

NIT의 CLAMIR System

3D Printing, Cladding & LMD 공정을 모니터링, 컨트롤하는 시스템



Closed-loop laser control system for Additive Manufacturing

Contents

- 제조사인 NIT Europe의 소개
- 금속 3D 프린팅공정을 실시간 모니터링과 컨트롤하는 CLAMIR 시스템의 소개
- CLAMIR 시스템의 구성과 기계적인 설치
- 설치시 얻을 수 있는 효과들
- 설치를 위한 고객으로부터 확인할 사항들 'Check list'
- CLAMIR 시스템의 운영소프트웨어
- CMOS vs CLAMIR(Mid Infrared) ; 테스트에 의한 차이 검증

New infrared Technologies의 소개

New Infrared Technologies(NIT)는 전세계 시장에 적절한 가격의 'Mid-Wave Length Infrared Detector'들과 특수한 IR 카메라 제품들을 제작해서 최근까지도 실현 불가능했던 어플리케이션들을 새로 개발하고 있습니다.

NIT의 구성원들은 유럽지역에서 적외선 관련분야에 20년 이상의 경력을 갖고 있는 전문가들로 각기 고유한 영역에서 오랜 연구개발의 업적으로 수상 경력들을 갖고 있습니다.

대규모생산능력을 보유한 Spain Madrid에 소재한 NIT의 제조공장은 엄격한 품질관리와 최상의 품질로 고객만족과 서비스 제공에 최선을 다하고 있습니다.

2011년도에는 품질, 환경 운영시스템을 수립하여 ISO9001:2008과 ISO14001:2004 인증을 받았습니다.

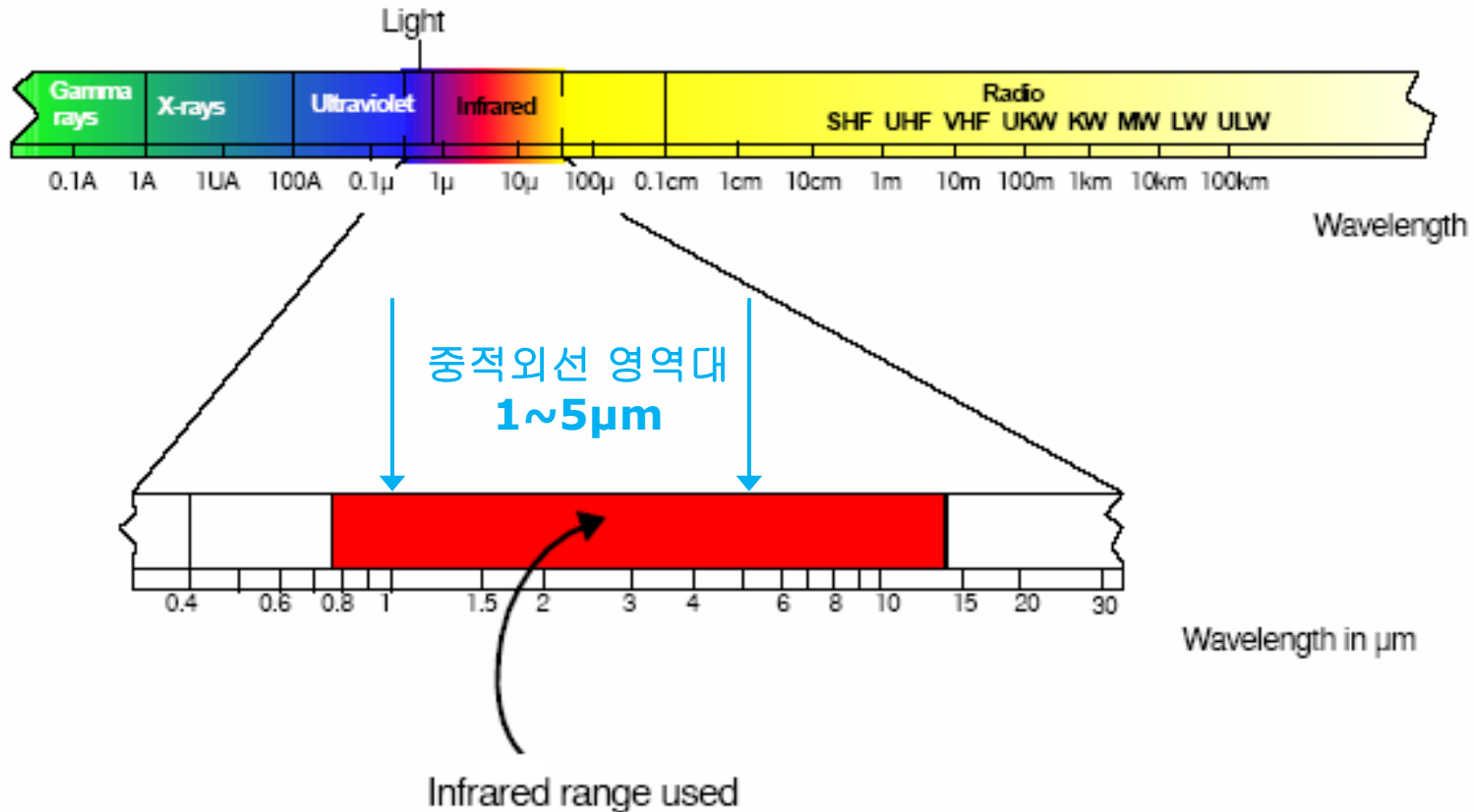
New Infrared Technologies, Spain, Madrid

URL : www.niteurope.com



MWIR(Medium Wavelength Infrared)

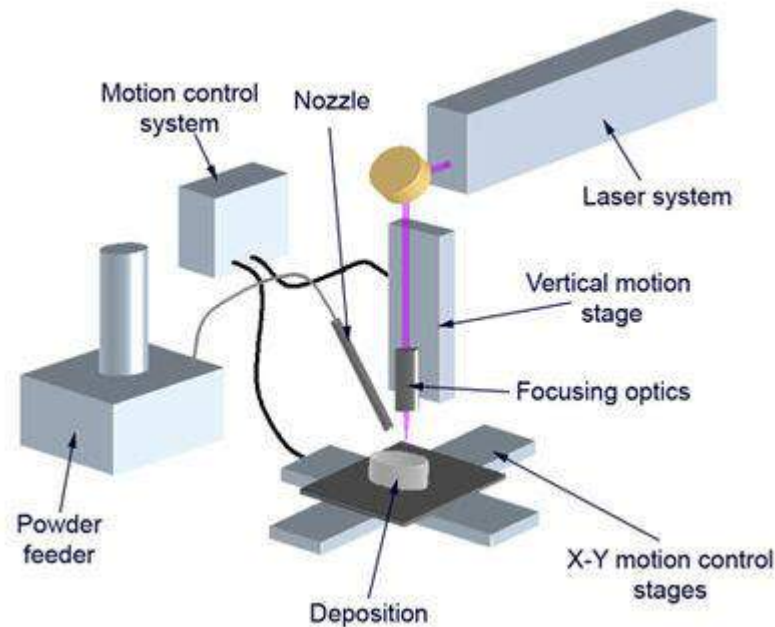
'중적외선 영역대를 감지하는 PbSe detector'



- 감지하는 적외선 파장대는 1~5μm.
- 감지온도범위는 100~2500℃.

