Otter I-V Expert 사용설명서 v1

주식회사 세미오터에듀

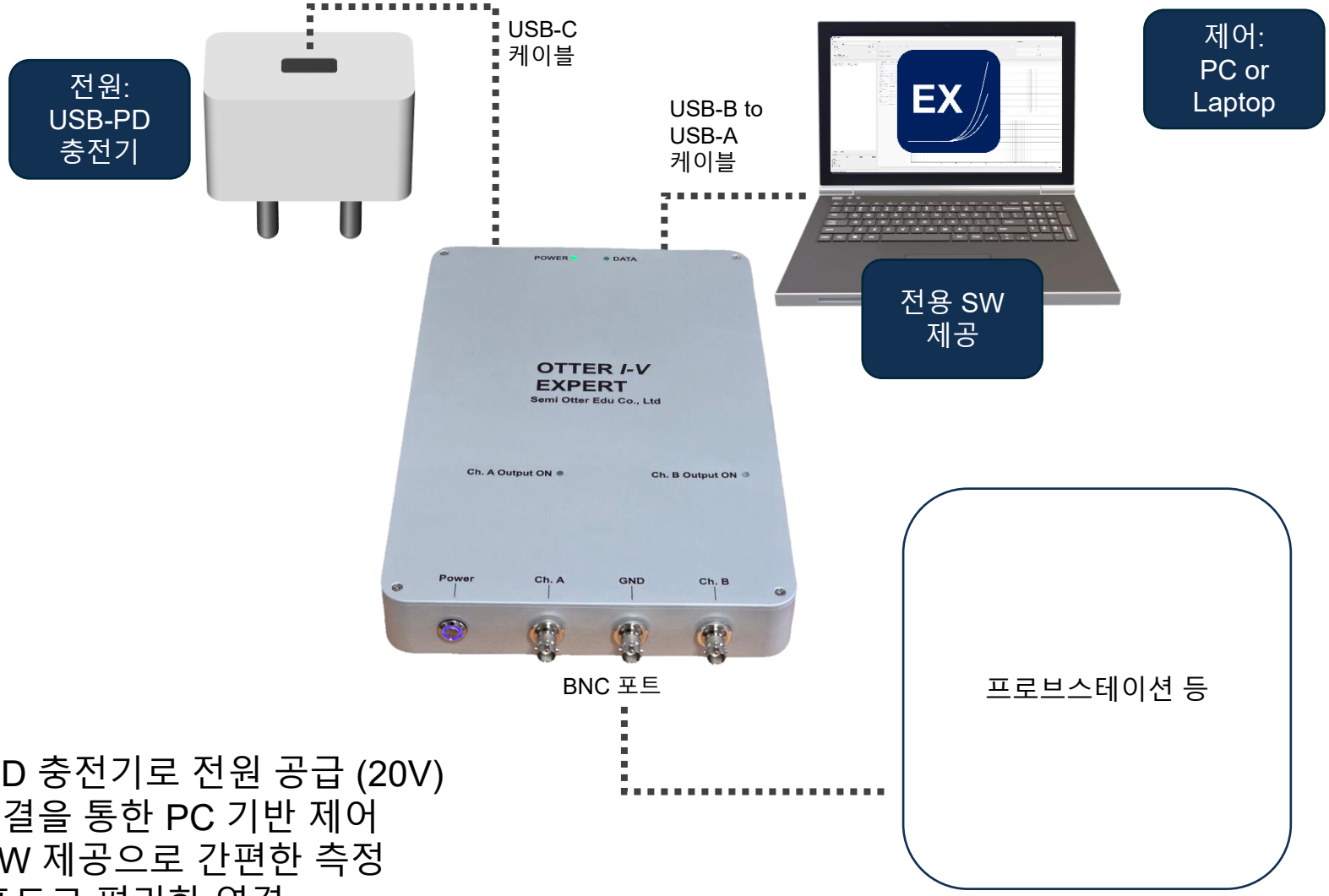
Semi Otter Edu Co., Ltd

최종수정: 2026/8/31

목차

- **제품 소개** 제품 특징과 사양을 정리했습니다.
- **안전 주의사항** ±80 V를 다루기 전에 반드시 읽어 주십시오.
- **시작하기** 빠른 시작, 소프트웨어 화면 구성, 연결과 저장, 로그와 상태 표시입니다.
- **캘리브레이션과 영점 조정** 공장 캘리브레이션의 범위와 현장에서 해야 하는 영점 조정입니다.
- **공통 설정과 참고 사항** 모든 측정 모드에 공통인 설정, NPLC, 컴플라이언스, 측정 범위, 안정화 시간입니다.
- **측정 모드** I-V, FET output, FET transfer, I-t, Mem LTP/LTD, Mem Endurance, Mem Retention, EPSC/PPF입니다.
- **로그의 경고 메시지** 자주 나타나는 경고와 그 의미입니다.
- **재교정과 문의** 재점검 주기와 연락처입니다.

제품 특징



- USB-PD 충전기로 전원 공급 (20V)
- USB연결을 통한 PC 기반 제어
- 전용 SW 제공으로 간편한 측정
- BNC 포트로 편리한 연결

제품 기능

Properties	Specification
Channels	2
Voltage range	±80 V/channel
Current range	±10 mA max (4 ranges + AUTO), compliance up to 25 mA
Noise level	< 1 nA
Built-in routines	*General:* I-V, Transfer, Output, I-t *For Synaptic devices:* EPSC/PPF, PD *For memristors:* Endurance, Retention, PD
Data Interface	USB (SW included)
Power	USB-PD (≥45W recommended)

안전 주의사항

이 기기는 최대 ±80 V를 출력합니다. 두 채널을 동시에 사용하는 경우, 채널 사이에 최대 160 V의 전위차가 발생할 수 있습니다.

- **출력이 켜진 상태에서 단자를 만지지 마십시오.**
  BNC 단자의 중심 도체, 케이블의 노출된 부분, 소자의 전극이 모두 해당합니다.
- **소자를 연결하거나 분리하기 전에 출력을 끄십시오.**
  Live Status 영역에 "output OFF"가 표시된 것을 확인한 뒤에 작업해 주십시오.
- **고전압으로 측정한 직후에는 잠시 기다려 주십시오.**
  출력을 끄면 내부 릴레이가 열려 소자가 분리되지만, 케이블과 소자에 전하가 남아 있을 수 있습니다.
- **접지 전극은 반드시 GND 단자에 연결하십시오.**
  접지가 연결되지 않은 상태에서는 측정값이 부정확해지고, 소자 전체가 고전위로 떠오를 수 있습니다.
- **규격에 맞는 USB-PD 충전기를 사용하십시오.**
  45 W 이상을 권장합니다. 전력이 부족하면 기기가 동작하지 않습니다.
- **기기를 분해하지 마십시오.**
  내부에 고전압 회로가 있습니다. 이상이 있는 경우 제조사에 문의해 주십시오.

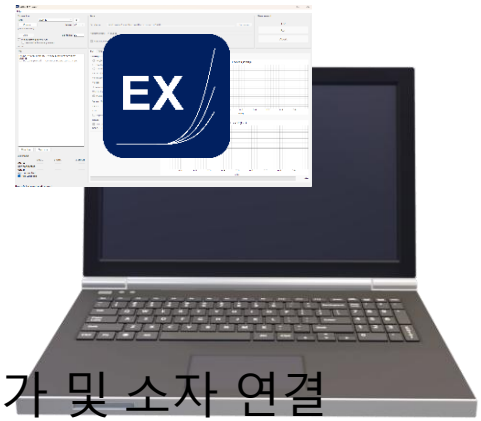
빠른 시작

1. 전원 및 케이블 연결

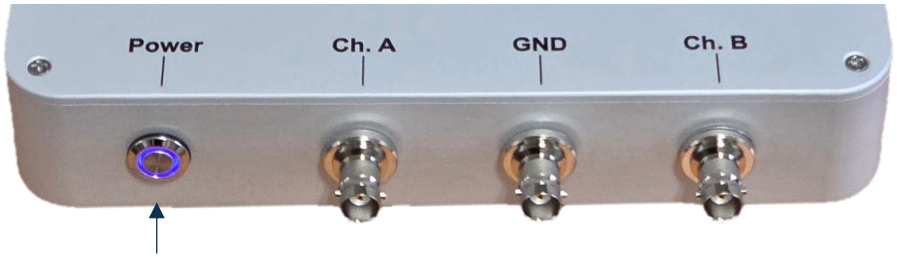
PC or 노트북으로 연결

USB-PD 연결
(45W급 권장)

2. 제어 컴퓨터에 SW 설치



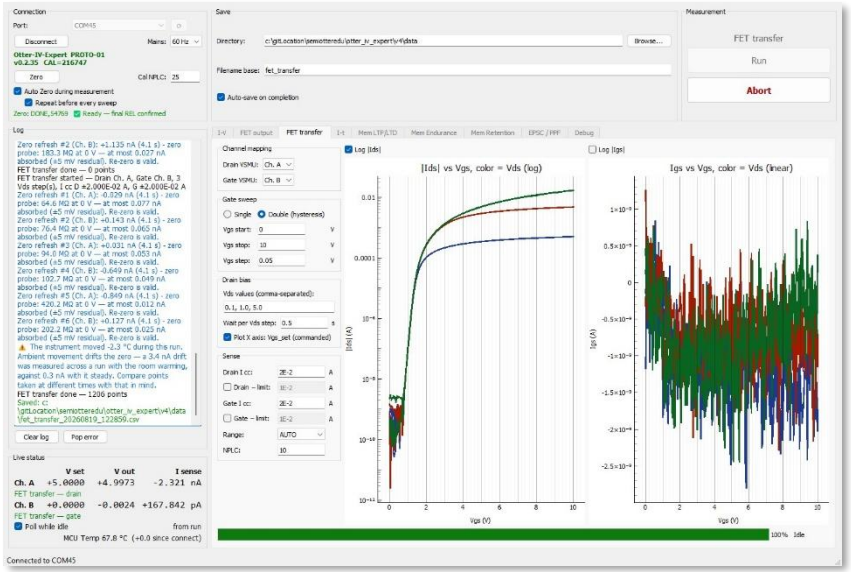
3. 전원 인가 및 소자 연결



전원 푸시버튼

신호 (BNC)

4. 측정 시작!



