

측량용 줄자와 레이저 거리측정기 교정을 위한 50 m 레이저 길이측정장치

50 m Linear Measuring Interferometer for Calibration of Surveying Tape and Electro-optical Distance Meter

*정돈영¹, #엄태봉¹, 김명순¹

*D. Y. Jeong¹, #T. B. Eom(tbeom@kriss.re.kr)¹, M. S. Kim¹

¹ 한국표준과학연구원 기술표준부 길이/시간연구그룹

Key words : Tape, Laser interferometer, Electro-optical distance meter

1. 서론

건축 및 토목, 대형 구조물 제작 현장에서 사용되고 있는 측량용 줄자는 길이표준의 소급체계에 있어 아직 중요한 역할을 하고 있다. 이런 줄자의 교정은 보통 기준 줄자와 나란하게 놓고 기준 줄자와의 눈금 간격 차이를 측정하는 비교 교정방법이 일반적으로 사용된다. 이 비교 교정에 사용되는 기준 줄자는 각 눈금에 대한 길이를 정확하게 알아야 하는데 이것은 길이표준에 소급이 되어야 한다. 이를 위해 일반적으로 사용되는 방법이 길이측정용 레이저 간섭계를 이용하여 각 눈금 사이의 간격을 절대 측정하는 것이다. 최근 레이저를 이용한 길이 측정기(electro-optical distance meter, EDM)가 개발되어 현장에서 줄자를 많이 대신하고 있다. 이들 또한 교정이 요구되고 이를 위해 길이측정용 간섭계가 사용된다. 줄자나 EDM을 교정하기 위해서는 긴 이동장치(tape bench)와 레이저 간섭계, 줄자 눈금 검출장치 등이 요구되는데 한국표준과학연구원에서는 이를 위해 50 m까지의 줄자를 측정할 수 있는 장치를 제작하여 줄자의 교정뿐 아니라 EDM 및 초음파거리측정기 등의 교정에 사용하고 있다.

2. 교정장치

줄자 교정을 위한 50 m 선형측정장치는 크게 레이저 간섭계, 50 m의 이동 범위를 갖는 선형이동기구, 줄자의 눈금 검출을 위한 장치로 구성되어 있다. 전 측정장치는 길이가 56 m이며 온도가 제어되는 항온의 실험실에 설치되어 있다.

철판과 길이방향으로는 자유롭게 움직일 수 있도록 되어 있다. 따라서 콘크리트와 철의 열팽창에 의한 철제 박스의 변형을 방지하도록 하였다. 이 철제 박스 위에 선형이동기구가 위치하는데 이것은 42개로 구성되는 2열의 원형 봉으로 이루어진다. 이 원형봉은 철제 박스에 고정되어 레일(rail)을 구성하는데 수평수직 방향으로 조절할 수 있도록 되어 있어 이 레일을 따라 움직이는 이동대가 선형 운동을 할 수 있도록 한다. 이동대 위에 레이저 간섭계의 이동 거울과 줄자의 눈금 검출을 위한 현미경이 놓이는데 이동대는 3개의 ball bushing bearing에 의해 지지되어 레일 위를 이동한다. 이동대는 일반적으로 수동으로 이동하게 되나 특별하게 기어가 장착된 직류모터와 레일에 설치된 랙기어(rack gear)를 이용하여 자동으로 이동할 수 있다. 이때 직류모터의 구동은 무선 통신을 통해 이루어진다. 줄자는 일정한 장력으로 당겨지도록 되어 있어 일정 무게의 추를 줄자 양 끝에 고정하여 당겨져야 한다. 이 때 줄자와 줄자 지지대 사이의 마찰력에 의해 장력이 달라지는데 이것을 위해 즉, 줄자와 지지대 사이의 마찰력을 최소화하기 위해 줄자 지지대로 테프론으로 표면이 코팅된 원형 봉들이 사용된다. 2 열의 레일이 일직선으로 수평하게 설치되어야 한다. 이를 위해 물을 채운 호스의 수위를 이용하여 레일 앞 끝이 수평 방향으로 같은 높이가 되게 한 후 각 레일의 진직도는 레이저와 위치민감광소자(position sensitive detector)를 이용하여 정렬하였으며 최종 정렬은 레일에 이동대를 설치한 후 이 이동대 위해 전기식 수준기와 시준기를 설치하여 이동대의 각도운동이 최소화되도록 하였다.



Fig. 1 Overview of the 50 m tape measuring system.

