

# 다중 프로브 검사 계측 장비를 위한 단차 표준 인증 물질의 설계 및 제작

## Design and Fabrication of a Step Height Certified Reference Material for Multi-probe Inspection Instruments

맹세롬<sup>1</sup>, 진종한<sup>1,✉</sup>, Jariya Buajareern<sup>2</sup>, 김재완<sup>1</sup>, 김종안<sup>1</sup>, 강주식<sup>1</sup>  
Saerom Maeng<sup>1</sup>, Jonghan Jin<sup>1,✉</sup>, Jariya Buajareern<sup>2</sup>, Jae Wan Kim<sup>1</sup>, Jong-Ahn Kim<sup>1</sup> and Chu-Shik Kang<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국표준과학연구원 기술표준본부 길이센터 (Center for Length, Division of Physical Metrology, KRISS)

<sup>2</sup> National Institute of Metrology, Thailand

✉ Corresponding author: jonghan@kriss.re.kr, Tel: 042-868-5867

Manuscript received: 2010.11.4 / Accepted: 2011.1.12

*Certified reference materials (CRMs) have been used to calibrate surface profilers for reliable measurements. In this paper, we present a newly designed step height CRM which has a step height pattern with two different widths and various special patterns for checking radial magnification, distortion of optical viewing systems, etc. Especially, it could be useful for multi-probe inspection instruments in the manufacturing lines. The fabrication was done by conventional optical lithography and dry etching process with optimized conditions. To verify the step height values, a white-light scanning interferometer was used with objective lenses having magnification of 10× and 100×. CRMs with nominal step heights of 0.5 μm, 1 μm, 3 μm, 5 μm, 7 μm, and 10 μm were fabricated and the uniformity of these CRMs was evaluated to be less than 3 nm (1σ).*

Key Words: Step Height (단차), Certified Reference Material (표준 인증 시편)

### 1. 서론

신뢰성을 갖는 측정은 측정하고자 하는 물리량의 표준으로부터 소급체계에 따라 엄격히 수행해야 하며, 길이 측정의 경우에는 ‘빛이 진공에서 1/299 792 458 초 동안 진행한 경로’로 정의되는 1 미터를 안정화된 헬륨-네온 레이저 및 간섭계를 통해 구현할 수 있다.<sup>1,2</sup>

하지만 이는 모든 길이 측정 관련 장비들이 측정의 신뢰성을 확보하기 위해서 안정화된 헬륨-네온 레이저와 간섭계를 사용해야 한다는 뜻은 아니다. 대부분의 길이 측정 관련 장비들은 표준 인증

물질(certified reference material, CRM)을 통해서도 충분히 길이 표준에 대한 소급성을 확보할 수 있다. 표준 인증 물질은 국제 표준에 근거하여 각 나라의 대표 표준측정기관(national metrology institute, NMI)에서 확립된 소급 체계로부터 정밀하게 교정되어 산업계, 학계 등으로 측정의 신뢰성을 확보하기 위해 보급 된다. 이는 실제 현장에서 사용되기 편하게 제작되어야 하며, 이를 통해 손쉽게 교정되어야 한다.

최근 반도체 및 평판 디스플레이 분야 등에서 특정 패턴이나 미세 구조물들에 대한 측정 수요가 증가하고 있다. 이는 주요 기능을 위한 미세 선들

과 패턴 뿐만 아니라 여러 층 사이의 간격을 조절을 위한 미세 기둥, 정밀 정렬용 패턴 및 검사 패턴 등에 이르기까지 다양하다. 그 기능에 따라 나노미터에서 마이크로 미터에 이르기까지 다양한 크기의 패턴들이 제작되어 사용되고 있다. 이런 다양한 크기의 패턴들을 정확히 측정하기 위해서 하나 혹은 다수의 렌즈를 구비한 프로브 뿐만 아니라 다른 측정 기법이 통합된 다중 프로브 검사 계측 장비들이 많이 개발되고 있다. 공초점 현미경(confocal microscope)과 원자간력 현미경(atomic force microscope)이 하나로 합쳐진 다중 프로브 검사 계측 장비가 대표적인 예이다. 이런 다중 프로브 검사 계측 장비들의 측정 신뢰성을 확보하기 위해서는 각 프로브들의 특성에 맞는 표준 시편을 통해 독립적으로 교정을 받아 사용해야 하지만 공정상에서 오랜 시간 동안 가동되는 장비들을 다수의 표준 시편을 통한 주기적인 교정은 아주 번거로울 뿐만 아니라 실질적으로 불가능할 수도 있기 때문에 측정 신뢰성을 유지하는 것은 어렵다.