SW 간단 설명

연결 (보통 자동으로 찾아줍니다)

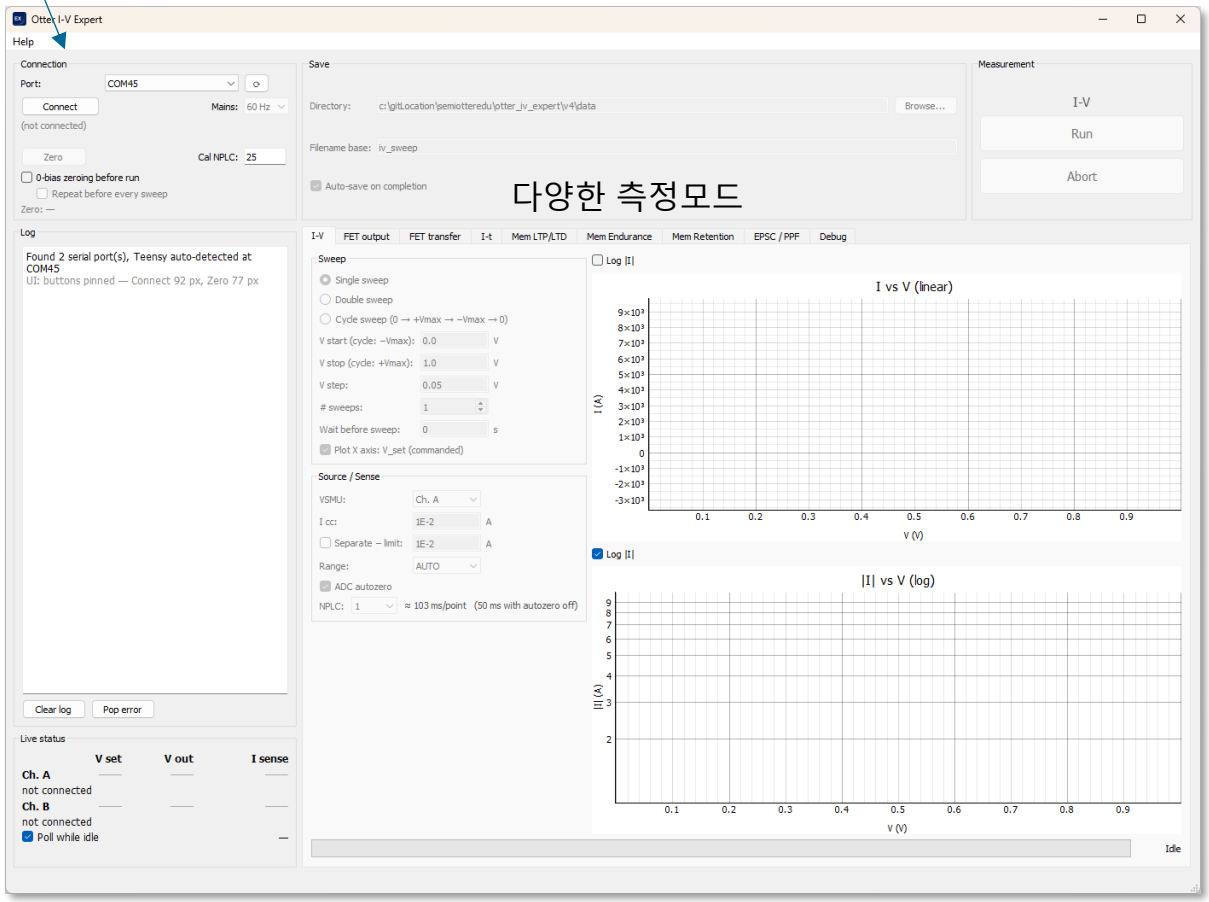
데이터 저장 관리

측정 시작/중단

Zero (영점 재조정 – nA급 노이즈 관리에 유용. 약 1-2분)

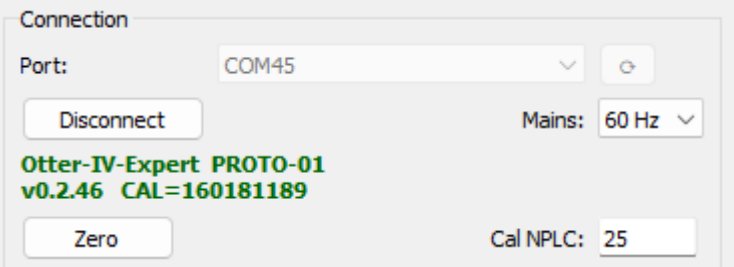
로그 (사용 내역이 나옴)

현재 인가 전압/전류 현황



Connection

Connection: 기기 연결 및 전류 영점 조절을 관리합니다.



Port: Otter I-V Expert 가 연결된 시리얼 포트 (보통 자동으로 찾아집니다)
Connect/Disconnect: 연결/연결해제
연결되면 아래에 기기명, 시리얼 번호 및 캘리브레이션 정보 등이 표시됩니다.
Mains: AC 전원의 주파수. 우리나라는 60 Hz.
Zero: 전류의 0점을 정밀하게 조정하는 기능. 케이블, 측정 셋업에 따른 영향을 반영하여 0점을 조절하기 위해 사용.

(참고) 캘리브레이션 및 영점 조정

Otter I-V Expert 기기는 상용 측정 기기를 활용하여 캘리브레이션을 진행합니다. (Factory Calibration)

Factory Calibration & Test Report

SemiOtter · Otter I-V Expert · Document SO-R01-26-105-20260827-2004

1. Unit under test

Model	Otter I-V Expert
Serial number	**R01-26-105**
Firmware	v0.2.46
Channels calibrated	1, 2
Date of calibration	2026-08-27
Date of issue	2026-08-27 20:04
Recommended re-check	12 months

2. Reference instrument and method

Reference instrument	Commercial bench instrument
Reference basis	Manufacturer's published specification
Comparison fixture	SemiOtter,Otter-CalJig,SN0000,v0.1.1
Procedure	SemiOtter factory calibration (5-phase adjustment, followed by as-left verification). Each verification point is conditioned before it is read, so the value recorded is the settled output at that setting.
Operator	—
Ambient temperature	—
Warm-up	≥ 30 min

This is a factory test report issued by the manufacturer. It is **not an accredited calibration certificate** and does not establish metrological traceability to a national standard. The reference instrument used for the comparison does not currently hold a valid calibration certificate; the results below are therefore a **comparison against that instrument as-is**, not a traceable calibration. Customers requiring traceable calibration should have the unit calibrated by an accredited laboratory.

3. Summary

Overall result: PASS

Test	Result
Ch. A — voltage source	PASS
Ch. A — current measurement	PASS
Ch. A — compliance	PASS
Ch. A — zero noise	PASS
Ch. B — voltage source	PASS
Ch. B — current measurement	PASS
Ch. B — compliance	PASS

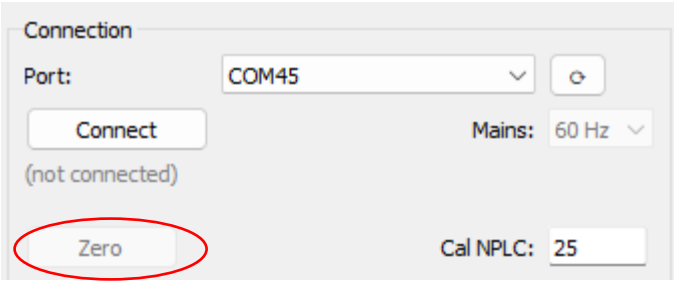
테스트항목:

- 전압 인가 정확도
- 전류 측정 정확도
- Compliance 정확도
- 0점에서의 노이즈

그러나 실제 현장에서의 전류 0점은 현장에서 반영해 주셔야 합니다.
(다음 슬라이드)

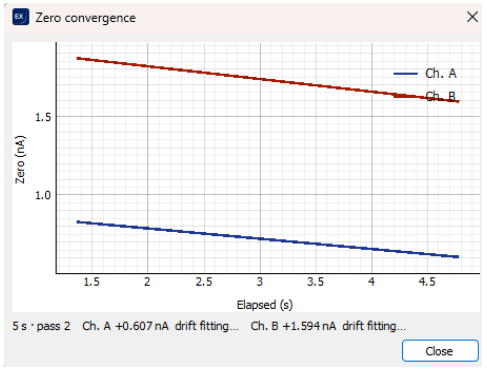
(참고) 캘리브레이션 및 영점 조정

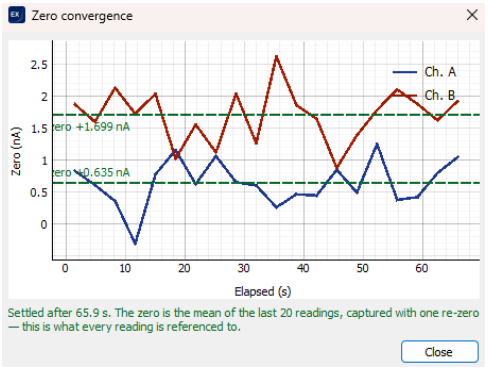
BNC 케이블 등으로 측정 셋업과 연결된 후에, 소자 없이 전류의 영점을 보정하는 작업이 필요합니다.



Zero 버튼을 눌러, 영점을 맞춰 주십시오.

기기 내부 온도 변화에 따라, 전류 영점이 다소 바뀔 수 있습니다.
일반적으로 기기를 켜 놓으면 내부 온도가 상승하므로, 연결 후 30분 후에 영점을 맞추면 최적의 결과를 얻을 수 있습니다.
영점을 맞출 때는 반드시 아무 소자도 연결되지 않은 것을 확인 후 진행해 주십시오.

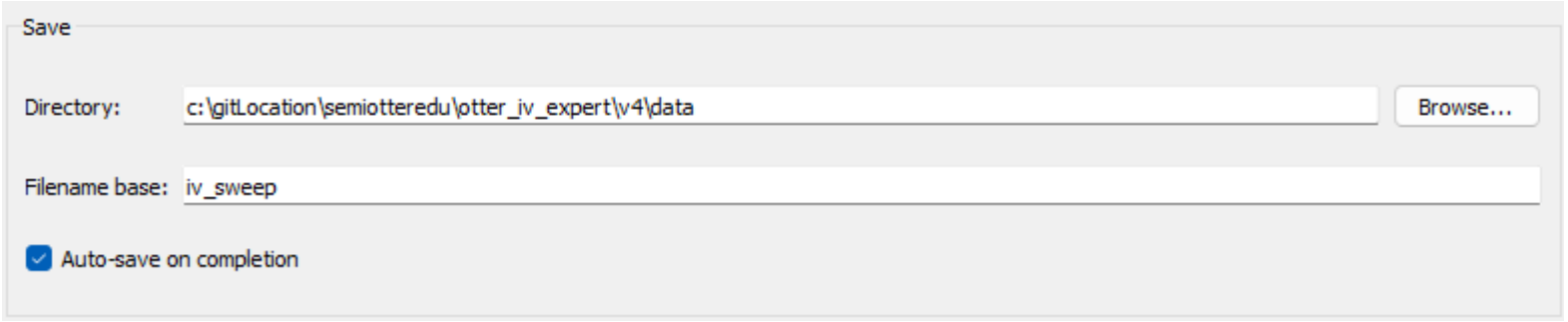





```
Zero convergence started — probe should be OPEN.
zero settling 1s: Ch. A +0.828nA drift — | Ch. B +1.868nA drift —
zero settling 18s: Ch. A +1.153nA drift — | Ch. B +1.016nA drift —
zero settling 31s: Ch. A +0.600nA drift — | Ch. B +1.259nA drift —
zero settling 45s: Ch. A +0.846nA drift — | Ch. B +0.875nA drift —
zero settling 62s: Ch. A +0.793nA drift — | Ch. B +1.616nA drift —
Zero converged — 20 iters, 65.9s, baseline +1.699 nA
Zero settled — running a final REL to confirm on the warm front-end.
Calibration started (Cal NPLC=25, blocks instrument). ⚠ fullcal captures the zero a
0 V — the input should be OPEN (no DUT).
cal Ch. A LOW V=+0.000 Ix5=+1.038E-06 Ix100=-2.327E-08
cal Ch. A LOW V=+0.000 Ix5=+1.040E-06 Ix100=-2.184E-08
cal Ch. A LOW V=+0.000 Ix5=+1.064E-06 Ix100=-2.403E-08
CAL Ch. A LOW fullcal=+5.236E-04,-2.305E-04 azBase=+5.608E-04,+1.364E-04
cal Ch. A HIGH V=+0.000 Ix5=-3.321E-09 Ix100=-2.055E-08
cal Ch. A HIGH V=+0.000 Ix5=-3.555E-09 Ix100=-2.019E-08
cal Ch. A HIGH V=+0.000 Ix5=-3.546E-09 Ix100=-2.032E-08
CAL Ch. A HIGH fullcal=-1.737E-03,-2.035E-01 azBase=+5.302E-04,+1.516E-04
cal Ch. B LOW V=+0.000 Ix5=+2.537E-07 Ix100=-2.632E-08
cal Ch. B LOW V=+0.000 Ix5=+2.556E-07 Ix100=-2.642E-08
cal Ch. B LOW V=+0.000 Ix5=+2.670E-07 Ix100=-2.956E-08
CAL Ch. B LOW fullcal=+1.294E-04,-2.743E-04 azBase=+1.516E-04,+1.583E-04
cal Ch. B HIGH V=+0.000 Ix5=-4.589E-09 Ix100=-3.020E-08
cal Ch. B HIGH V=+0.000 Ix5=-4.662E-09 Ix100=-3.074E-08
cal Ch. B HIGH V=+0.000 Ix5=-4.999E-09 Ix100=-3.008E-08
CAL Ch. B HIGH fullcal=-2.375E-03,-3.034E-01 azBase=+1.097E-04,+1.879E-04
Calibration done — DONE,169430138
Final REL after convergence — zero confirmed. Ready to measure.
Cal recorded → c:\gitLocation\semiotteredu\otter_iv_expert\v4\data\cal_log.csv
```

Save, Measurement

Save: 측정 데이터 저장을 관리합니다.

