



# 레이저 빔 안정화 시스템 소프트웨어

Laser Beam Stabilization System Software

## 사용자 매뉴얼

User Manual

Target version – v4.0.0

HIL Lab. Inc.

포항지식산업센터 603 호

경상북도 포항시 북구 융합기술로 66

전화: 054-261-2901

팩스: 054-261-2902

이메일: [official@hillab.co.kr](mailto:official@hillab.co.kr)

홈페이지: [www.hillab.co.kr](http://www.hillab.co.kr)



# 목차

1. 개요	4
2. 하드웨어 및 시스템 요구 사항	4
3. 설치 및 설정	5
3.1. 이더넷 설정	5
3.2. 드라이버 설치	6
3.3. 디바이스 연결	7
4. 자동정렬 개요	9
5. 빠른 시작 가이드	10
5.1. 트리거 설정	10
5.2. 스트리밍 시작	10
5.3. 빔 입력 및 노출 조절	11
5.4. 빔 정렬 (마운트 조작)	12
5.5. 목표 위치 설정	13
5.6. 자동 정렬 시작 및 종료	13
6. 기본 인터페이스	14
7. 고급 사용자 가이드	16
7.1. 노이즈 제거	16
7.2. 오차 제어 설정	17
7.3. <b>Near Field</b> 프로파일링	17
7.4. 프로그램 외부 제어	18
7.5. 이미지 네트워크 전송	19
8. 그 외 기능	20
8.1. 누적 프로파일 관리	20
8.2. 레이아웃 커스터마이징	22
8.3. 설정 프리셋	23
9. 미러마운트 축 한계 지점 대응 지침	24

<b>10. 참고자료 .....</b>	<b>25</b>
<b>10.1. 이미지 좌표계.....</b>	<b>25</b>
<b>10.2. 프로파일링 데이터.....</b>	<b>26</b>
<b>10.3. 지원 컬러맵.....</b>	<b>27</b>

## 1. 개요

힐랩 주식회사의 레이저 빔 안정화 시스템소프트웨어는 레이저 빔의 정렬을 자동으로 유지하기 위해 설계된 Windows 기반 프로그램입니다. 이 소프트웨어는 힐랩 주식회사의 제품과 함께 사용할 때 정상적으로 작동합니다.

### 프로그램의 주요 기능

- 실시간 자동정렬** 사용자가 지정한 조사위치와 빔의 위치를 실시간으로 분석 및 오차 조정
- 누적 오차 모니터링** 빔이 틀어지는 경향성을 파악할 수 있는 모니터링 GUI 툴 제공
- 프로파일링** Near field 카메라를 통해 레이저 빔의 형상, 강도 분포, 크기 등을 실시간으로 제공
- 트리거** 빔의 위치 분석 시점을 외부 시스템과 연동할 수 있는 트리거 제공
- 노이즈 제거** 외부 환경에 위한 노이즈 제거 및 필터 기능 제공
- 로깅** 과거에 수행한 자동정렬 및 프로파일 조회 기능 제공
- 레이아웃 설정** 데이터 뷰어 레이아웃 및 표시 항목을 사용자 정의 가능
- 통신 및 외부 제어** gRPC 를 통한 원격 제어 및 RTP 를 통한 빔 이미지 전송 지원
- 설정 관리** 사용자 정의 프리셋으로 다양한 환경의 변화에 손쉽게 대응

### 제한 사항

- 한 대의 PC에서 다수의 디바이스를 사용할 수 없습니다.

## 2. 하드웨어 및 시스템 요구 사항

	일반 사용	외부 제어 및 네트워크 스트리밍 사용
CPU	Intel Core i5 코멧레이크 혹은 동급의 CPU	Intel Core i7 코멧레이크 혹은 동급의 CPU
RAM	8GB	16GB
LAN	최대 1000 Mbps 대역폭 지원 <sup>1</sup>	
운영체제 및 아키텍처		Windows x64-bit 11, 10
여유 저장 공간		2GB 이상의 C 드라이브 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> 카메라 한 대의 최대 FPS 촬영을 보장하는 대역폭입니다.

<sup>2</sup> 이외에도 빔 프로파일 로그를 위한 추가 공간이 필요하며, 이 저장 공간의 크기는 사용자가 프로그램의 설정에서 제한할 수 있습니다. 누적 프로파일 관리 항목을 참조하십시오.

## 3. 설치 및 설정

### 3.1. 이더넷 설정

본 프로그램을 원활하게 사용하기 위해서는 디바이스와 연결되는 PC의 이더넷 포트에 대해 다음 이더넷 설정이 완료되어야 합니다.

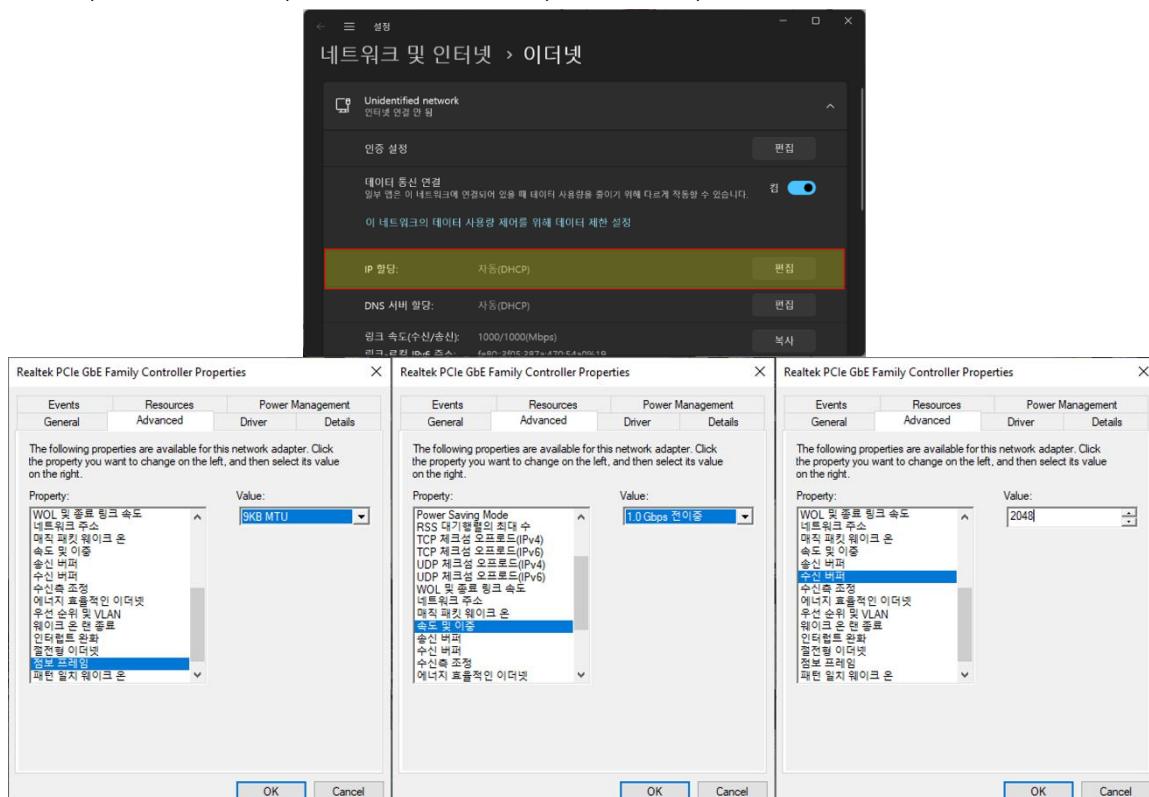
- IP 자동 할당
- 점보 프레임 활성화 (9014 byte)
- 수신 버퍼 확장 (권장)
- 속도 및 이중을 최대 링크 속도로 설정 (1.0Gbps 전이중)

점보 프레임은 1500 byte 이상의 패킷 사이즈를 의미합니다. 패킷 사이즈가 클수록 카메라의 대역폭 최적화를 기대할 수 있으며 PC의 CPU 부하를 줄일 수 있습니다. 대부분의 이더넷 어댑터는 점보 프레임을 지원하지만 일반적으로 비활성화 되어있습니다. 수신 버퍼는 이더넷 어댑터가 패킷을 수신하는데 사용할 메모리의 크기입니다. 수신 버퍼가 낮은 값으로 설정되어 있으면 디바이스의 성능이 저하될 수 있습니다. 수신 버퍼가 증가될수록 시스템 메모리 사용량이 증가합니다.

속도 및 이중은 이더넷 어댑터의 링크 속도를 의미합니다. 링크 속도가 낮게 설정되어 있다면 카메라의 프레임 속도가 매우 낮게 제한될 수 있습니다.

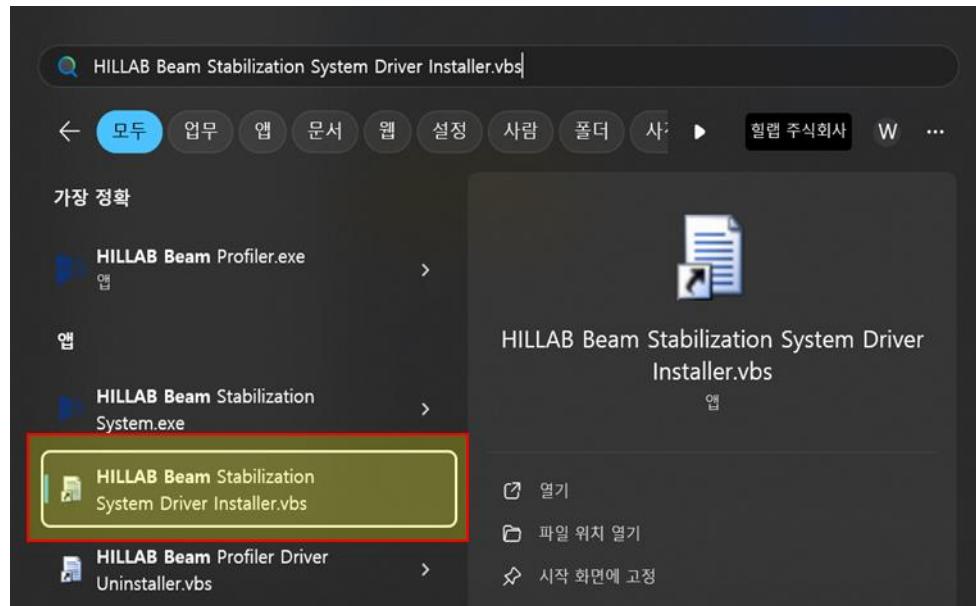
위 설정을 하기 위해 프로그램을 구동할 호스트 PC에서 다음 지침을 따르십시오.