삼차원 형상 측정에서 단차(step height)는 선폭(line-width)과 함께 가장 엄격히 관리되는 측정 요소 중의 하나이다.<sup>3,5</sup> 특히 수직 분해능이 뛰어난 다중 프로브 검사 계측 장비의 단차에 대한 측정 신뢰성을 확보하기 위한 가장 간단한 방법은 단차 표준 인증 물질을 사용하는 방법이다. 이를 위해서는 앞서 언급한 바와 같이 각 프로브의 측정 영역과 특성에 따른 여러 개의 표준 단차 인증 물질을 확보하여 주기적인 교정을 해야만 한다.

ISO 국제 표준에 따르면 단차를 정의하기 위해서는 최소한 측정하고자 하는 단차의 선폭(이하 단차폭)의 세 배에 해당하는 측정 영역이 요구된다.<sup>6</sup> 만약 고배율 렌즈를 사용하는 경우 혹은 원자간력 현미경과 같이 측정 영역이 아주 작게 제한된 경우에는 측정할 수 있는 영역이 급격히 줄어들어 아주 작은 폭을 갖는 표준 인증 물질이 필요하다. 그리고 저배율 렌즈의 경우 너무 작은 단차폭을 측정하면 수평 분해능이 커서 국제 표준에 따른 정확한 단차 분석이 이루어지지 못한다. 즉, 측정 영역을 고려하여 그에 맞는 단차폭을 갖는 표준 인증 물질을 선정하는 것이 무엇보다 중요하다.

본 논문에서는 회로기판, 반도체 및 평판 디스플레이와 같이 여러 가지 형태 및 크기를 갖는 패턴에 대한 측정 수요가 많은 우리나라 산업을 고

려하여, 다수의 렌즈 혹은 다른 측정 기법들로 통합 구성된 다중 프로브 검사 계측 장치의 정밀 단차 교정을 위한 새로운 형태의 표준 인증 시편을 제안 및 제작하였다. 제안되는 단차 표준 인증 물질은 앞서 언급한 바와 같이 우리나라의 산업 특성을 고려하여 최대 100 배의 배율을 갖는 렌즈를 사용하는 현미경, 비전 시스템, 공초점 현미경, 백색광 간섭계 등과 같은 광학식 비접촉 측정법 뿐만 아니라 원자간력 현미경, 접촉식 미세 형상 측정기와 같은 접촉식 측정법에도 하나의 단차 표준 인증 물질을 가지고 적용 가능하도록 두 개의 서로 다른 단차폭을 갖도록 설계되었다. 이와 함께 다중 프로브 검사 계측 장비의 전반적인 광학계의 평가를 위해 수평 배율, 전체 배율, 전체 광학시스템의 왜곡 등도 함께 점검할 수 있도록 하는 특수 패턴들도 함께 배치함으로써 단차 교정 뿐만 아니라 광학계 점검까지 하나의 표준 인증 물질로 가능하도록 제작하였다.

