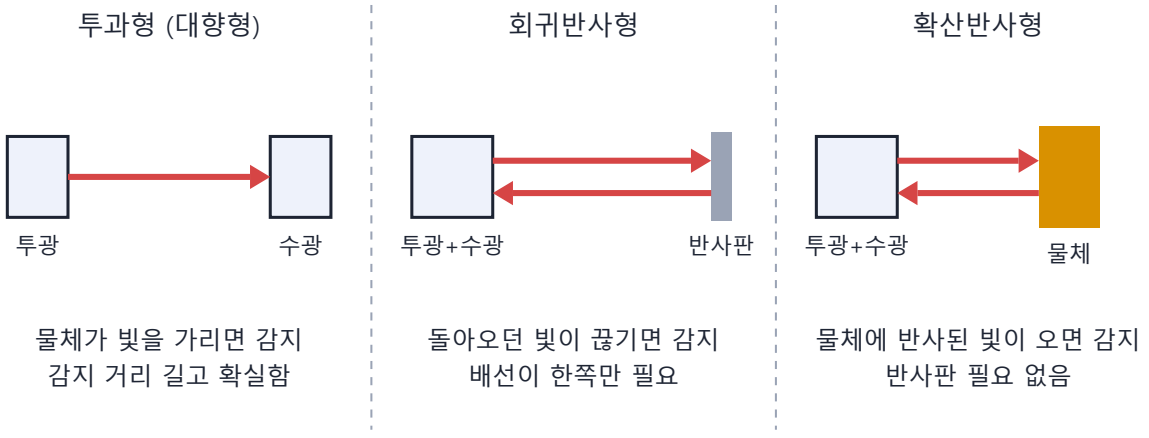
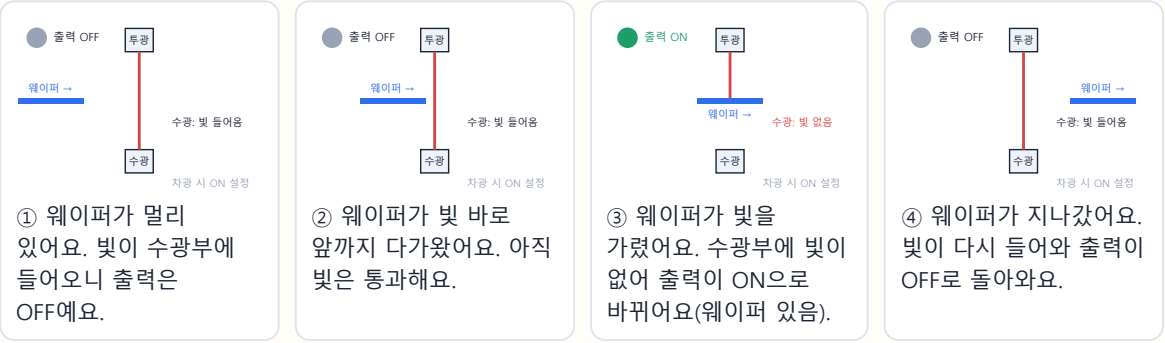


그림 4-3-1. 광전 센서의 세 가지 방식. 빨간 선은 빛의 경로예요.

움직이는 그림 · 광전 센서 앞으로 웨이퍼가 지나갈 때



① 웨이퍼가 멀리 있어요. 빛이 수광부에 들어오니 출력은 OFF예요.

② 웨이퍼가 빛 바로 앞까지 다가왔어요. 아직 빛은 통과해요.

③ 웨이퍼가 빛을 가렸어요. 수광부에 빛이 없어 출력이 ON으로 바뀌어요(웨이퍼 있음).

④ 웨이퍼가 지나갔어요. 빛이 다시 들어와 출력이 OFF로 돌아와요.

움직이는 그림 4-3-A. 투과형 광전 센서를 "빛이 가려지면 ON(차광 시 ON)"으로 설정했을 때, 웨이퍼가 빛을 끊는 동안만 출력이 ON이 돼요.

예제 1

측정 범위 0~1 MPa, 출력 4~20 mA인 압력 센서가 12 mA를 내보내고 있어요. 압력은 얼마예요?

풀이

① (12 − 4) ÷ 16 = 8 ÷ 16 = 0.5 → 범위의 50%

② 압력 = 0 + 0.5 × (1 − 0) = 0.5 MPa

예제 2

1회전에 2000 펄스를 내는 증분형 엔코더에서 500 펄스를 셌어요. 축은 몇 도 돌았어요?

풀이

① 500 ÷ 2000 = 0.25 회전

② 0.25 × 360° = 90°

비유가 깨지는 지점

- 사람의 감각은 상황을 알아서 판단하지만, 센서는 정해진 물리 현상 하나에만 반응해요. 유도형 근접 센서 앞에 유리판이 와도 "없음"이라고 해요.
- 광전 센서는 투명하거나 반사가 심한 물체, 렌즈 오염에 약해요. 감도 조정과 청소가 필요해요.
- 4~20 mA 신호는 숫자만 알려 줘요. 센서의 측정 범위를 알아야 그 숫자가 몇 MPa, 몇 °C인지 알 수 있어요.

현장 연결

"웨이퍼 감지 안 됨", "진공 압력 이상" 같은 알람의 흔한 원인이 센서의 위치 틀어짐, 오염, 배선 불량이에요. 반도체설비보전기능사 필기 출제기준에 센서 활용기술(센서 선정, 신호, 관리)이 들어 있고, 실기에서는 센서 출력을 PLC 입력에 배선하므로 NPN/PNP를 맞추는 것이 중요해요.

확인 문제

1. 플라스틱 트레이가 있는지 비접촉으로 감지하려면 유도형과 정전용량형 중 어느 근접 센서를 써야 해요?
2. 1회전 2000 펄스 엔코더에서 1000 펄스를 셌어요. 몇 도 돌았어요?
3. 측정 범위 0~100 ℃, 출력 4~20 mA인 온도 변환기가 8 mA를 내보내요. 온도는 몇 ℃예요?
4. 리밋 스위치의 출력은 디지털 신호예요, 아날로그 신호예요? 이유도 쓰세요.

4-4 모터와 구동

이 장의 목표

- DC 모터가 도는 원리를 자기장과 전류로 설명해요.
- 스테핑 모터(열린 루프)와 서보 모터(닫힌 루프)의 차이를 말해요.
- 감속기와 볼스크류로 속도, 토크, 이동 거리를 계산해요.
- 로봇 관절에 서보 모터를 쓰는 이유를 설명해요.

DC 모터: 자기장 속 전류가 받는 힘

자기장 안에 있는 도선에 전류가 흐르면 도선이 힘을 받아요. 힘의 방향은 플레밍의 왼손 법칙으로 찾아요. DC 모터는 자석 사이에 코일을 두고 전류를 흘려 코일이 돌게 만든 장치예요. 정류자와 브러시가 반 바퀴마다 코일의 전류 방향을 바꿔 줘서 한 방향으로 계속 돌아요. 전압을 높이면 빨라지고, 부하 토크가 커지면 전류가 늘어나요. 전원의 +, −를 바꾸면 반대로 돌아요. 브러시는 닳는 부품이라 보전 대상이에요.

