

선형측정장치 개발

엄 태 봉*, 김 구 영**, 정 명 세***

Development of linear measuring system

Tae-Bong Eom*, Goo-Young Kim**, Myung-Sai Chung***

ABSTRACT

The linear length measurements are most frequently performed and should be most accurate among other parts in dimensional metrology. We developed the linear measuring system using a laser interferometer to improve the accuracy and to shorten the calibration time. The uncertainty of the system is $0.1\mu\text{m}$ for 500mm steel gage block. The range of the measurement and resolution of the system are 1000mm and $0.01\mu\text{m}$, respectively.

Key Words : Step gage, Laser interferometer, Air bearing, Linear measuring system.

I. 서 론

길이표준물은 면과 면사이의 길이로 정의된 단면표준물과 선과 선사이의 길이로 정의된 선표준물로 크게 분류할 수 있다. 단면표준물의 경우 게이지블록 간섭계(gage block interferometer)를 이용하여 표준게이지블록을 절대측정하고 있으며, 이 표준게이지블록과 게이지블록 비교측정기(gage block comparator)를 이용하여 비교 교정된 일반게이지블록을 사용하여 다이얼게이지(dial gage), 높이마이크로미터(height micrometer), 스텝게이지(step gage) 등을 교정한다. 한편 선표준물의 경우 선표준간섭계(line standard interferometer)를 이용하여 표준자를 교정한 후 이 표준자로 일반자를 비교 교정한다. 1), 2)

이와같이 길이 교정체계는 복잡하여 사용되는 측정기의 종류도 매우 다양하기 때문에 이들 측정기를 교정할

때마다 각기 다른 교정장치나 방법들이 동원되어 사용되어왔다. 따라서 여러 종류의 길이측정기를 만능으로 교정할 수 있는 측정장치가 필요하게 되었다. 상용으로 시판되는 선형측정기(혹은 만능측정기)는 긴 게이지 블록, 나사게이지 및 표준자 등을 측정할 수 있으나 수동으로 작동되기 때문에 측정이 복잡하여 숙련된 기술이 요구된다. 한편 표준기관에서 개발된 선형측정기는 높은 정밀 정확도를 갖고 있는 반면 한가지의 측정기만을 교정하도록 되어있다. 3), 4)

본 선형장치는 레이저 간섭장치를 이용하여 스텝 게이지, 긴 게이지 블록, 마이크로미터 헤드, 다이얼 게이지 및 표준자 등을 하나의 측정기에서 교정할 수 있도록 개발되었고 교정시간의 단축은 물론 측정의 정밀정확도를 크게 향상시켰다. 이 장치는 피측정물에 따라 수동, 반자동 및 자동으로 작동할 수 있으며 측정압을 임의로 조절할 수 있게 하였다. 그리고 이송대에는 회

* 한국표준과학연구원 길이연구실
 ** 한국표준과학연구원 공작실(정회원)
 *** 한국표준과학연구원 역학연구부장

전운동에 의한 아베오차(Abbe's error)를 보정하기 위하여 전기식 수준기를 장착하였으며 습동면의 마찰을 최소화할 수 있도록 공기베어링을 채택함으로써 고정밀 이송운동이 가능하도록 하였다. 이 장치의 측정 범위는 1000mm이며 분해능은 0.01 μ m이다.

II. 설계 및 제작

1. 몸체 및 이송장치

선형측정장치는 크게 몸체 및 이송장치부, 눈금부, 전자제어계로 구성되었으며 Fig. 1은 설계제작된 장치의 개략도를 나타낸 것이다. 이송대의 직선운동을 안내하기 위한 몸체 및 가이드엣지(guide edge)는 가공 후의 경년변화 및 정밀도, 내마모성을 고려하여 화강암으로 제작하였으며 여기서 가이드엣지는 몸체인 정반 윗면에 설치고정 하였다. 몸체와 가이드엣지의 크기는 각각 1600 \times 1000 \times 200mm, 1600 \times 100 \times 120mm이다.

Fig. 2는 몸체와 가이드엣지로 구성된 직선안내기구의 단면을 나타낸 것으로 각 미끄럼운동 부위에 공기베어링

을 사용하여 저마찰력과 고정밀도를 유지하도록 하였다. 5)