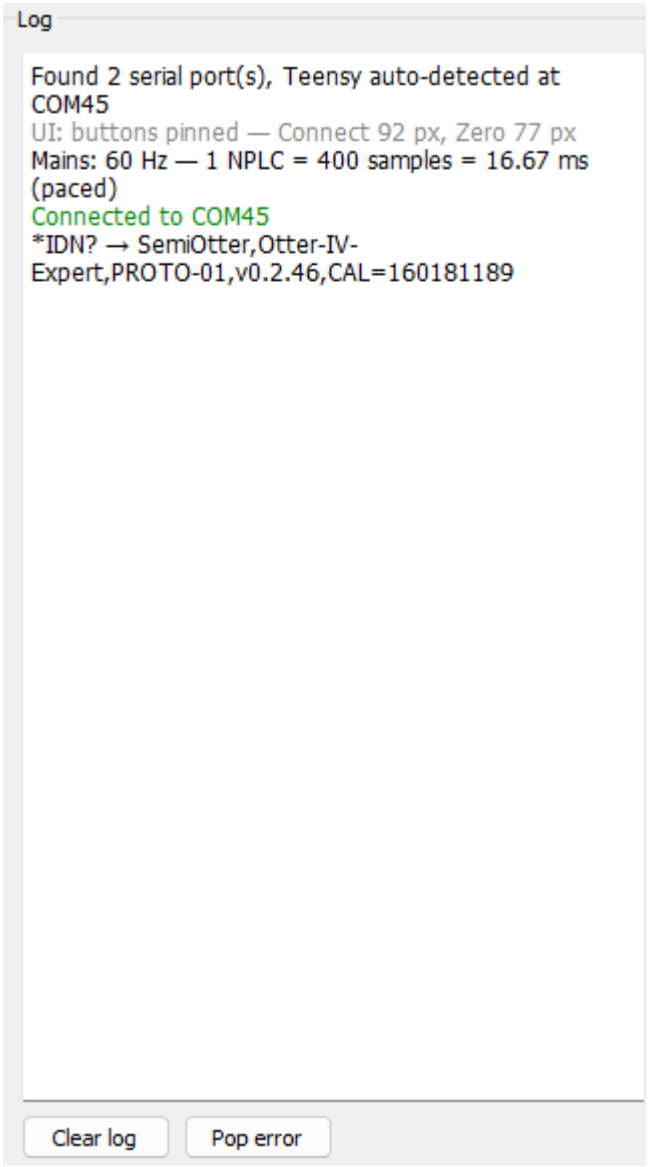


Directory: 측정된 데이터가 저장될 폴더. 'Browse' 버튼을 눌러 설정
Filename base: 측정된 데이터가 저장되는 파일 이름. 중복시 번호가 추가됨 (filename(1).csv, filename(2).csv, …)
Auto-save on completion: 측정이 종료(혹은 중단) 시 자동으로 결과가 저장됨. 켜놓는 것을 권장.
파일은 csv (데이터), md (측정 메타데이터), jpg (스크린샷) 3개가 항상 함께 저장됩니다.

Measurement: 측정 시작/중단을 진행합니다.

선택된 측정모드가 표시됩니다.
Run: 측정 시작
Abort: 측정 중단

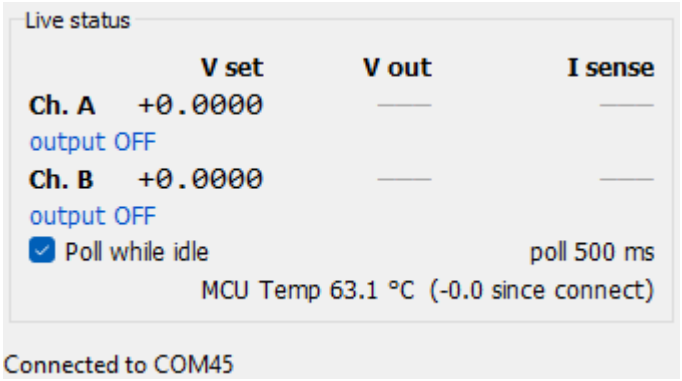
Log, Live Status



Log: 기기 사용 내역이 표시됩니다.

Clear log: 로그 창 초기화
Pop error: 기기와 소통시 에러 메시지 표시

Live Status: 현재 채널 별 상태가 실시간으로 표시됩니다.



Ch. A, Ch. B의 설정 전압, 출력 전압, 전류가 표시됩니다.
Poll while idle: 대기 중일 때도 0.5초마다 현재 상태를 갱신하여 보여줍니다. 체크 해제시, 측정이 진행되지 않는다면 업데이트가 중단됩니다.
MCU Temp: 내부 마이크로컨트롤러의 온도입니다. 절대값의 정확도는 높지 않으므로, 최초 연결 시점 대비 변화량을 보는 지표로 사용해 주십시오.
케이스 내부 온도의 변화는 전류의 0점에 nA급 차이를 가지고 올 수 있어, 최초 연결 대비 차이가 크다면 Zero를 실행해 주는게 좋습니다.

공통 설정 항목

아래 항목은 모든 측정 모드에 공통으로 적용됩니다. 이후의 모드별 설명에서는 그 모드에만 있는 설정만 다룹니다.

Source / Sense

- Channel: 측정에 사용할 채널을 선택합니다.
- I cc: 컴플라이언스 전류입니다. 전류가 이 값에 도달하면 기기가 인가 전압을 낮추어 전류를 상한에 묶어 둡니다.
- Separate − limit: 체크하면 음전류에 다른 컴플라이언스 값을 적용합니다. 극성에 따라 다른 상한이 필요할 때 사용합니다.
- Range: 전류 측정 범위입니다. AUTO를 선택하면 포화되지 않는 범위 가운데 가장 민감한 범위를 기기가 자동으로 선택합니다.

타이밍

- NPLC: 측정 포인트 하나에서 신호를 누적하는 시간이며, 전원 주기의 배수로 지정합니다.
- ADC Autozero: ADC의 0점 변동을 자동으로 보정합니다. 켜면 정확도가 올라가는 대신 측정 시간이 늘어납니다.
- Settle per point: 전압을 인가한 뒤 측정을 시작하기까지 대기하는 시간입니다.
- Wait before sweep: 스윕을 시작하기 전에 한 번만 대기하는 시간입니다.

측정 시간을 어림잡는 방법

NPLC 설정 칸의 오른쪽에 "≈ 103 ms/point"와 같이 포인트당 소요 시간이 표시됩니다. 여기에 측정 포인트의 개수를 곱하면 전체 측정 시간을 대략 알 수 있습니다. NPLC를 크게 잡으면 이 값이 함께 커지므로, 설정을 바꾼 뒤에는 표시를 확인해 보시기 바랍니다.

(참고) NPLC

NPLC: 일반적인 AC전원 (보통 한국의 경우 60Hz, 220 V)의 주기를 말합니다. 측정을 AC전원의 주기 만큼 적분하면 전원에서 오는 노이즈를 최소화 할 수 있습니다. NPLC를 크게 할 수록 노이즈가 줄어들지만, 측정 시간이 증가합니다.

(참고) 컴플라이언스

컴플라이언스(I cc)는 소자에 흐르는 전류의 상한입니다. 측정 중에 전류가 이 값에 도달하면, 기기가 인가 전압을 자동으로 낮추어 전류를 상한에 묶어 둡니다.

- **컴플라이언스에 도달하는 것은 고장이 아닙니다.**
  멤리스터의 forming과 SET처럼 전류를 제한한 상태에서 진행해야 하는 실험에서는 정상적인 동작입니다. 소자를 보호하기 위해 의도적으로 사용하는 기능입니다.
- **컴플라이언스에 걸린 구간에서는 실제 인가 전압이 설정값보다 낮습니다.**
  이 구간의 데이터를 설정 전압으로 그리면 사실과 다른 그래프가 됩니다. "Plot X axis: V_set (commanded)" 체크를 해제하면 실제로 인가된 전압을 X축으로 사용합니다.
- **측정이 멈춘 것처럼 보이는 경우에도 컴플라이언스를 확인해 보십시오.**
  Live Status의 V out이 V set보다 낮게 표시된다면 컴플라이언스에 걸린 상태입니다.
- **설정할 수 있는 최대값은 25 mA입니다.**
  이 값은 전류 측정 범위와는 별개의 설정입니다. 측정 범위는 다음 슬라이드를 참고해 주십시오.

컴플라이언스는 소자를 보호하기 위한 기능이며, 즉시 회로를 차단하는 보호 장치가 아닙니다. 소자가 순간적으로 파괴되는 상황까지 막아 주지는 않습니다.

(참고) 측정 범위와 분해능, 안정화 시간

Range는 전류를 측정하는 범위를 정하는 설정입니다. 예상되는 전류에 맞는 범위를 고르면 분해능이 좋아집니다.

Range	측정 가능한 최대 전류	분해능
10 mA	±10 mA	약 31 nA
1 mA	±1 mA	약 3 nA
10 µA	±10 µA	약 31 pA
1 µA	±1 µA	약 3 pA

AUTO를 선택하면…

기기가 포화되지 않는 범위 가운데 가장 민감한 범위를 스스로 고릅니다. 범위가 바뀌는 경계에서 설정이 반복해서 뒤바뀌지 않도록 히스테리시스를 두고 있습니다. 다만 범위가 전환되는 지점에서 데이터가 불연속으로 보일 수 있으며, 판단과 전환에 시간이 걸립니다.

측정 전류 대역이 명확하고 측정 한계가 용인 가능하거나, 측정 속도가 중요한 경우 (I-t, EPSC 등) 고정 Range를 선택하는 것이 유리합니다.