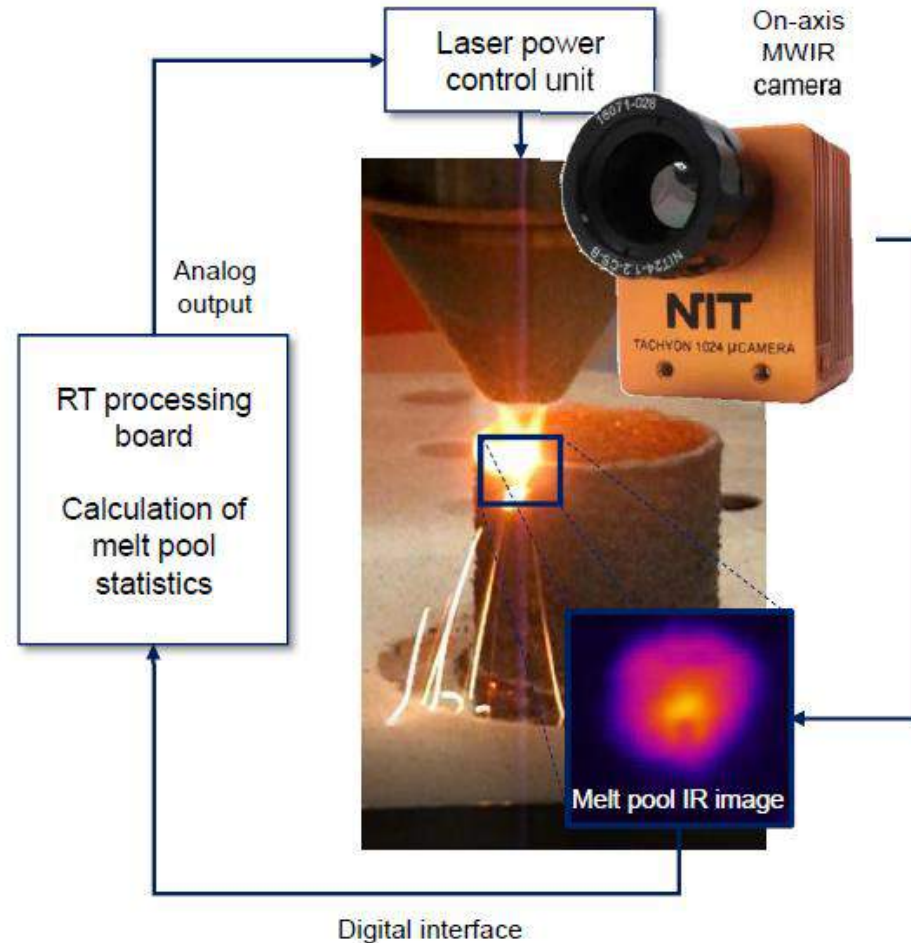
CLAMIR 시스템이 적용되는 공정들

- AM Cladding 공정(Metal Additive Manufacturing systems)
- LMD 공정(Laser metal deposition)
- 3D Printing 공정
- 기타 laser process control 공정들



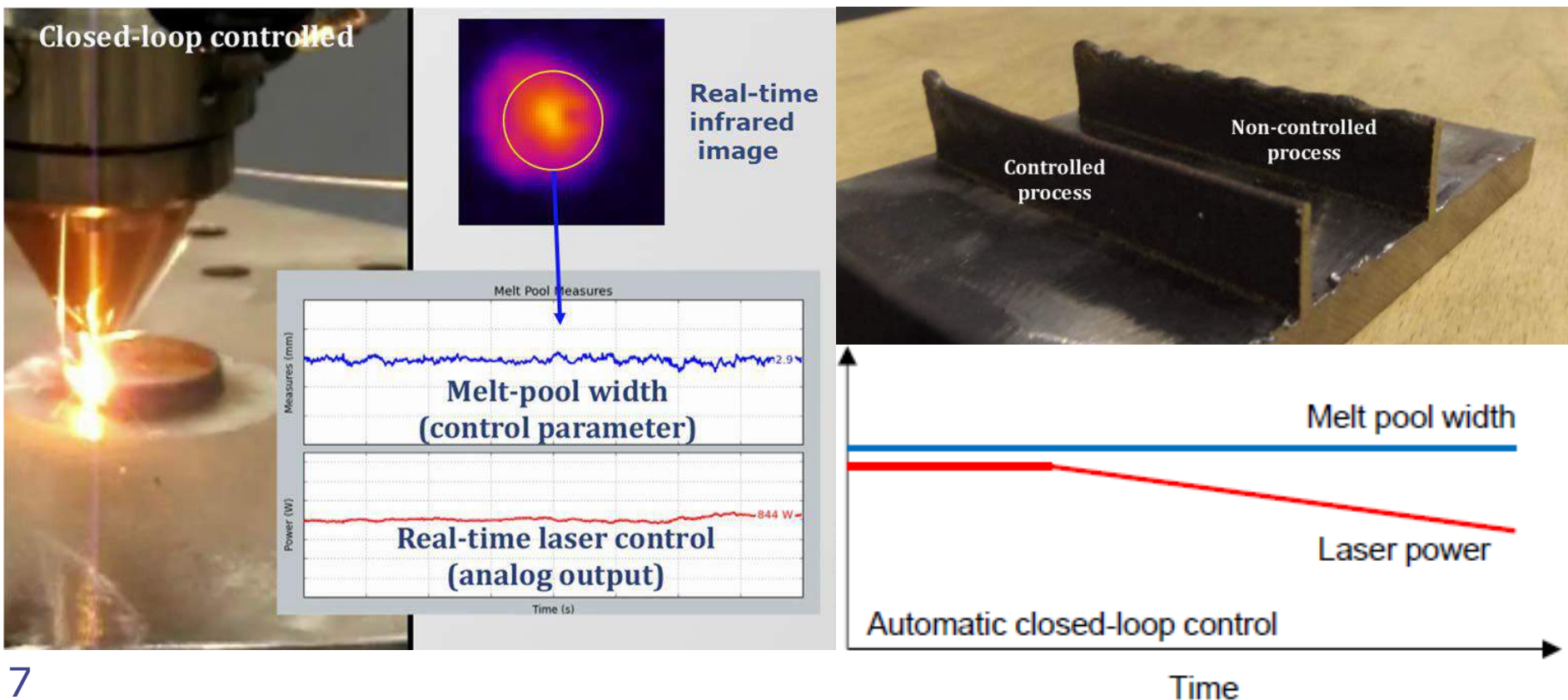
시스템의 핵심(1)

- NIT의 초고속 열화상 카메라, 초당 1,000개의 열화상, 픽셀당 열에너지값을 수집한다.
스캔속도 : 1,000frame/second
- 시스템이 수집한 데이터로 실시간 자동으로 laser power를 컨트롤하여 원하는 Melt pool의 폭과 온도 등의 공정파라미터들을 일정하게 유지할 수 있다.
- 실시간 수집, 연산되는 파라미터들 :
 - Melt pool 온도의 최고값과 평균온도값
 - Melt pool의 열적(熱的)변화와 특성
 - Melt pool에 대한 열등고선과 면적, 길이, 폭
- 디스플레이하는 핵심 파라미터는 실시간 melt pool의 폭과 laser power, 시간, 온도데이터(섭씨 온도 단위가 아닌 상대적인 값, D.A.U.)



시스템의 핵심(2)

- **3D 프린팅** 공정에서 발생할 수 있는 문제점 : 변함없이 일정한 laser power는 불안정한 cladding 공정과 컨트롤되지 않은 heat input(laser power)으로 tube 끝의 과열과 불균일한 coating을 초래할 수 있다.
- NIT의 solution은 일관된 layer층, 일관된 wall thickness와 base plate로 부터 낮은 박리(lower delamination)를 구축하여 결함발생을 방지하게 한다.

