

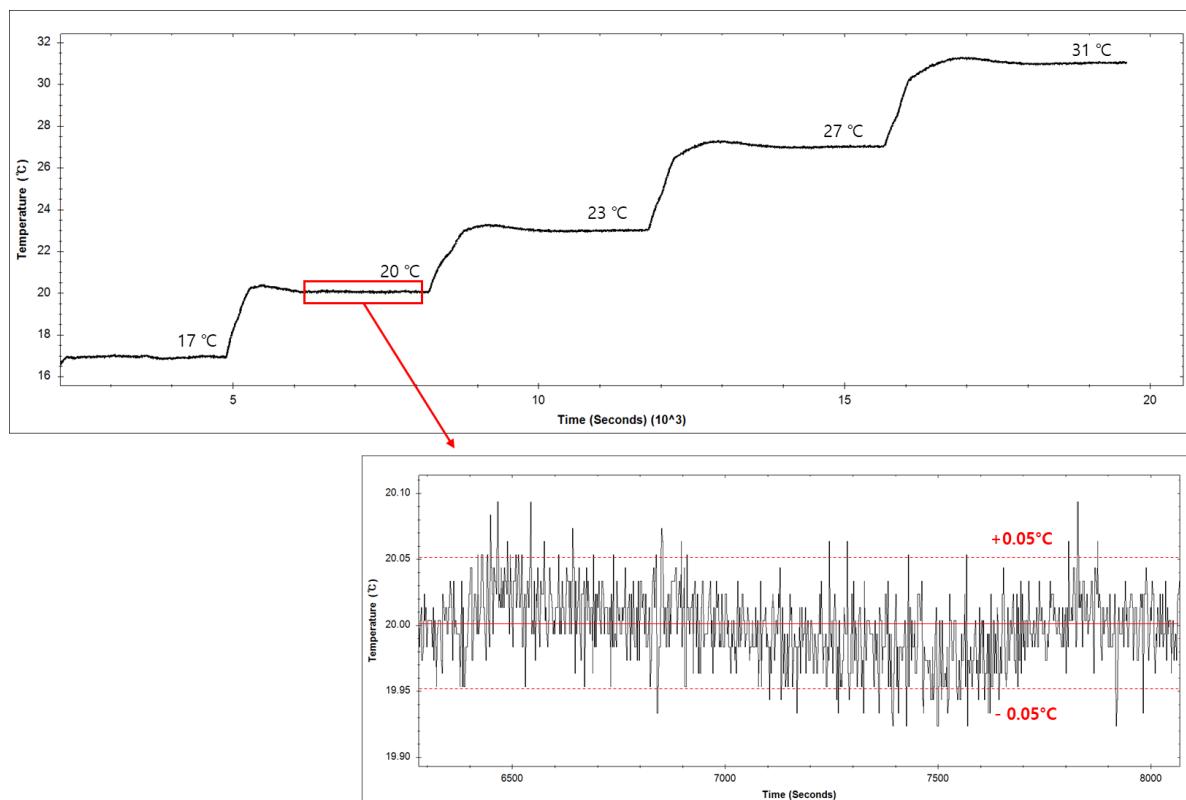
[iMSPR Pro Series TCU Technical Guide]

Smart Thermal Balance: Compact Design, Optimized Efficiency

iMSPR Pro의 TCU(Thermal Control Unit)는 실용적 효율성과 성능 안정성을 최우선으로 설계되었습니다. 거대한 대류 방식 항온조 대신 컴팩트한 **직접 접촉 방식(Contact-type)** 아키텍처를 채택하여, 공간 효율성을 극대화하는 동시에 연구자가 필요로 하는 정밀한 데이터를 신속하게 제공합니다.

1. Hardware Performance: Precision Meets Speed

iMSPR TCU는 단순히 절대적인 등온 상태를 유지하는 것을 넘어, 고감도 SPR 실험에 최적화된 열평형 상태(Thermal Equilibrium)를 구현하는 데 집중합니다.



