

레이저 간섭장치를 이용한 높이마이크로미터 교정장치 개발

엄 태봉, 양 상희, 우인훈, 임 재선, 정 명세

Development of height micrometer calibration system by using laser interferometer

Eom Taebong, Yang Sanghee, Woo Inhun, Lim Jaesun, and Chung Myungsai

ABSTRACT

Height micrometer is a kind of end standards. It consists of a stack of gage blocks which is capable of moving up and down by a micrometer head. Height micrometer requires calibration with very high accuracy because its resolution is generally $1\mu\text{m}$ and its accuracy is higher than few micrometers. Conventionally, comparison with gage blocks is used to calibrate height micrometer, but it is less accurate and time consuming method.

A height micrometer calibration system using a laser interferometer instead of gage blocks has been developed.

The measuring range of the system is 300mm, and the accuracy is better than $\pm 0.5\mu\text{m}$. A new method of maintaining the laser-beam alignment is described as well.

1. 서 론

높이마이크로미터 (height micrometer)는 정반을 이용한 정밀길이측정에서 자주 사용되는 단면기준물 중의 하나이다.¹⁾ 여러 개의 게이지블록 (gage block)을 조합시킨 블록군을 마이크로미터 헤드로 상하 이동시킬 수 있도록 만들어

진 높이마이크로미터는 보통 $1\mu\text{m}$ 의 분해능과 수 μm 미만의 정확도를 갖고 있다. 이런 정밀측정기를 교정하기 위해서는 $0.1\mu\text{m}$ 정도의 정밀도와 $1\mu\text{m}$ 이내의 정확도가 요구된다.

높이마이크로미터의 표준교정절차로 추천되고 있으며²⁾ 정밀측정실에서 자주 이용되고 있는 교정법으로 게이지블록과 비교측정을 하는

방법이 있는데 교정에 소요되는 시간이 너무 많고 여러 오차요인 때문에 측정의 불확실도(uncertainty)가 $1\mu\text{m}$ 이상이다. 따라서 서독연방 물리기술청(PTB)⁽³⁾ 등 선진표준연구기관에서는 높이마이크로미터와 같이 비교적 길이가 긴 단면기준물을 자동으로 교정하는 장치를 개발하여 교정시간의 단축과 측정의 정밀 정확도 향상을 이룩하였다.

본 연구에서는 높이마이크로미터 교정의 정밀 정확도 향상과 교정시간의 단축을 목표로 레이저 간섭장치⁽⁴⁾를 이용한 높이마이크로미터 교정장치를 설계 제작하였다.

2. 높이마이크로미터

일반적으로 높이측정에는 하이트게이지(height gage)가 많이 사용되고 있으나 0.01mm 이상의 정밀도를 얻을 수 없다. 이 보다 높은 정밀 정확도가 요구되는 측정에서는 게이지블록과 전기마이크로미터를 이용한 비교 측정이 사용된다. 그러나 이 경우 게이지블록의 밀착오차가 발생되고 측정에 많은 시간이 소요되는 단점이 있다. 따라서 정확한 높이측정을 자주 할 필요성이 있는 곳에서는 높이마이크로미터를 사용하는 것이 유리하다.

높이마이크로미터의 구조는 그림 1과 같으며 여러 게이지블록을 조합하여 측정용 블록은 밖으로, 공간블록은 안으로 삽입되게 결합한 후 나사로 체결하였다. 이 블록군은 마이크로미터 헤드의 암나사와 연결되어 있어 마이크로미터 헤드의 스피들이 회전함에 따라 상하로 이동하게 된다. 보통 마이크로미터 헤드는 조합된 게이지블록의 크기만큼 상하로 움직일 수 있기 때문에 최상단 블록의 높이까지 $1\mu\text{m}$ 단위로 높이를 설정 또는 측정할 수 있다.

일반적으로 높이마이크로미터의 교정에는 게이지 블록과 비교측정기인 전기마이크로미터가 사용된다. 이 경우 조합된 블록군의 각 블록마다 그 블록높이에 해당되는 기준 게이지블록을 선택하거나 수종의 게이지블록을 밀착시킨 후

정반위에서 높이마이크로미터와 기준 게이지블록의 상호 높이차이를 전기마이크로미터로 측정하게 된다. 그러나 조합된 블록의 수, 즉 측정점이 많고 게이지블록을 밀착할 경우 열팽형이 이루어 질 때까지 기다려야 하기 때문에 교정에 너무 많은 시간이 소요된다. 또한 정반의 평면도, 게이지블록의 밀착오차 등으로 교정의 불확실도(uncertainty)가 크다. 따라서 이 방법은 높이마이크로미터를 교정하기에 현실적으로 적합하지 못한 것으로 인식되고 있다.