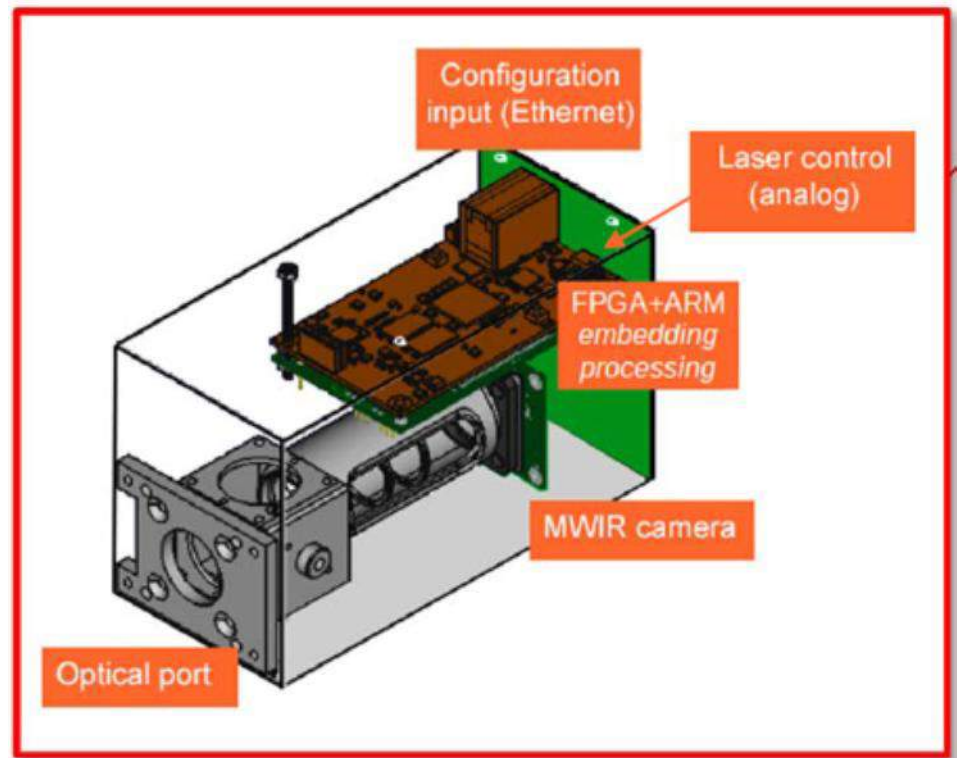
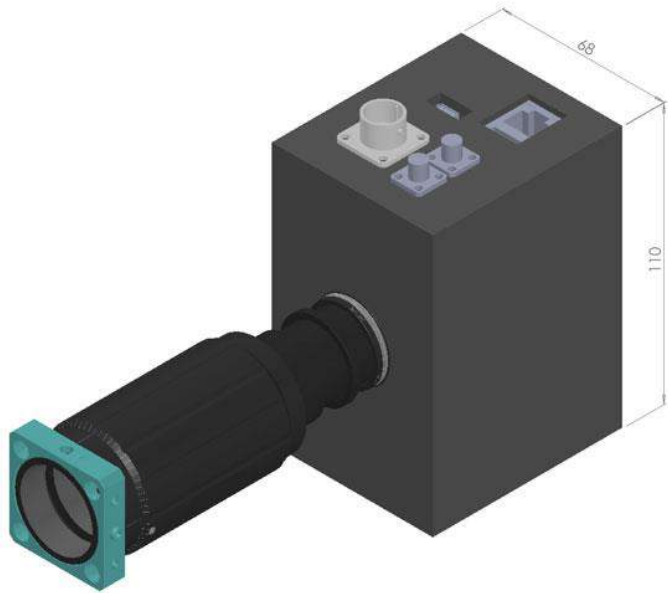


CLAMIR 시스템을 적용한 데모 동영상

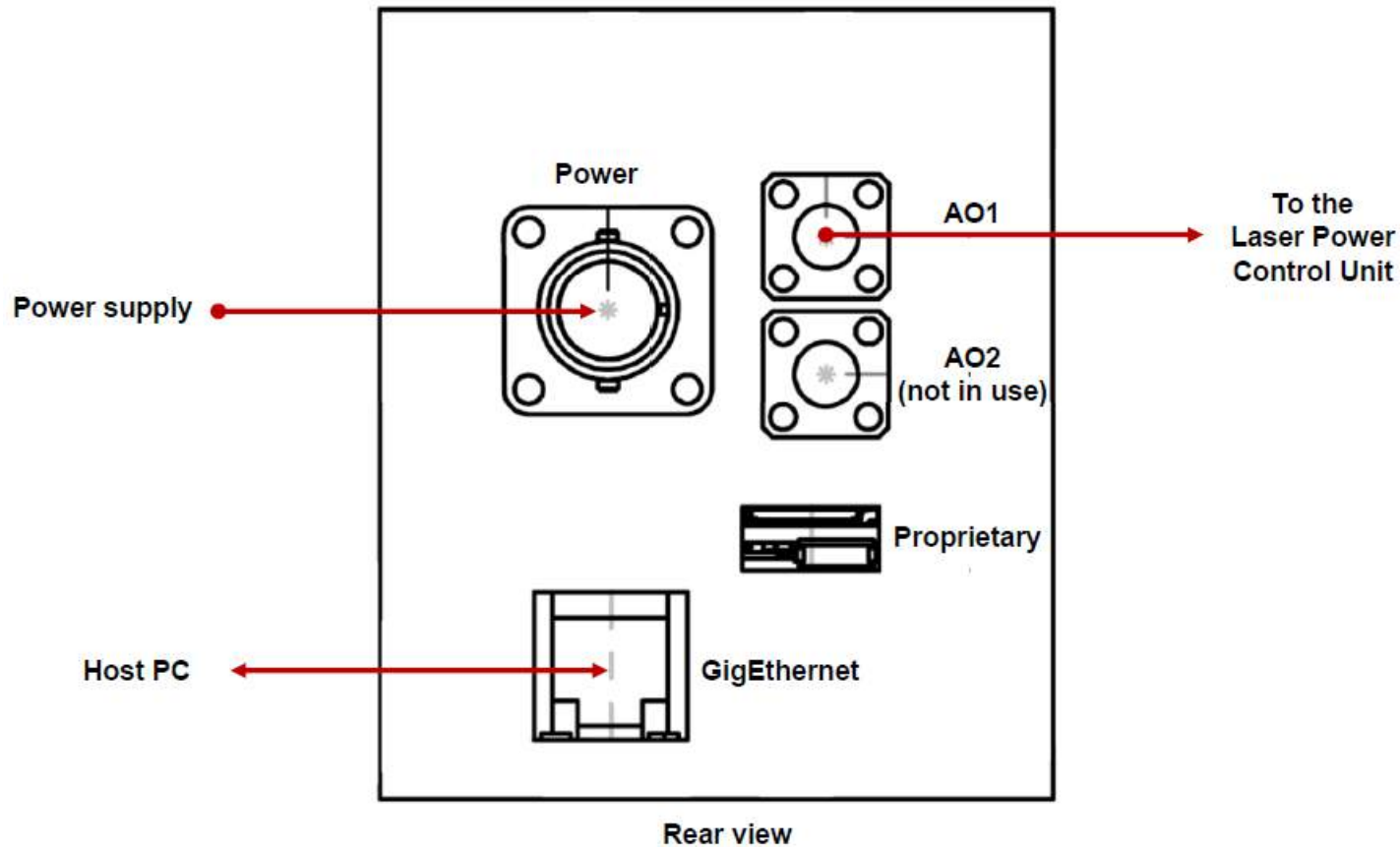
[데모동영상의 YouTube링크](#)

CLAMIR 시스템의 기본 구성

- NIT의 초고속 열화상 카메라가 built in 내장.
- RT processing board.
- Analog & Digital 출력 연결 부분.

