연구장비 성능평가 절차서

KBSI-PEP-SEM-001-2022

주사전자현미경
성능평가 절차서

2022. 11. 30.

한국기초과학지원연구원
KOREA BASIC SCIENCE INSTITUTE

주사전자현미경 성능평가 절차서

Performance Evaluation Procedure of Scanning Electron Microscope

한국기초과학지원연구원	주사전자현미경 성능평가 절차서	절차서 등록번호	KBSI-PEP-SEM-001-2022
		제정일	2022.11.30.
		최종 개정확인일	2022.12.28.

□ 작성자

성 명	소 속		직 위
이 석 훈	한국기초과학지원연구원	연구장비평가·활용팀	팀장
배 태 성	한국기초과학지원연구원	연구장비평가·활용팀	책임연구원
박 지 인	한국기초과학지원연구원	연구장비평가·활용팀	기술원
조 지 영	한국기초과학지원연구원	연구장비평가·활용팀	과제연구원
이 하 연	한국기초과학지원연구원	연구장비평가·활용팀	과제연구원

□ 제·개정 이력 내역

구분	제·개정번호	최종 개정·확인일자	제·개정 내용 요약
제정	00	2022.11.30.	주사전자현미경 절차서 신규
개정	01	2022.12.28.	주사전자현미경 용어 추가

목 차

1. 적용 범위 ····· 1
2. 인용 표준 ····· 1
3. 용어 및 정의 ····· 1
4. 성능평가 내용 및 방법 ····· 2
4.1. 성능평가 대상 장비 ····· 2
4.2. 시료 ····· 3
4.2.1. 영상 배율 교정 시험용 표준물질 ····· 3
4.2.2. 영상 분해능 평가 시험용 표준물질 ····· 3
4.2.3. 표준물질의 관리 ····· 4
4.3. 환경 조건 ····· 4
4.3.1. 장비 설치 및 측정 환경 ····· 4
4.3.2. 장비 성능평가 장소 ····· 5
4.3.3. 장비 안정화 ····· 5
4.4. 표준물질 측정방법 ····· 6
4.4.1. 표준물질의 고정(Mounting) ····· 6
4.4.2. 주사전자현미경 작동 조건 설정 ····· 6
4.4.3. 디지털 영상 기록(Recording of digital image) ····· 6
4.4.4. 디지털 영상 측정(Measurement of digital image) ····· 6
4.5. SEM 성능평가방법 ····· 8
4.5.1. 성능평가 시험 장비 설정 조건 ····· 8
4.6. 영상 배율 교정 ····· 9
4.6.1. 배율 정확도 시험 ····· 9
4.6.2. 스케일바 정확도 시험 ····· 10
4.6.3. 측정자 정확도 시험 ····· 11
4.7. 영상 분해능 평가 ····· 12
4.7.1. 분해능 측정 시험 ····· 12

별첨 제 1호. 연구장비성능평가 결과서---

Appendix A. 성능평가 결과 예시

Appendix B. 시험용 표준물질 Pelcotec 690-01 인증서

1. 적용 범위

본 절차서는 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, 이하 SEM)의 성능평가를 위한 것으로, 인증표준물질(Certified Reference Material, 이하 CRM) 또는 표준물질(Reference Material, 이하 RM)을 사용하여 영상 배율 교정(배율 정확도, 스케일바 정확도, 측정자 정확도)와 영상 분해능 평가(분해능) 항목을 확인한다.

2. 인용 표준

다음 표준문서를 인용하여 주사전자현미경에 대한 성능평가를 진행한다.

[1] KS D ISO 16700 : 2004, 마이크로빔 분석 - 주사전자현미경- 영상 배율 교정 지침(국가기술표준원)
[2] KS I 0051 : 1999, 주사 전자 현미경 시험 방법 통칙(국가기술표준원)
[3] KS D ISO 22493 : 2014, (2022 개정) 마이크로빔 분석 - 주사전자현미경 - 용어(국가기술표준원)
[4] ISO TS 24597 : 2011, Microbeam analysis - Scanning electron microscopy - Methods of evaluating image sharpness

3. 용어 및 정의

3.1. 주사전자현미경 (Scanning Electron Microscope)

전자 빔을 시료 표면에 주사하여 확대 영상을 얻는 기기

3.2. 인증표준물질 [Certified Reference Material(CRM)]

공인된 표준물질 제조기관에서 발급한 인증서와 함께 제공되는 표준물질로 하나 이상의 물성값이 특정 물성값을 나타내는 단위로 정확하게 소급성을 가지고 인증되고, 각각의 인증된 값이 명시된 신뢰수준에서의 불확도와 함께 제공되는 표준물질

3.3. 표준물질 [Reference Material(RM)]

하나 이상의 물성값이 충분히 균질하고 기기장치의 교정, 측정방법의 평가 또는 물질의 정량에 이용될 수 있도록 잘 정의된 물질

비고) 이 표준의 목적에 맞도록 표준물질은 영상배율의 교정에 사용될 수 있도록 원하는 크기 범위와 정밀도의 피치(pitch) 패턴을 가지고 있어야 한다.

3.4. 영상 [Image]

주사전자현미경에 의해 만들어진 시료 표면의 2차원적인 상

3.5. 영상 배율 [Image magnification]

시험편상에서 주사 영역의 길이에 대응되는 디스플레이의 직선상 크기의 비율

3.6. 스케일바 [Scale marker]

시료의 실제 길이를 나타내기 위해 영상에 표시한 선분

3.7. 측정자 (또는 측정자 프로그램)

주사전자현미경 프로그램 내 제조사에서 제공한 길이 측정 기능
((예) CD measuring)

3.8. 분해능 (공간 분해능) [Spatial resolution]

영상 내에서 분리되었다고 식별할 수 있는 두 형상 사이의 최소 간격

3.9. 2차 전자 [Secondary Electron (SE)]

1차 전자의 충돌로 인해 시험편에서 방출되는 전자

비고) 정의상, 이차 전자는 50 eV보다 작은 에너지의 전자로 간주한다.

3.10. 후방산란전자 [Back-scattered Electron (BSE)]

후방산란 과정을 통해 시험편의 입사 표면에서 방출되는 전자

비고) 정의상, 50 eV보다 높은 에너지를 방출하는 전자는 후방산란전자로 간주할 수 있다.

3.11. 시료 홀더 [Stub]

분석하고자 하는 시료를 로딩하는 고정판

3.12. 피치 [pitch]

시험편상에서 반복 패턴의 등가 점에 해당하는 .두 개의 유사한 특징의 가장 밀접한 분리거리

3.13. 장비 제조사 디지털 영상 출력 기준

장비 제조사·모델 별 출력 영상 크기

(예) 203.2 × 152.4 mm (800 × 600 pixel, 0.254 mm/pixel)

3.14. 가속전압 [accelerating voltage]

시료에 조사되는 전자의 운동 에너지의 전압 환산값

3.15. 작업 거리(작동 거리) [working distance]

시료 표면과 주사전자현미경의 대물렌즈 아랫면 사이의 거리

3.16. 픽셀 [pixel]

주사전자현미경(SEM) 영상을 구성하는 가장 작은 개별 영상 데이터 요소

3.17. 디지털 영상 가로길이

화면에 나타난 디지털 영상에서의 가로길이

3.18. 디지털 영상 세로길이

화면에 나타난 디지털 영상에서의 세로길이

3.19. 실제 피치 길이

표준물질 제조사에서 명시한 인증 길이(인증서 참조) × 피치 개수

3.20. 이미지 분석 프로그램

이미지 내 pixel 수 계산 기능을 가진 프로그램 (예) Image J

3.21. 대비 대 잡음비 (Contrast-to-noise ratio (CNR))

대비 대 잡음 비율

3.22. Binary image

여러 명암단계 이미지를 흑백으로 이진화 한 이미지

3.23. Gray Value

이미지의 흑백을 정의한 수치로써 흑백(0 ~ 255)을 256단계로 표현한 값

4. 성능평가 내용 및 방법

4.1. 성능평가 대상 장비

주사전자현미경은 정밀하게 집속한 전자 프로브를 시료 위에 2차원적으로 주사함으로써 시료에서 방출되는 신호(2차 전자, 후방산란전자 등)를 검출하여 확대 화상을 얻는 장비이다. 주사전자현미경은 그림 1과 같이 전자총부, 렌즈부, 편향 주사부, 시료실·시료 스테이지부, 검출기부, 진공 배기부, 전원·제어부, 신호 처리·화상 표시부로 구성된다.



그림 2. 주사전자현미경 구성

4.2. 시료

본 성능평가법에서 사용되는 표준물질은 아래와 같은 규격을 참고하여 성능평가 항목에 맞는 표준물질을 선정한다.

4.2.1. 영상 배율 교정 시험용 표준물질

영상 배율 교정 시험은 교정하고자 하는 배율, 스케일바, 측정자 시험에 적합한 피치 패턴을 포함하고, 외부 오염원으로부터 안정한 표준물질(표 1)을 사용하여 본 시험을 진행한다.

