

전기화학센서 계측을 위한 소형 리드아웃 회로 설계

Design of a Small-Size Readout Circuit for Electrochemical Sensor Instrumentation

국립금오공과대학교 바이오메디컬공학과 Biomedical Circuit System Lab 신화윤, 안소현, 김민지, 엄지용 *

1. Introduction

연구 배경

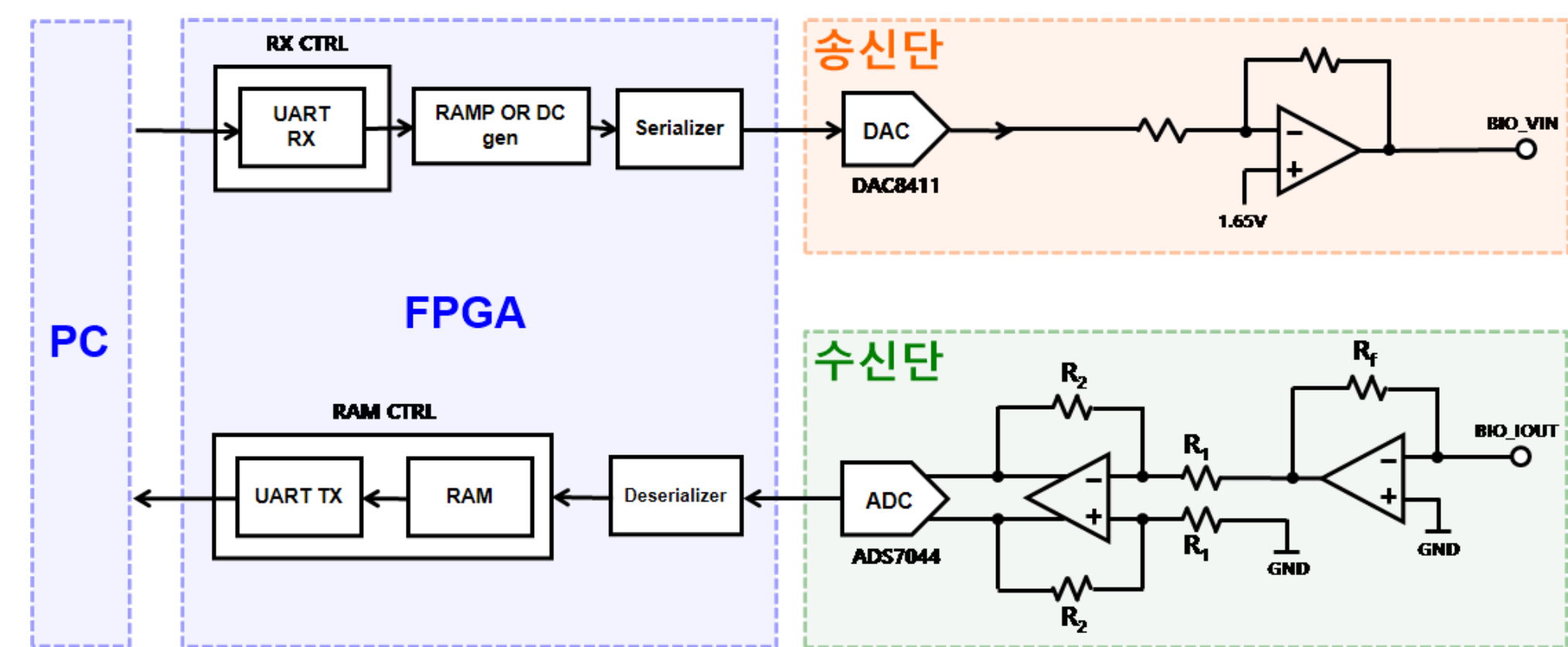
- 전기화학센서는 질병 조기진단 및 건강 모니터링에 필수적이나, 기존 벤치탑 장비는 **고가, 고용량, 휴대성 부족** 문제

연구 목표

- FPGA 기반 **소형 리드아웃 회로**를 설계하여 전기화학센서의 **산화/환원** 및 **임피던스** 측정을 실현
- 소형화, 맞춤형 계측 플랫폼** 개발

