

2D material Detector

사용자 매뉴얼

Model: SLG2

V 3.0

(주) 세종과학기기

## Chapter 1: 제품 배경

- 2 차원(2D) 물질은 사물인터넷(IoT), 플렉서블 소자, 초저전력 전자소자, 차세대 배터리, 수처리 필터, 우주선 소재에 이르기까지 매우 폭넓은 산업 분야에 적용 가능한 핵심 소재입니다. 2 차원(2D) 물질이란, 원자들이 평면상에서 결정 구조를 이루며 단 한 층의 원자 두께(약 1 nm, 즉 10 억 분의 1 미터)를 갖는 물질을 의미합니다.
- 전기적 특성에 따라 이차원 물질은 도체, 반도체, 절연체로 구분할 수 있습니다. 대표적인 예로는 도체인 그래핀(graphene), 반도체인 전이금속 칼코게나이드(TMDCs) 및 흑린(black phosphorus), 그리고 절연체인 육방정 질화붕소(hBN)가 있습니다.
- 대표적인 2 차원 물질인 그래핀은 기계적 박리(mechanical exfoliation)라는 방법을 통해 발견되었습니다. 이 방법은 접착 테이프를 이용해 흑연 덩어리로부터 원자층을 반복적으로 떼어내는 방식입니다. 매우 단순한 방법임에도 불구하고, 현재까지도 많은 연구자들이 이 방식을 사용하고 있습니다. 기계적 박리는 수율이 매우 낮고 대면적 생산에는 부적합하지만, 가장 높은 품질의 이차원 물질을 얻을 수 있는 최적의 방법으로 여전히 활용되고 있습니다.
- 그러나 기계적 박리 이후, 광학 현미경을 이용해 단원자층(monolayer) 2 차원 물질을 사람이 직접 식별하는 과정은 많은 시간이 소요됩니다. 또한 이 과정에서 시료가 공기에 장시간 노출될 경우 산화가 발생할 수 있습니다. 더불어 수율이 극히 낮아, 일반적으로 1 cm<sup>2</sup>당 한두 개의 단원자층 플레이크(결정)만 발견된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 2 차원 물질 검사 장비가 개발되었습니다.
- 본 매뉴얼은 기계적 박리를 통해 얻어진 이차원 물질을 자동으로 식별하고 그 위치를 기록하는 장비인 2D Detector 의 사용 방법을 안내합니다.

간혹 카메라 설정 상의 문제로 현미경 이미지가 어두운 색으로 나타날 경우가 있습니다. 이때는 Device 메뉴에 White Balance On 을 클릭하면 카메라 설정을 자동으로 바꾸면서 정상적인 화면으로 돌아옵니다.

## Chapter 2: 사용 방법

### (전원 켜기)

스테이지 컨트롤러와 LED 조명기의 전원 스위치를 켭니다. LED 조명기의 밝기는 노브(knob)나 버튼을 사용하여 조절할 수 있으며, 일반적으로 최대밝기의 40~50% 사이의 설정이 적절합니다. 카메라에 연결된 USB 케이블은 반드시 PC의 USB 3.0 포트에 연결해야 합니다. 또한, 시스템이 정상적으로 동작하기 위해서는 컨트롤러 후면에 있는 또 다른 USB 케이블을 PC에 연결해야 합니다.

### (시료 장착 및 높이 조절)

시료의 좌하단 모서리가 원점(origin) 근처에 위치하도록 시료를 배치합니다. 원점은 조명을 켜 후 밝기를 점차 높였을 때, 대물렌즈 아래에서 백색 광원이 보이는 위치로 확인할 수 있으며, 이 지점을 원점으로 간주합니다. 즉, 백색광이 시료의 좌하단 영역을 비추고 있다면 시료 배치는 올바른 상태입니다.

대물렌즈의 작동 거리(working distance)는 2 cm로, 대물렌즈 하단부터 시료 표면까지의 대략적인 초점 거리를 2 cm로 맞춰야 합니다. 이 높이 조절은 현미경에 연결된 레버 또는 Z축 모터 노브를 수동으로 회전하여 수행합니다.