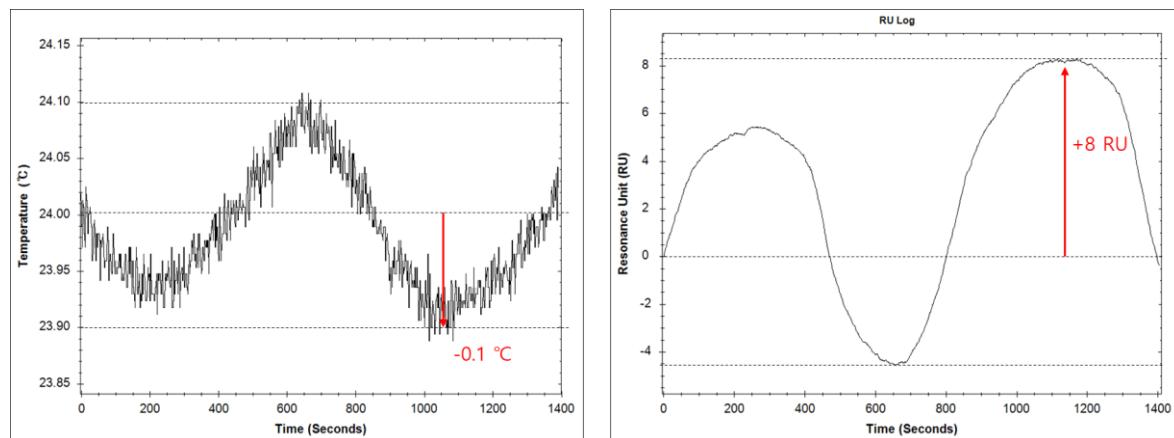
[Overview of iMSPR TCU temperature control/stabilization]

- **Intrinsic Noise (기본 성능):** iMSPR Pro의 순수 광학계 노이즈 수준은 **0.1 RU (RMS)** 이하로, 업계 최고 수준의 검출 감도를 보장합니다.

- 제어 범위 및 정밀도:** **10~40°C** 범위(상온 $\pm 10^\circ\text{C}$ 이내)에서 설정 가능하며, 정상 상태 도달 시 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 이내의 정밀한 온도 편차를 유지합니다.
- 직접 열교환 방식:** 펠티어 소자가 센서 블록에 직접 밀착되어 열을 전달하므로 열 손실이 적고 직관적인 온도 제어가 가능합니다.

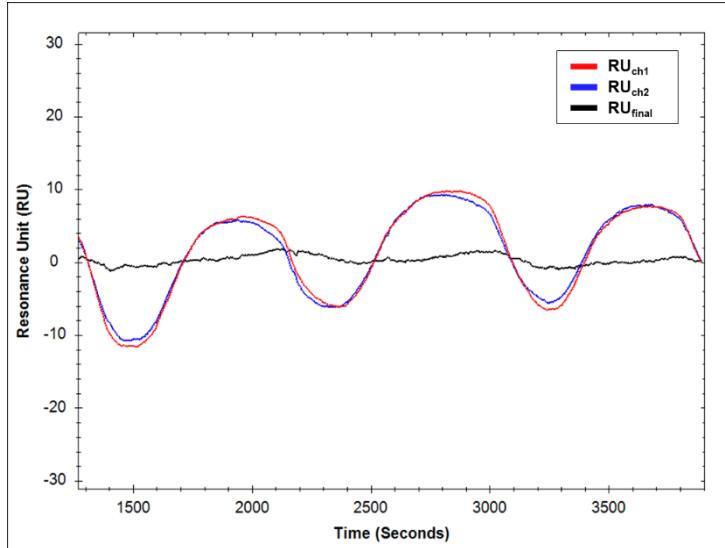
2. Adaptive Precision: Managing Physical Trade-offs

초정밀 SPR 분석에서 **0.1°C**의 미세한 온도 변화는 베이스라인에서 **10~15 RU** 수준의 신호 변동을 일으킬 수 있는 물리적 현상입니다. iMSPR Pro는 이를 하드웨어와 소프트웨어의 시너지를 통해 해결합니다.