## 2. 단차 표준 인증 물질의 설계 및 제작

### 2.1 단차 표준 인증 물질의 설계

본 논문에서 제안하는 단차 표준 인증 물질은 일곱 가지의 특수 패턴으로 구성되어 있으며, 이는 (a) 두 개의 단차폭을 갖는 단차 패턴, (b) 일차원 피치 패턴, (c) 이차원 피치 패턴, (d) 스케일 패턴, (e) 횡배율(radial magnification) 검사 패턴, (f) 배율 검사 패턴, (g) 광학계 왜곡 검사 패턴이다. Figure 1 (a)는 두 개의 선폭으로 이루어진 단차패턴을 보여준다. 윗부분의 단차폭(W1)은 180  $\mu\text{m}$  이며, 이는 배율 10 배 이하의 현미경 혹은 측정 영역이 mm 수준의 접촉식 측정기를 위해 설계되었다. 그리고 아랫부분의 단차폭(W2)은 이는 배율이 최대 100 배까지 교정이 가능하도록 20  $\mu\text{m}$  로 설계하였다. 이는 측정 영역이 제한되는 원자간력 현미경이나 나노스케일의 표면 형상 측정기(surface profiler) 등에도 사용할 수 있도록 하였다.

Figure 1 (b)와 (c)는 피치가 20  $\mu\text{m}$  와 40  $\mu\text{m}$  의 피치를 갖는 일차원과 이차원의 패턴이다. 이는 측정 장비의 수평방향을 검사하는데 사용할 수 있다. 이 때 피치의 값은 다음과 같은 두 가지 조건을 만족하도록 선정되었다. 이는 (1) 입사 빛의 회절을 최소화하며, (2) 배율이 10 배 이하의 대물 렌즈를 사용했을 때에도 최소 열 개 이상의 피치 패턴들이 보이도록 하는 것이다.

