

전기마이크로미터를 이용한 정밀측정용 정반의 평면도 측정에 관한 연구

김 구영*, 우 인훈**, 임 재선**, 정 명세***, 김 종억****

A Study on the utilization of electronic micrometer for flatness measurement of precision surface plate

G.Y. Kim, I.H. Woo, J.S. Lim, M.S. Chung, and C.E. Kim

ABSTRACT

The flatness of a precision surface plate is generally measured by using precision angular measuring instruments such as laser interferometers, autocollimators and electronic levels. Since these instruments are expensive and measurement procedures are complex, such methods are not widely used in industries.

In this study, an electronic micrometer that is easy to use and inexpensive to produce was developed in order to solve this problem.

The flatness of a black granite surface plate, measured using this device was compared with the values obtained by using the conventional three methods. The results were consistent within $\pm 1\mu\text{m}$.

It proves that the flatness measuring method using electronic micrometers can be utilized for quantitative measurement.

An accessory device that can improve the precision of measurement by attaching to the electronic micrometer was also designed and fabricated.

* 한국표준연구소 공작실(정회원)

** 한국표준연구소 길이연구실

*** 한국표준연구소 표준 1 부장

**** 홍익대학교 기계공학과 정교수(정회원)

I. 서 론

공업의 발달과 더불어 인간은 실체로서의 평면을 여러가지 이유에서 필요로 하게 되었다. 그중에서 옵티칼플랫과 정반은 각각 광학적 평면과 기계적 평면의 기준을 제공하므로써 각종 공작물의 품질검사에 이용되어 왔다. 대부분의 경우에 이러한 평면기준물은 이상평면과 동일하게 취급되고 있지만 엄격한 의미에서 본다면 실제로 존재하는 어떤면도 완전한 평면일 수 없으므로 어떤 면의 윤곽을 정확하게 측정한다는 것은 보다 이상적인 평면의 제작이나 보다 정확한 품질검사에 반드시 필요하다. 일반적으로 측정면의 윤곽을 포함하는 간격이 최소인 두 평행면을 설정한 다음 그 간격을 평면도라 하며, 평면에 대한 평가의 기준으로 삼고 있다. 평면을 측정하는 방법은 옵티칼플랫과 같이 광학적 성격을 갖는 평면일 경우에는 Fizeau 간섭무늬 등을 이용하여 측정하는 경우가 많고, 정반과 같이 반사도가 떨어지거나 비교적 넓은 면을 측정해야 할 경우에는 시준기, 레이저간섭계 등과 같은 미소각도 혹은 길이 측정장치를 이용한다.

피측정물의 종류 및 상태, 크기 등에 따라 평면도 측정방법이 달라지며 요구되는 정확도에 따라서도 측정방법이 결정될 수 있다.

본 논문에서는 간단한 방법으로 평면도를 측정할 수 있는 전기마이크로 미터를 이용한 측정장치를 설계 제작하여 평면도를 측정 한 결과를 기존의 3방법으로 측정 한 결과와 비교하였으며, 그 결과가 $\pm 1\mu\text{m}$ 이내에서 일치하는 좋은 결과를 얻었다.

II. 평면도 측정 및 계산방법

평면도를 측정하기 위해서는 측정방법의 결정과는 별도로 측정점의 선택과 기준평면의 설정방법 등이 결정되어야 한다. 우선 평면도 측정은 진직도 측정의 확장이므로 진직도 측정에 이용될 수 있는 방법은 모두 평면도 측정에 이용될 수 있다. 원리적인 면에서 살펴보면 진직도 측정에는 반드시 기준되는 직선이 있어야 하고 그 기준직선으로 부터 벗어나는

정도를 측정하게 된다.¹⁾ 기준직선의 선택에 따라 측정방법이 결정될 수 있는데 예를들면 강선, 스트레이트 엣지, 수평선, 균일한 굴절율을 갖는 매질속에서의 빛의 경로 등이 기준직선으로 이용된다. 이 중에서 강선과 스트레이트엣지를 이용하는 방법은 정확도가 떨어지므로 논하지 않는다. 수평선을 이용하는 방법으로 수준기가 있으며, 빛의 경로를 이용하는 방법으로 레이저 간섭계 및 시준기가 있다.