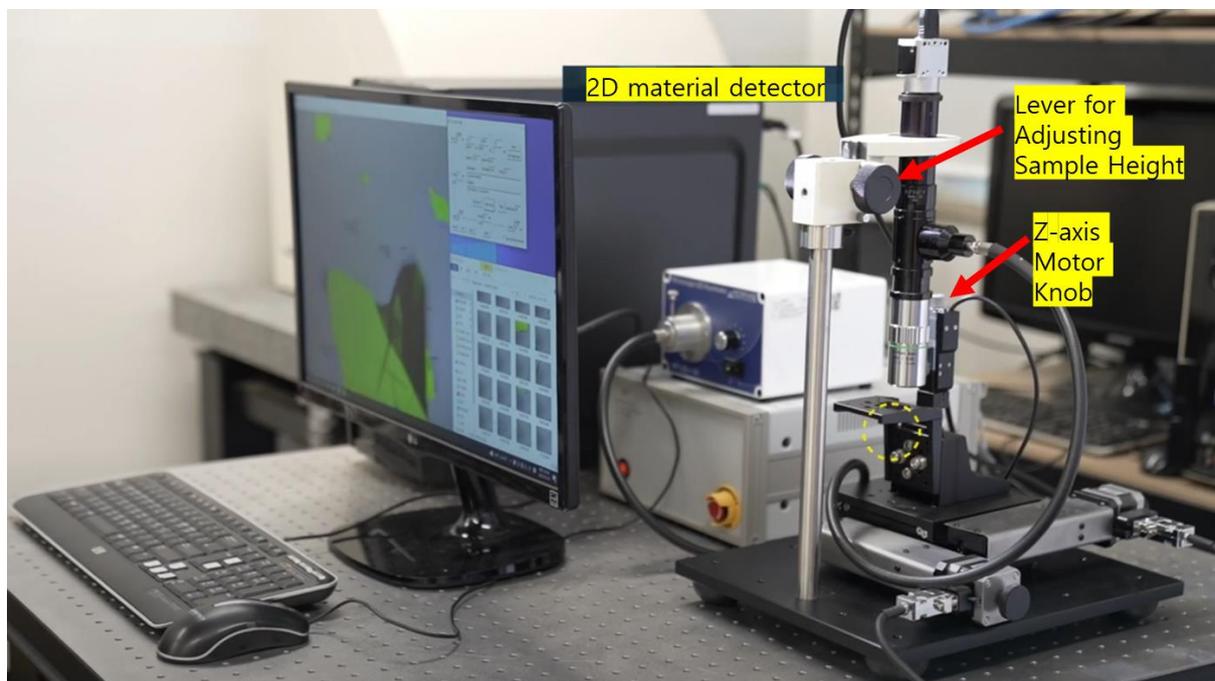


Figure 1 Overall photo of the equipment

(프로그램 실행)

제어용 PC 에서 SLG64 아이콘을 더블 클릭하여 프로그램을 실행합니다.

(시료의 위치 조정)

상단의 X, Y, Z 필드에는 옆에 칸에 숫자를 입력하고 엔터를 치거나, 또는 Move 버튼을 클릭하면, 숫자에 해당하는 위치로 스테이지가 이동합니다. 사용자가 특정 위치를 선택하고 그곳을 원점을 정하고 싶을 때 Set Origin here 버튼을 누르면, 그 위치가 원점(Origin)으로 설정됩니다.

한편 Scanner 메뉴의 Set here (0,0)를 클릭하면, 현재 위치를 (0, 0, 0)으로 새로운 좌표계를 설정합니다.

(초점 맞추기)

메인 화면에는 현미경의 실시간 영상이 표시되며, 화면 오른쪽에는 컨트롤 패널(Control Panel) 이 나타납니다. 현미경 영상이 흐리게 보일 경우, 좌측 하단에 위치한 Coarse 또는 Fine 버튼을 사용하여 자동으로 초점을 조절할 수 있습니다.

Coarse 버튼은 초점이 크게 벗어난 경우에 사용되며, 거친(대략적인) 초점 조정을 수행합니다. Fine 버튼은 정밀한 초점 조정에 사용됩니다. 두 버튼 중 어느 하나를 누르면 Z 축에 연결된 모터가 자동으로 높이를 조절하여 시료에 초점을 맞춥니다.

영상이 초점 범위에서 크게 벗어나 있는 경우에는 수동 조절이 필요할 수 있습니다. Coarse 또는 Fine 버튼으로 대략적인 높이 조정을 수행한 후, Focus 버튼을 눌러 정밀 자동 초점 조정을 실행합니다.