- PC의 시작 창에서 “이더넷 설정”을 검색하여 이더넷 설정 창으로 진입한 뒤, 디바이스가 연결된 이더넷(2 개)의 IP 할당을 자동(DHCP)으로 변경
- PC의 시작 창에서 “장치 관리자(Device Manager)”를 검색하여 장치관리자 창으로 진입한 뒤, 검색 후 네트워크 어댑터 (Network adapters) 항목에서 디바이스가 연결된 이더넷 포트(2 개)를 우클릭 한 후, 속성(Properties) 창 진입
- 고급(Advanced) 탭 클릭하여 설정 창 진입
- 점보 프레임(Jumbo Packet) 속성을 9014 바이트(9014 Bytes 혹은 9KB MTU)로 변경 (필수)
- 속도 및 이중(Speed & Duplex) 속성을 1.0 Gbps 전이중(1.0 Gbps Full Duplex)으로 변경 (필수)
- 수신 버퍼(Receive Buffers) 속성을 자유롭게 변경 (권장: 512MB)

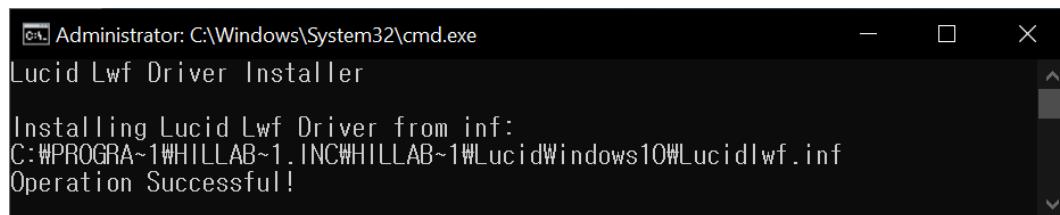


## 3.2. 드라이버 설치

본 프로그램을 설치한 뒤, 카메라를 PC에 연결 후 시작 메뉴의 *HILLAB Beam Stabilization System* 폴더에 있는 *HILLAB Beam Stabilization System Driver Installer.vbs* 파일을 실행하십시오.



아래와 같이 성공했다는 메시지가 콘솔 창에 표시되면 설치가 완료된 것입니다.



### 3.3. 디바이스 연결

#### 카메라 연결

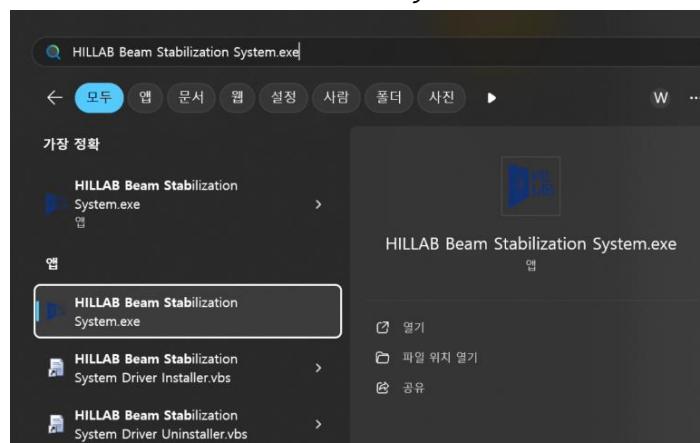
디바이스에는 카메라를 위한 두 개의 이더넷 포트가 제공됩니다. 이를 PC의 PoE 포트 혹은 PC와 최소 1Gbps 송수신이 가능한 PoE 허브에 연결하십시오.

#### 미러마운트 연결

미러마운트 포트는 디바이스의 형태에 따라 USB-B 타입, 혹은 RS232와 별도의 DC 전원으로 제공됩니다. 포트가 USB-B 타입으로 되어있을 경우, PC와 연결되면 미러마운트의 전원도 자동으로 인가됩니다. 미러마운트에 전원이 정상적으로 인가되면 디바이스에서 한 번의 딸깍 소리가 납니다.

#### 프로그램 연결

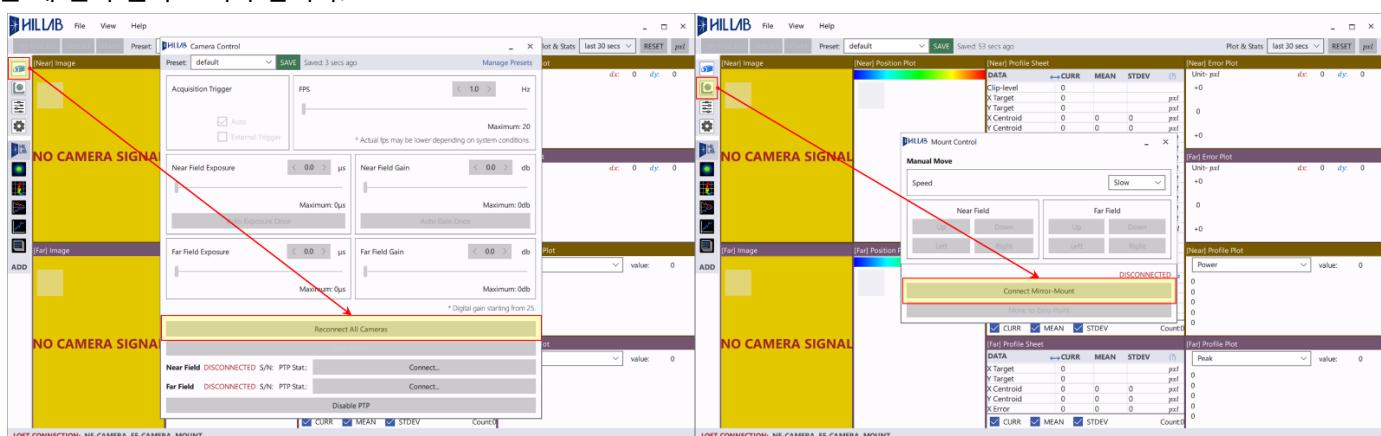
바탕화면 혹은 시작 프로그램 목록의 *HILLAB Beam Stabilization System.exe* 프로그램을 실행하십시오.



프로그램이 시작되면 PC에 연결된 디바이스는 자동으로 프로그램에 연결됩니다. 프로그램 하단의 상태창에서 디바이스 연결 여부를 확인하십시오. 프로그램 하단의 "LOST CONNECTION" 메시지는 프로그램에 연결되지 않은 디바이스 내 장치를 나타냅니다. 디바이스의 모든 장치가 프로그램에 정상적으로 연결되었다면 이 메시지가 표시되지 않습니다.

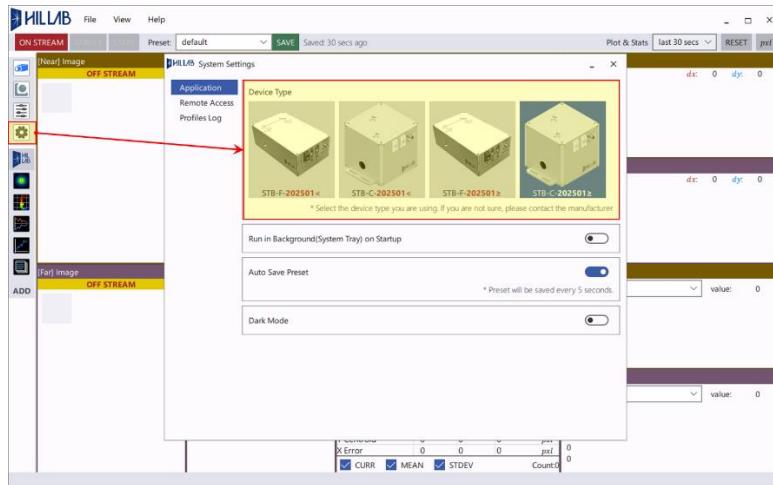
만일 카메라가 연결되지 않았다면, 좌측의 카메라 아이콘 을 클릭하여 *Camera Control* 창에 진입한 뒤, *Reconnect All Cameras* 버튼을 클릭하여 카메라를 프로그램과 연결하십시오.

마운트가 연결되지 않았다면, 좌측의 마운트 아이콘 을 클릭하여 *Mount Control* 창에 진입한 뒤, *Connect Mirror-Mount* 버튼을 클릭하여 미러마운트를 프로그램과 연결하십시오. 미러마운트가 프로그램에 연결되면 디바이스에서 두 번 혹은 세 번의 딸깍 소리가 납니다.



## 디바이스 타입 지정

프로그램 좌측의 시스템 설정 아이콘  을 클릭하여 *System Settings* 창에 진입한 뒤, *Application*의 *Device Type* 항목에서 사용중인 디바이스의 타입을 선택하십시오. 올바른 디바이스를 선택하지 않으면 시스템이 정상적으로 작동하지 않습니다.



## 이더넷 포트 연결 방식에 따른 설정 (PTP)

프로그램은 디바이스의 두 이더넷 포트가 PC의 하나의 이더넷 포트로 연결되는 경우에 대비하여 PTP<sup>3</sup> 기능을 지원합니다. 두 이더넷 포트가 각각 PC의 독립된 이더넷 포트로 연결되었다면 PTP 설정이 비활성화 되어야 하고, 반대로 디바이스의 두 이더넷 포트가 PoE 허브 등에 의해 동일한 네트워크에 묶여 PC의 하나의 이더넷 포트로 연결되었다면 PTP가 활성화 되어야 합니다. *Camera Control* 창 하단의 *Near Field*와 *Far Field*의 *PTP Stat*이 *Disabled*로 나타난다면 PTP가 비활성화된 상태이며, 그 외의 메시지가 나타난다면 PTP가 활성화된 상태입니다.



PTP를 활성화해야 할 경우 *Camera Control* 창의 *Enable PTP* 버튼을 클릭하십시오. PTP를 활성화하게 되면 디바이스는 약 몇 초간 두 카메라의 동기화를 진행합니다. 이 때 카메라의 *PTP Stat*은 *Listening*으로 표기됩니다. 이후 동기화가 완료되면, 하나의 카메라는 *Master* 상태, 다른 하나의 카메라는 일시적으로 *Uncalibrated* 였다가 이후 *Slave* 상태가 됩니다. 만일 아무리 기다려도 *Uncalibrated*에서 *Slave*로 상태가 전환되지 않는다면, *Reconnect All Cameras* 버튼을 클릭하여 카메라를 재연결하십시오.



PTP를 비활성화해야 할 경우 *Camera Control* 창의 *Disable PTP* 버튼을 클릭하십시오.

<sup>3</sup> Precision Time Protocol(PTP 또는 IEEE1588)은 GigE Vision 2.0에 통합된 IEEE 표준이며, 이더넷 네트워크에서 여러 장치의 시계를 동기화하는 프로토콜입니다. PTP가 활성화되면 두 카메라 중 하나의 카메라를 마스터 클록(*PTP Stat.: Master*)으로 설정하고 다른 카메라를 주기적으로 마스터 클록에 동기화(*PTP Stat.: Slave*)함으로써 PC의 카메라 데이터 수신 충돌을 예방합니다.

## 4. 자동정렬 개요

빔 자동정렬 시스템은 Near field 와 Far field 에서 관측되는 빔의 위치를 사전 설정된 목표위치로 자동으로 이동시키는 제어 시스템입니다. 이 시스템을 이해하기 위해서는 몇 가지 핵심 개념을 살펴볼 필요가 있습니다.

