

3대의 주파수 안정화 레이저를 이용한 게이지 블록 길이의 절대 측정

Absolute Measurement of Gauge Block Length by using 3 Frequency Stabilized Lasers

강주식, 김재완, 서호성, 이원규

한국표준과학연구원 광기술표준부 길이그룹

cskang@kriss.re.kr

게이지 블록(gauge block)은 내구성이 있는 재료로 만든 직사각형 단면의 서로 평행한 측정면을 가지는 단면 표준물(end standard)로서, 양 측정면은 다른 게이지 블록이나 그와 비슷한 면에 잘 밀착되도록 표면 상태가 좋은 특성을 지니며, 다양한 길이 기준물 또는 길이 측정기를 교정(calibrate)할 때 기준물로 널리 사용된다⁽¹⁾. 게이지 블록 간섭계는 게이지 블록의 길이를 절대 측정(absolute measurement)하기 위한 장비로서 Twyman-Green 형 간섭계 구조를 가진다. 게이지 블록의 길이는 주파수가 안정된 3개 이상의 광원으로 형성된 간섭무늬를 각각 분석한 후, 합치법(exact fraction method)을 통해 구할 수 있다⁽²⁾. 진공과장이 λ_{0i} ($i=1, 2, 3, 4$)인 빛을 사용하여 형성된 간섭무늬에서, 간섭무늬의 간격을 b_i 라고 하고, 게이지 블록의 간섭무늬가 기준판의 간섭무늬에 대해 어긋난 크기를 a_i 라고 하면, 측정환경하에서의 게이지 블록의 길이 L_T 는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_T = \left(m_1 + \frac{a_1}{b_1}\right) \frac{\lambda_{01}}{2n_1} = \left(m_2 + \frac{a_2}{b_2}\right) \frac{\lambda_{02}}{2n_2} = \left(m_3 + \frac{a_3}{b_3}\right) \frac{\lambda_{03}}{2n_3} = \left(m_4 + \frac{a_4}{b_4}\right) \frac{\lambda_{04}}{2n_4} \quad (1)$$

여기서 m_i 는 매우 큰 정수이며 a_i/b_i 는 0과 1 사이의 소수이고, n_i 는 공기의 굴절률이다. 게이지 블록 간섭계에 사용하는 광원의 빛은 진공과장이 정확히 알려져 있으며, 공기의 굴절률은 공기의 온도, 상대습도, 압력 등을 측정하면 계산해 낼 수 있고, 소수부 차수 a_i/b_i 는 간섭무늬로부터 직접 측정한다. L_T 를 기준 온도인 20 °C에서의 길이 L 로 환산하고, 몇 가지 보정을 하면 게이지 블록의 절대 길이를 구할 수 있다.

$$L = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \frac{\lambda_{0i}}{2} \left(m_i + \frac{a_i}{b_i}\right) - \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 L_o(n_i - 1) - L_o \alpha (t_{GB} - 20) + l_\phi + l_W + l_E + l_A + l_{ob} + l_G \quad (2)$$

여기서 L_o 는 이치 블록의 호칭 치수(nominal length), α 는 게이지 블록의 열팽창 계수, t_{GB} 는 게이지 블록의 온도, l_ϕ 는 게이지 블록과 기준판의 거칠기와 재료 차이에 의한 위상변화 보정량을 나타내며, l_W 는 밀착 효과에 대한 보정량, l_E 는 광학계의 불완전함에 대한 보정량, l_A 는 유한한 개구 크기에 의한 효과의 보정량, 그리고 l_G 는 게이지 블록의 평면도, 평행도 등 기하학적 불완전함에 대한 보정량을 나타낸다⁽³⁾.

KRISSE에서 보유한 게이지 블록 간섭계의 기존 광원은 ¹⁹⁸Hg isotope 램프로써, 근본적으로 가간섭 길이(coherent length)가 짧아, 100 mm 이상의 게이지 블록에 대해서는 간섭무늬의 대비(contrast)가 매우 떨어지는 문제점이 있으며, 노후로 인하여 매우 불안정한 동작을 보이는 문제점을 안고 있었다. 이 문제를 해결하기 위해, 기존 광원을 주파수가 안정화된 3대의 레이저로 교체하고 시스템을 선진화하였다.