스테핑 모터: 펄스 하나에 한 걸음

스테핑 모터는 펄스 1개를 받을 때마다 정해진 각도(스텝각)만큼 돌아요. 흔한 스텝각 1.8°이면 200 펄스에 1회전해요. 펄스 수가 위치를, 펄스를 보내는 빠르기가 속도를 정해요. 결과를 다시 재지 않고 명령만 보내는 열린 루프 제어라서 구조가 간단하고 싸요. 하지만 부하가 너무 크거나 급하게 가속하면 펄스를 놓쳐 위치가 어긋나는 탈조가 생기고, 제어기는 그 사실을 몰라요.

서보 모터: 재고, 비교하고, 고친다

서보 모터는 모터, 엔코더, 서보 드라이버가 한 세트예요. 드라이버는 목표 위치와 엔코더가 알려 준 실제 위치를 계속 비교해서 오차(목표 − 현재)를 줄이는 방향으로 전류를 보내요. 결과를 되돌려 받아 명령에 반영하므로 닫힌 루프(피드백) 제어라고 해요(그림 4-4-1). 로봇 관절은 자세마다 부하가 달라지고(4-2), 같은 위치를 수없이 정확하게 반복해야 해서 피드백이 있는 서보 모터를 써요. 산업용 로봇 관절에는 주로 AC 서보 모터가 쓰여요.

일상 비유

스테핑 모터는 눈을 감고 "스무 걸음 가면 문"이라고 세며 걷는 것이에요. 누가 밀어도 모르고 계속 세요. 서보 모터는 눈을 뜨고 문을 보면서 걷는 것이에요. 옆으로 밀리면 바로 알아채고 방향을 고쳐요.

감속기, 볼스크류, 리니어 가이드

감속기는 기어로 회전 속도를 줄이는 대신 토크를 키우는 장치예요. 감속비 1:n이면 출력 속도는 1/n, 토크는 약 n배가 돼요(손실 무시). 자전거의 가벼운 기어로 언덕을 오르는 것과 같아요. 볼스크류는 나사축과 너트 사이에 볼을 넣어 회전을 직선 운동으로 바꿔요. 1회전에 움직이는 거리를 리드라고 해요. 리니어 가이드는 레일과 블록으로 직선 운동을 부드럽고 곧게 안내해요.

용어 정리

용어	뜻
정류자와 브러시	DC 모터에서 코일 전류 방향을 바꿔 주는 부품
스텝각	스테핑 모터가 펄스 1개에 도는 각도, 예: 1.8°
탈조	스테핑 모터가 펄스를 놓쳐 위치가 어긋나는 현상
열린 루프 / 닫힌 루프	결과 확인 없이 명령만(열린), 결과를 재서 보정(닫힌, 피드백)
서보 드라이버	목표와 엔코더 값을 비교해 모터 전류를 조절하는 장치
감속기 (감속비)	속도를 1/n로 줄이고 토크를 약 n배로 키우는 기어 장치
볼스크류 (리드)	회전을 직선 운동으로 바꾸는 나사, 리드 = 1회전 이동 거리
리니어 가이드	직선 운동을 안내하는 레일과 블록

핵심 공식

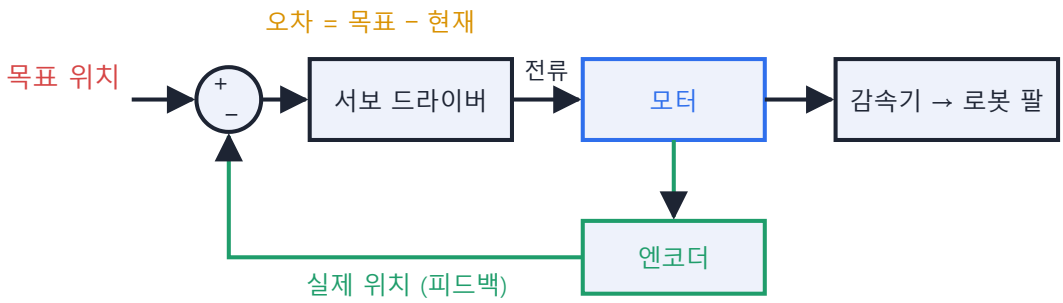
필요 펄스 수 = 회전각 ÷ 스텝각

감속기: 출력 속도 = 입력 속도 ÷ n, 출력 토크 ≈ 입력 토크 × n

볼스크류: 이동 거리 = 리드 × 회전 수

피드백: 오차 = 목표값 − 현재값

n: 감속비 1:n의 n, rpm: 1분당 회전 수, 리드: 볼스크류 1회전당 이동 거리(mm).



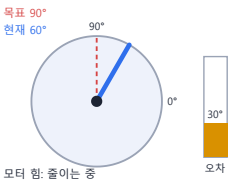
스테핑 모터의 열린 루프에는 초록색 되돌림 선(피드백)이 없어요.

그림 4-4-1. 서보 모터의 닫힌 루프. 엔코더가 실제 위치를 되돌려 주면 드라이버가 목표와 비교해 오차를 줄여요.

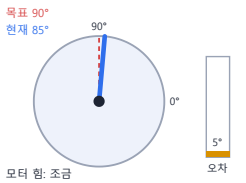
움직이는 그림 · 서보 모터가 목표 각도로 가는 피드백 과정



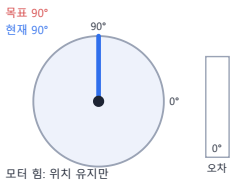
① 목표 90°, 현재 0°: 오차가 90°로 커서 드라이버가 큰 전류를 보내요.



② 현재 60°: 엔코더가 알려 준 값으로 다시 계산하니 오차는 30°예요. 지나치지 않게 힘을 줄여요.



③ 현재 85°: 오차 5°. 목표 가까이에서 천천히 다가가요.



④ 현재 90°: 오차 0. 도착 후에도 엔코더를 계속 보며 밀리면 바로 되돌려요.

움직이는 그림 4-4-A. 파란 바늘(현재)이 빨간 점선(목표)에 다가갈수록 주황 막대(오차)가 줄고, 드라이버는 오차에 맞춰 힘을 줄여요.

예제 1

스텝각 1.8°인 스테핑 모터를 90° 돌리려면 펄스가 몇 개 필요해요? 이 모터에 1초에 400 펄스를 보내면 rpm은 얼마예요?

풀이

① 90 ÷ 1.8 = 50 펄스
② 1회전 = 360 ÷ 1.8 = 200 펄스이므로 1초에 400 ÷ 200 = 2 회전
③ 1분이면 2 × 60 = 120 rpm

예제 2

서보 모터가 3000 rpm, 0.5 N·m를 내요. 감속비 1:50 감속기를 달면 출력 속도와 토크는 얼마예요(손실 무시)? 또 리드 5 mm 볼스크류를 600 rpm으로 돌리면 1초에 몇 mm 움직여요?

풀이

① 출력 속도 = 3000 ÷ 50 = 60 rpm
② 출력 토크 ≈ 0.5 × 50 = 25 N·m
③ 600 rpm = 600 ÷ 60 = 10 회전/초 → 이동 = 5 mm × 10 = 50 mm/s

비유가 깨지는 지점

- "눈을 뜬" 서보도 엔코더가 헐거워지거나 고장 나면 틀린 위치를 맞다고 믿어요. 피드백은 센서가 정확할 때만 믿을 수 있어요.
- 감속기는 토크를 n배로 키운다고 했지만 실제로는 기어 마찰 손실이 있어서 조금 덜 커져요.
- 서보가 늘 정답은 아니에요. 비싸고 조정(게인 튜닝)이 필요해요. 부하가 일정한 단순 이송에는 스테핑 모터도 많이 써요.

