

간섭무늬 분석을 통한 게이지 블록의 거칠기 효과 보정용 광산란장치 교정

강주식*, 김재완 (한국표준과학연구원 길이/시간 그룹)
조미정, 공흥진 (한국과학기술원 물리학과)

Calibration of the integrating sphere system for correcting the roughness effect in gauge block length measurement by using the Newton's rings interferometer

C.-S. Kang* and J.W. Kim (Length/Time Group, KRISS)
M.J. Cho and H.J. Kong (Dept. of Physics, KAIST)

ABSTRACT

A roughness measuring system which comprises an integrating sphere and a stabilized laser has been fabricated with the aim of measuring the roughness correction value which is necessary in gauge block measurement by optical interferometry. To calibrate the system, a Newton's ring interferometer has been introduced. The method how to calibrate the roughness measurement system has been described.

Key Words: Gauge block(게이지 블록), roughness(거칠기), integrating sphere(적분구), calibration(교정), Newton's ring(뉴턴 링), light scattering(광산란)

1. 서론

게이지 블록의 길이는 “게이지 블록 측정면상의 한 점으로부터, 반대편 측정면에 밀착시킨 동일 재료, 동일 표면 상태인 기준 평면까지의 수직 거리”로 정의된다.^[1] 따라서 게이지 블록과 같은 재질의 기준판(platen)이 필요하며, 이 기준판은 게이지 블록과 같은 표면 연마 상태, 즉, 같은 표면 거칠기를 가져야 한다. 그런데 일반적으로 게이지 블록과 동일한 재질의 기준판을 사용하더라도 기준판의 표면 거칠기는 측정대상 게이지 블록의 거칠기와는 다르므로, 이 조건을 만족시키는 것은 실제로 불가능하다. 따라서 각각의 표면 거칠기를 측정하여, 거칠기 차이를 보정해주어야 한다. 본 논문에서는 이러한 목적을 위해 제작한 거칠기 측정용 적분구 시스템과, 이 시스템을 교정하기 위한 뉴턴링 간섭계에 대해 기술하고 연구 결과를 기술하도록 하겠다.

2. 광산란을 이용한 거칠기 측정 시스템

거칠기 측정을 위한 광산란 장치의 개략도는 Fig. 1 과 같다. 이 장치는 빛이 물체 표면에 입사할 때 총 반사율 (total reflectance) 에 대한 산란 반사율 (diffuse reflectance) 의 비율인 TIS (total integrated scattering) 가 물체의 거칠기에 비례한다는 원리를 이용한 것이다.^[2]

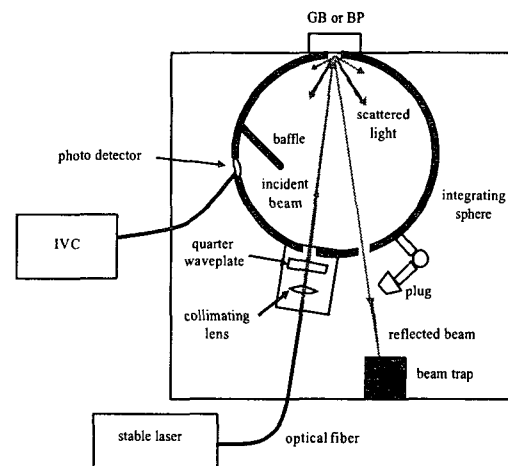


Fig. 1 Schematic of the TIS setup. GB: gauge block, BP: platen, IVC: current to voltage converter

물체의 표면에 입력되는 빛의 세기를 I_i 라고 하고, 총 반사광과 산란 반사광의 세기를 각각 I_o 와 I_d 라고 하면, TIS 는

$$TIS = -\frac{I_d / I_i}{I_o / I_i} = \frac{I_d}{I_o} \quad (1)$$

로 정의되는데, 이는 제곱평균제곱근 거칠기인 R_q 와 다음과 같은 관계가 있다.

$$R_q = K \cdot \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{TIS} \quad (2)$$

여기서 θ 는 빛의 파장이고, K 는 적분구의 구조에 의존하는 비례상수이다.

TIS 값을 구하는 것만으로는 게이지 블록 길이 측정에 필요한 정량적인 거칠기 보정길이를 알 수 없다. TIS 는 게이지 블록의 거칠기 효과에 의한 실제 보정 길이와는 관련성이 성립되지 않은 양이기 때문이다. 이 관련성을 설정하는 과정이 TIS 장치의 교정인데, 이를 위해 Fig. 2 와 같은 뉴턴 링 간섭계를 사용하였다.