다음에는 측정점의 선택이 측정에 선행되어야 한다. 이것은 측정선을 어떻게 조합하면 측정면의 대부분을 고르게 통과하는지와 한 직선상에서 측정점간의 간격을 선정하는 문제이다.

직선의 조합에는 여러가지가 있으나 본 연구에는 가장 널리 쓰이고 있는 그림 1과 같은 Union Jack²⁾ 방식을 사용 하였다.

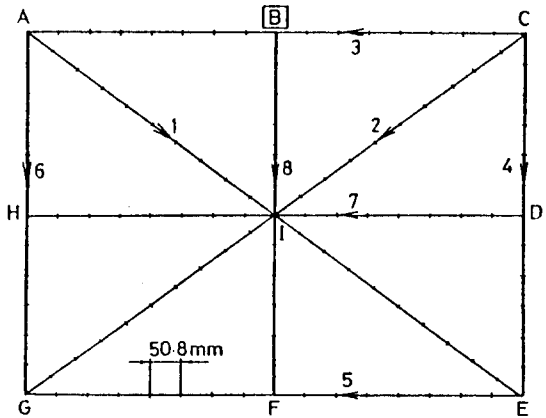


Fig. 1 Union Jack grid pattern

많은 경우 측정점간의 간격은 대략 50mm 정도가 적당하다³⁾. 측정점의 간격이 너무 작아도 측정시간이 오래걸리고, 측정횟수의 증가에 따른 오차의 요인이 많아진다는 단점이 있으며, 너무 커도 실제평면의 윤곽을 많이 잃어 버릴 수 있다는 점에 유의해야 한다. 각 직선에 대한 측정이 끝나면 각 측정점들에 대한 기준평면으로 부터의 높낮이를 계산해야 하는데 이때 어떤 방식으로 기준평면을 설정하느냐에 따라 그 값이 조금씩 달라진다. 많이 쓰이는 방법으로는 서로 멀리 떨어져 있는 3점을 영점으로 하는 방법, Union Jack 과 같이 사각형을 둘레로 하는 경우에 대각선으로 마주보고 있는 두 점을 영점으로

하고 나머지 대각선에 해당하는 두점을 같은 높이로 하는 균형평면법 등이 있고, 최소 자승법에 기초를 두거나 평면도를 최소로 할 수 있는 기준 평면의 설정방법등은 평면도 해석에 컴퓨터가 동원 되면서 부터 쓰이게 되었다.⁴⁾

본 연구에서는 균형 평면법을 이용하였고 측정값의 처리를 위하여 Hewlett packard 사의 소프트웨어인 DMAS(Dimensional Metrology Analysis System)를 이용하였다.

III. 정반의 평면도 측정

피측정물인 정반은 국내생산된 크기 1500mm×1000mm 인 석정반을 선택하였다. 측정은 온도 $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, 습도 50% R.H 이하로 유지되는 항온항습실에서⁵⁾행하여 졌으며 측정에 이용되는 모든 장비는 실험실 환경 조건에 평형되도록 측정실에서 24시간 이상 보관되었다.

측정영역은 가로 32" (812.8mm) 세로 24" (609.6mm)로 정반의 한부분을 선택하였다. 그 이유는 Union Jack 방식의 측정에서 요구되는 대각선, 가로 세로 측정선의 길이의 비가 5:4:3처럼 정수관계를 갖게 하는것이 측정오차를 최소로 할 수 있기 때문이다.

또한 Union Jack 방식에서 각 측정선은 짝수개의 측정구간을 필요로 하므로 측정점의 간격은 2" (50.8)로 하여 측정구간 수의 비가 12:16:20이 되도록 하였다.