원점(Origin) 위치에서 초점이 맞춰지면, 현재 높이 값이 Origin 버튼 옆에 있는 Z depth 필드에 저장됩니다. 이 Z 값은 이후 스캔 과정에서 기준 높이로 사용되며, 시료 기울기 보정(tilt correction)의 기준이 됩니다.

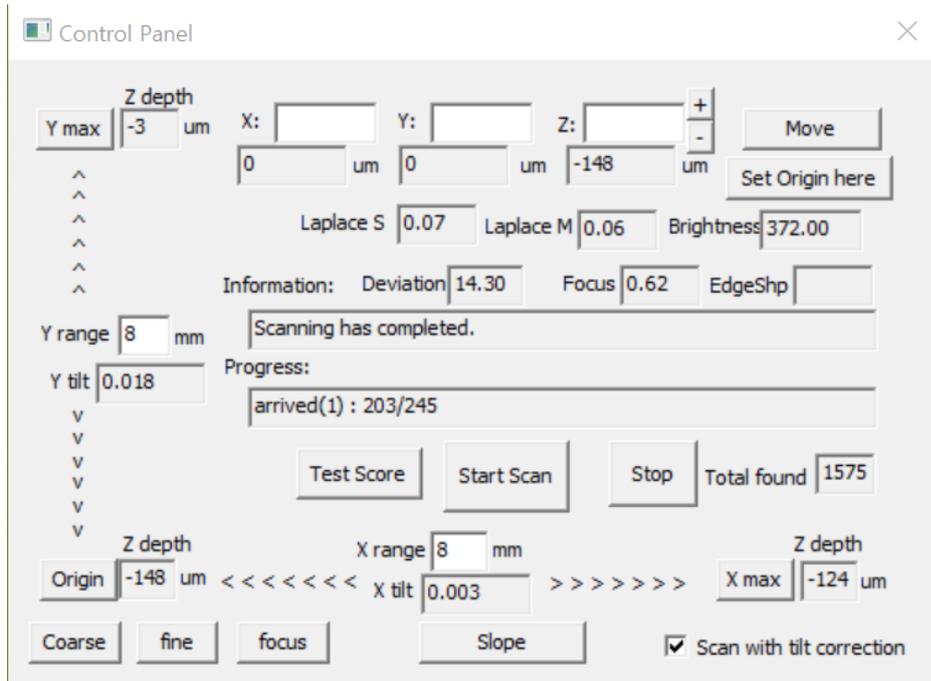


Figure 2 Control Panel

(스캔 범위 설정)

컨트롤 패널(Control Panel)에 표시된 X range 및 Y range의 기본값이 적절한지 확인합니다. 스캔 범위는 최소 1 mm에서 최대 50 mm까지 설정할 수 있으며, 시료의 크기에 맞게 조정해야 합니다.

설정된 값을 확인하기 위해, 오른쪽에 위치한 X max 버튼을 누릅니다. 그러면 X축 모터가 설정된 X 범위의 최대 위치로 이동합니다. 해당 위치에서 자동 또는 수동으로 초점을 맞춘 후, Focus 버튼을 눌러 X max 위치에서의 Z 깊이(초점 높이)를 기록합니다.

같은 방법으로 Y max 버튼을 눌러 Y축의 최대 범위 위치로 이동합니다. 해당 위치에서 초점을 조절한 뒤, 다시 Focus 버튼을 눌러 Y max 위치에서의 Z 깊이를 기록합니다.

모니터에 표시된 영상을 보면서 초점을 수동으로 미세 조정하려면, Z: 항목 옆에 있는 + 또는 - 버튼을 사용합니다. 버튼을 한 번 누를 때마다 높이가 1 μm씩 조절되며, 조정된 값은 새로운 Z 깊이로 저장됩니다.

(스캔 수행)

스캔에는 기울기 보정을 포함하는 방식과 기울기 보정을 포함하지 않는 방식의 두 가지 모드가 있습니다.

화면 오른쪽 하단의 "scan with tilt correction" 옵션을 체크하면 기울기 보정이 적용되어 스캔이 수행됩니다. 해당 옵션을 체크하지 않으면, 일정한 높이를 유지한 상태로 스캔이 진행됩니다.