표 2. 영상 배율 교정 시험용 표준물질 (×500 ~ ×100k)

Name	제조사	Product No.	크기	Pitch pattern
Pelcotec 690-01	Ted Pella	690-01	2.5 mm × 2.5 mm	2.0 mm
				1.0 mm
				0.5 mm
				0.10 mm
				50 µm
				10 µm
				5 µm
				2 µm
				1 µm
				500 nm
				250 nm
				100 nm

표준물질의 전체 크기는 2.5 mm × 2.5 mm 이며, 2.0 mm, 1.0 mm, 0.5 mm, 0.10 mm, 50 µm, 10 µm, 5 µm, 2 µm, 1 µm, 500 nm, 250 nm, 100 nm의 X축 피치 패턴과 Y축 피치 패턴으로 구성되어 있다.

4.2.2. 영상 분해능 평가 시험용 표준물질

카본 기판 위에 금을 작은 입자로 증착한 물질을 분해능 측정 표준물질로 사용한다. 시험에 사용되는 표준물질의 사양은 표 2와 같다.

표 3. 분해능 측정용 표준물질

Name	제조사	Product No.	비고
Gold on carbon	Ted Pella	617-2	Particle size range : 3 nm - 50 nm
Gold on carbon	Ted Pella	617-3	Particle size range : 2 nm - 30 nm

4.2.3. 표준물질의 관리

표준물질의 변형을 최소화하기 위해 일정한 온/습도가 유지되는 진공 데시케이터에 보관한다.

표준물질은 주어진 유효기간 내에서 사용하며 유효기간이 지난 표준물질은 폐기한다. 표준물질의 제조업체로부터 유효기간이 제공되지 않는 경우, 입고 후 5년을 유효기간으로 본다. 단, 시료 표면의 오염이 발생하여 측정 시료로써 유효성이 보장되지 않을 시에는 즉시 폐기한다.

4.3. 환경 조건

4.3.1. 장비 설치 및 측정 환경

주사전자현미경의 안정한 유지·관리 및 원활한 성능 발휘를 위하여 표 3과 같은 환경에서 설치 및 측정한다. 장비 성능평가 보고서 작성 시 측정 환경 조건을 명시한다.

표 4. 장비 측정 환경 조건

항목	측정 환경 조건
온도	20 ± 5 ℃
습도	~ 70 % R.H.
진동/소음	35 dB 이하
자기장	0.5 mG 이하

4.3.2. 장비 성능평가 장소

장비 성능평가는 환경 조건 및 필요 요건을 충족한 평가기관 내 지정된 장소에서 진행하는 것을 우선으로 한다. 단, 제조사와의 협의에 따라 제조사가 제공하는 환경 조건 및 필요 요건을 만족하는 장소에서 진행할 수 있다.

4.3.3. 장비 안정화

장비 설치 후 진공도 및 빔 정렬(beam alignment) 등 정상 작동을 확인하고 성능평가를 진행한다.

4.4. 표준물질 측정방법

4.4.1. 표준물질의 고정(Mounting)

영상 배율 교정 및 영상 분해능 평가 시험용 표준물질은 도전성 페이스트 또는 도전성 양면 테이프 등을 이용하여 시료 홀더에 고정한 후, 완전히 건조 시킨다.

4.4.2. 주사전자현미경 작동 조건 설정

a. 주사전자현미경 챔버 내로 표준물질 투입 후 정상 가동 가능 진공도 도달 시점까지 대기한다.
b. 3.3.1항의 환경 조건에서 표준물질의 이미지 분석을 진행한다.
   1) 영상모드(2차 전자 또는 후방산란전자)를 선택한다.
   2) 시료의 표면이 전자빔의 축과 수직이 되도록 수평 조정한다.
   3) 가속전압, 작업 거리 및 배율을 설정한다. (3.5.1항 참고)
   4) 영상 화면에 시료가 선명하게 보이도록 초점/비점수차/조리개 위치를 조절한다.

4.4.3. 디지털 영상 기록(Recording of digital image)

a. 측정할 피치 패턴은 화면에서 Y축 평행/X축 수직, X축 평행/Y축 수직이 되도록 시료를 정렬한다.
b. 측정범위는 모니터 화면 길이 및 폭의 약 80% 이내에 있는 피치 패턴을 대상으로 한다.
c. 영상 기록 시 평가 장비에서 구현 가능한 설정 조건 내에서 주사 속도는 느리게, 화질은 고화질로 설정하여 진행한다.
d. 디지털 영상 파일은 512×512 화소 이상으로 하고, TIFF 또는 BMP 형식으로 저장한다.

4.4.4. 디지털 영상 측정(Measurement of digital image)

저장된 디지털 영상 파일은 장비 제조사 디지털 영상 출력 기준으로 이미지 분석 프로그램에 로딩하여 배율, 스케일바 및 프로그램 측정자의 정확도를 측정한다.

a. 디지털 영상 내 모서리의 찌그러짐 효과를 최소화하기 위해 모서리 근처에서의 측정을 피한다. 측정은 영상의 중앙 80% 영역 이내에서 진행한다. (그림 2 참고)

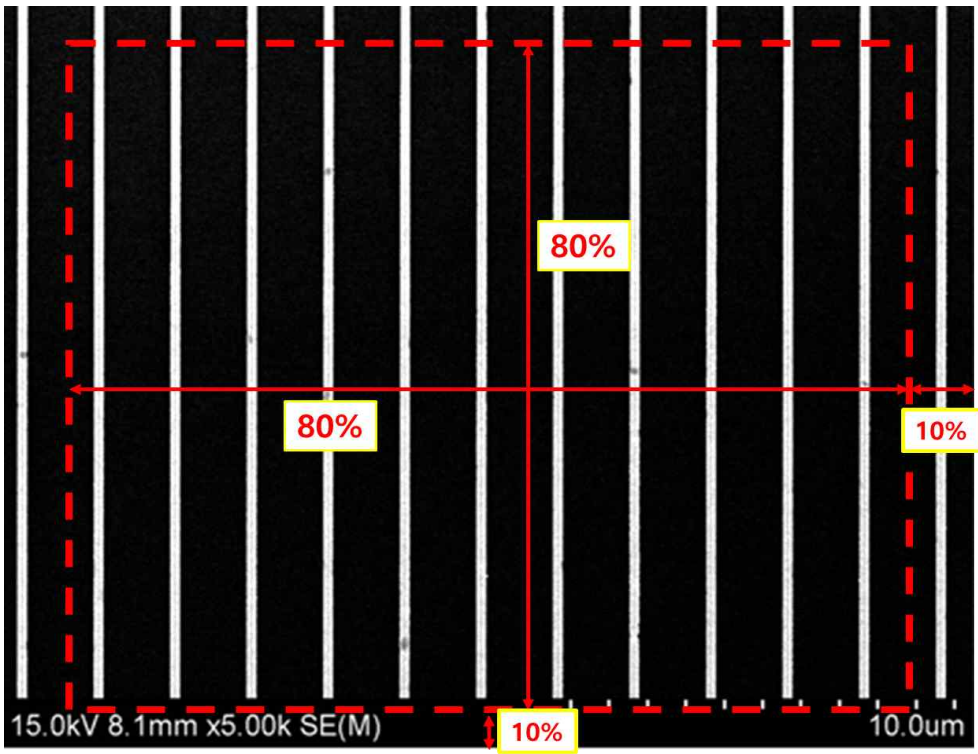


그림 3. 디지털 영상 내 패턴 측정 영역

b. 측정 피치 패턴의 개수는 10개 내외로 한다. 단, 피치의 크기(간격) 및 배율의 조건에 따라 측정 피치 개수를 조절한다.

c. 피치와 스케일바의 경우 끝단에서 끝단(왼쪽 끝-왼쪽 끝, 오른쪽 끝-오른쪽 끝)의 길이를 측정한다.

d. 측정한 동일 이미지 내에서 10회 이상 반복 측정하여 평균값을 계산한다.

4.5. SEM 성능평가방법

성능평가 방법은 “KS D ISO 16700”, “KS I 0051”과 “ISO/TS 24597” 을 준용하여 평가한다.

4.5.1. 성능평가 시험 장비 설정 조건

배율, 스케일바 및 측정자 정확도 시험 조건은 표 4와 같다.
성능평가는 장비 성능이 구현 가능한 범위 내에서 시험한다.
단, 제조사와 협의에 따라 장비 설정 조건 및 갯수를 변경할 수 있다.

표 5. (예) 배율, 스케일바 및 측정자 정확도 시험 조건

구분	가속전압 [kV]	작업 거리 [mm]	배율 [×]
시험조건	1	4	500
			1,000
	5	8	5,000
			10,000
	10	15	50,000
	15		100,000

표 5. 성능평가 항목 및 표시 방법

성능평가 항목		표시 방법	비 고
영상 배율 교정	배율 정확도	%	분석조건 명시 (예) 가속전압 [kV], 작업 거리 [mm], 배율[×]
	스케일바 정확도	%	
	측정자 정확도	%	
영상 분해능 평가	분해능 측정	nm	

4.6. 영상 배율 교정

4.6.1. 배율 정확도 시험

a. X축의 배율 정확도 시험을 위하여 디지털 영상 크기에 해당하는 픽셀 수($N_{W,x}$)를 얻는다.

b. 디지털 영상 측정 피치 길이(D)에 해당하는 픽셀 수(N_D)를 이미지 분석 프로그램을 이용하여 얻는다.

c. 디지털 영상 가로길이(W_x)에 해당하는 픽셀 수($N_{W,x}$)와 디지털 영상 측정 피치 길이(D)에 해당하는 픽셀 수(N_D)를 이용하여 디지털 영상 측정 피치 길이(D)를 구한다.

