

# 광학 현미경을 이용한 선표준물 측정 시스템 개발

## Development of Line Standards Measurement System Using an Optical Microscope

김종안<sup>1,✉</sup>, 김재완<sup>1</sup>, 강주식<sup>1</sup>, 엄태봉<sup>1</sup>  
Jong-Ahn Kim<sup>1,✉</sup>, Jae Wan Kim<sup>1</sup>, Chu-Shik Kang<sup>1</sup> and Tae Bong Eom<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국표준과학연구원 길이시간센터 (Center for Length and Time, Korea Research Institute of Standards and Science)  
✉ Corresponding author: jakim@kriss.re.kr, Tel: 042-868-5683

Manuscript received: 2008.4.29 / Revised: 2009.3.9 / Accepted: 2009.5.2

*We developed a line standards measurement system using an optical microscope and measured two kinds of line standards. It consists of three main parts: an optical microscope module including a CCD camera, a stage system with a linear encoder, and a measurement program for a microscopic image processing. The magnification of microscope part was calibrated using one-dimensional gratings and the angular motion of stage was measured to estimate the Abbe error. The threshold level in linewidth measurement was determined by comparing with certified values of a linewidth reference specimen, and its validity was proved through the measurement of another linewidth specimen. The expanded uncertainty (k=2) was about 100 nm in the measurements of 1 μm~10 μm linewidth. In the comparison results of line spacing measurement, two kinds of values were coincide within the expanded uncertainty, which were obtained by the one-dimensional measuring machine in KRISS and the line standards measurement system. The expanded uncertainty (k=2) in the line spacing measurement was estimated as  $\sqrt{(0.098 \mu\text{m})^2 + (1.8 \times 10^{-4} \times L)^2}$ . Therefore, it will be applied effectively to the calibration of line standards, such as linewidth and line spacing, with the expanded uncertainty of several hundreds nanometer.*

Key Words: Line Standards (선표준물), Optical Microscope (광학 현미경), Linewidth (선폭), Line Spacing (선간거리), Uncertainty (불확도)

### 1. 서론

미세한 물체의 관찰을 위해 광학 현미경(optical microscope), 주사 전자 현미경(scanning electron microscope, SEM), 주사 탐침 현미경(scanning probe microscope, SPM) 등과 같은 여러 가지 정밀 현미경이 개발되었고 근래에는 단순한 관찰 도구의 역할에서 벗어나 측정기(metrological instrument)로써 널리 이용되고 있다.<sup>1-3</sup> 반도체, FPD(flat panel display)와 같은 첨단 산업의 발전에 따라 정밀 현미경의 중요성은 더욱 증가되고 있고 측정값의 정

확도와 신뢰도 향상이 요구되고 있다.

정밀 현미경의 성능 평가와 교정을 위해 여러 가지 선표준물(line standards)이 이용되는 데 격자(grating), 선폭(linewidth), 스케일(scale) 등이 이에 해당된다. 이와 같은 선표준물을 이용하면 정밀 현미경의 배율, 비선형성, 직교도 등을 평가하고 교정할 수 있기 때문에 정밀 현미경의 정확도 향상을 위해서는 선표준물을 정확히 교정할 수 있는 능력을 확보하는 것이 매우 중요하다.<sup>1-3</sup>

선표준물의 교정을 위해서는 정밀 현미경을 이용하여 구성된 정밀 측정 시스템이 주로 적용된다.

이러한 정밀 측정 시스템에서는 시편의 이송을 위한 정밀 스테이지와 이송 변위 측정을 위한 레이저 간섭계와 같은 정밀 변위 센서가 이용된다.<sup>1,3</sup> 격자 피치 측정을 위해서는 광 회절계와 같은 광학 원리를 이용한 측정 방법이 적용되기도 한다.<sup>4</sup>

광학 현미경은 공간 분해능이 사용되는 빛의 파장 수준으로 제한되는 단점을 가지고 있다. 그러나 SEM 이나 SPM 과 같은 다른 정밀 현미경에서 요구되는 진공 환경, 측정물의 전기 전도성, 기계적인 스캐닝 등과 같은 여러 가지 제약 조건이 없기 때문에, 매우 높은 공간 분해능이 요구되지 않는 FPD 산업 분야나 미세 PCB 기판의 선폭과 선간 거리 측정에 널리 적용되고 있다.