시료의 크기가 5 mm 이하인 경우에는, 기울기 보정을 적용하지 않고 스캔해도 무방합니다.

---

#### (기울기 보정을 포함한 스캔)

기울기 보정(tilt correction)을 수행하기 위해서는 X-tilt 값(중앙-하단) 과 Y-tilt 값(중앙-좌측) 을 설정해야 합니다.

해당 입력란이 비어 있는 상태에서 "scan with tilt correction" 옵션이 체크되어 있고 "start scan" 버튼을 누르면, 시스템이 먼저 시료의 기울기를 자동으로 측정한 후 스캔을 시작합니다.

원점(Origin), X max, Y max 위치에서의 Z 깊이 값이 모두 입력되어 있는 경우, Slope 버튼을 눌러 기울기 값을 계산하고 화면에 표시할 수 있습니다.

기울기 값이 계산되면 "start scan" 버튼을 눌러 즉시 스캔을 시작할 수 있습니다.

스캔 도중 언제든지 중지하려면, 마우스로 화면을 한 번 클릭하면 됩니다.

---

#### (스캔 진행 상황 확인)

스캔이 진행되는 동안, 컨트롤 패널 중앙에 위치한 Information 및 Progress 박스에 현재 스캔 진행 상태와 예상 잔여 시간이 표시됩니다. 또한 상단의 X, Y, Z 필드에는 아래칸에는 스테이지의 현재 스캔 위치가 실시간으로 표시됩니다.

스캔이 완료되면 장비는 자동으로 동작을 멈추고 원점(Origin) 위치로 복귀한 후, 일반 현미경 모드로 전환됩니다. 이 상태에서 현미경 이미지를 저장하려면 Enter 키를 누르거나, 메뉴에서 Save Image를 선택하면 됩니다.

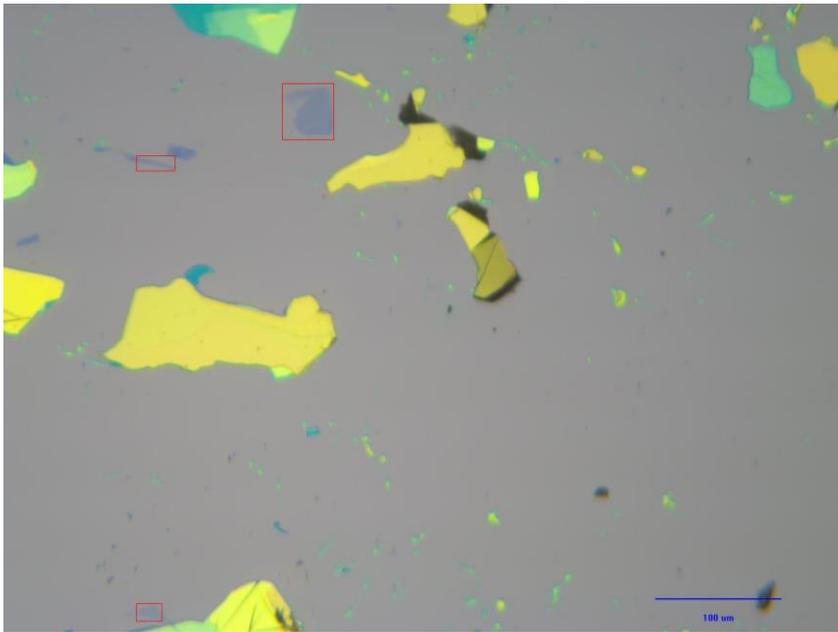
---

#### (이미지 확인)

스캔 중 검출된 2 차원(2D) 물질의 이미지는 바탕화면(desktop) 에 있는 "image data" 폴더 안에, 현재 날짜와 시간으로 이름이 지정된 폴더에 자동으로 저장됩니다.

각 이미지 파일명에는 시료의 위치 좌표가 표시됩니다. 기준 이미지로 사용되는 원점(0,0) 위치의 이미지는 항상 함께 저장됩니다.

검출된 이차원 물질 플레이크(flake)는 저장된 이미지에서 빨간색 사각 박스로 표시됩니다.



**Figure 3 Saved Image**

#### (명암비(Contrast Ratio) 검출 설정)

명암비 설정에 접근하려면 Analysis 메뉴에서 Configuration 을 선택합니다. Materials (known)에서 2 차원(2D) 물질의 종류와 기판(substrate) 을 선택하면, 이론적으로 계산된 기본 대비비 값(R, G, B) 이 자동으로 표시됩니다.

