KISLab IVL-workspace 사용자 매뉴얼

문서 번호 K26-OD-198

프로그램 버전 v1.3.0.0

2026. 09

KISLab
Korea Imaging Spectroscopy Laboratory

목차

1. 프로그램 소개 1
1.1 프로그램 개요 1
1.2 주요 기능 1
1.3 지원 장비 1
1.4 측정 시스템 구성 1
1.5 기본 측정 흐름 1
2. 설치 및 실행 2
2.1 권장 PC 환경 2
2.2 CS-3000 소프트웨어 및 드라이버 2
2.3 Keithley VISA 환경 2
2.4 배포 폴더 구성 2
2.5 최초 실행 2
2.6 프로그램 버전 확인 2
2.7 신규 PC 설치 권장 순서 2
2.8 배포 폴더 검수표 3
3. 메인 화면 4
3.1 전체 화면 구성 4
3.2 좌측 메뉴 4
3.3 장비 및 측정 상태 표시 4
3.4 프로그램 정보 4
3.5 프로그램 종료 4
3.6 화면 해상도와 반응형 구성 5
3.7 작업자가 항상 확인해야 하는 세 영역 5
3.8 기본 화면 판독 예시 5
4. 장치 연결 6
4.1 연결 전 확인사항 6
4.2 CS-3000 검색 및 연결 6
4.3 Keithley VISA 리소스 검색 및 연결 6
4.4 USB 카메라 검색 및 연결 6
4.5 장치 연결 상태 확인 6
4.6 Remote ON/OFF 6
4.7 장치 연결 해제 6
4.8 연결 실패 시 조치 6
4.9 장치 연결 표준 작업 절차 7
4.10 정상 연결 판정표 7
4.11 재연결이 필요한 경우 7
5. CS-3000 설정 8
5.1 장치 설정 자동 읽기 8
5.2 장치 설정 수동 읽기 8

5.3 측정각 개요 8
5.4 측정각 0.1° 9
5.5 측정각 0.2° 9
5.6 측정각 1° 10
5.7 CMF 2°/10° 10
5.8 측정 및 노출 관련 설정 10
5.9 Sync 설정 10
5.10 Close-up Lens 설정 10
5.11 ND Filter 설정 10
5.12 액세서리 동시 적용 제한 11
5.13 교정파일 선택 11
5.14 교정파일 업로드 11
5.15 액세서리 ID와 교정일 확인 11
5.16 설정 적용 및 읽기 검증 11
5.17 CS-3000 설정 화면 읽는 순서 11
5.18 Measurement speed 상세 운용 12
5.19 Close-up Lens · ND Filter 교정 작업 절차 12
6. Keithley 설정 13
6.1 지원 모델 13
6.2 전압 Source 설정 13
6.3 전류 Source 설정 13
6.4 전압·전류 Range 13
6.5 Auto Limit 13
6.6 사용자 Limit 설정 13
6.7 NPLC 13
6.8 Auto Zero 13
6.9 2-Wire/4-Wire 13
6.10 음전압·음전류 13
6.11 Interlock 및 Limit 경고 13
6.12 Output과 Remote 상태 14
6.13 Keithley 설정 화면 실무 해설 14
6.14 전압제어와 전류제어의 보호 기준 14
6.15 2-Wire와 4-Wire 선택 절차 14
6.16 음수 Source 운용 주의사항 15
6.17 연결과 종료 시 안전 명령 15
7. 일반 측정 16
7.1 일반 측정 개요 16
7.2 전압제어 측정 16
7.3 전류제어 측정 16
7.4 CS-3000 only 측정 17
7.5 측정 간격 17
7.6 측정 횟수 17
7.7 발광 면적 17
7.8 측정 시작 17

7.9 측정 정지 17
7.10 장시간 및 수명 측정 17
7.11 전압제어 실제 입력 순서 18
7.12 전류제어 실제 입력 순서 19
7.13 CS-3000 only 사용 예 19
7.14 측정 간격의 시간 관계 20
7.15 일반 측정 시작 전 체크리스트 20
8. 연속 측정 21
8.1 Sweep 측정 개요 21
8.2 전압 Sweep 21
8.3 전류 Sweep 22
8.4 시작값과 1차 간격 22
8.5 발광 시작값 22
8.6 발광 구간 간격 22
8.7 종료값 22
8.8 2차 종료값과 2차 간격 22
8.9 안정화 시간 22
8.10 총 측정 포인트 23
8.11 발광 전 Keithley 단독 측정 23
8.12 발광 후 CS-3000 동시 측정 23
8.13 Sweep 조건 저장 23
8.14 Sweep 조건 불러오기 23
8.15 전압 Sweep 조건 구성 예 23
8.16 전류 Sweep 조건 구성 예 24
8.17 포인트 생성 규칙 확인 24
8.18 발광 시작 전후 데이터 처리 24
8.19 안정화 시간 검증 24
8.20 Sweep 조건 파일 관리 25
9. 측정 제어 화면 26
9.1 장비 상태 카드 26
9.2 측정 진행 상태 26
9.3 실행 단계 26
9.4 최신 측정값 카드 26
9.5 실시간 차트 26
9.6 전압 모드 X축 26
9.7 전류 모드 X축 26
9.8 CS-3000 only 및 불러온 데이터의 번호축 26
9.9 차트 항목 선택 26
9.10 자동 스케일과 축 눈금 26
9.11 카메라 미리보기 27
9.12 카메라 이미지 캡처 28
9.13 측정 제어 화면의 표준 확인 순서 28
9.14 상태 카드 판독 28
9.15 실행 단계가 오래 머무를 때 29

9.16 일반 측정과 Sweep 차트의 차이 29
9.17 최신 측정값 카드 활용 29
9.18 측정 중 허용되는 조작 29
10. 측정 데이터 30
10.1 측정 데이터 화면 30
10.2 번호와 RUN ID 30
10.3 측정조건 구분 30
10.4 Keithley 측정값 30
10.5 CS-3000 측정 항목 30
10.6 계산 결과 30
10.7 노출 시간 31
10.8 측정 소요 시간 31
10.9 측정 시각 31
10.10 ER code 31
10.11 데이터 누적과 스크롤 31
10.12 한 행을 읽는 방법 31
10.13 RUN ID를 이용한 비교 32
10.14 공란과 숫자 0의 차이 32
10.15 시간 열의 상호 관계 32
10.16 포화 또는 CS-3000 오류 행 32
10.17 데이터 검증 순서 32
11. 스펙트럼 33
11.1 스펙트럼 데이터 구조 33
11.2 380~780 nm 데이터 33
11.3 측정별 데이터 누적 33
11.4 스펙트럼 그래프 33
11.5 그래프 선택 및 강조 33
11.6 파장대 컬러 매핑 33
11.7 CS-3000 미측정 포인트의 공란 처리 34
11.8 스펙트럼 화면을 읽는 순서 34
11.9 파장축과 세기축 판독 34
11.10 컬러 매핑의 의미 34
11.11 번호 선택과 다른 탭의 연계 34
11.12 비정상 스펙트럼 판정 예 35
11.13 Excel 스펙트럼과의 대조 35
12. 색좌표 36
12.1 색좌표 화면 36
12.2 CIE 1931 xy 36
12.3 CIE 1976 u′v′ 36
12.4 Lv 및 좌표 데이터 36
12.5 시료 번호 선택과 강조 36
12.6 Excel 색좌표 차트 36
12.7 색좌표 화면 판독 절차 36
12.8 xy와 u′v′의 용도 37

12.9 좌표가 표시되지 않는 경우 37
12.10 색좌표 검증 37
13. 데이터 저장 및 불러오기 38
13.1 저장 형식 38
13.2 Excel 저장 38
13.3 측정 데이터 시트 38
13.4 스펙트럼 시트 38
13.5 측정 조건 시트 38
13.6 색좌표 시트 38
13.7 IVL JSON 저장 38
13.8 측정파일 불러오기 38
13.9 새 측정 시 저장 확인 38
13.10 프로그램 종료 시 저장 확인 38
13.11 저장 실패 대응 38
13.12 권장 파일명과 폴더 구성 39
13.13 Excel 통합 문서 구성 39
13.14 숫자형 저장 확인 39
13.15 IVL JSON의 역할 40
13.16 불러온 데이터의 표시 규칙 40
13.17 저장 전후 검수 절차 40
13.18 저장 실패 시 데이터 보호 40
14. 자동 복구 41
14.1 복구 기능 개요 41
14.2 복구파일 생성 시점 41
14.3 복구 데이터 범위 41
14.4 복구파일 불러오기 41
14.5 복구파일 보관기간 41
14.6 정상 저장과 복구파일의 차이 41
14.7 자동 복구의 동작 흐름 41
14.8 복구가 필요한 상황 41
14.9 복구 절차 41
14.10 복구 후 측정 재개 원칙 42
14.11 장기 측정과 보관 정책 42
15. 로그와 진단 43
15.1 로그 폴더 구조 43
15.2 통신 로그 43
15.3 오류 로그 43
15.4 실행 및 비정상 종료 기록 43
15.5 RUN ID를 이용한 추적 43
15.6 안정화 시간 확인 방법 43
15.7 로그 보관기간 43
15.8 기술지원용 로그 준비 43
15.9 실제 저장 위치 43
15.10 통신 로그의 기본 판독 순서 44

15.11 안정화 시간 로그 검증 예 44
15.12 오류 로그와 진단 로그의 차이 44
15.13 정상 종료 로그 확인 44
15.14 로그 제공 시 보안과 원본 보존 44
16. 오류 및 예외 대응 45
16.1 CS-3000 포화 45
16.2 포화 시 자동 재측정 45
16.3 저휘도와 장시간 노출 45
16.4 CS-3000 응답 Timeout 45
16.5 필드 부족과 데이터 누락 45
16.6 셔터 및 다크 측정 이상 45
16.7 CS-3000 통신 오류 45
16.8 Keithley VISA 오류 45
16.9 Keithley Limit 및 Interlock 경고 45
16.10 카메라 점유 오류 45
16.11 카메라 연결 해제 45
16.12 저장 및 파일 오류 45
16.13 프로그램 비정상 종료 46
16.14 오류 대응의 기본 원칙 46
16.15 CS-3000 오류별 사용자 조치표 46
16.16 최초 측정이 오래 걸리는 경우 46
16.17 Keithley 연결 실패 대응 46
16.18 Limit by Interlock 경고 대응 46
16.19 저장 오류 대응 절차 47
16.20 카메라 오류 격리 47
16.21 문제 재현 기록 양식 47
17. 안전한 종료 48
17.1 측정 정지 48
17.2 Keithley Output OFF 48
17.3 Keithley Remote OFF 48
17.4 CS-3000 Remote OFF 48
17.5 카메라 해제 48
17.6 정상 종료 48
17.7 강제 종료 후 점검 48
17.8 정상 종료 상세 절차 48
17.9 종료 버튼과 X 버튼 48
17.10 프로그램이 응답하지 않을 때 49
17.11 강제 종료가 장치를 해제하지 못하는 이유 49
17.12 종료 후 확인 체크리스트 49
18. 유지관리 50
18.1 프로그램 업데이트 50
18.2 파일 버전 관리 50
18.3 폴더 백업 50
18.4 설정 파일 관리 50

18.5 교정파일 관리 50
18.6 로그와 복구파일 정리 50
18.7 정기 점검 권장 항목 50
18.8 프로그램 업데이트 전 회귀시험 50
18.9 장비 또는 PC 변경 시 51
18.10 교정파일 변경 관리 51
18.11 사용자 설정 백업 범위 51
부록 A. 기본 측정 조건 52
부록 B. 측정 항목 및 단위 52
부록 C. CS-3000 측정 항목 52
부록 D. 주요 계산 결과 52
부록 E. CS-3000 ER code 53
부록 F. 저장 파일 구조 53
부록 G. 프로그램 데이터 폴더 구조 53
부록 H. 통신 로그 읽는 방법 54
부록 I. 문제 해결 체크리스트 54
부록 J. 기술지원 정보 55

1. 프로그램 소개

1.1 프로그램 개요

KISLab IVL-workspace는 Keithley 2450/2460으로 전압 또는 전류를 인가하고 CS-3000으로 휘도·색도·스펙트럼을 취득해 IVL 및 효율 결과를 표시·저장하는 Windows 프로그램입니다. 장비 연결, 설정 readback, 일반 측정, Sweep, 결과 검토, 자동 복구와 진단을 하나의 흐름으로 제공합니다.

1.2 주요 기능

- 전압제어·전류제어 반복 측정 및 CS-3000 only
- 전압·전류 Sweep과 2차 구간
- 발광 전 Keithley 단독, 발광 후 CS-3000 동시 측정
- 실시간 차트, 누적 데이터, 401개 스펙트럼, xy/u′v′ 색좌표
- Excel·IVL JSON 저장, 자동 복구, 통신·오류 로그
- 측정과 독립된 USB 카메라 미리보기·단일 이미지 캡처

1.3 지원 장비

KONICA MINOLTA CS-3000은 직렬 통신, Keithley 2450/2460은 VISA 리소스로 연결합니다. 카메라는 Windows Media Foundation 호환 USB 장치를 사용합니다. 다른 계측기 모델은 SCPI와 측정 범위 호환성을 별도로 검증해야 합니다.

1.4 측정 시스템 구성

PC는 각 장치를 독립 서비스로 관리합니다. 카메라 미연결·점유·프레임 오류는 CS-3000/Keithley 측정을 중단하지 않습니다. 데이터 저장도 장비 응답 처리와 분리되어 있으나 디스크 공간은 측정 전에 확보해야 합니다.

1.5 기본 측정 흐름

1. 장치 검색·연결과 Output OFF 확인
2. CS-3000 설정 자동 읽기 및 Keithley 조건 확인
3. 측정 모드·조건·발광 면적·limit 입력
4. 예상 포인트와 극성 확인
5. 측정 시작, 실행 단계와 ER code 감시
6. 결과·스펙트럼·색좌표 검토
7. Excel 또는 IVL JSON 저장
8. 정상 종료와 장비 Remote 해제 확인

2. 설치 및 실행

2.1 권장 PC 환경

Windows 10/11 64-bit, 1920×1080을 권장하며 최소 1280×760에서도 측정 시작·정지 등 주요 조작부가 표시됩니다. 장시간 측정 PC는 절전, USB 선택적 절전, 자동 업데이트 재시작을 해제하거나 운영 정책에 맞게 예약하십시오.

2.2 CS-3000 소프트웨어 및 드라이버

CS-S30 등 제조사 번들과 직렬 통신 드라이버를 설치합니다. 번들에서 통신 가능 여부를 먼저 확인하면 케이블·드라이버와 본 프로그램 문제를 구분할 수 있습니다. KISLab 프로그램 사용 전에는 동일 COM 포트를 점유할 수 있는 번들을 종료합니다.

2.3 Keithley VISA 환경

Keithley I/O Layer 또는 호환 VISA Runtime과 Configuration Wizard가 필요합니다. 리소스가 검색되지 않으면 장치 관리자 → 케이블 → VISA 구성 도구 → 프로그램 리소스 검색 순서로 확인합니다.

2.4 배포 폴더 구성

배포본은 EXE뿐 아니라 DLL, 런타임, 리소스를 포함한 전체 게시 폴더입니다. 파일 수가 많아도 임의 삭제하지 마십시오. 자체 포함 배포는 대상 PC의 .NET 설치 부담을 줄이는 대신 용량이 증가합니다.

2.5 최초 실행

KISLab_IVL-workspace.exe를 실행하면 장치 연결 화면으로 시작합니다. 마지막 COM/VISA 선택과 입력 조건은 유지될 수 있지만 Output ON이나 측정은 자동으로 시작되지 않습니다.

2.6 프로그램 버전 확인

좌측 KISLab IVL-workspace 정보에서 제품명과 파일 버전을 확인합니다. 실행 파일 속성, 정보 창, 배포 폴더명이 같은 버전을 나타내야 합니다. 기술지원 요청에는 이 버전을 함께 기록합니다.

2.7 신규 PC 설치 권장 순서

신규 PC에서는 장비 프로그램과 드라이버를 한꺼번에 설치한 뒤 원인을 추적하기보다 다음 순서로 단계별 확인하는 편이 안전합니다.

1. Windows 업데이트와 USB 칩셋 드라이버를 완료합니다.
2. CS-S30 및 CS-3000 직렬 통신 환경을 설치합니다.
3. 제조사 번들에서 CS-3000 연결과 설정 읽기를 확인하고 프로그램을 완전히 종료합니다.
4. Keithley I/O Layer·VISA Runtime·Configuration Wizard를 설치합니다.
5. Configuration Wizard 또는 제조사 도구에서 `*IDN?` 응답을 확인합니다.
6. KISLab IVL-workspace 게시 폴더 전체를 복사합니다.

7. 관리자 권한 없이 실행하고 로그·복구 폴더 생성 여부를 확인합니다.
8. 실제 시료를 연결하기 전에 장치 검색과 Remote ON/OFF만 시험합니다.

확인 제조사 번들 프로그램과 KISLab IVL-workspace를 동시에 실행하면 같은 COM/VISA 세션을 점유할 수 있습니다. 연결 시험을 마친 제조사 프로그램은 작업 관리자에 백그라운드 프로세스가 남지 않도록 종료하십시오.

2.8 배포 폴더 검수표

점검 항목:	정상 기준
실행 파일:	제품명과 아이콘이 올바르게 표시됨
파일 버전:	프로그램 정보와 속성의 버전이 일치함
DLL·리소스:	게시 결과의 파일과 하위 폴더가 빠짐없이 존재함
실행 권한:	일반 사용자 계정으로 실행 가능함
데이터 경로:	LocalAppData 아래 설정·로그·복구 폴더 생성 가능
드라이버:	CS-3000 COM 포트와 Keithley VISA 리소스 검색 가능
화면:	1920×1080 및 최소 1280×760에서 주요 버튼 확인 가능

3. 메인 화면

3.1 전체 화면 구성

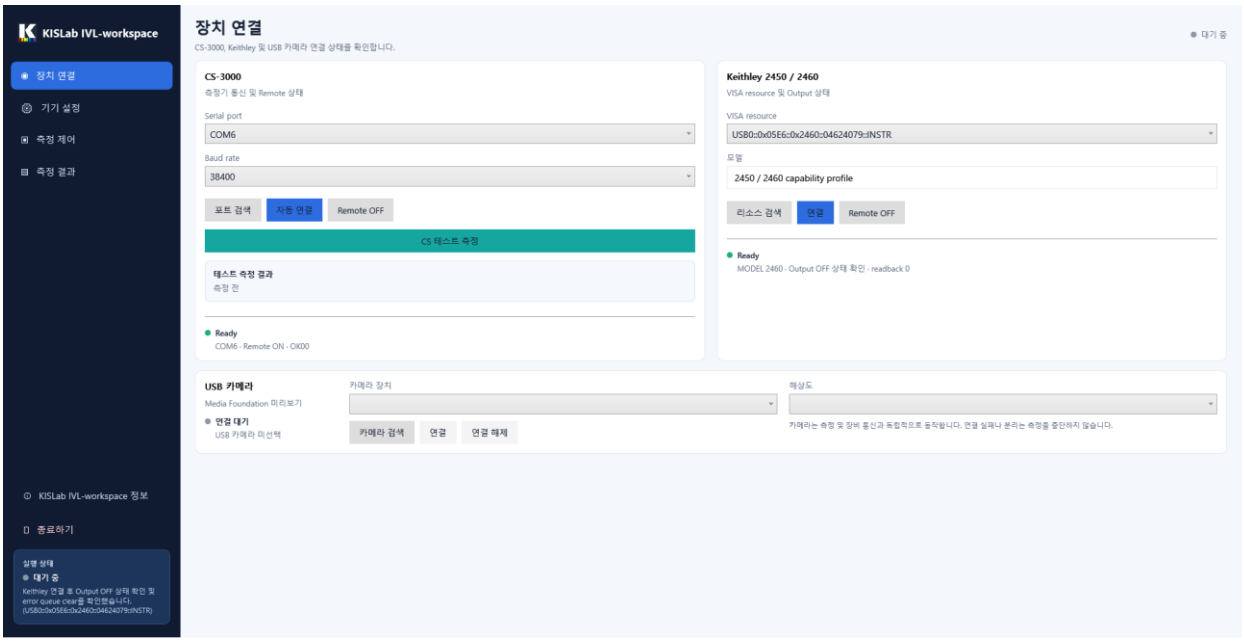

Figure: 그림 3-1 장비 Ready 상태의 장치 연결 화면

좌측 메뉴, 상단 제목·상태, 중앙 작업 영역, 좌측 하단 실행 상태로 구성됩니다. 위 화면은 실제 COM6 CS-3000과 Keithley 2460 연결 상태이며 Keithley Output readback은 0입니다.

3.2 좌측 메뉴

장치 연결 → 기기 설정 → 측정 제어 → 측정 결과 순서입니다. 측정 중에는 조건 또는 연결 상태를 바꿀 수 있는 메뉴를 제한하고 정지 버튼을 우선합니다.