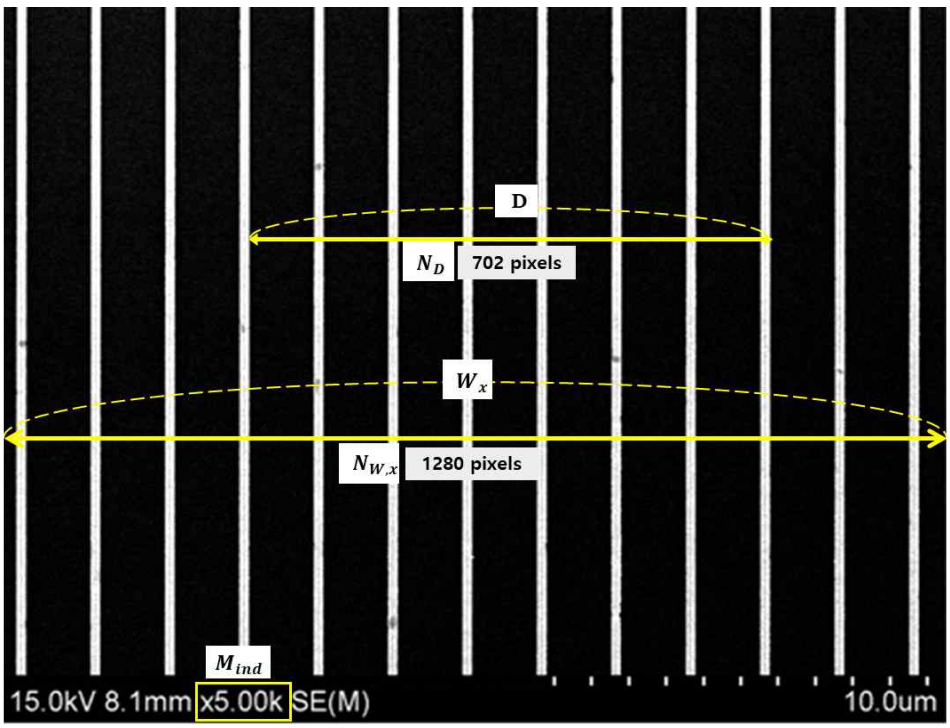


그림 4. 이미지 분석 프로그램의 배율 정확도 시험 디지털 영상

$$D = W_x \times \frac{N_D}{N_{W,x}}$$

D : 디지털 영상 피치 길이(μm)
N_D : 디지털 영상 측정 피치 길이에 해당하는 픽셀 수
W_x : 장비 제조사 디지털 영상 출력 기준 가로길이(그림 3)
$N_{W,x}$: 디지털 영상 가로길이에 해당하는 픽셀 수

e. 다음 식에 의해 배율(M)을 결정한다.

$$M = \frac{D}{d}$$

M : 배율
d : 표준물질의 실제 피치 길이(표준물질 인증서 참고)

f. 배율의 퍼센트 정확도(A_M)는 다음 식과 같이 배율의 차이(ΔM)를 계산하여 결정한다.

$$\Delta M = |M - M_{ind}| = |\frac{D}{d} - M_{ind}|$$

$$A_M = (1 - \frac{\Delta M}{M_{ind}}) \times 100$$

M_{ind} : 지시 배율(그림 3)

g. Y축의 배율 정확도 시험은 상기 a~f까지의 방법을 준용하여 진행한다.

4.6.2. 스케일바 정확도 시험

a. 스케일바 정확도 시험을 위하여 디지털 영상 출력에서 표준물질의 실제 피치 길이(d)의 픽셀 수(N_d)를 이미지 분석 프로그램을 이용하여 얻는다.
b. 디지털 영상 출력에서 표준물질의 실제 피치 길이(d)의 픽셀 수(N_d)와 스케일바 길이(L)에 해당하는 픽셀 수(N_L)를 측정하여 스케일바 길이(L)을 구한다.

$$L = d \times \frac{N_L}{N_d}$$

L : 디지털 영상 스케일바 길이(그림 4)
N_L : 디지털 영상 측정 스케일바 길이에 해당하는 픽셀 수
d : 표준물질의 실제 피치 길이(표준물질 인증서 참고)
N_d : 표준물질의 실제 피치 길이에 해당하는 픽셀 수

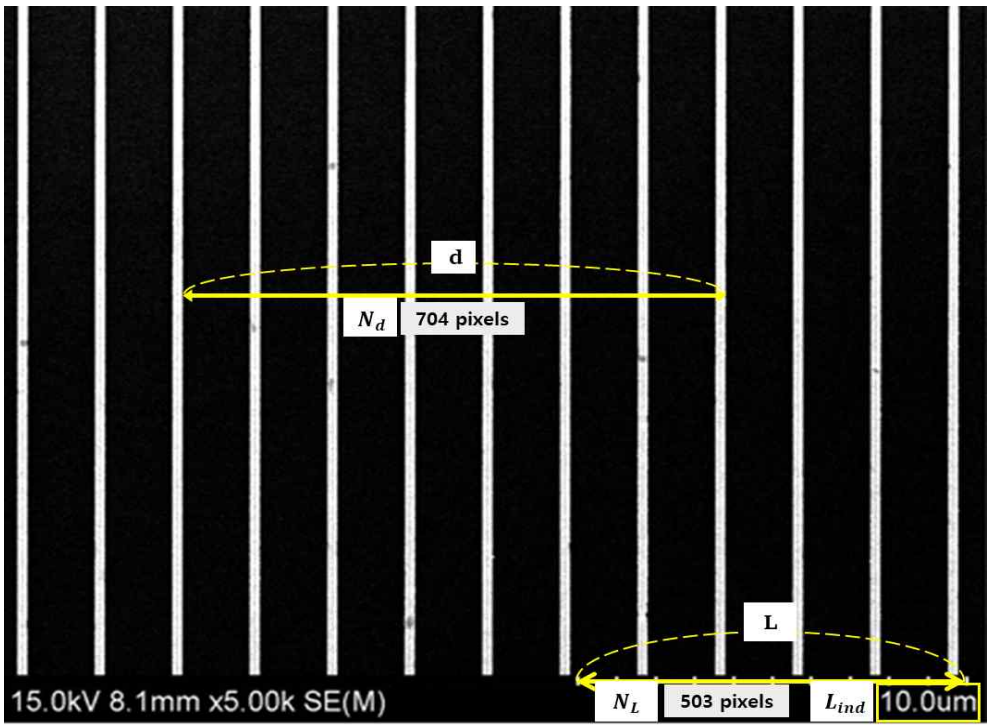


그림 5. 이미지 분석 프로그램의 스케일바 정확도 시험 디지털 영상

c. 스케일바의 퍼센트 정확도(A_S)는 다음 식과 같이 스케일바 길이 차이($\triangle L$)를 계산하여 결정한다.

$$\Delta L = |L - L_{ind}|$$

$$A_S = (1 - \frac{\Delta L}{L_{ind}}) \times 100$$

L : 디지털 영상 스케일바 길이

L_{ind} : 디지털 영상에서 스케일바 지시 길이(그림 4)

4.6.3. 측정자 정확도 시험

a. 장비의 측정자 프로그램으로 피치 길이(P)를 측정한다.

b. 측정자 프로그램의 피치 길이(P)와 표준물질의 실제 피치 길이(d = 피치 길이 × 피치 갯수)의 차이(ΔP)를 계산한다.