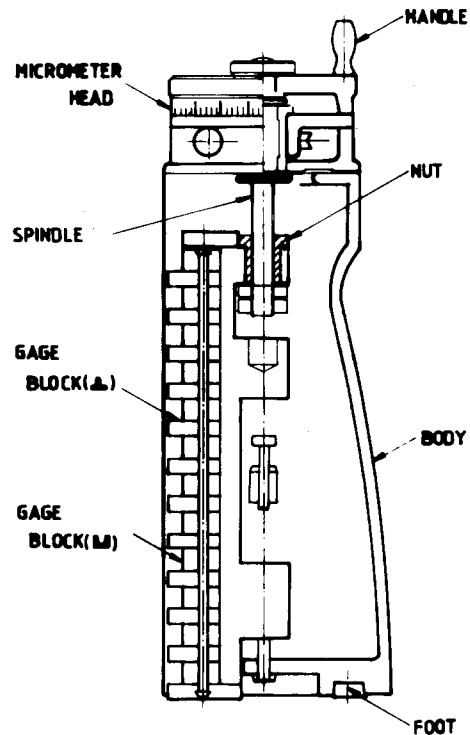


Fig.1 Structure of height micrometer

3. 교정장치의 설계 및 제작

가. 이송장치

이송부의 설계시 가장 먼저 고려해야 할 사항은 전기마이크로미터의 측정침을 어떻게 한 블록면에서 다른 블록면으로 이동시키느냐 하는

것이다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 블록면에서 수직방향으로 곧장 이동시키면 다른 블록면에 측정침이 부딪치게 된다. 이것을 피하기 위하여 측정침만을 수평방향으로 이동시킨 후 상하로 이송하게 할 수 있으나 반복성이 문제된다.

그러므로 전기마이크로미터와 레이저반사경인 corner cube를 함께 움직여야 한다. 그런데 이들을 함께 수평으로 이동시키면 입사광속과 반사광속의 간격이 달라져 레이저 정렬이 유지되지 않는다. 이를 피하는 방법으로 평면거울이 사용되고 있으나 상하 이송부의 진직도가 나쁠 경우 레이저 정렬의 유지가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 레이저 반사경의 중심을 축으로 전기마이크로미터와 반사경을 함께 회전시키는 방법을 이용하였다. 이 방법을 이용하면 레이저 정렬이 유지되면서 전기마이크로미터를 수평으로 움직일 수 있다.

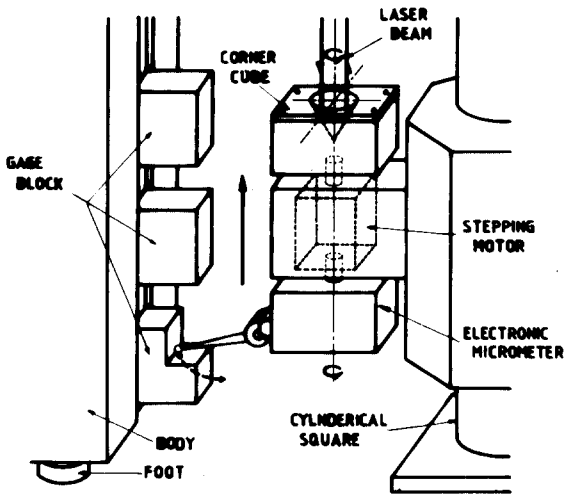


Fig. 2 Maintenance of laser-beam alignment

이송부의 기계적인 정확도, 즉 진직도, 직각도 및 회전운동이 측정의 정확도에 직접적인 영향을 미치기 때문에 이를 간소화 하는 것이 필요하다. 따라서 안내몸체 (guide body)로서 진직도 및 직각도의 기준물로 정밀측정에서 많이

이용되는 원통스퀘어(cylindrical square)를 사용한 이송부의 몸체를 설계 제작 하였다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 정밀 베어링 8개는 원통스퀘어의 몸체를 따라 움직이고 4개는 뒷부분에 수직으로 세워진 straight edge를 따라 이동하도록 하여 측정부가 상하운동을 할 때 회전하지 않도록 하였다. 베어링의 반은 고정시켰고 나머지 반은 스프링으로 밀어주도록 하여 안내면에 굴곡이 있어도 베어링이 항상 안내면에 밀착되어 움직이도록 하였다.