3.3 장비 및 측정 상태 표시

녹색 LED는 Ready/완료, 회색은 대기·미연결, 오류 상태는 상세 문구와 함께 표시됩니다. 저장 실패처럼 측정 완료와 다른 상태는 완료 LED만으로 판단하지 말고 상세 문구를 확인합니다.

3.4 프로그램 정보

제품명, 설명, 파일 버전, 홈페이지, 지원 연락처를 표시합니다. 프로그램 정보 창이 열리지 않으면 오류 로그와 어셈블리 메타데이터를 점검합니다.

3.5 프로그램 종료

좌측 종료하기와 X 버튼은 동일한 종료 절차를 사용합니다. 미저장 결과가 있으면 한 번 저장 여부를 묻고 장치 해제를 순차 실행합니다.

3.6 화면 해상도와 반응형 구성

1920×1080에서 세로 스크롤을 최소화합니다. 창 높이가 줄면 조건 상자 내부가 스크롤되고 시작·정지 버튼은 하단에 유지됩니다. 표시 배율로 잘리면 100~125%에서 확인하십시오.

3.7 작업자가 항상 확인해야 하는 세 영역

첫째, 좌측 하단 실행 상태는 프로그램 전체의 최근 작업 결과를 요약합니다. 둘째, 상단 장비 카드는 장치별 연결·Remote·Output 상태를 표시합니다. 셋째, 중앙 실행 단계는 현재 포인트가 어느 단계에 있는지 보여줍니다. 세 영역의 문구가 서로 다를 수 있으므로 LED 색 하나만으로 정상 여부를 판단하지 않습니다.

예를 들어 측정 자체는 완료됐지만 열린 Excel 파일 때문에 내보내기에 실패하면 측정 진행은 완료여도 저장 상태는 오류가 됩니다. 이 경우 결과를 다시 측정하지 말고 파일 점유를 해제한 뒤 저장만 재시도합니다.

3.8 기본 화면 판독 예시

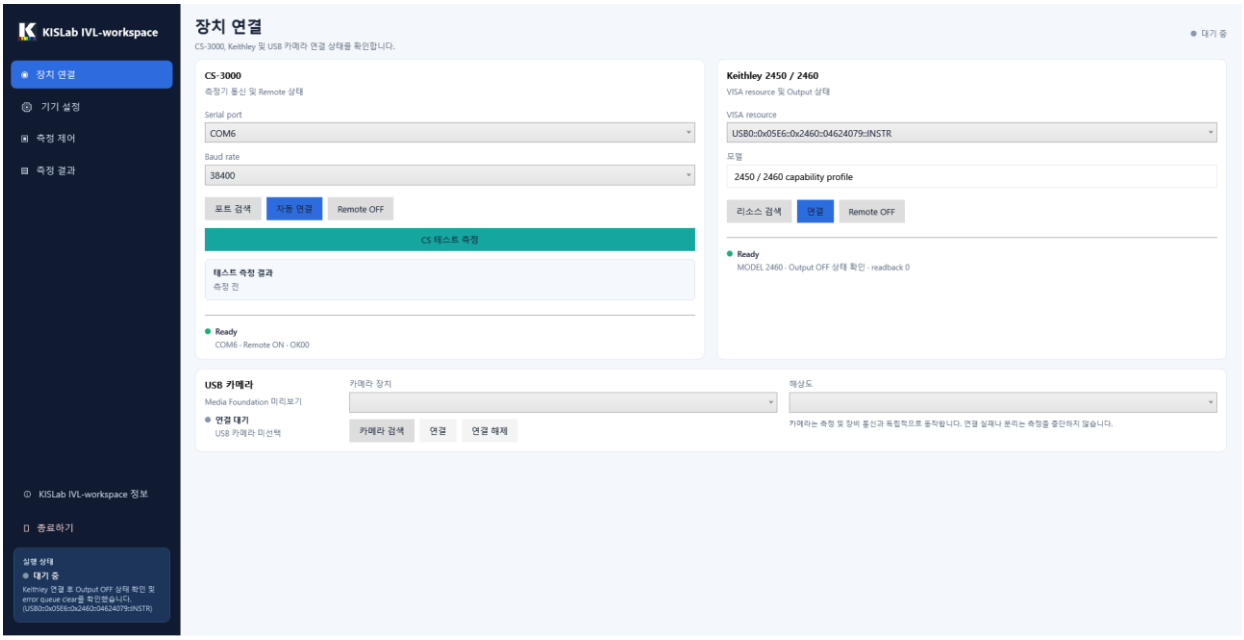

Figure: 그림 3-2 CS-3000 및 Keithley 연결 상태

위 화면에서 CS-3000은 COM6에서 Remote ON·OK00, Keithley 2460은 Output OFF readback 0입니다. USB 카메라는 선택되지 않아 연결 대기이지만 계측기 측정에는 영향을 주지 않습니다.

4. 장치 연결

4.1 연결 전 확인사항

- Keithley 전면 패널 Output OFF
- CS-3000 전원·직렬 케이블·COM 포트
- 제조사 번들 및 카메라 앱 종료
- 프로브 극성, 시료 단락 여부, limit
- 저장 디스크와 PC 시간
- 장비 모델명과 시리얼 번호 일치 여부

4.2 CS-3000 검색 및 연결

포트 검색으로 목록을 갱신하거나 자동 연결을 사용합니다. 후보 포트마다 장비 확인과 Remote ON 응답을 검증하며 정상 시 COM# · Remote ON · IDDR OK00 · 모델명 · 시리얼번호를 순차적으로 표시합니다. 연결 직후 장치 설정 읽기를 자동 실행합니다.

4.3 Keithley VISA 리소스 검색 및 연결

리소스 검색 후 올바른 USB/GPIB 주소를 선택하고 연결을 누릅니다. 연결 과정에서 Output 상태를 읽고, ON이면 안전하게 OFF한 뒤 재확인합니다. 연결 상태는 모델명 · 시리얼 번호 · Output OFF · readback 0입니다.

4.4 USB 카메라 검색 및 연결

카메라 검색 후 장치와 해상도를 선택합니다.

4.5 장치 연결 상태 확인

CS-3000과 Keithley가 Ready인지, Keithley가 Output OFF인지 각각 확인합니다. 카메라는 선택 사항이므로 연결 대기여도 측정 기능은 정상입니다.

4.6 Remote ON/OFF

Remote ON은 PC 제어권 확보 상태입니다. Remote OFF는 장비를 Local/연결 대기로 복귀시킵니다. CS-3000과 Keithley 모두 같은 문구를 사용하되 Keithley는 Output OFF를 먼저 수행합니다.

4.7 장치 연결 해제

Keithley는 Output OFF → readback 0 → 연속 측정 Local 복귀 → Remote 해제 순서입니다. CS-3000은 진행 중 응답을 정리한 뒤 RMTS,0을 보내고 OK00을 확인합니다. 카메라 해제 실패는 장비 해제를 막지 않습니다.

4.8 연결 실패 시 조치

다른 앱의 포트 점유를 해제하고 케이블·전원을 확인 후 다시 검색합니다. 올바른 VISA 리소스와 COM 포트를 확인합니다. CS-3000이 Remote ON에 남아 재연결되지 않으면 장비에서 Local/Remote OFF 후 시도합니다.

4.9 장치 연결 표준 작업 절차

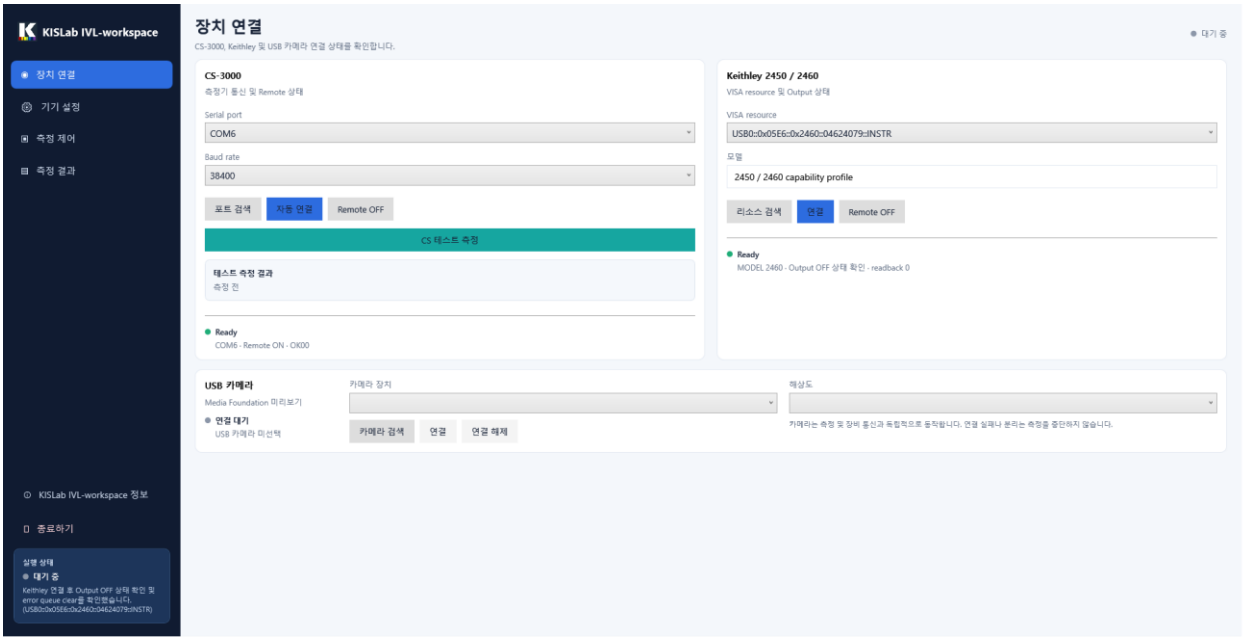

Figure: 그림 4-1 장치 연결 화면의 포트·리소스·상태 표시

1. Keithley 전면 패널에서 OUTPUT 표시가 꺼져 있는지 봅니다.
2. CS-3000의 전원이 켜지고 부팅이 완료될 때까지 기다립니다.
3. `포트 검색`과 `리소스 검색`을 각각 한 번 실행합니다.
4. 마지막 사용값이 실제 장치와 일치하는지 COM/VISA 문자열을 확인합니다.
5. CS-3000은 `자동 연결`, Keithley는 `연결`을 누릅니다.
6. CS-3000의 `Remote ON · OK00`과 Keithley의 `Output OFF · readback 0`을 확인합니다.
7. 기기 설정으로 이동해 CS-3000 설정 항목들을 확인합니다.
8. **주의** Keithley 연결 과정에서 Output이 ON으로 읽히면 프로그램은 OFF 명령과 재확인을 수행합니다. 그래도 OFF가 확인되지 않으면 연결 완료로 간주하지 않습니다. 사용자는 시료를 분리하고 장비 전면 패널에서 상태를 직접 확인해야 합니다.

4.10 정상 연결 판정표

장치	정상 표시	추가 확인
CS-3000	Ready, Remote ON, IDDR OK00, 모델명, 시리얼#	포트 번호와 자동 설정 읽기 완료
Keithley	Ready, 모델명, 시리얼#, Output OFF, readback 0	error queue clear
USB 카메라	Ready 또는 연결 대기	선택 장치이므로 미연결도 측정 가능

4.11 재연결이 필요한 경우

케이블을 다시 꽂았거나 장비 전원을 재부팅한 경우 기존 UI의 Ready 문구만 믿지 말고 Remote OFF 또는 프로그램 재실행 후 다시 검색합니다. CS-3000이 장비 화면에서는 Remote인데 프로그램이 연결 실패를 표시하면 이전 세션이 완전히 해제되지 않았을 수 있습니다. 장비에서 Local로 복귀시킨 뒤 새 세션을 여십시오.

5. CS-3000 설정

5.1 장치 설정 자동 읽기

연결 직후 속도, Dark, Internal/External ND, Sync, CMF, 측정각, Lens를 읽습니다. 아래 화면은 실제 장비 readback으로 Fast, Standard dark, Internal ND AUTO, CMF 2°, 측정각 0.2°입니다.

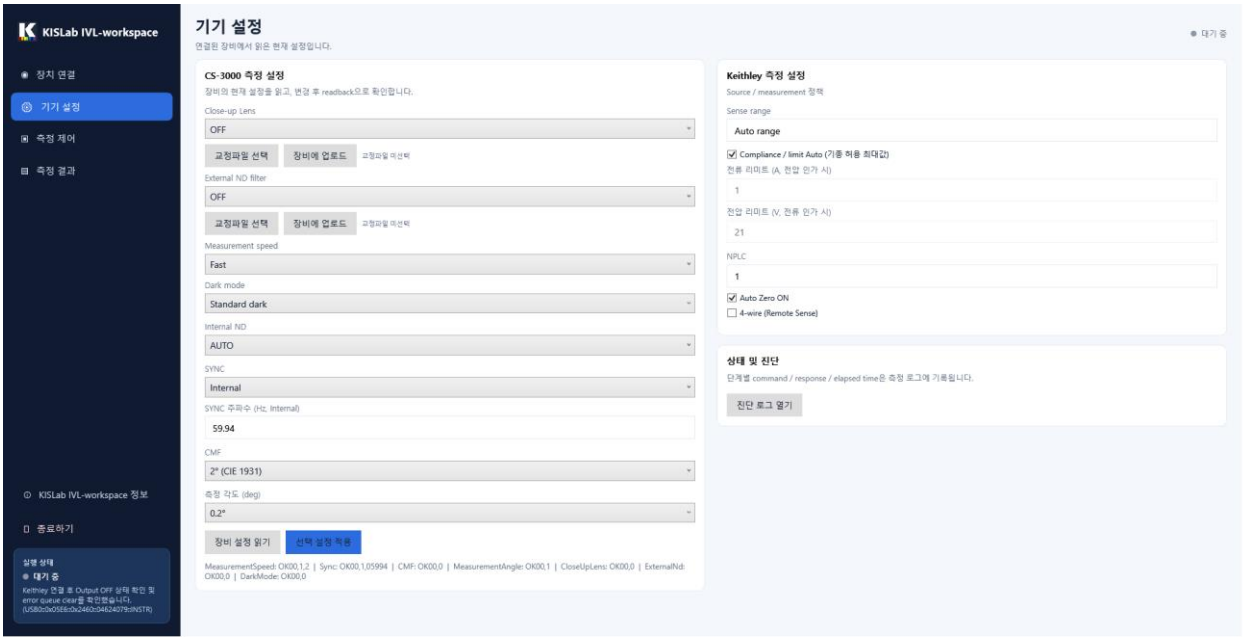

Figure: 그림 5-1 CS-3000 및 Keithley 설정 readback

5.2 장치 설정 수동 읽기

드롭다운을 변경했더라도 장치 설정 읽기를 누르면 적용 전 선택값이 아닌 실제 장비값으로 복귀해야 합니다.

5.3 측정각 개요

측정각은 측정 영역과 광량을 바꿉니다. 작은 각도는 작은 영역을 선택하지만 노출이 길어질 수 있습니다. 실제 발광 영역이 조준 영역을 충분히 채우도록 합니다.

5.4 측정각 0.1°

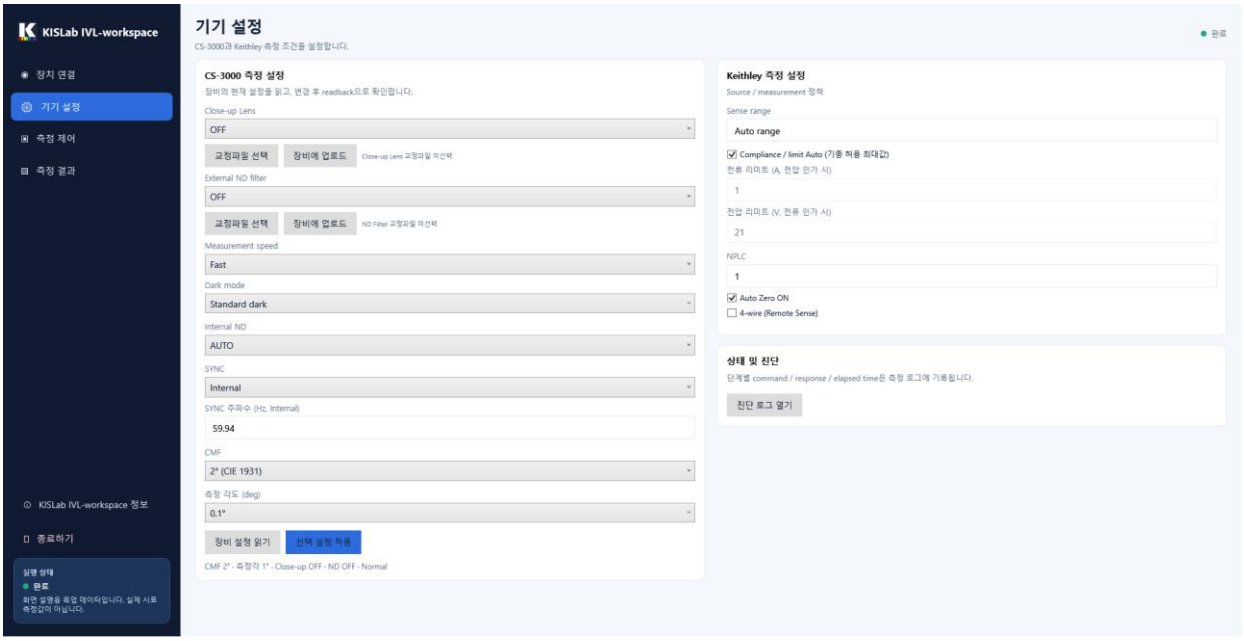

Figure: 그림 5-2 0.1도 선택 화면

미세 패턴이나 작은 발광 영역에 적합하고 조준 오차·진동에 민감합니다.

5.5 측정각 0.2°

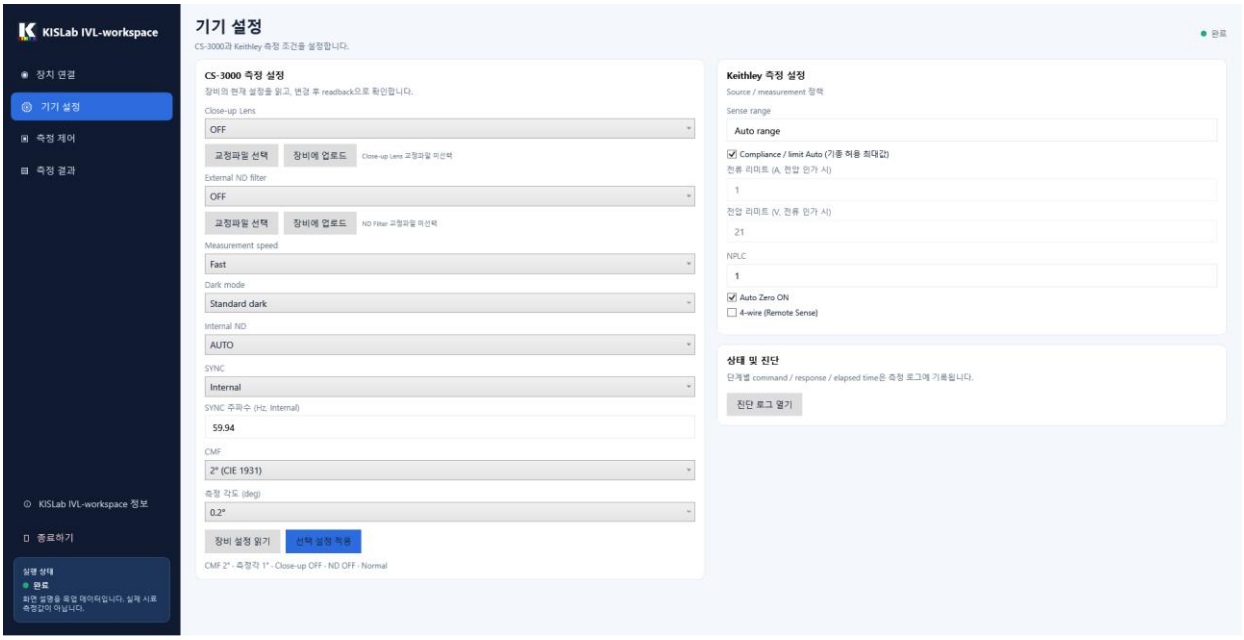

Figure: 그림 5-3 0.2도 선택 화면

영역 선택성과 광량의 균형이 필요한 소형 시료에 사용합니다.