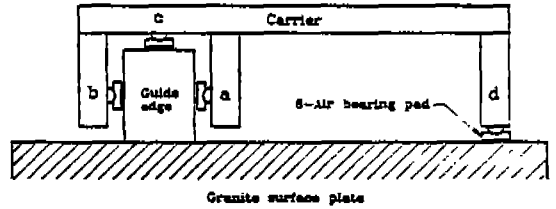
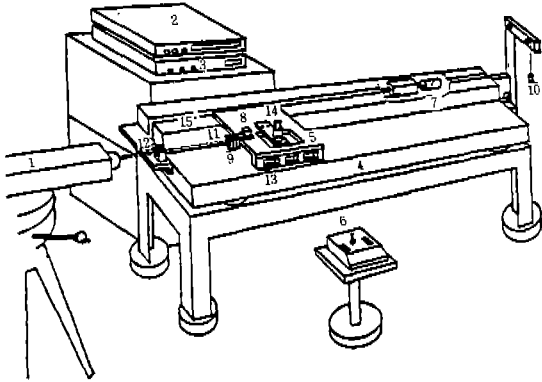


Fig. 2 Cross section of straight guide mechanism

여기서 가이드엣지의 두 면 a, b는 이송대(carrier)의 좌우운동을 안내하며 가이드엣지의 윗면과 정반의 윗면 c, d는 이송대의 상하운동을 안내하게 된다. 따라서 이들 a, b, c, d 각 면의 진직도 및 평행도는 매우 중요하다. 이러한 이유로 직선안내기구의 몸체 및 이송대는 국내에서 생산된 정반 및 스트레이트엣지(진직도 및 평행도 $\pm 10\mu$ m 수준)를 구입한 후 본 연구실에서 수신회에 걸친 측정과 가공을 반복하여 $\pm 1\mu$ m 이하의 진직도 및 평행도를 갖도록 제작되었다.

알루미늄으로 제작된 이송대의 구동은 로터리 엔코더(rotary encoder)가 부착된 DC 모터에 의한 벨트 구동방식을 채택하였다. 이송대 설계시 가장 먼저 고려해야 할 사항은 스텝게이지 또는 게이지블록을 측정할 경우 전기마이크로미터의 측정침을 어떻게 한 블록면에서 다른 블록면으로 이동시키나 하는 것이다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 한 블록면을 측정한 후 다른 블록면을 측정하기 위하여 이송대를 움직여야 하는 블록면에



- | | |
|--------------------------|---------------------------------|
| 1. He-Ne Laser | 9. Electronic Micrometer sensor |
| 2. Laser display | 10. Weight |
| 3. Motor Controller | 11. Retroreflector |
| 4. Machine body | 12. Interferometer |
| 5. Moving table | 13. Air bearing |
| 6. Joy-stick | 14. Microscope |
| 7. DC motor with encoder | 15. Guide edge |
| 8. step motor | |

Fig. 1 Schematic diagram of linear measuring system

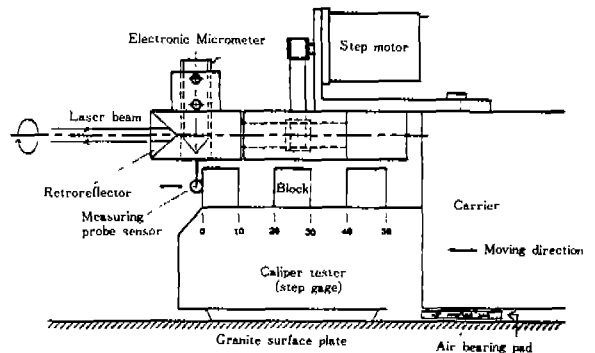


Fig. 3 Setup for maintaining the laser beam alignment

수직방향으로 바로 이동시키게 되면 측정침이 블록면에 부딪치게 된다. 따라서 이송대를 움직이기 전에 측정침을 상하방향으로 이동해야 한다.

그런데 이 경우 전기마이크로미터와 레이저 반사경인 코너 큐브(coner cube)를 함께 이동시켜야 하기 때문에 레이저 광축의 정렬이 유지되지 않는다. 따라서 본 연구에서는 레이저 광축을 중심으로 전기마이크로미터와 코너 큐브를 함께 회전시킴으로써 레이저 정렬이 유지됨과 동시에 전기마이크로미터의 측정침이 블록면에 부딪치지 않도록 설계하였다.

2. 눈금부

눈금부는 레이저간섭계 및 공기굴절을 측정장치, 전기마이크로미터 및 현미경 등으로 구성되어 있다. 레이저간섭계는 이송대의 전체적인 이동 거리를 측정하고 전기마이크로미터는 측정침의 미소변위를 측정하여 두 지시값의 합으로 길이를 측정하며 현미경은 선표준물의 눈금 중심위치를 찾는데 사용된다.