현장 연결

장비의 스테이지, 웨이퍼 이송 로봇의 관절, 로드포트 도어 구동 등에 서보와 스테핑 모터가 쓰여요. "위치 오차 과대", "과부하" 알람이 뜨면 기계적 걸림, 부하 증가, 엔코더 이상을 의심해요. 반도체설비보전기능사 필기 출제기준에도 모터 제어(제어 방식, 제어 회로)가 들어 있어요.

확인 문제

1. 스텝각 1.8°인 스테핑 모터가 1회전하려면 펄스가 몇 개 필요해요?
2. 1500 rpm, 2 N·m를 내는 모터에 감속비 1:10 감속기를 달았어요. 출력 속도와 토크는 얼마예요? (손실 무시)
3. 리드 10 mm인 볼스크류가 2.5 회전하면 몇 mm 움직여요?
4. 스테핑 모터에 탈조가 생겨도 제어기가 알아채지 못하는 이유는 뭐예요?

4-5 공압과 유압

이 장의 목표

- 압력 단위 MPa, bar, kPa를 서로 바꿔요.
- 힘 = 압력 × 면적으로 실린더가 내는 힘을 계산해요.
- 단동 / 복동 실린더, 5/2 솔레노이드 밸브, 속도조절 밸브, FRL 유닛의 역할을 말해요.
- 공압과 유압의 장단점을 비교하고 기본 기호를 읽어요.

압축공기와 압력 단위

압력은 면적 1 m²에 작용하는 힘이고, 1 Pa = 1 N/m²예요. Pa는 너무 작아서 현장에서는 MPa(메가파스칼)와 bar를 많이 써요. 1 MPa = 1,000,000 Pa = 1 N/mm² = 10 bar이고, 1 bar = 100 kPa = 0.1 MPa예요. 대기압은 약 1 bar예요. 공장에서는 압축기로 공기를 눌러 담아 배관으로 장비에 보내요. 압력계가 보여 주는 값은 보통 대기압을 0으로 둔 게이지 압력이에요.

일상 비유

주사기 입구를 손가락으로 막고 피스톤을 누르면 안의 공기가 눌리면서 손가락을 밀어내요. 공압 실린더는 이 반대예요. 눌러 담은 공기를 실린더 한쪽에 넣으면 공기가 피스톤을 밀어 로드가 나가요. 5/2 밸브는 기차 선로 전환기처럼 공기를 어느 쪽 길로 보낼지 바꿔요.

실린더: 단동과 복동

단동 실린더는 한쪽 포트로만 공기를 넣어 전진하고, 공기를 빼면 안의 스프링이 피스톤을 되돌려요. 복동 실린더는 양쪽에 포트가 있어서 전진도 후진도 공기로 해요. 실린더 힘은 압력 × 피스톤 면적이에요. 후진할 때는 로드가 차지한 면적만큼 공기가 미는 면적이 줄어서 힘이 조금 작아요.

밸브: 방향, 속도, 공기 준비

방향제어 밸브는 "포트 수/위치 수"로 불러요. 5/2 밸브는 포트 5개(1: 공급, 2와 4: 실린더 쪽 출력, 3과 5: 배기)와 위치 2개를 가져요. 솔레노이드(전기를 넣으면 전자석이 되는 코일)가 ON이면 밸브 속 스풀이 움직여 위치가 바뀌어요. 솔레노이드 하나와 스프링 복귀를 쓰는 편솔 밸브는 전기를 끊으면 원래 위치로 돌아가고, 솔레노이드가 두 개인 양솔 밸브는 마지막 위치를 그대로 유지해요.

속도조절 밸브는 유량을 조이는 부분과 한 방향으로만 흐르게 하는 체크 밸브를 묶은 것이에요. 실린더로 들어가는 공기를 조이면 미터 인, 나가는 공기를 조이면 미터 아웃이라고 하고, 복동 실린더는 움직임이 안정적인 미터 아웃을 흔히 써요. FRL 유닛은 필터(수분, 먼지 제거) → 레귤레이터(압력을 원하는 값으로 낮춰 일정하게 유지) → 루브리케이터(윤활유를 안개처럼 섞기) 순서로 공기를 준비해요. 깨끗함이 중요한 곳에서는 윤활이 필요 없는 무급유 부품을 쓰고 루브리케이터를 빼기도 해요.

유압과 비교, 기본 기호

유압은 펌프로 기름(작동유)을 밀어 힘을 전해요. 기름은 거의 압축되지 않아 큰 힘과 정밀한 중간 정지에 강하지만, 누유, 오염, 화재 위험이 있고 장치가 커요. 공압은 깨끗하고 빠르며 간단하지만, 공기가 압축되기 때문에 중간 위치에 정확히 멈추기 어렵고 힘이 상대적으로 작아요. 기호에서

압력원은 원 안의 삼각형으로 그리고, 공압은 흰 삼각형, 유압은 검은 삼각형이에요. 밸브는 위치 하나를 네모 칸 하나로 그리고 칸 안의 화살표가 공기 길이에요(그림 4-5-1).

용어 정리

용어	뜻
MPa, bar, kPa	압력 단위, 1 MPa = 10 bar = 1000 kPa
게이지 압력	대기압을 0으로 놓고 잰 압력
단동 실린더	공기로 한쪽만 움직이고 스프링으로 복귀
복동 실린더	전진과 후진 모두 공기로 움직임
5/2 밸브	포트 5개, 위치 2개인 방향제어 밸브
솔레노이드	전기를 넣으면 전자석이 되어 밸브를 움직이는 코일
속도조절 밸브	유량을 조여 실린더 속도를 바꾸는 밸브 (미터 인, 미터 아웃)
FRL 유닛	필터, 레귤레이터, 루브리케이터를 묶은 공기 조정 장치

핵심 공식

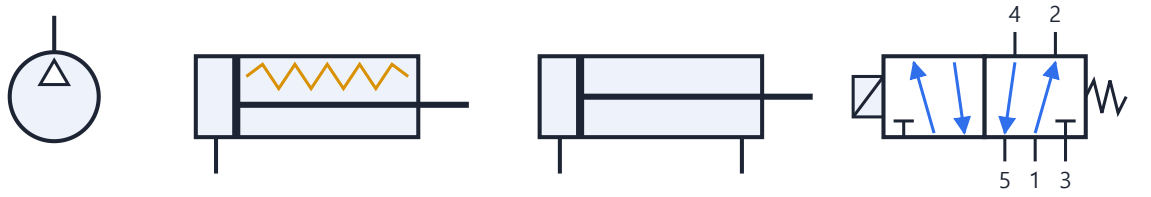
압력 $P = F \div A$ → 힘 $F = P \times A$

$1\ \text{MPa} = 1\ \text{N/mm}^2 = 10\ \text{bar} = 1000\ \text{kPa}$

원 면적 $A = \pi \times r^2 = \pi \times D^2 \div 4$

후진 힘 = P × (피스톤 면적 − 로드 면적)

P: 압력(MPa), A: 면적(mm²), F: 힘(N), r: 반지름, D: 지름. MPa와 mm²를 쓰면 곱한 결과가 바로 N이에요.