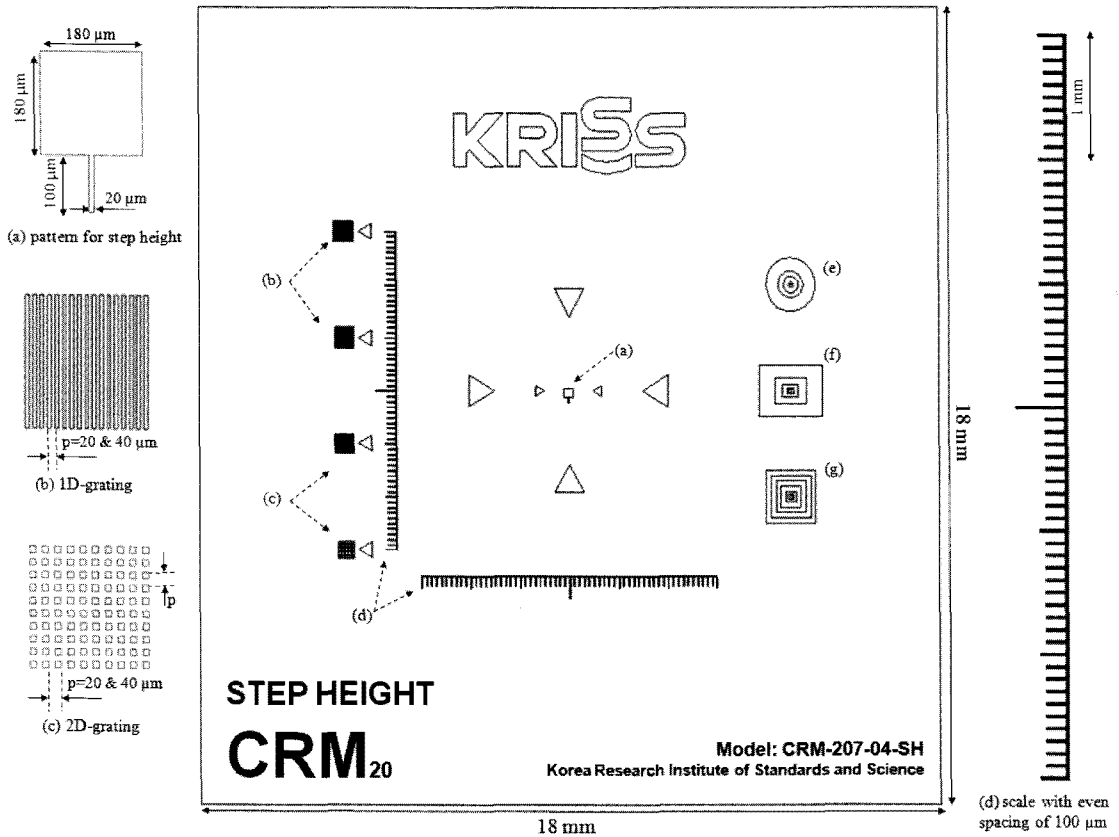


Fig. 1 Layout of the KRISS step height CRM. (a) pattern for step height, (b) 1D-grating, (c) 2D-grating, (d) scale, (e) pattern for checking radial magnifications, (f) pattern for testing magnification of objectives and (g) 2D rectangular pattern

앞서 언급한 바와 같이 서로 다른 역할을 하는 특정 패턴들의 위치를 육안으로도 쉽게 찾아내며, 공정장비에서도 역시 비전 시스템(vision system)을 통해 자동으로 쉽게 위치를 찾을 수 있도록 100 μm 간격의 선형 스케일(linear scale)을 수평 및 수직으로 Fig. 1(d)와 같이 배치하였다. 특히 단차 패턴은 본 연구에서 제안한 표준 인증 물질에서 가장 중요한 부분이므로 좀 더 쉽게 식별 가능하도록 두 가지 크기의 삼각형을 배치함으로써 실험실 레벨에서도 사용하기 편리하도록 고려하였다. Figure 1(e)와 (g)는 수평 배율과 광학계의 왜곡을 검사하기 위한 패턴이며, 이는 각각 지름이 30 μm, 100 μm, 200 μm, 300 μm, 500 μm, 1000 μm 인 동심원과 한 변의 길이가 100 μm, 200 μm, 600 μm, 800 μm, 1000 μm 인 정사각형으로 이루어져 있다. Figure 1(f) 에서 보여지는 패턴의 이미지를 얻음으로써 일

반 상용 CCD 카메라의 배율을 검사할 수 있도록 하였으며, 이 패턴은 직사각형 형태로 크기가 1280 μm × 960 μm, 640 μm × 480 μm, 320 μm × 240 μm, 128 μm × 96 μm, 64 μm × 48 μm 이다. 이 또한 배율이 최대 100 배까지 활용 가능하도록 제작되었다.

### 2.2 단차 표준 인증 물질의 제작

단차 표준 인증 물질을 제작하기 위해서 Fig. 2 와 같이 다음의 6 단계 과정인 (1) 음 감광 물질의 도포, (2) 광학 노광(optical lithography), (3) 현상(development), (4) 건식 식각(dry etching), (5) 먼지 및 도포한 감광 물질의 제거, (6) 금속박막 도포를 거친다. 이 때 수행되는 각 단계에서의 공정 조건은 Table 1 에 정리하였다.

Table 1 Fabrication conditions of various step heights

PR material deposition	Material : AZnLOF 2023 Photoresist (negative) Spinning : 500 rpm for 3 s & 4000 rpm for 20 s Baking : 95 °C for 120 s
Lithography	Operation mode : vacuum mode Gap between a mask and a wafer : 20 μm Exposure : 8.5 s Lamp power : 870 W
Development	Developing solution: AZ300HIF Developing time : 60 s
Dry etching	W2 = 10 μm Source power : 500 W @ 500 nm in wavelength Bias power : 20 W Etching time : 9 s for H = 0.5 μm 17 s for H = 1 μm 55 s for H = 3 μm 85 s for H = 5 μm 125 s for H = 7 μm 170 s for H = 10 μm
Metal coating	Material : chromium (Cr)

공정 조건은 건식 식각 특성상 폭에 따라 단차가 다르게 구현되어 균일한 단차를 얻을 수 있도록 여러 번의 반복 테스트수행을 통해 정하였다. 뿐만 아니라 건식 식각에서 사용된 가스의 종류와 비율도 단차폭에 따른 침투량이 다름을 고려하여 가스의 직진성 및 방향성을 고려하여 SF<sub>6</sub> 와 O<sub>2</sub> 을 1:0.94 의 비율로 정하였다. 마지막에 크롬으로 전체 단차 표준 인증 물질의 표면을 도포하여 광학식 측정 방법에서 사용하기 유리하도록 높은 반사율을 갖도록 하였다.