레이저간섭계는 Hewlett packard 사의 5526 A로 주파수 안정도는 2×10^{-8} 정도이나 자체의 공기굴절을 측정장치의 정확도는 1×10^{-6} 수준이기 때문에 측정 정확도 또한 10^{-6} 을 넘을수 없다. 따라서 본 연구에서는 높은 정밀정확도를 갖는 온도계(분해능: 0.001°C, 정확도: $\pm 0.02^\circ\text{C}$), 기압계(분해능: 0.01mb, 정확도: $\pm 0.15\text{mb}$), 습도계(분해능: 0.1%, 정확도: 1%)를 컴퓨터에 연결하여 Edlen 공식으로 공기굴절을 계산한 후 파장보정을 하도록 하였다. 이 공기굴절을 측정장치의 정확도는 5×10^{-8} 수준이다.^{6), 7)} 전기마이크로미터는 Brown & Sharpe 사의 1022로 분해능은 0.01 μm 이다. 한편 현미경은 최대배율이 200배이며 CCD 카메라를 부착하여 TV 모니터에서 확대된 상을 검출할 수 있도록 하였다.

3. 전자제어계

전자제어계는 구동장치, 컴퓨터, 외부기기와의 인터페이스로 나눌수 있다. 이송대는 수동, 반자동 및 자동식으로 구동되며, 수동식은 마이크로미터 기준봉, 마이크로미터 헤드, 구의 직경 측정에 이용되는데 이송대를 DC 모터와 분리시킨 후 이송대에 적당한 무게의 추를 달아서 측정압이 일정하게 유지되도록 하였다. 측정압은 정반의 수평도와 추의 무게로 조절할 수 있는데 최소측정압이 1gf였다.

반자동식은 선표준물 또는 불규칙하게 조합된 게이지 블록의 단면표준물의 측정에 사용된다. Fig. 4는 자동 및 반자동 모터구동시스템의 개략도이다. 조정간(joy-stick) 및 미세조정스위치의 전압신호는 전압-주파수 변환기를 거쳐 DC 모터에 부착된 로터리 엔코더의 출력 주파수와 비교되어 DC 모터를 제어하므로써 이송대의 속도를 조절한다. 이송대의 최대이송속도는 10cm/초이며, 미세이송가능량은 1 μm 이하이다. 코너 큐브와 전기마이크로미터의 회전은 분해능이 0.72° 인 5상 스텝핑모터를 이용하여 지정된 각도만을 정확하게 회전하도록 하였다. 자동식은 컴퓨터의 측정 프로그램에 의해 측정이 수행되는데 스텝게이지 측정에 주로 이용된다. 이 측정은 측정자 없이 수행되기 때문에 측정자에 의한 열 전달을 배제시킬 수 있으며 측정자의 개인오차를 줄일 수 있는 장점이 있다.

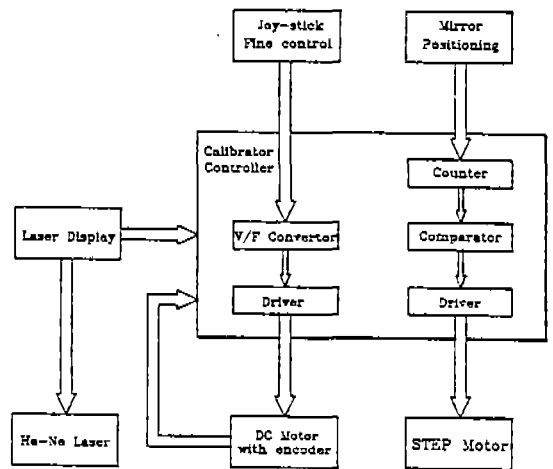


Fig.4 Block diagram of motor driving system

Fig. 5는 전측정장치의 전자제어계이다. Fig. 5에서 전기레벨은 이송대의 이동시 발생하는 회전운동 중의 하나인 피치(pich)를 측정하여 이 피치에 의한 아베오차를 보정하는데 사용된다.

Ⅲ. 성능평가

장치의 성능을 평가하기 위하여 진직도, 피치오차 및 반복성을 측정하였다. 진직도는 레이저 길이측정기를 이용하여 수직, 수평 방향에 대하여 측정된 결과 각각

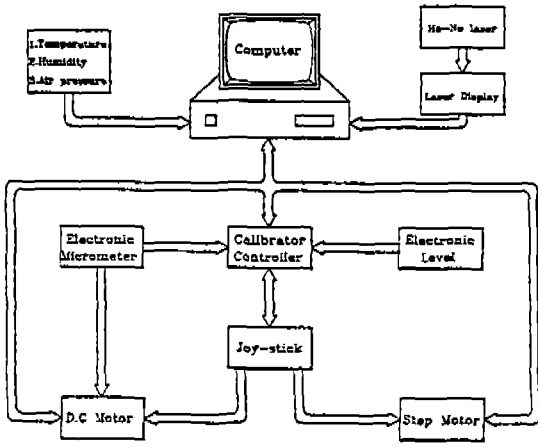


Fig.5 Block diagram of the electronic control system

1 μ m, 0.8 μ m 이었다. 피치는 전기레벨로 측정하였는데 약 2초의 회전오차가 발생되었으며, 이 오차에 의한 아베오차는 0.25 μ m 정도이었다. 그런데 전기레벨로 피치오차를 측정하여 보정하는 경우 0.02 μ m 의 아베 오차가 발생될 수 있다. 반복성은 임의의 블록면을 선정하여 이 면에 대해서 전기마이크로미터의 측정침을 전·후로 이동시키고 좌·우로 회전시킨 후 다시 원위치로 이동했을 때 항상 일정한 값을 지시 하는가를 확인하였다. 측정결과 반복성의 표준편차는 0.01 μ m이었다.