측정은 앞에서 기술한 바와 같이 레이저 간섭계, 시준기, 전기식 수준기를 이용하여 측정한 후 본 연구에서 고안된 전기마이크로 미터를 이용한 측정 장치로 측정한 결과와 비교하였다.

레이저 측정에는 사진1과 같이 HP 5526A 레이저 간섭장치를 이용하였으며 측정값의 입력 및 계산을 위하여 HP85 B 컴퓨터를 interface 시켰다.⁷⁾

시준기를 이용한 측정에는 사진2와 같은 Davison optronics 사의 D656 시준기가 사용되었다.

전기식 수준기를 이용한 측정에는 사진3에서 보는 바와같이 Tesa의, 각형 Minilevel 2대를 사용하였다. 왜냐하면 한대만을 사용할 경우에는 정반의 전

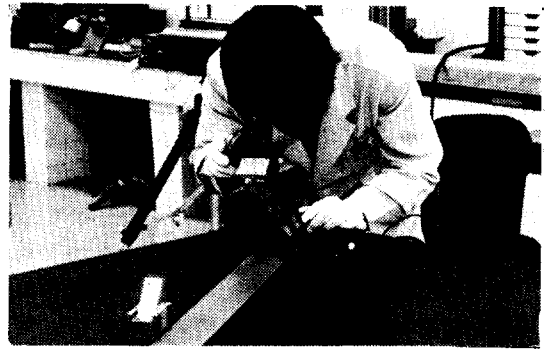


Photo 1. Flatness measurement by Laser Interferometer

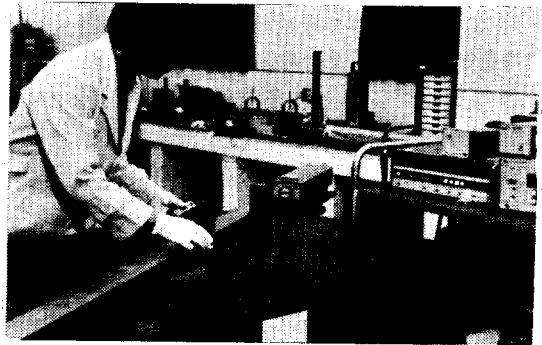


Photo 2. Flatness measurement by Autocollimator

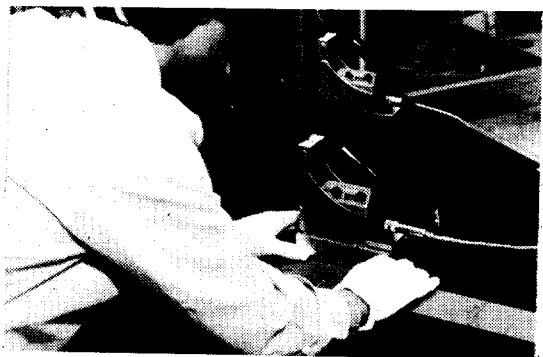


Photo 3. Flatness measurement by Electronic Level

체적인 기울어짐이 측정오차의 요인이 될 수 있기 때문에 사진3과 같이 한대는 정반위의 임의의 위치에 고정시키고 다른 한대를 이동시키면서 측정한 다음 (이동수준기의 지시치) - (고정수준기의 지시치)를 측정값으로 해야하기 때문이다. 이때 고정 수준기의

방향이 이동수준기의 측정방향과 평행하게 되어야 한다.⁸⁾

본 측정에 이용된 수준기에는 위와같은 용도를 위하여 두 지시치의 차를 직접 지시하는 기능이 있기 때문에 이 과정의 계산은 별도로 할 필요가 없었다.

IV. 전기마이크로미터를 이용한 측정장치 설계제작

1. 측정원리

전기마이크로미터는 길이의 변위를 전기적인 변위로 바꾸어 그 전기신호로써 피측정물과 기준물(master)과의 치수 차이를 읽도록 한 것이다. 전기마이크로미터를 이용한 평면도 측정에서 가장 중요한 것은 영점의 설정이다.