2. 회로 시스템 구성

전기화학센서 계측 전용 리드아웃 회로 다이어그램



송신부

- 16-bit DAC8411 사용
- OPAMP 기반 반전/level shifting 회로로 **$\pm 1.65V$ bipolar** 파형 생성

수신부

- $\pm 100\mu A$ 범위의 미세 전류**를 TIA를 통해 $\pm 1.6V$ 전압으로 변환, 12-bit ADC(ADS7044)로 디지털화
- Differential ADC 입력을 위해 ADC Driver 포함

FPGA 제어부

- Ramp FSM(삼각파), DC FSM(정전압) 파형** 생성 로직
- SPI 통신으로 DAC, ADC 제어 및 **UART(115200bps, 8-N-1)** 인터페이스 통해 PC와 데이터 송수신

PC 소프트웨어

- Python 기반 제어 및 데이터 수신, **실시간 파형** 설정
- 데이터 필터링(Moving Average, EWMA), 저장 및 시각화 지원

항목	구성부품 / 사양
DAC	16비트, DAC8411
ADC	12비트, ADS7044
FPGA	Xilinx Spartan-7 (CMOD S7)
출력 파형	$\pm 1.65V$ ramp
전류입력범위	$-100\mu A \sim +100\mu A$
회로 크기	4-layer PCB, 손바닥 크기