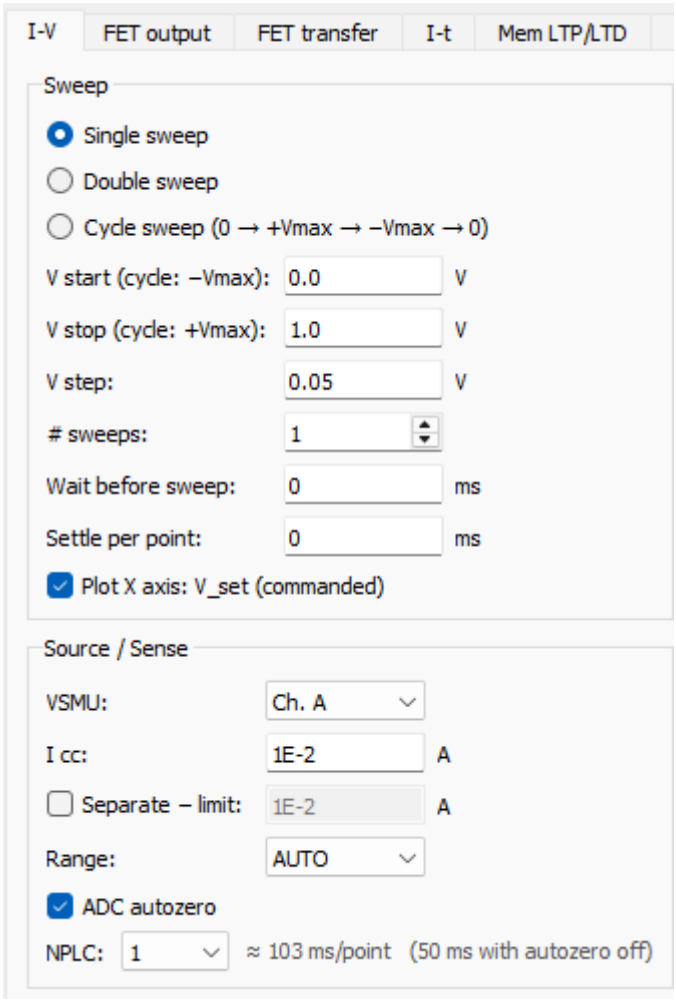
예상 전류가 선택한 범위를 넘어서면 측정값이 포화되어 더 이상 커지지 않습니다. 그래프의 윗부분이 평평하게 잘린 것처럼 보인다면 범위를 먼저 확인해 주십시오.

전압을 인가한 직후에는 출력이 아직 설정값에 도달하지 않은 상태입니다. Settle per point는 이 시간을 기다린 뒤에 측정을 시작하도록 하는 설정입니다.

- **전류가 작을수록, 소자의 정전 용량이 클수록 느려집니다.**
  pA 수준의 전류를 측정하는 경우와 면적이 넓은 소자를 측정하는 경우, 전압이 큰 경우 등에는 여유 있게 설정해 주십시오.

I-V

I-V 측정: 2-terminal 에서 전류-전압 관계를 알아볼 때 사용합니다.



Single Sweep: 지정한 전압범위를 sweep
Double Sweep: 지정한 전압범위로 왕복 sweep
Cycle Sweep: 0V 부터 시작

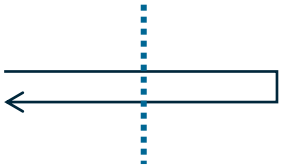
Single Sweep

V start 0 V V stop

일반적인 측정

Double Sweep

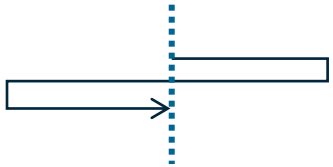
V start 0 V V stop



히스테리시스 등 확인

Cycle Sweep

V start 0 V V stop

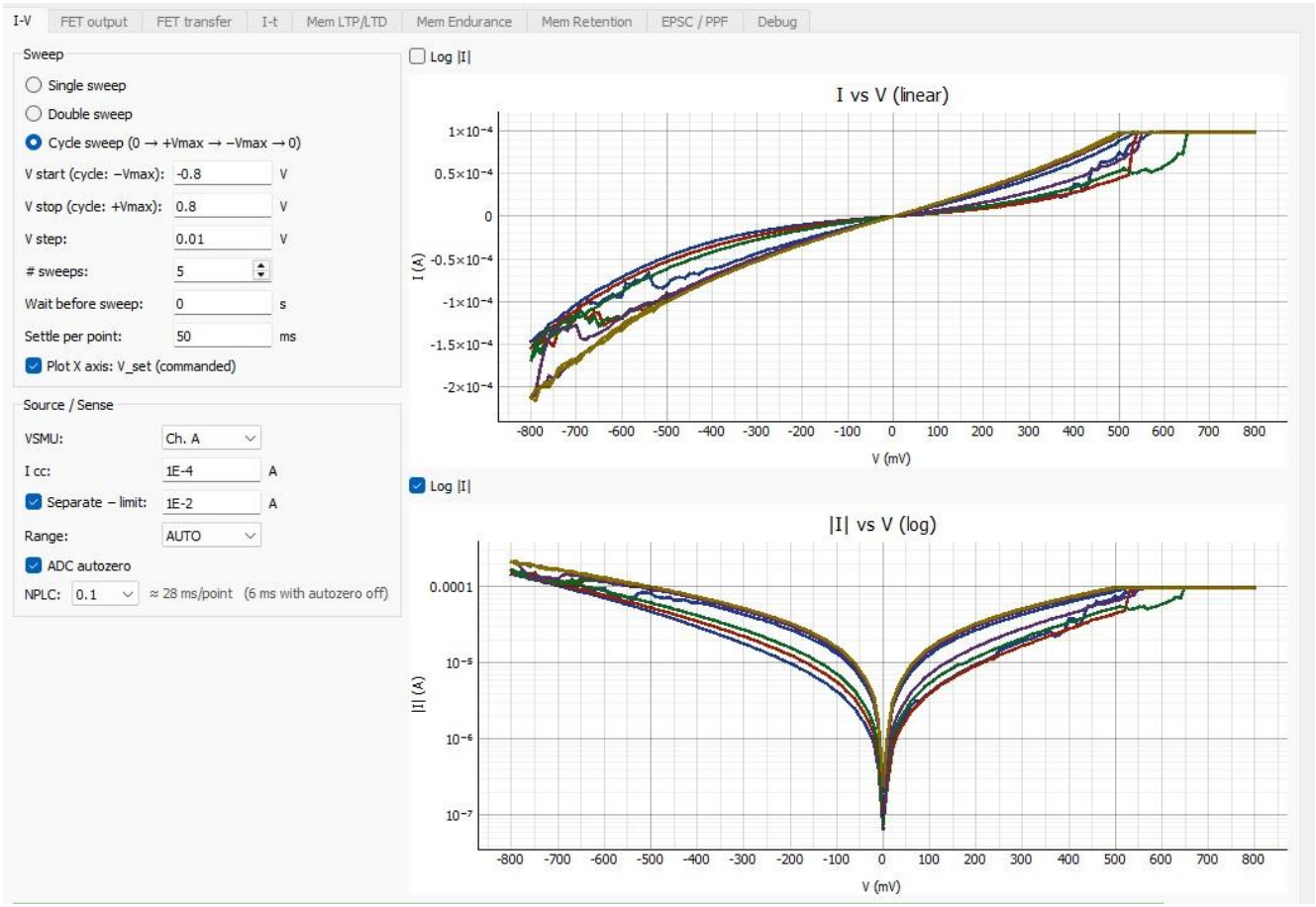


멤리스터 등 처음부터 큰 전압을 인가하기 어려울 때

V start: 시작 전압
V stop: 종료 전압
V step: 인가 전압의 간격
 # sweeps: 동일 측정을 반복할 횟수
Wait before sweep: 측정 전 대기하는 시간
Settle per point: 개별 측정 포인트에서 전압/전류가 안정화되도록 대기하는 시간
VSMU: 측정에 사용할 채널
I cc: 컴플라이언스 전류 설정
Separate – limit: 선택할 경우 – (음)전류는 다른 컴플라이언스 적용
Range: 측정 범위. AUTO 시 기기가 자동으로 판별
ADC Autozero: ADC의 0점 변동을 자동으로 보정
NPLC: 각 측정 포인트 별 신호 누적 시간. 전원 주파수의 배수.

I-V

주요 측정 예 (멤리스터 소자)



Linear Plot

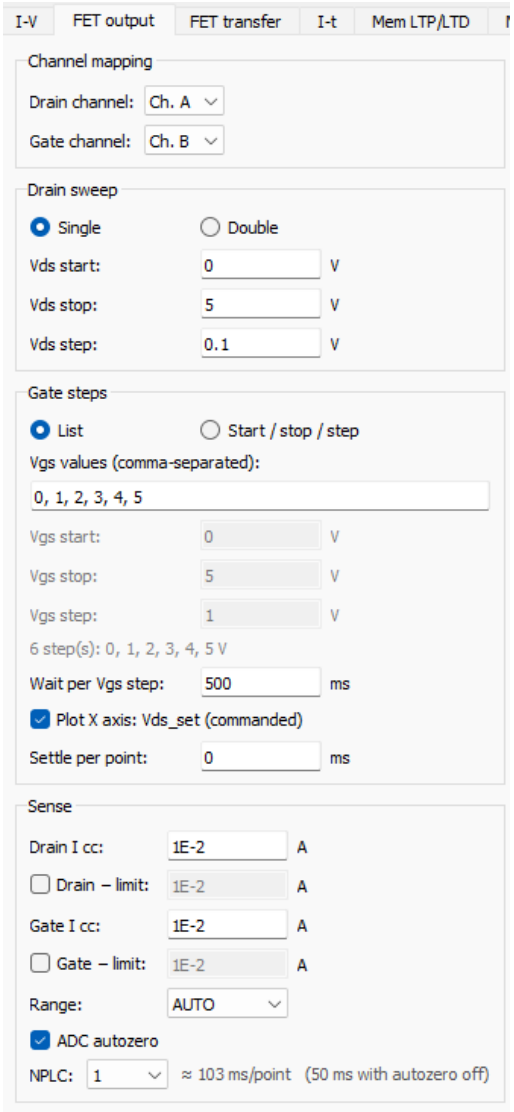
5회 반복 sweep

Semi-log plot

Set 쪽에만 Icc 적용

FET output

FET output: FET에서 출력곡선을 측정할 때 사용합니다.



Drain channel: 드레인에 연결된 채널을 선택
Gate channel: 게이트에 연결된 채널을 선택
(참고) 소스 전극은 그라운드(GND)에 연결해야 합니다.

Single: 드레인 전압을 한 쪽 방향으로 스윕
Double: 드레인 전압을 왕복하여 스윕
Vds start: 매 스윕 별 시작 드레인 전압
Vds stop: 매 스윕 별 종료 드레인 전압
Vds step: 드레인 전압의 증가 폭