이 방법은 다른 측정방법과는 달리 그림2에서 보는 바와 같이 기준직선을 장치내의 고정된 두 발을 잇는 직선으로 취하기 때문에 영점 설정시 발생된 오차는 측정점이 많아질수록 누적되는 정도가 심하게 된다. 따라서 이 장치의 영점 조절에 이용되는 기준물은 정확하게 진직도가 측정된 것이라야 한다. 이러한 기준물로는 optical flat 등을 사용할 수 있다.

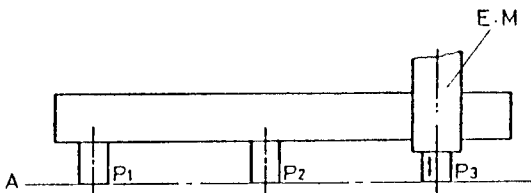


Fig. 2 Flatness measuring principle by Electronic Micrometer
(P_1, P_2 : fixed feet, P_3 : movable foot)

그림2에서 발 P_1, P_2 는 고정되어 있고, 직선 A는 P_1, P_2 가 이루는 가상 기준직선이며, P_3 는 표면의 굴곡에 따라 상하로 움직이는 전기마이크로미터의 측정발을 나타낸다.

여기서 발 P_1, P_2 가 측정하고자 하는 피측정 직선 위에 놓이게되며, P_3 는 피측정표면의 굴곡을 감지하여 지시계에 그 수치를 나타내게 하는 것이다. 물

론 측정시작전에 측정장치에 부착된 전기마이크로미터의 배율(gain)조정을 하고, 배율 조정이 끝난 후에 optical flat 등과 같은 기준물상에서 측정장치의 영점조정을 실시하게 한다.

전기마이크로미터를 이용한 평면도 측정에서 사용되는 누적치 계산법은 두개의 발을 연결하는 직선이 기준직선이 되기 때문에 빛의 경로를 기준직선으로 취하는 autocollimator, laser interferometer 등과 같은 측정방법과 약간의 차이가 있다.

그림3은 전기마이크로미터를 이용한 평면도 측정장치에 의해 측정된 표면상태를 나타낸 것이다.

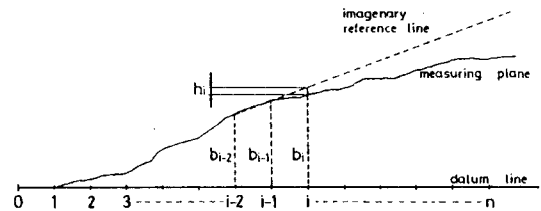


Fig. 3 Measured surface profile by flatness measuring device with electronic micrometer

그림3에서 0, 1, 2, 3, ..., n,는 측정점을 나타낸 것이고 $h_1, b_1 (i=2, 3, 4, \dots, n)$ 를 각각 가상기준선에 대한 높이차(측정치)와 누적치라 할때, 누적치 b_1 는 다음식에 의하여 결정된다.

$$b_1 = 2(b_{1-1}) - b_{1-2} + h_1$$

이때에 b_0, b_1 는 측정치의 두발이 최초로 놓이는 점의 누적치 이므로 0이 된다.

2. 측정장치 설계 및 제작

전기마이크로미터를 이용한 평면도 측정장치의 설계에는 그 기능과 특성에 관련된 다음과 같은 몇 가지 조건이 필요하다.

- i) 두개의 고정발과 전기마이크로미터의 측정발은 동일선상에서 그 간격이 일정하게 유지되어야 하며, 또한 서로 평행하게 피측정면에 대해 수직이 되도록 설계되어야 한다.
- ii) 장치전체가 피측정면위에서 평형상태를 유지할 수 있도록 보조발이 있어야 한다.

- iii) 전기마이크로미터 holder의 chucking 압력이 마이크로미터 spindle 원주 주위에 균일하게 작용되어야 하며, 상하 이동이 가능해야 한다.
- iv) 모든 부품은 흔들림이 없이 고정되어야 하고 호환성이 있어야 한다.