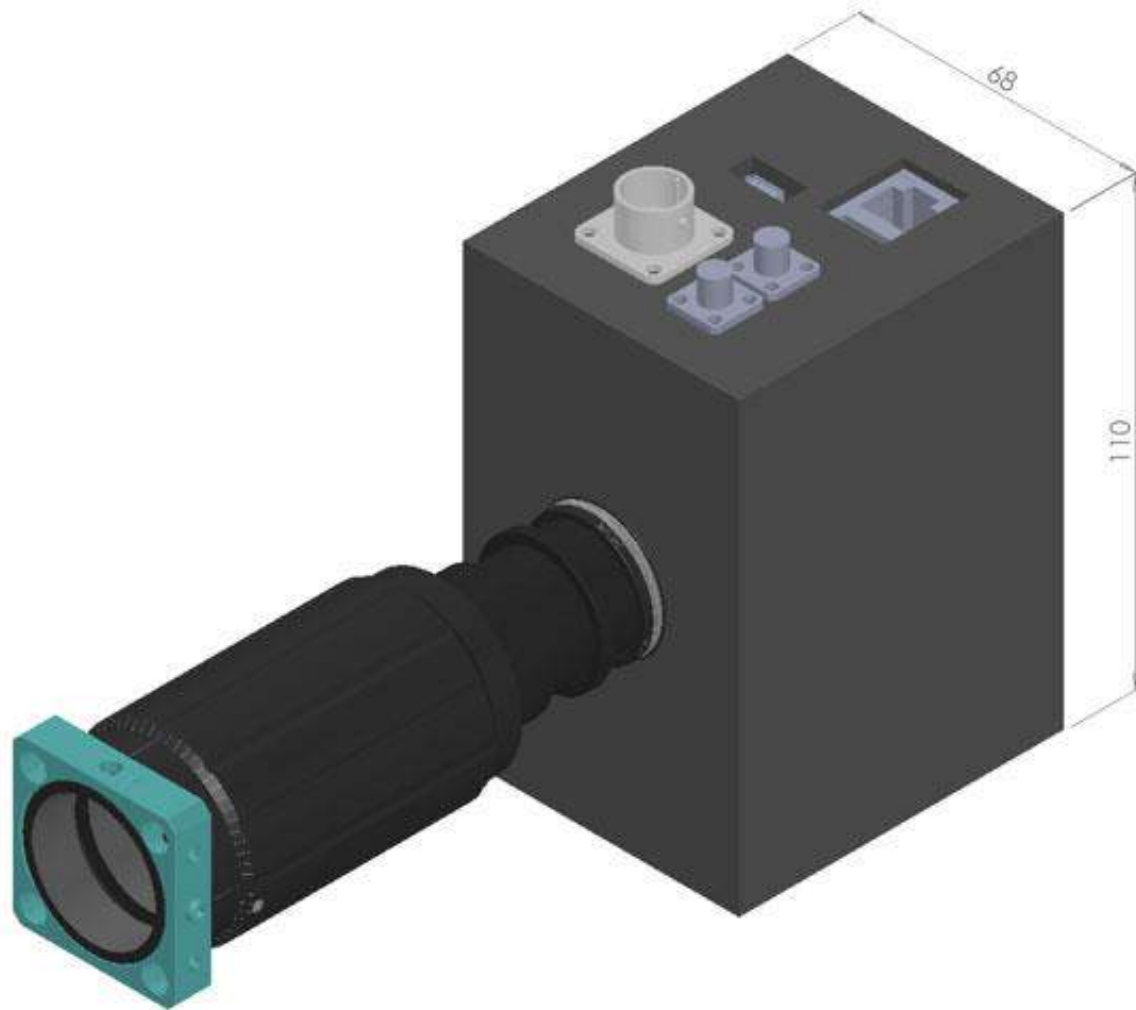


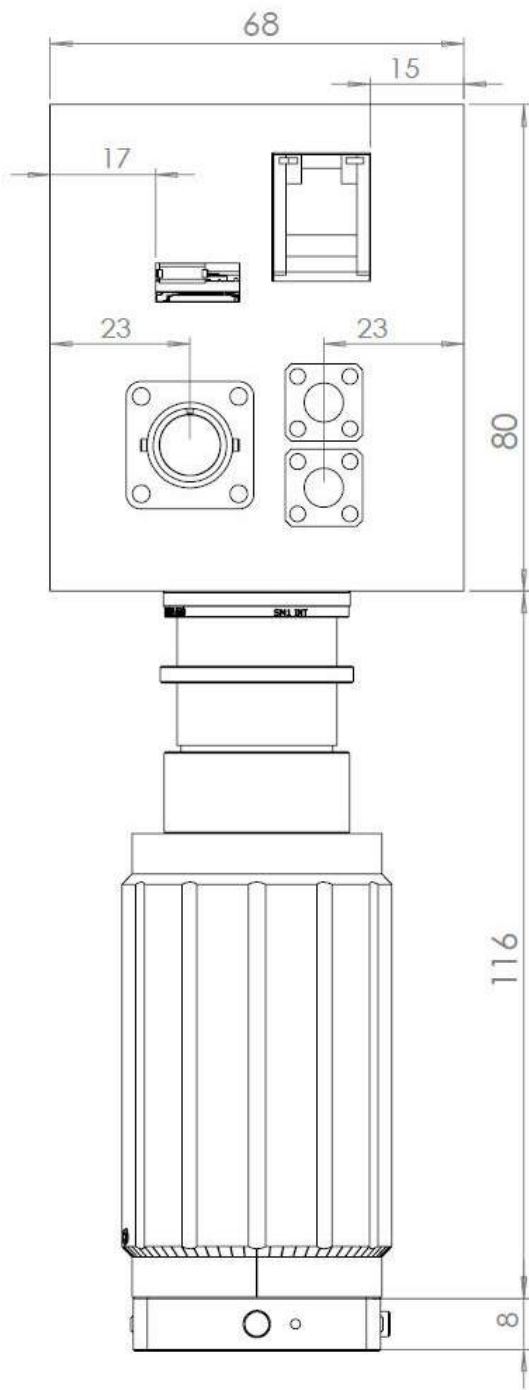
하드웨어의 後面



- 전원
- Laser power control을 위한 0~10Voltage output
- Digital 출력 연결 부분(Host PC와 Ethernet 통신)

Dimension(1)