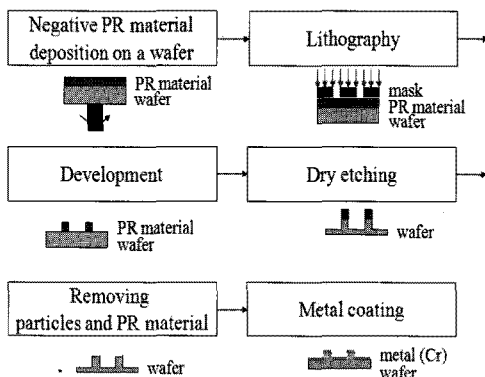


Fig. 2 Fabrication process of the step height CRM

### 3. 단차 표준 인증 시편의 측정 및 논의

단차인 2h 는 ISO 5436-1 규격에 의해 식 (1)과 같이 정의된다.

$$z = \alpha \cdot x + \beta + h \cdot \delta \quad (1)$$

여기서,  $\alpha, \beta$  는 Fig. 3(a)와 같이 단차폭의 세 배 길이에서 얻어진 데이터를 최소자승법(least square method)에 의해 선형 맞춤을 했을 때 구해지는 상수이다. 그리고 변수  $\delta$  는 Fig. 3의 영역 A와 B에서는 1의 값을 영역 C에서는 -1의 값을 갖는다. 최종적으로 얻고자 하는 단차, H는, h 값의 두 배로 정의된다. 또한 단차의 모서리 부분의 둥근 부분에서의 영향을 최소화하기 위해 단차와 접해있는 윗면과 아랫면에서 단차폭의 1/3 영역 만큼을 제외하고 최소자승법을 적용한다.

단차 패턴은 Fig. 4(a)와 (b)같이 두 개의 사각형 부분인 넓은 단차폭을 갖는 부분(P1)과 좁은 단차폭을 갖는 부분(P2)로 구성되어있으며, 각 부분에서의 단차폭은 W1 과 W2 이다. W1 은 180 μm 이며 W2 는 20 μm 이다. P1 에서는 단차 아랫면의 중앙 부분 60 μm × 120 μm 과 단차 윗면에서 일정하게 떨어져 있는 영역 120 μm × 120 μm 을 ISO 규격에 따른 단차 측정을 위해 선정하였다. 이 영역에서 1 μm 간격으로 120 라인의 단면 형상에서 얻어지

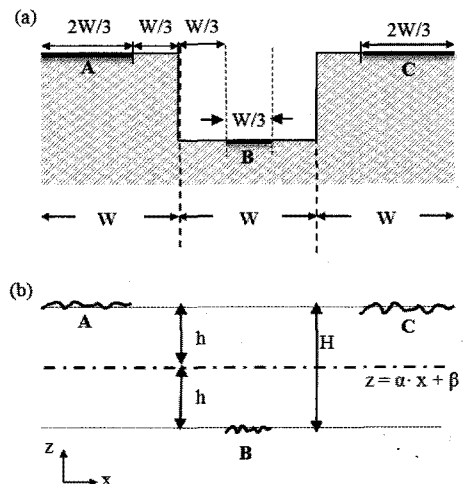


Fig. 3 Definition of a step height of a groove having width of W; (a) selected portions for determining a step height, (b) determination of a step height from the linear fitted line