사용자가 이 값들은 수동으로 조정할 수도 있습니다. 또한 허용 오차 범위를 정의하는 Tolerance 값 역시 변경할 수 있습니다. Tolerance 값을 크게 설정하면 노이즈가 증가할 수 있으며, 반대로 너무 작게 설정하면 미약한 2D 물질을 놓칠 가능성이 있습니다. 사용자가 조정한 값들은 Resister as 버튼을 이용해서 저장할 수 있으며, 저장된 데이터는 Materials (user registerd)에 표시됩니다.

Tolerance 값은 자동 설정도 가능하지만, 일반적인 기준으로는 R, G, B 중 가장 큰 대비비 값의 약 절반으로 설정하는 것을 권장합니다.

Score Threshold 값은 2 차원물질인지 아닌지를 구별하는 기준값입니다. 이 값을 높이면 선명하고 크고 색상의 균일성이 높아서 2 차원물질이 확실한 것만 선택되지만, 2 차원물질인데 작고 갈라졌거나 불균일한 것을 누락할 가능성이 발생합니다. 적정값은 60 정도입니다.

#### (크기 범위 설정)

플레이크(flake)의 크기 범위를 정의하려면 Size ( $\mu\text{m}^2$ ) 옆에 있는 입력란에 원하는 최소값과 최대값을 입력합니다. 설정이 올바르게 적용되기 위해서는 최대값이 최소값보다 커야 합니다.

현재 설정이 적절한지 확인하려면 "Test Now" 버튼을 누르십시오. 그러면 검출된 이차원 물질의 경계가 강조 표시되며, 분류 결과가 함께 나타납니다.

Color Contrast Configuration ×

Materials (Known)

Materials (User registered)

Contrast

	<input type="button" value="+"/>	Red	<input type="text" value="88.2"/>	%	<input type="button" value="+"/>	Green	<input type="text" value="97.5"/>	%	<input type="button" value="+"/>	Blue	<input type="text" value="-7.5"/>	%	<input type="button" value="+"/>	Tolerance	<input type="text" value="20.0"/>	%
	<input type="button" value="-"/>				<input type="button" value="-"/>				<input type="button" value="-"/>				<input type="button" value="-"/>			

Score Threshold   < Size ( $\mu\text{m}^2$ ) <

Background Intensity: R  G  B  Register as:

Noise Level  Focus

Figure 4 configuration window

(명암비(Contrast Ratio) 이론치 자동 계산)

Analysis menu 에 contrast calculation 메뉴가 있습니다. Materials(2D)에는 잘 알려진 2 차원 물질들이 표시되어 있습니다. 이 항목의 특정 물질은 선택하면 해당물질의 복소 굴절율 값이 표시됩니다. 굴절율을 파장에 따라 달라지기 때문에 RGB 각각의 값들이 표시되어 있습니다. 그리고 단일층 thickness 에 표시됩니다. 사용자는 # of layers 에서 원하는 층수를 직접 입력할 수 있습니다. Materials(substrate)에는 실리콘 기판위에 옥사이드 물질을 표시합니다. 많이 사용하는 옥사이드들이 표시되어 있으며 특정 물질을 선택하면 해당 물질의 복소 굴절율이 표시됩니다. 옥사이드의 두께는 d2 에 표시되어 있고 사용자가 변경할 수 있습니다. 기판으로는 Si 가 사용되는 것으로 가정하고 이론값을 계산합니다. Calculate 버튼을 누르면 Fresnel 간섭 공식으로부터 이론적으로 예상되는 RGB 값의 Contrast R, G, B 창에 각각 표시됩니다. 이 값들을 측정에 그대로 사용하고자 한다면 Set 버튼을 누르면 됩니다. 그러면, Color Contrast Configuration 에서 변경된 사항이 반영된 것을 확인할 수 있습니다.

The image shows a software window titled "Contrast Calculation" with a close button (X) in the top right corner. The window is divided into several sections for input and output.