광원으로는 Zeeman 안정화 He-Ne 레이저(633 nm)와 요오드 안정화 Nd:YAG 레이저(532 nm, 1064 nm), 그리고 Rb 안정화 레이저(778 nm)⁽⁴⁾를 사용하였으며, 이들 4 파장을 하나의 광섬유로 결합시켜 간섭계로 입사시켰고, 파장 선택용 셔터를 사용하여 실시간적으로 원하는 파장의 선택이 가능하도록 하였다. 이로

인해 길이가 100 mm 이상인 게이지 블록의 경우, 간섭무늬의 대비가 20배 정도 향상되었다. 또한 간섭계 하드웨어와 측정 소프트웨어의 수정을 통하여, 레이저의 파장 선택, 환경 요인 측정, 간섭무늬의 위상 이동, 간섭무늬 포획 등의 하드웨어 제어, 그리고 간섭무늬 분석, 합치법 계산, 각종 보정항의 계산 등, 교정에 필요한 전 과정이 자동화되게 됨으로써 측정 시간이 50 % 단축되는 결과를 얻었다.

본 측정 시스템의 측정 불확도는 ISO GUM⁽⁵⁾의 절차에 따라 산정한 결과, 확장불확도가 $U = \sqrt{(28 \text{ nm})^2 + (0.19 \times 10^{-6} L)^2}$ ($k=2$, 신뢰수준 약 95 %) 로 분석되었다.

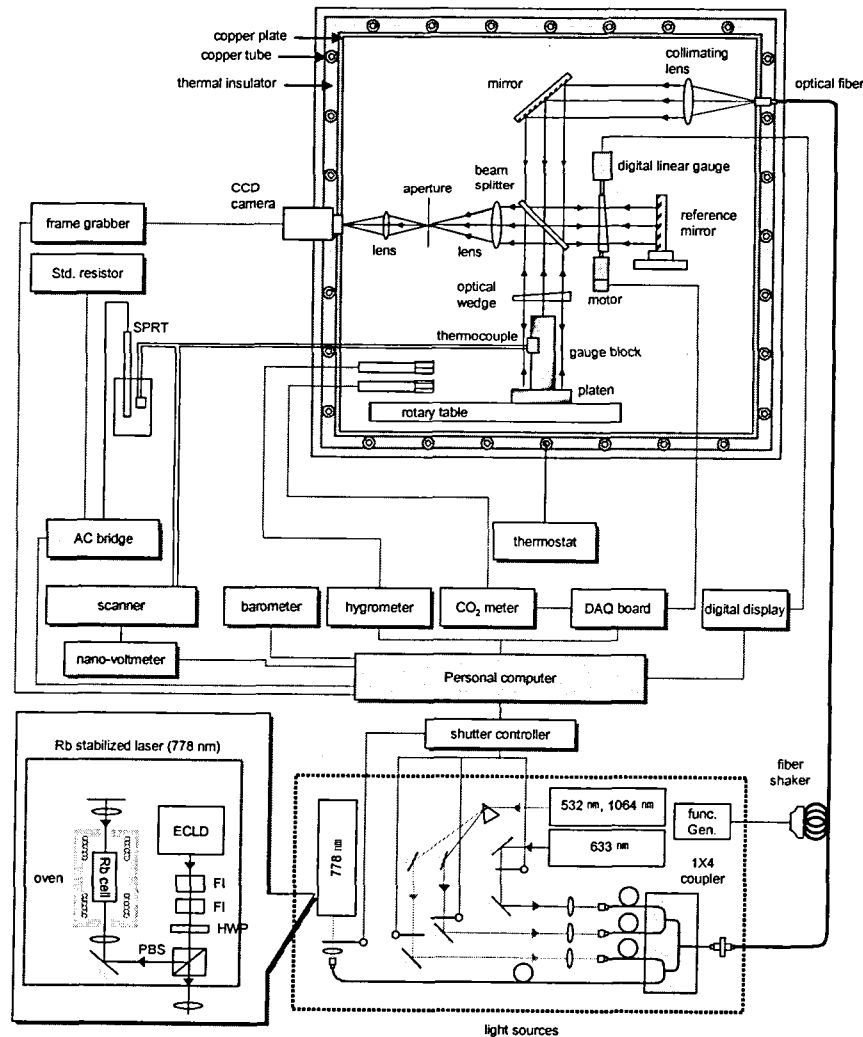


그림 1 게이지 블록 간섭계 구조도

참고문헌

1. 게이지 블록, 한국산업규격 KS B 5201 (2001).
2. M. Born and E. Wolf, *Principles of Optics*, Fifth ed., New York, Pergamon Press, p.291 (1975).
3. J. E. Decker and J. R. Pekelsky, *Metrologia*, 34, 479 (1997).
4. W. K. Lee, et al., Proc. 4th Asian Pacific Laser Symposium, APLS2004,
5. *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, 1st ed., Geneva, International Organization for Standardization, 1993.