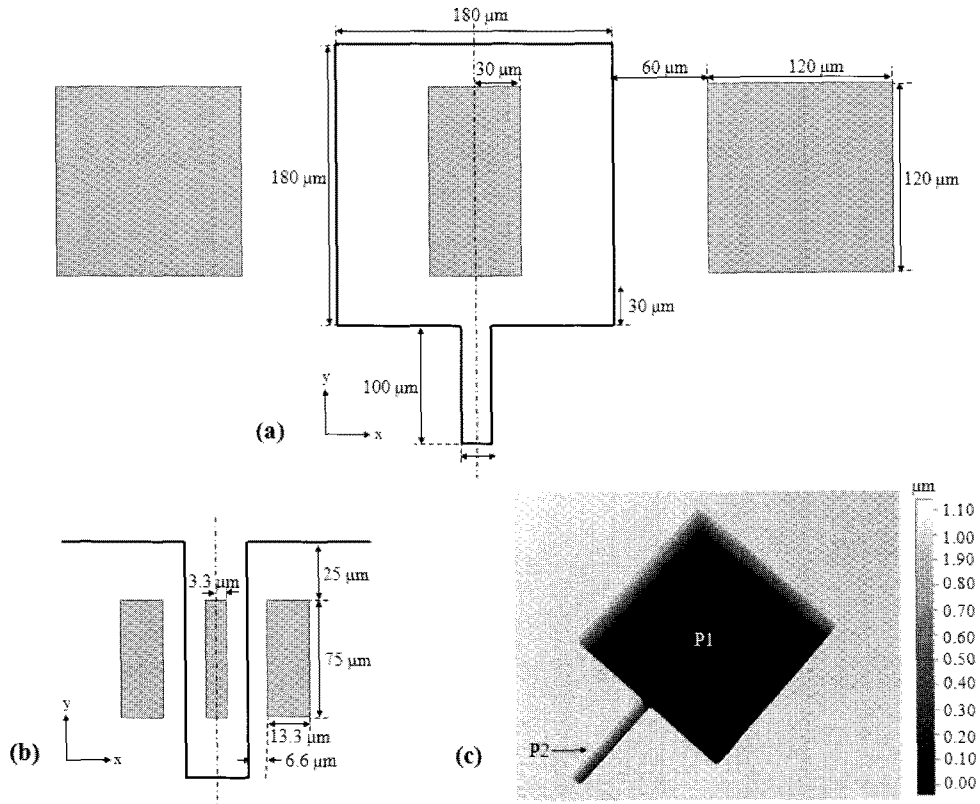


Fig. 4 Selected areas for determination of stop heights; (a) For H1, (b) for H2, and (c) three-dimensional profile measured with the WSI of a step height pattern having the nominal value of 1.0  $\mu\text{m}$

는 단차의 평균을 H1 이라고 정의하였다. 같은 방법으로 P2 에도 적용하여  $60 \mu\text{m} \times 75 \mu\text{m}$  영역에서 200 라인에서 얻어진 단차들의 평균을 H2 로 정의하였다.

이 때, H1 과 H2 는 길이 표준에 소급된 백색광 간섭계(WYCO, NT8000)로 측정되었으며, H1 은 10 배 렌즈로 H2 는 100 배 렌즈로 측정하였다. 이 때 백색광 간섭 대물렌즈의 배율에 따른 영향 또한 이미 교정되어 사용되었다. Table 2 는 앞서 언급한 방법으로 측정된 각 단차에 대한 H1 과 H2 값을 보여준다. 그리고 10 배 렌즈로 측정된 단차 패턴의 삼차원 형상은 Fig. 4(c)와 같다.

단차 표준 인증 물질의 제작된 표면 상태를 확인하기 위해 표면 거칠기를  $R_a$  값으로 평가하였다. 제작된 표준 인증 물질의 표면 거칠기는 모든 단차에서 3 nm 이하로 평가되었다.

Table 2 에서 보여지는 것과 같이 실제 측정 단차인 H1 과 H2 의 값은 단차 표준 인증 물질의 명목 단차와는 일정량의 차이가 생길 수 있으며, 이

는 공정 조건 및 구현이 완벽히 이상적이지 않음에서 기인한다. 단차 표준 인증 물질은 정밀한 교정 후에 사용되기 때문에 각 표준 인증 물질에 대한 단차 인증값과 측정 불확도만 표기된다면 그 역할이나 사용상에는 전혀 문제가 되지 않는다. Table 2 의 측정 결과를 보면 H1 과 H2 의 차이가  $0.5 \mu\text{m}$  에서  $10 \mu\text{m}$  의 모든 단차 범위에서 5 nm 이내로 구현되어 단차폭의 차이에 상관없이 단차가 일치되는 값을 보여준다. 이는 표준 인증 물질의 표면 거칠기와 비슷한 수준이다.