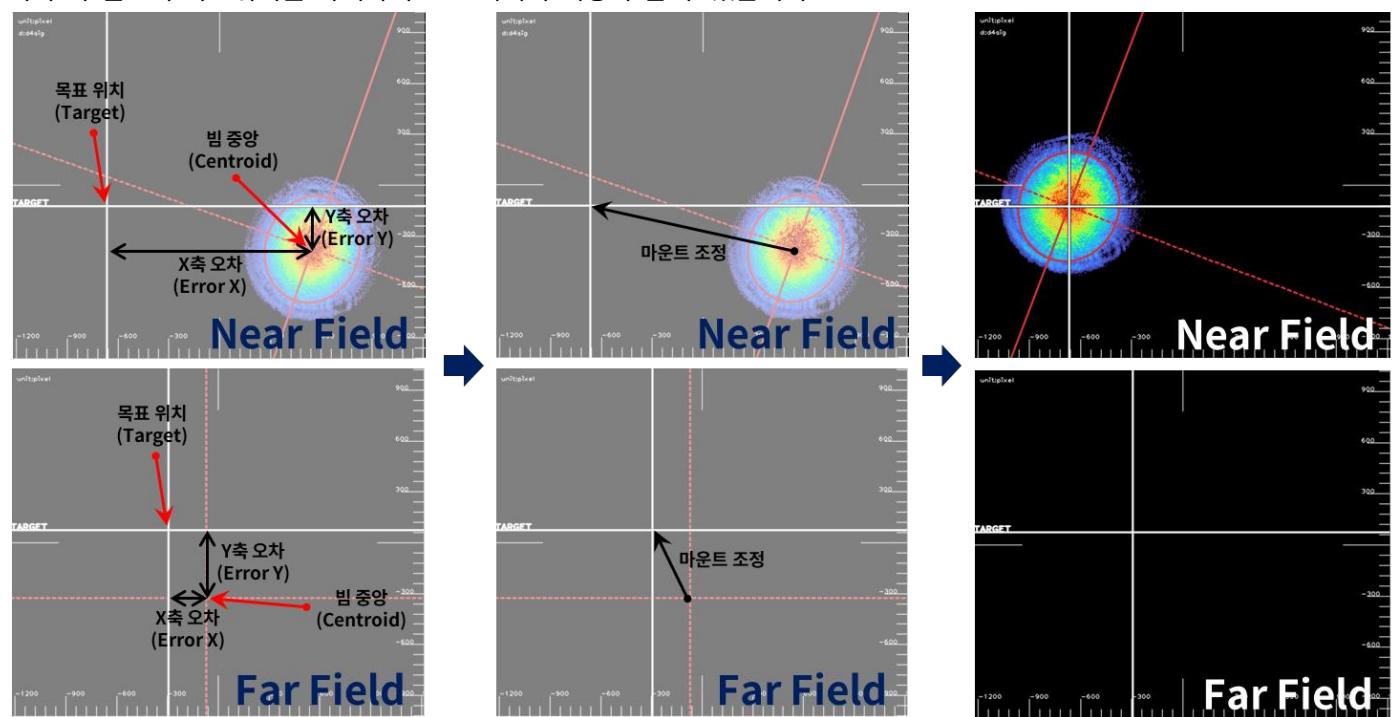
**우선 빔의 위치(빔 중앙, Centroid)**는 Near field 와 Far field 의 카메라 이미지에서 각각 계산되는 빔의 무게중심을 의미합니다. 이는 디바이스로부터 출력되는 빔의 실제 위치 및 방향(조사위치)에 직접적으로 대응되며. 디바이스의 미러마운트 조작에 따라 변경됩니다.

**목표 위치(Target)**는 각 필드의 이미지 상에서 빔이 도달해야 할 지점을 의미합니다. 이 목표위치의 설정은 다음과 같은 과정을 통해 이루어집니다.

(1) 먼저 Near field 와 Far field 의 미러마운트를 수동으로 조작하여 디바이스로부터 출력되는 빔을 조사위치로 정렬합니다. 이 때 두 필드의 빔이 반드시 카메라의 ROI(Region of Interest) 내에 위치해야 합니다.

(2) 정렬이 완료되면, 해당 시점의 빔 위치를 목표위치로 지정합니다.

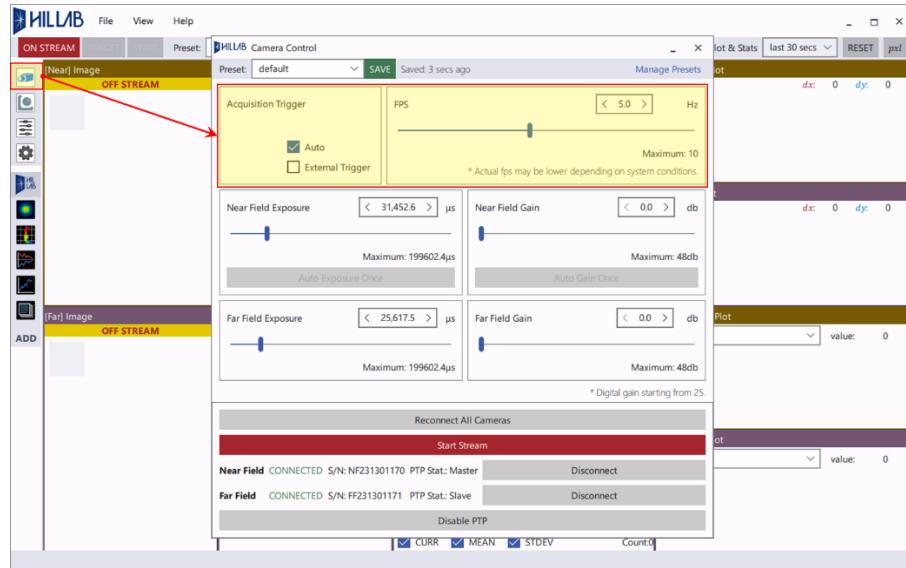
자동정렬 과정에서 프로그램은 각 필드에서 빔의 현재 위치와 목표위치 간의 거리를 지속적으로 모니터링합니다. 이 거리를 **빔의 오차(Error)**라고 하며, 프로그램은 미러마운트를 자동으로 제어하여 이 오차가 0 이 되도록 조정합니다. 사용자는 필요에 따라 각 필드의 목표위치를 카메라의 ROI 내에서 재정의 할 수 있습니다.



## 5. 빠른 시작 가이드

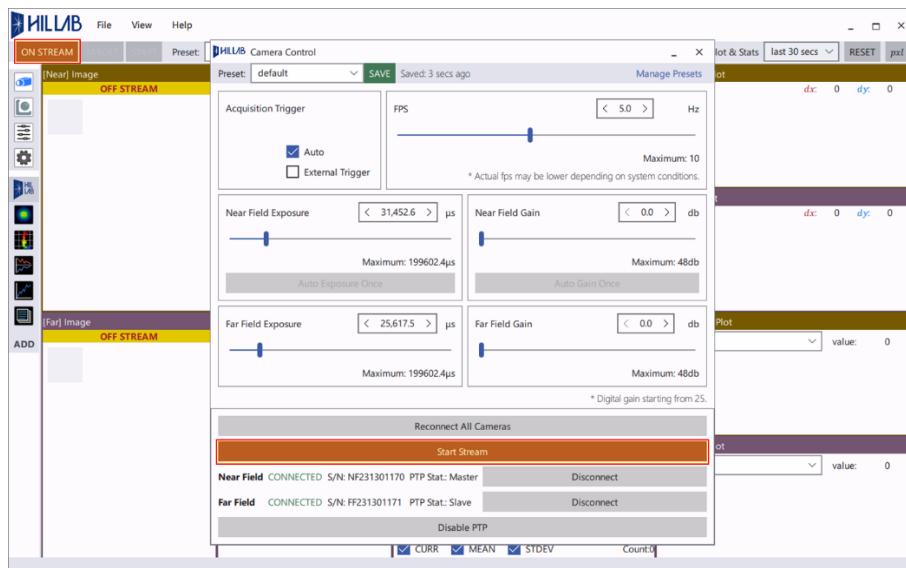
### 5.1. 트리거 설정

Camera Control 창의 *Acquisition Trigger* 설정에서 카메라의 촬영 방식을 설정할 수 있습니다. 카메라에 펄스 트리거를 연결하였을 경우 *External Trigger*를 선택하십시오. 이 경우, 카메라는 스트리밍이 시작되면 트리거가 발생할 경우 한 프레임을 촬영합니다. 펄스 트리거를 사용하지 않을 경우 *Auto*를 설정하십시오. 이 경우, 카메라는 스트리밍이 시작되면 *FPS* 값의 빈도로 프레임을 촬영합니다.



### 5.2. 스트리밍 시작

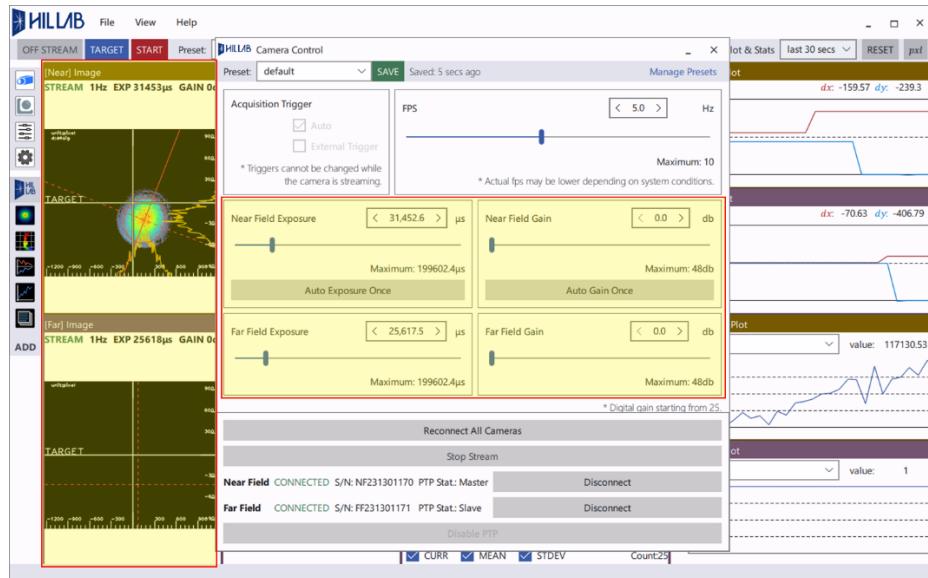
프로그램 상단의 *ON STREAM* 버튼 **ON STREAM** 혹은 Camera Control 창의 *Start Stream* 버튼을 클릭하여 카메라의 스트리밍을 시작하십시오.