5.6 측정각 1°

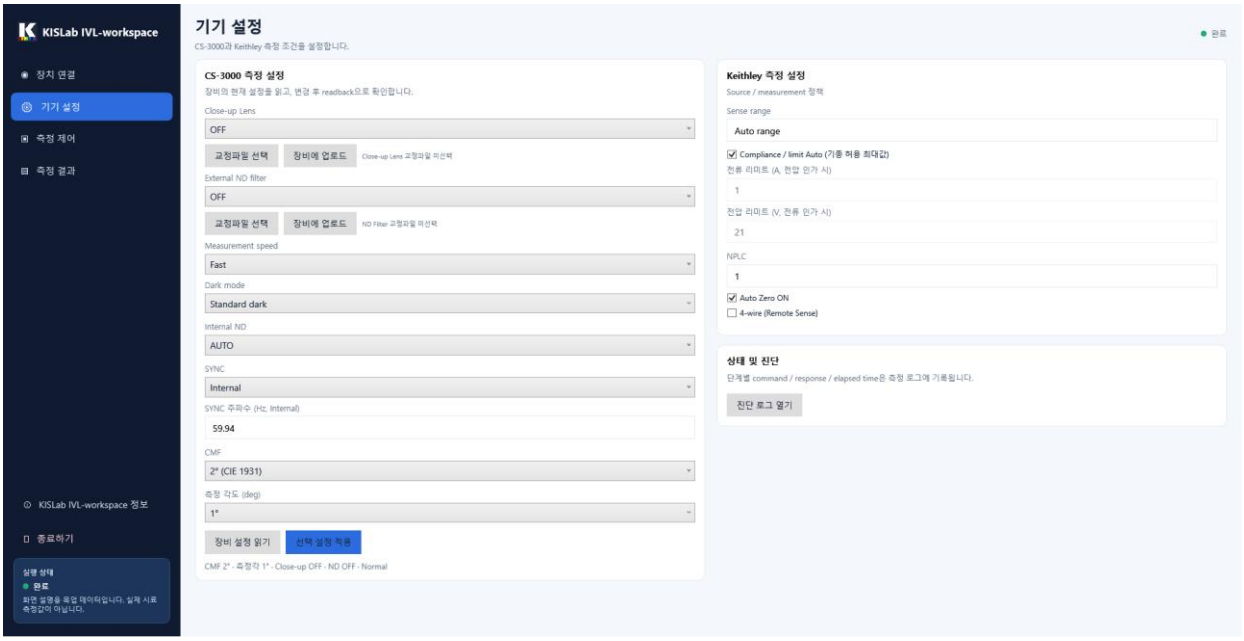

Figure: 그림 5-4 1도 선택 화면

넓은 영역과 충분한 광량을 확보하기 좋습니다. 영역 내 휘도 균일성이 낮으면 위치에 따른 편차가 커질 수 있습니다.

5.7 CMF 2°/10°

프로젝트 규격에 맞는 CIE 표준 관찰자를 선택합니다. 2°와 10° 조건의 데이터를 혼합 비교하지 않습니다.

5.8 측정 및 노출 관련 설정

Normal, Fast, Multi Integration, Manual, Super Fast 계열을 제공합니다. Manual은 적분 시간(ms), Multi는 적분 횟수 입력을 확장 표시합니다. 속도 증가 시 저휘도 반복성을 검증합니다.

5.9 Sync 설정

기존 검증값을 유지하는 것을 권장합니다. Internal 선택 시 주파수를 확인합니다.

5.10 Close-up Lens 설정

OFF/ON 선택이며 해당 렌즈 교정계수가 장비 메모리에 있어야 합니다. PC가 기억한 파일 경로와 장비 적용 상태는 별개입니다.

5.11 ND Filter 설정

고휘도에서 포화를 줄입니다. 물리적으로 장착한 필터 종류, 프로그램 선택, 장비에 업로드된 교정계수가 일치해야 합니다.

5.12 액세서리 동시 적용 제한

Lens ON 상태에서 ND를 선택하면 ND를 OFF로 되돌리고 반대 순서에서도 Lens를 OFF로 전환합니다. 동시에 적용하려는 조작에는 알림을 표시합니다.

5.13 교정파일 선택

교정파일은 액세서리 일련번호 기준이며 CS-3000 본체 일련번호와 다를 수 있습니다. Lens와 ND 파일은 각각 해당 항목 바로 아래에서 선택합니다.

5.14 교정파일 업로드

장비 메모리를 변경하는 작업입니다. 정식 파일과 관리자 확인 없이 실행하지 마십시오. 업로드 중 전원·통신을 끊지 않습니다.

5.15 액세서리 ID와 교정일 확인

파일명, 액세서리 ID, 교정일을 확인합니다. 파일 경로를 기억하는 것만으로 실제 적용 여부를 판단하지 않습니다.

5.16 설정 적용 및 읽기 검증

선택 설정 적용 후 다시 읽어 readback이 일치하는지 확인합니다. ER05가 나오면 반복 적용하지 말고 교정계수와 액세서리 선택을 검토합니다.

5.17 CS-3000 설정 화면 읽는 순서

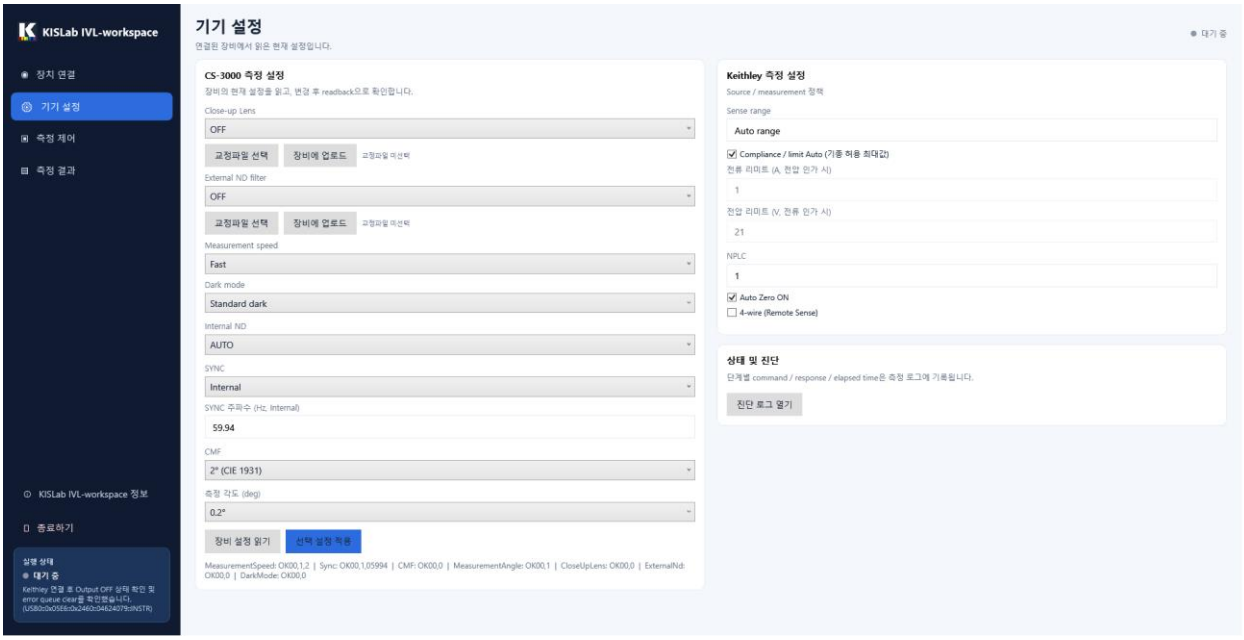

Figure: 그림 5-5 CS-3000 설정

설정 화면은 위에서 아래 순서로 액세서리, 측정 속도, Dark, Internal ND, Sync, CMF, 측정각을 표시합니다. 프로그램 시작 직후에는 장비 readback을 우선합니다. 조작하는 것만으로는 장비값이 바뀌지 않으며 선택 설정 적용을 눌러야 통신 명령이 전송됩니다. 하단 readback 원문은 각 명령의 OK00과 숫자 코드를 표시하므로 드롭다운 해석과 원문이 일치하는지 확인할 수 있습니다.

5.18 Measurement speed 상세 운용

Normal은 기준 측정, Fast는 처리 시간을 줄이는 일반 운용에 적합합니다. Manual에서는 적분 시간을 ms로 입력하고, Multi integration에서는 반복 적분 횟수를 입력합니다. Super fast는 충분한 광량과 반복성 검증이 선행된 경우에 사용합니다.

노출시간과 전체 측정 소요 시간은 다릅니다. 노출시간은 CS-3000의 integration time이고, 소요 시간은 예비 판단·셔터·다크·데이터 전송과 프로그램 기록까지 포함합니다. 최초 포인트가 이후 포인트보다 오래 걸리는 현상은 장비가 적절한 측정 조건을 찾는 과정과 연관될 수 있습니다.

5.19 Close-up Lens · ND Filter 교정 작업 절차

1. 실제 장착 액세서리의 모델과 일련번호를 확인합니다.
2. 해당 항목의 `교정파일 선택`에서 파일을 읽습니다.
3. 화면의 ID·교정일·파일 종류가 실제 액세서리와 맞는지 확인합니다.
4. 장비가 유휴 상태이고 통신이 안정적인지 확인합니다.
5. `장비에 업로드`를 실행하고 완료 응답을 기다립니다.
6. 액세서리 적용 상태를 하나만 ON으로 설정합니다.
7. 설정 적용 후 다시 읽어 readback을 확인합니다.
8. **주의** Close-up Lens와 External ND를 동시에 적용하려 하지 마십시오. 프로그램의 상호 배제는 실수 방지 기능이며 물리적 액세서리 장착 상태를 자동 판별하지는 못합니다.

6. Keithley 설정

6.1 지원 모델

2450/2460 capability profile을 사용합니다. 연결 시 *IDN? 결과의 모델과 펌웨어를 확인합니다.

6.2 전압 Source 설정

전압을 인가하고 전류를 읽습니다. 전류 limit이 시료 보호 기준입니다.

6.3 전류 Source 설정

전류를 인가하고 전압을 읽습니다. 전압 limit을 확인하며 일반 전류제어 기본값은 0.001 mA입니다.

6.4 전압·전류 Range

기본 Sense range는 Auto입니다. 고정 범위는 속도·반복성에 유리할 수 있지만 오버레인지 가능성을 검토합니다.

6.5 Auto Limit

기본은 기종 사양 범위 내 Auto입니다. 민감한 시료는 사용자가 limit을 지정합니다.

6.6 사용자 Limit 설정

Auto를 해제하면 전류/전압 limit 입력이 활성화됩니다. Source 모드에 대응하는 보호 limit을 확인합니다.

6.7 NPLC

전원 주기 기준 적분 시간입니다. 값이 커지면 일반적으로 노이즈가 줄고 읽기가 느려집니다.

6.8 Auto Zero

영점 보정으로 장시간 드리프트를 줄일 수 있지만 측정 시간이 늘 수 있습니다.

6.9 2-Wire/4-Wire

기본은 2-Wire입니다. 4-Wire 선택 시 실제 Remote Sense 결선도 완료되어야 합니다.

6.10 음전압·음전류

인가·읽기 모두 음수를 지원합니다. Sweep 간격 부호와 시료 역바이어스 허용 범위를 확인합니다.

6.11 Interlock 및 Limit 경고

Voltage limit by interlock는 실제 전압이 낮아도 interlock 정책으로 나타날 수 있습니다. 장비 전면 패널과 설정을 함께 확인합니다.

6.12 Output과 Remote 상태

연결 직후 Remote ON / Output OFF, 정지·종료 시 Output OFF 우선입니다.

6.13 Keithley 설정 화면 실무 해설

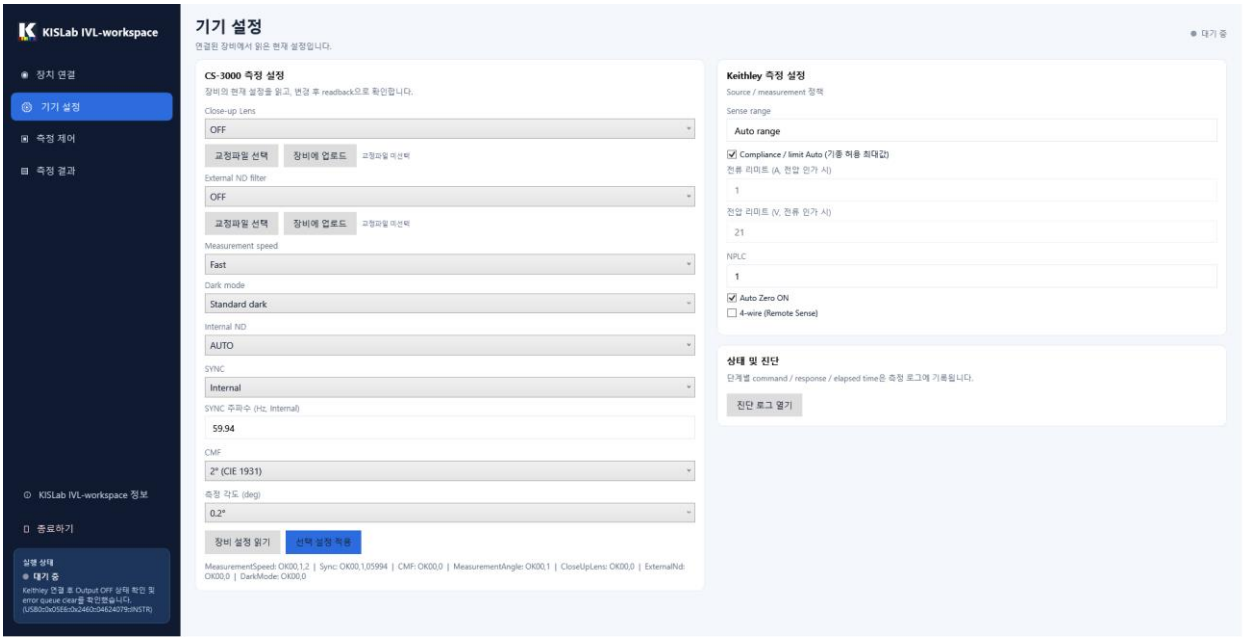

Figure: 그림 6-1 CS-3000과 함께 표시되는 Keithley 설정 카드

오른쪽 Keithley 설정에서 Sense range는 기본 Auto range입니다. Compliance/limit Auto가 체크되면 수동 전류·전압 limit 입력은 비활성화됩니다. NPLC, Auto Zero, 4-wire는 측정 속도와 정확도, 실제 결선에 영향을 주므로 변경 후 간단한 반복성 시험을 권장합니다.

6.14 전압제어와 전류제어의 보호 기준

전류제어에서 예상 전압이 8~9 V인데 limit 경고가 나온다면 단순히 측정값만 보지 말고 interlock에 의해 허용 limit이 더 낮게 제한됐는지 확인합니다. 경고를 무시하고 limit을 크게 올리기 전에 시료와 배선의 허용 조건을 검토하십시오.

6.15 2-Wire와 4-Wire 선택 절차

2-Wire는 Source와 Sense를 같은 리드로 처리하므로 간단하고 기본적인 IVL 측정에 적합합니다. 4-Wire는 별도 Sense 리드로 시료 양단 전압을 읽어 리드·접촉 저항 영향을 줄입니다. UI에서 4-wire만 체크하고 실제 배선을 바꾸지 않으면 올바른 결과를 얻을 수 없습니다.

1. Output OFF 상태에서 배선을 변경합니다.
2. Source HI/LO와 Sense HI/LO 연결을 장비 매뉴얼과 대조합니다.
3. UI의 4-wire를 선택합니다.
4. 낮은 인가값으로 전압 readback이 정상인지 확인합니다.
5. 측정 조건 기록에 결선 방식을 남깁니다.

6.16 음수 Source 운용 주의사항

프로그램은 음전압·음전류를 허용하지만 장비 사양과 시료 역바이어스 허용 범위를 대신 판단하지 않습니다. Sweep 시작값과 종료값이 감소 방향이면 간격도 음수여야 합니다. 0을 통과하는 Sweep에서는 포인트 중복과 부호가 의도한 순서인지 총 포인트 목록을 확인합니다.

6.17 연결과 종료 시 안전 명령

연결 시 프로그램은 :OUTP:STAT?로 현재 상태를 읽고 필요하면 OFF한 뒤 다시 읽습니다. 정상 종료 시 OFF 명령, readback 0, 연속 측정 Local 복귀, Remote 세션 해제를 순차 실행합니다. 강제 종료에서는 이 순서를 실행할 기회가 없으므로 전면 패널 확인이 필수입니다.

7. 일반 측정

7.1 일반 측정 개요

동일 Source 조건으로 지정 횟수만큼 반복합니다. 한 포인트의 읽기·계산·표시가 끝난 시점부터 다음 측정 간격을 적용합니다.

7.2 전압제어 측정

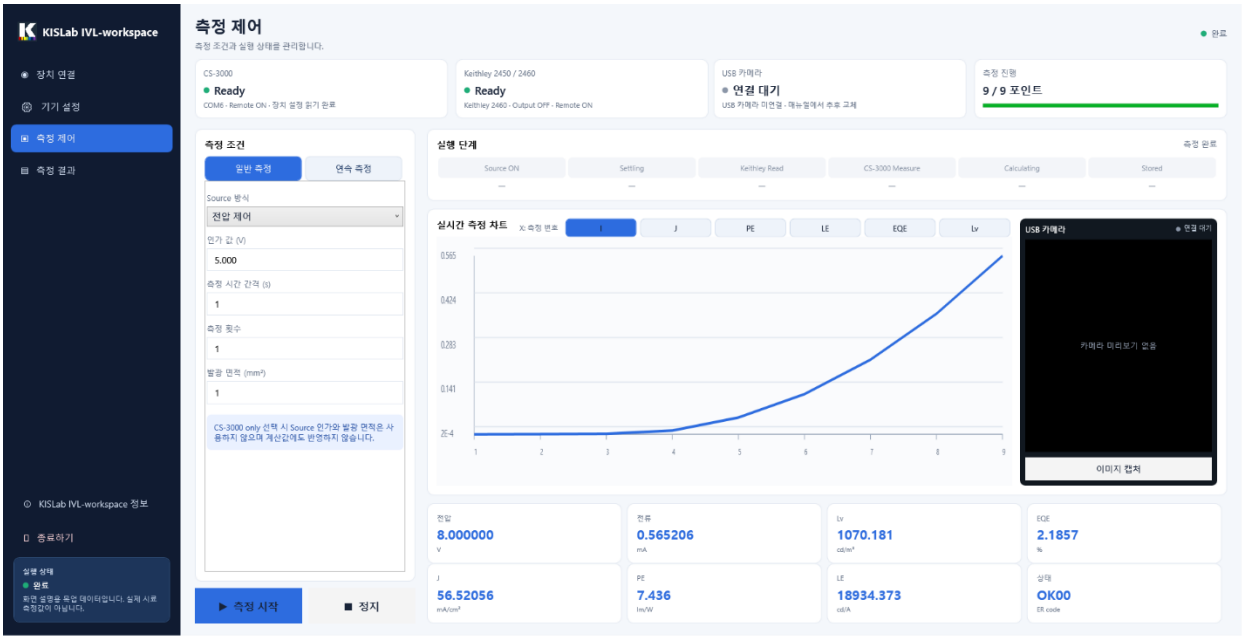

Figure: 그림 7-1 전압제어 화면

기본값은 5 V, 1초, 1회, 1 mm²입니다. 전류 limit과 극성을 확인합니다.

7.3 전류제어 측정

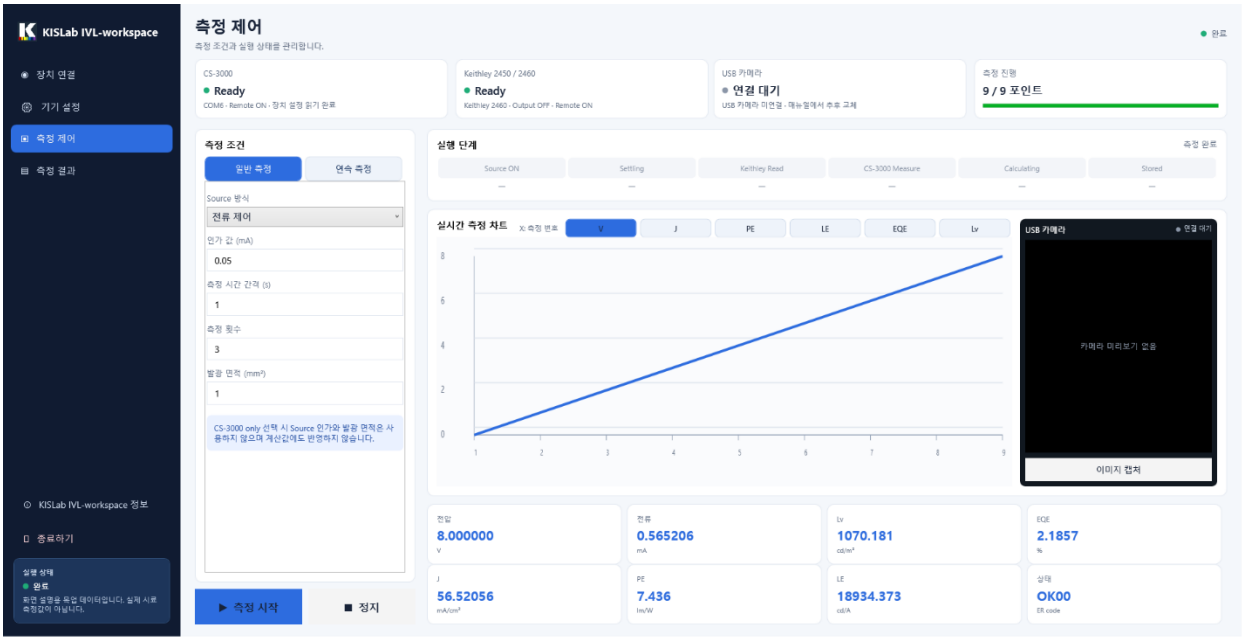

Figure: 그림 7-2 전류제어 화면

기본값은 0.001 mA, 1초, 1회, 1 mm^2입니다. x축은 전류이며 V가 차트 선택 항목으로 표시됩니다.