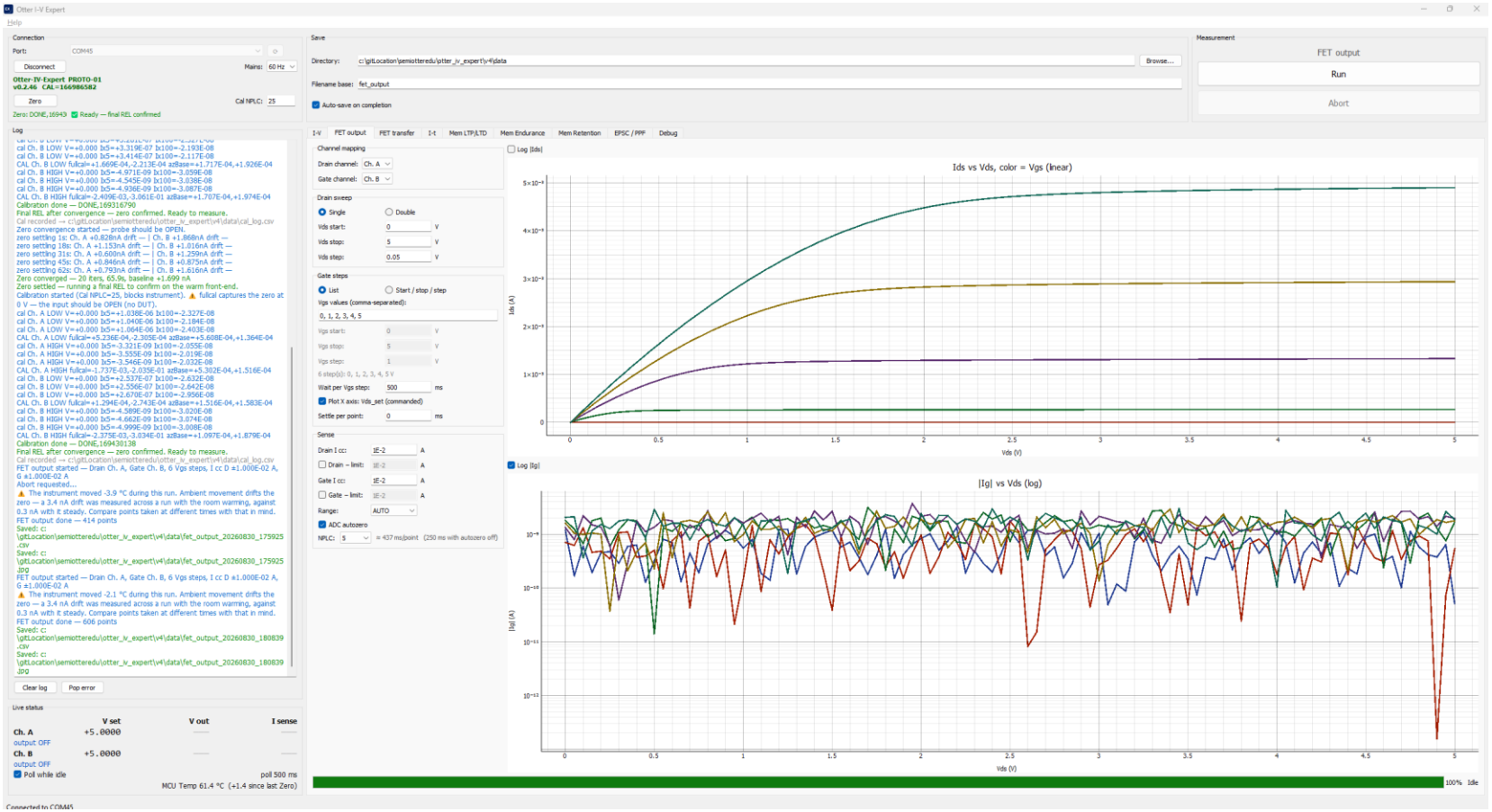
List: Vgs values (comma-separated):
게이트 전압 리스트. 콤마로 구분하여 입력합니다.
Start/stop/step:
Vgs start: 게이트 전압 시작 값
Vgs stop: 게이트 전압 종료 값
Vgs step: 게이트 전압 간격

Wait per Vgs step: 각 Vgs sweep 시작 전 대기 시간
Settle per point: 개별 측정 포인트에서 전압/전류가 안정화되도록 대기하는 시간

Drain Icc: 드레인 채널의 컴플라이언스 전류
Drain – Ilimit: 음전류 컴플라이언스 별도 적용시 활용
Gate Icc: 게이트 채널의 컴플라이언스 전류
Gate – Ilimit: 음전류 컴플라이언스 별도 적용시 활용
ADC Autozero: ADC의 0점 변동을 자동으로 보정
NPLC: 각 측정 포인트 별 신호 누적 시간. 전원 주파수의 배수.

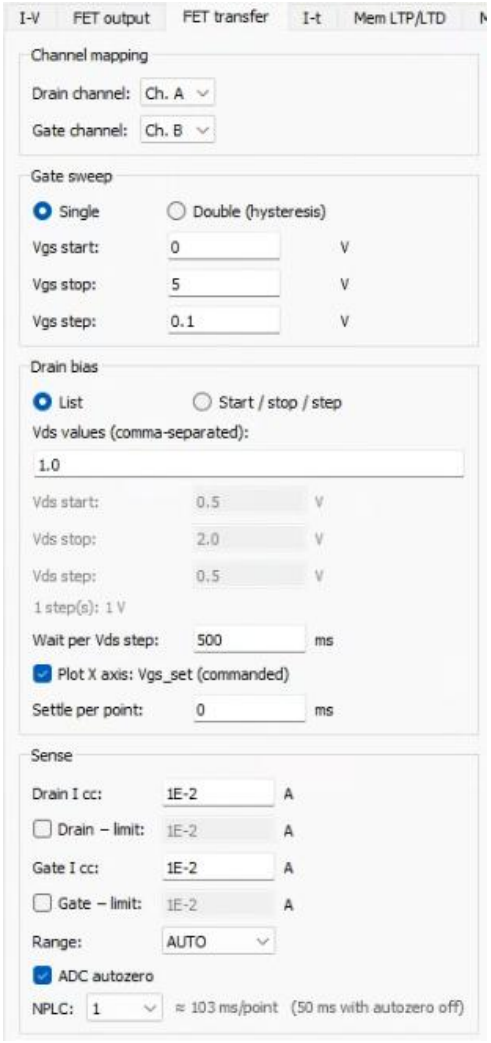
FET output

주요 측정 예 (CD4007 n-MOSFET)



FET transfer

FET transfer: FET에서 전달곡선을 측정할 때 사용합니다.



Drain channel: 드레인에 연결된 채널을 선택
Gate channel: 게이트에 연결된 채널을 선택
(참고) 소스 전극은 그라운드(GND)에 연결해야 합니다.

Single: 게이트 전압을 한 쪽 방향으로 스윕
Double: 게이트 전압을 왕복하여 스윕
Vgs start: 매 스윕 별 시작 게이트 전압
Vgs stop: 매 스윕 별 종료 게이트 전압
Vgs step: 게이트 전압의 증가 폭

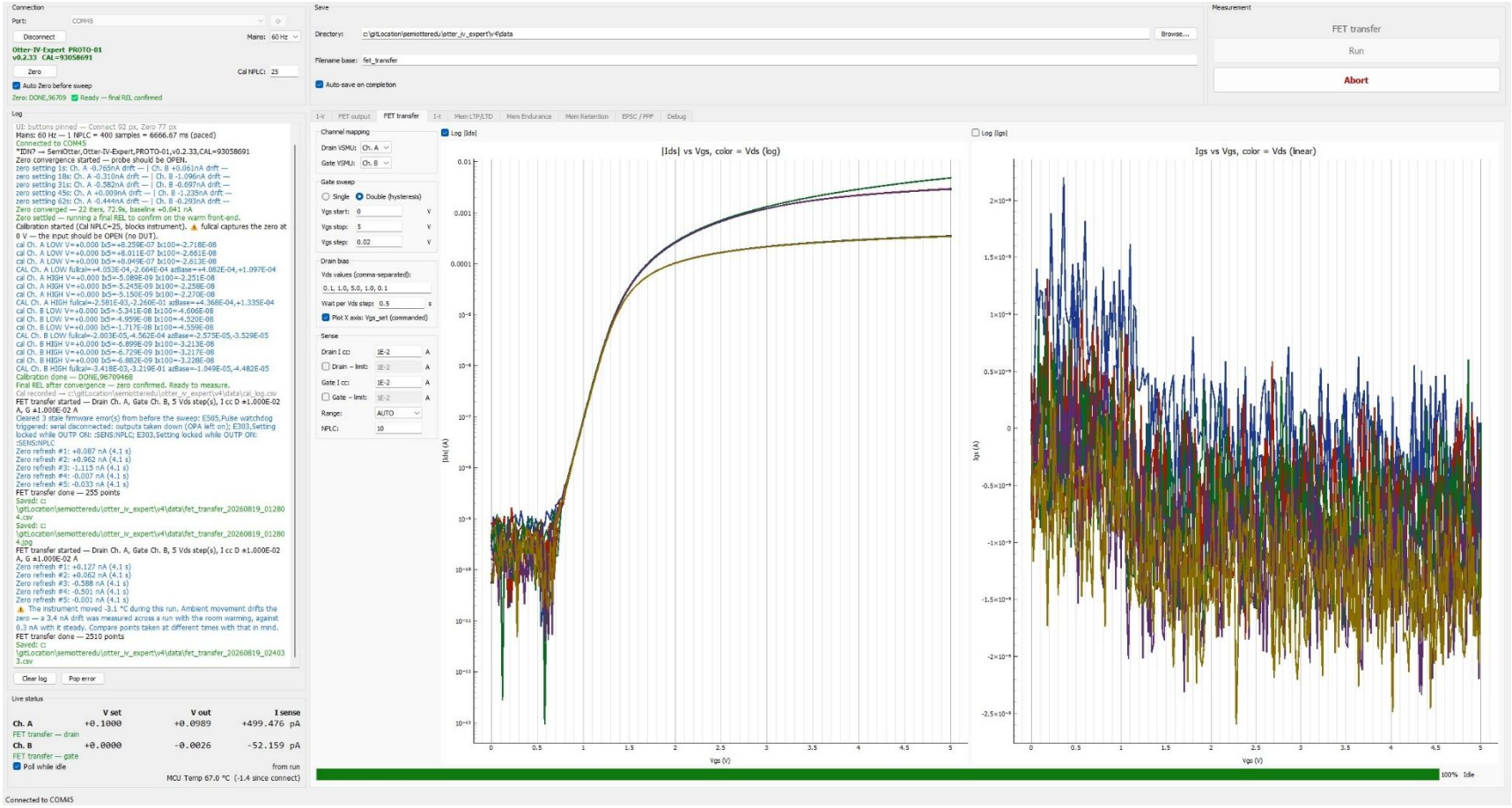
List: Vds values (comma-separated):
드레인 전압 리스트. 콤마로 구분하여 입력합니다.
Start/stop/step:
Vds start: 드레인 전압 시작 값
Vds stop: 드레인 전압 종료 값
Vds step: 드레인 전압 간격

Wait per Vds step: 각 Vds sweep 시작 전 대기 시간
Settle per point: 개별 측정 포인트에서 전압/전류가 안정화되도록 대기하는 시간

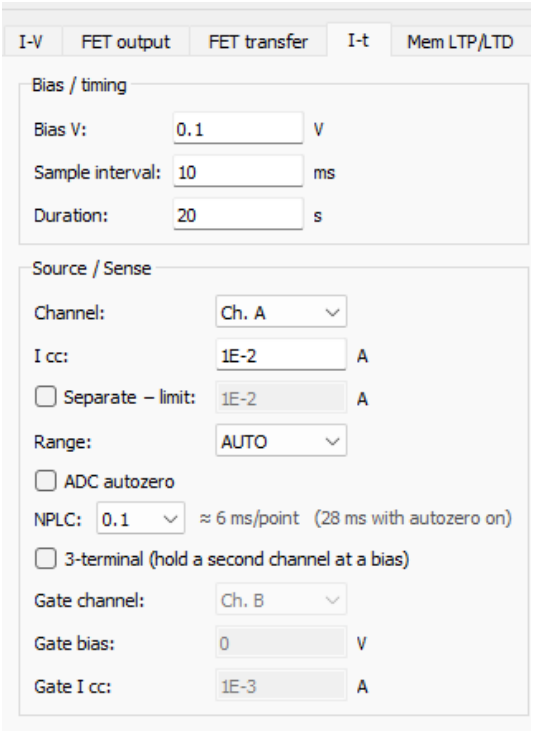
Drain Icc: 드레인 채널의 컴플라이언스 전류
Drain – Ilimit: 음전류 컴플라이언스 별도 적용시 활용
Gate Icc: 게이트 채널의 컴플라이언스 전류
Gate – Ilimit: 음전류 컴플라이언스 별도 적용시 활용
ADC Autozero: ADC의 0점 변동을 자동으로 보정
NPLC: 각 측정 포인트 별 신호 누적 시간. 전원 주파수의 배수.