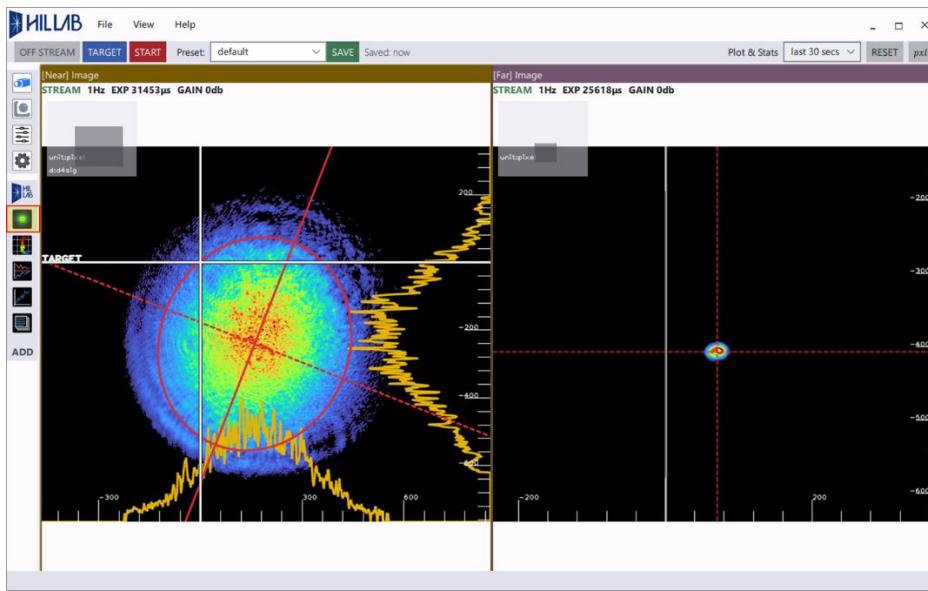
## 5.3. 빔 입력 및 노출 조절

가이드 빔을 디바이스의 입력부에 조사한 뒤, *Camera Control* 창에서 Near field 와 Far field 의 노출을 조절하여 프로그램 메인 화면의 *[Near] Image* 와 *[Far] Image*에서 빔이 보이는지 확인하십시오. 이 둘은 각각 Near field 와 Far field 카메라의 이미지를 나타냅니다.

Near field 이미지는 *Auto Exposure Once* 혹은 *Auto Gain Once* 버튼을 클릭하여 적절한 노출 값을 프로그램이 자동으로 찾게 할 수 있습니다. 단, 빔이 이미지 상에 보이지 않을 경우 이 기능은 작동되지 않습니다.



프로그램 좌측의 빔 이미지 아이콘  을 클릭하면 빔 이미지를 화면에 가득 채울 수 있습니다. 또한 빔 이미지를 마우스 휠을 조작하여 확대/축소 할 수 있으며, 드래그로 보고자 하는 위치를 이동할 수 있습니다. 더블 클릭시 확대/축소를 초기화합니다.



빔 이미지에서는 빔의 위치(Centroid) 가 빨간색 십자선으로 표시됩니다. 이 십자선이 빔의 중앙에 안정적으로 위치하고 있는지 확인하십시오. 이미지에 노이즈가 존재한다면 안정적이지 않을 수 있습니다. 이 경우 7.1. 노이즈 제거 문단을 참고하여 적절히 노이즈를 제거하십시오.

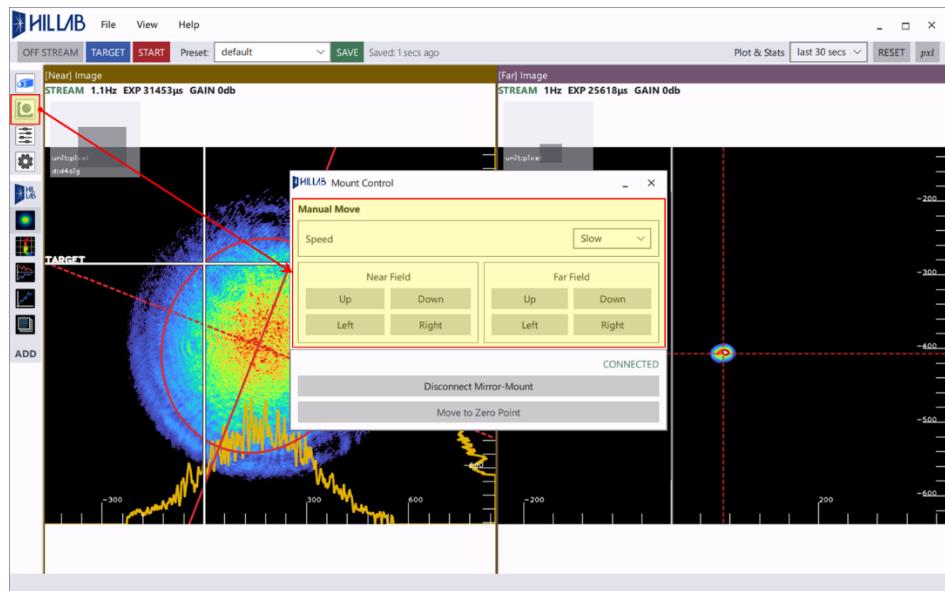
필요한 경우, 빔 이미지를 마우스 우클릭하여 컬러맵을 비롯한 다양한 빔 프로파일 시각화 옵션을 변경하십시오.

## 5.4. 빔 정렬 (마운트 조작)

자동정렬을 수행하기 위해서는 먼저 디바이스에서 출력되는 빔의 수동 정렬을 수행해야 합니다. 사용자는 *Mount Control* 창에서 디바이스 내부의 미러마운트를 수동으로 조작하여 출력되는 빔의 방향을 수정함으로써 빔을 정렬할 수 있습니다.

*Mount Control* 창의 Near field 와 Far field 의 *Manual move* 버튼은 각각 빔 이미지 상에서 보여지는 빔의 이동 방향을 나타냅니다. 이 버튼들을 클릭하여 두 필드의 마운트를 수동으로 움직여 디바이스로부터 출력되는 빔을 원하는 조사위치로 정렬하십시오.

오. 단, 두 필드 중 어느 하나라도 빔 이미지가 카메라 범위 밖을 벗어나게 하지 마십시오.



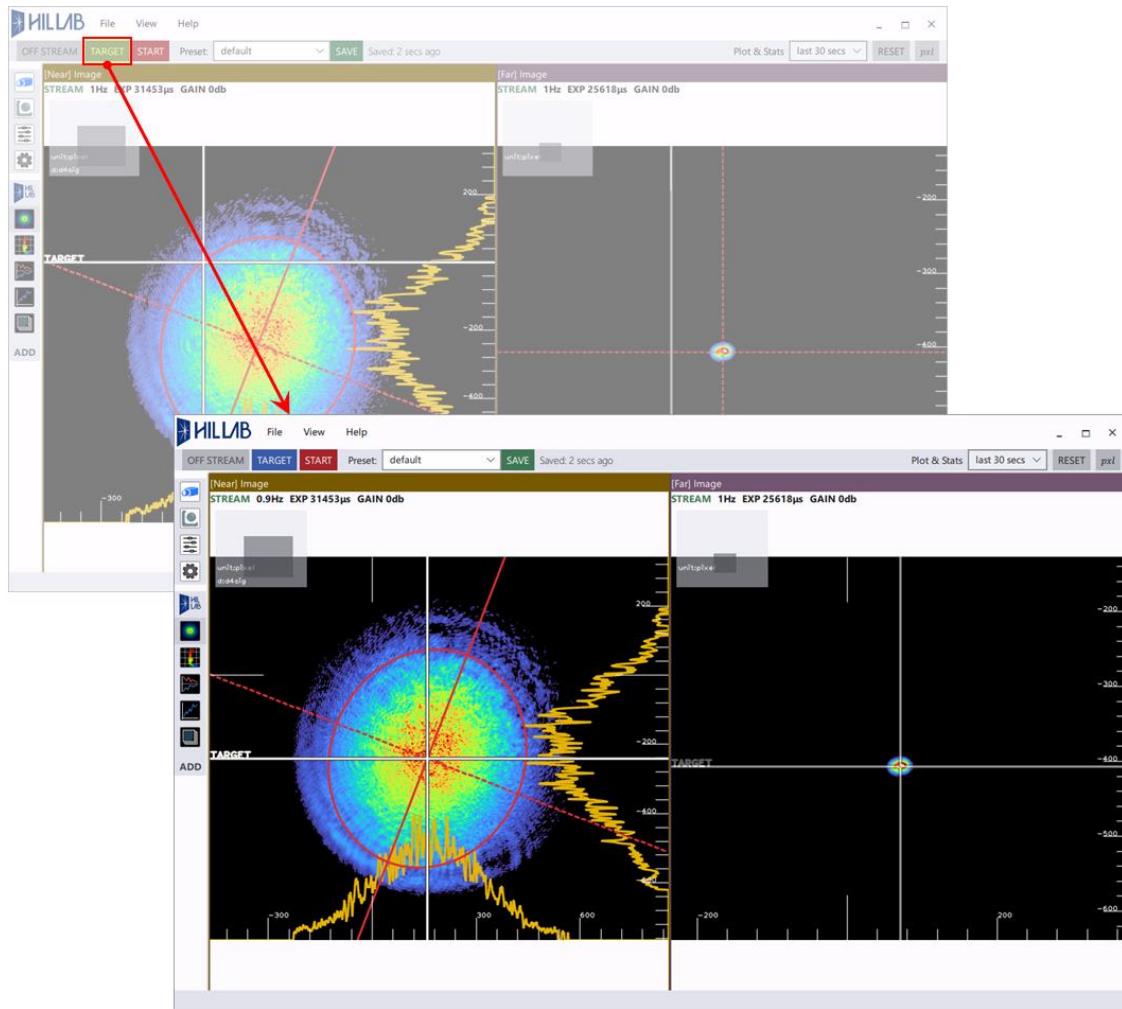
주의사항으로, 각 필드의 마운트 조작은 다른 필드의 빔 이미지에도 영향을 미칠 수 있습니다. 가령 “STB-F” 타입 디바이스의 각 필드의 마운트 조작이 다른 필드에 미치는 영향은 다음과 같습니다.

- Near field Up 조작 → Far field 가 오른쪽으로 움직임
- Near field Down 조작 → Far field 가 왼쪽으로 움직임
- Near field Left 조작 → Far field 가 아래로 움직임
- Near field Right 조작 → Far field 가 위로 움직임
- Far field Up 조작 → Near field 가 오른쪽 아래로 미약하게 움직임
- Far field Down 조작 → Near field 가 왼쪽 위로 미약하게 움직임
- Far field Left 조작 → Near field 의 밝기 감소
- Far field Right 조작 → Near field 의 밝기 증가

그러므로 사용자는 각 필드의 조작이 다른 필드에 미치는 영향을 고려하여 각 필드의 마운트를 적절히 번갈아 이동시켜야 합니다.

## 5.5. 목표 위치 설정

출력부의 빔이 정렬되고, 두 필드의 빔 이미지가 정상적으로 보인다면 프로그램 상단의 **TARGET** 버튼  을 클릭하십시오. 이 버튼을 클릭하면 현재 빔의 위치가 목표 위치로 설정됩니다. 목표 위치는 빔의 이미지 상에서 흰색 십자선으로 시각화됩니다.



## 5.6. 자동 정렬 시작 및 종료

빔 이미지에서 흰색 십자선이 빔의 centroid 와 동일한 위치에 존재하는 것을 확인한 뒤, 프로그램 상단의 **START** 버튼  을 눌러 자동정렬을 시작하십시오.

자동정렬이 시작되면, **STOP** 버튼  을 클릭하여 자동정렬을 종료할 수 있습니다.

## 6. 기본 인터페이스



① 카메라로부터 취득된 빔 이미지입니다. 마우스 클릭, 드래그, 휠 조작을 통해 팬 및 줌 기능을 제공하며, 마우스 우클릭으로 각 필드의 목표 위치를 변경하거나 프로파일링 시각화 옵션을 변경하는 메뉴창을 제공합니다.

상단에는 카메라의 스트리밍 상태, 이미지 출력 FPS(Hz), 노출(EXP) 및 게인(GAIN)을 보여줍니다.