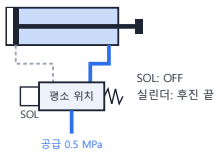


공압원 (흰 삼각형) | 단동 실린더 (스프링 복귀, 포트 1개) | 복동 실린더 (포트 2개) | 5/2 밸브 (편솔) 왼쪽 칸: SOL ON, 오른쪽 칸: 평소

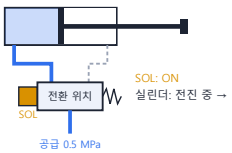
⊥ 표시는 막힌 포트, 칸 안 화살표는 공기가 흐르는 길이에요. 유압원은 검은 삼각형으로 그려요.

그림 4-5-1. 공압 기본 기호. 공압원, 단동 실린더, 복동 실린더, 솔레노이드와 스프링이 달린 5/2 밸브

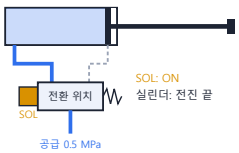
움직이는 그림 · 솔레노이드 ON/OFF에 따른 복동 실린더 전진과 후진



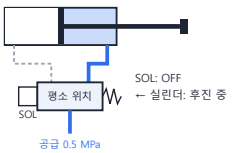
① 솔레노이드 OFF: 스프링이 밸브를 평소 위치에 둬요. 공기는 로드 쪽(오른쪽)으로 들어가 피스톤을 뒤에 붙잡고 있어요.



② 솔레노이드 ON: 밸브가 전환돼 공기가 피스톤 뒤(왼쪽)로 들어가고, 로드 쪽 공기는 배기돼요. 로드가 나가요.



③ 전진 끝 도착: 솔레노이드가 ON인 동안 공기가 계속 밀어서 전진 상태를 유지해요.



④ 솔레노이드 OFF: 스프링이 밸브를 되돌려 공기가 다시 로드 쪽으로 들어가요. 피스톤 뒤 공기는 배기되고 로드가 들어와요.

움직이는 그림 4-5-A. 편솔 5/2 밸브와 복동 실린더. 파란 굵은 선은 압축공기가 들어가는 쪽, 회색 점선은 배기되는 쪽이에요.

예제 1

안지름(보어) 40 mm인 복동 실린더에 0.5 MPa 공기를 넣었어요. 전진할 때 이론상 힘은 얼마예요?

풀이

① 반지름 $r = 40 \div 2 = 20$ mm

② 면적 $A = \pi \times 20^2 = 3.1416 \times 400 \approx 1256.6$ mm²

③ 힘 $F = 0.5$ N/mm² $\times$ 1256.6 mm² ≈ 628 N (약 64 kg을 들어 올리는 무게와 비슷)

예제 2

예제 1의 실린더 로드 지름이 16 mm라면 후진할 때 힘은 얼마예요? 또 0.5 MPa는 몇 bar예요?

풀이

① 로드 면적 $= \pi \times 8^2 = 3.1416 \times 64 \approx 201.1$ mm²

② 공기가 미는 면적 $= 1256.6 - 201.1 = 1055.5$ mm²

③ 후진 힘 $= 0.5 \times 1055.5 \approx 528$ N (전진보다 작아요)

④ 0.5 MPa × 10 = 5 bar

비유가 깨지는 지점

- 주사기는 손으로 한 번 누르고 끝이지만, 실제 회로에서는 압축공기가 계속 공급되고 밸브는 방향만 바꿔요.
- 계산한 힘은 이론값이에요. 실제로는 패킹(밀봉 고무) 마찰과 배관 압력 손실 때문에 조금 작아요.
- 공기는 스프링처럼 눌리기 때문에, 기찻길 전환기처럼 "딱" 정해진 위치에 바로 멈추지 않을 수 있어요. 중간 정지가 정밀해야 하면 전기 구동이나 유압을 검토해요.

현장 연결

반도체 장비에서는 게이트 밸브 개폐, 리프트 핀, 셔터 같은 단순 왕복 동작에 공압 실린더가 많이 쓰여요. 반도체설비보전기능사 실기(반도체장비제어작업)에서는 공기압 배관, 편솔 / 양솔 밸브, 유량조절 밸브(미터 인, 미터 아웃)를 직접 다루는 것으로 알려져 있어요. 공압 기호를 읽을 수 있어야 회로도를 보고 배관을 할 수 있어요.

확인 문제

1. 0.6 MPa는 몇 bar이고 몇 kPa예요?
2. 피스톤 면적이 1000 mm²인 실린더에 0.4 MPa를 넣으면 이론상 힘은 얼마예요?
3. "5/2 밸브"에서 5와 2는 각각 무엇을 뜻해요?
4. FRL 유닛의 공기 흐름 순서와 레귤레이터(R)의 역할을 쓰세요.

4-6 시퀀스 제어와 PLC

이 장의 목표

- 릴레이의 a접점, b접점과 자기유지 회로를 설명해요.
- AND, OR, NOT을 접점의 직렬, 병렬, b접점으로 바꿔요.
- PLC의 입력, 처리, 출력과 스캔 순서를 말해요.
- 래더 다이어그램에서 타이머, 카운터, 실린더 왕복 시퀀스를 읽어요.

시퀀스 제어와 릴레이 접점

시퀀스 제어는 미리 정한 순서대로 한 단계씩 진행하는 제어예요. "웨이퍼 감지 → 도어 닫힘 → 실린더 전진"처럼요. 릴레이는 코일에 전류가 흐르면 전자석이 접점을 끌어당겨 회로를 바꾸는 부품이에요. 작은 신호로 다른 회로를 켜고 끌 수 있어요. a접점은 평소에 열려 있다가 동작하면 닫히고(NO), b접점은 평소에 닫혀 있다가 동작하면 열려요(NC).

자기유지 회로와 논리

시작 버튼은 손을 떼면 다시 열려요. 그래서 시작 버튼과 나란히(병렬로) 릴레이 자신의 a접점을 넣어요. 시작 버튼을 누르면 코일이 켜지고, 그 순간 자기 a접점이 닫혀서 버튼을 떼도 전류가 그 길로 계속 흘러요. 이것이 자기유지예요. 끄려면 줄에 직렬로 넣은 정지 버튼(b접점)을 눌러 길을 끊어요. 논리로 보면 직렬은 AND(둘 다 닫혀야 통함), 병렬은 OR(하나만 닫혀도 통함), b접점은 NOT(누르면 반대)이에요.

일상 비유

엘리베이터 호출 버튼은 한 번 누르고 손을 떼도 불이 켜진 채로 있다가, 엘리베이터가 도착하면 꺼져요. 버튼은 "시작"이고, 불이 계속 켜져 있는 것이 "자기유지", 도착 신호가 "정지"예요. 직렬은 일렬로 놓인 문 두 개(둘 다 열려야 지나감), 병렬은 나란히 놓인 문 두 개(하나만 열려도 지나감)와 같아요.

PLC와 스캔

PLC(프로그래머블 로직 컨트롤러)는 릴레이 회로를 프로그램으로 대신하는 산업용 컴퓨터예요. 입력부에 버튼과 센서를, 출력부에 솔레노이드 밸브, 램프, 릴레이를 연결해요. PLC는 ① 입력 상태를 한꺼번에 읽고 ② 프로그램을 위에서 아래로, 왼쪽에서 오른쪽으로 실행한 뒤 ③ 결과를 출력에 한꺼번에 내보내는 일을 아주 짧은 시간(보통 밀리초 단위)마다 반복해요. 이 한 바퀴를 스캔이라고 해요. 릴레이 회로는 동작을 바꾸려면 배선을 다시 해야 하지만, PLC는 프로그램만 고치면 돼요. 그래서 장비 제어에서 릴레이 회로를 대부분 대신해요.