항온 실험실의 콘크리트 바닥에서 33개의 콘크리트 지주에 설치된 51 m 길이의 강화 콘크리트 판이 선형이동기구의 기초로 사용된다. 이 콘크리트 판 위에 32개의 철제 판이 고정되어 있으며 이 철판 위에 21개의 “ Π ” 모양의 철제 박스(길이 3 m, 높이 0.1 m, 폭 0.35 m)가 놓여 있다 이 철제 박스는 서로 볼트로 체결되어 있으며 하단의 철판 위에 놓인 베어링에 의해 지지되어

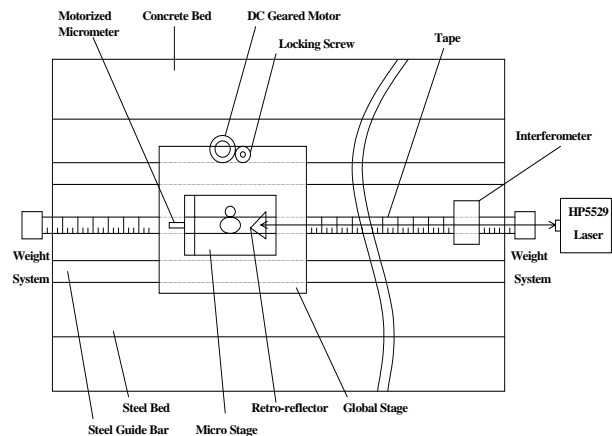


Fig. 2 Schematic diagram of the tape calibration system.

레이저 간섭계를 이용하여 절대 측정할 때 각 눈금의 중심 위치를 정확하게 측정하여야 한다. 수동으로 줄자를 측정할 경우 이동대를 손으로 움직이면서 현미경으로 확대한 눈금 상을 눈으로 확인하여 맞추며 자동으로 측정할 때는 현미경으로 확대한 상을 현미경에 부착된 CCD 카메라가 영상을 획득하여 무선으로 컴퓨터에 전달하며 컴퓨터의 화상처리기에서 눈금을 처리한다. 화상처리기는 눈금 중심과 CCD 카메라의 중심 위치와의 차이를 계산하여 CCD 카메라 중심에 눈금이 위치하도록 이동대의 모터를 제어한다. 각 눈금 사이의 거리는 레이저 간섭계에서 측정된 이동대의 이동 거리와 눈금이 CCD 카메라 중심에서 벗어난

양을 더해 구하게 된다. 직류모터나 CCD 카메라 등을 위한 전기는 이동대에 있는 재충전이 가능한 충전기가 공급한다. 이 충전지와 데이터의 무선 전송 방법은 이동대와 연결하는 전선이 필요하지 않게 되어 장치의 구조가 간단하게 할 수 있다. Fig. 3은 줄자교정장치의 제어계를 보여주는 개략도이다.

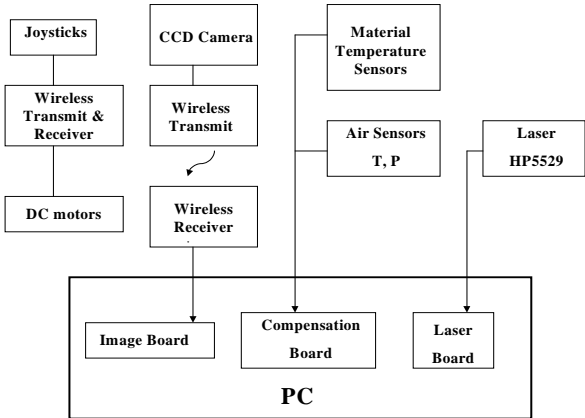


Fig 3. Electronic control of the tape calibration system.

3. 측정 프로그램 및 장치의 성능

측정장치를 제어하거나 줄자 눈금 위치를 결정하기 위한 프로그램은 Labview로 작성하였다. 소프트웨어는 이동대를 위한 모터를 구동하거나 레이저 간섭계의 값을 읽는다. 줄자의 눈금은 CCD 카메라에 의해 획득된 후 컴퓨터의 화상처리기에서 그 눈금의 중심 위치가 결정된다. 눈금의 중심은 임계법이나 무게 중심법을 사용하여 결정한다. Fig. 4는 측정프로그램의 화면이다.

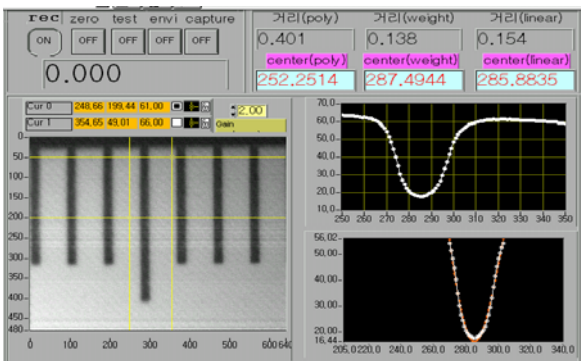


Fig 4 Output window of the software.