**Centroid**      붉은색 십자선은 빔의 위치(Centroid)를 의미합니다. Near field 의 경우, 빔의 긴 축(Major-axis)은 실선으로, 짧은 축(Minor-axis)은 점선으로 표시됩니다. Far field 의 경우 긴 축과 짧은 축의 구분 없이 모두 이미지의 수직 각도에서 점선으로 표시됩니다.

**Target**      흰색 십자선은 목표 위치(Target)를 의미합니다.

**Diameter**      Near field 빔의 빨간색 원형은 빔의 직경(Diameter)을 의미합니다. 마우스를 우클릭하여 빔의 직경 측정 방식을  $D4\sigma$ , FWHM,  $1/e^2$  중 하나로 변경할 수 있습니다.

**Intensity**      Near field 이미지 하단의 노란색 그래프는 빔의 긴 축(Major-axis)의 강도(Intensity)를, 우측의 노란색 그래프는 짧은 축(Minor-axis)의 강도(Intensity)를 의미합니다.

**Unit**      이미지의 하단과 우측의 흰색 눈금선은 이미지의 데카르트 좌표계를 ⑯에 정의된 단위로 나타냅니다. 이미지의 정중앙이 원점입니다.

② 빔의 위치가 기록된 그래프입니다. 흰색의 점선 십자선은 목표 위치(Target)를 의미합니다. 기록 순서가 컬러맵으로 표기되며, 강도가 강할수록 최근에 기록된 데이터임을 의미합니다. ⑩에서 설정된 시간까지의 데이터가 기록됩니다. 마우스 클릭, 드래그, 휠 조작을 통해 팬 및 줌 기능을 제공하며, 마우스 우클릭으로 컬러맵을 변경할 수 있습니다.

③ 빔의 프로파일 시트입니다. Near field 는 ISO 에 정의된 모든 프로파일 데이터가 기록되며, Far field 는 빔의 위치(Centroid)와 Peak 만 기록됩니다. 각 행은 클릭 및 드래그하여 위치를 변경하거나, 더블클릭하여 확대/축소할 수 있습니다. 평균과 표준편차는 ⑩에서 설정된 시간까지의 데이터로 계산됩니다.

④ 빔의 오차(Error) 그래프입니다. 빨간색은 x 축 오차를, 파란색은 y 축 오차를 의미합니다. 마우스 드래그 및 휠 조작을 통해 팬과 줌 기능을 제공하며, 마우스 우클릭으로 그래프의 기준 축을 변경할 수 있습니다. ⑩에서 설정된 시간까지의 데이터가 기록됩니다.

⑤ 빔의 프로파일 그래프입니다. 상단의 데이터 이름을 클릭하여 다른 데이터의 그래프로 변경할 수 있습니다. 마우스 드래그 및 휠 조작을 통해 팬과 줌 기능을 제공합니다. ⑩에서 설정된 시간까지의 데이터가 기록됩니다.

⑥ 카메라의 스트리밍을 시작/종료합니다.

⑦ 자동정렬의 목표 위치(Target)를 빔의 위치(Centroid)로 설정합니다.

⑧ 자동정렬을 시작/종료합니다.

⑨ 프로그램의 현재 설정 프리셋을 나타냅니다. 클릭하여 저장된 다른 프리셋으로 변경할 수 있으며, 우측의 *SAVE*버튼 을 클릭하여 프리셋을 저장할 수 있습니다. 프리셋에 관한 자세한 정보는 [8.3. 설정 프리셋](#)문단에 있습니다.

⑩ 누적 기록되는 모든 데이터의 최대 누적 시간을 변경합니다.

⑪ 누적 기록되는 모든 데이터의 누적을 초기화합니다.

⑫ 모든 데이터의 단위를 변경합니다. *pxl*은 픽셀 단위를 의미하며, *μm*은 마이크로미터 단위를 의미합니다. 마이크로미터 단위 일 경우, Far field 의 데이터는 마이크로라디안(*μrad*) 단위가 사용됩니다.

⑬ 제어 창을 엽니다.

-  카메라 제어 창 (*Camera Control*)
-  마운트 제어 창 (*Mount Control*)
-  고급 제어 창 (*Advanced Control*)
-  시스템 설정 창 (*System Settings*)

⑭ 프로그램 메인 화면에 나타나는 시각화 요소(①, ②, ③, ④, ⑤)들의 레이아웃을 변경합니다. ⑮를 통해 커스텀 레이아웃을 생성하였을 경우, 해당 레이아웃의 아이콘이 함께 표시됩니다.

⑮ 시각화 요소의 커스텀 레이아웃을 생성합니다.

## 7. 고급 사용자 가이드

### 7.1. 노이즈 제거

프로그램 좌측의 고급 제어 아이콘  을 클릭하여 나오는 *Advanced Control* 창의 *Noise Reduction* 항목에서 빔의 노이즈를 제거하는 다양한 옵션을 설정할 수 있습니다.

빔 이미지는 프로파일 되기 전 노이즈 제거 단계를 거칩니다. 노이즈 제거의 단계는 다음과 같으며, 각 단계는 비활성화 할 수 있습니다.

Low-pass Filter → Background Removal → Median Filter → Threshold → Averaging

모든 과정은 ISO 표준에서 명시적으로 규정된 절차는 아니지만, 특정 상황에서 유용하게 사용될 수 있습니다. 예를 들어, 신호 대 잡음비(SNR)가 낮거나 고주파 노이즈가 많은 경우, 이러한 처리 단계가 더욱 안정적인 측정을 지원할 수 있습니다.

#### *Low-pass Filter*

- Butterworth 저역 필터로, Nyquist 주파수의 0.7 배로 고정되며 DC 성분은 그대로 통과됩니다.
- 고주파 노이즈를 제거하면서 ISO에서 정의한 측정 기준(표준에 따른 최소 조명 픽셀 수 등)에는 영향을 주지 않습니다.

#### *Background Removal*

- DC 성분을 제거하기 위한 오프셋입니다.
- 빔의 배경이 카메라의 XY 평면에 수직(즉, 기울어지지 않음)일때만 사용하십시오.

#### *Median Filter*

- 2D 중간값 필터입니다. 신호 대 잡음비(SNR)가 극도로 낮고 Speckle 노이즈가 많은 경우에 사용하십시오.

#### *Threshold*

- 2D 가우시안 필터를 적용하여 평활화 한 뒤, Threshold 이하인 센서값을 0 으로 변경합니다.
- 2D 가우시안 필터를 생략하려면 시그마를 0 으로 설정하십시오.
- Threshold 를 생략하려면 값을 0 으로 설정하십시오.

#### *Profiles to Average*

- 주어진 값으로 프로파일을 평균합니다.
- 빔의 위치 또한 평균됩니다. 즉, 이 값이 1에서 2로 변경되면 자동정렬시 오차 반응 속도도 절반으로 떨어집니다.

## 7.2. 오차 제어 설정

프로그램 좌측의 고급 제어 아이콘  을 클릭하여 나오는 *Advanced Control* 창의 *Beam Control* 항목에서 자동정렬의 제어가 오버슈트(Overshoot)되는 현상을 방지하기 위한 세 가지 옵션(Dead Zone, Error Scaling, Control Scaling)을 제공합니다. 자동정렬시 오차(Error)가 제어되는 과정은 다음과 같습니다.

- (1) 빔의 위치(Centroid)와 목표 위치(Target)간의 차이로 오차( $E$ ) 발생
- (2) 오차가 무응답구간(**Dead Zone**) 이내일 경우 무시
- (3) 오차 스케일링(**Error Scaling**,  $S_e$ )
- (4) 스케일링된 오차로 제어값 계산(*Control*( $x$ ))
- (5) 제어값 스케일링(**Control Scaling**,  $S_c$ )
- (6) 미러마운트를 스케일링된 제어값만큼 이동

즉, 오차가 무응답구간을 벗어났을 때 최종 제어값은 다음과 같습니다.

$$\text{Control}(E \cdot S_e) \cdot S_c$$

## 7.3. Near Field 프로파일링

프로그램 좌측의 고급 제어 아이콘  을 클릭하여 나오는 *Advanced Control* 창의 *Beam Control* 항목에서 Near field 의 프로파일링 수행 여부를 변경(**Tracking Mode**)하거나, 빔의 클립 레벨(**Clip-level**)을 변경할 수 있습니다.

## 7.4. 프로그램 외부 제어

외부 제어 (*Programmatic Access*)란 앱의 기능을 RPC(Remote Procedure Call) 통신으로 앱 외부에서 조작하는 것을 의미합니다. 외부 제어 기능을 이용하기 위해 사용자는 Google 의 gRPC 프레임워크를 사용해야 합니다. gRPC 는 RPC 통신을 위한 서버-클라이언트 인터페이스를 제공하는 프레임워크로서, 본 앱의 외부 제어 서버를 활성화하면 앱 내부의 gRPC 서버가 실행됩니다.

프로그램 좌측의 시스템 설정 창  아이콘을 클릭하여 나오는 *System Settings* 창의 *Remote Access - Programmatic Access (gRPC)* 항목에서 gRPC 서버의 IP 및 포트 번호를 변경하고 서버를 실행할 수 있습니다. *Auto Run* 체크시 프로그램이 실행되면 gRPC 서버도 자동으로 실행됩니다.

사용자는 직접 개발한 프로그램으로 이 서버와 통신함으로써 본 앱의 기능을 제어할 수 있습니다.

본 앱의 외부 제어를 위한 사용자 클라이언트 프로그램 개발의 준비는 다음의 세 단계로 요약됩니다.

- (1) 개발하고자 하는 프로그래밍 언어에 알맞은 방식으로 gRPC 프레임워크를 개발 PC에 설치합니다.
- (2) 자사에서 제공하는 Protocol Buffers 인터페이스 파일을 개발 프로그래밍 언어의 코드로 변환합니다.
- (3) 개발 단계에서 변환된 인터페이스 파일을 사용하여 본 앱을 제어하는 코드를 작성합니다.

프로그램과 함께 제공되는 API 폴더에서 본 프로그램을 제어하기 위한 Protocol Buffers 인터페이스 파일을 확인할 수 있습니다.

· api/hillab\_beam\_stabilization\_system.proto

이용 가능한 서비스와 응답 목록은 인터페이스 파일의 주석 혹은 api/docs 폴더의 문서를 참고하십시오. 또한 api/cpp 폴더에서 이미 C++ 언어로 변환된 인터페이스 파일과, api/client\_example에서 Visual Studio C++ 환경의 예제 프로젝트를 확인하십시오. 이 예제 프로그램은 빌드된 파일까지 함께 제공됩니다(api\client\_example\cpp\x64\Release\ClientExample.exe).

아래 gRPC 공식 사이트에서 지원하는 프로그래밍 언어의 목록과 튜토리얼 등을 참고하십시오.