$$\Delta P = |P - d|$$

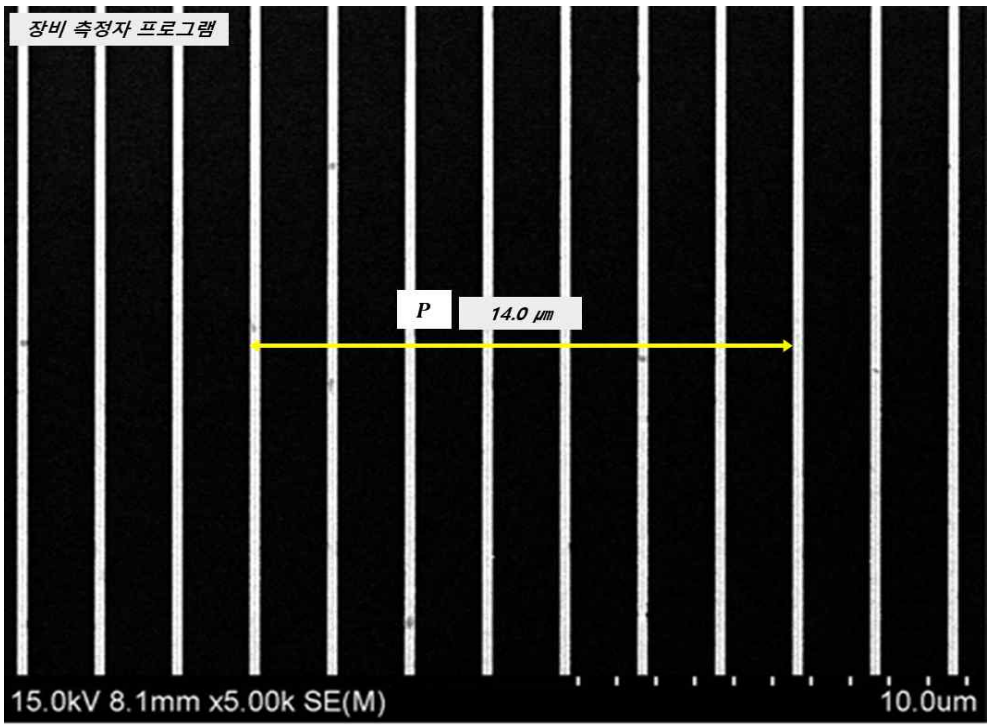


그림 5. 장비 측정자 프로그램의 측정자 정확도 시험 디지털 영상

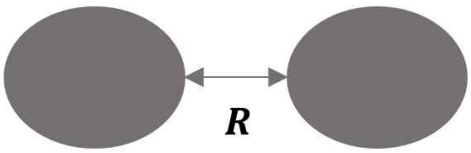
c. 측정자의 퍼센트 정확도(A_P)는 다음 식과 같이 계산한다.

$$A_P = (1 - \frac{\Delta P}{d}) \times 100$$

d : 표준물질 실제 피치 길이(표준물질 인증서 참고)

4.7. 영상 분해능 평가

4.7.1. 분해능 측정 시험



R = 최소 입자 간격 (분해능)

분해능 측정 시험은 두 입자 사이의 최소 간격을 측정하는 미세간격 측정법 (Gap method)을 적용한다.

분해능 측정 조건(가속전압, 작업 거리, 배율)은 장비 제조사에서 제시한 조건을 기준으로 한다.

4.7.1.1. 분해능 측정 절차

a. 분해능 측정 디지털 영상은 CNR(Contrast-To-Noise Ratio) 10 이상인 영상 파일을 이용한다.
   단, 장비 내 CNR 기능이 없는 경우, 이미지 분석 프로그램을 이용하여 CNR ≥ 10인 영상을 선정한다. (그림 6. (b))
b. 선정된 디지털 영상은 이미지 분석 프로그램을 통해 Binary 모드로 전환한다.
c. Binary 이미지에서 최소 입자 간격을 선택하여 두 입자의 중심을 연결한 선(축)을 따라 Gray value의 변화(Y축)를 그래프로 나타낸다. (그림 7. (C))
d. 그래프상에서 Gray value = 0(인접한 두 입자 구별) 구간이 최소 1점 이상인 입자 간을 분해능 측정 대상으로 한다.
e. 분해능은 Gray value/2 위치에서의 간격으로 측정한다. (그림 7. (C))

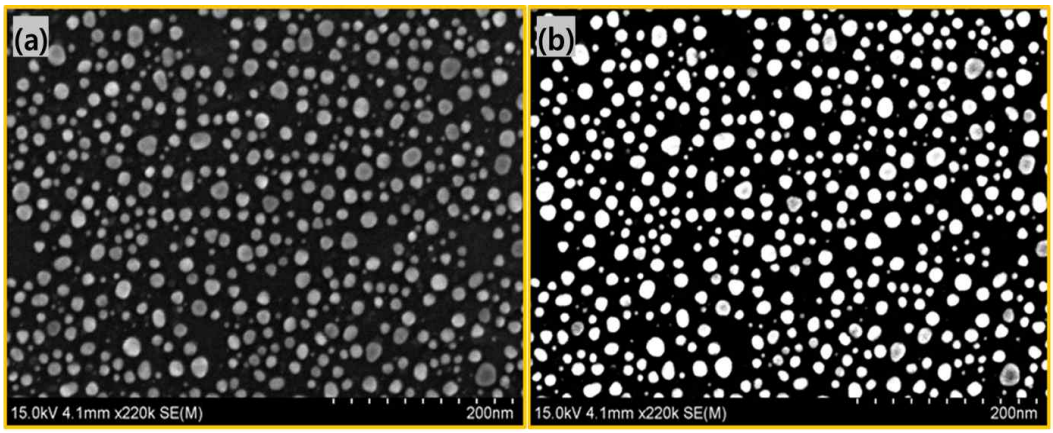


그림 6. (a): 원본 디지털 영상, (b): (a)를 CNR ≥ 10 으로 변환한 영상

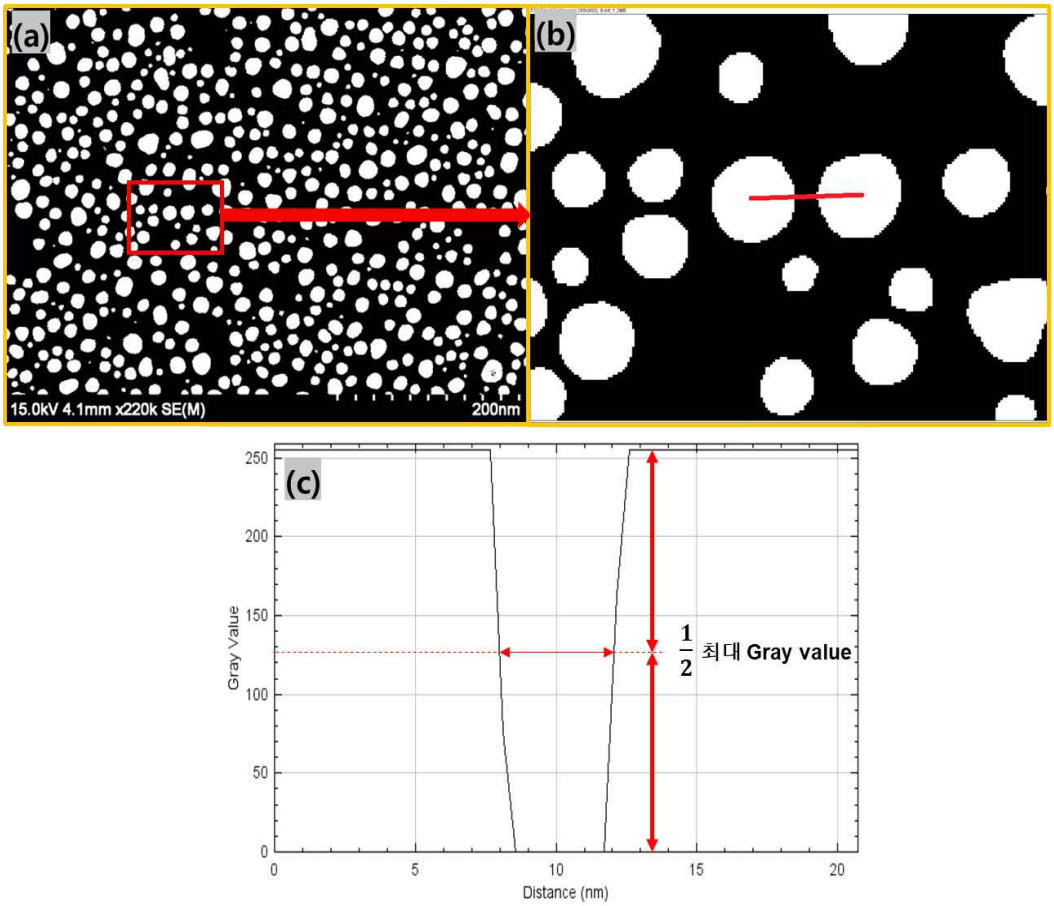


그림 7. (a): Binary 모드 변경 후 측정영역 선택, (b): 인접한 두 입자 간 중심축 선, (c): 분해능 측정점 위치

본 절차서에서 명시되지 않은 세부 평가 절차는 KS 및 ISO에 의거함.

제정일 : 2022. 11. 30

작성기관 : 한국기초과학지원연구원 연구장비평가활용팀

URL : http://www.kbsi.re.kr

[별첨 1 (연구장비성능평가 신청서)]

연구장비성능평가 신청서

※ 뒤쪽의 작성방법을 읽고 작성하시기 바라며, [ ]에는 해당되는 곳에 √ 표시를 합니다. (앞쪽)

접수번호			접수일	
실무 담당자	성명	직위	전화번호(팩스번호)	전자우편주소

신청업체	업체명	(기업명)	개업 연월일	
		(홈페이지)		
	대표자명 (성별/생년월일)		사업자등록번호	
	①소재지		전화번호	팩스번호
	1.			
	2.			