**Materials (2D)**: A dropdown menu shows "Graphene". Below it are buttons for "Register as", "New mater", and "Delete".

wavelength	Refractive Index (n+ik)			thickness (nm)	# of layers
R(630nm)	2.60	+ i	-1.30	d1	1
G(540nm)	2.60	+ i	-1.30		
B(470nm)	2.60	+ i	-1.30		

**Materials (substrate)**: A dropdown menu shows "SiO2".

n2	1.47	+ i	0.00	d2	300.0
R/B	0.294	G/B	0.430		

**Calculate**: A button to perform the calculation.

**Output**: Contrast R: -11.11 %, G: -3.87 %, B: 0.77 %  
R/B: 0.260, G/B: 0.410

**Set** and **Done**: Buttons to save and exit the configuration.

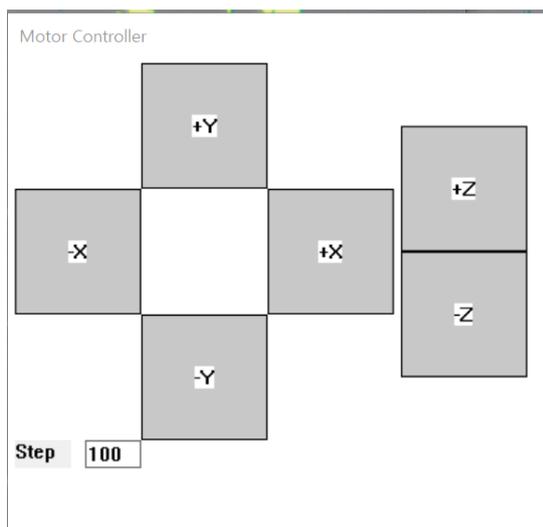
Figure5 contrast calculation window

(키보드 및 마우스를 이용한 시료 위치 조정)

키보드의 방향키(↑, ↓, ←, →) 를 누르면 시료를 400 μm 간격으로 상·하·좌·우로 이동시킬 수 있습니다. 이동 중 초점이 흐려질 경우, PgUp 및 PgDn 키를 사용하여 높이(Z축)를 조절할 수 있습니다.

(Motion Controller 창)

또는 화면 오른쪽 하단에 위치한 (Motion Controller 창)을 사용할 수도 있습니다. 이 창에서 버튼을 마우스로 클릭하면 스테이지를 한 스텝씩 이동시킬 수 있습니다. 이동 간격을 변경하려면 Step 값을 원하는 크기로 조정하면 됩니다.



**Figure 6 Motion controller window for stage position control**

(2차원 물질 검출 설정 수동 조정)

새로운 물질이나 새로운 기판을 사용하는 경우, 적절한 대비비(contrast ratio) 값을 추정하기 어려울 수 있습니다. 이러한 경우에는 현미경 영상을 직접 관찰하면서 2차원 물질을 수동으로 탐색할 수 있습니다.

2차원 물질로 보이는 플레이크를 발견하면 Enter 키를 눌러 이미지를 저장합니다. 이후 마우스로 의심되는 2차원 물질 영역을 왼쪽 클릭하면, 선택한 픽셀의 R, G, B 대비비 값이 표시된 메시지 박스가 나타납니다.

이 값들을 2차원 물질 검출을 위한 대비비 설정값으로 사용할지 여부를 묻는 확인 창이 표시되며, Yes를 선택하면 해당 픽셀의 대비비 값이 적용됩니다.

만약 실수로 설정을 변경한 경우에는, Configuration 메뉴로 돌아가 이전 설정값으로 되돌릴 수 있습니다.