본 논문에서는 선표준물 교정을 위해 광학 현미경을 이용한 선표준물 측정 시스템을 개발하고 측정 실험을 수행하였다. 측정 시스템을 구성하는 현미경 광학계, 스테이지 부, 측정 프로그램에 대해 각각 서술하였다. 선폭과 선간 거리 측정 실험을 수행하고 측정 불확도를 해석하여 측정 성능을 평가하였다.

## 2. 선표준물 측정 시스템

선표준물 측정 시스템은 현미경 광학계, 측정 시편 이송을 위한 스테이지, 그리고 이송 변위 측정을 위한 변위 센서로 구성된다(Fig. 1).

### 2.1 현미경 광학계

현미경 광학계의 기본적인 구성은 Leitz 社의 METALOPLAN 을 이용하였다. 측정물의 크기에 따라 터릿(turret)에 장착된 대물렌즈(5 배, 10 배, 20 배, 50 배, 100 배)를 선택할 수 있고 최대 100 배의 배율을 갖는 대물렌즈를 이용하여 1  $\mu$ m 수준의 크기를 갖는 측정물의 치수를 얻을 수 있다. 또한 측정물의 특성에 따라 광원의 방향을 선택하여 반사 또는 투과 방식의 측정이 가능하다. 현미경 광학계를 통하여 얻어진 측정물의 이미지는 결상면에 위치한 CCD 카메라(Flea<sup>®</sup>, Point Grey Research Inc.)에 의해 측정된다. CCD 카메라를 이용하여 1024x768 해상도를 갖는 12 bit 흑백 이미지를 30 fps 속도로 획득한 뒤, IEEE-1394 방식의 데이터 전송을 통하여 컴퓨터로 전달한다. 컴퓨터에서는 전송된 이미지를 해석하여 선표준물 측정에 필요한 에지(edge), 피크(peak), 중심 위치 등을 계산할 수 있다.

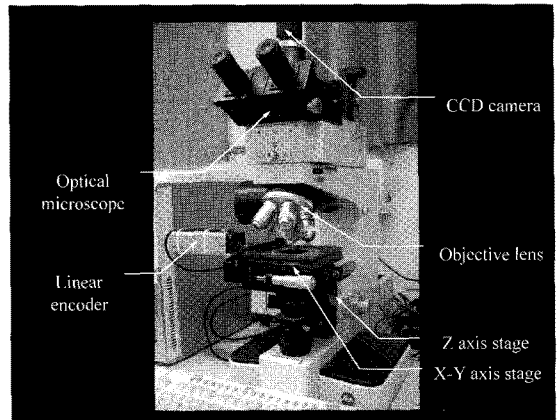


Fig. 1 Photograph of line standards measurement system using an optical microscope

### 2.2 스테이지 부

선표준물 측정 시스템의 스테이지 부는 시편의 수직 방향(Z 축) 위치를 조절하기 위한 Z 축 스테이지와 시편의 평면 방향(X-Y 축) 측정 위치를 조절하기 위한 X-Y 축 스테이지로 구성된다. Z 축 스테이지는 광학 현미경에 장착된 것을 이용한다. Z 축 스테이지 위에 X-Y 축 스테이지를 포함한 전체 스테이지 부가 고정되어 있어, Z 축 스테이지를 조절하여 측정면이 광학 현미경의 초점 위치와 일치되도록 할 수 있다.

X-Y 축 스테이지는 시편의 평면 방향 측정 위치 조절, 시편의 이송, 이송 변위 측정 외에 시편의 회전과 기울어짐 정렬, 미세 초점 위치 조절과 같은 여러 가지 역할을 수행한다(Fig. 2). 시편의 측정 위치 조절과 시편 이송은 구동 범위가 25 mm x 25 mm 인 2 축 조동 스테이지(B27-100C, Suruga Seiki Inc.)를 이용하여 이루어진다. 조동 스테이지의 X 축 방향 이송부에 장착된 미동 스테이지는 PZT 구동기와 탄성 힌지 가이드를 이용하여 제작되었으며 X 축 방향으로 100  $\mu$ m 이상의 이송 범위를 얻을 수 있다. 미동 스테이지는 PM(photo multiplication) 튜브와 같은 고성능 광 검출기와 슬릿 slit 을 이용한 스캐닝 방식의 측정에 적용될 것이다.