제작된 단차 표준 인증 물질을 측정 방법에 따른 영향을 평가하기 위해 단차  $1 \mu\text{m}$  의 단차 표준 인증 물질을 접촉식과 비접촉식 방법을 사용하여 측정하였다. 접촉식 측정기는 표면 형상 측정기(Taylor-Hobson, Form Talysurf Series 2)를 사용하였고, 비접촉식 방법으로는 백색광 주사 간섭계(WYCO, NT8000)를 사용하였다. 접촉식 방법은 그 원리상 동근 형태의 팁(tip) 자체에서 생길 수 있는 중첩 효과(convolution effect)를 고려하여 H1 만 측정하여

Table 2 Measurement values of step height CRMs

H <sub>nor</sub>	Step height (μm)			
	H1		H2	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.
0.5	0.539	0.002	0.538	0.003
1.0	1.127	0.001	1.128	0.002
3.0	2.969	0.002	2.971	0.003
5.0	5.593	0.002	5.596	0.004
7.0	7.010	0.003	7.015	0.003
10.0	9.660	0.002	9.664	0.003

S.D. = Standard deviation, H<sub>nor</sub> = Nominal step height

비교하였다. 이렇게 비교 측정된 단차는 접촉식 방법이 1.128 μm 이며, 이는 백색광 주사 간섭계로 측정된 단차 1.127 μm 와 측정 불확도인 20 nm 내에서 일치하였다.

Figure 5 는 5 배, 10 배, 50 배, 100 배의 배율을 갖는 대물 렌즈를 이용하여 얻는 영상이다. 10 μm 픽셀 간격을 갖는 640 × 480 개의 광학소자를 가지고 있는 CCD 카메라를 사용하였으며, 각 배율에 따른 측정영역은 1280 μm × 960 μm, 640 μm × 480 μm, 320 μm × 240 μm, 128 μm × 96 μm, 64 μm × 48 μm 이다. 여기서 H1 은 단차 폭의 세 배에 해당하는 540 μm 의 영역이 확보되어야 ISO 규격에 의해 단차를 구할 수 있으며, 이를 위해서는 10 배 이하의 배율을 갖는 렌즈까지 사용 가능하다.

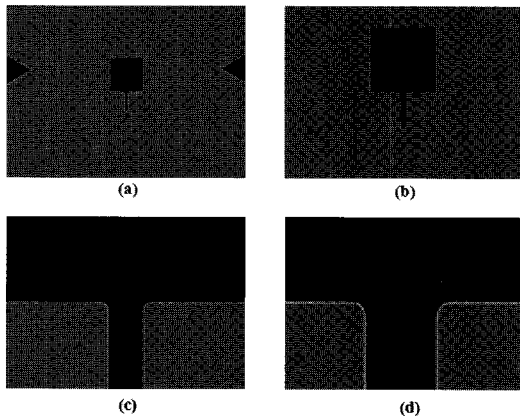


Fig. 5 Field of views (FOVs) for various magnifications; (a) Magnification of 5× (FOV: 1280 μm × 960 μm), (b) Magnification of 10× (FOV: 640 μm × 480 μm), (c) Magnification of 50× (FOV: 128 μm × 96 μm), (d) Magnification of 100× (FOV: 64 μm × 48 μm)

P2 는 모든 배율에서 사용할 수 있으나, 50 배 이상의 배율에서 사용하기를 추천한다. 그 이유는 50 배 이하의 배율에서 사용하게 되면 측정 영역이 급격히 줄어 최소자승법을 적용하기에 너무 적은 개수의 데이터를 사용하게 되어 측정 불확도를 증가시킬 수 있기 때문이다. 즉, 각 배율에 따라 P1 과 P2 에서 단차를 결정할 때 사용되는 데이터의 개수를 표기한 Table 3 에 따르면, P2 에서는 5 배와 10 배의 배율을 갖는 렌즈를 사용할 경우 윗면과 아랫면 통틀어 단지 9 개와 18 개의 데이터만이 단차를 결정하는데 사용되기 때문에, 정확한 단차 측정을 하기에 충분치 않다.