신청장비	②장비명	(국문)		
		(영문)		
	③장비모델명		④품명	
	⑤세부 품명번호		⑥물품식별번호	
	⑦기술성숙도 (TRL단계)	[ ] 시제품단계 [ ] 제품화단계(판매 준비) [ ] 사업화단계(판매 시작)		
	⑧혁신제품 지정 유무	1. 기술의 혁신성을 인정한 제품 [ ] 국내에서 개발된 제품으로서 성능과 품질이 동종·유사 제품보다 우수하여 경제적·기술적 파급효과가 큰 제품 [ ] 기존에 존재하는 기술(외국에서 도입된 기술을 포함한다)을 개선·개량하여 발전시킨 제품으로서 성능과 품질이 동종·유사 제품보다 우수하여 경제적·기술적 파급효과가 큰 제품 2. 공공성을 인정한 제품 [ ] 다수의 국민에게 활용될 수 있는 제품으로서 국민생활편의 향상, 공공업무 혁신 등 공공서비스 개선효과가 큰 제품 [ ] 친환경, 신산업, 국민안전 등 사회적 가치 실현 효과가 큰 제품 3. 해당사항 없음 [ ]		

⑨관계 표준규격	⑩관계 규정
1.	1.
2.	2.
3.	3.

연구장비 유형	[ ] 광학·전자영상장비 ……[ ] 화합물 전처리·분석장비 [ ] 물리적 측정장비 …… ……[ ] 그 밖의 연구장비(연구장비 소프트웨어 등)

「연구산업진흥법」 제8조제1항 및 같은 법 시행령 제10조제1항에 따라 연구장비성능평가를 신청합니다.

년 월 일

대표자 (서명 또는 인)

평가기관의 장 귀하

첨부서류	1. 연구장비 세부 사양서 2. 연구장비 취급 설명서 3. 연구장비성능평가 항목 제안서 4. [별첨 2] 연구장비성능평가 세부 요청서	수수료 없음

연구장비 성능평가신청서 작성방법

1. ①의 “소재지” 란의 작성사항 “1” 에는 기업의 주된 소재지를 작성하고 “2” 에는 부소재지를 작성합니다(지점이나 부소재지가 없다면 “2” 란은 비워 놓습니다).
2. ②의 “장비명” 란에는 제품 판매 시 사용되거나 사용 예정인 명칭을 작성합니다.
3. ③의 “장비모델명” 란에는 기업에서 관리하는 장비의 고유한 이름이나 번호를 작성합니다.
4. ④의 “품명”, ⑤의 “세부 품명번호”, ⑥ “물품식별번호” 란에는 상품정보시스템(나라장터)에서 조회되는 이름과 번호를 작성합니다. 다만, 현재 제품화·사업화 전 단계인 경우에는 “해당사항 없음” 으로, 나라장터에 등록되지 않은 경우에는 “미등록제품” 으로 작성합니다.
5. ⑦의 “기술성숙도(TRL단계)” 구분은 제품의 사업화 진행 단계를 작성합니다. 다만, ‘기초단계’, ‘실험단계’ 의 연구장비는 성능평가 대상이 아닙니다.
6. ⑧의 “혁신제품 지정 유무” 구분은 「조달사업에 관한 법률」 제27조제1항에 따라 “혁신제품” 으로 지정된 제품인 경우 해당란에 작성(중복 가능)하며, 혁신제품이 아닌 경우에는 ‘해당 사항 없음’ 으로 작성합니다.
7. ⑨의 “관계 표준규격” 란은 해당 장비에 적용되는 국내외 표준규격[예시: 국제표준화기구(ISO)인증규격, 한국산업표준(KS)규격 등]의 이름이나 번호를 작성하며, 해당 사항이 없는 경우에는 빈칸으로 두어도 됩니다.
8. ⑩의 “관계 규정” 란은 장비 취급의 근거가 되는 법령 또는 규정(예시: 「진단용 방사선 발생장치의 안전관리에 관한 규칙」, 「특수의료장비의 설치 및 운영에 관한 규칙」 등)을 작성하며, 해당 사항이 없는 경우에는 빈칸으로 두어도 됩니다.

처리 절차

신청서 작성	→	접 수	→	연구장비성능평가 수행	→	결과서 발급
연구사업자		평가기관		평가기관		평가기관

210㎜×297㎜[백상지(80g/㎡) 또는 중질지(80g/㎡)]

[별첨 2 (연구장비성능평가 세부 요청서)]

연구장비성능평가 세부 요청서

성능평가요청서	희망 일자	20 . . . ~ 20 . . . (개월)			
	희망 시험 장소	☐ 제조사 내 ☐ 성능평가 기관 내 ☐ 기타 ( )			
	평가 항목	☐ 영상배율교정(배율/ 스케일바/ 측정자 정확도) ☐ 영상 분해능 측정			
	디지털 영상 출력 기준	*(예) 203.2 × 152.4 mm (800 × 600 pixel, 0.254 mm/pixel)*			
	세부 사양	*성능평가항목에 대한 세부 시험 조건 (예) 분해능 기준 : 15kV, WD 10 mm, ×100k …*			
	희망 환경 조건	온 도	± 5 ℃	습 도	± 5 %
		진동/소음	(dB,Hz)	기 타	
	기타 요구 사항				

본 성능평가는 신청 기업에서 제공하는 장비를 이용하여 진행하며, 상기 세부 요청서에 따라 성능평가를 수행함.

업 체 명	신 청 자	(인)

한국기초과학지원연구원

연구장비성능평가 결과서

연구장비성능평가 장비명	
신청 기업명	

0000년 00월 00일

한국기초과학지원연구원

이 문서는 「연구산업진흥법」 제8조 제1항 및 같은 법 시행령 제10조 제3항에 따른 연구장비성능평가 결과서로 평가기관의 사전승인 없이는 문서의 일부분만을 발췌 · 인용하여 사용하거나 배포할 수 없습니다.

< 목 차 >

1. 성능평가 장비의 개요 및 구성

2. 성능평가 신청 정보
2.1. 성능평가 신청 개요
2.2. 성능평가 세부 사양서
2.3. 성능평가 항목 제안서

3. 성능평가 항목 및 항목별 기준
3.1. 영상 배율 교정
3.1.1 배율 정확도
3.1.2 스케일바 정확도
3.1.3 측정자 정확도
3.2. 영상 분해능 평가
3.2.1 분해능 측정

4. 성능평가 수행 일정 및 세부 사항
4.1. 성능평가 일정
4.2. 성능평가 장소
4.3. 성능평가 환경
4.4. 성능평가 표준물질
4.5. 성능평가 담당자

5. 성능평가 결과
5.1. 대상 장비의 성능평가 결과
5.2. (해당 시) 비교 장비의 성능평가 결과
5.3. 최종 검토 의견서

6. 특이사항

※ 성능평가 신청 장비의 유형·특성에 따라 결과서의 목차는 일부 변동될 수 있습니다.

[별첨 4 (연구장비성능평가 결과서 양식)]

주사전자현미경 성능평가 결과서

한국기초과학지원연구원 KOREA BASIC SCIENCE INSTITUTE	결과서 번호 : KBSI-PER-SEM-00X-20XX

1. 의 뢰 자
   - ○ 기 관 명 : 000(주)
   - ○ 주 소 : XXXX

2. 평가품명
   - ○ 품 명 : 주사전자현미경
   - ○ 제작회사 및 장비 모델명 : XXXX

3. 평가기간 : 20XX. XX. XX. ~ 20XX. XX. XX.

4. 평가장소 : □제조사 내 □성능평가 기관 내

5. 평가환경 : 온도 (~) ℃, 습도 (~) % R.H.

6. 평가에 사용된 표준물질 :

시료명	시험항목	제조사	Lot No.	비고
	영상배율 교정			
	영상분해능 평가			

7. 시험결과 : 영상배율교정

시험항목	가속전압	작업거리	배율	평가값	정확도
배율정확도					
스케일바 정확도					
측정자 정확도					

8. 시험결과 : 영상분해능 평가

시험항목	가속전압	작업거리	배율	분해능 (nm)
분해능 측정				

확 인	작성자 성 명 : (서명)	승인자 직 위 : 성 명 : (서명)

20XX. XX. XX

한국기초과학지원연구원 (인)

※ 성능평가 결과서는 항목은 성능평가 내용에 따라 일부 변동될 수 있습니다.

Appendix A. 성능평가 결과 예시

본 Appendix는 위 성능평가방법에 따라 진행한 결과의 일부를 예시로 나타내었다.

1. 영상 배율 교정

1.1 배율 정확도 시험

배율 정확도 시험 방법은 장비 제조사의 디지털 영상 출력 기준에 따라 이미지를 로딩하여 피치 패턴의 거리를 측정하고, 측정된 피치 패턴의 거리와 디지털 영상 출력 기준 가로길이를 비교하여 배율의 정확도를 계산하였다.

$$D = W_x \times \frac{N_D}{N_{W,x}}$$

D : 픽셀 계산된 피치 길이(μm)
N_D : 디지털 영상 측정 피치 길이에 해당하는 픽셀 수
W_x : 장비 제조사 디지털 영상 출력 기준 가로길이(그림 3)
$N_{W,x}$: 디지털 영상 가로길이에 해당하는 픽셀 수

$$M = \frac{D}{d}$$

M : 배율
d : 표준물질의 실제 피치 길이(표준물질 인증서 참고)

배율의 퍼센트 정확도(A_M)는 다음 식과 같이 배율의 차이(ΔM)를 계산하여 결정한다.

$$\Delta M = |M - M_{ind}| = |\frac{D}{d} - M_{ind}|$$

$$A_M = (1 - \frac{\Delta M}{M_{ind}}) \times 100$$

피치 거리 10회 반복 측정의 평균 픽셀 수(N_D)를 측정하여 배율 정확도(A_M)를 계산한다. 가속전압 15.0 kV, 작업 거리 8.0 mm, ×5.00k 의 조건에서 배율정확도 시험 결과는 표 1과 같다.