이 장치의 정확도를 평가하기 위하여 우연오차와 계통오차를 table1과 같이 분류할 수 있으며 국제도량형국(BIPM)에서 권고한 rss(root-sum-of squares) 방법을 ⁸⁾ 따른 전체 불확도(Uncertainty)는 피측정물의 온도를 고려하지 않았을 경우에는 (0.05+0.067·L) μ m로, 피측정물의 온도를 고려 했을 경우에는 (0.05+0.1·L) μ m로 계산하여 알수 있다. 여기서 L는 측정길이(m)이다. 한편 장치의 종합적인 성능을 평가하기 위하여 독일연방물리청(PTB)에서 교정받은 500mm의 게이지 블록(재질: Steel)을 본 장치로 측정한 결과 PTB의 측정값과 0.08 μ m의 편차가 있었으나 이 편차는 PTB의 검사 성적서의 오차한계 범위를 만족시키는 것이었다.

IV. 결 론

레이저간섭계를 이용하여 다양한 선형적 표준물을 측

Table 1. Estimated error sources

구분	오 차 항 목	오차크기
우연 오차	○ 아베오차	0.02 μ m
	○ 반복성(3 σ)	0.03 μ m
	○ deadapth 오차	0.02 μ m
	○ 기타(공기요동, 게이지 블록의 평면도, 코너큐브의 평면도 등)	0.03 μ m
	○ 진동주파수 안정도	2 \times 10 ⁻⁸ ·L(μ m)
계통 오차	○ 정렬오차	4 \times 10 ⁻⁸ ·L(μ m)
	○ 공기굴절을 측정오차	5 \times 10 ⁻⁸ ·L(μ m)
	○ 열팽창에 따른 온도 보정오차 (\pm 0.007 $^{\circ}$ C-철의 경우)	7.5 \times 10 ⁻⁸ ·L(μ m)

정할 수 있는 장치를 설계 제작하였다. 장치의 측정범위는 1000mm이고 정확도는 측정대상에 따라 다를 수 있지만 피측정물의 온도보정에 따른 오차를 고려하지 않을 경우 대략(0.05+0.067·L(m)) μ m 수준이다. 본 장치를 교정에 이용할 경우 여러 종류의 표준물을 측정하기 위한 복잡한 준비과정이 생략되어 이로 인한 측정 시간을 훨씬 단축시킬 수 있는 실용성이 있으며 현재 상용으로 시판되는 만능측정기 보다 다양한 종류의 길이 측정기들을 교정할 수 있다. 또한 레이저 반사경의 코너 큐브를 이용하여 반사경의 중심축을 기준으로 회전시키므로써 레이저 정렬상태를 그대로 유지시킬 수 있는 방법을 개발하므로써 그 동안 표준 게이지 블록과 비교 측정에 의존하던 긴 게이지 블록이나 스텝게이지를 절대 측정할 수 있게 되었다. 그리고 컴퓨터를 이용하여 자동측정이 가능하기 때문에 측정자로 인한 열전달 및 우연오차를 배제할 수 있다.

참고문헌

1. 정명세의, 길이(상), 정밀측정교재 85-002, 공업진흥청 pp.15~17, 1985
2. 정명세의, 길이(하), 정밀측정교재 85-009, 공업진흥청 pp.1~13, 1986
3. K. Busch, et al., Ein interferometrischer Verschiebungskomparator für große Längen, Feinwerktechnik Messtechnik, Vol. 92, pp.313

~315, 1984

4. 정명세의, 레이저 간섭장치를 이용한 높이 마이크로미터 교정장치 개발, KSRI-88-12-IR, 한국표준과학연구소, pp.10~17, 1988
5. Misayhki Aoyama, An ultra precision straight motion system(1st report), Precision Engineering, Vol. 54, pp.130~135, 1988.
6. 엄태봉외, 3차원 측정 및 레이저 응용측정, 정밀측정교재 92-025, 공업 진흥청, pp.152~153, 1992
7. Laser Measurement system 5526A, Operation manual, Hewlett packard, pp.1~2, 1973
8. P. Giacomo, News from BIPM, Metrologia 17, pp.69~74, 1981