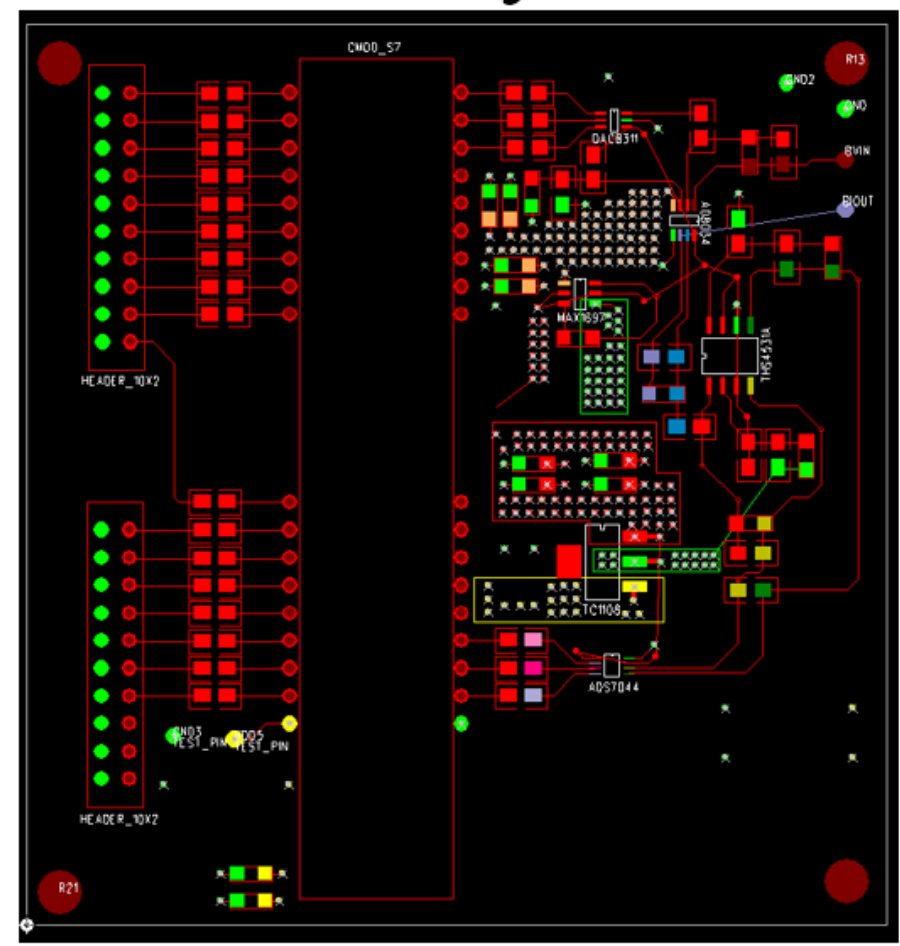
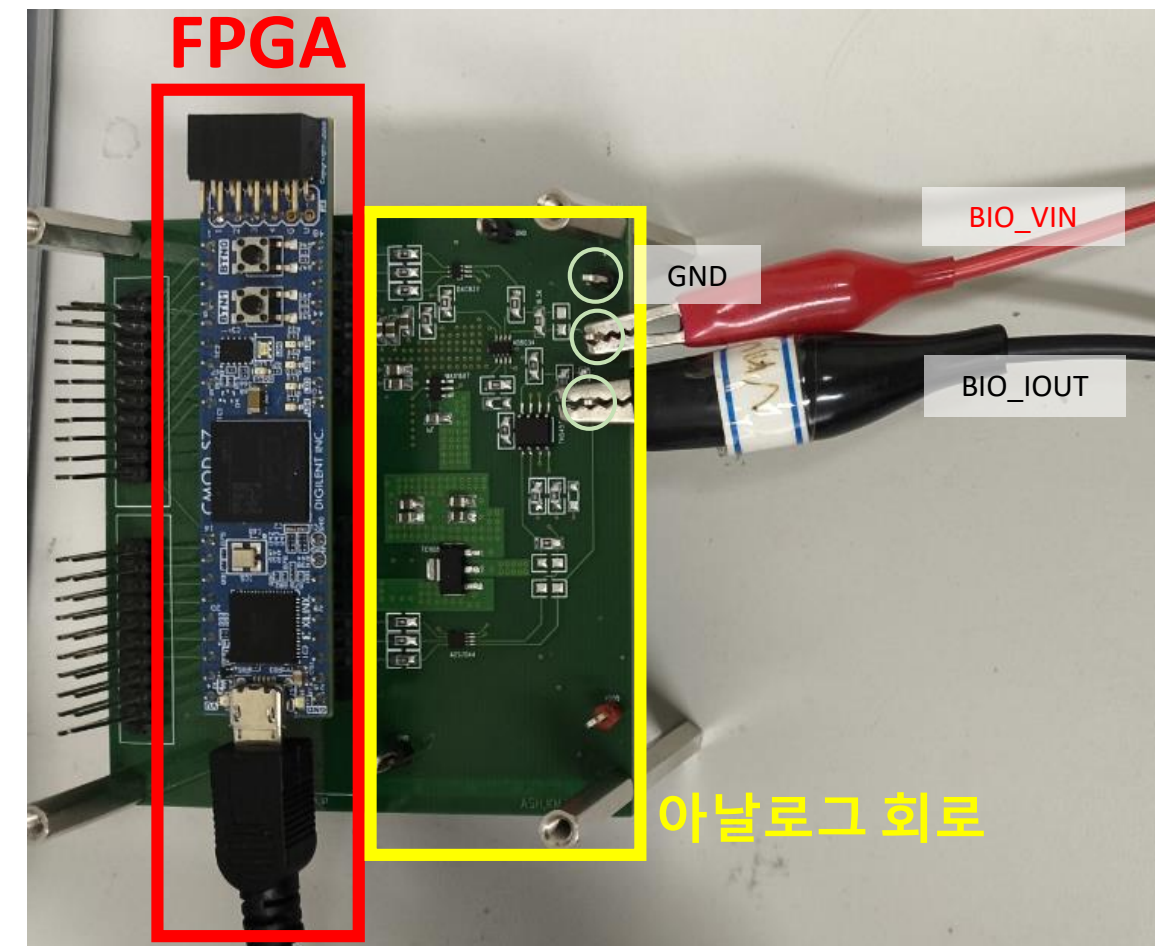
탄탈/세라믹 커패시터