미동 스테이지의 이송부에는 시편이 놓이는 시편 플레이트가 고정되는데, 미동 스테이지 이송부에 수직 방향으로 장착된 3 개의 PZT 와 시편 플레이트에 장착된 3 개의 미세 조정 나사가 4 개의 인장 스프링으로 서로 밀착된다. 3 개의 PZT 를 이용하여 시편 플레이트의 Z 축 방향 변위를 발생시

켜 미세한 초점 조절이 가능하고, 3 개의 미세 조정 나사로는 시편의 높이와 기울어짐 각을 조절할 수 있다. 또한 미동 스테이지 이송부의 옆면에 부착된 마이크로미터로 시편 플레이트의 회전각을 조절하여 선표준물 측정 시의 코사인 오차를 최소화할 수 있다.

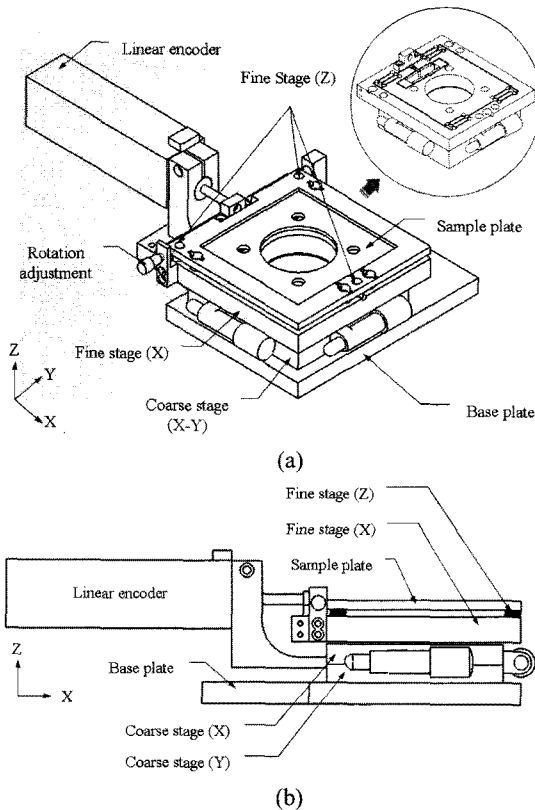


Fig. 2 Schematic of X-Y stage part of the line standards measurement system, which is fixed on the Z stage; (a) isometric view (the inlet shows the fine stage under the sample plate); (b) side view

조동 스테이지 Y 축 이송부에 고정된 선형 엔코더 (CT2502, Heidenhain)의 끝 단은 시편 플레이트가 고정된 미동 스테이지의 이송부와 연결되어 있어 시편 플레이트에 놓인 시편의 이송 변위를 측정할 수 있다. 선형 엔코더의 측정 범위는 25 mm 이고 변위 측정값  $L$  이 갖는 확장 불확도 ( $k = 2$ )는  $8.0 \text{ nm} + 7.1 \times 10^{-8} \times L$ 이다. 이를 이용하여 광학 현미경의 배율 교정을 수행할 수 있고 시편의 이송 변위를 정확하게 측정할 수 있다. 이송 변위

측정 시에는 시편의 높이를 선형 엔코더 측과 일치시켜 아베 오차를 최소화할 수 있도록 한다.

### 2.3 측정 프로그램

현미경 광학계의 CCD 카메라를 이용하여 획득된 이미지를 해석하여 선표준물 측정 값을 얻기 위한 프로그램은 LabVIEW®를 이용하여 작성되었고 실행화면은 Fig. 3 과 같다. 측정 프로그램에서는 CCD 카메라에서 획득된 이미지(하단 좌측) 중 측정 영역을 선택하고, 선택된 2 차원 이미지(하단 중간)를 길이 측정 방향에 수직한 방향으로 평균하여 1 차원 평균 강도 분포(하단 우측)를 얻는다. 또한 현미경의 배율, 측정 모드, 측정 방향 등과 같은 공통적인 측정 파라미터(상단 좌측)를 선택할 수 있다. 측정 프로그램을 이용하여 선폭, 선간 거리, 원간 거리, 직경을 측정할 수 있는데, 각 측정 항목 탭(상단 우측)에서 각 측정 항목에 해당되는 측정 파라미터를 선택할 수 있고 측정 결과가 표시된다.