<https://grpc.io/>

### 주의사항

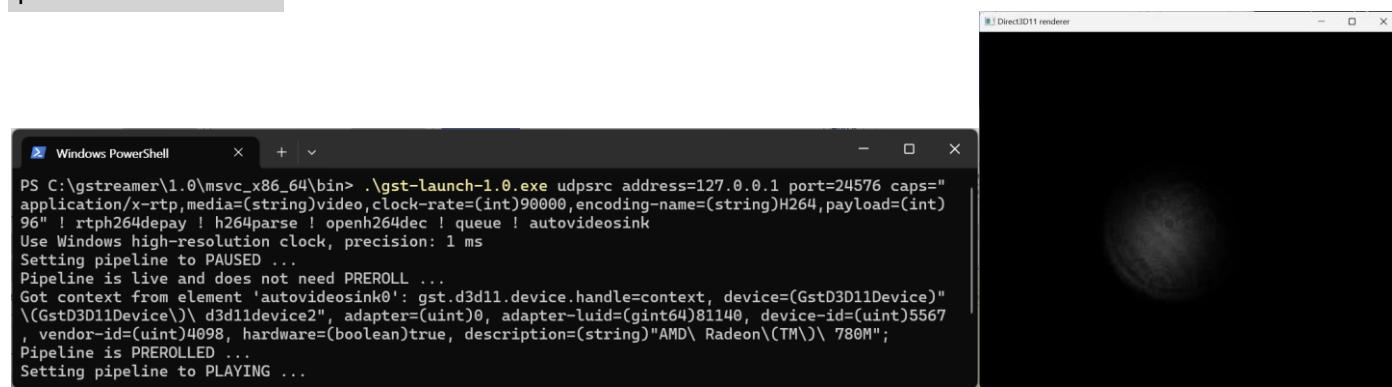
이 기능은 TLS/SSL 암호화를 지원하지 않으며, 별도의 인증 메커니즘을 갖추고 있지 않습니다. 그러므로 이 기능은 내부 네트워크에서만 사용하는 것을 권장합니다.

## 7.5. 이미지 네트워크 전송

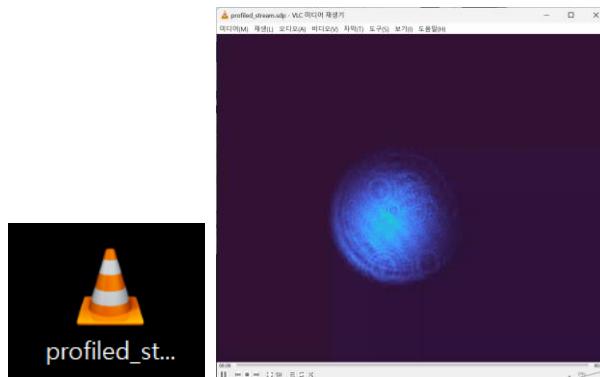
두 필드의 빔 이미지는 RTP(Real-time Transport Protocol)로 외부에 송출할 수 있습니다. 외부 송출시 H264 코덱이 사용됩니다. *View – Advanced Settings... – Remote Access – Near Field Image Stream (RTP) / Far Field Image Stream (RTP)* 항목에서 이미지 송출을 설정하고 시작할 수 있습니다. 카메라가 스트리밍 중인 상태에서 Start 버튼을 클릭하면 송출이 시작되며, Auto Run 체크 시 카메라 스트리밍이 시작되면 이미지 송출도 자동으로 시작됩니다. 카메라 스트리밍이 종료되면 이미지 송출도 자동으로 종료됩니다.

다음은 GStreamer<sup>4</sup>를 통해 로컬 네트워크에서 이미지를 수신하는 방법입니다. Windows PowerShell과 같은 커맨드 라인 터미널에서 *gst-launch-1.0.exe*를 아래 인자와 함께 실행하여 스트림을 수신하는 파이프라인을 실행하십시오.

```
udpsrc address=<IP_ADDRESS> port=<PORT> caps="application/x-rtp, media=(string)video, clock-rate=(int)90000, encoding-name=(string)H264, payload=(int)96" ! rtph264depay ! h264parse ! openh264dec ! queue ! autovideosink
```



다음은 VLC<sup>5</sup>를 통해 로컬 네트워크에서 이미지를 수신하는 방법입니다. *Near Field Image Stream (RTP) / Far Field Image Stream (RTP)* 항목에서 *Save SDP File* 버튼을 클릭하여 스트림을 받아올 이미지의 sdp 파일을 다운로드하여 VLC media player로 실행하십시오.



### 주의사항

이 기능은 TLS/SSL 암호화를 지원하지 않으며, 별도의 인증 메커니즘을 갖추고 있지 않습니다. 그러므로 이 기능은 내부 네트워크에서만 사용하는 것을 권장합니다.

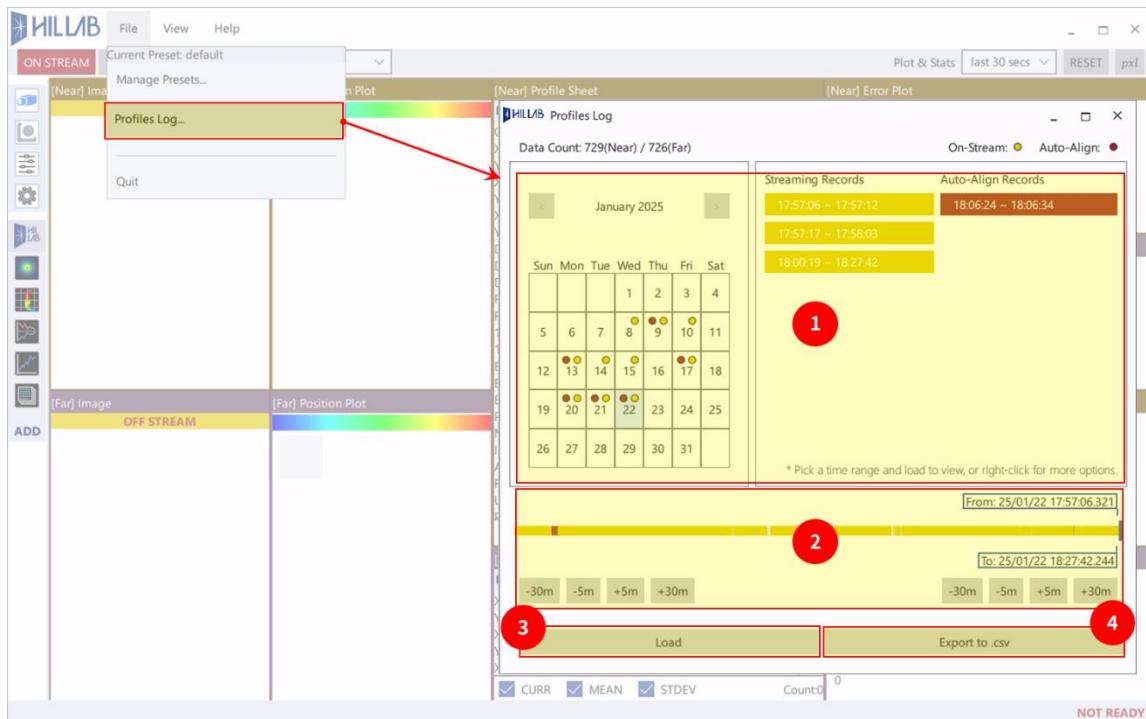
<sup>4</sup> GStreamer 설치시 openh264 코덱을 포함한 적절한 플러그인이 설치 옵션에 포함되어야 합니다. (Complete 설치 권장)

<sup>5</sup> VLC 3.0 부터 MTU는 최대 1316, 포트 번호는 짹수로 설정되어야 합니다.

## 8. 그 외 기능

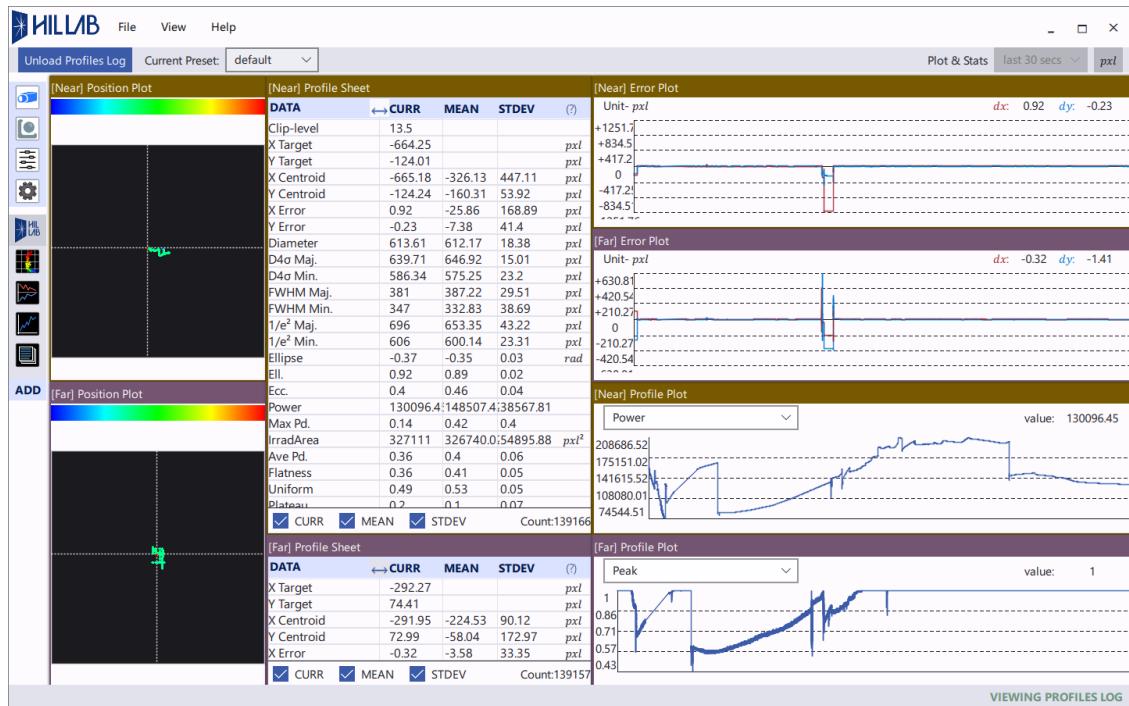
### 8.1. 누적 프로파일 관리

카메라가 이미지를 취득하여 프로파일을 생성하면 이 데이터는 C 드라이브에 바이너리 형태로 저장됩니다. *File - Profiles Log...*에서 사용자는 프로그램이 실행된 이후 측정된 모든 프로파일을 조회하고 외부 파일(csv)로 저장할 수 있습니다.