FET transfer

주요 측정 예 (CD4007 n-MOSFET)



I-t



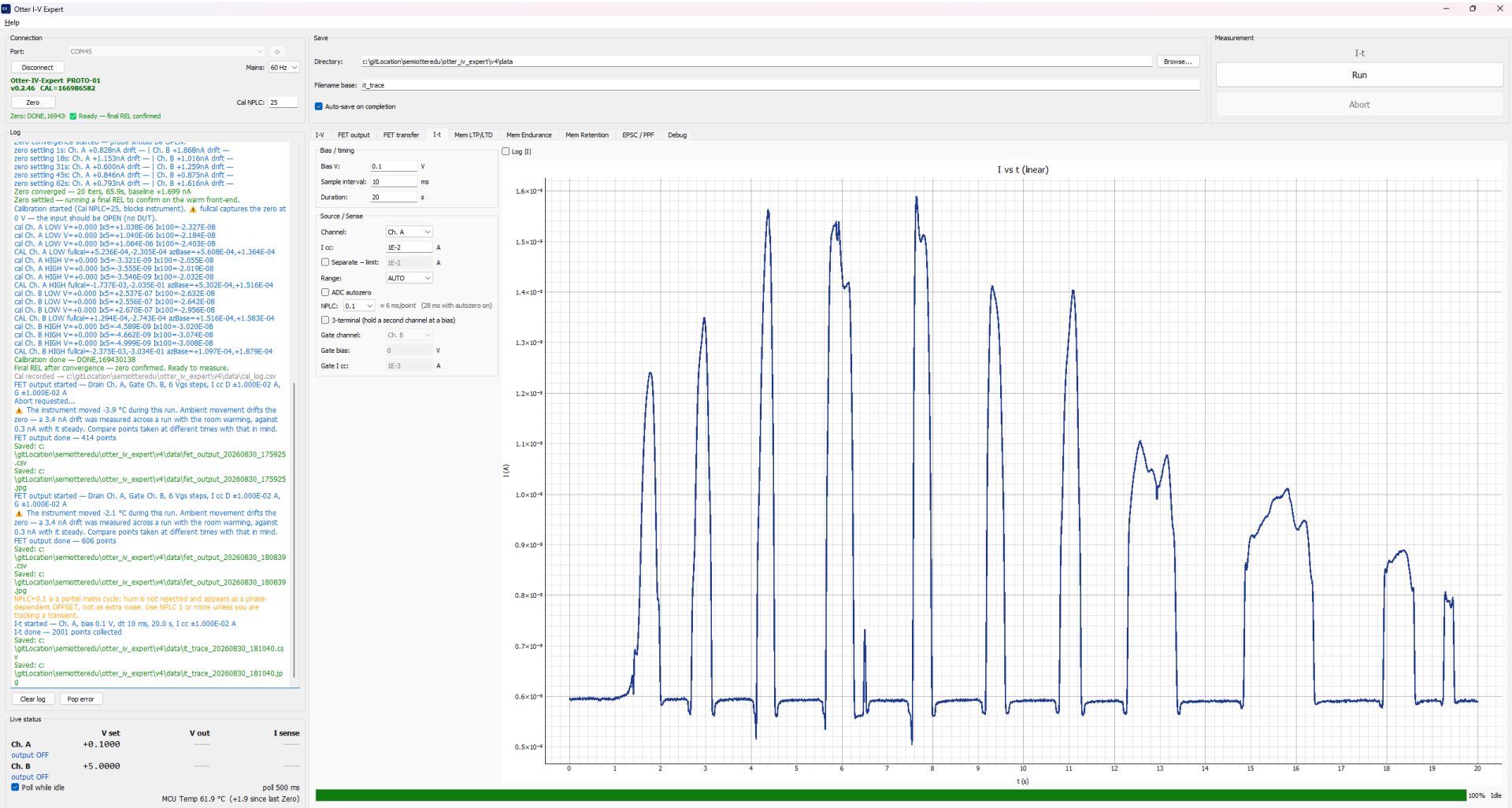
Bias V: 인가 전압 (고정값)
Sample Interval: 측정 사이 간격 (적절한 NPLC를 설정해야 합니다)
Duration: 총 측정 시간

Channel: 전압 인가 채널
Icc: 측정 채널의 컴플라이언스 전류
Separate – Ilimit: 음전류 컴플라이언스 별도 적용시 활용
Range: Auto. 측정 중 범위를 유지하려 하는 경우 원하는 영역 선택.
ADC Autozero: ADC의 0점 변동을 자동으로 보정. I-t에서는 측정 속도를 위해 꺼 놓는 것이 유리할 수 있습니다.
NPLC: 각 측정 포인트 별 신호 누적 시간. 전원 주파수의 배수. Sample interval에 맞추어 함께 조정해 주십시오.

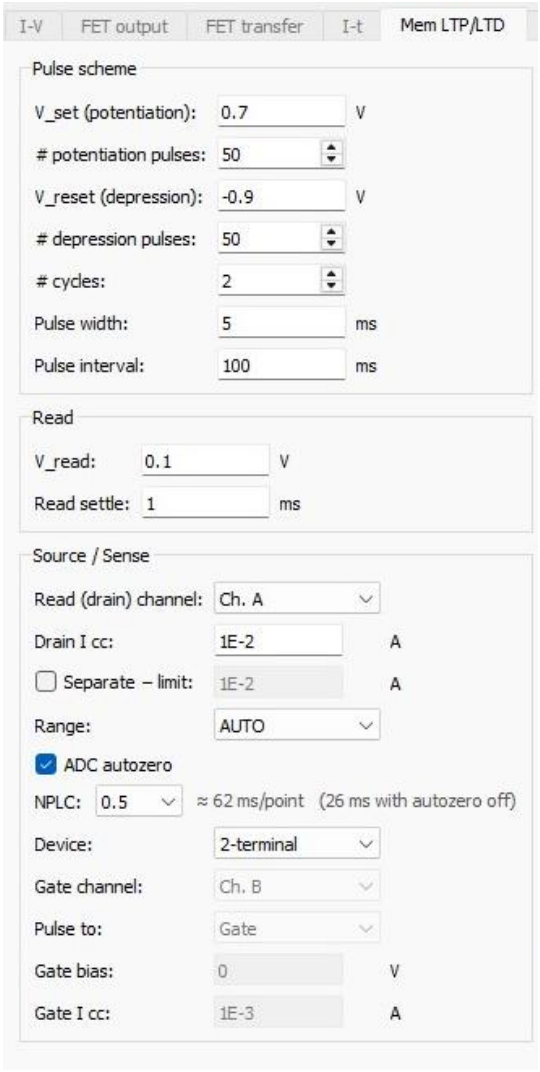
3-terminal (hold a second channel at a bias)
체크하면 두 번째 채널을 고정 전압으로 유지한 채 측정합니다. 3단자 소자에서 게이트에 일정한 바이어스를 걸어 두고 드레인 전류의 시간 변화를 보는 경우에 사용합니다. Gate channel, Gate bias, Gate I cc가 함께 활성화됩니다.

I-t

주요 측정 예 (CdS 포토레지스터. 핸드폰 빛으로 저항변화 실시간 관찰. 100 pt/sec)



Mem LTP/LTD



펄스를 반복해서 인가하면서 소자의 컨덕턴스가 어떻게 변해 가는지 측정합니다.
시냅스 소자의 potentiation과 depression 특성을 확인할 때 사용합니다.

Pulse scheme

- **V_set (potentiation):** potentiation 펄스의 전압입니다.
- **# potentiation pulses:** potentiation 펄스의 개수입니다.
- **V_reset (depression):** depression 펄스의 전압입니다.
- **# depression pulses:** depression 펄스의 개수입니다.
- **# cycles:** potentiation과 depression을 한 묶음으로 하여 반복할 횟수입니다.
- **Pulse width:** 펄스 하나를 인가하는 시간입니다.
- **Pulse interval:** 펄스와 펄스 사이의 간격입니다.

Read

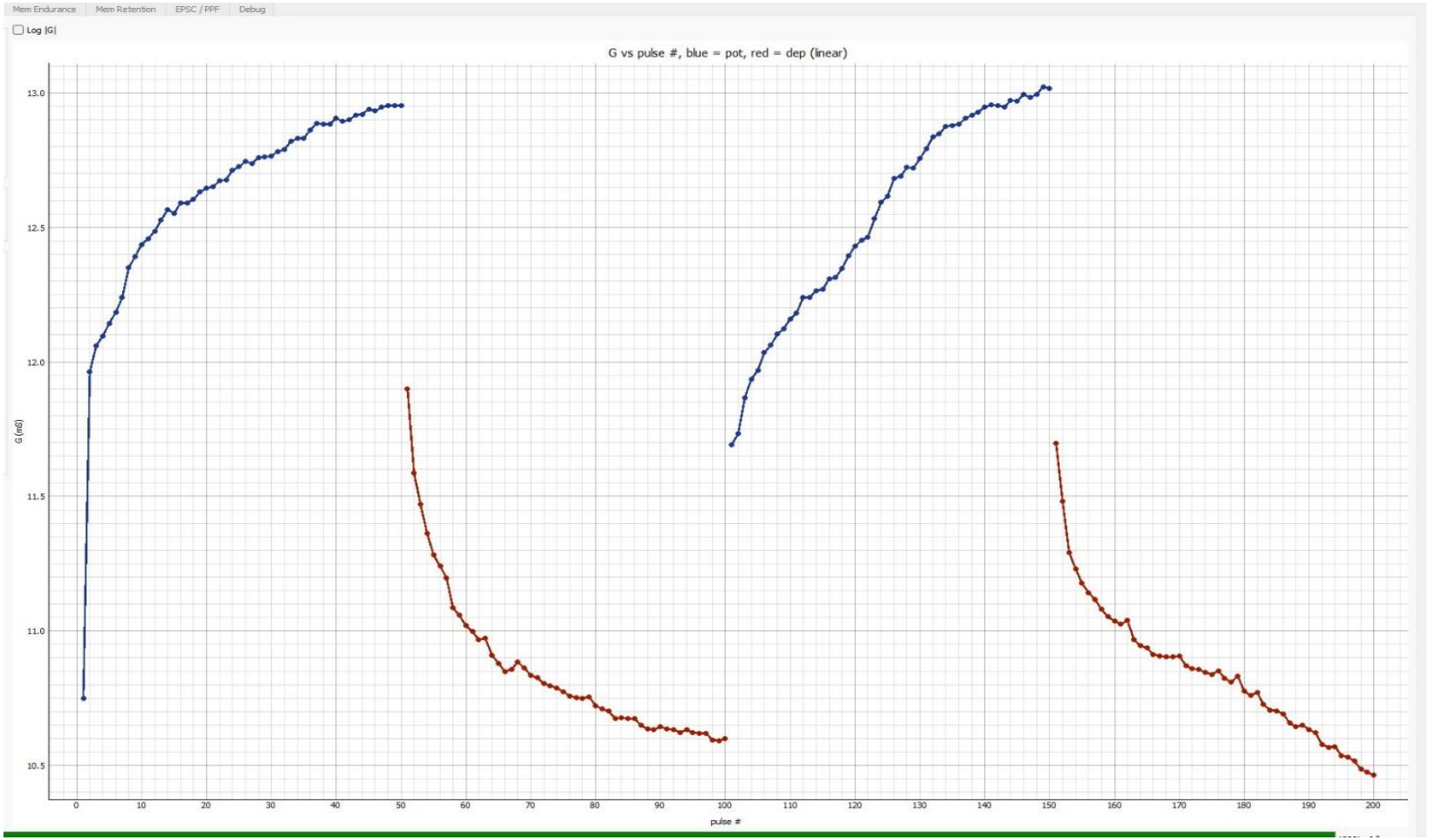
- **V_read:** 펄스 사이에 컨덕턴스를 읽기 위해 인가하는 전압입니다. 소자의 상태를 바꾸지 않을 만큼 작은 값을 사용해 주십시오.
- **Read settle:** 읽기 전압을 인가한 뒤 측정을 시작하기까지 대기하는 시간입니다.