Table 3 Summary of number of data points used for calibrating the step heights, H1 and H2, with various magnifications

Measurement location	Number of sampling data				
	5×	10×	50×	100×	
P1	Top	60	120	-	-
	Bottom	30	60	300	600
P2	Top	6	12	600	120
	Bottom	3	6	30	60

#### 4. 결론

본 논문에서 제안된 다중 프로브 검사 계측 장비를 위한 표준 인증 물질은 단차 교정 뿐만 아니라 수평 배율(lateral magnification), 왜곡(distortion), 광학 시스템의 전체 배율 등을 다양한 패턴을 이용하여 쉽게 교정할 수 있도록 제작되었다.

단차 패턴은 두 개의 단차폭인 180 μm 와 20 μm 로 설계되었다. 넓은 단차폭(P1)은 10 배 이하의 배율을 갖는 저배율 광학계나 상대적으로 넓은 측정 영역을 갖는 비전 시스템, 접촉식 측정기에서 사용하기 용이하다. 좁은 단차폭(P2)은 50 배 이상의 고배율을 갖는 광학계나 좁은 측정 영역을 갖는 원자간력 현미경 등에 사용할 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제안된 단차 패턴으로 저배율에서 고배율 광학계까지 교정을 수행할 수 있다.

본 연구에서는 0.5 μm, 1 μm, 3 μm, 5 μm, 7 μm, 10 μm 의 여섯 종의 단차 표준 인증 물질이 제작되었다. 제작된 모든 단차에 대해서는 넓은 단차폭에 얻어진 단차(H1)와 좁은 단차폭에서 얻어진 단차(H2)의 차이가 5 nm 이내로 측정되었다. 표면 거칠기 또한 3 nm (R<sub>a</sub>)로 광학식 측정기를 통해 측

정하기에도 충분히 좋은 면을 갖도록 제작되었다.

본 연구를 통해 제작되고 표준 소급 체계를 통해 검증된 단차 표준 인증 물질은 국내 학계 및 산업계에 보급되어 신뢰성 있는 측정 및 품질 관리에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

## 후 기

본 연구는 한국표준과학연구원 ‘기반측정표준 확립 및 교정측정능력 선진화 연구’ (GP2011-0013) 과제에 의해 지원받아 수행된 결과입니다.

## 참고문헌

1. Quinn, T. J., "Practical realization of the definition of the metre, including recommended radiations of other optical frequency standards (2001)," *Metrologia*, Vol. 40, No. 2, pp. 103-133, 2003.
2. Felder, R., "Practical realization of the definition of the metre, including recommended radiations of other optical frequency standards (2003)," *Metrologia*, Vol. 42, No. 4, pp. 323-325, 2005.
3. Jin, J., Misumi, I., Gonda, S. and Kurosawa, T., "Pitch measurement of 150 nm 1D-grating Standards Using an Nano-metrological Atomic force Microscope," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 5, No. 3, pp. 19-25, 2004.
4. Kim, J.-A., Kim, J. W., Kang, C.-S. and Eom, T. B., "Measurement of Two-dimensional Gratings Using a Metrological Atomic Force Microscope and Uncertainty Evaluation," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 24, No. 9, pp. 68-75, 2007.
5. Kim, J.-A., Kim, J. W., Kang, C.-S. and Eom, T. B., "Metrological Atomic Force Microscope Using a Large Range Scanning Dual Stage," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 10, No. 5, pp. 11-17, 2009.
6. ISO-5436-1(Type A) guideline, International Organization for Standardization, [www.iso.org](http://www.iso.org)