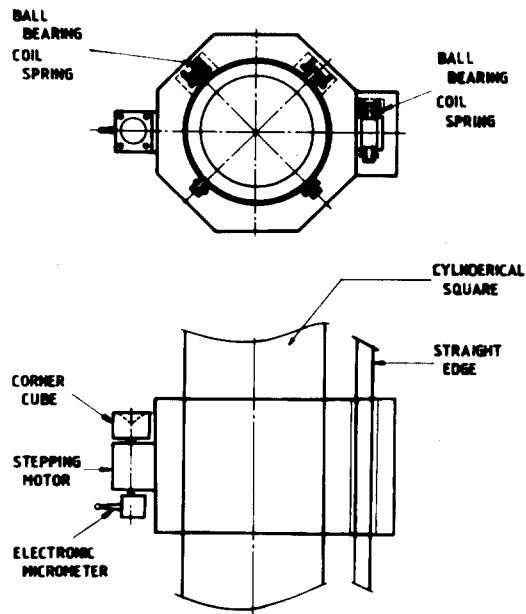


Fig. 3 Structure of guide parts

Lead screw에 의한 이송부의 직접구동은 lead screw 자체의 진직도와 직각도에 의해 측정부의 상하운동이 영향을 받는다. 따라서 이 효과를 최소화 시키기 위하여 그림 4처럼 원통스퀘어 내부에 lead screw의 암나사 역할을 하는 A부분이 상하로 이동하면 A와 steel tape로 연결된 측정부 B가 이동하도록 제작하였다. 한편 A의 무게를 B부계의 약 2배가 되도록 설계하여 lead screw에 걸리는 부하를 줄였다.

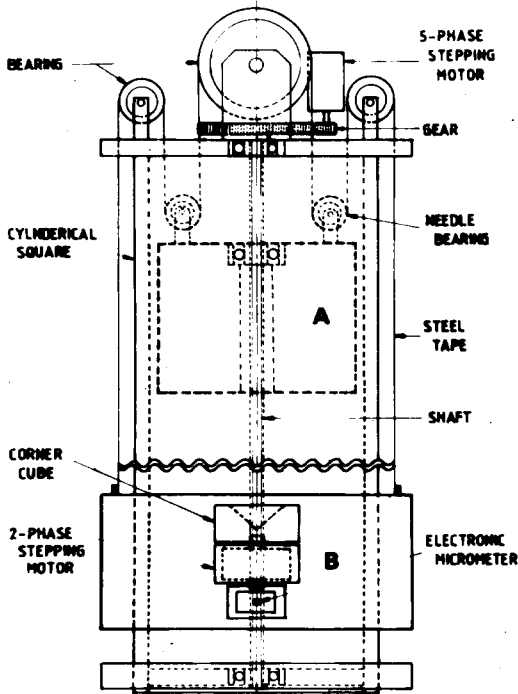


Fig. 4 Cross-section for showing the moving mechanism

나. 눈금부

눈금부는 레이저 간섭장치와 전기마이크로미터로 구성되어 있다. 레이저 간섭장치는 측정부의 전체적인 이동량을 측정하는 역할을 맡고 전기마이크로미터는 측정침의 미소변위를 지시하여 두 지시값의 합으로써 높이마이크로미터의 각 블록 높이를 측정하게 된다.

레이저 간섭장치는 Zeeman안정화 He-Ne 레이저를 광원으로 사용한 Hewlett Packard사의 5526A 장치로 공기굴절률 자동보정장치를 사용할 경우 정확도는 10^{-6} 이상이다.^(5,6) 한편 전기마이크로미터는 inductive방식으로 Mahr 사의 Millitron 1234이며 최소분해능은 $0.01\mu\text{m}$ 이다.

다. 구동장치

본 장치의 구동부는 측정부를 상하로 이동시키는 부분, 즉 lead screw에 동력을 전달하는

부분과 전기마이크로미터를 좌우로 회전시키는 부분으로 되어 있다. 상하이동의 경우 빠른 속도로 원하는 위치까지 정확하게 이동하는 것이 필요하고 좌우이동의 경우 전기마이크로미터의 측정침이 블록면의 동일 위치에 접촉할 수 있도록 항상 일정한 양의 각도 제어가 필요하다.

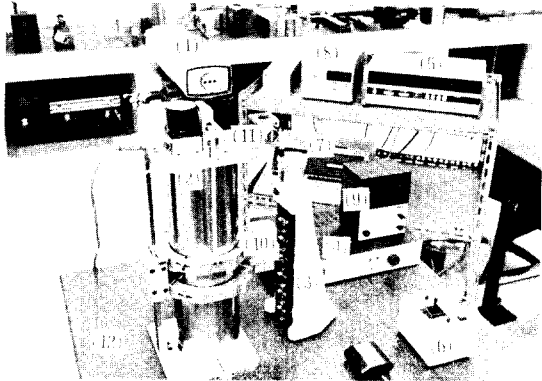
상하구동은 분해능이 0.72° 인 5상 stepping motor를 사용하였으며 joy stick을 사용하여 회전속도와 방향을 변경할 수 있도록 하였다. 제작된 구동부의 최대이동속도는 200mm/분 이고 미세이동 가능량은 $1\mu\text{m}$ 이다. 좌우구동은 분해능이 0.9° 인 2상 stepping motor를 사용하였다. 펄스 발생기에 의한 일정 주파수의 펄스가 stepping motor구동회로에 입력되면 모터가 회전하게 되고, 한편으로 이 입력 펄스 수를 계수하여 그 양이 digital switch에 지정된 각도회전량과 일치되면 모터구동회로에 입력되는 신호를 차단함으로써 지정된 각도 만큼 정확히 회전하도록 하였다.