Device (3단자 소자를 측정하는 경우)

- **Device:** 2-terminal을 선택하면 한 채널만 사용하며, 3-terminal을 선택하면 아래 항목이 활성화됩니다.
- **Gate channel / Pulse to:** 게이트에 연결한 채널과, 펄스를 어느 단자에 인가할지 지정합니다.
- **Gate bias / Gate I cc:** 측정하는 동안 게이트에 유지할 전압과 컴플라이언스입니다.

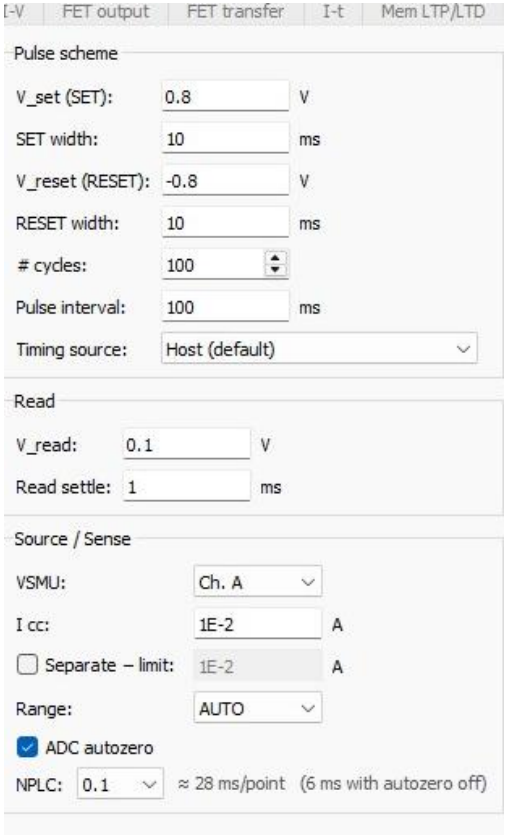
Mem LTP/LTD

주요 측정 예 (멤리스터 소자, 50 + 50 펄스 × 2 cycle)



가로축은 펄스 번호이고 세로축은 컨덕턴스입니다. 파란색이 potentiation 구간, 붉은색이 depression 구간입니다. 두 구간의 기울기가 비슷하고 곡선이 직선에 가까울수록 대칭성과 선형성이 좋은 조건입니다.

Mem Endurance



SET과 RESET을 반복해서 인가하면서, 저저항 상태(LRS)와 고저항 상태(HRS)가 몇 회까지 구분되는지 측정합니다.

Pulse scheme

- **V_set (SET) / SET width:** SET 펄스의 전압과 인가 시간입니다.
- **V_reset (RESET) / RESET width:** RESET 펄스의 전압과 인가 시간입니다.
- **# cycles:** SET과 RESET을 한 묶음으로 하여 반복할 횟수입니다.
- **Pulse interval:** 펄스와 펄스 사이의 간격입니다.
- **Timing source:** 펄스의 시간을 어디에서 관리할지 정합니다. 기본값인 Host는 제어 컴퓨터가 시간을 관리합니다.

Read

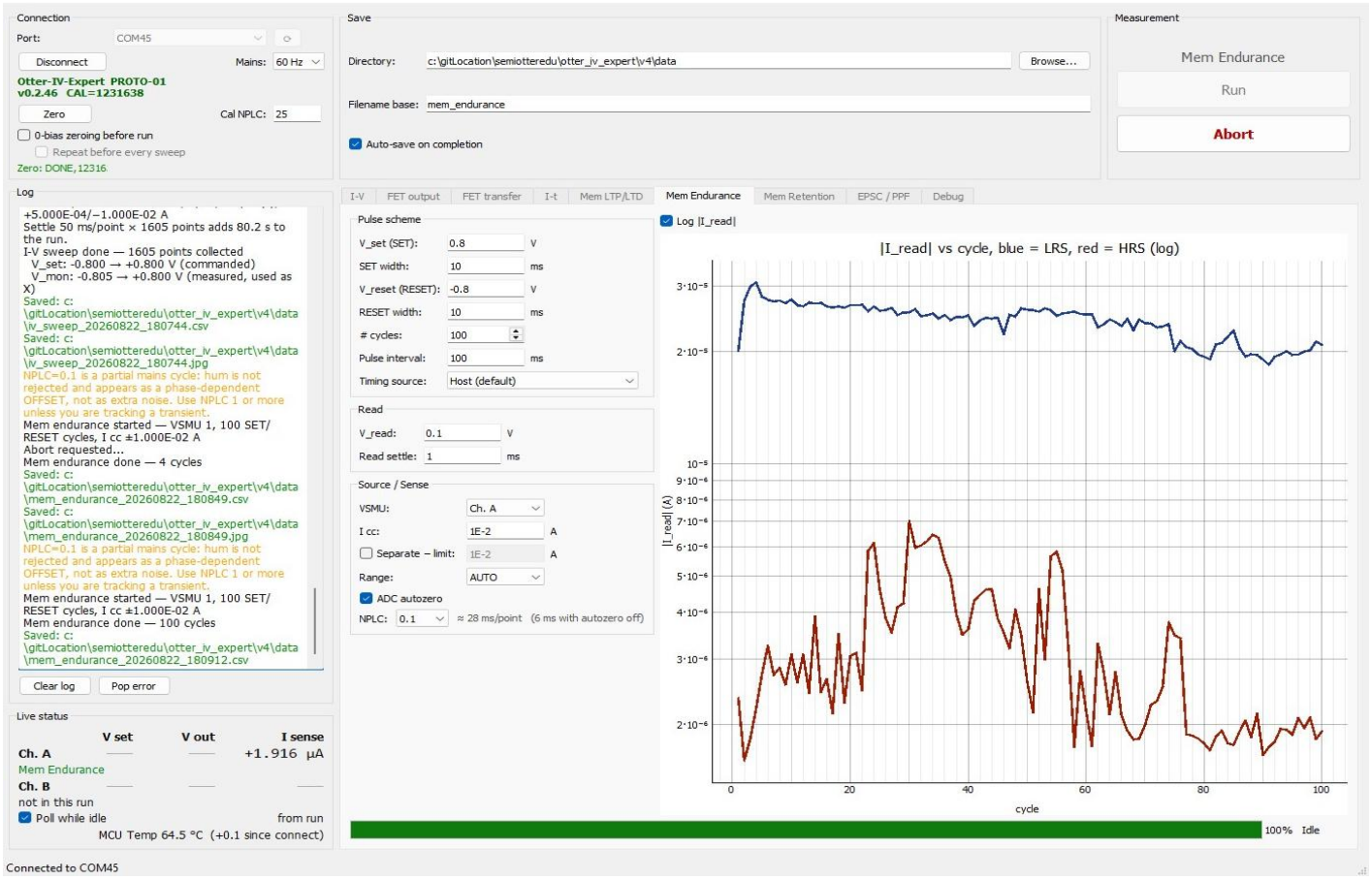
- **V_read / Read settle:** SET과 RESET을 인가한 뒤 저항을 읽기 위한 전압과 대기 시간입니다. 소자의 상태를 바꾸지 않을 만큼 작은 전압을 사용해 주십시오.

결과를 읽는 방법

가로축은 반복 횟수이고 세로축은 읽기 전류입니다. 파란색이 LRS, 붉은색이 HRS이며, 두 곡선의 간격이 좁아지기 시작하는 지점까지가 소자가 두 상태를 구분해서 유지한 횟수입니다.

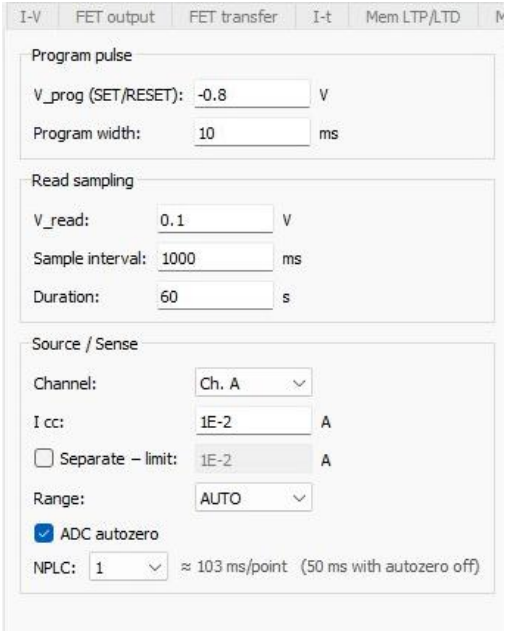
Mem Endurance

주요 측정 예 (100 cycle)



세로축은 로그 눈금입니다. HRS와 LRS의 비가 클수록, 그리고 그 비가 오래 유지될수록 좋은 소자입니다.

Mem Retention



SET 또는 RESET으로 소자를 한 상태로 만든 뒤, 그 상태가 시간이 지나면서 얼마나 유지되는지 측정합니다.

Program pulse

- **V_prog (SET/RESET):** 소자를 원하는 상태로 만들기 위해 인가하는 전압입니다. 양의 값을 넣으면 SET, 음의 값을 넣으면 RESET 방향입니다.
- **Program width:** 이 전압을 인가하는 시간입니다.

Read sampling

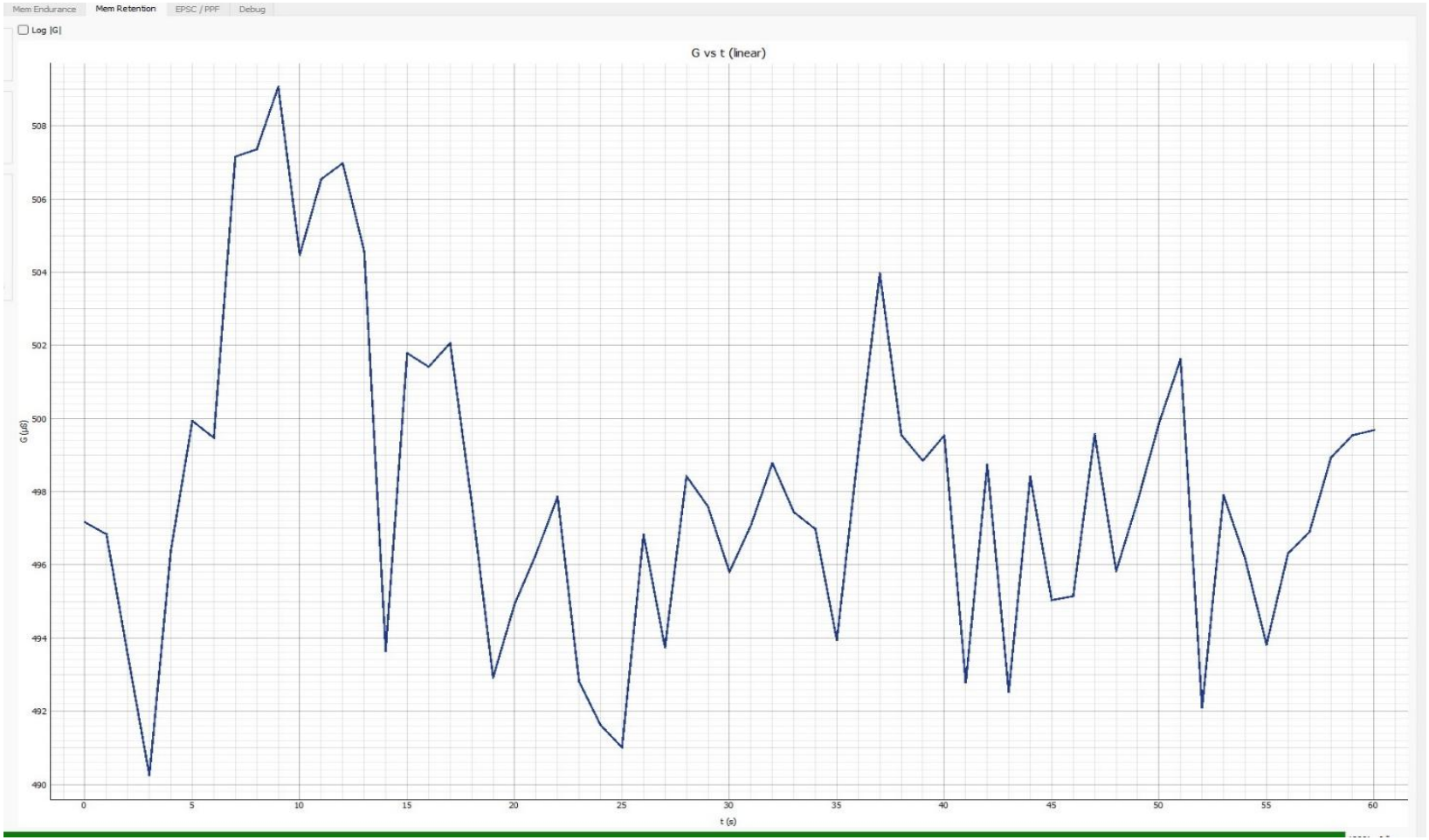
- **V_read:** 상태를 반복해서 읽기 위해 인가하는 전압입니다.
- **Sample interval:** 읽기와 읽기 사이의 간격입니다.
- **Duration:** 총 측정 시간입니다.