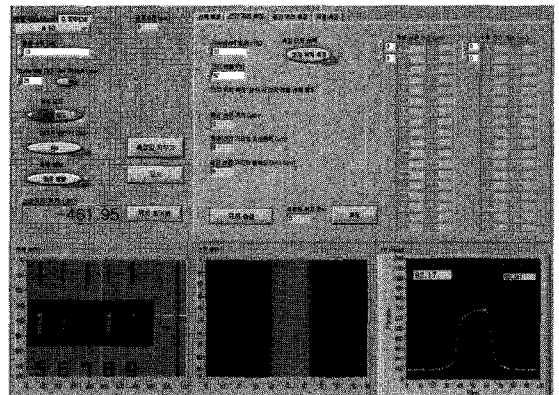


Fig. 3 Front panel of the program for the line standards measurement system

### 3. 측정 실험

#### 3.1 배율 교정과 스테이지 회전각 측정

현미경의 배율 교정은 스테이지 시스템에 부착된 선형 엔코더를 이용하거나 교정된 격자 피치 시편을 사용하여 수행될 수 있다. 본 연구에서는 2 종류의 1 차원 격자 피치 시편을 이용하여 현미경 광학계의 배율 교정이 이루어 졌는데, 배율에 따라  $3 \mu\text{m}$  공칭 피치 값을 갖는 격자 피치 시편 (TGG01, MikroMach)과  $10 \mu\text{m}$  공칭 피치 값을 갖는

격자 피치 시편(TGZ11, MikroMach)이 각각 이용되었다. 길이 측정용 원자간력 현미경<sup>5</sup>을 이용하여 교정된 각 1 차원 격자 피치 시편의 평균 피치 값과 확장 불확도( $k = 2$ )는 각각  $(2999.9 \pm 3.9)$  nm,  $(9999.4 \pm 4.8)$  nm 이다.

광학 현미경을 이용하여 격자 시편 중앙부에  $3 \times 3$  패턴으로 균일하게 분포된 9 개의 위치에서 평균 피치값에 해당되는 픽셀 값을 측정하고 이를 평균 피치 교정 값과 비교하여 각 대물 렌즈에 대한 배율( $\mu\text{m}/\text{pixel}$ )을 Table 1 과 같이 결정하였다.

Table 1 Calibrated magnification of each objective lens of microscope ( $\mu\text{m}/\text{pixel}$ )

$\times 5$	$\times 10$	$\times 20$	$\times 50$	$\times 100$
0.6796	0.3384	0.1707	0.06752	0.03386

스테이지의 기생 회전 운동은 시편 이송 변위 측정 시에 아베 오차를 발생시킨다. 따라서 이송 변위 측정 불확도의 평가를 위해서는 스테이지 이송 시에 발생하는 회전 운동의 측정이 필요하다. 자동시준기(autocollimator)를 이용하여 측정한 조동 스테이지 X 축 이송 시 발생하는 회전 운동의 측정 결과는 Fig. 4 와 같다. 5 mm 변위 이송 시 Y 축 방향 회전각은 8 arcsec, Z 축 방향 회전각은 12 arcsec 정도의 크기를 갖는다.

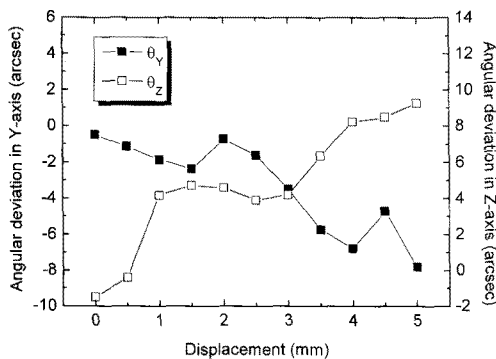


Fig. 4 Measurements of parasitic angular motion during the X-axis movement of the coarse stage

### 3.2 선폭 측정

선폭 측정을 위해서는 적절한 에지 위치 결정 방법이 선택되어야 한다. 본 연구에서는 선폭 측정 정확도를 향상시키기 위해 threshold level 을 이

용한 에지 위치 결정 방법을 적용한다. 에지 위치는 측정된 선폭 패턴의 강도 분포(intensity profile)와 threshold level 과의 교점( $x_1, x_2$ )으로 결정되고 양 교점 간의 거리가 선폭 측정값이 된다(Fig. 5).