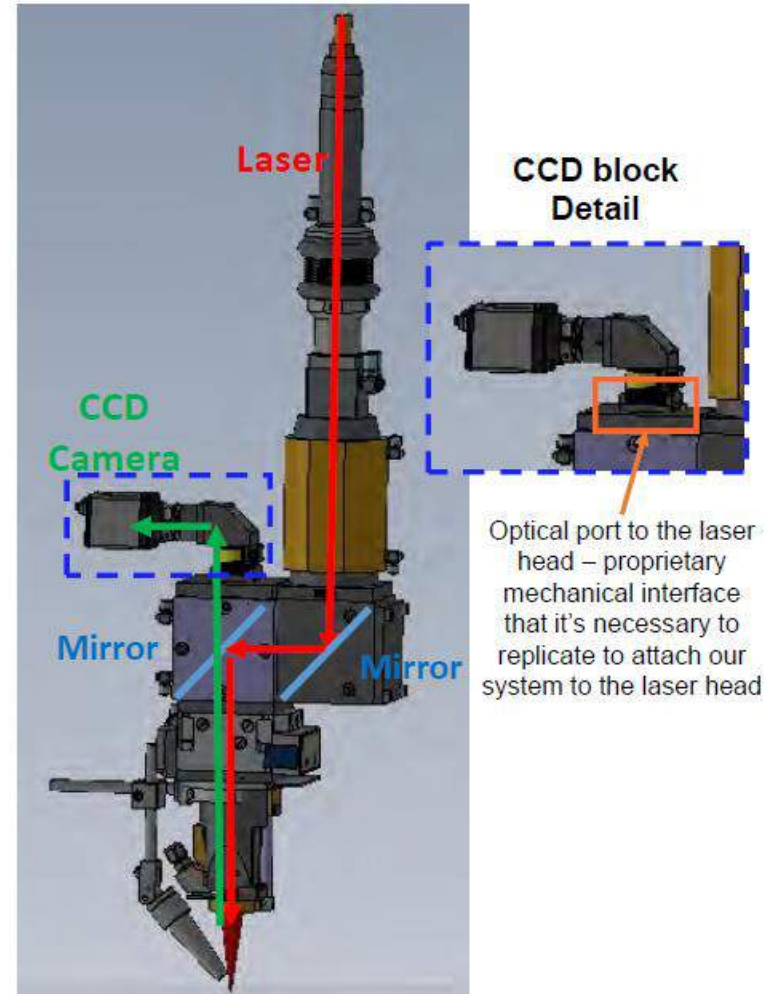




Dimension(2)

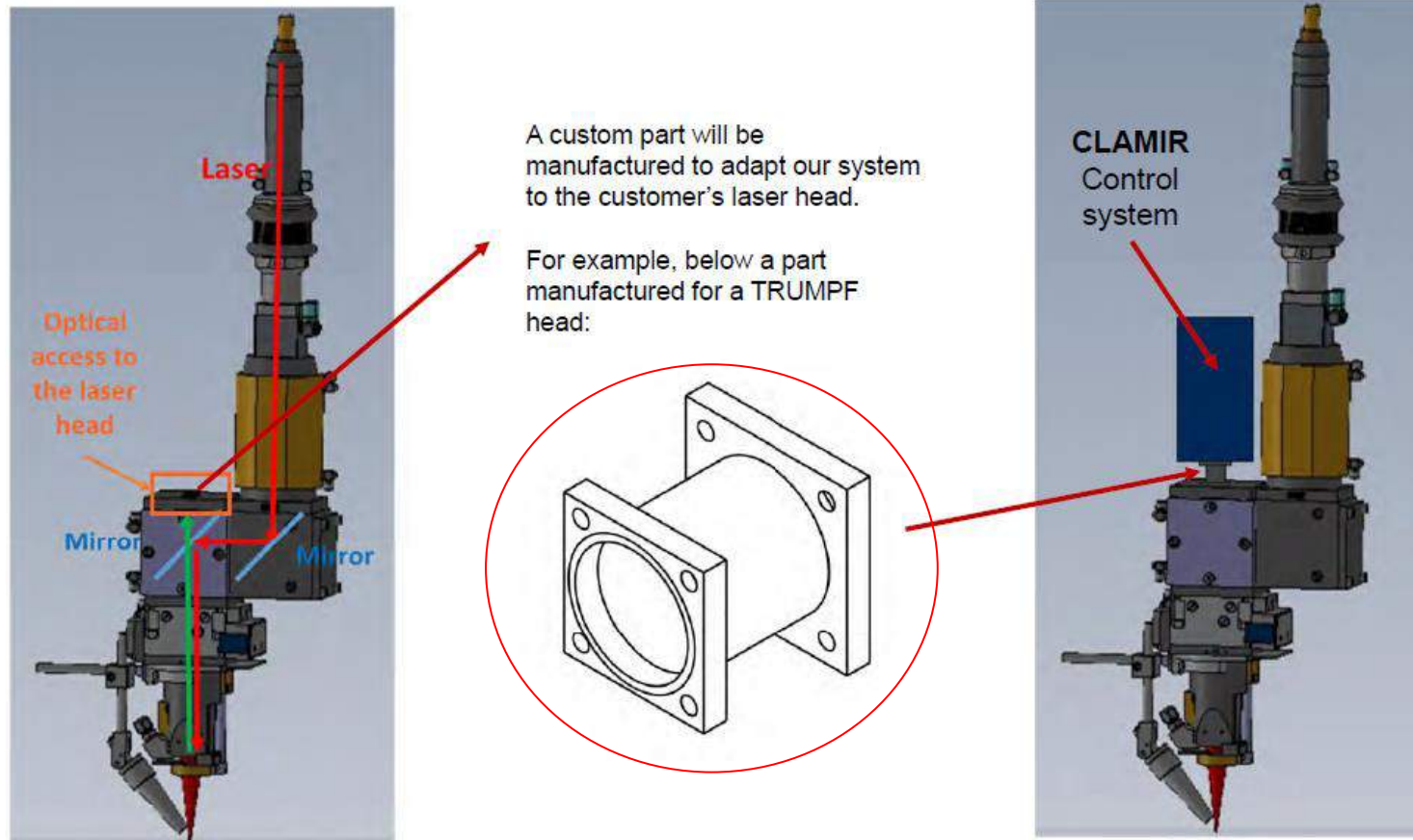
기계적인 설치(1)

- Laser head의 동축방향(同軸, Co-axial)으로 설치, 결합.
- 고객의 3D 프린터의 광학시스템에 결합이 용이하다.
- CLAMIR 설치를 위해선 파란 점선으로 표시된 기존 카메라 시스템부분을 제거해야 한다 ; CCD Camera를 위한 BK7 렌즈가 대부분 설치되어있는데 적외선을 투과하지 못하므로 제거한다.
- 대부분의 경우, laser의 초점을 맞추기 위한 추가렌즈(Mirror, 노즐에 더 가까운 쪽의 렌즈) 쪽에 설치해서 열화상을 수집한다.