측정할 때 유의할 점

Duration이 길어지면 기기 내부 온도가 변하면서 전류 영점이 함께 움직입니다. 오래 측정하는 경우에는 측정을 시작하기 전에 Zero를 실행하고, Live Status의 MCU Temp 변화를 함께 확인해 주십시오.

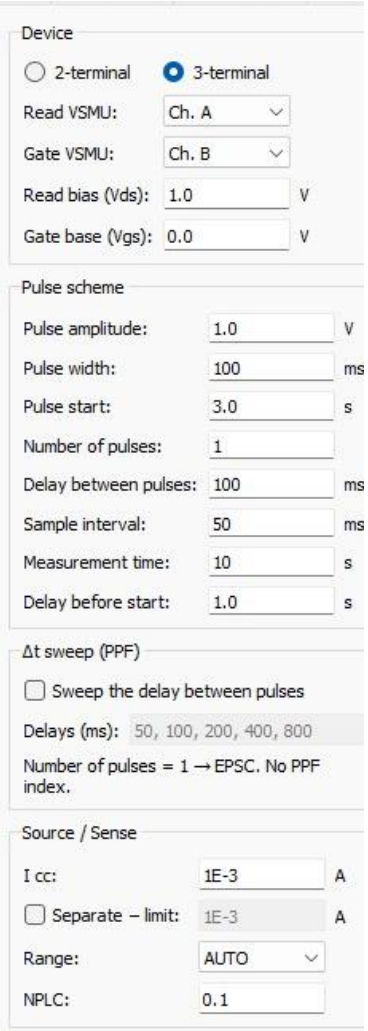
Mem Retention

주요 측정 예 (60초 측정, 1초 간격)



가로축은 시간이고 세로축은 컨덕턴스입니다. 상태가 유지되는지 여부와 함께, 읽기 자체가 소자의 상태를 바꾸지는 않는지도 확인할 수 있습니다.

EPSC/PPF



펄스를 인가한 뒤에 나타나는 전류의 과도 응답을 측정합니다. 펄스를 한 번만 인가하면 EPSC 측정이 되고, 두 번 이상 인가하면서 간격을 바꾸면 PPF를 확인할 수 있습니다.

Device

- **2-terminal / 3-terminal:** 측정할 소자의 단자 수를 선택합니다.
- **Read VSMU / Gate VSMU:** 읽기 단자와 게이트에 연결한 채널을 지정합니다.
- **Read bias (Vds) / Gate base (Vgs):** 측정하는 동안 유지할 읽기 전압과 게이트 기준 전압입니다.

Pulse scheme

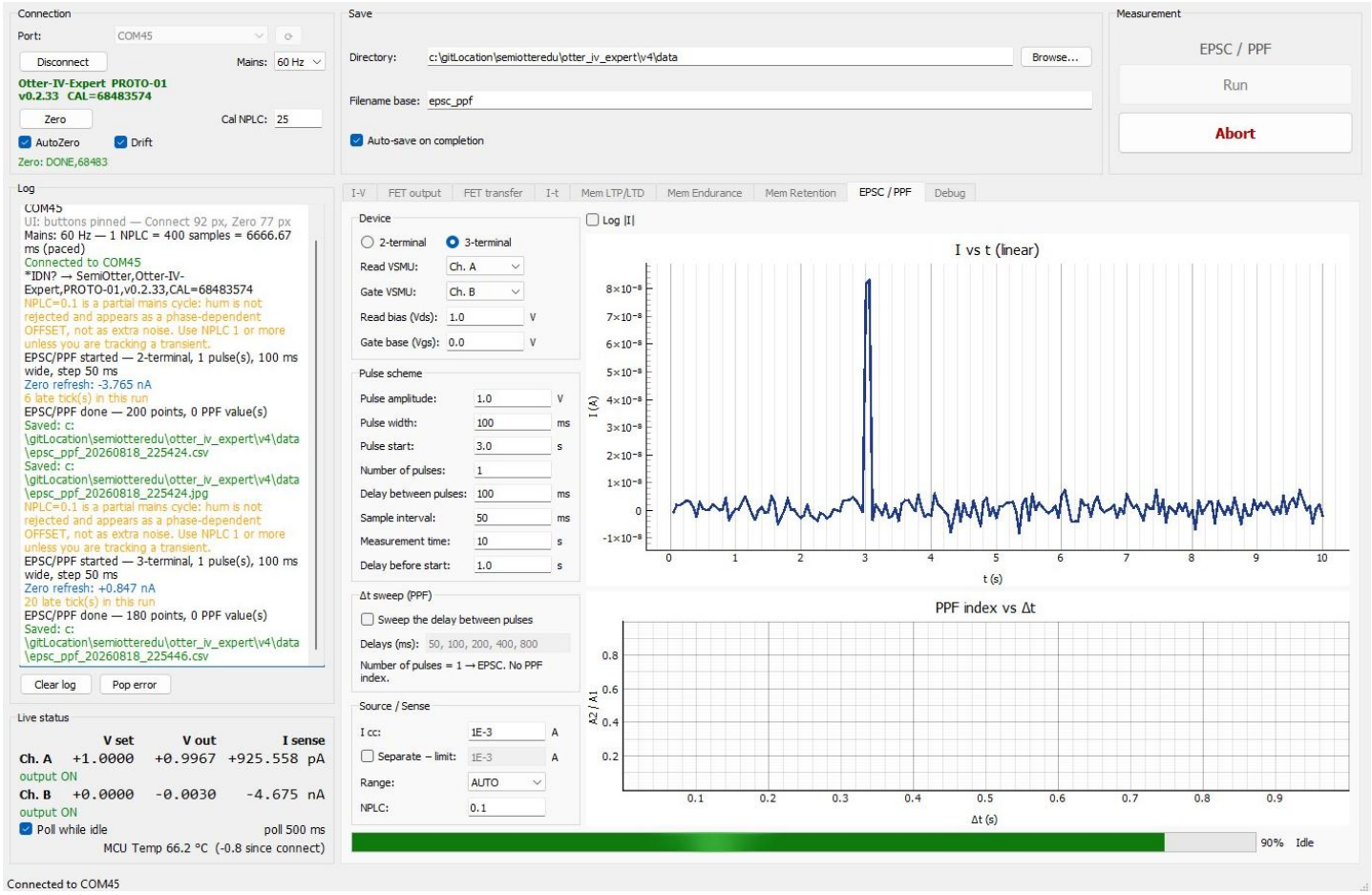
- **Pulse amplitude / Pulse width:** 인가하는 펄스의 전압과 폭입니다.
- **Pulse start:** 측정을 시작한 뒤 첫 펄스를 인가하기까지의 시간입니다.
- **Number of pulses:** 펄스의 개수입니다. 1로 두면 EPSC 측정이 되며 PPF 지수는 계산되지 않습니다.
- **Delay between pulses:** 펄스와 펄스 사이의 간격입니다. PPF 지수는 이 값에 따라 달라집니다.
- **Sample interval / Measurement time:** 전류를 측정하는 간격과 전체 측정 시간입니다.
- **Delay before start:** 측정을 시작하기 전에 대기하는 시간입니다.

Δt sweep (PPF)

- **Sweep the delay between pulses:** 체크하면 아래에 입력한 간격마다 측정을 반복하여 PPF 지수를 Δt에 대한 곡선으로 얻습니다.
- **Delays (ms):** 확인하려는 간격을 콤마로 구분하여 입력합니다.

EPSC/PPF

주요 측정 예 (3-terminal, 펄스 1회, 100 ms)



위쪽은 시간에 대한 전류이며, Pulse start로 지정한 시점에 나타난 과도 전류를 볼 수 있습니다. 아래쪽은 Δt에 대한 PPF 지수이며, 펄스를 한 번만 인가했으므로 값이 계산되지 않았습니다.

(참고) 로그의 경고 메시지

측정 중에 아래와 같은 주황색 경고가 로그에 나타나는 경우가 있습니다. 측정이 실패한 것은 아니지만, 결과를 해석할 때 알고 있어야 하는 내용입니다.

"NPLC=0.5 is a partial mains cycle: hum is not rejected and appears as a phase-dependent OFFSET, not as extra noise."

NPLC를 1보다 작은 값으로 두면 전원 주기의 일부만 적분하게 됩니다. 이 경우 전원에서 오는 노이즈가 잡음이 아니라 위상에 따라 달라지는 오프셋으로 나타나므로, 측정값이 실제보다 치우칠 수 있습니다. 빠른 과도 현상을 추적하는 경우가 아니라면 NPLC를 1 이상으로 설정해 주십시오.

"N pulse(s) started late. Requested 100 ms between pulses, achieved ... mean."

펄스의 시간을 제어 컴퓨터가 관리하기 때문에, 다른 작업의 영향으로 펄스가 예정보다 늦게 시작되는 경우가 있습니다. 이때 펄스와 펄스 사이의 이완 시간이 설정한 값과 달라지므로, 이완 시간에 민감한 실험에서는 해석에 주의해야 합니다. 요청한 시간과 실제로 걸린 시간이 모두 md 메타데이터 파일에 기록되므로, 필요한 경우 그 값을 확인해 주십시오.

재교정과 문의

재교정

공장 캘리브레이션 성적서에 기재된 권장 재점검 주기는 12개월입니다. 측정값이 의심스럽거나 영점이 크게 흔들리는 경우에는 주기와 관계없이 문의해 주십시오.

이 성적서는 공인 교정 성적서가 아닙니다. 국가 표준으로 소급되는 교정이 필요한 경우에는 공인 교정 기관에 의뢰해 주시기 바랍니다.

문의

주식회사 세미오터에듀 (Semi Otter Edu Co., Ltd)
hoh@semiotteredu.com

제품 이상을 문의하실 때에는 기기의 시리얼 번호와 함께, 해당 측정에서 저장된 md 파일을 보내 주시면 원인을 파악하는 데 도움이 됩니다.