7.4 CS-3000 only 측정

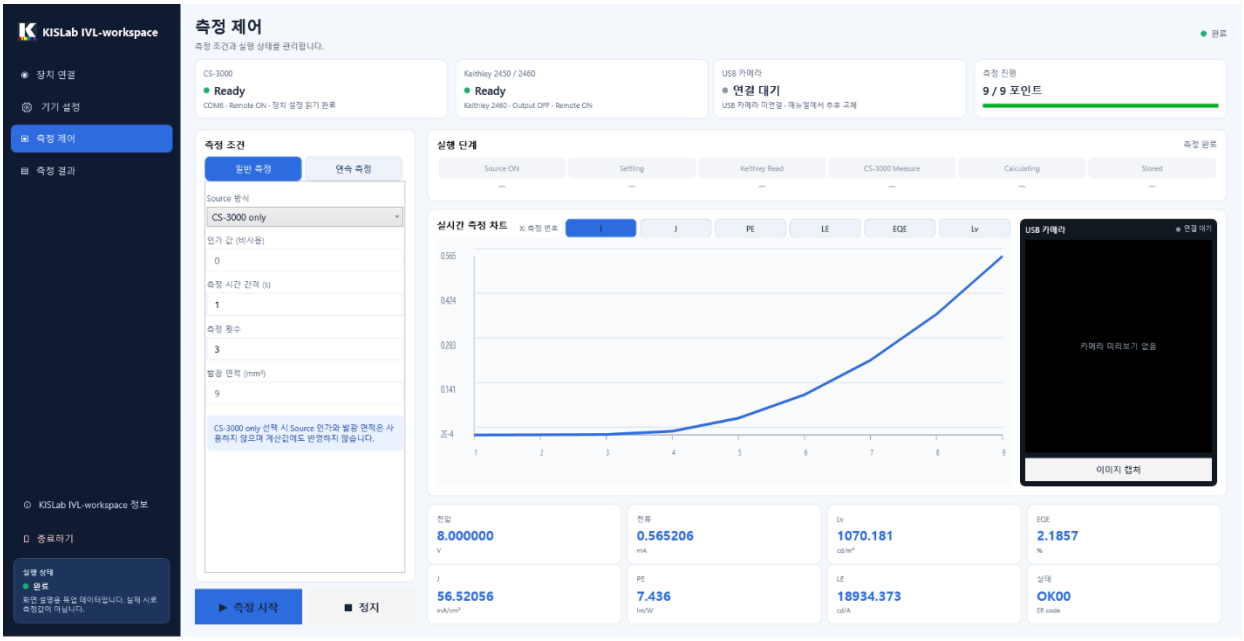

Figure: 그림 7-3 CS-3000 only 화면

Source를 인가하지 않습니다. 인가값과 발광 면적을 비활성화하고 면적 기반 계산값을 만들지 않습니다.

7.5 측정 간격

데이터 표시 후부터 다음 포인트까지의 간격입니다. CS-3000 노출시간과 Sweep 안정화 시간은 별도입니다.

7.6 측정 횟수

사용자 입력값으로 결정하며 기본은 1회입니다. 24회는 고정값이 아닙니다.

7.7 발광 면적

일반·연속 측정에만 입력하며 단위는 mm^2, 기본은 1입니다. 내부 계산 시 필요한 단위로 변환합니다.

7.8 측정 시작

Ready, Output OFF, 조건, limit을 확인합니다. 기존 데이터가 있으면 저장 여부를 묻습니다.

7.9 측정 정지

정지 버튼이 붉게 강조됩니다. 현재 통신 단계를 정리하고 Output OFF를 확인한 뒤 준비 상태로 복귀합니다.

7.10 장시간 및 수명 측정

포인트마다 복구파일을 갱신하며 자정이나 셀 개수에 의존하지 않습니다. 절전·업데이트·디스크 공간을 사전 점검합니다.

7.11 전압제어 실제 입력 순서

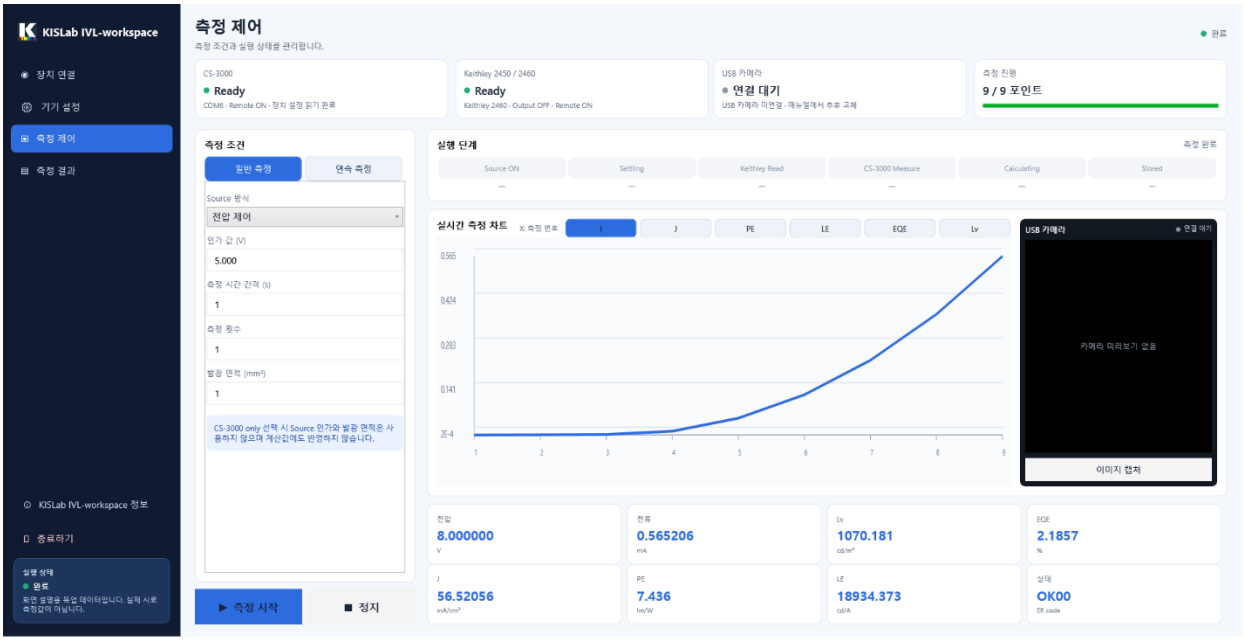

Figure: 그림 7-4 전압제어 조건과 최신값·차트·카메라 영역

1. `일반 측정` 탭과 `전압 제어`를 선택합니다.
2. 인가 값(V)을 입력합니다. 기본값은 5.000 V입니다.
3. 측정 간격(s)과 횟수를 입력합니다.
4. 실제 발광 면적을 mm^2로 입력합니다.
5. 상단 카드에서 CS-3000과 Keithley Ready, Keithley Output OFF를 확인합니다.
6. 전류 limit과 시료 극성을 확인합니다.
7. `측정 시작`을 누르고 첫 포인트의 Source ON·Settling·Read 단계를 관찰합니다.
8. 정상 측정 후 최신값 카드에는 V, I, Lv, EQE, J, PE, LE, ER code가 갱신됩니다. 첫 포인트가 예상과 크게 다르면 반복 측정을 계속하기보다 정지하고 프로브 접촉과 면적을 확인합니다.

7.12 전류제어 실제 입력 순서

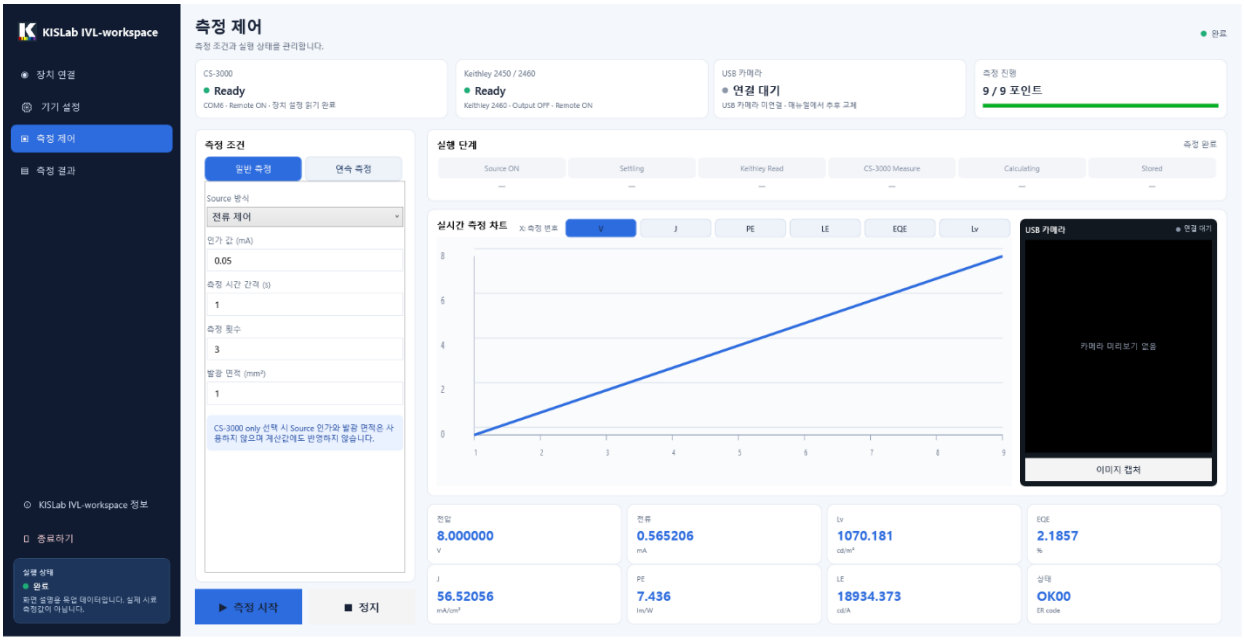

Figure: 그림 7-5 전류제어 조건 화면

전류 입력 단위는 mA입니다. 기본 0.001 mA는 매우 작은 시작값이므로 시료 응답을 확인하기 좋습니다. 전류제어에서는 x축이 I가 되고 차트 선택 버튼은 V로 바뀝니다. 전압 limit과 interlock 경고를 반드시 확인합니다.

1. `전류 제어`를 선택합니다.
2. 인가 값(mA), 간격, 횟수, 면적을 입력합니다.
3. 전압 limit이 Auto인지 수동인지 확인합니다.
4. 시작 후 장비 전면 패널에 limit/interlock 메시지가 없는지 봅니다.
5. 측정 V가 예상 범위이며 ER code가 OK00인지 확인합니다.

7.13 CS-3000 only 사용 예

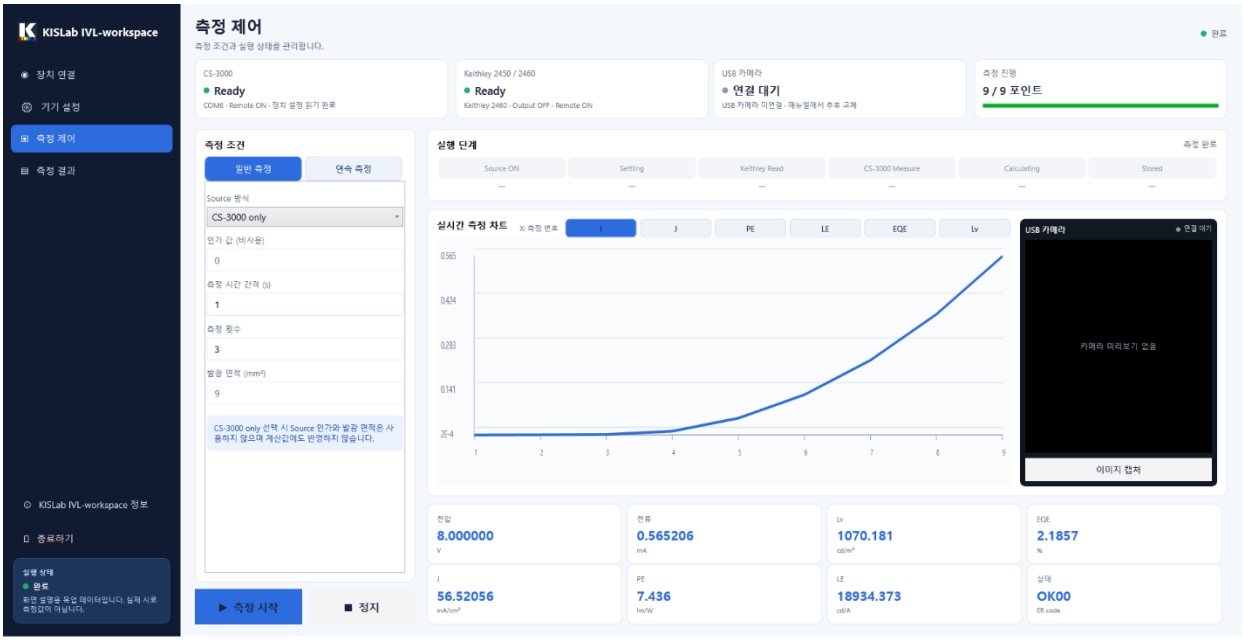

Figure: 그림 7-6 Source와 면적 입력이 제외되는 CS-3000 only

외부 전원으로 이미 발광 중인 시료, 표준 광원, 장비 정렬 확인 등에 사용할 수 있습니다. Keithley Source를 사용하지 않으므로 J·PE·LE·EQE는 계산하지 않습니다. 데이터 파일에서도 해당 필드는 공란으로 유지해 0과 구분합니다.

7.14 측정 간격의 시간 관계

한 포인트에 2.5초가 걸리고 측정 간격이 1초라면 다음 포인트 시작은 약 3.5초 이후입니다. 측정 간격은 시작 시각 간 고정 주기가 아닙니다. 저휘도로 CS-3000 노출이 길어지면 전체 반복 주기도 길어집니다.

7.15 일반 측정 시작 전 체크리스트

[ ] 올바른 Source 모드와 단위인가?

[ ] 면적이 실제 발광 면적인가?

[ ] Keithley limit과 배선이 적절한가?

[ ] CS-3000 측정각·CMF·액세서리가 기록과 일치하는가?

[ ] 기존 데이터 저장 여부를 결정했는가?

[ ] 장시간 측정이면 절전·디스크·자동 업데이트를 점검했는가?

8. 연속 측정

8.1 Sweep 측정 개요

시작부터 종료까지 포인트를 미리 산출합니다. 발광 시작 전에는 Keithley만, 이후에는 CS-3000을 함께 측정합니다.

8.2 전압 Sweep

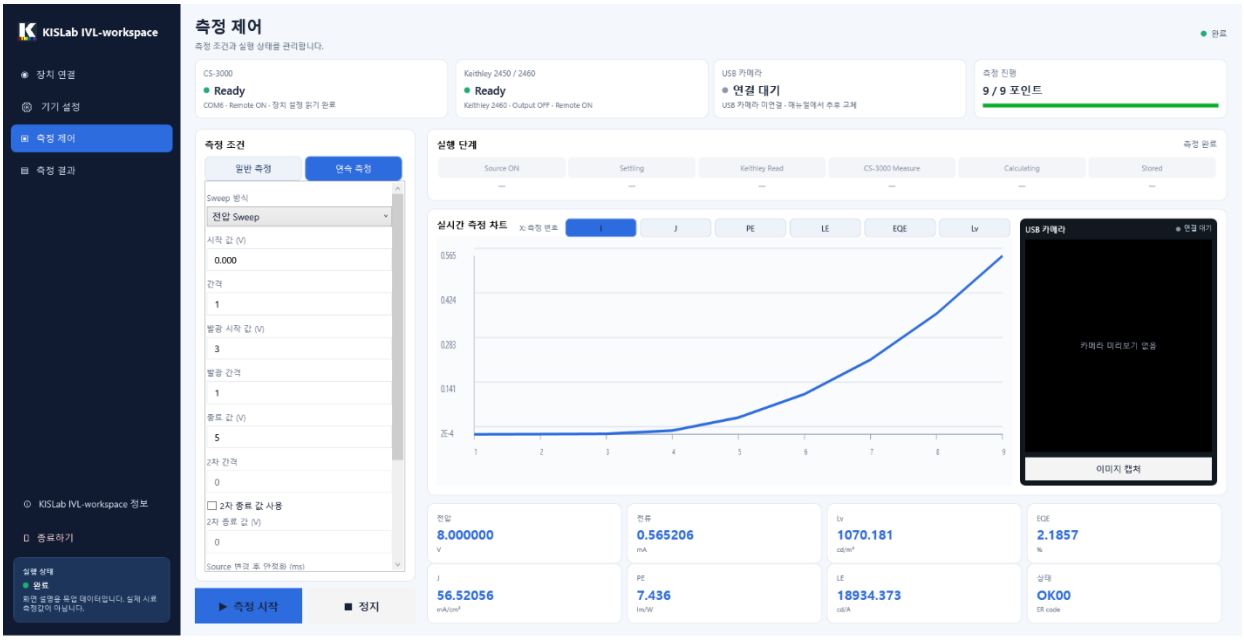

Figure: 그림 8-1 전압 Sweep 화면

기본은 0 V 시작, 1 V 간격, 3 V 발광 시작, 1 V 발광간격, 5 V 종료, 안정화 500 ms, 1 mm^2입니다.

8.3 전류 Sweep

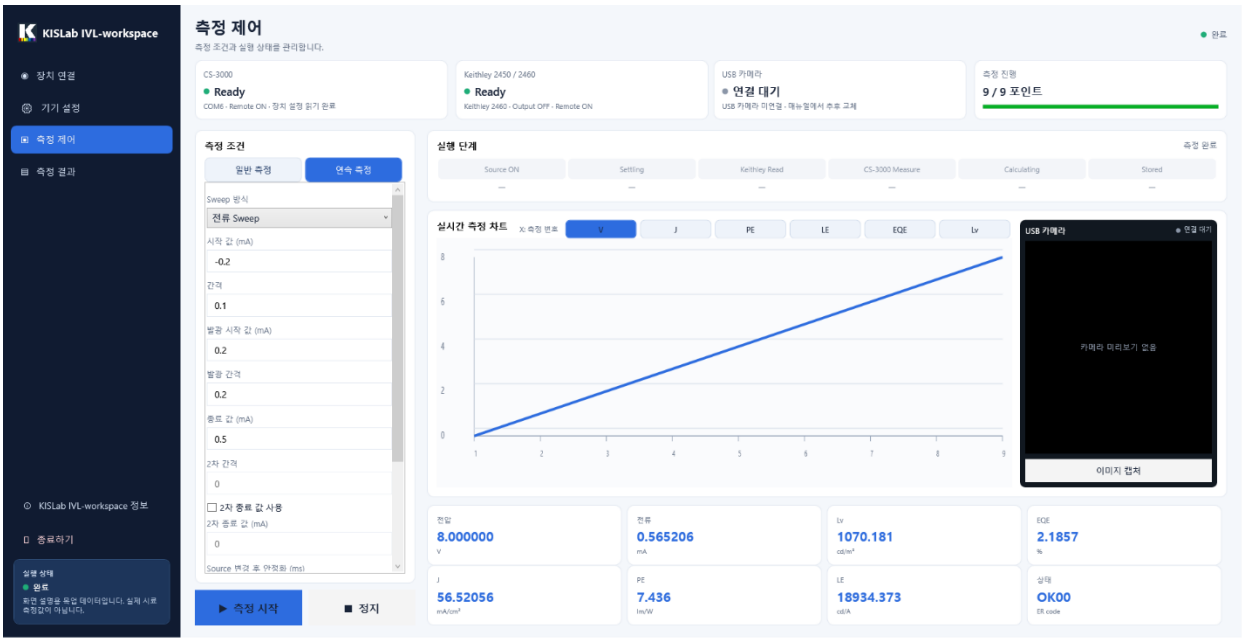

Figure: 그림 8-2 전류 Sweep 화면

초기 수치값은 0이며 실제 사용 전에 조건을 입력합니다. x축은 전류입니다.

8.4 시작값과 1차 간격

간격 부호는 종료 방향과 일치해야 합니다. 0 간격은 허용하지 않습니다.

8.5 발광 시작값

이 값 전에는 CS-3000 필드·스펙트럼·색좌표를 공란으로 유지합니다.

8.6 발광 구간 간격

turn-on 이후 광학 측정 구간의 간격입니다. 변화가 큰 구간은 작게 설정할 수 있습니다.