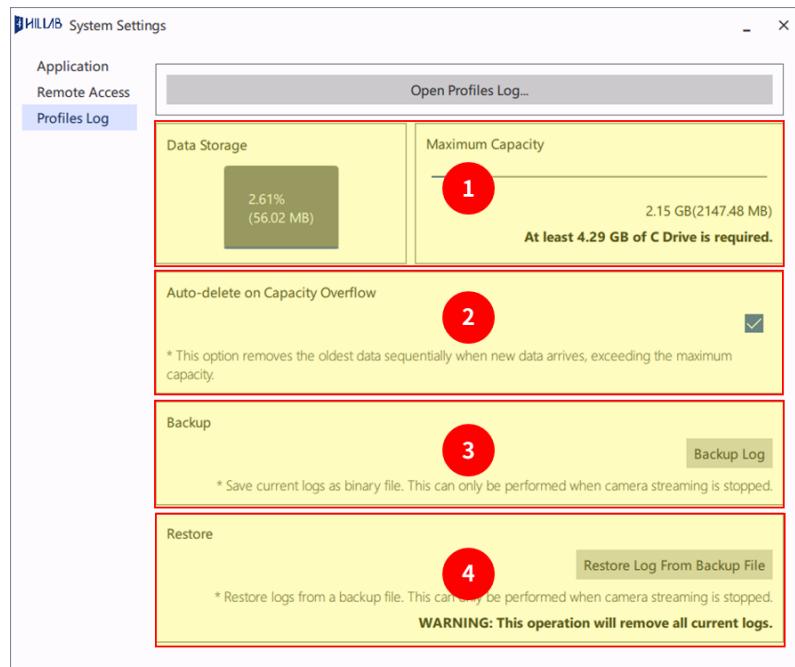
- ① 카메라의 스트리밍이 시작-종료된 시점에 기록된 데이터를 나타냅니다. 우측의 노란색(카메라 스트리밍 시작-종료 시점) 혹은 빨간색(자동정렬 시작-종료 시점) 버튼을 클릭 시, (2)의 시계열그래프의 시작-종료 구간이 해당 시점으로 변경됩니다. 혹은 우 클릭하여 해당 구간의 데이터를 csv 파일로 저장하거나 데이터를 제거할 수 있습니다.
- ② 프로그램의 실행에 따른 시계열 그래프를 나타냅니다. 노랑색으로 표기된 부분은 카메라가 스트리밍 중이었던 시점을 나타냅니다. *From*과 *To*는 각각 현재 선택된 구간의 시작과 끝 시각을 나타냅니다. 하단의 버튼으로 구간을 늘이거나 줄일 수 있습니다.
- ③ ②에서 선택된 구간에 측정된 프로파일을 프로그램의 메인 화면에 불러옵니다.
- ④ ②에서 선택된 구간에 측정된 프로파일을 csv 파일로 저장합니다.

프로파일이 로드되면, 메인 화면의 그래프 및 데이터는 선택된 구간의 누적 프로파일을 보여줍니다. 이 상태에서 카메라와 마운트의 연결은 자동으로 해제되며, 프로파일이 로드된 동안 연결할 수 없게 됩니다.



프로파일을 언로드하려면 프로그램 상단의 *Unload Profiles Log* 버튼 을 클릭하십시오.

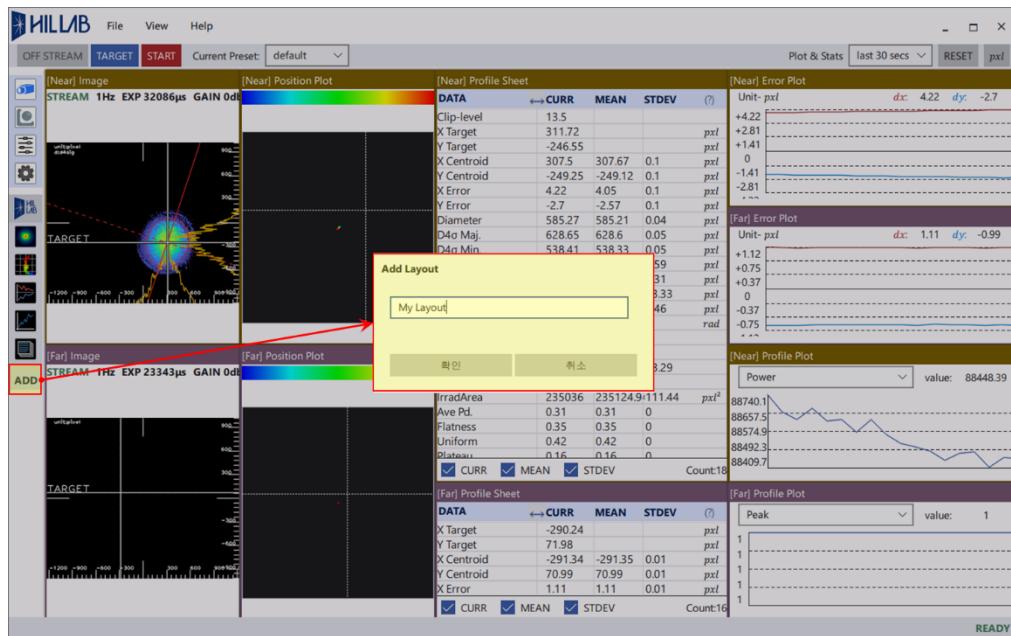
프로그램 좌측의 시스템 설정 창  아이콘을 클릭하여 나오는 *System Settings* 창의 *Profiles Log* 항목에서 프로파일 로그의 최대 용량을 변경하거나 백업 혹은 복원할 수 있습니다.



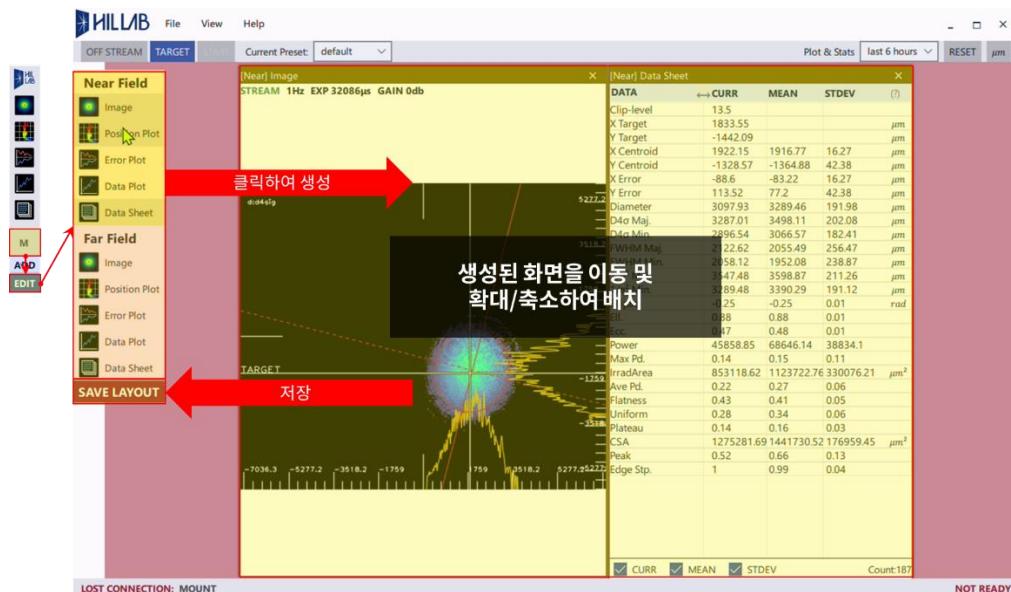
- 좌측은 누적 프로파일의 용량을 보여주며, 우측은 누적 프로파일의 최대 용량을 제한합니다.
- 누적된 프로파일이 제한된 최대 용량에 도달했을 때, 이 옵션이 활성화 되어있으면 가장 오래된 데이터를 제거합니다. **이 옵션은 비활성화 되어있을 때 프로파일이 최대 용량에 도달하면 카메라 스트리밍과 자동정렬이 정지됩니다.**
- 현재 프로그램에 누적된 모든 프로파일을 SQLite 3 데이터베이스 바이너리 파일로 백업합니다.
- 현재 프로그램에 누적된 모든 프로파일을 제거하고 백업된 파일을 불러옵니다. 백업 파일이 외부에서 수정되었을 경우 프로그램이 정상적으로 작동하지 않을 수 있습니다.

## 8.2. 레이아웃 커스터마이징

메인 화면의 레이아웃은 사용자가 원하는 요소를 추가/제거하거나 크기와 위치를 변경할 수 있습니다. 새로운 레이아웃을 생성하려면, 프로그램 좌측의 설정 아이콘  을 클릭한 뒤, *Add Custom Layout*을 클릭하십시오. *Add Layout*창에서 새로 생성할 레이아웃의 이름을 입력한 뒤 확인을 클릭하여 레이아웃을 생성하십시오.



이후, 좌측에 새로 생성된 레이아웃 아이콘을 클릭하십시오. 아이콘은 레이아웃 이름 첫 글자로 생성됩니다. 이후 설정 아이콘 하단의 *EDIT*버튼을 클릭하여 원하는 요소를 배치한 뒤 *SAVE LAYOUT*버튼을 클릭하여 저장하십시오.



레이아웃 아이콘을 우클릭하여 레이아웃의 이름을 변경하거나 제거할 수 있습니다. 제거된 레이아웃은 복구할 수 없습니다.

## 8.3. 설정 프리셋

프리셋 기능은 다양한 실험 환경과 사용자 요구사항에 유연하게 대응하기 위해 제공됩니다. 사용자는 자주 사용하는 설정값들을 프리셋으로 저장하고, 필요할 때 불러올 수 있습니다. 다만, 시스템 안정성과 정확한 정렬을 위해 **자동정렬이 중지된 상태에서만 프리셋을 변경할 수 있습니다.**

프리셋에 저장되는 항목은 다음과 같습니다.

- *Camera Control (Trigger, Exposure, Gain, PTP)*
- *Advanced Control – Noise Reduction*
- *Advanced Control – Beam Control*
- *Plot & Stats*
- 데이터 단위 (픽셀 혹은 마이크로미터/마이크로라디안)
- 빔 이미지의 시각화 옵션
- 빔 위치 그래프의 컬러맵
- 빔 프로파일 시트의 확대/축소 및 순서변경
- 빔 오차 그래프의 기준 축 옵션

다음 항목의 변경사항은 개별 프리셋이 아닌 PC에 영구히 저장됩니다.

- *System Settings – Application*
- *System Settings – Remote Access*
- *System Settings – Profiles Log*

### 프리셋 불러오기

프로그램 실행 시 마지막으로 사용했던 프리셋이 자동으로 로드됩니다. 현재 로드된 프리셋은 프로그램 상단, *Camera Control* 창 상단, 그리고 *Advanced Control* 창 상단의 프리셋 목록에서 확인할 수 있습니다. 다른 프리셋으로 전환하려면 프리셋 목록을 클릭하여 원하는 프리셋을 선택하십시오.



### 변경사항 저장

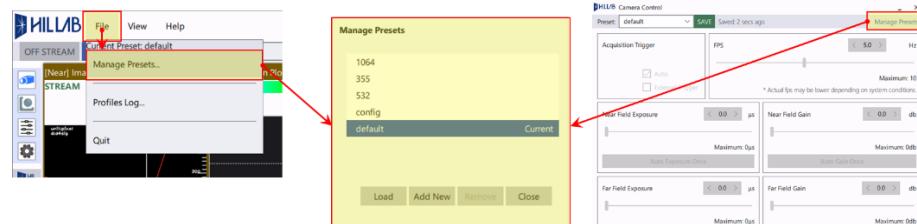
프리셋의 변경사항을 저장하는 방법은 다음과 같습니다.

- 단축키 *Ctrl + s* 사용
- 상단의 **SAVE** 버튼 클릭
- *System Settings – Application*에서 *Auto Save Preset* 활성화 (5 초에 한 번씩 저장)

### 프리셋 생성 및 삭제

프로그램 상단 메뉴의 *File - Manage Presets...*를 클릭하거나, *Camera Control*, 혹은 *Advanced Control* 창 상단의 *Manage Presets* 버튼을 클릭하십시오. 새로 생성되는 프리셋은 현재 로드된 프리셋과 동일한 설정을 초기 값으로 가집니다.