래더 다이어그램, 타이머, 카운터

래더 다이어그램은 사다리 모양의 프로그램이에요. 왼쪽 세로선(모선)에서 오른쪽으로 가로줄(렁)을 그리고, —| |—는 a접점, —|/|—는 b접점, —( )—는 코일(출력)이에요. 타이머(온 딜레이)는 입력이 켜진 채로 설정 시간이 지나면 타이머 접점이 켜져요. 카운터는 입력이 켜질 때마다 1씩 세다가 설정값에

닿으면 접점이 켜지고, 리셋 입력으로 0이 돼요. 입출력 이름(예: P00, M0, T0)은 PLC 제조사마다 달라요.

용어 정리

용어	뜻
시퀀스 제어	미리 정한 순서대로 단계를 진행하는 제어
릴레이	코일 전자석으로 접점을 움직여 회로를 바꾸는 부품
a접점 (NO)	평소 열림, 동작하면 닫힘
b접점 (NC)	평소 닫힘, 동작하면 열림
자기유지	자기 a접점으로 시작 신호가 사라져도 ON을 유지하는 회로
PLC	릴레이 회로를 프로그램으로 대신하는 산업용 제어기
스캔	입력 읽기 → 프로그램 실행 → 출력 갱신의 한 바퀴
타이머 / 카운터	설정 시간이 지나면 / 설정 횟수에 닿으면 접점이 켜지는 명령

핵심 정리

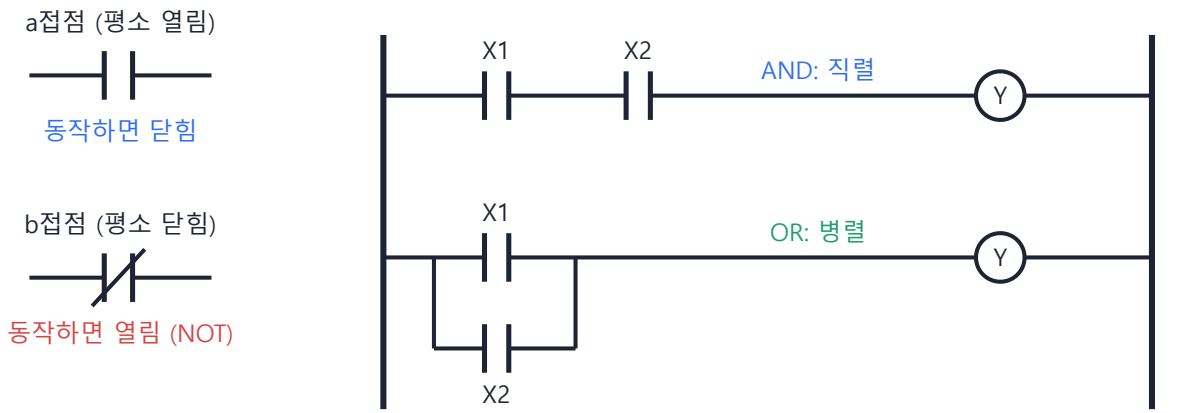
AND = 직렬 OR = 병렬 NOT = b접점

자기유지: 코일 = (시작 OR 자기 a접점) AND (NOT 정지)

스캔: 입력 읽기 → 프로그램 실행(위→아래, 왼→오) → 출력 갱신 → 반복

타이머 설정값 = 원하는 시간 ÷ 타이머 시간 단위

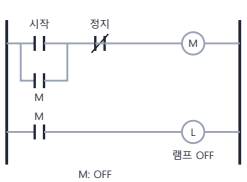
예를 들어 시간 단위가 0.1초인 타이머로 5초를 만들려면 설정값은 5 ÷ 0.1 = 50이에요.



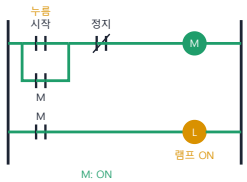
왼쪽 모선에서 오른쪽 모선까지 닫힌 길이 하나라도 있으면 코일 Y가 켜져요.

그림 4-6-1. a접점과 b접점 기호(왼쪽), 래더로 그린 AND(직렬)와 OR(병렬)(오른쪽)

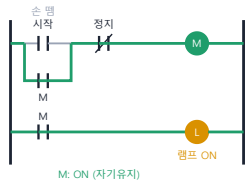
움직이는 그림 · 자기유지 래더 회로의 동작 단계



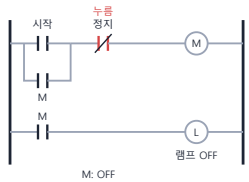
① 대기: 시작(a접점)은 열려 있고 정지(b접점)는 닫혀 있어요. 길이 끊겨 M과 램프 모두 OFF예요.



② 시작 누름: 시작 접점이 닫혀 M 코일이 켜져요. 그러자 M의 a접점들도 닫혀 아래 가지와 램프 줄이 통해요. 램프 ON.



③ 시작 버튼에서 손을 뗌: 시작 접점은 열렸지만 아래 M 접점 가지로 전류가 돌아가요. 자기유지로 램프가 계속 ON이에요.



④ 정지 누름: 정지 b접점이 열려 길이 끊겨요. M이 꺼지고 M 접점들도 열려서, 정지 버튼에서 손을 떼도 OFF로 남아요.

움직이는 그림 4-6-A. 초록 굵은 선은 전류(신호)가 통하는 길이에요. 시작 → 자기유지 → 램프 ON → 정지 → OFF 순서로 바뀌어요.

예제 1

시작 버튼을 누르고 5초 뒤에 램프가 켜지게 하려고 해요. 타이머의 시간 단위가 0.1초라면 설정값은 얼마예요? 래더의 흐름도 말로 쓰세요.

풀이

① 설정값 = 5 ÷ 0.1 = 50

② 흐름: 시작 버튼으로 M을 자기유지 → M의 a접점으로 타이머 T0(설정 50)를 켬 → 5초가 지나면 T0 접점이 닫힘 → T0 a접점으로 램프 코일 ON

③ 정지 버튼으로 M이 꺼지면 타이머도 리셋되어 램프가 꺼져요.

예제 2

편솔 5/2 밸브로 움직이는 복동 실린더가 시작 버튼 한 번에 1회 왕복하게 래더를 짜 보세요. 전진 끝에는 센서 LS2가 있어요.

풀이

① 아래처럼 짜요. [ ]는 a접점, [/]는 b접점, ( )는 코일이에요.

```
|--[시작]--+--[/LS2]------( M    )--|
|--[ M  ]--+                        |
|--[ M  ]-----------------( SOL )--|
```

② 시작 → M 자기유지 → SOL ON → 실린더 전진

③ 전진 끝에서 LS2가 켜지면 LS2 b접점이 열려 M이 꺼짐 → SOL OFF → 스프링이 밸브를 되돌려 실린더 후진

④ 왕복 횟수를 세려면 LS2 신호를 카운터에 넣고, 설정값에 닿으면 멈추게 하면 돼요.

비유가 깨지는 지점

- 래더는 전기 회로처럼 보여도 실제로는 위에서부터 차례로 계산하는 프로그램이에요. 같은 코일을 두 줄에 쓰면(이중 코일) 마지막 줄의 결과만 남아 엉뚱하게 동작할 수 있어요.
- 엘리베이터 버튼은 정전이 되어도 다시 누르면 그만이지만, PLC는 정전 뒤 기억을 남길지 지울지를 설정(정전 유지 영역)으로 정해야 해요.
- 정지 버튼을 b접점으로 쓰는 이유는 비유에 없어요. 선이 끊어지면 저절로 정지 쪽이 되도록, 고장 나도 안전한 쪽으로 만드는 설계예요.