- v) 장비전체는 제작이 용이하고, 안전성과 경제성이 있어야 하며 이동이 간편해야 한다.
- 따라서 위와 같은 사항을 고려하여 설계된 평면도 측정장치의 조립도를 나타낸 것이 그림4이다.

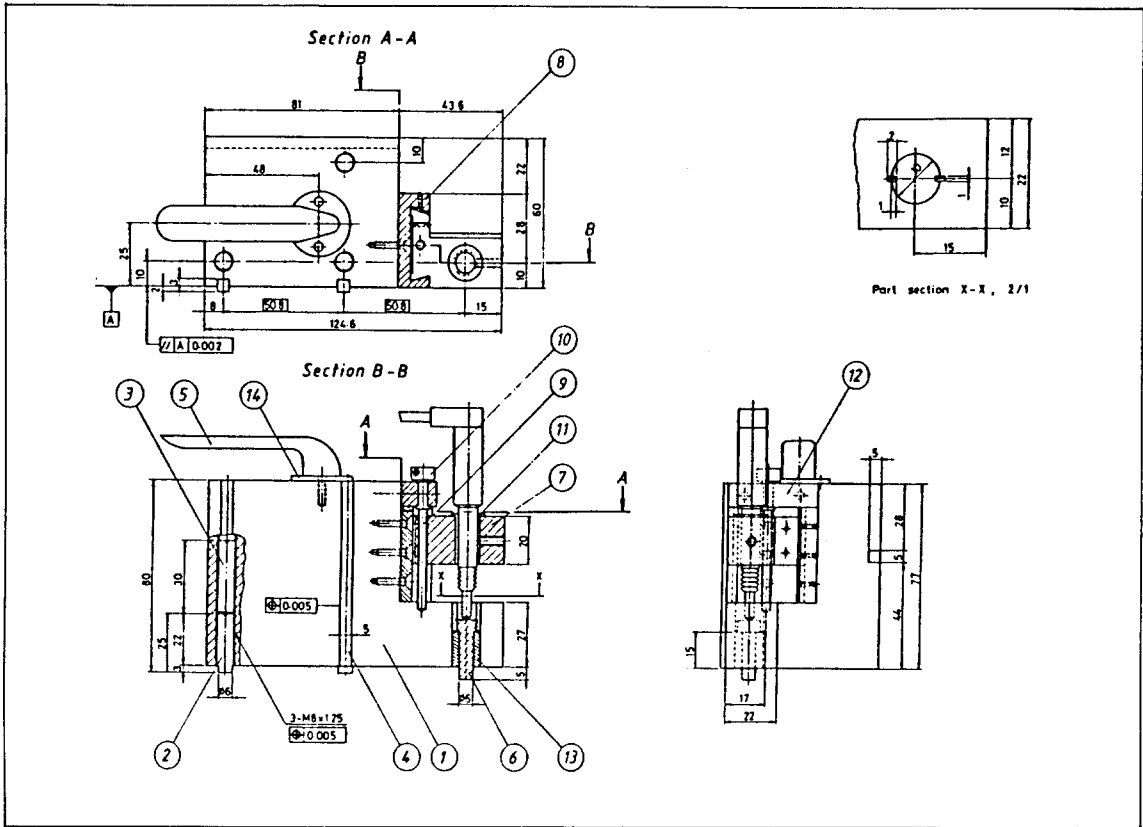


Fig. 4 Assembly drawing of flatness measuring tool with Electronic Micrometer

장치의 구조는 그림4에서 보는 바와같이 두개의 발 및 보조발이 포함된 몸체(main body)와 전기마이크로미터 측정침을 chucking 하여 사용할 수 있는 부분으로 크게 나눌 수 있다.

부품①은 main body를 나타내며 이동에 편리하도록 aluminum 합금을 사용했고 윗 부분에는 손잡이를 달았다.

부품②는 발의 역할을 하는 고정 pin으로서 나사 조립을 할 수 있게하고,

부품③ clamping bolt에 의해서 고정시키는 구

조로 하였으며, 최종적으로 밀면을 lapping 가공하고 재질은 탄소공구강을 사용하였다.

