

Chapter 13: 아날로그 전자식 계측 (Analog Electronic Instrumentation) 블로그 정리

산업계측제어기술사 수험생

September 6, 2026

Abstract

본 문서는 산업 현장의 뼈대인 4-20 mA 아날로그 전류 루프(Current Loop) 시스템의 핵심 원리를 단순 암기가 아닌 기술적 “스토리”를 따라 이해하기 쉽게 정리한 블로그 포스팅용 원고입니다. 2선식, 4선식 액티브(Sourcing), 4선식 패시브(Sinking)의 개념과 상호 관계, 그리고 실무 트러블슈팅 기법을 다룹니다.

1 들어가며: 왜 전압이 아니라 전류(4-20 mA)일까?

산업 현장에서 센서의 측정값(온도, 압력 등)을 컨트롤러(PLC/DCS)로 보낼 때, 0-10V 같은 전압 신호 대신 왜 굳이 4-20 mA 전류 신호를 표준으로 사용할까요?

- **전압 강하의 문제점:** 전선이 길어지면 선로 저항(R_{wire}) 때문에 전압이 떨어져(Drop) 오차가 발생합니다.
- **전류의 불변성:** 직렬 회로에서 전류는 선로 길이에 상관없이 일정하게 흐르므로 원거리 전송에 절대적으로 유리합니다.
- **Live Zero (4 mA의 마법):** 최저 신호를 0 mA가 아닌 4 mA로 설정하여, 회선 단선이나 전원 고장(0 mA)을 즉시 감지할 수 있는 *Watchdog*(하트비트) 역할을 합니다. 또한 이 4 mA 베이스 전류는 2선식 기기의 동작 전원으로도 활용됩니다.

2 1. 핵심 용어 정의

1. **Current Loop (전류 루프):** 센서 측정값을 4-20 mA 전류 크기로 변환하여 전송하는 아날로그 표준 통신 방식.
2. **2-Wire Transmitter (2선식 트랜스미터):** 전력선과 신호선을 2가닥으로 공유하는 루프 파워드(Loop-powered) 방식. 내부 회로는 4 mA 미만의 전력으로 작동해야 합니다.
3. **Active / Sourcing (액티브/소싱):** 트랜스미터가 내부 전원뿐만 아니라 4-20 mA 신호 루프에도 직접 전원과 전류를 공급하는 방식 (*Electrical Source*).
4. **Passive / Sinking (패시브/싱킹):** 내부 회로는 독립 전원으로 구동하되, 신호 루프 전류는 수신 측(PLC)의 전원을 받아 조절만 하는 방식 (*Electrical Load*).
5. **Clamp-on DC Milliammeter (클램프형 직류 밀리암미터):** 회선을 끊지 않고(비침습적) 자기장을 감지해 직류 전류를 측정하는 필수 트러블슈팅 도구.

3 2. 용어 간의 관계 및 구조적 비교

아날로그 계측 시스템을 설계하거나 결선할 때 가장 중요한 것은 “누가 전원을 공급하고(Source), 누가 전류를 소모하는가(Sink)?”를 파악하는 것입니다.

구분	내부 회로 전원	신호 루프 전원	루프 내 역할
2-Wire	루프 전류(< 4 mA)로 자체 해결	수신 측(PLC) 공급	부하 (Sink)
4-Wire Active	별도 독립 전원	트랜스미터가 공급	공급원 (Source)
4-Wire Passive	별도 독립 전원	수신 측(PLC) 공급	부하 (Sink)

Table 1: 전송 방식별 전원 공급 주체 및 역할 비교

3.1 왜 4선식에 패시브(Sinking) 타입이 존재할까?

현장의 컨트롤러(PLC/DCS) 입력 카드는 과거 2선식 기기 수용을 위해 이미 내부 루프 전원(24V)을 기본 내장하고 있습니다. 여기에 전원을 자체 공급하는 Active 4선식을 물리면 **전원 충돌(Power Conflict)**이 발생합니다. 따라서 “내부 회로는 복잡하고 전력이 많이 필요해 4선식 독립 전원을 쓰되, 인터페이스는 기존 PLC 전원에 맞춰 안전하게 싱크(Passive)로 동작”하도록 만든 것입니다.

4 3. 스토리로 이해하는 트러블슈팅 (Troubleshooting)

현장에서 계기가 고장 났을 때의 시나리오를 따라가 봅시다.

- **상황 1: 선을 끊을 수 없을 때 (비침습 점검):** 클램프형 DC 밀리암미터로 전선 주변의 자기장을 측정하거나, 수신 측 저항($250\ \Omega$) 양단의 전압 강도를 측정해 옴의 법칙($I = V/R$)으로 전류를 역산합니다.
- **상황 2: 고장 구간 분리 (Isolation):** 트랜스미터 문제인지 PLC 입력 카드 문제인지 헷갈릴 때, **루프 캘리브레이터(Loop Calibrator)**를 꺼냅니다. PLC에 강제로 4, 12, 20 mA를 시뮬레이션으로 짜주어 화면에 정상 표시되면 PLC와 케이블은 정상, 범인은 트랜스미터로 확정할 수 있습니다.

5 맺음말

아날로그 전자식 계측의 핵심은 단순한 암기가 아니라 “**전류의 불변성, Live Zero의 안전성, 그리고 전원 공급원과 부하의 관계(Sourcing vs Sinking)**”라는 거대한 스토리로 엮여 있습니다. 이 원리를 이해하면 현장의 복잡한 결선도 두렵지 않게 됩니다.