현장 연결

장비의 인터록(조건이 맞아야만 동작을 허락하는 안전 잠금), 예를 들어 "도어 닫힘 AND 진공 정상일 때만 이송"은 모두 이 논리로 만들어요. 반도체설비보전기능사 실기의 반도체장비제어작업은 PLC와 센서, 솔레노이드 밸브를 배선하고 공기압 배관을 한 뒤 PLC 프로그램으로 실린더를 동작시키는 과제로 알려져 있고, 자동화설비기능사의 PLC 제어작업과 비슷해요. 정확한 과제는 Q-Net 공개문제로 꼭 확인하세요.

확인 문제

1. a접점과 b접점은 평소(동작 전)에 각각 열려 있어요, 닫혀 있어요?
2. 자기유지 회로에서 시작 버튼과 병렬로 넣는 것은 무엇이고, 정지 버튼은 어떤 접점으로 어떻게 연결해요?
3. Y = (X1 AND X2) OR X3 일 때, X1 = 1, X2 = 0, X3 = 1이면 Y는? X3만 0으로 바꾸면 Y는?
4. 시간 단위가 0.1초인 타이머로 4초 지연을 만들려면 설정값은 얼마예요?

4-7 산업용 로봇과 설비 보전

이 장의 목표

- 로봇의 축 수, 좌표계(관절, 직교, 툴), 티칭, 페이로드를 설명해요.
- FOUP, EFEM, 웨이퍼 이송 로봇이 어떻게 이어지는지 말해요.
- 사후보전, 예방보전, 예지보전을 구분하고 MTBF, MTTR을 계산해요.
- 고장 진단 순서와 5Why로 원인을 찾아요.

산업용 로봇의 기본

로봇의 축은 따로 움직일 수 있는 관절의 수예요. 6축 수직 다관절 로봇은 공간의 위치(3가지)와 손목 자세(3가지)를 모두 바꿀 수 있어요. 스카라(수평 다관절) 로봇은 보통 4축이고 평면에서 빠르게 움직여요. 위치를 말하는 기준(좌표계)도 여러 개예요. 관절 좌표계는 각 축의 각도로, 직교 좌표계는 로봇 바닥을 기준으로 X, Y, Z로, 툴 좌표계는 그리퍼 끝을 기준으로 위치를 나타내요. 티칭은 티칭 펜던트(손에 드는 조작기)로 로봇을 원하는 위치에 움직여 그 점을 저장하는 일이에요. 페이로드(가반 중량)는 손목에 달 수 있는 최대 질량이고, 그리퍼 무게도 포함돼요.

웨이퍼 이송: FOUP, EFEM, 로봇

FOUP은 앞문이 열리는 밀폐형 웨이퍼 통이에요. 300 mm 웨이퍼를 25장까지 담아요. 장비 앞의 로드포트가 FOUP 문을 열면, EFEM(장비 앞단 모듈) 안의 대기 로봇이 웨이퍼를 꺼내요. EFEM은 깨끗한 공기가 위에서 아래로 흐르는 상자예요. 웨이퍼는 정렬기(얼라이너)로 방향을 맞춘 뒤 로드락(대기와 진공 사이를 오가는 작은 방)으로 가고, 진공 쪽의 이송 로봇이 공정 챔버에 넣어요(그림 4-7-1). 로봇 손끝(엔드 이펙터)은 진공 흡착이나 가장자리 잡기로 웨이퍼를 붙잡아요.

보전의 세 가지 방식과 지표

사후보전은 고장이 난 뒤에 고치는 방식이에요. 예방보전은 정해진 주기마다 점검하고 소모품을 바꾸는 방식이에요. 예지보전은 진동, 온도, 모터 전류 같은 상태 데이터를 지켜보다가 고장 징후가 보일 때 정비하는 방식이에요. 성과는 숫자로 봐요. MTBF(평균 고장 간격)는 얼마나 오래 고장 없이 돌았는지, MTTR(평균 수리 시간)은 고장 한 번에 고치는 데 평균 얼마나 걸렸는지예요. MTBF는 길수록, MTTR은 짧을수록 좋아요.

일상 비유

사람 건강으로 보면 사후보전은 아파서 응급실에 가는 것, 예방보전은 정기 건강검진과 6개월마다 받는 치아 스케일링, 예지보전은 스마트워치가 심박수 이상을 알려 줘서 미리 병원에 가는 것이에요.

고장 진단 순서와 5Why

고장이 나면 다음 순서로 좁혀 가요. ① 최근 변경: 부품 교체, 파라미터나 레시피 변경, PM(정기 정비) 직후인지 먼저 확인해요. ② 쉬운 것부터: 전원, 공압, 커넥터, 센서 오염, 알람 이력처럼 빨리 볼 수 있는 것부터 봐요. ③ 데이터 비교: 정상 장비나 정상이던 때의 로그(전류, 토크, 위치 오차)와 비교해요. ④

분해: 앞 단계로도 못 찾을 때 마지막에 해요. 원인을 찾으면 5Why로 "왜?"를 거듭 물어 근본 원인까지 내려가요. 증상만 고치면 같은 고장이 다시 와요.

용어 정리

용어	뜻
축	로봇에서 따로 움직일 수 있는 관절의 수
관절 / 직교 / 툴 좌표계	각 축 각도 / 로봇 바닥 기준 X, Y, Z / 그리퍼 끝 기준
티칭	로봇을 원하는 위치로 움직여 그 점을 저장하는 일
페이로드 (가반 중량)	손목에 달 수 있는 최대 질량, 그리퍼 포함
FOUP	앞문이 열리는 밀폐형 웨이퍼 통 (300 mm 웨이퍼 25장)
EFEM	로드포트, 대기 로봇, 얼라이너가 있는 장비 앞단 모듈
로드락	대기와 진공 사이에서 웨이퍼를 넘겨주는 작은 방
사후 / 예방 / 예지보전	고장 후 수리 / 주기적 점검·교체 / 상태 데이터 기반 정비
MTBF / MTTR	평균 고장 간격 / 평균 수리 시간
5Why	"왜?"를 거듭 물어 근본 원인을 찾는 방법

핵심 공식

```
MTBF = 총 가동 시간 ÷ 고장 횟수
MTTR = 총 수리 시간 ÷ 고장 횟수
가용도 = MTBF ÷ (MTBF + MTTR)
고장 진단: 최근 변경 → 쉬운 것 → 데이터 비교 → 분해
```

가용도는 장비가 필요할 때 쓸 수 있는 상태였던 비율이에요. 1에 가까울수록 좋아요.