8.7 종료값

1차 구간의 마지막 조건이며 limit과 총 포인트를 함께 확인합니다.

8.8 2차 종료값과 2차 간격

체크하면 두 입력이 활성화됩니다. 고전압·고전류 영역을 다른 간격으로 이어갑니다.

8.9 안정화 시간

Source 인가 후 Keithley 읽기 전 대기(ms)입니다. 포인트 간격과 다르며 기본 500 ms입니다.

8.10 총 측정 포인트

두 구간과 발광 조건을 반영해 시작 전에 계산하고 진행 카드에 현재/총값으로 표시합니다.

8.11 발광 전 Keithley 단독 측정

Source ON → Settling → Keithley Read → Stored 순서이며 CS-300과 광학 계산은 생략합니다.

8.12 발광 후 CS-3000 동시 측정

Keithley Read 후 CS-3000 측정·계산·저장을 수행합니다. 저휘도는 노출 때문에 오래 걸릴 수 있습니다.

8.13 Sweep 조건 저장

전압은 voltage-, 전류는 current- 접두어의 텍스트 파일로 저장하며 면적과 2차 조건도 포함합니다.

8.14 Sweep 조건 불러오기

불러온 후 모드·숫자·단위·총 포인트를 검토합니다.

8.15 전압 Sweep 조건 구성 예

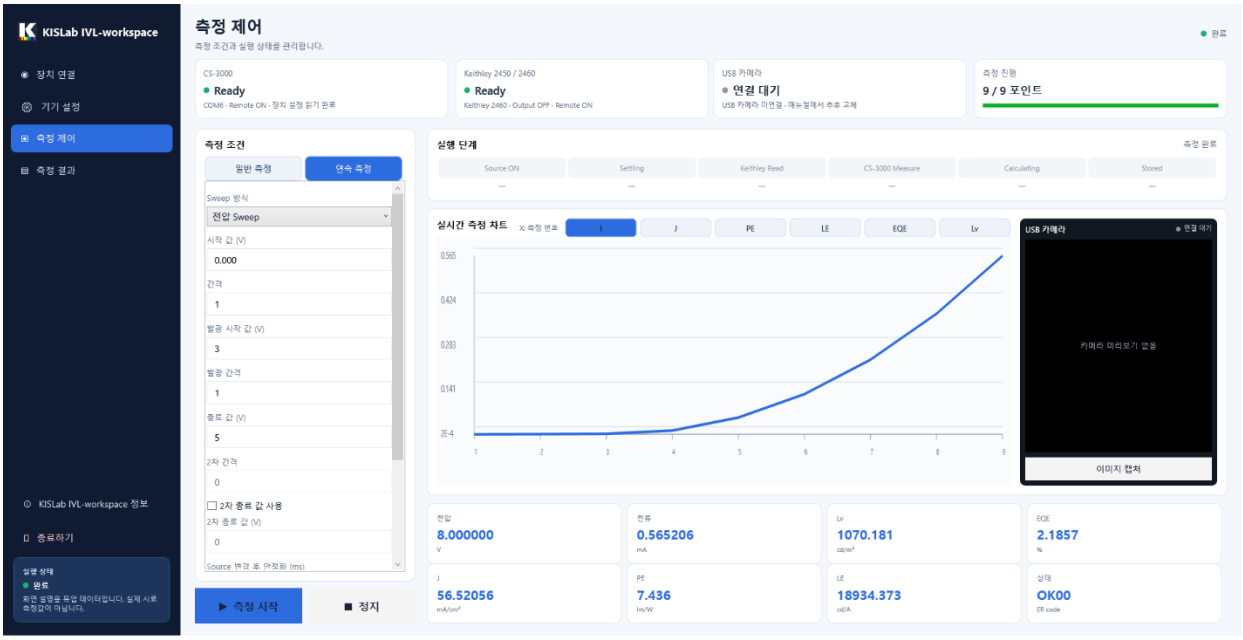

Figure: 그림 8-3 전압 Sweep 조건 전체

0→5 V 기본 Sweep은 0, 1, 2 V에서 Keithley만 측정하고 발광 시작값 3 V부터 CS-3000을 함께 측정합니다. 초기 세 포인트의 광학 필드가 공란인 것은 오류가 아닙니다. 발광 이후 더 촘촘한 데이터가 필요하면 발광 간격을 1차 간격보다 작게 입력합니다.

8.16 전류 Sweep 조건 구성 예

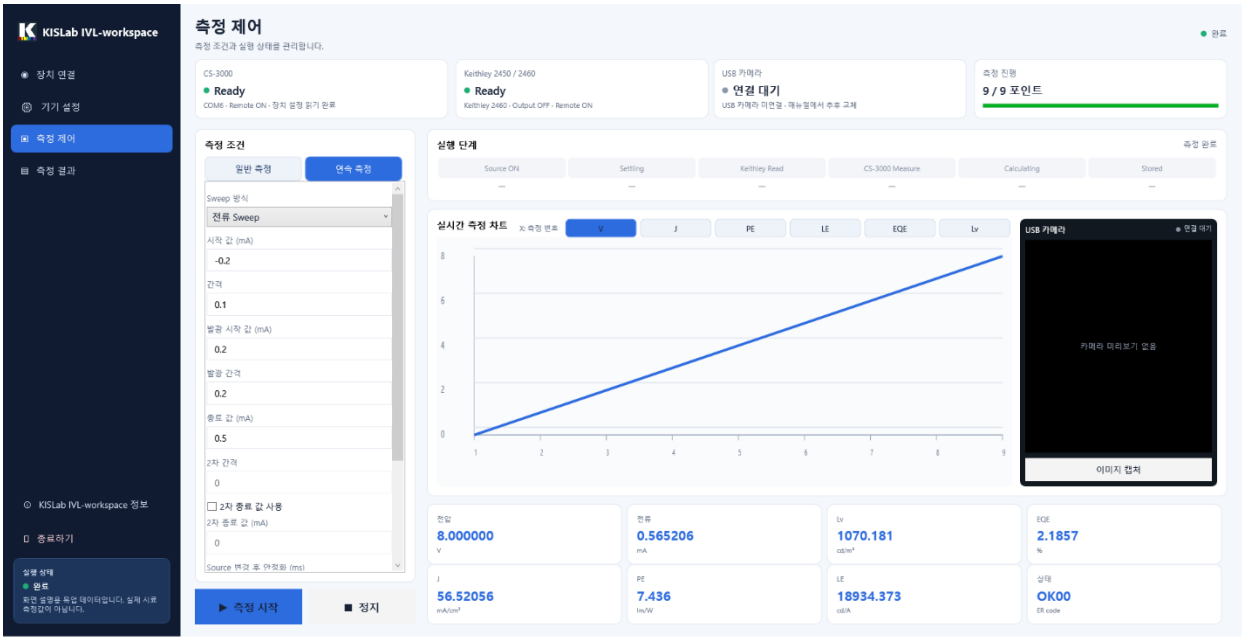

Figure: 그림 8-4 전류 Sweep 조건 전체

전류 Sweep은 모든 기본 숫자가 0이므로 그대로 시작해서는 안 됩니다. 시작값, 간격, 발광 시작, 발광 간격, 종료를 시료 허용 전류에 맞춰 입력합니다. 전압 limit은 예상 순방향 전압보다 충분하되 시료 보호 범위를 넘지 않게 설정합니다.

8.17 포인트 생성 규칙 확인

프로그램은 시작값에서 1차 간격으로 진행하고 발광 시작값부터 발광 간격을 사용합니다. 2차 종료를 선택하면 1차 종료 다음부터 2차 간격을 사용합니다. 경계값이 두 구간에 동시에 포함되지 않도록 포인트 목록을 생성합니다.

예상 포인트가 지나치게 많으면 다음 항목을 확인하십시오.

- 간격 단위가 V 또는 mA와 맞는지
- 소수점 위치를 잘못 입력하지 않았는지
- 종료값 방향과 간격 부호가 일치하는지
- 2차 종료가 실수로 체크되지 않았는지

8.18 발광 시작 전후 데이터 처리

발광 시작 전에는 Source, V, I, J 등 전기 항목을 기록하고 CS-3000 항목·스펙트럼·색좌표는 공란으로 둡니다. 발광 시작 이후에는 CS-3000 측정이 성공한 포인트만 광학·효율 계산을 수행합니다. 포화나 필드 부족이면 전기값은 보존하고 광학 결과에는 ER code와 공란을 적용합니다.

8.19 안정화 시간 검증

안정화 시간은 Source값 변경 후 Keithley Read 전까지 적용합니다. 통신 로그에서 Source 명령 시각과 Read 명령 시각을 비교할 수 있습니다. 설정값 500 ms라면 로그 차이가 최소 0.5초 이상이어야 합니다. CS-3000 노출과 포인트 간격은 이 시간에 포함되지 않습니다.

8.20 Sweep 조건 파일 관리

조건 파일명은 voltage-시료명-조건.txt 또는 current-시료명-조건.txt처럼 모드가 명확하게 보이도록 합니다. 불러오기 후 자동 시작하지 않으므로 사용자가 검토할 기회가 있습니다. 조건 파일을 수정했다면 프로그램에서 다시 불러와 포인트 수와 단위를 확인합니다.

9. 측정 제어 화면

9.1 장비 상태 카드

CS-3000, Keithley, USB 카메라, 측정 진행 순서입니다. 카메라 미연결은 측정을 막지 않습니다.

9.2 측정 진행 상태

현재/총 포인트와 진행 막대를 표시합니다.

9.3 실행 단계

Source ON, Settling, Keithley Read, CS-3000 Measure, Calculating, Stored 순서이며 모드별 불필요 단계는 생략합니다.

9.4 최신 측정값 카드

4×2 배열로 V, I, Lv, EQE, J, PE, LE, 상태를 표시합니다.

9.5 실시간 차트

새 RUN마다 초기화합니다. 불러온 복합 데이터는 번호축을 사용합니다.

9.6 전압 모드 X축

전압제어·전압 Sweep은 V열이 x축이고 I/J/PE/LE/EQE/Lv를 선택합니다.

9.7 전류 모드 X축

전류제어·전류 Sweep은 I열이 x축이고 V가 선택 항목으로 전환됩니다.

9.8 CS-3000 only 및 불러온 데이터의 번호축

Source가 없거나 모드가 혼합된 경우 번호를 사용해 그래프가 되돌아가 겹치는 현상을 방지합니다.

9.9 차트 항목 선택

라운드 버튼을 누르면 y축 항목이 바뀝니다. 버튼과 클릭 가능한 데이터 셀만 손가락 커서를 사용합니다.

9.10 자동 스케일과 축 눈금

x/y 범위와 중간 눈금을 자동 표시합니다. 단일 x값 반복도 판독 가능하도록 여유 범위를 둡니다.

9.11 카메라 미리보기

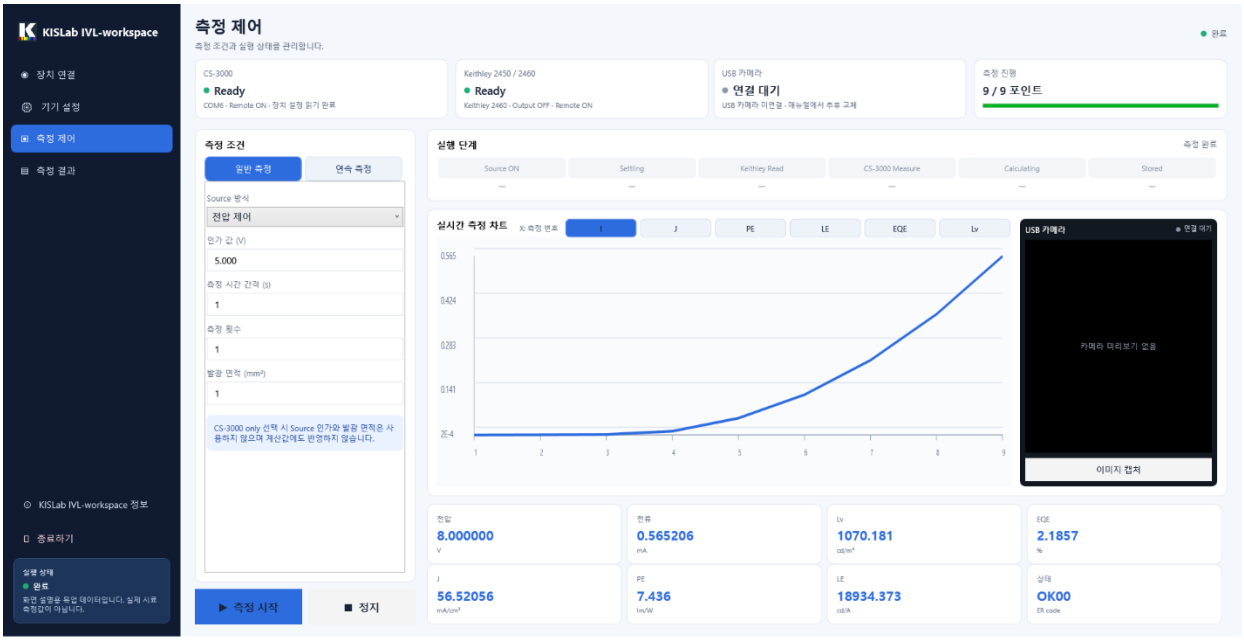



Figure: 그림 9-1 카메라 영역을 포함한 측정 제어

미리보기 오류는 측정에 영향을 주지 않습니다.

9.12 카메라 이미지 캡처

현재 프레임을 단일 이미지로 저장하며 캡처 저장 중에도 측정 루프는 계속됩니다.

9.13 측정 제어 화면의 표준 확인 순서

측정을 시작한 뒤에는 화면을 무작위로 살피기보다 다음 순서로 확인하면 이상을 빠르게 찾을 수 있습니다.

1. 상단 장비 카드에서 CS-3000과 Keithley가 `Ready`인지 확인합니다.
2. 측정 진행 카드에서 현재 포인트와 총 포인트가 증가하는지 확인합니다.
3. 실행 단계에서 현재 작업이 Source, 안정화, 전기 측정, 광학 측정, 계산, 저장 중 어디에 있는지 확인합니다.
4. 최신 측정값 카드에서 V·I가 인가 조건과 비슷한지, Lv와 효율값이 비정상적으로 튀지 않는지 확인합니다.
5. 실시간 차트에서 포인트가 조건 진행 방향과 일치하는지 확인합니다.
6. 상태 카드의 ER code가 정상인지 확인합니다.

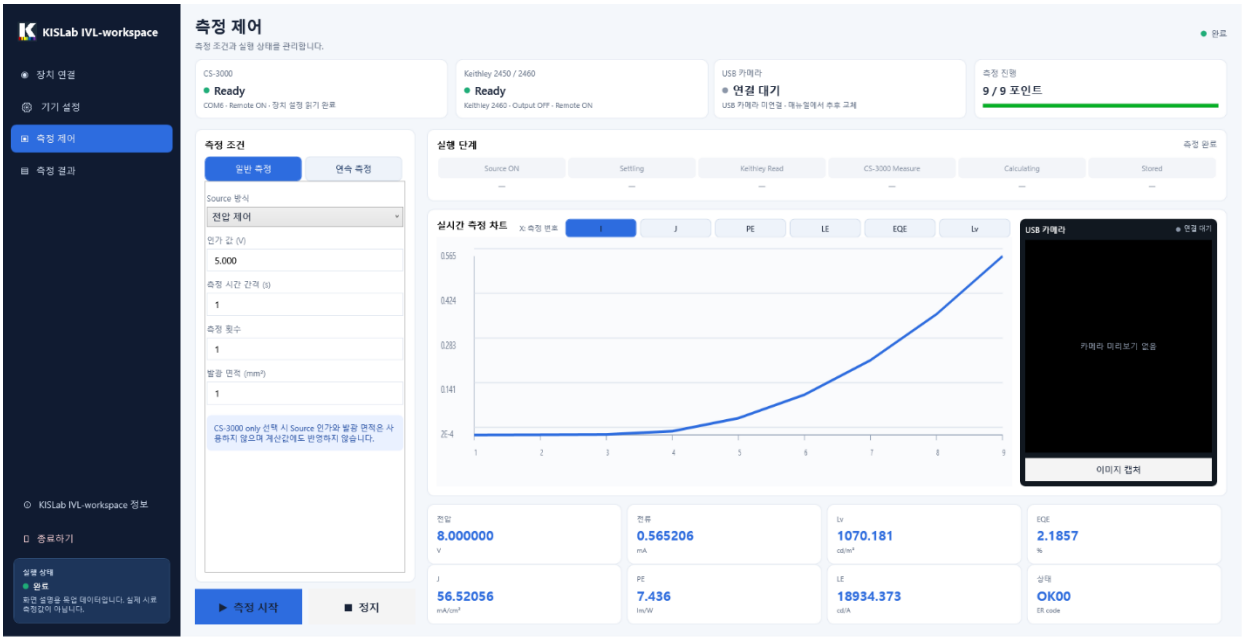

Figure: 그림 9-2 일반 전압제어 측정 제어 화면

9.14 상태 카드 판독

Ready는 통신 연결뿐 아니라 측정을 시작할 준비가 되었음을 뜻합니다. Remote ON만 표시되고 Ready가 아니라면 장비는 원격 상태이더라도 초기화 또는 상태 확인이 끝나지 않았을 수 있습니다. Keithley 카드에는 Output 상태와 limit 관련 경고가 함께 표시될 수 있으므로, Ready 글자만 보고 Source 안전 상태를 단정하지 않습니다.

카메라 카드가 미연결 또는 오류여도 CS-3000과 Keithley 카드가 Ready이면 측정할 수 있습니다. 카메라가 다른 앱에 점유되었을 때는 연결 실패 메시지만 표시하고 계측 장비의 측정 상태를 바꾸지 않습니다.

9.15 실행 단계가 오래 머무를 때

Settling은 설정한 안정화 시간만큼 정상적으로 머무릅니다. CS-3000 Measure는 시료가 어두울수록 노출과 다크 측정 때문에 길어질 수 있습니다. 따라서 CS-3000 단계가 길다는 이유만으로 즉시 중지하지 않습니다. 반면 Source ON이나 Keithley Read 단계가 비정상적으로 오래 지속되면 VISA timeout, limit, interlock, 케이블 상태를 확인합니다. 정지 버튼을 누르면 현재 장비 명령을 안전하게 마무리할 수 있는 지점에서 측정을 종료합니다. 정지를 반복해서 누르거나 프로그램을 강제 종료하지 않습니다.

9.16 일반 측정과 Sweep 차트의 차이

일반 측정은 동일 Source 조건을 시간에 따라 반복할 수 있으므로 x값이 반복될 수 있습니다. 한 RUN 안에서 같은 전압 또는 전류가 반복되어 수직선처럼 보이는 것은 데이터 오류가 아닐 수 있습니다. Sweep은 Source값이 단계적으로 변하므로 x축 진행 방향과 포인트 순서를 함께 확인합니다. 전압 모드에서는 x축이 V이고 전류 모드에서는 x축이 I입니다. CS-3000 only와 여러 모드가 섞인 불러오기 데이터는 번호축을 사용합니다. 이 규칙은 서로 다른 RUN을 전압값만으로 연결해 그래프가 뒤엉키는 것을 막습니다.

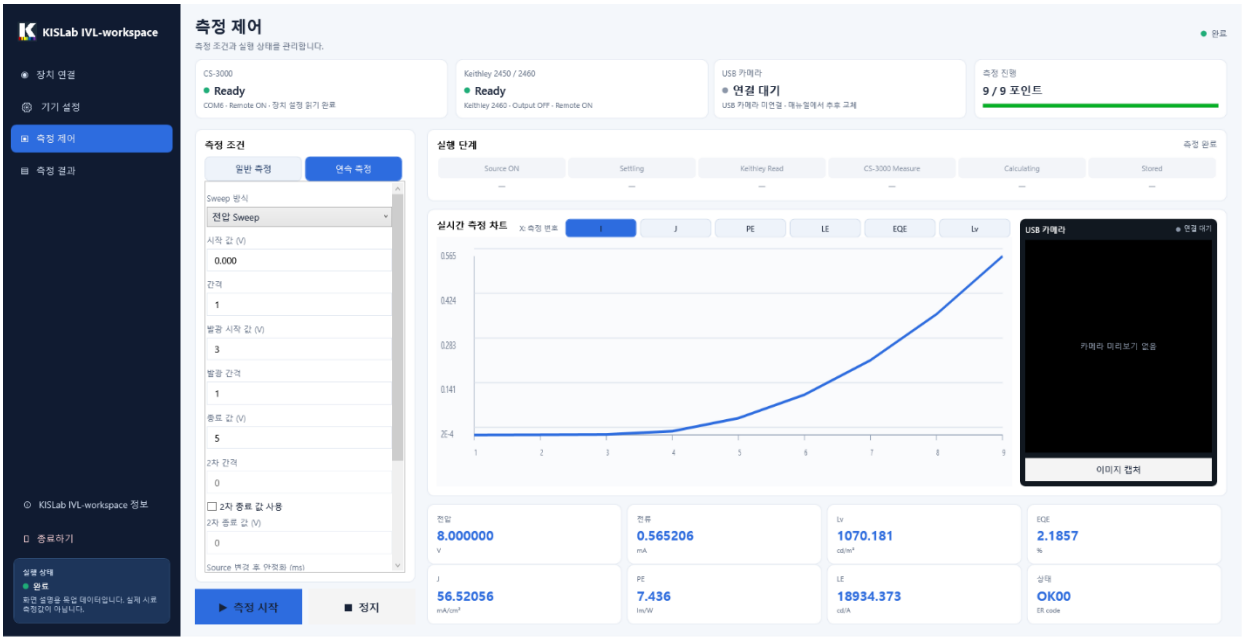

Figure: 그림 9-3 전압 Sweep 측정 제어 화면

9.17 최신 측정값 카드 활용

최신 카드의 값은 마지막으로 정상 저장된 포인트를 빠르게 확인하기 위한 표시입니다. 전체 추세 판정은 측정 데이터 시트와 차트를 사용합니다. 상태 카드가 오류이면 V와 I가 정상적으로 남아 있더라도 광학값은 공란일 수 있습니다. 이때 전기 측정 성공과 CS-3000 측정 실패를 구분해 판단합니다.