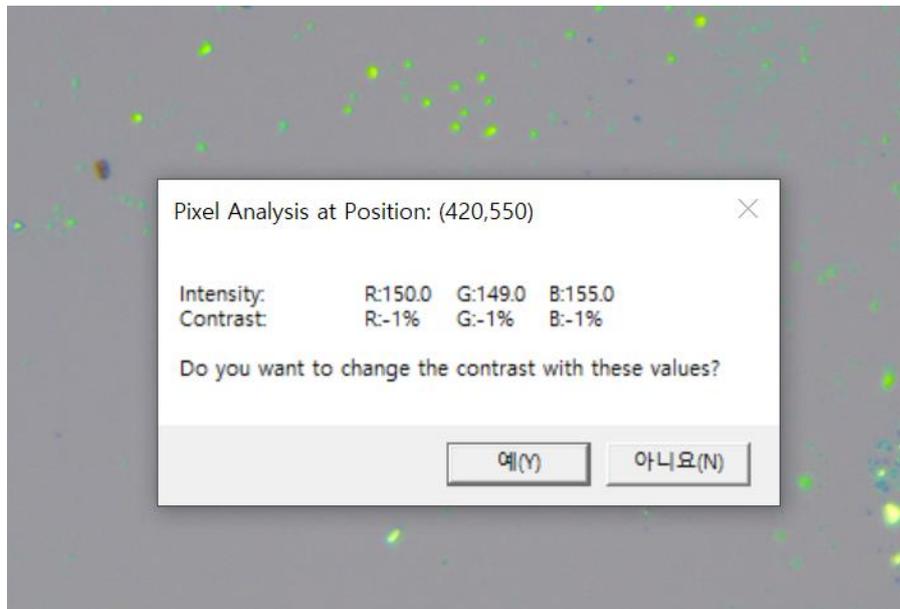


Figure 7 마우스로 선택한 Pixel의 컬러값을 보여줌

## (장비 설정 변경)

Device Configuration 메뉴에서 XYZ 스테이지(MCU) 또는 카메라가 정상적으로 연결되지 않는 경우, USB 케이블을 분리한 후 다시 연결하고 Initialize 버튼을 눌러 연결을 복구하십시오.

XYZ 스테이지의 시리얼 포트 번호는 PC의 장치 관리자(Device Manager) 에서 포트(Ports) 항목 아래의 USB 직렬 장치(USB serial device) 로 확인할 수 있습니다. 잘못된 포트 번호가 입력되면 모터가 동작하지 않으므로, 올바른 값을 입력한 후 Initialize 버튼을 눌러 연결을 다시 설정해야 합니다.

Focus Factor는 자동 초점 성능을 향상시키기 위한 파라미터입니다. 라플라시안(Laplacian) 값은 시료의 종류에 따라 달라지므로, 경우에 따라 조정이 필요할 수 있습니다. 일반적으로 1.5가 적절하며, 플레이크가 적거나 특징이 뚜렷한 시료의 경우 1.0 정도로 낮추면 도움이 됩니다. 반대로 플레이크가 많은 시료에서는 2~3으로 값을 높이면 더 빠른 초점 조정이 이루어지는 경우가 많습니다.

Focusing Interval 값은 장시간 스캔중에 스테이지의 drift로 인해 초점이 벗어나는 문제를 해결하고자 초점을 다시 맞추는 기능입니다. 해당 시간에 한번씩 초점을 다시 맞춥니다.

Focusing Depth는 얼마나 넓은 범위에서 초점을 검색할 지를 정하는 값입니다. drift의 정도가 심할 때 큰 값을 설정하고 심하지 않을 때는 작은 값을 설정합니다. 이 값이 너무 크면 초점을 맞추는 시간이 오래 걸립니다.

Objective lens는 현재 설치되어 있는 대물렌즈의 Field of View를 정하기 위해서 대물렌즈의 배율을 설정하는 기능을 제공합니다. Mag. 값에 해당 대물렌즈의 배율을 입력하면 FOV값과 Scan Step 값이 자동으로 정해집니다.

Gain과 exposure 값은 카메라의 감도와 노출시간을 변경하기 위해서 사용되며 특별한 상황이 아니면, 초기값을 바꿀 필요가 없습니다.

Device Configuration ×

XYZ-stage COM Port #

Connected

Focus factor (Default: 1.2)

Camera  Connected

BackGround Gradient Correction

gain

exposure

Focusing Interval  sec

Focusing Depth  um

Objective Lens

Mag.

FOV  um

Scan Step  um

Figure 8 Device -> Configuration menu window

### Chapter 3: 결론

이상으로 장비 사용에 대한 설명을 마칩니다. 장비의 운용과 관련하여 추가적인 문의나 보다 상세한 지원이 필요한 경우, 본사(Sejong Scientific Instruments) <https://www.sejongsciinst.com/> 로 연락하시면 기술 지원을 받으실 수 있습니다.

본 장비는 표준화된 부품을 기반으로 설계되어 있어, 사용자의 연구 목적에 맞게 시스템을 수정·확장하는 것을 적극적으로 지원합니다.

또한, 아래 링크를 통해 영상 매뉴얼을 확인하실 수 있습니다.

<https://www.youtube.com/watch?v=WOGqikHtnCA>