3. 뉴턴 링 간섭계를 이용한 TIS 장치의 교정

평면 위에 구면 렌즈를 올려놓으면 구면과 평면 사이에서 빛이 간섭하여 Fig. 3 과 같은 뉴턴 링 (Newton's ring) 이라는 원형 간섭무늬가 형성된다. 이 뉴턴 링 중심부 간섭무늬의 위상은 렌즈와 접촉하고 있는 평면의 거칠기에 따라 달라지는데, 이 성질을 이용하면 게이지 블록의 거칠기 보정 길이를 측정할 수 있다. 간섭무늬의 이미지를 포획하여 강도 곡선을 구하고, 이를 이론적인 강도 곡선인 식(3)에 곡선 맞춤(curve fitting) 시키면 중앙부의 위상 값을 구할 수 있다.^[3]

$$I(x, y) = A + \frac{B}{C + D \cos \left[\frac{(x-F)^2 + (y-G)^2}{E} + H \right]} \quad (3)$$

이 때 렌즈의 중앙부에서는 무게에 의한 탄성 변형 때문에 간섭무늬가 왜곡될 수 있으므로 중앙부를 제외한 나머지 영역을 사용하여 곡선 맞춤을 실시하였다. 식 (3)의 x 와 y 는 이차원 공간상의 좌표값을 나타내므로, 스테이지 마이크로미터 (stage micrometer) 의 이미지를 포획하여 분석함으로써 CCD 카메라에 의해 얻어지는 픽셀 단위를 실제 길이로 환산하여 사용하였다.

곡선 맞춤으로 구해낸 위상(식(3)의 H)을 δ 라고 하면, 거칠기의 유효진폭 (effective amplitude) d_B 는

$$d_B = \frac{\lambda}{4\pi} \left\{ \delta - \delta_G - \tan^{-1} \left(\frac{2\kappa}{1-n^2-\kappa^2} \right) \right\} \quad (4)$$

로 구할 수 있다. 여기서 δ_G 는 옵티컬 플랫 (optical flat) 위에 렌즈를 놓았을 때 형성된 뉴턴 링의 중앙 위상 값으로서, 렌즈의 무게에 의한 변형 효과를 보정하기 위한 것이며, 마지막 항은 빛이 금속의 표면에서 반사할 때 생기는 위상 지연 양을 보정하기 위한 것이다. n 과 κ 는 각각 파장 λ 에서의 금속의 굴절률과 흡수율을 의미하며, 이는 타원 분광해석법 (ellipsometry) 을 사용하여 측정해서 사용하였다. 여러 종류의 게이지 블록과 기준판에 대해 TIS 값과 d_B 값을 측정함으로써 최종적으로 d_B 와 TIS 와의 상관 관계를 얻어낼 수 있었다.

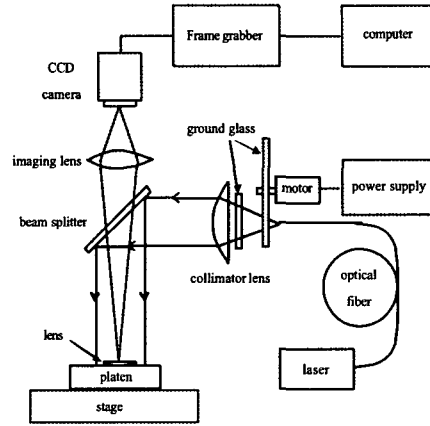


Fig. 2 Schematic diagram of the Newton's rings interferometer

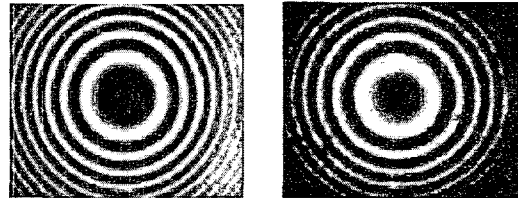


Fig. 3 Sample images of Newton's rings obtained with an optical flat (left image) and a steel platen (right image).

4. 결론

본 연구에서는 게이지 블록의 길이를 절대 측정할 때 보정되어야 하는 거칠기 영향을 측정하기 위해 광산란을 이용한 적분구 거칠기 측정 시스템을 제작하였으며, 뉴턴 링 간섭계를 통해 이 시스템을 교정하였다. 본 장치는 게이지 블록의 길이에 무관하게 사용이 가능하고 신속하게 측정이 된다는 장점이 있다.

후 기

본 연구는 한국표준과학연구원의 기본사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. ISO 3650 (E), Geometrical Product Specifications (GPS)-Length standards: Gauge blocks (1998).
2. E. Engelhard, Proc. Symposium on Gage Blocks, NBS Circular 581, pp. 1-20 (1957).1
3. G. Boensch, Proc. SPIE, 3477, pp. 152-160 (1998).