9.18 측정 중 허용되는 조작

측정 중에는 정지와 카메라 캡처처럼 측정 루프와 분리된 기능만 사용합니다. 장치 재검색·연결 해제, 기기 설정 적용, 측정 모드 전환, 조건 불러오기, 새 측정, 결과 파일 불러오기는 측정 완료 후 수행합니다. 프로그램은 주요 조작을 비활성화하지만 장비 전면 패널이나 다른 제조사 앱에서 상태를 변경하지 않는 것도 중요합니다.

10. 측정 데이터

10.1 측정 데이터 화면

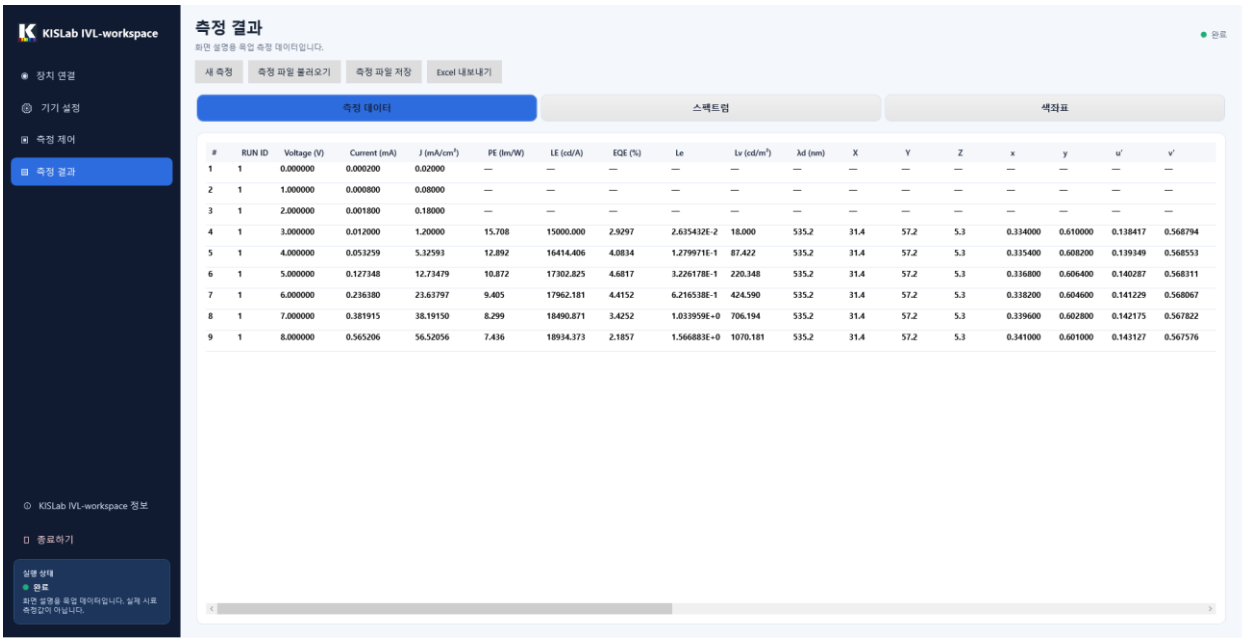

Figure: 그림 10-1 누적 측정 데이터

포인트별 결과를 한 행에 누적하며 제목 열 정렬은 측정 순서 보호를 위해 잠급니다. 행이 많아지면 외곽 페이지가 아니라 데이터 시트 내부 스크롤을 사용합니다.

10.2 번호와 RUN ID

번호는 표시 순서, RUN ID는 한 번의 측정 실행을 구분합니다. 측정조건 시트와 로그에서도 같은 RUN ID를 사용합니다.

10.3 측정조건 구분

마지막 열에 CS-3000 only, 전압제어, 전류제어, 전압sweep, 전류sweep을 표시하고 모든 저장 형식에 포함합니다.

10.4 Keithley 측정값

실제 측정 V/I와 Source 조건을 구분합니다. 전압 모드에서는 V가 x축, 전류 모드에서는 I가 x축입니다.

10.5 CS-3000 측정 항목

CS-3000에서 출력한 값인 방사휘도, 휘도, 주파장, 색좌표 등을 표시합니다.

10.6 계산 결과

J, PE, LE, EQE는 검증 수식을 기준으로 합니다. 내부 정밀도, 상수, 스펙트럼 적분·표시 반올림 때문에 소수점 하위 차이가 생길 수 있습니다.

10.7 노출 시간

CS-3000 integration time입니다. CS-3000 측정을 수행하지 않은 포인트는 공란으로 표시합니다.

10.8 측정 소요 시간

Source 설정, 안정화, Keithley, CS-3000 노출·다크·통신, 계산·기록을 포함한 실제 경과 시간입니다.

10.9 측정 시각

프로그램이 결과를 기록한 로컬 시각입니다. 시스템 시각 변경 여부는 로그와 함께 확인합니다.

10.10 ER code

정상은 OK00, 오류는 장비 원문 코드를 표시합니다.

10.11 데이터 누적과 스크롤

여러 RUN을 누적할 수 있으며 화면 밖 행도 모두 저장합니다. 긴 수명 측정은 내부 가상화와 스크롤로 표시 성능을 유지합니다.

10.12 한 행을 읽는 방법

한 행은 한 측정 포인트의 완결된 기록입니다. 번호와 RUN ID로 위치를 찾고, 측정조건으로 모드를 확인한 다음 V·I, CS-3000 측정 항목, 계산 결과, 시간 정보, ER code 순으로 판독합니다. Sweep 발광 시작 전 행은 V·I가 있어도 Lv와 스펙트럼이 공란일 수 있습니다.

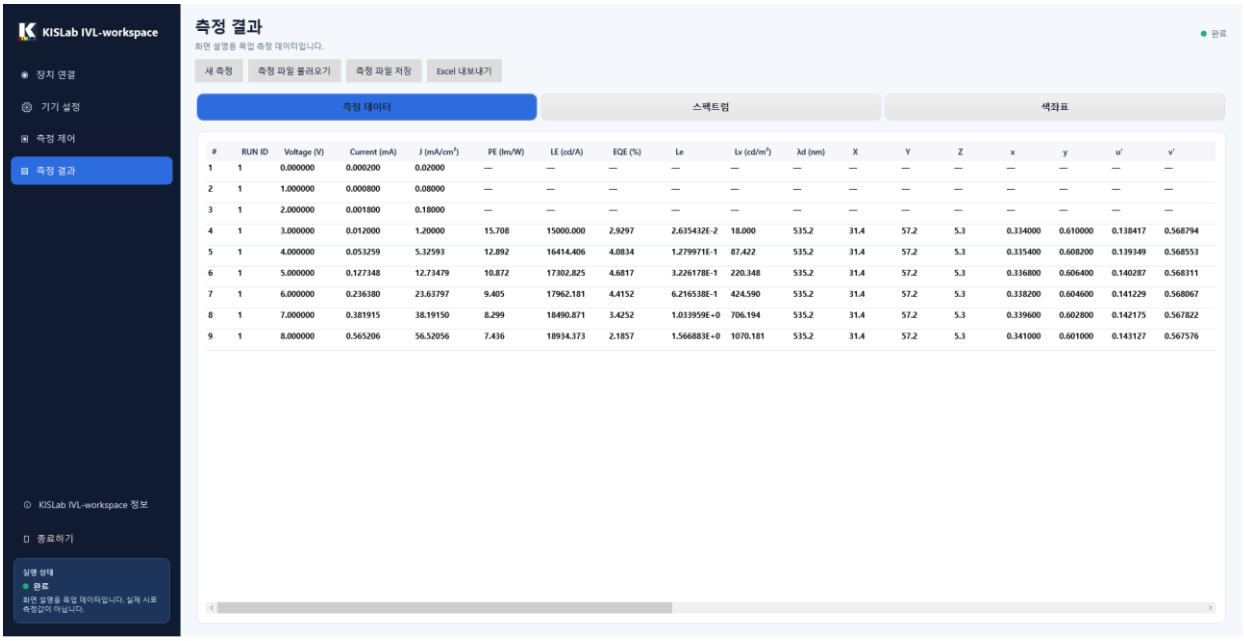

Figure: 그림 10-2 측정 데이터의 열 구성과 누적 행

10.13 RUN ID를 이용한 비교

번호는 화면 전체에서 계속 증가할 수 있지만 RUN ID는 측정 시작 단위로 바뀝니다. 같은 RUN ID의 행은 동일한 시작 명령과 조건 묶음에 속합니다. 결과가 의심되면 측정 조건 시트에서 같은 RUN ID를 찾고, 오류 로그와 통신 로그에서도 해당 ID와 시각을 대조합니다.

10.14 공란과 숫자 0의 차이

공란은 측정하지 않았거나 유효 결과를 얻지 못했다는 뜻입니다. 숫자 0은 장비 또는 계산 결과가 실제로 0임을 뜻합니다. 발광 시작 전 CS-3000 항목, 오류 포인트의 스펙트럼, CS-3000 only에서 계산하지 않는 효율값은 공란으로 유지합니다. Excel에서 공란을 임의로 0으로 바꾸면 평균·그래프·통계 결과가 왜곡될 수 있습니다.

10.15 시간 열의 상호 관계

노출 시간은 CS-3000의 integration time이며, 측정 소요 시간은 프로그램이 한 포인트를 처리한 전체 경과 시간입니다. 따라서 측정 소요 시간은 일반적으로 노출 시간보다 깁니다. 측정 시각은 행이 결과 목록에 기록된 시각입니다. 장시간 측정에서 간격을 검증할 때는 이전 행의 기록 시각부터 다음 측정 시작까지 설정 간격이 추가된다는 점을 고려합니다.

10.16 포화 또는 CS-3000 오류 행

포화가 감지되면 프로그램은 1회 자동 재측정합니다. 재측정도 실패하면 해당 행에는 가능한 전기값을 보존하고 ER code를 기록합니다. 광학값을 이전 포인트 값으로 채우지 않습니다. 사용자는 ND, 측정각, 시료 위치 또는 Source 조건을 조정한 뒤 새 RUN으로 다시 측정합니다.

10.17 데이터 검증 순서

- Source 설정값과 실제 V·I의 부호 및 크기를 비교합니다.
- 면적을 사용하는 J·PE·LE·EQE가 현재 RUN의 면적 조건으로 계산되었는지 확인합니다.
- Lv가 있는데 스펙트럼·색좌표가 비어 있거나 그 반대인 행이 없는지 확인합니다.
- 노출 시간과 측정 소요 시간이 음수 또는 비현실적으로 짧지 않은지 확인합니다.
- 오류 행의 ER code와 로그 원문이 일치하는지 확인합니다.
- Excel 저장 후 화면의 행 수와 저장된 행 수가 같은지 확인합니다.

11. 스펙트럼

11.1 스펙트럼 데이터 구조

측정 번호를 행, 파장을 열로 고정합니다. 포인트 하나가 한 행이므로 측정 데이터와 쉽게 대응합니다.

11.2 380~780 nm 데이터

1 nm 간격 총 401개이며 숫자형으로 저장합니다.

11.3 측정별 데이터 누적

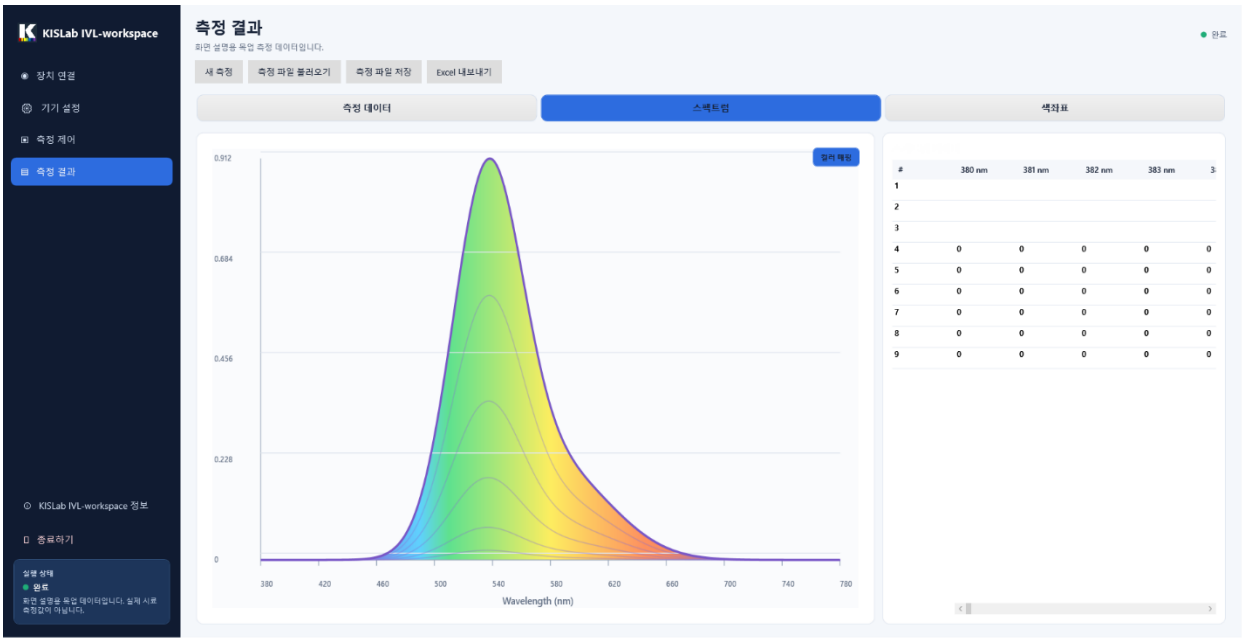

Figure: 그림 11-1 스펙트럼 누적과 활성 그래프

번호를 선택하면 대응 그래프를 진하게, 나머지는 연하게 표시합니다.

11.4 스펙트럼 그래프

x축 Wavelength(nm)에는 380·780과 적절한 중간 눈금을, y축에는 최소·최대와 중간값을 표시합니다.

11.5 그래프 선택 및 강조

우측 시트 번호를 클릭하면 해당 그래프가 강조되고 색좌표의 같은 번호와 연동됩니다.

11.6 파장대 컬러 매핑

활성 그래프 내부를 파장대 색상으로 채웁니다. 버튼으로 ON/OFF하며 정량 판독은 축과 원 데이터를 사용합니다.

11.7 CS-3000 미측정 포인트의 공란 처리

발광 시작 전·CS-3000 오류 포인트를 0으로 채우지 않고 공란으로 유지해 실제 0과 미측정을 구분합니다.

11.8 스펙트럼 화면을 읽는 순서

먼저 우측 데이터 시트에서 확인할 번호와 RUN ID를 찾고 행을 선택합니다. 선택한 스펙트럼이 진하게 강조되면 x축 파장 위치, 피크 높이, 반치폭과 부피크 유무를 확인합니다. 다른 곡선은 비교용으로 연하게 남습니다. 곡선이 많아 식별이 어려우면 관심 행만 차례로 선택하여 강조합니다.

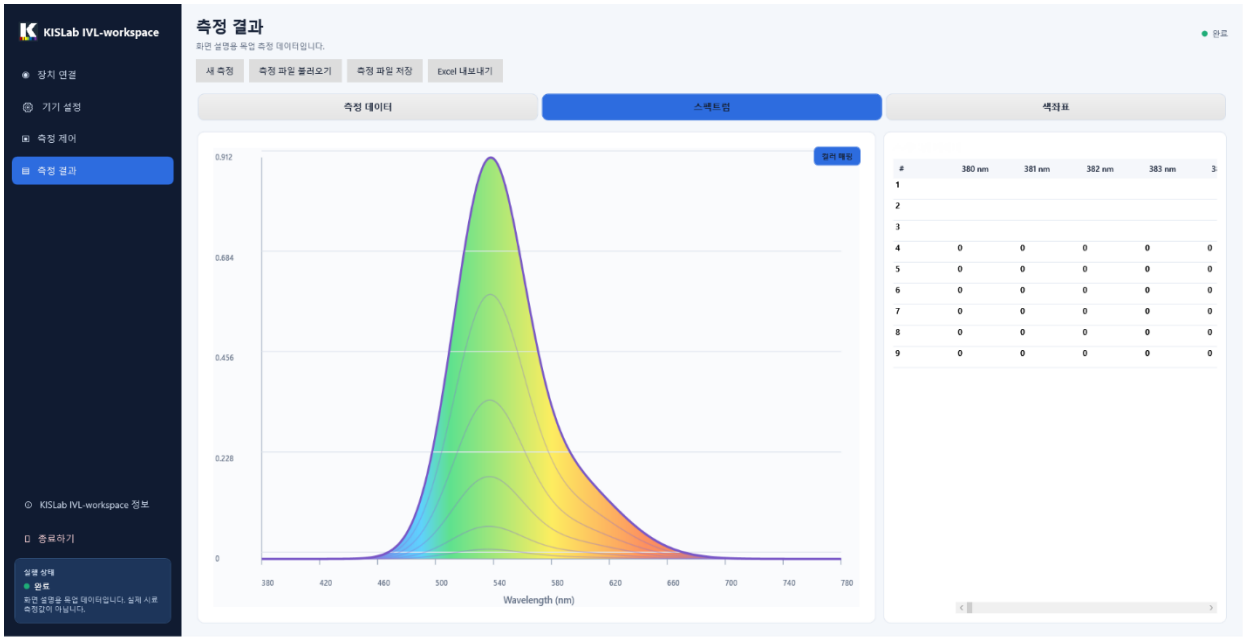

Figure: 그림 11-2 활성 스펙트럼 강조와 컬러 매핑

11.9 파장축과 세기축 판독

x축은 380~780 nm이며 적절한 중간 파장 눈금을 표시합니다. y축은 CS-3000에서 측정한 스펙트럼 세기의 자동 범위입니다. 서로 다른 RUN을 비교할 때 자동 스케일이 바뀔 수 있으므로 그래프 모양뿐 아니라 우측 숫자 데이터와 Lv도 함께 확인합니다.

11.10 컬러 매핑의 의미

컬러 매핑은 선택한 곡선 아래 영역을 가시광 파장대 색으로 표시해 피크 위치를 직관적으로 보여주는 보조 기능입니다. 색 채움은 측정값이나 색좌표 계산에 영향을 주지 않습니다. 정량 비교, 인쇄 또는 곡선 중첩이 복잡할 때는 OFF로 전환할 수 있습니다.

11.11 번호 선택과 다른 탭의 연계

스펙트럼 행 번호를 선택하면 같은 측정 번호의 곡선을 강조합니다. 색좌표 탭에서도 같은 번호를 선택해 좌표점과 Lv를 확인할 수 있습니다. 두 탭의 선택은 데이터의 동일성을 확인하는 수단이며 원 데이터를 변경하지 않습니다.

11.12 비정상 스펙트럼 판정 예

- 전 구간이 공란: CS-3000 미측정 구간 또는 측정 실패인지 ER code를 확인합니다.
- 전 구간이 0에 가까움: 시료 미발광, 광축 이탈, 액세서리 또는 측정각을 확인합니다.
- 상단이 평평하게 잘림: 포화 가능성이 있으므로 ER code와 ND 적용을 확인합니다.
- 특정 파장 한두 점만 급격히 튐: 재측정하여 반복되는지 확인합니다.
- 이전 행과 완전히 동일: 장비 응답과 데이터 갱신 여부를 통신 로그로 확인합니다.

11.13 Excel 스펙트럼과의 대조

Excel 스펙트럼 시트에서 한 행은 화면의 한 측정 번호와 대응하고 각 열은 파장입니다. 번호·RUN ID·측정조건을 이용해 원 데이터 행을 찾습니다. 화면 그래프가 의심되면 Excel 숫자로 피크 파장과 세기를 재확인합니다.