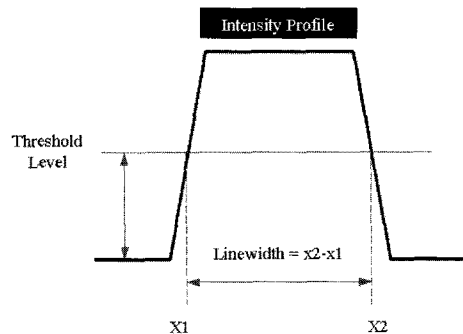


Fig. 5 Determination of linewidth using threshold level

에지 위치 결정의 정확도를 높이기 위해서는 현미경 광학계와 시편의 광학적 특성을 고려하여 threshold level 이 결정되어야 한다. 그러나 이론적 계산 방법을 적용하면 에지 위치 결정 정확도는 향상될 수 있지만, 수치적 계산 방법으로 인해 많은 계산량이 요구된다.<sup>1</sup>

따라서 본 연구에서는 이론적인 계산 방법을 직접 적용하지 않고, 이러한 방법으로 교정된 선폭 표준 시편(SRM475, NIST)과 측정 값을 비교하여 threshold level 을 결정하는 간접적인 방법을 적용하였다. 일반적으로 선폭 시편들은 석영(quartz) 재질의 기관 위에 100 nm 정도 두께의 크롬(chrome) 패턴으로 구성되기 때문에 threshold level 결정과 관련된 광학적 특성인 위상 지연(phase delay)은 유사한 값을 갖는다. 따라서 이러한 방법은 직접적인 이론적 계산 방법에 비해 에지 위치 결정 정확도는 다소 감소되지만 비교적 정확한 선폭 측정값을 얻을 수 있다. 선폭 표준 시편은  $1 \mu\text{m} \sim 10 \mu\text{m}$  범위의 선폭 값을 갖는 양각과 음각의 선폭 패턴을 가지고 있으며 선폭 인증 값이 갖는 확장 불확도 ( $k = 2$ )는  $0.05 \mu\text{m}$  수준이다.

선표준물 측정 시스템을 이용한 선폭 측정에서 고려되는 불확도 요인은 현미경 배율, 현미경 분해능, 에지 결정, 측정 반복도, 시편 균일도, 코사인 오차, 온도 편차 등이 있다. 현미경 배율 교정의 불확도는 격자 피치 시편 교정 값의 불확도, 주로 광학계의 왜곡에서 기인된 측정 위치에 따른 배율 불균일도, 측정 반복도, 현미경 분해능 등을

고려하여 계산된다.<sup>6</sup>

에지 위치 결정 불확도는 여러 가지 크기의 선폭을 측정 했을 때, 선폭 표준 시편의 측정값과 일치되는 threshold level 의 변동폭을 고려하여 결정 하였다. 따라서 threshold level 을 5 % 변화시켰을 때 발생하는 선폭 측정값의 변화를 만나비로 하는 직사각형 분포를 고려하여 산정되었다. 선폭 측정 반복도와 시편 균일도로 인한 불확도는 각각 동일한 위치에서 반복 측정한 선폭 값의 변화와 선폭 측정 위치를 변화시켰을 때 발생하는 선폭 값의 변화로부터 계산될 수 있다. Table 2 는 100 배의 대물 렌즈를 사용하여 측정된 5 μm 선폭 측정 값이 갖는 주요한 불확도 요인과 기여량을 나타낸 것이다.