[Left) Temperature change over time, (Right) SPR signal change over time]

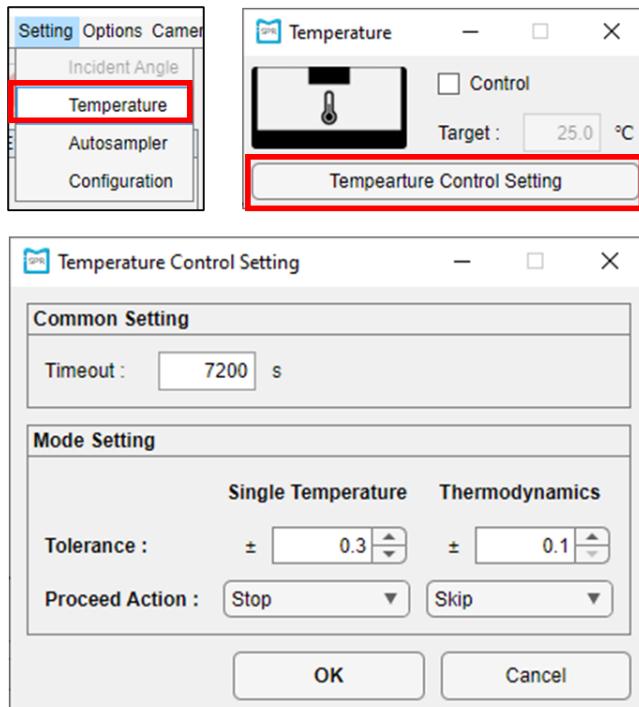
- 자동 보정을 통한 신호 교정:** 온도 변화로 인한 굴절률 변동은 분석 채널(Ch1)과 레퍼런스 채널(Ch2)에 동일한 타이밍과 패턴으로 나타납니다. 레퍼런스 채널 데이터를 차감함으로써 공통적인 열적 드리프트 성분을 제거하고 순수한 결합 시그널만을 추출합니다.
- 실효 안정성 (Baseline Stability):** 자동 보정 기술을 통해 원본 데이터의 파동을 상쇄함으로써, 최종 데이터에서는 **1~2 RU** 수준의 실용적이고 안정적인 베이스라인을 확보할 수 있습니다.



[Signal referencing by subtracting Ch2 data]

3. Software Parameter Optimization (소프트웨어 설정 최적화)

iMSPR 소프트웨어의 Setting – Temperature – Temperature Control Setting 메뉴에서 실험 목적에 맞춰 제어 파라미터를 최적화할 수 있습니다.



[Software setting window]

- **Timeout (Max Wait Time):** 설정 온도가 목표 범위에 도달할 때까지 대기하는 최대 시간(초)입니다. 정밀한 실험을 위해서는 이 값을 충분히 크게(최대 10,800s) 설정하여 시스템이 완전한 평형에 도달하도록 권장합니다.
- **Tolerance (Acceptable Range):** 목표 온도의 허용 오차 범위입니다. 정밀 분석 시에는 최소값(0.1°C)을, 신속한 스크리닝(Quick Screening) 시에는 범위를 넓혀(0.5°C) 대기 시간을 단축할 수 있습니다.
- **Proceed Action:** 정해진 Timeout 내에 Tolerance에 도달하지 못했을 때의 동작을 결정합니다. 완벽한 조건에서만 실험을 시작하려면 Stop 을, 미세한 오차를 허용하며 실험을 진행하려면 Skip 을 선택하십시오.

4. Operational Guidelines for Optimal Stability

[환경 최적화 (Environment)]

- **[중요] 표준 실험 환경:** 실험실 온도를 $20\pm5^{\circ}\text{C}$, 습도를 45%RH 이하로 유지하여 하드웨어의 열 부하를 줄이십시오.
- **[중요] 설치 위치:** 에어컨이나 히터의 직접적인 바람이 장비에 닿지 않도록 설치하십시오. 급격한 외부 기류 변화는 TCU 의 과도한 보정 동작을 유발할 수 있습니다.

[유연한 제어 전략 (Control Strategy)]

- **[중요] 패시브 모드(Passive Mode):** 설정 온도가 실험실 상온과 유사한 경우, TCU 를 가동하는 대신 상온 평형 상태에서 실험을 진행하는 것이 제어 노이즈 없는 안정적인 시그널 확보에 유리합니다.

"iMSPR Pro TCU는 실제 실험실 환경에서도 데이터의 신뢰성을 지켜내는 정교한 지능형 열 관리 시스템입니다."