부품⑥측정발은 평면의 굴곡에 따라 그 정도를 전기마이크로미터가 감지할 수 있도록 상하 수직으로 움직일 수 있으며, 최종적으로 밀면을 Lapping 가공하고 재질은 탄소공구강으로 하였다.

부품⑦-⑪은 전기마이크로미터를 chucking 하여 상하 이동 시킬 수 있는 부품들로서 이동방식은 dove tail 방식을 사용하였다.

여기서 부품 ②두개의 발과 부품 ⑥측정발사이의

간격을 2" (50.8mm)로 한것은 본 연구에 사용된 autocollimator 및 Laser interferometer의 측정발의 간격이 2"이므로 이들 장치들과 비교 측정을 하기위함이다.

이 장치에 사용한 전기마이크로미터 측정침은 독일 Mahr Feinprüf GmbH의 Type 1234IC이다. 사진4와 사진5는 각각 완성된 장치와 그 장치를 이용한 평면도 측정모습을 나타낸 것이다.

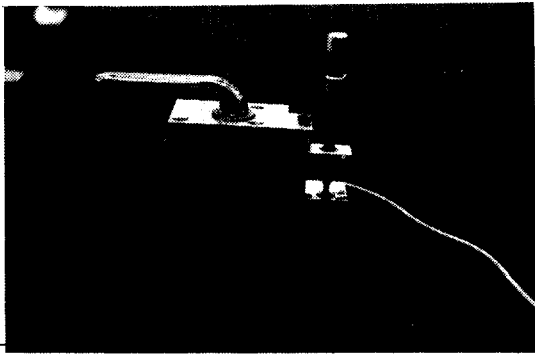


Photo 4. Flatness measuring tool with Electronic Micrometer

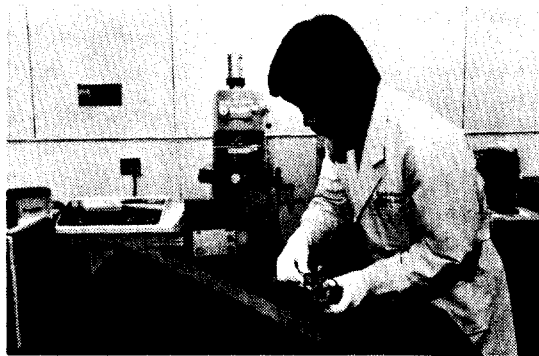
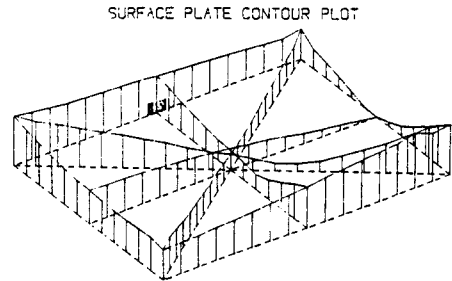


Photo 5. Flatness measurement by Electronic Micrometer

V. 결과 및 고찰

그림5-그림8은 각 측정방법에 의한 평면도 측정결과를 수치와 입체적으로 표현한 것이며 정반의 굴곡상태가 측정방법에 따른 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.



PLATE# 841001	MAX HEIGHT: -.003311 in	CLOSURE 7 ~.002810
DATE: 88/4/28	BY: KIM	AUTOCOLLIMATOR
		CLOSURE 8 ~.003408

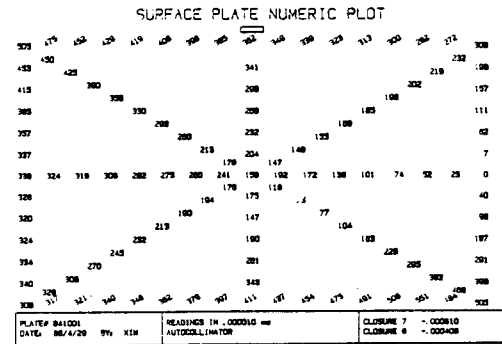
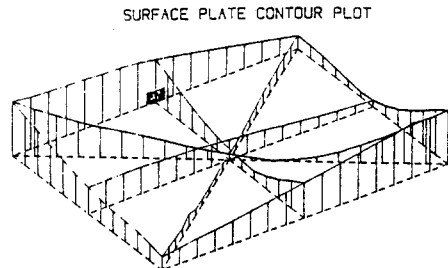