Table 2 Contribution of main uncertainty sources to the combined uncertainty in the measurement of 5 μm linewidth

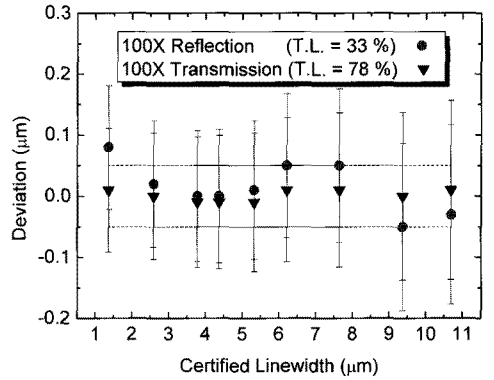
Uncertainty source, $u(x_i)$	Contribution of each uncertainty source $u_i(L) \equiv  c_i  u(x_i)$ (μm)
Magnification	0.024
Edge detection	0.036
Nonuniformity	0.031
Repeatability	0.023

대부분의 측정 선폭 크기가 수 백 μm 이하이기 때문에 선폭 크기에 비례하여 증가되는 코사인 오차와 온도 편차에 의한 불확도 기여량은 다른 불확도 요인에 비해 매우 작은 크기를 갖는다. 선폭 측정 값의 불확도는 시편의 상태와 측정 조건에 따라 변화되지만 일반적인 선폭 측정 값 ( $L$ )의 확장 불확도 ( $k = 2$ )는  $\sqrt{(0.10 \mu\text{m})^2 + (0.0095 \times L)^2}$  수준이다.

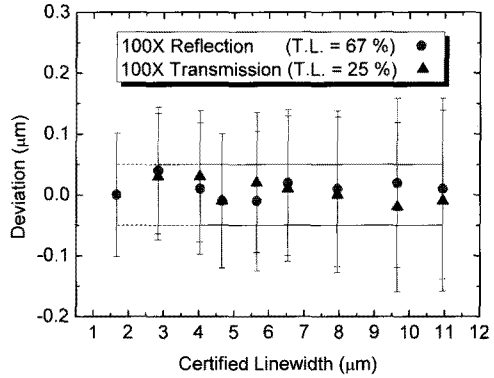
광학 현미경의 100 배 대물 렌즈를 이용하여 선폭 표준 시편을 측정한 결과는 Fig. 6 과 같다. 광학 현미경의 반사와 투과의 두 가지 측정 방식을 이용하여 측정된 선폭값과 인증값의 차, 측정값의 확장 불확도(오차 막대)와 인증값의 불확도(점선)를 함께 나타내었다.

광학 현미경의 측정 방식과 배율 그리고 시편의 패턴 방식에 따라 threshold level 이 서로 다르게 결정된다. 일반적으로 선폭의 비교 측정 결과에서 보면 정확한 배율의 교정이 이루어지지 않았을 때에는 교정값과 측정값의 편차가 측정 선폭의 크기에 비례하여 증가 또는 감소된다. 그리고 정확한

threshold level 이 결정되지 못했을 때에는 편차가 일정한 오프셋을 갖게 된다. 그러나 비교 측정 결과에서 보면 선폭의 크기에 따른 편차의 증감이나 오프셋이 나타나지 않고 선폭 인증값과 측정값은 불확도 범위 내에서 서로 잘 일치함을 알 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 6 Comparison of measured linewidth with the certified values (SRM475, NIST); (a) clear lines; (b) opaque lines

또한, 이와 같이 결정된 threshold level 을 Nikon 社의 선폭 표준 시편 측정에 적용한 결과는 Table 3 과 같다. 100 배의 대물 렌즈를 사용하였고 반사

Table 3 Comparison of measured linewidth with the certified values (dimension: μm)

Certified value	Measured value and expanded uncertainty	Deviation
1.34	1.32 ± 0.10	0.02
2.84	2.89 ± 0.10	-0.05
4.84	4.85 ± 0.11	-0.01

방식을 이용하였다. 측정 결과에서 나타난 것과 같이 간접적인 방법으로 결정된 threshold level 을 적용하여도 서로 다른 선폭 시편의 측정에서 정확한 측정 값을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

### 3.3 선간 거리 측정

선간 거리 측정은 선표준물 측정 시스템에 장착된 선형 엔코더의 출력 값을 이용하여 이루어진다. 선간 거리를 측정하기 위해서는 기준선을 이미지 중앙에 위치시키고 획득된 CCD 이미지를 해석하여 기준선의 위치를 결정한다. X 축 조동 스테이지로 시편을 이송시켜 각 기준선의 위치를 순차적으로 측정한 뒤, 각 기준선 위치 간의 차를 이용하여 선간 거리 값을 계산할 수 있다.