4. 성능 평가

완성된 장치의 성능을 평가하기 위하여 진직도, 직각도, 반복성 및 pitch오차를 측정하였다. 진직도는 레이저 간섭장치를 이용하여 앞뒤, 좌우방향에 대하여 측정하였다. 측정결과 앞뒤, 좌우방향의 진직도는 각각 $5\mu\text{m}$ 와 $7\mu\text{m}$ 이내로 이 값이 측정에 미치는 오차는 게이지블록의 평면도와 평행도를 고려할 때 $0.01\mu\text{m}$ 이하이다. 직각도는 정밀직각자를 이용하여 측정하였다. 측정결과 직각도는 $1.4\mu\text{m}$ 이하로 이 값에 의해 발생하는 여현오차(cosine error)는 $0.01\mu\text{m}$ 이하이다. 반복성은 임의의 블록면을 선정하여 전기마이크로미터의 측정침을 상하 및 좌우로 이동시킨 후에 다시 원위치 시킴으로써 항상 동일한 측정값을 지시하는지 확인하였다. 측정결과 반복성은 $0.1\mu\text{m}$ 이하 이었다. pitch오차는 3.3초로 이 값에 의해 발생하는 아베오차(Abbe's error)는 약 $0.6\mu\text{m}$ 정도이다.

완성된 장치의 종합적인 측정능력을 평가하기

위해 본 장치를 이용한 교정법과 게이지블록을 이용한 교정법을 적용하여 실제로 높이마이크로미터를 교정하였다. 그림 5는 본 장치를 이용하여 높이마이크로미터를 교정하는 사진이고 표 1은 성능평가에 대한 종합된 결과이다.



- ① laser head ② calibration system
- ③ height micrometer ④ control box
- ⑤ laser display ⑥ joy stick
- ⑦ computer ⑧ automatic compensator
- ⑨ electronic micrometer ⑩ corner cube
- ⑪ interferometer ⑬ surface plate

Fig. 5 Photograph of calibration setup using the height micrometer calibration system

Table 1. Comparison with conventional method

	Laser 간섭장치를 이용한 높이마이크로미터 교정장치	게이지 블록을 이용한 높이마이크로미터의 교정
반복성	0.1 μm	0.5 μm
정밀도	0.3 μm	1.0 μm
정확도	$\pm 0.5 \mu\text{m}$	$\pm 1.5 \mu\text{m}$
교정시간	20분/회	8시간

표 1은 측정범위를 300mm로 했을 때의 결과로써 본 장치를 이용하게 되면 종래의 방법보다

3 배 이상의 정확도 향상이 가능할 뿐 아니라 교정에 소요되는 시간도 대폭 줄일 수 있다.

5. 결 론

레이저 간섭장치를 이용하여 높이마이크로미터를 교정할 수 있는 장치를 설계 제작하였다. 완성된 장치의 측정범위는 0~300mm 이고 정확도는 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 로써 높이마이크로미터의 정밀도보다 좋기 때문에 높이마이크로미터의 교정장치로 만족할 만하다.

특히 본 장치를 이용하여 높이마이크로미터를 교정할 때 소요되는 시간은 20분/회로 준비시간을 감안하더라도 1시간이면 충분하므로 게이지블록을 사용할 때 8시간 이상 소요되는 것과 비교하면 크게 향상되었다. 한편 레이저 반사경으로 corner cube를 이용할 경우 반사경의 중심을 축으로 회전시키면 레이저 정렬이 그대로 유지된다는 사실을 개발하므로써 앞으로 단면표준물들을 교정하는데 많은 활용이 기대된다.

《참고문헌》

- (1) 정명세 외, 길이(하), 정밀측정교재 86-009, 공업진흥청, 1986, PP. 1-13.
- (2) KASTO-ME-24-85, 높이마이크로미터의 표준교정절차, 국가교정검사기관협의회, 1985, PP. 1-15.
- (3) K.Busch, et al., "Ein interferometrischer Verschiebungskomparator für große Längen", Feinwerktechnik Messtechnik, Vol. 92, 1984, PP. 313-315.
- (4) 정명세 외, 레이저길이측정장치개발, KSRI-86-11-IR, 과학기술처, 1985, PP. 4-12.
- (5) Laser Measurement system 5526A, Operation Manual, Hewlett Packard, 1973.
- (6) Laser Measurement system 5526A, Compensation Factor Handbook, Hewlett Packard, 1973.