12. 색좌표

12.1 색좌표 화면

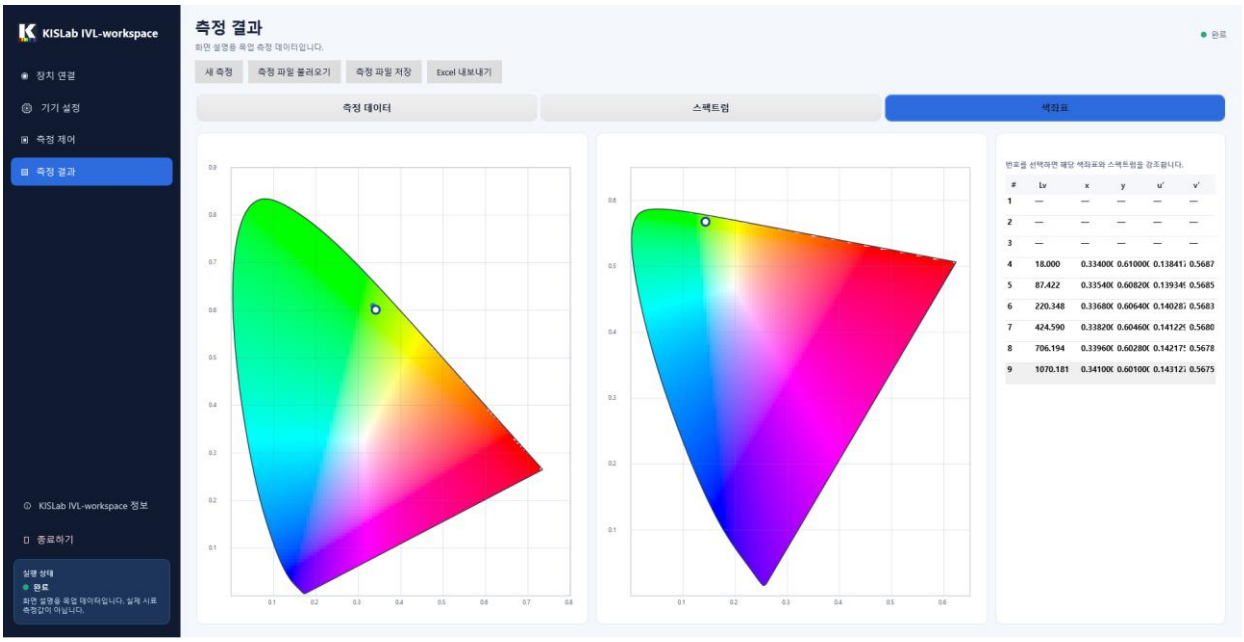

Figure: 그림 12-1 CIE 1931 xy와 CIE 1976 u-prime v-prime

좌측 xy, 중앙 u′v′, 우측 번호·Lv·좌표 데이터를 표시합니다.

12.2 CIE 1931 xy

내장 CIE 데이터로 스펙트럼 로커스와 컬러맵을 생성합니다. 선택 포인트는 테두리와 크기로 강조합니다.

12.3 CIE 1976 u′v′

xy에서 변환한 좌표를 표시하며 두 좌표는 수학적으로 대응합니다.

12.4 Lv 및 좌표 데이터

V/I 대신 Lv, x, y, u′, v′를 표시합니다. CS-3000 미측정 행은 공란 또는 대시입니다.

12.5 시료 번호 선택과 강조

번호 선택 시 두 색좌표와 관련 스펙트럼을 함께 강조합니다.

12.6 Excel 색좌표 차트

CIE 1931 xy와 CIE 1976 u′v′를 각각 별도 시트의 이미지와 수치표로 저장합니다.

12.7 색좌표 화면 판독 절차

우측 데이터에서 번호를 선택한 뒤 xy와 u′v′ 양쪽에서 같은 포인트가 강조되는지 확인합니다. Lv와 좌표값을 읽고, 스펙트럼 탭에서 같은 번호의 파형을 대조합니다. 색좌표가 갑자기 크게 이동했는데 스펙트럼 변화가 없다면

행 선택, 공란 처리 또는 데이터 불러오기 상태를 확인합니다.

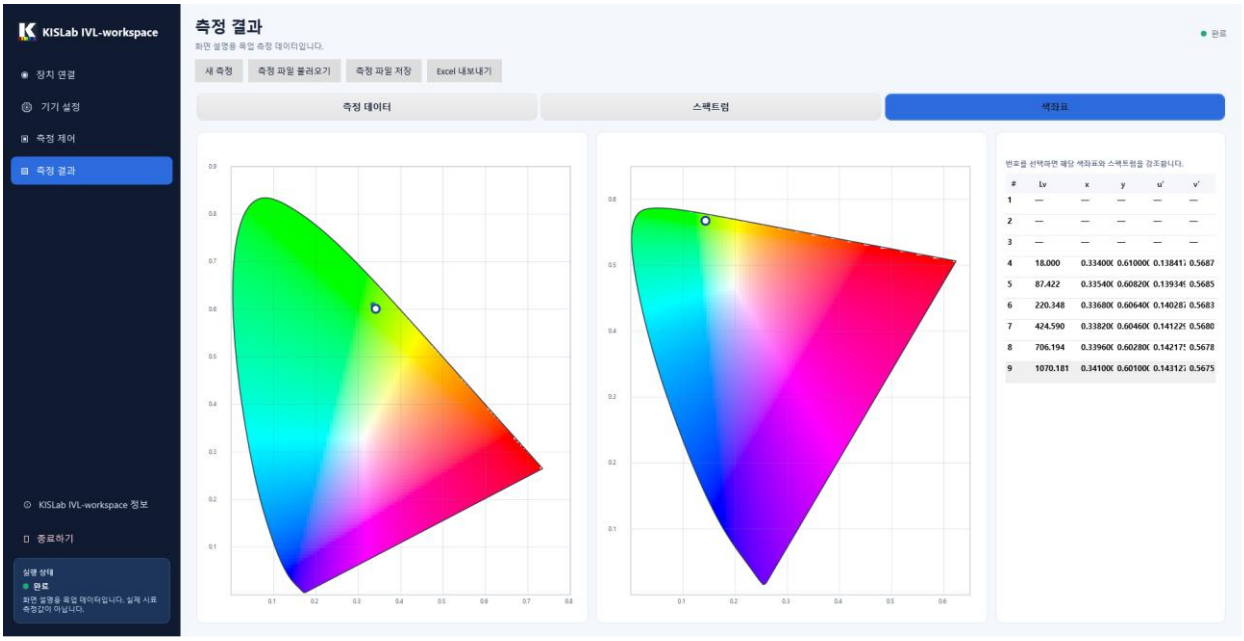

Figure: 그림 12-2 색좌표 두 좌표계와 측정 번호 연계

12.8 xy와 u′v′의 용도

CIE 1931 xy는 일반적인 색좌표 보고와 기존 사양 비교에 널리 사용합니다. CIE 1976 u′v′는 지각적 색 차이를 비교하기에 더 균일한 좌표계입니다. 두 값은 같은 스펙트럼에서 계산되므로 서로 독립적인 측정 결과가 아닙니다.

12.9 좌표가 표시되지 않는 경우

CS-3000 측정이 생략된 포인트, 스펙트럼 누락, 포화 또는 유효하지 않은 합계값에서는 좌표를 계산하지 않습니다. 이때 좌표를 0,0으로 표시하지 않고 공란으로 둡니다. ER code와 스펙트럼 행을 먼저 확인하십시오.

12.10 색좌표 검증

동일 시료를 반복 측정했을 때 좌표 군집이 합리적인 범위에 있는지 확인합니다. 큰 산포가 있으면 시료 안정성, 광축, 측정각, Source 안정화, 주변광을 점검합니다. Excel 이미지의 점 위치와 하단 수치표가 일치하는지도 확인합니다.

13. 데이터 저장 및 불러오기

13.1 저장 형식

사용자 검토용 Excel과 프로그램 재불러오기용 .ivl.json을 제공합니다. 자동 복구 JSON은 비상 백업입니다.

13.2 Excel 저장

경로와 파일명을 선택합니다. 대상 파일이 Excel에서 열려 있으면 닫은 뒤 다시 저장합니다.

13.3 측정 데이터 시트

화면과 같은 열 순서를 사용하고 번호 다음 RUN ID, 마지막 측정조건을 둡니다. 숫자는 문자열이 아닌 숫자형입니다.

13.4 스펙트럼 시트

번호별 380~780 nm를 저장하며 CS-3000 미측정 포인트는 공란입니다.

13.5 측정 조건 시트

RUN ID별 모드, 일반/Sweep 조건, 면적, limit, CS-3000/Keithley 상태를 저장합니다. 숫자 경고가 생기지 않도록 숫자형으로 기록합니다.

13.6 색좌표 시트

두 좌표계를 별도 시트로 만들고 차트 이미지와 원 수치를 함께 둡니다.

13.7 IVL JSON 저장

결과, 스펙트럼, RUN ID, 측정모드, 세부 조건과 상태 메타데이터를 보존합니다. 확장자는 .ivl.json입니다.

13.8 측정파일 불러오기

measurement.ivl.json으로 고정하지 않고 사용자가 지정한 파일명도 목록에 표시합니다. 불러온 데이터 차트는 번호축을 사용합니다.

13.9 새 측정 시 저장 확인

기존 결과가 있으면 새 측정 전에 저장 여부를 묻습니다. 취소하면 새 측정을 시작하지 않습니다.

13.10 프로그램 종료 시 저장 확인

좌측 종료와 X 버튼 모두 같은 질문을 한 번 표시합니다.

13.11 저장 실패 대응

파일 점유, 권한, 경로, 디스크 공간을 확인합니다. 실패 시 상태를 완료가 아니라 저장 오류로 표시합니다.

13.12 권장 파일명과 폴더 구성

측정 파일은 날짜_시료명_측정모드_조건처럼 내용을 식별할 수 있게 저장합니다. Excel과 IVL JSON은 같은 기본 이름을 사용하면 추적이 쉽습니다. 예를 들어 20261002_OLED-A_voltage-sweep.xlsx와 20261002_OLED-A_voltage-sweep.ivl.json을 한 폴더에 둡니다. 복구 폴더의 자동 파일은 정식 결과 폴더로 이동하지 말고 프로그램에서 불러온 뒤 새 이름으로 저장합니다.

13.13 Excel 통합 문서 구성

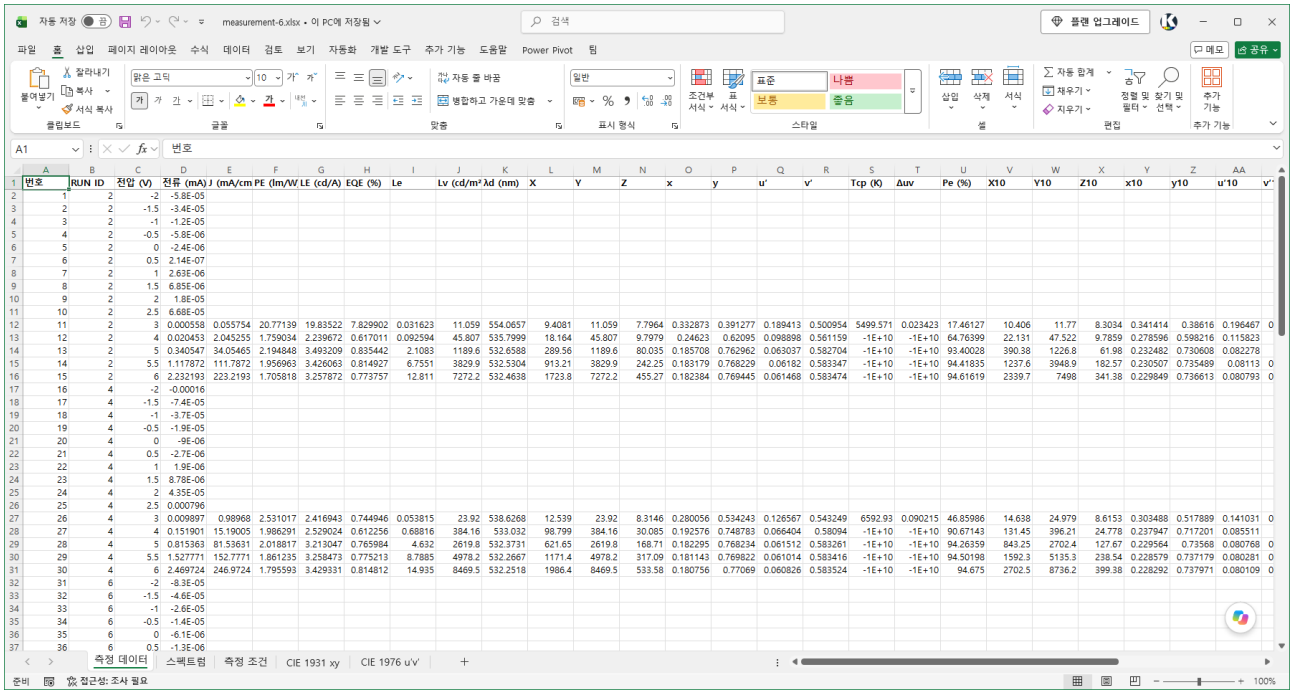

Figure: 그림 13-1 Excel로 저장되는 측정 데이터의 원본 화면

- Excel 파일은 다음 자료를 역할별 시트로 분리합니다.
- `측정 데이터`: 화면과 같은 포인트별 결과와 RUN ID, 측정조건
- `스펙트럼`: 포인트별 380~780 nm 원 데이터
- `측정 조건`: RUN별 Source, Sweep, 면적, 장비 설정과 상태 정보
- `CIE 1931 xy`: 좌표 수치와 차트 이미지
- `CIE 1976 u'v'`: 좌표 수치와 차트 이미지
- 시트명을 바꾸거나 열을 삭제한 사본은 프로그램 재불러오기용으로 사용하지 않습니다. Excel은 검토·보고용이고 프로그램 복원은 IVL JSON을 사용합니다.

13.14 숫자형 저장 확인

숫자 셀은 Excel 숫자형으로 저장하므로 셀 좌측의 녹색 경고나 숫자가 텍스트로 저장됨 표시가 없어야 합니다. 단위는 열 제목에 두고 값 셀에는 숫자만 기록합니다. 공란은 빈 셀로 유지합니다. 사용자가 후처리 수식을 추가할 때 원본 시트를 직접 덮어쓰기보다 사본 시트를 만드는 것이 안전합니다.

13.15 IVL JSON의 역할

IVL JSON은 화면 결과를 그대로 다시 구성하기 위한 프로그램 전용 측정 파일입니다. 포인트 데이터뿐 아니라 스펙트럼, RUN ID, 모드, 세부 조건과 장비 상태를 보존합니다. 일반 텍스트 편집기로 열 수 있지만 수동 편집하면 형식 또는 숫자 정밀도가 손상될 수 있으므로 수정하지 않습니다.

파일 선택 창의 필터는 *.ivl.json을 표시합니다. 이름이 반드시 measurement.ivl.json일 필요는 없습니다. 일반 .json이나 확장자가 중간에서 잘린 파일은 목록에 나타나지 않을 수 있으므로 전체 확장자를 확인합니다.

13.16 불러온 데이터의 표시 규칙

불러오기는 새 장비 측정을 실행하지 않습니다. 측정 데이터·스펙트럼·색좌표를 파일에서 복원하고, 여러 모드가 섞여 있을 수 있으므로 실시간 차트는 번호를 x축으로 사용합니다. 불러온 뒤 장비 Output이 자동으로 켜지거나 측정이 자동 재개되지 않습니다.

13.17 저장 전후 검수 절차

1. 화면의 마지막 번호와 총 행 수를 확인합니다.
2. 저장 경로와 파일명을 지정합니다.
3. 완료 상태와 저장 성공 메시지를 확인합니다.
4. Excel이 이미 열려 있었다면 닫고 다시 저장합니다.
5. 저장된 Excel의 마지막 행, RUN ID, 스펙트럼 행 수를 확인합니다.
6. IVL JSON을 프로그램에서 불러와 데이터와 차트가 복원되는지 확인합니다.

13.18 저장 실패 시 데이터 보호

저장에 실패해도 현재 화면 데이터와 자동 복구파일을 즉시 삭제하지 않습니다. 오류 메시지의 경로와 원인을 확인하고 다른 파일명 또는 쓰기 가능한 폴더로 다시 저장합니다. 저장 실패 상태를 단순 완료로 오해하지 말고 상태 카드와 오류 로그를 확인합니다.

14. 자동 복구

14.1 복구 기능 개요

모든 측정 모드에서 비정상 종료와 저장 누락에 대비합니다.

14.2 복구파일 생성 시점

포인트의 장비값·계산·스펙트럼 기록이 끝난 뒤 갱신합니다.

14.3 복구 데이터 범위

CS-3000 항목, 계산값, 스펙트럼, RUN ID, 측정모드를 포함합니다.

14.4 복구파일 불러오기

복구 폴더의 .ivl.json을 선택하면 프로그램 양식으로 표시합니다. 확인 후 정식 파일로 다시 저장합니다.

14.5 복구파일 보관기간

기본 30일이며 기간을 초과한 파일은 정리합니다.

14.6 정상 저장과 복구파일의 차이

복구는 비상 백업이며 정식 파일명·설명·최종 검증을 대체하지 않습니다.

14.7 자동 복구의 동작 흐름

각 포인트의 전기값, CS-3000 결과, 계산값과 스펙트럼이 하나의 결과로 확정된 뒤 복구파일을 갱신합니다. 따라서 비정상 종료 직전 진행 중이던 미완성 포인트는 없을 수 있지만 이전까지 완료된 포인트는 복구할 수 있습니다. 복구 기록 때문에 다음 포인트 시작이 측정 간격 정의를 바꾸지 않도록 저장 작업은 측정 제어와 분리해 처리합니다.

14.8 복구가 필요한 상황

- 사용자가 정식 저장 전에 프로그램이 종료된 경우
- Excel 저장이 파일 점유 또는 권한 문제로 실패한 경우
- Windows 또는 PC가 비정상 종료된 경우
- 장시간 수명 측정 중 통신·프로그램 오류가 발생한 경우

정상 저장 파일이 있고 검수까지 끝났다면 복구파일은 보조 자료입니다. 동일 측정의 정식 파일과 복구파일을 합칠 때 중복 번호와 RUN ID를 확인합니다.

14.9 복구 절차

1. 프로그램을 다시 실행하고 장비 Output 상태를 먼저 안전하게 확인합니다.
2. 측정파일 불러오기에서 복구 폴더의 `.ivl.json`을 선택합니다.
3. 마지막 번호, RUN ID, 측정조건, 스펙트럼 유무를 확인합니다.

4. 결과가 정상이라면 사용자 결과 폴더에 새 이름으로 Excel과 IVL JSON을 저장합니다.
5. 오류 발생 시각의 통신·오류 로그를 함께 보존합니다.

14.10 복구 후 측정 재개 원칙

복구파일을 불러왔다고 중단된 Sweep을 자동으로 이어서 인가하지 않습니다. 시료와 장비 상태가 달라졌을 수 있으므로 새 RUN으로 시작합니다. 필요한 경우 마지막 정상 Source 조건 다음 값부터 별도 조건을 구성하되, 원래 RUN과 구분되도록 RUN ID를 새로 부여합니다.

14.11 장기 측정과 보관 정책

복구파일은 기본 30일 동안 누적됩니다. 장기간 수명시험은 정기적으로 정식 결과를 저장하고 다른 저장장치에 복사합니다. 보관기간 자동 정리는 오래된 복구본을 대상으로 하므로, 분석이 필요한 사고 시점 파일은 기술지원 자료 폴더로 먼저 복사합니다.

15. 로그와 진단

15.1 로그 폴더 구조

사용자 LocalAppData 아래 통신, 오류, 진단, 복구 폴더를 분리합니다.

15.2 통신 로그

timestamp, 장치, resource, 단계, TX/RX, command/response, 결과, elapsed를 TSV로 기록합니다.

15.3 오류 로그

예외 유형, 메시지, 단계, RUN ID, 포인트, ER code와 stack trace를 기록합니다.

15.4 실행 및 비정상 종료 기록

정상 시작·종료와 처리되지 않은 예외를 남깁니다. 전원 차단은 마지막 기록이 없을 수 있습니다.

15.5 RUN ID를 이용한 추적

측정 데이터, 조건 시트, 복구파일, 오류 로그의 RUN ID를 맞춰 특정 측정을 추적합니다.

15.6 안정화 시간 확인 방법

Source 설정 완료와 Keithley Read 시작 timestamp 차이가 설정한 ms 이상인지 확인합니다.

15.7 로그 보관기간

통신·오류 90일, 복구 30일이 기본입니다.

15.8 기술지원용 로그 준비

버전, 발생 시각, RUN ID, 재현 순서, 통신·오류 로그, IVL JSON, 장비·액세서리 정보를 준비합니다.

15.9 실제 저장 위치

기본 위치는 다음과 같습니다.

```text
%LOCALAPPDATA%\KISLab_IVL-workspace\
├── recovery\
├── logs\communication\
├── logs\errors\
└── diagnostics\
```

%LOCALAPPDATA%는 Windows 사용자별 폴더입니다. 배포 프로그램 폴더가 읽기 전용이어도 로그를 기록할

수 있도록 실행파일 옆이 아닌 사용자 영역을 사용합니다. 다른 Windows 계정으로 실행하면 서로 다른 로그 폴더가 생성됩니다.