기준선 위치 값은 선형 엔코더의 출력 값과 CCD 이미지 상의 기준선 위치 값이 더해져 계산된다. 선형 엔코더의 출력 값이 CCD 이미지 상의 위치 측정 값보다 더 높은 정확도를 갖기 때문에 각 기준선의 위치가 이미지 상의 동일한 위치에서 측정될 수 있도록 한다. 이미지 상에서 기준선 위치를 결정하기 위해서는 한 쪽 에지의 위치 값을 이용하거나 기준선의 중심 위치를 적절한 계산 알고리즘을 적용하여 계산한다.

본 연구에서는 중심 위치 결정을 위해 Fig. 7 과 같이 2 차원 CCD 이미지를 평균하여 얻어진 1 차원 이미지 상에서 중간 강도 수준 (50 %) 으로부터 설정된 상하 범위에서 10 개 정도의 강도 수준을 결정한다. 그리고 각 강도 수준에 해당하는 양쪽 에지 위치의 중간점을 계산하고 이를 평균하여 기준선의 중심 위치 값으로 결정한다. 따라서 강도 분포 측정의 우연 효과로 인한 불확도를 감소시킬 수 있다.

이와 같은 선간 거리 측정 방법을 사용하여 스테이지 마이크로미터(N36-121, Edmunds Optics)의 선간 거리를 측정하였다. 투명한 유리판으로 제작된 측정 시편에는 1 mm 범위에서 10 μm 간격으로 100 개의 기준선이 표시되어 있다.

선표준물 측정 시스템으로 스테이지 마이크로미터를 측정한 결과는 Fig. 8 과 같다. 명목 선간 거리 값으로부터의 편차를 나타낸 것으로 한국표준과학연구원에서 보유하고 있는 1 차원 측정기로 측정한 결과와 비교하여 나타내었다. 비교 측정에 사용된 1 차원 측정기의 확장 불확도 ( $k = 2$ )는  $\sqrt{(0.18\mu\text{m})^2 + (0.54 \times 10^{-6} \times L)^2}$  이다.<sup>7</sup> 표시된 오차 막대는 각 측정값이 갖는 확장 불확도 ( $k=2$ ) 값이

다. 측정 결과에서 보면 각 측정 시스템의 측정 결과는 확장 불확도 범위 내에서 서로 일치됨을 알 수 있다.

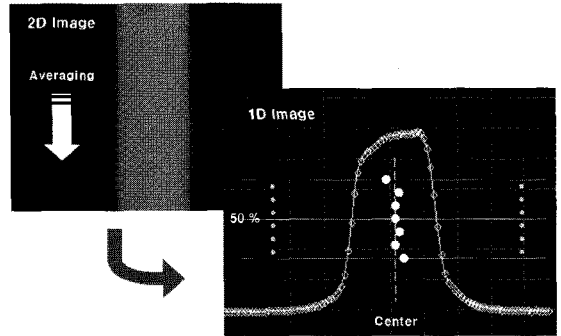


Fig. 7 Determination of the center position of line in the measurement of line spacing

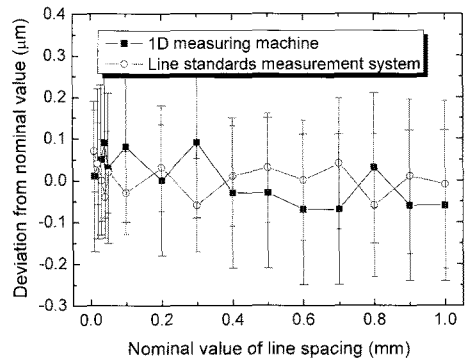


Fig. 8 Comparison of the measured line spacing obtained by one-dimensional measuring machine in KRISS and line standards measurement system

선표준물 측정 시스템을 이용하여 얻어진 선간 거리 측정 값이 갖는 불확도는 현미경 배율 교정, 선형 엔코더, 아베 오차, 열팽창, 기준선 중심 위치 결정 등 여러 가지 요인에서 기인된다. 이와 같은 불확도 요인 중 주요한 불확도 요인의 기여량은 Table 4 와 같이 정리될 수 있다.<sup>6</sup>