**프리셋 삭제 시 별도의 경고 메시지가 표시되지 않으며, 삭제된 프리셋은 복구할 수 없습니다.**



## 9. 미러마운트 축 한계 지점 대응 지침

미러마운트는 상/하 혹은 좌/우 중 단방향 이동의 누적으로 한계 지점(limit position)에 도달할 수 있습니다. 어느 한 축이라도 한 계지점에 도달하면 프로그램은 알림 창을 보여주며, 사용자는 프로그램하단의 상태창에서 한계 지점에 도달한 미러마운트의 축을 확인할 수 있습니다. 이 때, 한계 지점에 도달한 축만 표시되고 정확한 방향은 표시되지 않습니다. **MOUNT LIMIT: NF-↑ FF-↔**

상태창에 표시되는 한계 지점 축의 의미는 다음과 같습니다.

- NF-↑ Near field 의 상/하 축이 한계지점에 도달함
- NF-↔ Near field 의 좌/우 축이 한계지점에 도달함
- FF-↑ Far field 의 상/하 축이 한계지점에 도달함
- FF-↔ Far field 의 좌/우 축이 한계지점에 도달함

만일 자동정렬 실행 중 한계지점 도달 시 자동정렬은 정지되며, 한계 지점에 도달한 축이 한계지점으로부터 벗어나야 자동정렬을 다시 수행할 수 있습니다.

미러마운트가 한계 지점에 도달했을 경우, 사용자는 다음 두 가지 방법 중 하나를 선택할 수 있습니다.

### 수동 조정

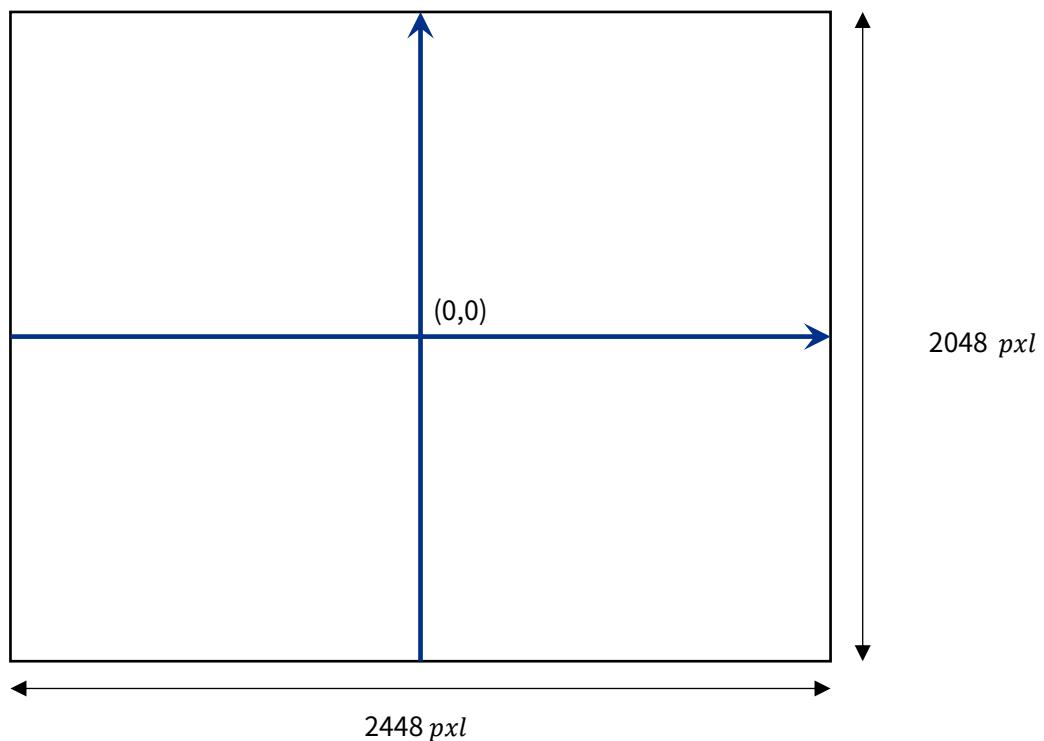
*Mount Control* 창에서 한계 지점에 도달한 축을 수동 조작하여 한계 지점에서 벗어날 수 있습니다. 예를 들어, Near field 의 상/하 축이 한계지점에 도달하였을 경우, Near field 의 Up 혹은 Down 버튼을 한계 지점에서 벗어날 때까지 번갈아 이동하십시오. 한 방향으로 이동했을 때 한계 지점에서 벗어나지 않으면 반대 방향으로 이동을 시도하십시오.

### 원점 이동

*Mount Control* 창에서 *Move to Zero Point* 버튼을 클릭하여 미러마운트의 모든 축을 다시 원점으로 되돌릴 수 있습니다. 이 작업은 약 1 분 정도 소요됩니다. 해당 기능을 빈번하게 사용할 경우 미러마운트의 수명이 빠르게 단축될 수 있습니다.

## 10. 참고자료

### 10.1. 이미지 좌표계



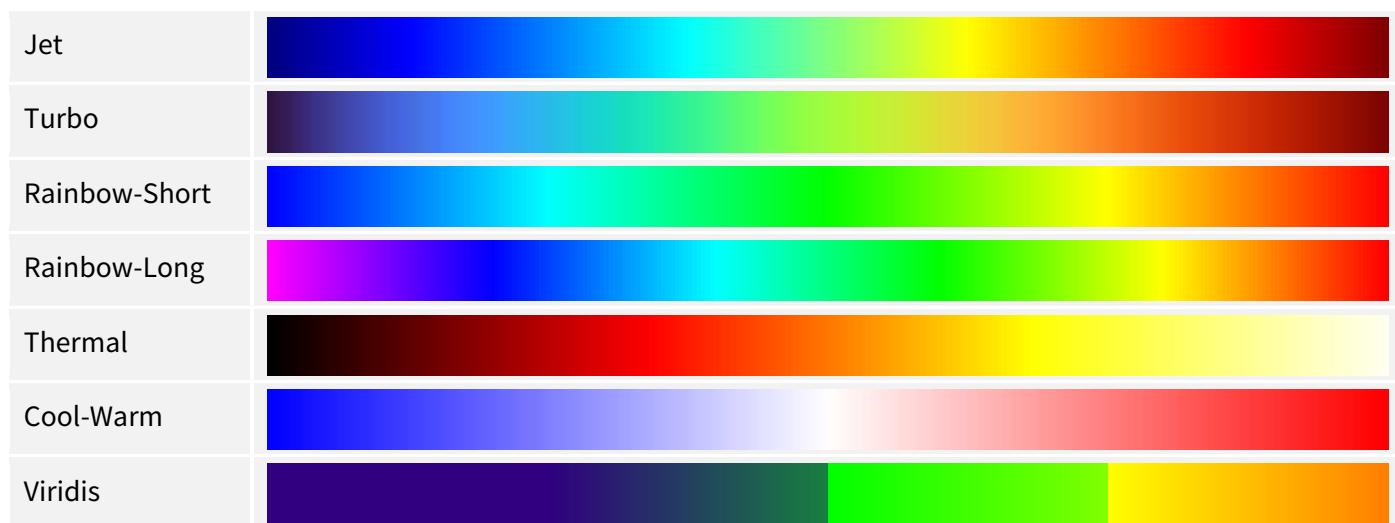
## 10.2. 프로파일링 데이터

본 프로그램의 빔 프로파일은 ISO 11146 및 ISO 13694에 의거하여 계산되었습니다.

데이터	설명
Clip-level	센서 신호의 최소를 제한하는 사용자 정의 임계값입니다. 이 값은 다음 값에 영향을 미칩니다: Clip-level irradiation area, Clip-level average power density, Flatness, Uniformity
Centroid (First order moments)	전체 센서의 중심을 기준으로 한 데카르트 좌표의 빔 중심 위치입니다. 빔 중심은 빔 강도의 질량중심입니다. 이 값은 빔의 이미지에서 빨강색 십자점선으로 시각화되어 있습니다.
Target Position & Error *	사용자가 정의한 목표 위치와 빔 중심 사이의 거리가 오류로 정의됩니다. Target Position은 빔의 이미지에서 흰색 십자선으로 시각화되어 있습니다.
Diameter	2 차 모멘트를 기반으로 한 원형 출력 밀도 분포의 정도입니다.
D4 $\sigma$ (Beam widths)	빔의 직경을 빔 중심에 대한 강도 밀도 분포의 2 차 모멘트의 제곱근의 4 배로 정의하여 도출된 값입니다. Major-axis와 minor-axis는 각각 빔의 긴 직경과 짧은 직경을 의미합니다.
FWHM (Full-width half-maximum)	빔의 직경을 강도 밀도 분포에 대한 전체 폭의 절반 최대 길이로 정의하여 도출된 값입니다. Major-axis와 minor-axis는 각각 빔의 긴 직경과 짧은 직경을 의미합니다.
1/e <sup>2</sup>	빔의 직경을 강도 밀도 분포에 대한 전체 폭의 13.5%로 정의하여 도출된 값입니다. Major-axis와 minor-axis는 각각 빔의 긴 직경과 짧은 직경을 의미합니다.
Ellipse	센서의 x 축과 y 축에 가까운 빔 직경 사이의 각도입니다. 빔의 직경은 D4Sig입니다.
Ellipticity	빔의 가장 짧은 직경과 가장 긴 직경 사이의 비율입니다. 빔의 직경은 D4Sig입니다.
Eccentricity	(1 - Ellipticity * Ellipticity)의 제곱근을 의미합니다.
Power	센서가 감지한 모든 강도의 합계입니다. 각 강도는 0-1로 정규화됩니다.
Maximum Power Density	감지된 최대 강도의 13.5% 이상의 강도 중 가장 많이 발생한 강도입니다.
Clip-level Irradiation Area	Clip-level 이상의 강도가 감지된 픽셀 수입니다.
Clip-level Average Power Density	Clip-level 이상의 강도가 감지된 영역의 평균 강도입니다.
Flatness	Clip-level Average Power Density를 Peak로 나눈 값입니다.
Uniformity	Clip-level Average Power Density와 실제 강도에 대한 평균 제곱근 편차 (RMSD)를 Clip-level Average Power Density로 나눈 값입니다.
Plateau Uniformity	FWHM과 Maximum Power Density의 비율입니다.
Cross-sectional Area	$\pi/4$ 와 빔의 가장 긴 직경과 빔의 가장 짧은 직경을 곱한 값입니다. 빔의 직경은 D4Sig입니다.
Peak	감지된 최대 강도입니다.
Edge Steepness	Clip-level이 0.1과 0.9로 설정된 Clip-level Irradiation Area의 차이를 Clip-level이 0.1인 Clip-level Irradiation Area로 나눈 값입니다.

\*Target Position 및 Error는 ISO에서 제안하는 프로파일에 포함되지 않음

### 10.3. 지원 컬러맵



전화: 054-261-2901

팩스: 054-261-2902

[official@hillab.co.kr](mailto:official@hillab.co.kr)

포항지식산업센터 603 호

경북 포항시 북구 융합기술로 66

대한민국

[www.hillab.co.kr](http://www.hillab.co.kr)

**HILLAB**