Table 1에 본 장치로 줄자를 측정할 때 발생하는 불확도를 표시하였다. 불확도는 줄자 눈금의 상태 및 재질의 열팽창계수에 의존하는데 여기서는 철제 줄자에 대하여 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 장치의 성능은 눈금 중심 위치 검출 정확도 및 온도 측정의 정확도에 따른 열팽창보정에 크게 의존함을 알 수 있다.

본 장치의 주 용도는 줄자 측정에 있으나 장거리 측정에 사용되는 장치를 교정하는데 사용할 수 있다. 최근 EDM은 줄자를 대신하여 장거리 측정에 널리 사용되고 있으며 줄자에 비해 좋은 측정정확도를 보이고 있다. EDM을 교정하기 위해서는 고정 길이 기준점을 갖는 기선장을 이용하게 된다. 이 경우 수백 m에 대한 절대 길이 값을 교정할 수 있으나 EDM 고유의 비선형오차를 측정할 수 없다. 이 비선형오차는 주기적인 특성을 갖는데 보통 수십 m의 주기성을 갖는다. 따라서 EDM의 주기적인 오차를 본 장치의 레이저 간섭계와 비교하여 측정할 수 있다. Fig. 5는 상용 EDM의 비선형오차를 측정된 한 예로 3m의 주기적인 오차를 보여준다.

Table 1 Uncertainty evaluation in measurement of tape.

Sources of uncertainty	Standard Uncertainty
Determination of center of graduation	11.6 μm
Abbe error (Pitch)	2.6 μm
(Yaw)	0.8 μm
Dead path error	0.2 μm
Laser frequency	0.6×10^{-8}
Refractive index of air	8.0×10^{-7}
Cosine error	2.0×10^{-8}
Temperature measurement	3.1×10^{-6}
Friction force	1.0×10^{-6}
Drift	2.0 μm
Combined standard uncertainty	$(12.2 + 3.3 \times 10^{-6} L) \mu\text{m}$, L: m
Expanded uncertainty (k=2)	$(24.4 + 6.6 \times 10^{-6} L) \mu\text{m}$, L: m

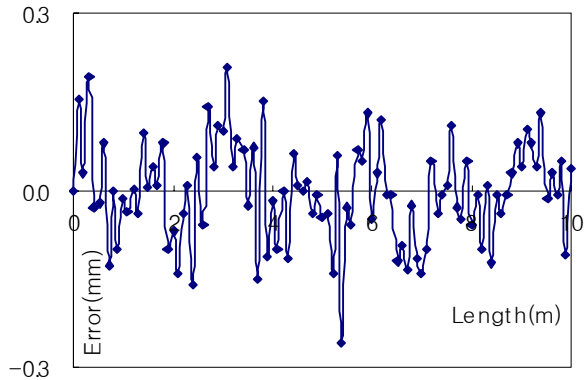


Fig. 5 Cyclic error of an EDM.

4. 결론

50 m 까지 줄자를 측정할 수 있는 장치를 개발하였다. 본 장치는 줄자를 비교 교정하거나 레이저 간섭계를 사용하여 절대 교정할 수 있다. 본 장치는 무선 통신에 의해 이동대를 자동으로 구동할 수 있으며 줄자의 눈금을 CCD 카메라로 영상을 획득한 후 무선으로 컴퓨터에 전송한 후 화상처리기에서 눈금의 중심 위치를 계산하도록 되어 있어 자동으로 줄자를 측정할 수 있다. 이 장치는 줄자의 측정 뿐 아니라 EDM이나 초음파거리측정기 같이 장거리 측정장치를 교정하는데 사용할 수 있다.

참고문헌

- 1.P. E. Ciddor, K.H. Edensor, K.J. Loughry and H.M.P. Stock, "A 70 metre Laser Interferometer for the Calibration of Survey and Mapping", The Australian Surveyor, 33: 493, 1987.
- 2.Rosenberg C. B., Munteanu C. S., and Ferguson R. A., "Calibration of the Flexible Tapes to ppm Accuracy Level", OIML Bulletin, 38: 25-29, 1997.
- 3.R.A. Veugen, "Cause of Cyclic Error at the Calibration of EDM Devices with a Laser Interferometer", Report number PE 2002-083 Eindhoven, 2002.