측정 선간 거리의 크기에 비례하지 않는 주요한 불확도 요인은 아베 오차, 시편의 불균일도, 반복도가 있다. 그리고 코사인 오차와 측정 중에 발생하는 온도 변화에 의한 열팽창이 측정 선간 거리에 비례하는 주요한 불확도 요인이다. 측정된 선간 거리 중 1 μm 정도 만큼 CCD 이미지 상의 중심 위치 값으로부터 측정한다고 가정하였기 때문에 배율 교정은 주요한 불확도 요인으로 고려되

지 않았다. 이러한 불확도 요인을 고려하여 산정된 선간 거리 측정값 ( $L$ )의 확장 불확도 ( $k = 2$ )는  $\sqrt{(0.098 \mu\text{m})^2 + (1.8 \times 10^{-4} \times L)^2}$  와 같다.

Table 4 Contribution of main uncertainty sources to the combined uncertainty in the measurement of line spacing ( $L$ )

Uncertainty source $u(x_i)$	Contribution of each uncertainty source $u_i(L) \equiv  c_i  u(x_i)$
Abbe error	0.032 $\mu\text{m}$
Nonuniformity	0.035 $\mu\text{m}$
Repeatability	0.021 $\mu\text{m}$
Cosine error	$1.3 \times 10^{-5} \times L$
Thermal expansion	$8.7 \times 10^{-5} \times L$

#### 4. 결론

본 연구에서는 광학 현미경을 이용하여 선표준물 측정 시스템을 개발하고 선폭과 선간 거리 측정에 적용하였다. 선표준물 측정 시스템은 광학 현미경의 광학계와 스테이지 시스템을 결합하여 구성되었고 CCD 카메라에서 획득된 현미경 이미지를 해석하여 측정값을 계산하기 위한 프로그램이 작성되었다. 선폭 표준 시편과의 측정값 비교를 통하여 선폭 측정의 threshold level 을 결정하였고 이를 서로 다른 종류의 시편에 적용하여 측정 성능을 검증하였다. 선폭 측정 값 ( $L$ )이 갖는 확장 불확도는  $\sqrt{(0.10 \mu\text{m})^2 + (0.0095 \times L)^2}$  수준이고 배율 교정과 에지 위치 결정이 주요한 불확도 요인이다. 선간 거리 측정 성능을 평가하기 위하여 서로 다른 측정 시스템으로 스테이지 마이크로미터의 선간 거리를 측정하여 비교하였다. 선표준물 측정 시스템을 이용한 선간 거리 측정값 ( $L$ )이 갖는 확장 불확도는  $\sqrt{(0.098 \mu\text{m})^2 + (1.8 \times 10^{-4} \times L)^2}$  와 같다. 따라서 개발된 선표준물 측정 시스템은 수백 nm 수준의 측정 불확도가 요구되는 선폭, 선간 거리와 같은 선표준물 교정에 효과적으로 적용될 수 있을 것이다.

#### 후 기

본 연구는 한국표준과학연구원 “길이시간 측정 표준 선진화” 사업의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. Nyysönen, D., “Linewidth measurement with an optical microscope: the effect of operating conditions on the image profile,” *Applied Optics*, Vol. 16, No. 8, pp. 2223-2230, 1977.
2. Häbler-Grohne, W. and Bosse, H., “An electron optical metrology system for pattern placement measurements,” *Meas. Sci. Technol.*, Vol. 9, No. 7, pp. 1120-1128, 1998.
3. Misumi, I., Gonda, S., Kurosawa, T. and Takamasu, K., “Uncertainty in pitch measurements of one-dimensional grating standards using a nanometrological atomic force microscope,” *Meas. Sci. Technol.*, Vol. 14, No. 4, pp. 463-471, 2003.
4. Kim, J. A., Kim, J. W., Park, B. C., Kang, C. S. and Eom, T. B., “Measurement of grating pitch standards using optical diffractometry and uncertainty analysis,” *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 23, No. 8, pp. 72-79, 2004.
5. Kim, J.-A., Kim, J. W., Park, B. C., Eom, T. B. and Hong, J. W., “Development of a metrological atomic force microscope for the length measurements of nanometer range,” *Journal of Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 21, No. 11, pp. 75-82, 2004.
6. ISO/IEC, “Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement,” ISO/IEC, 2008.
7. KRISS, “Information document for peer review in length metrology,” KRISS, pp. 277-282, 2007.