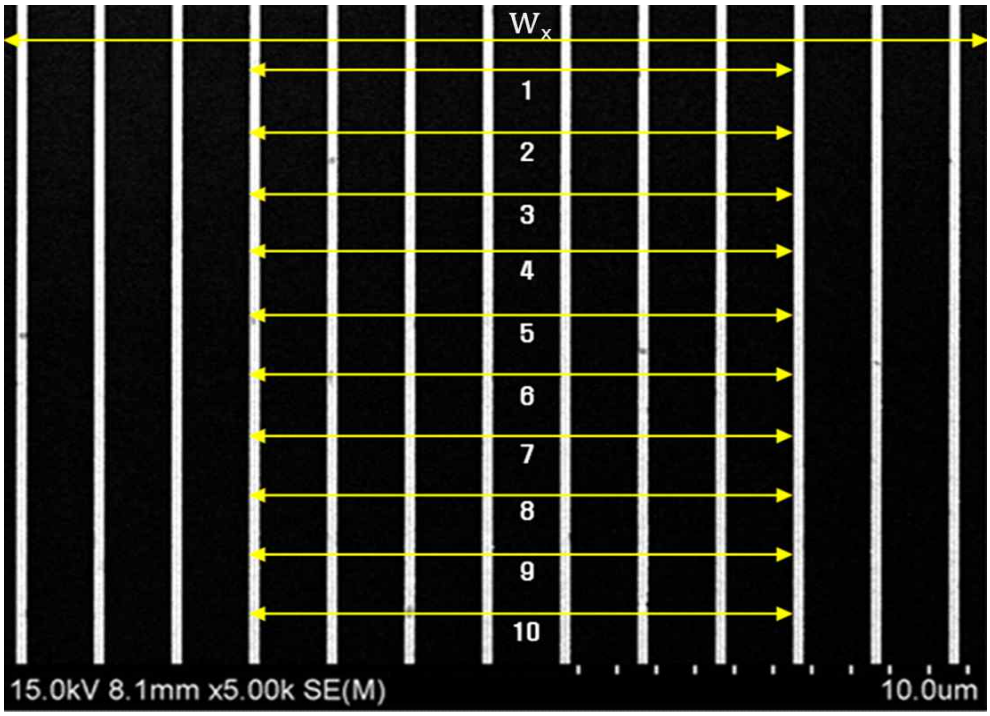


그림 1. (예) X축의 배율 정확도 시험

표 1. (예) 15.0 kV, 8.0 mm, ×5.00k 배율 정확도 시험 결과

W_x [mm]	$N_{W,x}$ [pixel]	D [㎛]	N_D [pixel]	M [×]	A_M [%]
127	1280	69550	701	4968.02	99.36

1.2 스케일 정확도 시험

스케일 정확도 시험은 장비 제조사의 디지털 영상 출력 기준에 따라 이미지를 로딩하여 측정된 스케일바의 길이와 실제 피치 길이를 비교하여 스케일바의 정확도를 계산하였다.

$$L = d \times \frac{N_L}{N_d}$$

L : 디지털 영상에서 측정한 스케일바 길이(그림 4)
N_L : 디지털 영상 측정 스케일바 길이에 해당하는 픽셀 수
d : 표준물질의 실제 피치 길이(표준물질 인증서 참고)
N_d : 표준물질의 실제 피치 길이에 해당하는 픽셀 수

스케일바의 퍼센트 정확도(A_S)는 다음 식과 같이 스케일바 길이 차이($\triangle L$)를 계산하여 결정한다.

$$\Delta L = |L - L_{ind}|$$

$$A_S = (1 - \frac{\Delta L}{L_{ind}}) \times 100$$

L_{ind} : 디지털 영상에서 스케일바의 지시 길이(그림 4)

표준물질의 실제 피치 거리 10회 반복 측정의 평균 픽셀 수(N_d)를 측정하여 스케일바 정확도(A_S)를 계산한다. 가속전압 15.0 kV, 작업 거리 8.0 mm, ×5.00k 의 조건에서 스케일바 정확도 시험 결과는 표 2와 같다.

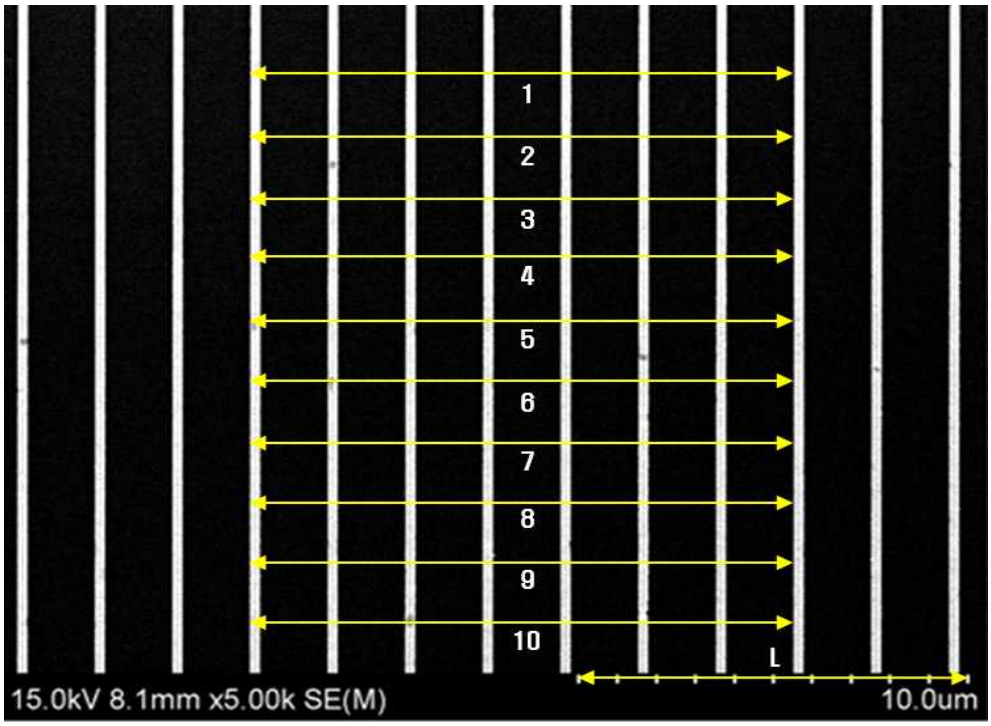


그림 2. (예) X축의 스케일바 정확도 시험

표 2. (예) 15.0 kV, 8.0 mm, ×5.00k 스케일바 정확도 시험 결과

d [㎛]	N_d [pixel]	L [㎛]	N_L [pixel]	A_S [%]
14	701	10.01	501	99.94

1.3 측정자 정확도 시험

측정자 정확도 시험은 장비 제조사의 디지털 영상 출력 기준에 따라 이미지를 로딩하여 장비의 측정자 프로그램에서 측정한 피치 길이와 실제 피치 길이를 비교하여 측정자 정확도를 계산하였다.

$$\Delta P = |P - d|$$

측정자의 퍼센트 정확도(A_P)는 다음 식과 같이 계산한다.

$$A_P = (1 - \frac{\Delta P}{d}) \times 100$$

P : 장비의 측정자 프로그램으로 측정한 피치 길이
d : 표준물질의 실제 피치 길이(표준물질 인증서 참고)

표준물질의 실제 피치 거리 10회 반복 측정의 평균 픽셀 수(N_d)를 측정하여 스케일바 정확도(A_S)를 계산한다. 가속전압 15.0 kV, 작업 거리 8.0 mm, ×5.00k 의 조건에서 측정자 정확도 시험 결과는 표 3과 같다.