- 병렬 배치로 노이즈 억제 및 안정성 확보

디커플링 커패시터

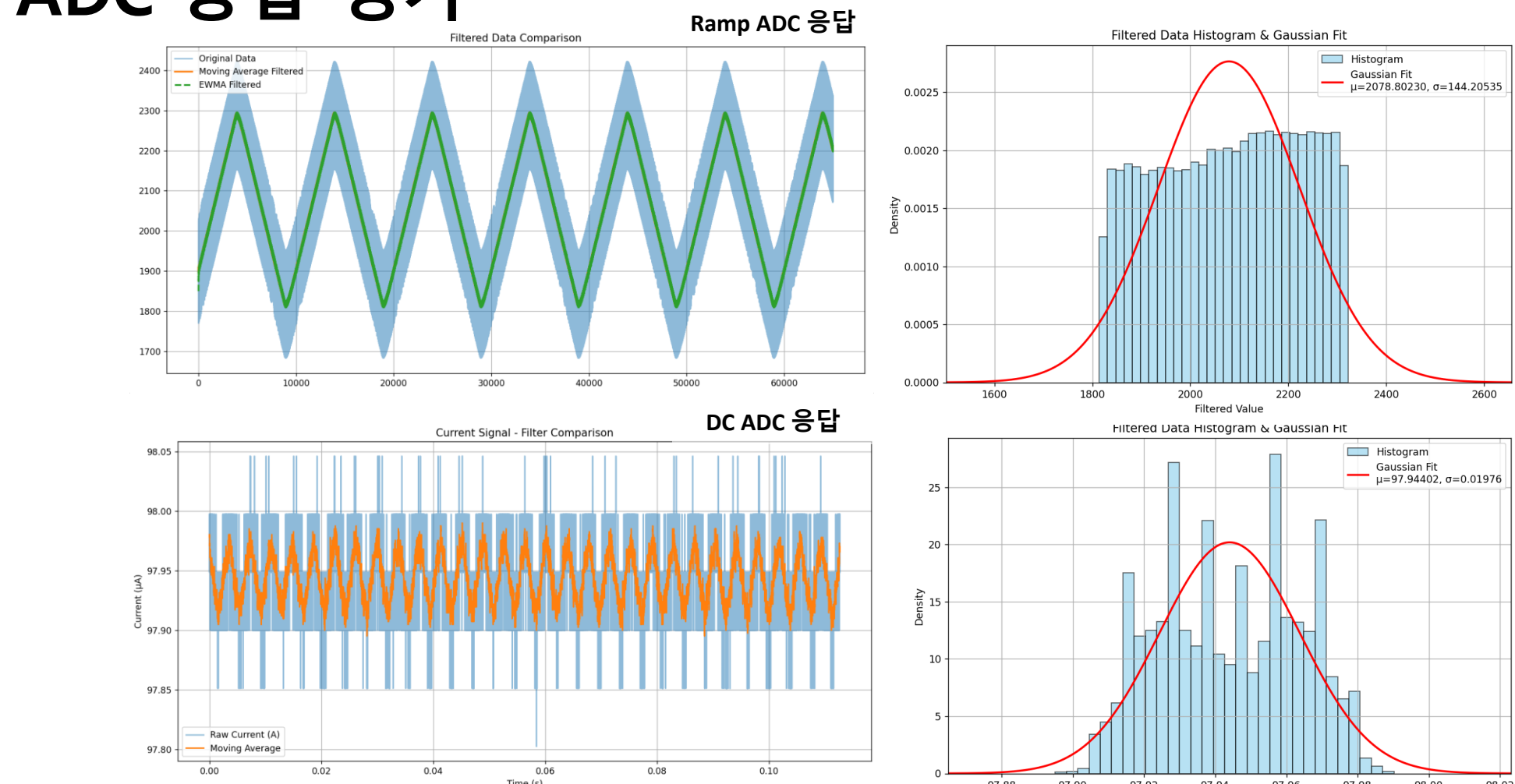
- 디커플링 커패시터를 배치하여 신호 안정성 강화

TOP Layout



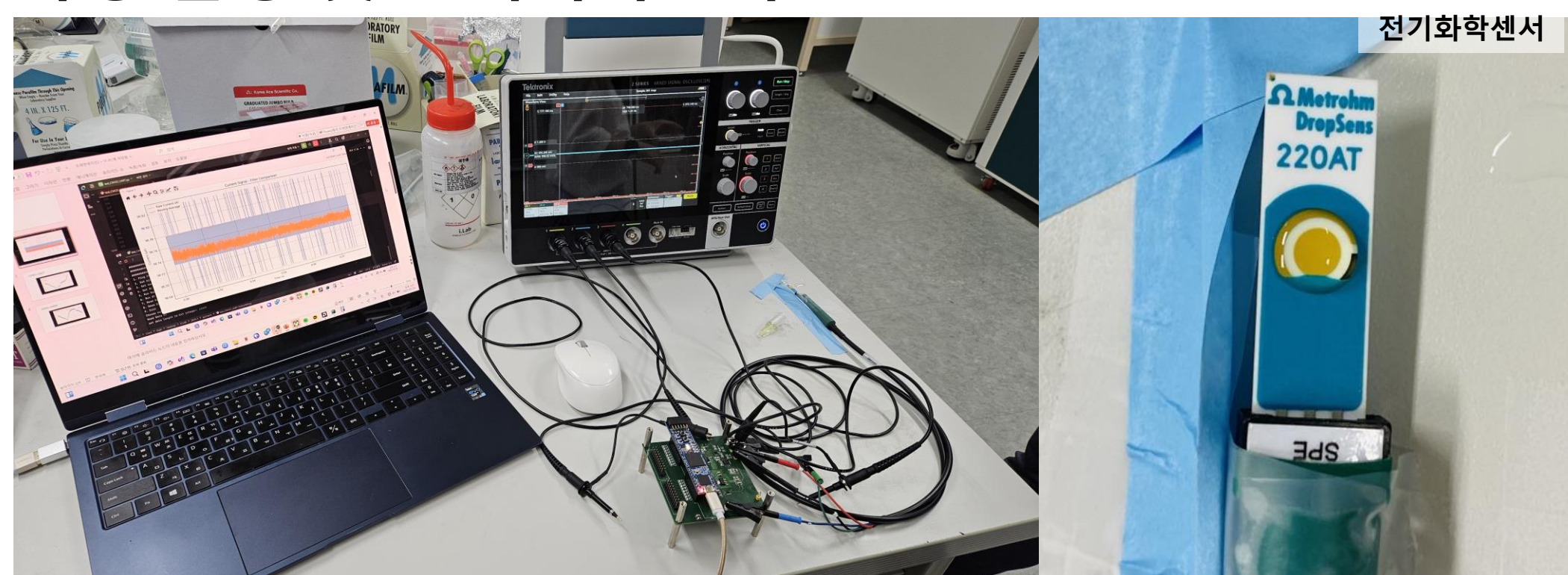
3. 구현결과