15.10 통신 로그의 기본 판독 순서

1. 문제가 발생한 날짜와 실행 시각에 해당하는 TSV 파일을 엽니다.
2. 장치 열에서 CS-3000 또는 Keithley를 필터링합니다.
3. RUN ID와 포인트 번호를 찾습니다.
4. 마지막 정상 TX/RX 다음 행의 결과와 elapsed를 확인합니다.
5. 오류 로그의 예외 시각 및 메시지와 대조합니다.
6. TX는 프로그램이 장비에 보낸 명령, RX는 장비가 반환한 응답입니다. OK00 같은 정상 응답도 명령과 짝을 이루는지 확인해야 합니다. CS-3000은 명령을 보낸 뒤 응답을 읽는 순서가 빠지면 다음 명령의 응답과 섞일 수 있습니다.

15.11 안정화 시간 로그 검증 예

연속측정에서 Source 명령 완료 시각이 10:00:00.000이고 Keithley Read 시작이 10:00:00.520이면 안정화 500 ms가 적용된 것으로 볼 수 있습니다. 차이가 설정보다 짧으면 동일 RUN의 명령 순서와 시스템 부하를 조사합니다. 차이가 더 긴 것은 통신 처리나 스케줄링에 의한 정상 여유일 수 있습니다.

15.12 오류 로그와 진단 로그의 차이

오류 로그는 측정·통신·저장 중 발생한 예외와 장비 오류를 기록합니다. 진단 로그는 프로그램 시작, 종료, 설정 로딩, 복구 정리처럼 전체 실행 상태를 파악하는 자료입니다. 오류가 없더라도 비정상 종료 여부를 판단할 때 진단 로그의 정상 종료 기록을 확인합니다.

15.13 정상 종료 로그 확인

정상 종료 시 Keithley Output OFF, Keithley Remote 해제, CS-3000 Remote OFF, 카메라 해제와 프로그램 종료 기록이 순서대로 남아야 합니다. 디버거 중단, 작업 관리자 강제 종료 또는 전원 차단에서는 마지막 명령이 남지 않을 수 있으며 장비가 Remote 상태에 남는 것이 가능합니다.

15.14 로그 제공 시 보안과 원본 보존

로그는 대부분 명령·응답과 파일 경로를 포함하는 텍스트입니다. 외부 제공 전 시료명이나 사용자 경로에 민감 정보가 있는지 확인합니다. 분석용 원본은 수정하지 말고 사본을 전달하며, Excel에서 TSV를 열어 저장하면 구분자와 숫자 형식이 바뀔 수 있으므로 원본 파일을 그대로 보존합니다.

16. 오류 및 예외 대응

16.1 CS-3000 포화

ER10 등 포화 코드는 해당 포인트에 기록합니다.

16.2 포화 시 자동 재측정

1회 자동 재측정하고 다시 포화이면 다음 포인트로 진행합니다. ND·측정각·광량을 조정해 새 RUN으로 측정합니다.

16.3 저휘도와 장시간 노출

저휘도는 오류가 아니라 노출 증가일 수 있습니다. 응답이 올 때까지 충분히 기다립니다.

16.4 CS-3000 응답 Timeout

예상 노출시간의 최소 3배 이상 응답이 없을 때 오류 처리하고 준비 상태로 복귀합니다.

16.5 필드 부족과 데이터 누락

필드 또는 401개 스펙트럼이 부족하면 제한 횟수 재측정 후 공란·ER code를 기록하고 다음 단계로 진행합니다.

16.6 셔터 및 다크 측정 이상

기기 자체 문제 가능성이 높아 제조사 점검 필요 메시지와 원문 코드를 표시합니다.

16.7 CS-3000 통신 오류

모델명, 시리얼 번호, 케이블, 포트 점유, 장비 전원, Remote 상태를 확인하고 로그를 보존합니다.

16.8 Keithley VISA 오류

0xBFFF0015는 read timeout 계열입니다. 리소스 검색, VISA 환경, 케이블과 응답을 확인합니다.

16.9 Keithley Limit 및 Interlock 경고

전면 패널과 limit을 함께 확인합니다. 의미 없는 고정 limit이 남았으면 Auto 또는 적절한 값으로 변경합니다.

16.10 카메라 점유 오류

다른 앱 사용 중 메시지를 표시하고 측정은 정상 유지합니다.

16.11 카메라 연결 해제

미리보기를 대기로 전환하고 리소스를 정리하며 장비 측정은 중단하지 않습니다.

16.12 저장 및 파일 오류

파일 점유, 확장자, 권한, 공간을 확인합니다. Excel 복구 시트가 생기면 원본과 로그를 보존합니다.

16.13 프로그램 비정상 종료

처리 가능한 예외는 로그 후 안전 복귀합니다. 작업 관리자 종료·전원 차단은 해제 명령을 보낼 수 없으므로 장비를 직접 확인합니다.

16.14 오류 대응의 기본 원칙

오류가 발생하면 먼저 시료 보호가 필요한지 판단합니다. Keithley Output이 켜져 있고 인가를 계속하면 위험할 수 있다면 측정을 정지하고 Output OFF를 확인합니다. 그 다음 화면 메시지, ER code, RUN ID와 포인트를 기록하고 로그를 보존합니다. 원인을 확인하기 전에 프로그램과 장비를 반복 재시작하면 최초 상태와 로그 연결이 사라질 수 있습니다.

16.15 CS-3000 오류별 사용자 조치표

현상	프로그램 처리	사용자 조치
포화/ER10	1회 자동 재측정, 실패 시 포인트 기록 후 계속	ND, 측정각, 광량, 거리 확인 후 새 RUN
명령 오류/ER02	명령·응답 기록, 해당 기능 실패 처리	포트 점유, Remote 상태, 명령 순서 확인
교정계수/ER05	액세서리 적용 실패 표시	Lens/ND 상호배타, 업로드 파일·메모리 확인
필드 부족	제한 횟수 재측정 후 공란·코드 기록	로그의 응답 길이와 401개 스펙트럼 확인
셔터/다크 이상	측정 실패와 제조사 점검 안내	전원 재확인 후 반복 시 제조사 점검
응답 없음	예상 노출 기준 timeout 후 준비 상태 복귀	케이블·포트·장비 상태 확인

16.16 최초 측정이 오래 걸리는 경우

CS-3000 번들 프로그램인 CS-S30에서도 최초 측정은 밝기 판단과 노출 조건 적응 때문에 이후 측정보다 오래 걸릴 수 있습니다. 이는 별도 사용자가 실행하는 예비측정 명령이 아니라 장비 내부 측정 과정에 포함될 수 있습니다. 최초 응답이 늦더라도 정해진 timeout 전에는 기다립니다. 포화 코드가 반환되면 프로그램의 1회 자동 재측정 결과를 확인합니다.

16.17 Keithley 연결 실패 대응

리소스 검색 없이 기본값으로 연결하거나 존재하지 않는 VISA 주소를 선택하면 timeout이 발생할 수 있습니다. 프로그램은 예외를 연결 실패 상태로 바꾸고 계속 실행되어야 합니다. 리소스 검색을 실행하여 실제 모델과 주소를 선택하고 다시 연결합니다. 디버거에서는 throw 지점이 표시될 수 있지만 릴리즈 실행에서 처리된 예외는 프로그램 창을 닫지 않습니다.

16.18 Limit by Interlock 경고 대응

전류 인가 중 실제 전압이 limit보다 낮아 보여도 장비의 interlock 또는 보호 설정 때문에 경고가 발생할 수 있

습니다. 장비 전면 패널 메시지, 프로그램의 전압 limit 모드, 이전 세션에서 남은 설정, 2/4-wire 결선을 함께 확인합니다. 경고를 무시하고 limit만 크게 올리지 말고 시료의 허용 전압을 기준으로 설정합니다.

16.19 저장 오류 대응 절차

Excel 파일이 열려 있으면 같은 파일에 덮어쓸 수 없습니다. Excel을 닫고 다시 저장하거나 새 이름을 사용합니다. 복구 메시지가 표시된 손상 통합 문서는 원본 측정 데이터와 IVL JSON을 보존한 뒤 새 파일로 내보냅니다. 저장 실패가 발생한 경우 측정 완료 LED와 저장 성공을 구분하여 확인합니다.

16.20 카메라 오류 격리

카메라 초기화·프레임 수신·캡처 저장에서 발생한 오류는 CS/Keithley 측정 작업으로 전파하지 않습니다. 다른 앱이 카메라를 사용 중이면 연결할 수 없음을 표시하고 사용자가 앱을 닫은 뒤 다시 연결할 수 있습니다. 미리보기 중 케이블이 빠져도 계측 데이터와 자동 복구는 계속 동작합니다.

16.21 문제 재현 기록 양식

- 발생 날짜와 시각:
- 프로그램 파일 버전:
- RUN ID / 포인트 번호:
- 측정 모드와 조건:
- CS COM / Keithley VISA 주소:
- 화면 메시지와 ER code:
- 직전 사용자 조작:
- 재현 가능 여부:
- 첨부 파일: IVL JSON, 통신 로그, 오류 로그, 화면 캡처

17. 안전한 종료

17.1 측정 정지

정지 후 실행 단계가 종료되고 Ready로 복귀하는지 확인합니다.

17.2 Keithley Output OFF

가장 먼저 OFF를 전송하고 readback 0을 확인합니다.

17.3 Keithley Remote OFF

Output OFF 후 연속 측정 Local 복귀와 Remote 세션 해제를 수행합니다.

17.4 CS-3000 Remote OFF

RMTS,0과 OK00을 확인합니다.

17.5 카메라 해제

프레임 수신과 객체를 해제합니다.

17.6 정상 종료

저장 질문 → Keithley Output OFF → Keithley Remote OFF → CS-3000 Remote OFF → 카메라 해제 → 창 종료 순서입니다.

17.7 강제 종료 후 점검

장비가 Remote/Output 상태에 남을 수 있으므로 Keithley Output을 수동 OFF하고 두 장비를 Local로 전환합니다.

17.8 정상 종료 상세 절차

1. 측정 중이면 정지 버튼을 누르고 현재 단계가 끝날 때까지 기다립니다.
2. 미저장 데이터가 있으면 종료 확인 창에서 저장을 선택합니다.
3. 저장 성공 여부를 확인합니다. 실패하면 종료를 취소하고 다른 이름으로 저장합니다.
4. 프로그램이 Keithley Output OFF를 전송하고 readback 0을 확인합니다.
5. Keithley 연속 측정/Local 상태 복귀와 Remote 세션 해제를 수행합니다.
6. CS-3000에 Remote OFF를 전송하고 OK00 응답을 확인합니다.
7. 카메라 프레임 수신과 장치 객체를 해제합니다.
8. 프로그램 창이 닫힌 뒤 두 장비 전면 패널 상태를 확인합니다.

17.9 종료 버튼과 X 버튼

좌측 프로그램 종료 버튼과 창 우측 상단 X는 동일한 종료 절차를 사용합니다. 어느 경로에서도 저장 질문이 중복 표시되거나 장치 해제가 생략되어서는 안 됩니다. 장비 해제 중에는 창이 잠시 응답하지 않는 것처럼 보여도

강제로 프로세스를 종료하지 않습니다.

17.10 프로그램이 응답하지 않을 때

저휘도 CS-3000 측정이나 장치 timeout 대기 중일 수 있으므로 상태 메시지와 장비 표시를 확인합니다. 정지 요청 후 충분히 기다려도 복귀하지 않으면 Keithley 전면 패널에서 Output을 먼저 OFF합니다. 그 뒤 프로그램 강제 종료 여부를 판단하고 장비를 Local로 전환합니다.

17.11 강제 종료가 장치를 해제하지 못하는 이유

프로세스가 정상 종료 이벤트를 실행할 수 있어야 Remote OFF 명령을 보낼 수 있습니다. 디버거 중단, 작업 관리자 강제 종료, Windows 충돌, 전원 차단은 프로그램 코드를 실행할 기회가 없으므로 소프트웨어만으로 완전한 해제를 보장할 수 없습니다. 이 경우 하드웨어 전면 패널 확인이 필수입니다.

17.12 종료 후 확인 체크리스트

[ ] Keithley Output 표시가 OFF인가?

[ ] Keithley가 Local 또는 연속 측정 대기 상태인가?

[ ] CS-3000 Remote 표시가 해제되었는가?

[ ] 프로그램 프로세스가 남아 있지 않은가?

[ ] 마지막 측정 파일이 정상적으로 열리는가?

[ ] 진단 로그에 정상 종료 기록이 있는가?

18. 유지관리

18.1 프로그램 업데이트

프로그램 오류, 작동 이상 문제 및 기능 추가, 측정 로직 변경 등 프로그램 수정과 업데이트가 필요한 경우 공급업체 관리자에 문의하시기 바랍니다.

18.2 파일 버전 관리

파일 버전은 공급업체 관리자에게 문의하시기 바랍니다.

18.3 폴더 백업

IVL-workspace는 별도 설치 파일이 아닌 폴더 전체를 배포하는 형태입니다. PC 포맷이나 이전 등에 대비하여 폴더를 백업해두시기 바랍니다.

18.4 설정 파일 관리

COM/VISA, 조건, 저장 경로를 백업할 수 있으나 Output/진행 상태는 복원하지 않습니다.

18.5 교정파일 관리

액세서리 종류·일련번호·교정일 기준으로 원본을 보관하고 장비 메모리 상태와 경로를 구분합니다.

18.6 로그와 복구파일 정리

보존 정책으로 자동 정리하되 분석 중인 RUN은 별도 보관합니다.

18.7 정기 점검 권장 항목

주기	점검 항목
매 사용 전	케이블, Output OFF, CS-3000 광축, Lens/ND 실제 장착 상태
주 1회	저장·불러오기 시험, 복구 폴더 용량, PC 시간
월 1회	통신/오류 로그 정리 상태, 배포 폴더 백업, 카메라 연결
변경 시	프로그램 버전, 장비 펌웨어, VISA/드라이버, 교정파일
교정 주기	CS-3000 및 액세서리 교정 유효성, 관련 증명서

18.8 프로그램 업데이트 전 회귀시험

업데이트 전후에 장치 검색·연결·해제, CS-3000 설정 읽기/적용, Keithley Output 안전 처리, 세 일반 측정 모드, 두 Sweep 모드, 포화 재측정, 저장·불러오기, Excel 생성, 자동 복구, 로그, 카메라 오류 격리를 확인합니다. 실제 장비 시험이 어려우면 목업 데이터와 통신 대체 시험을 먼저 수행하고 장비 확보 시 최종 확인합니다.

18.9 장비 또는 PC 변경 시

새 PC에는 Keithley VISA 및 장치 드라이버를 준비하고 CS-S30과 Keithley 도구로 장비가 먼저 인식되는지 확인합니다. COM 번호와 VISA 주소는 바뀔 수 있으므로 리소스를 다시 검색합니다. 기존 PC의 사용자 설정과 결과 데이터는 별도 백업하되 Output 상태나 진행 중 측정은 복원하지 않습니다.

18.10 교정파일 변경 관리

교정파일은 장비 본체가 아니라 Close-up Lens 또는 ND Filter 액세서리의 일련번호와 대응할 수 있습니다. 파일명만으로 판단하지 말고 액세서리 종류, 일련번호, 교정일을 기록합니다. 업로드 전 원본 파일을 보관하고 적용 후 장비 설정 읽기로 사용 상태를 확인합니다.

18.11 사용자 설정 백업 범위

백업할 가치가 있는 항목은 마지막 COM/VISA 선택, CS-3000 Lens/ND 사용 상태, Keithley 설정, 일반 측정 마지막 입력, Sweep 조건 파일, 마지막 저장 경로입니다. 마지막 화면 탭, 창 위치 또는 측정 진행 상태는 복원 우선순위가 낮으며 프로그램 시작 시 장치 연결 화면을 표시합니다.

부록 A. 기본 측정 조건

모드 : 기본 조건

전압제어 : 5 V, 1 s, 1회, 1 mm^2

전류제어 : 0.001 mA, 1 s, 1회, 1 mm^2

CS-3000 only : 1 s, 1회

전압 Sweep : 0→5 V, 발광 3 V, 안정화 500 ms, 1 mm^2

전류 Sweep : 입력값 0, 안정화 500 ms, 1 mm^2

부록 B. 측정 항목 및 단위

항목	단위	설명
V	V	인가 전압 / 측정 전압
I	mA	인가 전류 / 측정 전류
Lv	cd/m^2	휘도
J	mA/cm^2	전류 밀도
PE	lm/W	전력 효율
LE	cd/A	전류 효율
EQE	%	외부 양자 효율

부록 C. CS-3000 측정 항목

장비 필드의 표시 순서는 프로그램 화면, Excel, IVL JSON에서 동일하게 유지합니다. 필드 정의를 검증할 때는 화면 제목만 보지 말고 같은 측정의 CS-3000 응답 원문과 제조사 매뉴얼을 대조합니다.

CS-3000을 실행하지 않은 Sweep 발광 전 구간에는 24개 출력 값과 노출 시간이 공란입니다. CS-3000 응답은 받았지만 오류인 경우 ER code를 남기고 유효하지 않은 항목을 공란으로 처리합니다.

부록 D. 주요 계산 결과

구 버전 프로그램과 Excel 검증 수식을 사용합니다. 면적은 mm^2 입력 후 내부 변환하며 표시 반올림과 내부 정밀도 차이가 있을 수 있습니다.

Excel 수동 계산과 소수점 하위에서 차이가 나는 경우 원 데이터 자릿수, 표시 반올림 전 값, 물리 상수, 파장 적분 간격과 단위 변환 순서를 확인합니다. 화면에 표시된 반올림 값만으로 재계산하면 내부 원시값을 사용한 프로그램 결과와 작은 차이가 날 수 있습니다.

부록 E. CS-3000 ER code

OK00 : 정상

ER02 : 명령/응답 오류, 통신 원문 확인

ER05 : 교정계수·액세서리 오류

ER10 : 포화, 1회 재측정

필드 부족 : 재측정 후 오류 기록

셔터/다크 : 제조사 점검 안내

부록 F. 저장 파일 구조

- Excel: 측정 데이터, 스펙트럼, 측정 조건, 두 색좌표 시트
- IVL JSON: 결과·스펙트럼·RUN·조건·상태
- Sweep 조건: voltage-/current- 텍스트
- PNG: 카메라 단일 이미지

부록 G. 프로그램 데이터 폴더 구조

```text
LocalAppData\KISLab_IVL-workspace\
 ├── recovery\
 ├── logs\communication\
 ├── logs\errors\
 └── diagnostics\
```

부록 H. 통신 로그 읽는 방법

오류 시각·RUN ID를 찾고 해당 장치의 마지막 정상 TX/RX 다음 행을 확인합니다

열	내용	확인 예
Timestamp	명령 또는 응답 기록 시각	오류 로그와 시각 대조
Device/Resource	장치와 COM/VISA 주소	잘못된 리소스 선택 여부
Direction	TX 또는 RX	명령 뒤 응답 존재 여부
Stage	연결·설정·측정·종료 단계	실패 단계 구분
Command/Response	실제 통신 내용	OK/ER code와 데이터 필드
Elapsed	작업 경과 시간	안정화·timeout 검증
RUN ID/Point	측정 식별자	화면·파일 행과 연결

부록 I. 문제 해결 체크리스트

[ ] COM/VISA를 다시 검색했는가?

[ ] 다른 앱이 포트·카메라를 점유하지 않는가?

[ ] Keithley Output OFF인가?

[ ] 실제 액세서리와 Lens/ND 선택이 일치하는가?

[ ] 면적·limit·극성이 맞는가?

[ ] 저장 파일이 열려 있지 않은가?

[ ] RUN ID와 오류 로그를 확보했는가?

증상별 빠른 분류

CS-3000 연결 실패 : COM 검색, CS-S30 종료, Remote 상태, 통신 로그

Keithley 연결 실패 : VISA 검색, Configuration Wizard, 케이블, timeout

값은 있으나 광학 결과 공란 : 발광 시작값, ER code, 스펙트럼 필드 수

Sweep이 예상과 다름 : 시작·간격·종료·2차 조건과 총 포인트

Excel 저장 실패 : 파일 점유, 경로 권한, 디스크 공간

불러오기 목록에 파일 없음 : 전체 확장자가 `.ivl.json`인지 확인

프로그램 종료 후 Remote 유지 : 강제 종료 여부와 정상 종료 로그 확인

카메라 연결 실패 : 다른 앱 점유 여부, 장치 선택, 카메라 로그

부록 J. 기술지원 정보

프로그램 버전, Windows/배율, 장비 모델·연결 방식, 발생 시각, RUN ID, 포인트, 재현 절차, 화면, 통신·오류 로그, IVL JSON, 액세서리 정보를 함께 전달합니다.

홈페이지: www.kislab.kr

이메일: support@kislab.kr

전화: 010-3249-6129

KISLab IVL-workspace