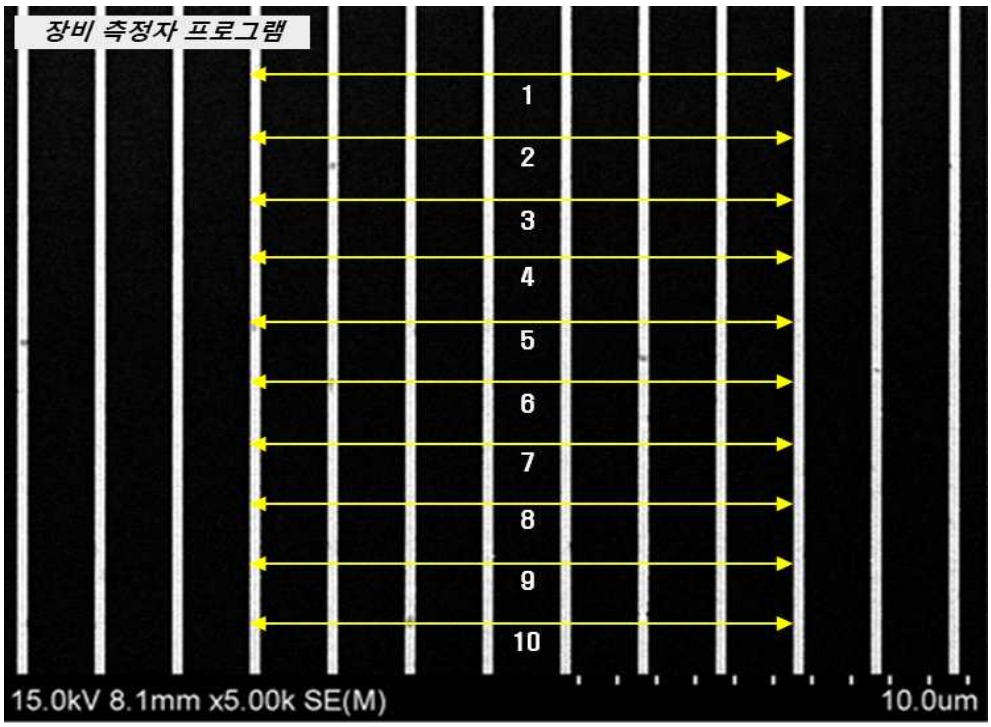


그림 3. (예) X축의 측정자 정확도 시험

표 3. (예) 15.0 kV, 8.0 mm, ×5.00k 측정자 정확도 시험 결과

P [μm]	A_p [%]
14.0	100

2. 영상 분해능 평가

2.1 분해능 시험

분해능 시험은 장비 제조사의 이미지 출력 기준에 따라 이미지를 로딩하여 최소 입자 간격을 측정한다.

분해능 측정 조건(가속전압, 작업 거리, 배율)은 장비 제조사에서 제시한 조건을 기준으로 한다. 해당 제조사/장비에서 제시한 분해능(1.0 nm)은 15.0 kV/ WD 4.0 mm/ ×220k에서 시험하였다.

시험 절차는 다음 그림 4 ~ 8과 같으며 시험 결과는 표 4에 나타내었다.