ADC 응답 평가



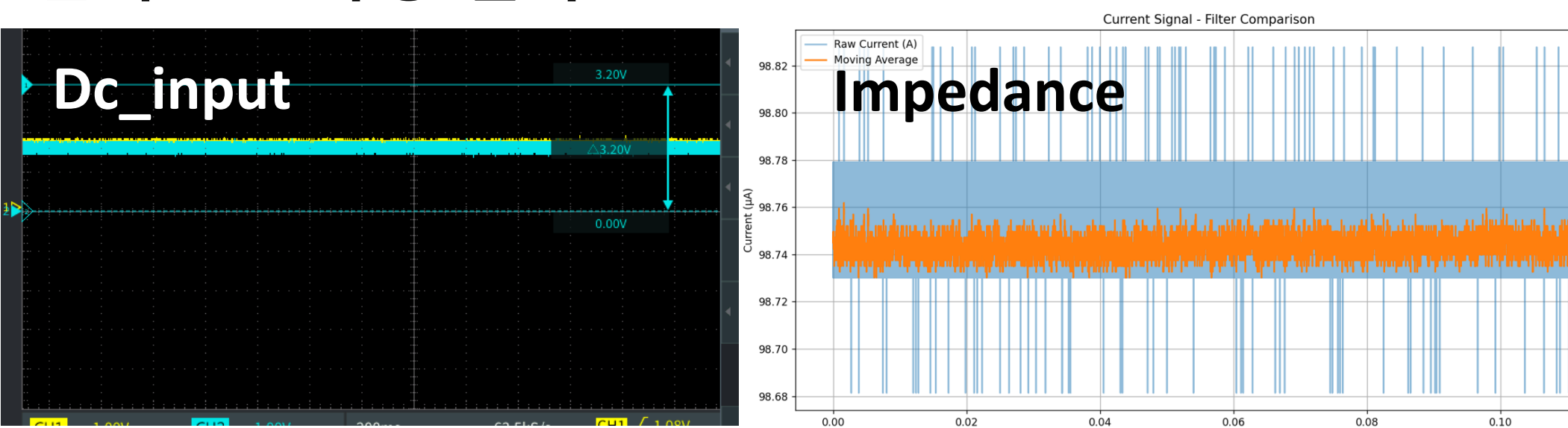
- $\pm 100\mu A$ 입력 전류에 대해 **ADC 0~4095 디지털 응답** 확인
- Ramp/DC 파형 기반 측정
- 필터링(평균, EWMA) 적용 후 히스토그램 및 데이터 **가우시안 분포** 검증