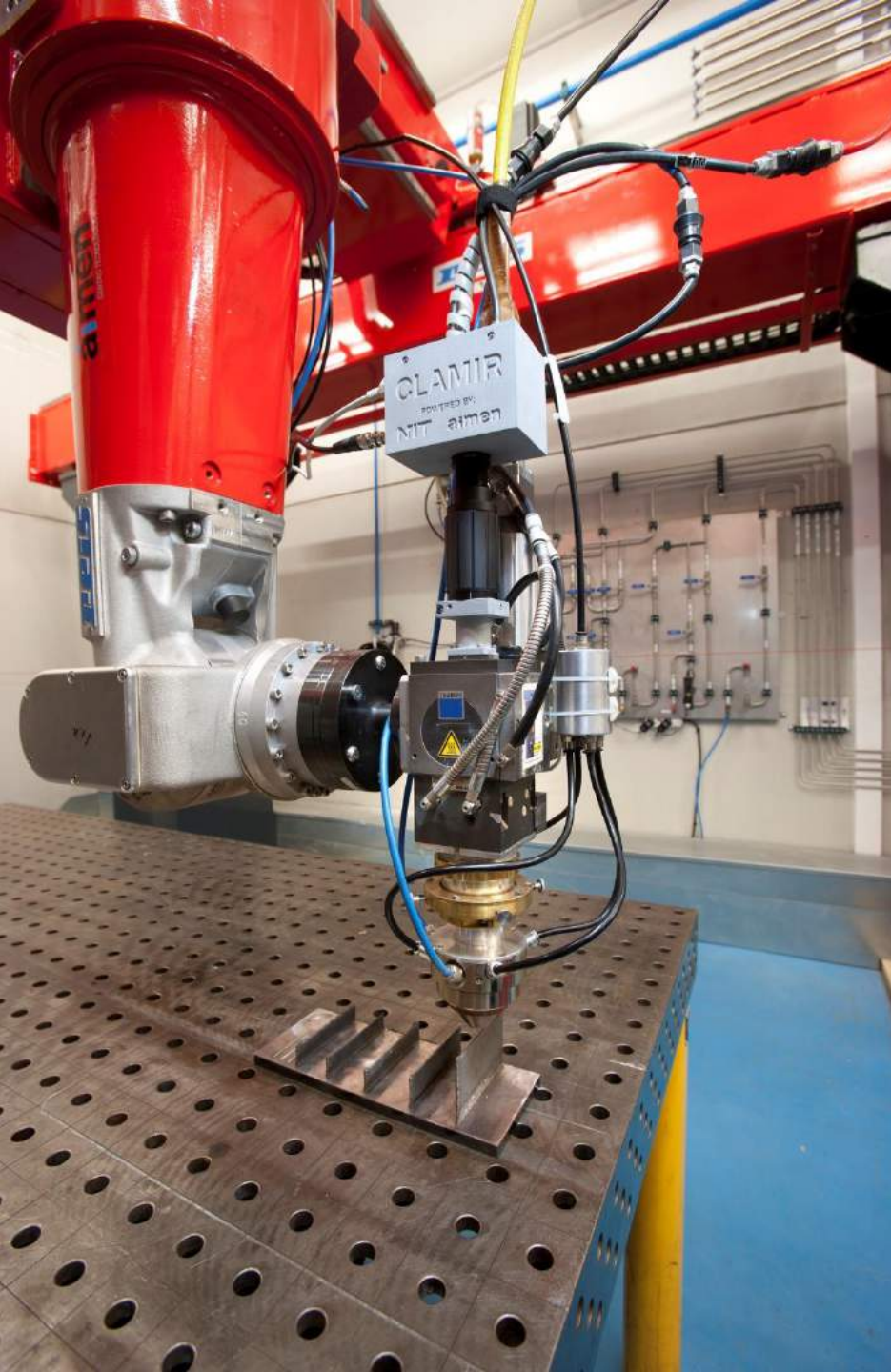


기계적인 설치(2)

- 기계적인 인터페이스 ; 고객의 laser head에 맞도록 NIT에서 디자인, 공급한다.



- 한 쪽은 laser head에, 반대 쪽은 CLAMIR에 맞도록 디자인된다.

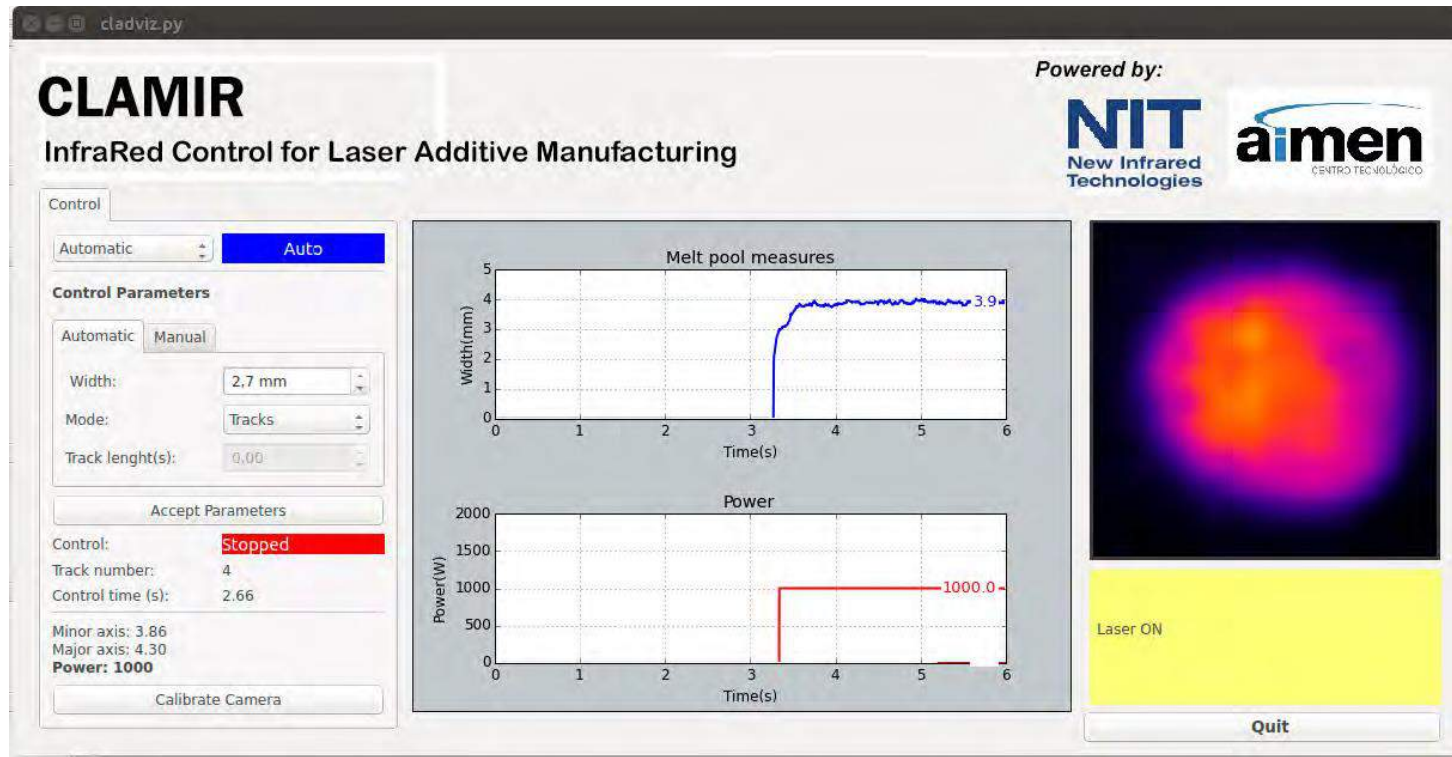


현장 설치사진 예(1)



현장 설치사진 예(2)

Software의 메인 화면



- 사용환경 : 프로세서 유형 i5 이상, Windows 7 이상, 8GB RAM 권장
- 실시간 디스플레이되는 파라미터들 : Melt pool의 폭, laser power (curves), 2차원 열화상에 의한 열적인 유동상태.

Configuration 파일에서 설정, 저장되는 파라미터들

1. Closed-loop control parameters: K_p , K_i , K_d .(PID filter).
2. Laser power 의 최고값과 최소값 설정.
3. Default laser power.
4. CLAMIR이 전송하는 Analog output value (0 V – 10 V)를 laser power의 Span(0 - Max)과 동기화한다(in Watts).
5. 예) 0V일 때 최소 laser power (Watt), 10V일 때 최고 laser power (Watt).