Fig. 5 Measuring result by Autocollimator



PLATE# 841001	MAX HEIGHT: -.002897 in	CLOSURE 7 ~.001898
DATE: 88/5/14	BY: KIM	LASER
		CLOSURE 8 ~.002898

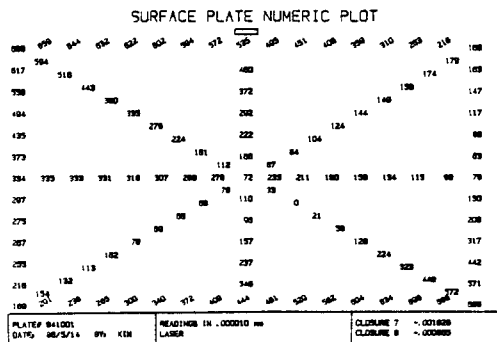


Fig. 6 Measuring Result by Laser Interferometer

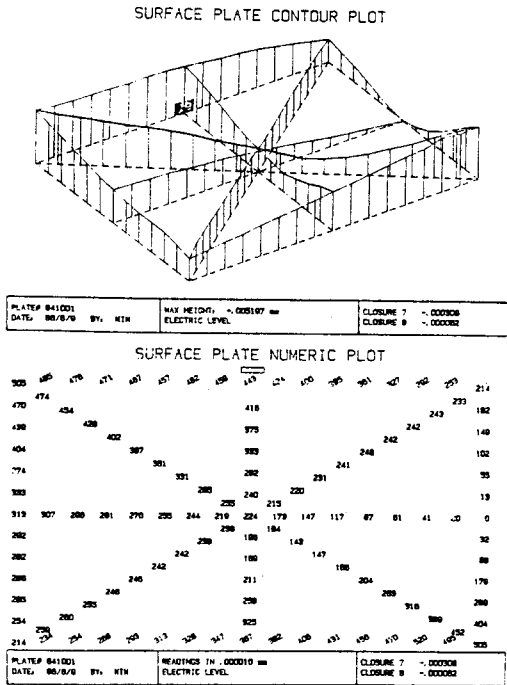


Fig. 7 Measuring result by Electronic Level

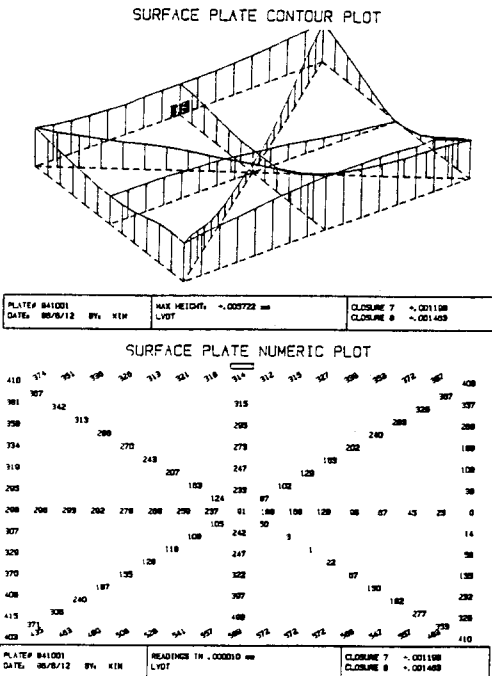


Fig. 8 Measuring result by Electronic Micrometer.

대부분의 경우 그림1과 같은 Union Jack 방식의 측정에서는 대각선 방향(1,2번선)의 측정으로부터 결정되는 중앙점 I의 높이와 십자방향(7,8번선)의 측정으로부터 결정되는 중앙점의 높이 사이에 차이가 생기게 되는 데 이것을 폐쇄오차(closure error)라고 하며³⁾, 이것으로부터 측정의 신뢰도를 어느정도 평가할 수 있다.