측정 환경 및 전기화학센서

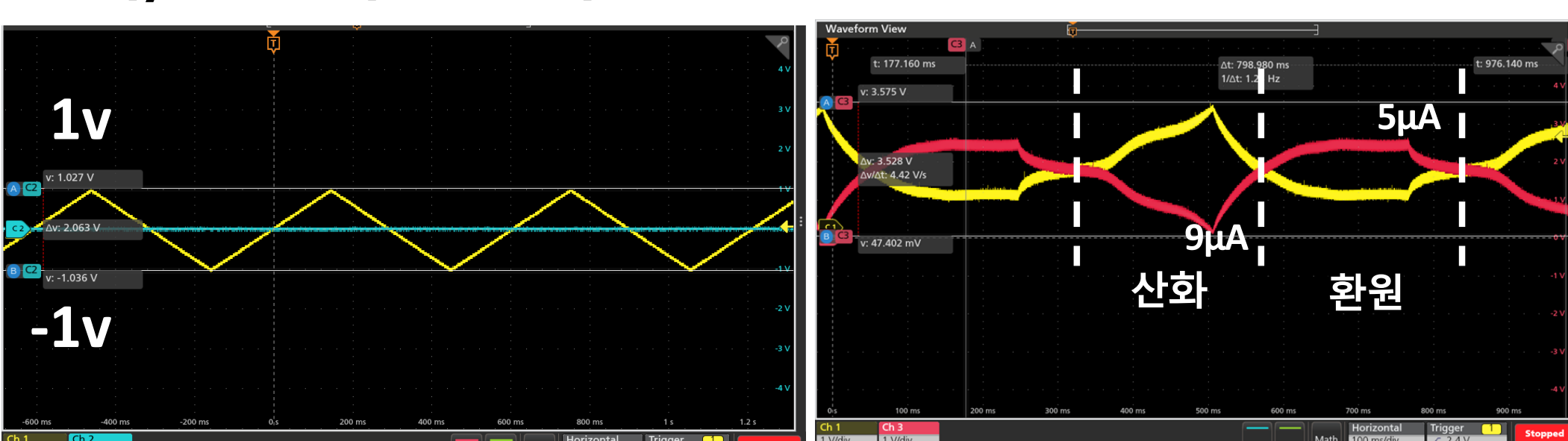


- 전기화학센서(3-전극, potassium ferricyanide 0.5mM) 연결 실험 -> **임피던스 및 산화/환원 반응 측정**과 반복성 검증
- 필터링(평균, EWMA) 적용 후 데이터 분포 검증
- 데이터 처리 기능 동작 확인

임피던스 측정 결과



산화/환원 측정 결과



- 기본적인 **산화-환원 반응** 기능 확인
- 센서의 가역적 반응에 따른 반복적인 **특성 커브** 관측

Conclusion

- 소형 리드아웃 회로로 **산화/환원 및 임피던스 측정** 기능 구현
- $\pm 1.65V$ 전압, $\pm 100\mu A$ 전류 범위 내에서 높은 선형성/안정성 확인
- FPGA/소프트웨어 기반 파형 생성 및 데이터 처리 기능 검증
- 향후 장시간 임피던스 측정 기능 추가 예정