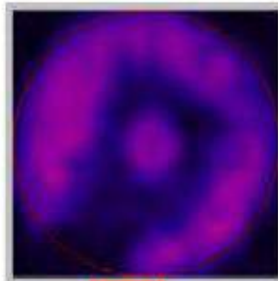
Spatial calibration ; 광학적인 보정작업

Calibration → Projection

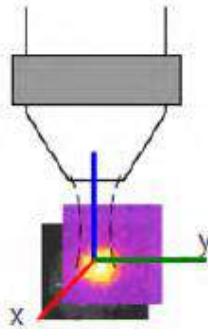
Real IR image – Field of regard limited by the optical configuration and the nozzle diameter



Preprocessed image – real Field of Regard is fitted into a circle



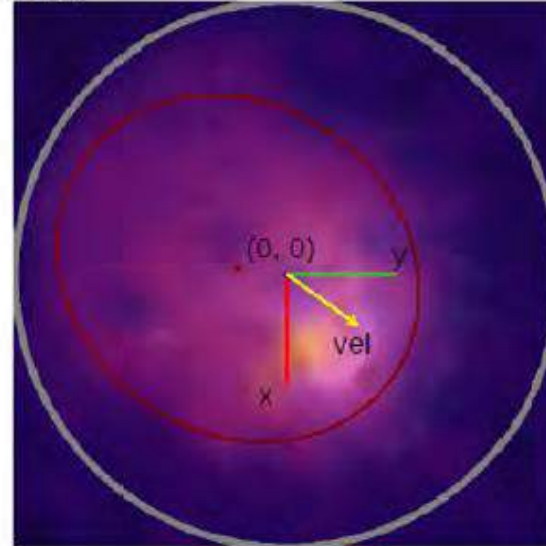
NIT



Calculation of the projection array

Storage in EEPROM

(-2.5, -2.5)



TCP projection

(2.5, 2.5)

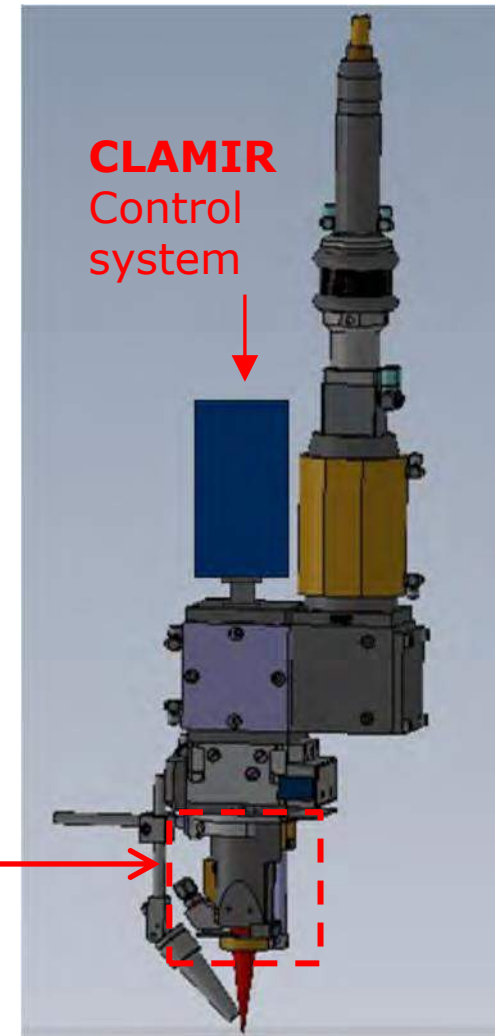
Image calibrated spatially
Real area is 5x5 mm²

- 광학적으로 보정작업을 하는 이유 : 픽셀 단위의 면적을 실제 mm² 단위의 면적으로 동기화하는 목적.
- CLAMIR에 내장된 열화상 카메라의 렌즈와 별개로, 레이저 헤드는 자체 광학 시스템 렌즈를 가지고 있으므로, 이 광학 시스템의 렌즈와 열화상 카메라의 렌즈의 조합으로 최종 배율을 부여한다.

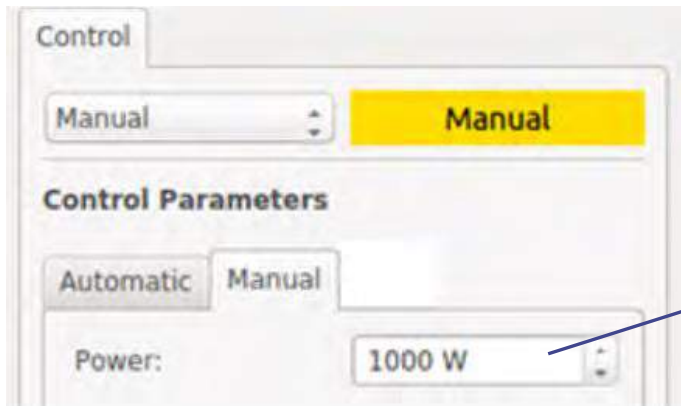
'UV-fused-silica' or 'IR-fused-silica'

- Laser head에는 보통 자외선 투과와 laser의 초점을 맞추기 위한 'UV-fused-silica lens'가 노즐과 가깝게 내장되어 있다.
- Maker에 따라서 또는 적외선 투과를 위한 'IR-fused-silica lens'가 내장된 경우도 있다.
- 테스트 결과 CLAMIR 시스템은 이 두 종류의 렌즈를 투과하여 열화상을 문제없이 수집한다.
- CLAMIR에 이상적인 lens(BS) 재질은 ZnSe

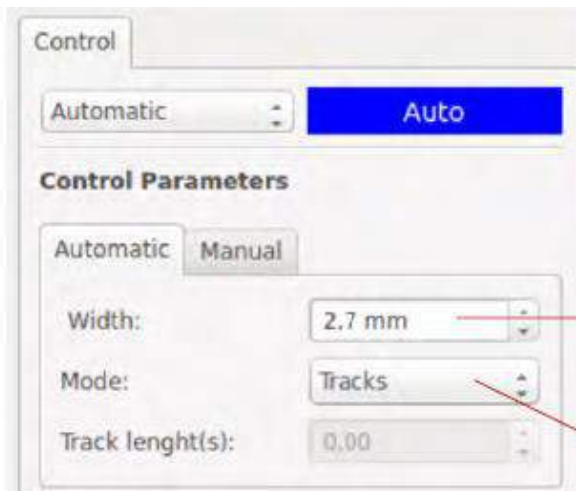
Laser focusing optics :
'UV-fused-silica' 또는
'IR-fused-silica'



Software의 실행(1)



공정 시작 전 설정, 입력할 유일한 파라미터는 사용자가 **laser power control unit**에 입력한 **laser power**



Melt pool의 폭은 설정할 필요없이 자동으로 연산, 입력된다.

- **Tracks(공정의 한 사이클)** : Cladding 공정일 때 선택한다.
- **Continuous** : LMD AM 공정일 때 선택한다.

Software의 실행(2)



Mode: Tracks
Track length(s): 0,00

- **Tracks** 모드: Cladding 공정에서 Track들의 시작과 끝을 자동으로 감지한다.
- 소프트웨어는 Warm-up 후 파라미터들을 자동으로 설정한다.



Mode: Continuous
Track length(s): 0,00

- **Continuous** 모드: LMD AM 공정에서 공정의 시작을 자동으로 감지한다.
- 소프트웨어가 공정의 끝을 감지하도록 Track length를 수동으로 초(sec)단위로 입력한다.



Accept Parameters

설정이 완료된 후 Accept Parameters 버튼을 누른다.