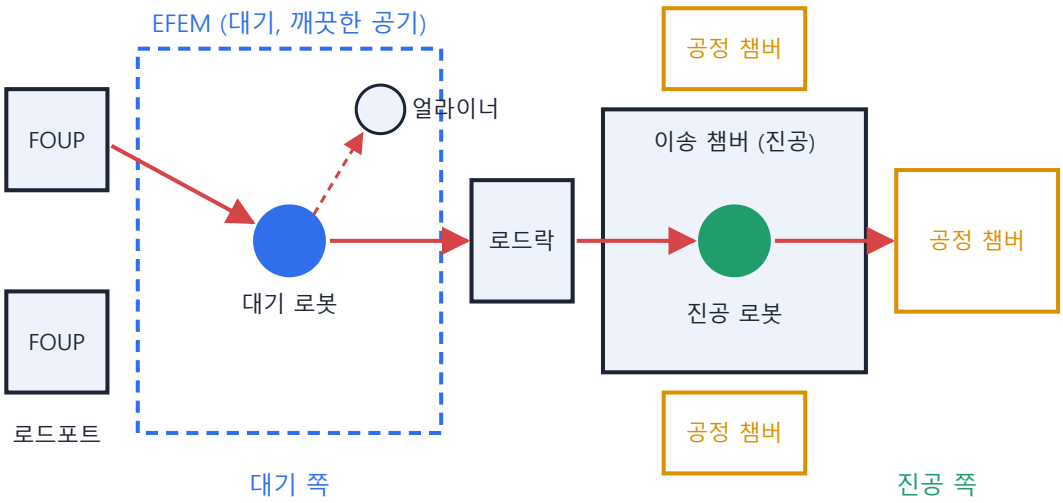
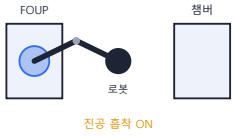


그림 4-7-1. 위에서 본 웨이퍼 이송 경로의 한 예. FOUP → 대기 로봇(얼라이너로 정렬) → 로드락 → 진공 로봇 → 공정 챔버

움직이는 그림 · 웨이퍼 이송 로봇이 FOUP에서 챔버로 웨이퍼를 옮기는 단계



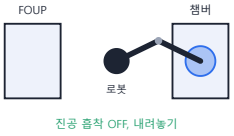
① 로드포트가 FOUP 문을 열면, 로봇이 팔을 뻗어 웨이퍼 아래로 손끝을 넣고 진공으로 붙잡아요.



② 팔을 접어 웨이퍼를 FOUP 밖으로 꺼내요. 다른 슬롯의 웨이퍼와 부딪히지 않게 정해진 높이로 빠져나와요.



③ 몸통이 회전해 챔버 쪽을 봐요. 팔을 접은 채로 돌아야 관성(4-2)이 작아 빠르고 안전해요.



④ 팔을 뻗어 챔버 안 티칭된 위치에 웨이퍼를 내려놓고, 흡착을 끈 뒤 팔을 빼요.

움직이는 그림 4-7-A. 위에서 본 2링크 로봇 팔. 실제 장비에서는 그림 4-7-1처럼 로드락과 진공 로봇을 거쳐 챔버로 가지만, 꺼내기 → 접기 → 회전 → 넣기의 기본 동작은 같아요.

예제 1

어떤 장비가 한 달 동안 총 600시간 가동했고, 그동안 고장이 3번 났어요. 세 번 고치는 데 걸린 시간을 모두 더하면 6시간이에요. MTBF, MTTR, 가용도를 구하세요.

풀이

① MTBF = 600 ÷ 3 = 200시간

② MTTR = 6 ÷ 3 = 2시간

③ 가용도 = 200 ÷ (200 + 2) = 200 ÷ 202 ≈ 0.990 → 약 99.0%

예제 2 (사례)

웨이퍼 이송 로봇의 그리퍼를 더 무거운 것으로 바꾼 뒤, 웨이퍼를 내려놓는 위치가 조금씩 어긋나고 관절 모터가 평소보다 뜨거워졌어요. 진단 순서와 5Why로 원인과 대책을 정리하세요.

풀이

① 최근 변경: 그리퍼 교체가 있었어요. 가장 먼저 의심해요.
② 쉬운 것: 그리퍼 고정 볼트, 흡착 압력, 센서를 확인해요. 이상이 없어요.
③ 데이터 비교: 교체 전과 비교하니 모터 전류와 정지할 때의 위치 오차가 커졌어요. 4-2에서 본 것처럼 무게가 늘면 토크와 전류가 늘고, 발열(I^2R)은 더 크게 늘어요.
④ 5Why: 위치가 어긋난다 → 왜? 멈출 때 팔이 흔들리며 지나쳐요 → 왜? 서보가 예상보다 큰 관성을 받아요 → 왜? 로봇에 입력된 부하(페이로드) 값이 옛 그리퍼 기준이에요 → 왜? 교체 절차서에 부하 설정 갱신 항목이 없었어요.
⑤ 대책: 사양 안의 그리퍼인지 확인하고 부하 값을 새로 입력, 필요하면 속도와 가속도를 낮추고 다시 티칭, 절차서에 "부하 설정 갱신"을 추가해요.

비유가 깨지는 지점

- 사람은 저마다 달라도, 장비는 같은 모델끼리 데이터를 나란히 비교할 수 있어요. 정상 장비와의 비교는 사람 건강검진보다 훨씬 강력한 도구예요.
- 예지보전이 항상 최고는 아니에요. 센서와 데이터 분석에 돈이 들어서, 값싼 소모품은 주기적으로 바꾸는 예방보전이 더 나을 때도 있어요.
- MTBF 200시간은 평균이에요. 200시간마다 정확히 고장 난다는 뜻이 아니에요. 5Why의 "다섯"도 정해진 숫자가 아니라 근본 원인에 닿을 때까지 묻는다는 뜻이에요.

현장 연결

설비 엔지니어는 PM 일정을 짜고, 알람에 대응하고, MTBF와 MTTR 같은 지표로 장비 상태를 보고해요. 웨이퍼 위치 어긋남, 슬롯 충돌, 흡착 에러는 이송 로봇에서 자주 다루는 문제예요. 반도체설비보전기능사 필기의 "반도체설비 보전" 과목에서 보전 방식과 고장 대응의 기초가 되는 내용이에요.

확인 문제

1. 총 가동 시간 1000시간 동안 고장이 4번 났어요. MTBF는 얼마예요?
2. 문제 1의 장비가 4번 고치는 데 모두 10시간이 걸렸어요. MTTR과 가용도(소수 셋째 자리까지)를 구하세요.
3. 베어링의 진동 값이 점점 커지는 것을 보고 고장 나기 전에 베어링을 바꿨어요. 어떤 보전 방식이에요?
4. 그리퍼를 바꾼 직후 웨이퍼를 놓는 위치가 어긋나요. 진단 순서에서 가장 먼저 할 일과 의심할 원인 두 가지를 쓰세요.

PART 4 확인 문제 정답과 풀이

4-1

1. 약 1.73 m. 높이 = 2 × sin 60° = 2 × 0.866 = 1.732 m.
2. 1.0 m. √(0.6² + 0.8²) = √(0.36 + 0.64) = √1 = 1.0 m.
3. tan 45° = 1. 높이 ÷ 밑변 = 1이므로, 사다리가 벽에 닿은 높이와 벽에서 사다리 발까지의 거리가 같다는 뜻이에요.
4. (1 + 3, 2 + 1) = (4, 3). 크기 = √(4² + 3²) = √25 = 5.

4-2

1. 49 N. 무게 = 5 × 9.8 = 49 N.
2. 12 N·m. 토크 = 15 × 0.8 = 12 N·m.
3. 0이에요. 중력은 아래로 작용하고 그 작용선이 관절을 지나서, 수직(가로) 거리가 L × cos 90° = 0이기 때문이에요.
4. 6 N. F = m × a = 3 × 2 = 6 N.