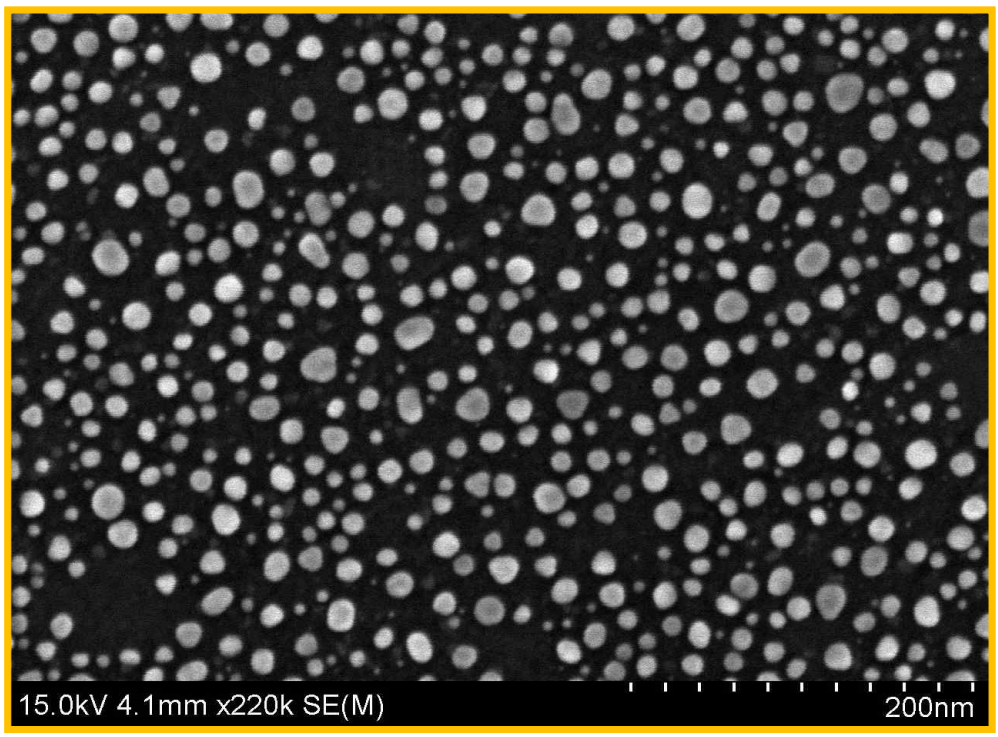


그림 4. 분해능 측정용 표준물질 영상

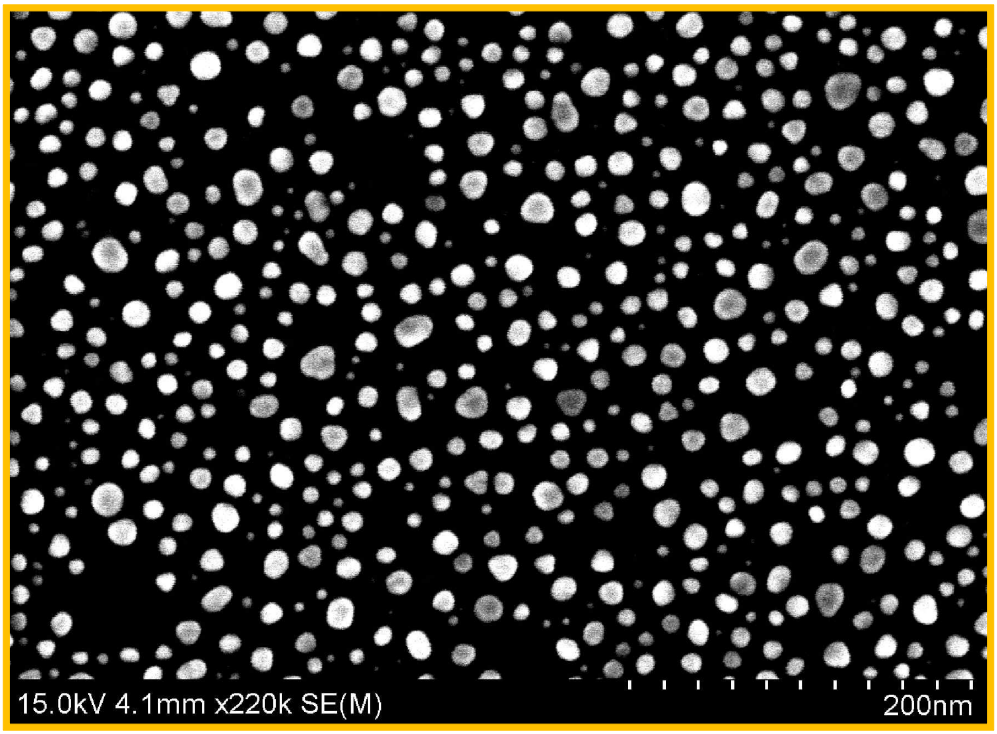


그림 5. CNR ≥ 10 영상

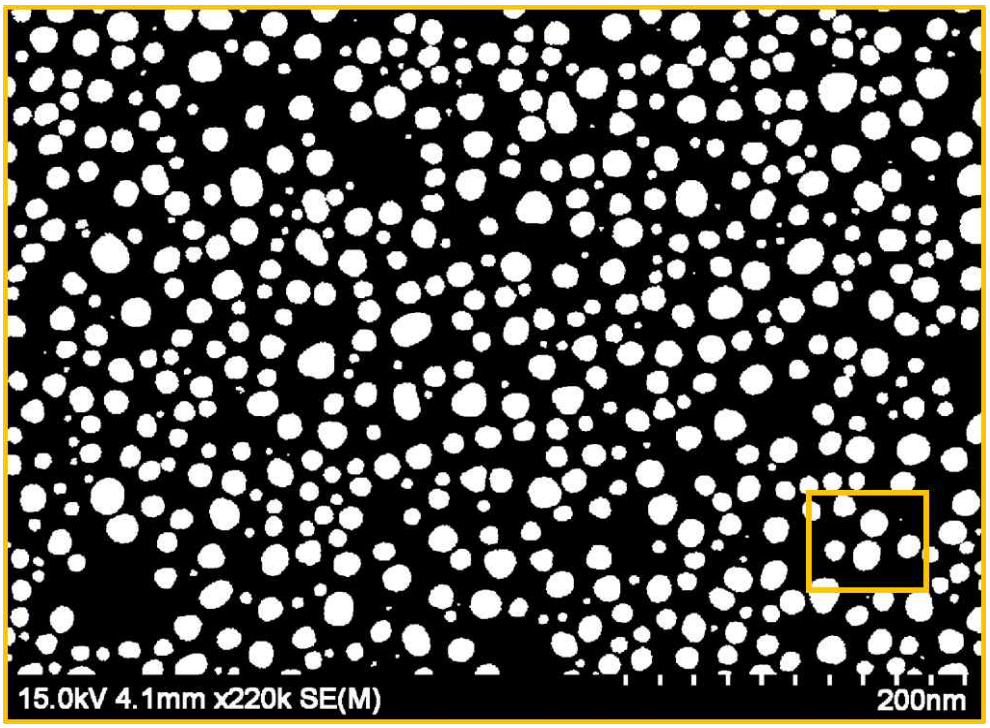


그림 6. Binary 이미지

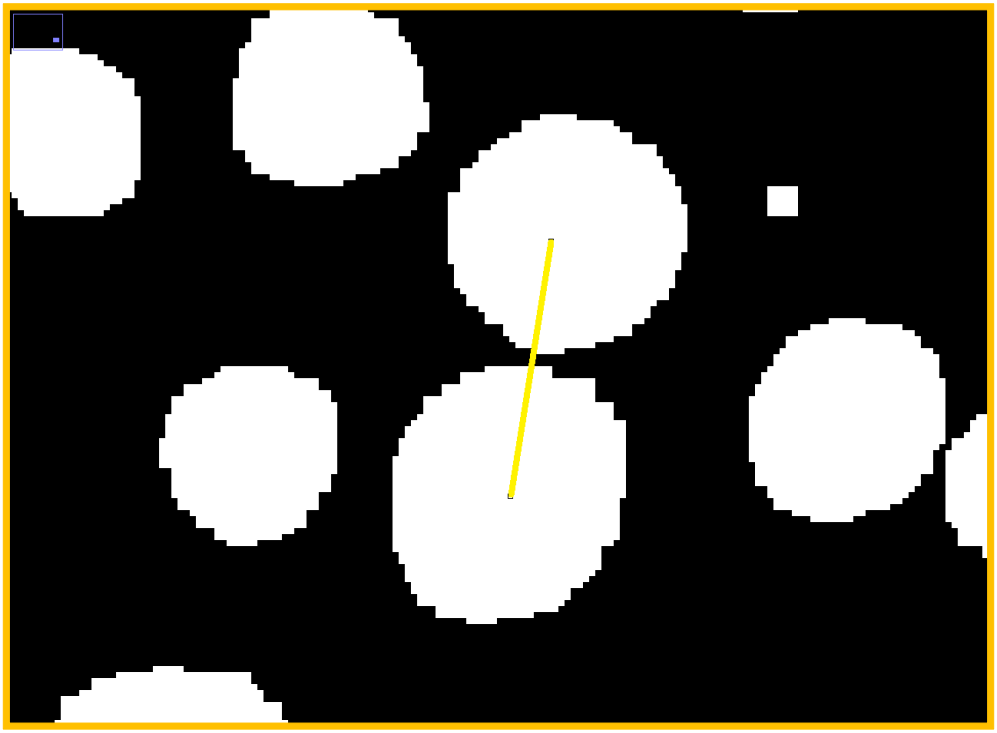


그림 7. 인접한 두 입자 간 Gray value 환산 영역

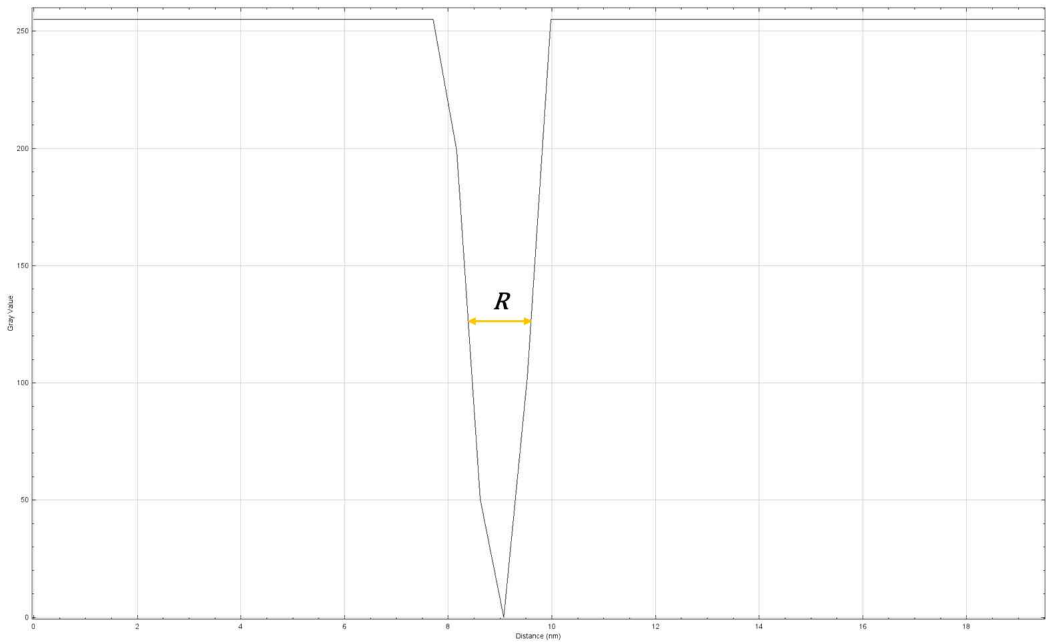


그림 8. Gray value/2 위치에서의 거리

표 4. 분해능 시험 결과

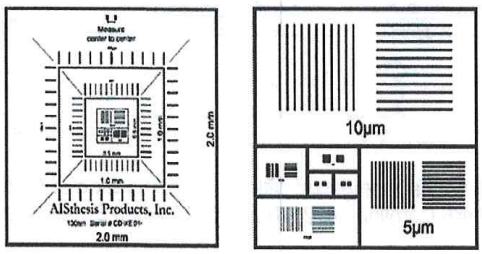
조건 / 가속전압 [kV]	배율	작업 거리 [mm]	분해능 [nm]
15	220,000	4.0	1.17

Appendix B. 시험용 표준물질 Pelcotec 690-01 인증서

AISthesis Products, Inc.

Advanced Imaging Products for Nanotechnology, Engineering and Life Sciences

Certificate of Calibration for
Pelcotec™ XY-Critical Dimension Standard



Product Number: **Pelcotec™** 690-01 CDMS-XY-0.1C

Product Description: 2.5x2.5mm **Pelcotec™** 2mm-100nm XY-Critical Dimension Magnification Standard

Product Serial Number: CD-YC01-3732

Manufactured for and Distributed by:

TED PELLA, INC.
Microscopy Products for Science and Industry

The accuracy of these products was determined by reference comparison to working standards traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST).

Line	Direction	Certified average pitch	Number of lines averaged	Certified distance between first and last line (1σ)	Total expanded uncertainty (3σ)
2.0mm	X	2.00 mm	2	2.00 mm ± 0.03%	± 0.09%
1.0mm	X	1.00 mm	2	1.00 mm ± 0.03%	± 0.09%
0.5mm	X	0.500 mm	2	0.500 mm ± 0.03%	± 0.09%
0.10mm	X	99.97 µm	11	1.00 mm ± 0.03%	± 0.09%
50µm	X	49.98 µm	11	0.500 mm ± 0.03%	± 0.09%
10µm	X	10.00 µm	11	99.97 µm ± 0.03%	± 0.09%
5µm	X	5.00 µm	12	54.99 µm ± 0.03%	± 0.09%
2µm	X	2.00 µm	16	30.00 µm ± 0.03%	± 0.09%
1µm	X	1.00 µm	17	16.02 µm ± 0.03%	± 0.09%
500nm	X	500.7 nm	20	9.51 µm ± 0.03%	± 0.09%
250nm	X	250.7 nm	21	5.01 µm ± 0.03%	± 0.09%
100nm	X	100.3 nm	52	5.11 µm ± 0.03%	± 0.09%
2.0mm	Y	2.00 mm	2	2.00 mm ± 0.03%	± 0.09%
1.0mm	Y	1.00 mm	2	1.00 mm ± 0.03%	± 0.09%
0.5mm	Y	0.500 mm	2	0.500 mm ± 0.03%	± 0.09%
0.10mm	Y	99.92 µm	11	1.00 mm ± 0.03%	± 0.09%
50µm	Y	49.95 µm	11	0.500 mm ± 0.03%	± 0.09%
10µm	Y	9.99 µm	11	99.92 µm ± 0.03%	± 0.09%
5µm	Y	5.02 µm	12	55.19 µm ± 0.03%	± 0.09%
2µm	Y	2.00 µm	16	30.00 µm ± 0.03%	± 0.09%
1µm	Y	1.00 µm	17	16.03 µm ± 0.03%	± 0.09%
500nm	Y	501.0 nm	20	9.52 µm ± 0.03%	± 0.09%
250nm	Y	250.8 nm	21	5.02 µm ± 0.03%	± 0.09%
100nm	Y	100.3 nm	52	5.11 µm ± 0.03%	± 0.09%

The certified average pitch is derived from the stated certified length that was determined using 10 measurements (taken center-to-center) over the stated number of lines (i.e., length divided by the number of lines minus one). The total expanded uncertainty includes both Type A and Type B uncertainties corrected for sample size using an appropriate Student t-factor.

Equipment used:

Instrument	Model number	Serial #	NIST Certified CD	Resolution	Repeatability
FE-SEM	FEI Verios	9922551	CD-PG01-0211	0.9nm	0.03%

D. S Finch — Certified by

Signature

4/2/2022 — Date

This certificate shall not be reproduced without the permission of AISthesis Products, Inc.
P.O. Box 1950, Clyde, North Carolina 28721 Tel: 828.627.6555 E-mail: CD@aisthesisproducts.com