Software의 실행(3) ; Warm-up

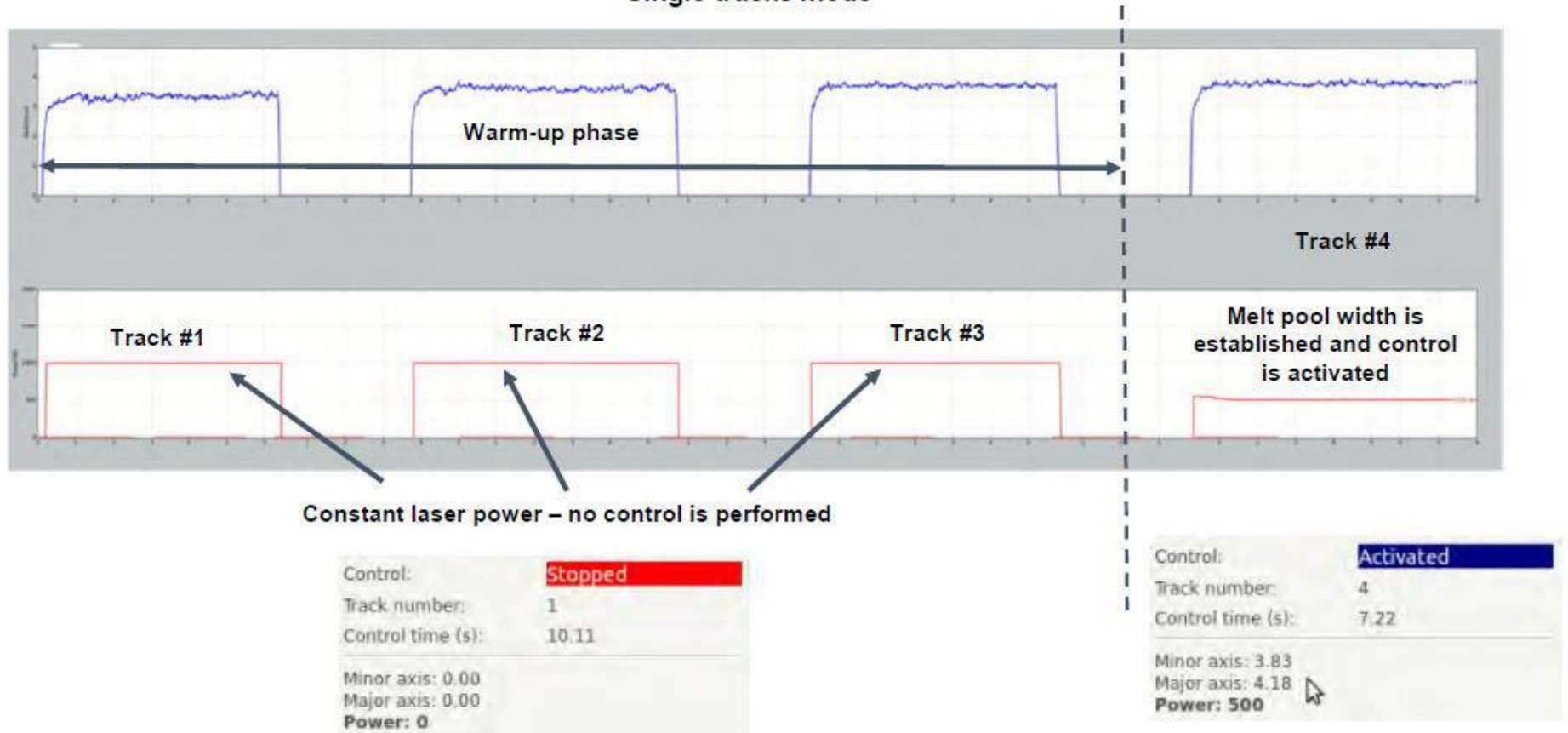


아래 단계 들은 사용자의 설정이나 입력없이 소프트웨어가 자동 실행한다 ;

1. Stopped 버튼이 눌러지면서 control 이 reset 된다.
2. Laser power는 앞서 사용자가 입력한 power로 설정된다.
3. 소프트웨어는 이제 모니터링을 자동으로 시작한다. 아직 laser power를 자동으로 컨트롤하지 않는다. 이 상태는 시스템의 Warm-up 시간 동안 계속된다.
4. Warm-up에 걸리는 시간은 공정 시작 후 약 15초.

Software의 실행(4)

Single tracks mode



- 시스템의 Warm-up 단계가 끝나면서 소프트웨어는 Melt pool의 dimension을 실시간으로 모니터링, 반영한다. 동시에 시스템은 이제 laser power를 자동으로 컨트롤한다.
- 이제 실시간으로 Melt pool의 크기(타원의 가로축, 세로축 길이로 표시)를 디스플레이한다.
- 컨트롤 되고 있는(변하고 있는) laser power, track 번호, 시간 등이 디스플레이된다.

CLAMIR Software 실행 동영상

[소프트웨어 실행 동영상 YouTube 링크](#)

Warming up이 끝난 후
laser power를 자동으
로 컨트롤하기 시작한다.

얻을 수 있는 효과들

- Laser process control 공정들에서 melt pool의 폭과 공정온도 등을 실시간으로 모니터링하여 laser power를 loop control한다.
- AM(Additive Manufacturing) 공정에서 Dilution(희석)현상과 상층 layer의 과열을 방지하여 공정을 중지할 필요가 없어진다.
- 공정에서 발생할 수 있는 결함들이 감소하여 시간과 경비, 유지보수비용 등이 절약된다.
- Zero-defect 생산량을 full production으로 높일 수 있다.
- 과열로 인해 상위 layer에 공급된 소재가 완전히 녹을 위험이 있는데 이런 경우 대부분 열이 내려갈 때까지 공정을 중단해야 한다. 이런 위험을 미연에 방지, 제거하기 위해 NIT의 솔루션은 레이저 출력을 실시간 자동 제어하여 과열을 방지한다.

Check list ; 고객으로부터 얻어야 하는 필수 정보들

- Laser head의 dimension. 예) hole size, distance to melt pool, etc.
- Laser head의 Optical port에 BK7 렌즈가 내장되어 있습니까?
- Optical port의 연결부분에 대한 도면 ; NIT에서 연결부분을 디자인, 공급하기 위한 정보입니다.
- Laser head에 기존 부착되어 있는 CCD 카메라 시스템이 있습니까?
- 예상되는 Melt pool의 대략적인 크기와 온도
- Nozzle 끝의 직경

사전 **TEST** 작업

- Laser head에서 기존의 CCD 시스템을 잠시 제거한다. Laser head에 NIT의 열화상 카메라를 임시로 부착(고정)한다.
- 적외선이 투과되도록 BK렌즈도 제거한다.
- 실제 Melt pool의 위치에 열원이 될 Halogen램프를 놓아둔다(임시로 고정한다).
- NIT 열화상 카메라의 기본 소프트웨어로 열화상이 수집되는지 확인한다.

Test에 의해 검증된 CMOS vs CLAMIR(중적외선)의 차이점들(1)

- Melt pool을 동축이미징으로 수집했을 때 두 기술의 차이점들
- CMOS 기술은 $1.0\mu\text{m}$ 미만의 파장에만 민감하여 900°C 이하의 열 방출을 거의 볼 수 없었다. 일반적인 냉각공정을 볼 수 없었다(laser cladding)
- 가시광선영역에서 높은 감도로 인해 돌출부나 광택이 있는 파우더의 에 의해 악영향을 받았다.

Test에 의해 검증된 CMOS vs CLAMIR(중적외선)의 차이점들(2)

- CLAMIR(중적외선 영역감지)은 100~2500°C의 광범위한 열을 모니터링한다.
- Melt pool의 열의 공간분포를 더 잘 포착하였다.
- 반사, 밝음, 광택 등에 악영향을 받지 않는 결과를 얻었다.
- 전반적으로 MWIR PbSe(중적외선 감지소자) 기술은 CMOS 기반시스템에 비해 레이저 프로세싱의 공정 모니터링과 실시간 loop 컨트롤에 대한 신뢰성을 크게 향상 시켰다.