4-3

1. 정전용량형. 유도형은 금속만 감지하고, 정전용량형은 플라스틱 같은 비금속도 감지해요.
2. 180°. 1000 ÷ 2000 × 360° = 0.5 × 360° = 180°.
3. 25 °C. (8 − 4) ÷ 16 = 0.25 → 0 + 0.25 × (100 − 0) = 25 °C.
4. 디지털 신호. 눌림 / 안 눌림(ON / OFF) 두 상태만 알려 주기 때문이에요.

4-4

1. 200개. 360° ÷ 1.8° = 200.
2. 150 rpm, 20 N·m. 속도 = 1500 ÷ 10 = 150 rpm, 토크 ≈ 2 × 10 = 20 N·m.
3. 25 mm. 10 mm × 2.5 = 25 mm.
4. 열린 루프 제어라서 실제 위치를 재서 되돌려 주는 피드백(엔코더)이 없어요. 제어기는 보낸 펄스만큼 돌았다고 가정할 뿐이에요.

4-5

1. 6 bar, 600 kPa. 0.6 × 10 = 6 bar, 0.6 × 1000 = 600 kPa.
2. 400 N. F = 0.4 N/mm² × 1000 mm² = 400 N.
3. 5는 포트 수(1: 공급, 2와 4: 출력, 3과 5: 배기), 2는 밸브가 가질 수 있는 위치(전환 상태) 수예요.
4. 필터(F) → 레귤레이터(R) → 루브리케이터(L). 레귤레이터는 공급 압력을 원하는 값으로 낮추고 일정하게 유지해요.

4-6

1. a접점은 평소 열림, b접점은 평소 닫힘이에요.
2. 시작 버튼과 병렬로 릴레이(코일) 자신의 a접점을 넣어요. 정지 버튼은 b접점으로 코일과 같은 줄에 직렬로 연결해요.
3. Y = (1 AND 0) OR 1 = 0 OR 1 = 1. X3 = 0이면 Y = 0 OR 0 = 0.
4. 40. 4 ÷ 0.1 = 40.

4-7

1. 250시간. MTBF = 1000 ÷ 4 = 250시간.

2. MTTR = 10 ÷ 4 = 2.5시간. 가용도 = 250 ÷ (250 + 2.5) = 250 ÷ 252.5 ≈ 0.990 (약 99.0%).
3. 예지보전. 상태 데이터(진동)를 보고 고장 징후가 보일 때 미리 정비했기 때문이에요.
4. 가장 먼저 최근 변경(그리퍼 교체)을 확인해요. 의심할 원인: ① 무게가 늘었는데 로봇의 부하(페이로드) 설정이 옛 값이라 멈출 때 흔들리거나 지나침, ② 그리퍼 모양이나 장착 위치가 달라져 툴 끝 위치와 티칭 위치가 어긋남. 이 밖에 그리퍼 고정 볼트 풀림도 쉬운 점검 대상이에요.

부록 A. 핵심 공식 모음

시험 직전에 이 두 쪽만 다시 보면 되도록 모았어요. 기호의 뜻이 기억나지 않으면 괄호 속 장으로 돌아가세요.

화학 (PART 1)

공식	뜻	장
원자번호 Z = 양성자 수	중성 원자에서는 전자 수와 같아요	1-1
중성자 수 = A − Z	A는 질량수 (양성자 + 중성자)	1-1
이온의 전자 수 = Z − (전하)	Na^+: 11 − 1 = 10, Cl^-: 17 − (−1) = 18	1-1
n = m ÷ M	몰 수 = 질량(g) ÷ 몰질량(g/mol)	1-4
$N = n \times 6.02 \times 10^{23}$	입자 개수 = 몰 수 × 아보가드로 수	1-4
$P_1V_1 = P_2V_2$ (온도 일정)	보일 법칙: 누르면 부피가 줄어요	1-5
$V_1 / T_1 = V_2 / T_2$ (압력 일정)	샤를 법칙: T는 절대온도(K)	1-5
PV = nRT	이상기체 상태방정식	1-5
1 atm = 101325 Pa = 760 Torr	압력 단위 변환	1-5
몰농도 = 용질 mol ÷ 용액 L	단위 mol/L (M)	1-7

전기 (PART 2)

공식	뜻	장
V = I × R	옴의 법칙: 전압 = 전류 × 저항	2-2
직렬: $R = R_1 + R_2 + \dots$	저항을 일렬로 이으면 더해요	2-3
병렬: $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots$	두 개일 때 $R = (R_1 \times R_2) \div (R_1 + R_2)$	2-3
$P = V \times I = I^2R = V^2/R$	전력(W)	2-4
전력량(kWh) = 전력(kW) × 시간(h)	전기요금 계산의 기준	2-4
Q = C × V	축전기에 저장되는 전하	2-6

반도체 (PART 3)

핵심	뜻	장
밴드갭: 도체 ≈ 0 < 반도체 (Si 약 1.12 eV) < 절연체	전자가 뛰어넘어야 하는 에너지 계단	3-1
5족(P, As) → n형 / 3족(B) → p형	남는 전자 → 자유전자, 모자란 전자 → 정공	3-2

순방향: P에 +, N에 −	공핍층이 얇아져 전류가 흘러요	3-3
게이트 전압 > 문턱전압 → ON	MOSFET 채널이 생겨 소스 → 드레인 전류	3-4
8대 공정 순서	웨이퍼 → 산화 → 포토 → 식각 → 증착 · 이온주입 → 금속배선 → EDS → 패키징	3-6

로봇 · 자동화 (PART 4)

공식	뜻	장
높이 = L × sin θ, 가로 = L × cos θ	팔 길이 L, 각도 θ	4-1
$a^2 + b^2 = c^2$	피타고라스 정리	4-1
무게 W = m × g (g ≈ 9.8 m/s²)	1 kg의 무게는 약 9.8 N (대략 10 N)	4-2
토크 τ = F × d	d는 축에서 힘까지의 수직(가로) 거리, 단위 N·m	4-2
MTBF = 총 가동시간 ÷ 고장 횟수	고장 사이 평균 시간 (길수록 좋아요)	4-7
MTTR = 총 수리시간 ÷ 수리 횟수	평균 수리 시간 (짧을수록 좋아요)	4-7

부록 B. 자주 쓰는 표

원자량 (교과서 계산용 값)

원소	H	C	N	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Cu
원자량	1	12	14	16	23	24	27	28	31	32	35.5	63.5

단위 접두어

기호	G (기가)	M (메가)	k (킬로)	m (밀리)	μ (마이크로)	n (나노)
배수	10^9	10^6	10^3	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}

주의: 대문자 M은 메가(100만 배), 소문자 m은 밀리(1000분의 1)나 미터예요. 길이를 쓸 때는 꼭 소문자 m을 써요.

특수각의 삼각함수

θ	0°	30°	45°	60°	90°
sin θ	0	0.5	약 0.71	약 0.87	1
cos θ	1	약 0.87	약 0.71	0.5	0

도우미에서 직접 움직여 볼 수 있는 그림

파일 · 탭	무엇을 볼 수 있나	관련 장
공부_도우미.html · 원자 구조	원소 선택, 전자 잃기 / 얻기(이온), 중성자 바꾸기(동위원소), 전자 구름 모드	1-1, 1-2
공부_도우미.html · 질량 → 몰 → 개수	저울 → 1몰 상자 → 개수 3단계 재생	1-4
반도체_애니메이션.html	순수 실리콘, n형, p형에 전압 걸기, 인 vs 비소 이온 주입과 열처리	3-2, 3-7
로봇팔_애니메이션.html	각도에 따른 sin · cos, 물건 위치에 따른 토크	4-1, 4-2