즉 폐쇄오차가 큰 측정은 일단 측정과정에서 오차가 크게 발생한 것이 명백하기 때문에 오차요인을 제거한 다음 측정을 다시 해야 한다.

표1은 각 방법에 의한 폐쇄오차와 기준평면을 0으로 했을때의 최대점의 높이를 평면도로 규정하여 나타낸 것이다.

Table 1. Comparison of flatness measuring results.

(Unit : μm)

Measuring Method	Flatness (max.height)	Closures Error	
		Line 7	Line 8
Autocollimator	+ 5.5	+ 0.6	+ 0.4
Laser Interferometer	+ 7.0	+ 1.8	+ 0.7
Electronic Level	+ 5.2	- 0.3	- 0.1
Electronic Micrometer	+ 5.7	+ 1.2	+ 1.5

표1에서 알 수 있는 것은 전기식수준기와 시준기의 폐쇄오차가 비교적 작고 레이저 간섭계에 의한 측정의 평면도가 다른방법에 의한 평면도와 $1\mu\text{m}$ 이상의 차이를 갖는다는 것이다.

본 연구의 결과에서 주목할 것은 전기마이크로미터에 의한 측정결과가 예상외로 정확하다는 것이다. 왜냐하면 그 동안 전기마이크로미터에 의한 정반의 측정은 비교적 쉽고 간편하며 빠르게 정반의 평면도를 정성적으로 확인할 수는 있지만 정량적인 측정방법으로는 부적당한 것으로 취급되어 왔기 때문이다.

따라서 본 연구의 결과로부터 전기마이크로미터식 평면도 측정의 신뢰도가 확인되었으므로 수평으로부터 임의의 각도를 갖고 있는 평면의 측정과 같이 다른 측정방법으로 곤란한 경우에 전기마이크로미터식 측정방법이 유용할 것이다. 또한 전기마이크로미터 대신 다이얼 gage 등을 부착시킬 수 있으며

로 어디서나 쉽게 사용할 수 있다는 장점이 있다.

VI. 결 론

현재 사용하고 있는 정반의 평면도 측정방법들 중 에서 자주 사용되고 있는것은 시준기, 레이저간섭 계, 전기식수준기등을 이용한 방법들이 있지만 이러한 측정방법들은 사실상 산업체의 측정실에서 사용하기에는 부적당하다.

따라서 본 연구에서는 좀더 편리하고 경제성 있는 측정을 위하여 새로이 고안되어 설계 제작된 전기마이크로미터를 이용한 평면도 측정장치에 의한 평면도 측정이 위의 3가지 방법들과 비교하여 $\pm 1\mu\text{m}$ 이 내에서 일치함을 정량적으로 분석하고 그 실용성을 증명하였다.

또한 이 측정방법은 취급이 용이하기 때문에 수평에서 많이 기울어진 평면이나 어느정도 흔들림이 있는 면이라도 평면도 측정을 하는데 크게 구애받지 않는다는 장점을 가진다.

2. B.S. 8/7: 1972, Specification for surface plates and tables, appendix E.
3. Hewlett packard, "User's Guide, 55286S and 55288S Dimensional Metrology Analysis System," OCT., 1984.
4. C.V. Collett, "Calibration of surface plates and computer-aided flatness analysis," Quality Today, March, 1986.
5. M.S. Chung and Fellows, "Guideline for the standard laboratory design," "KSRI-IR-10, Dec. 1981.
6. Alain Cardou and Gratien Bouillon, "Some considerations on the flatness of surface plates," Microtechnic, Vol.26, No.7, Sep. 1972.
7. Laser measurement system application note 156-2, "Calibration of a surface plate," Hewlett Packard.
8. Instruction manual for Electronic Level, "MINILEVEL," TESA.

Reference

1. M.S. Chung, J.W. Won, J.S. Lim and T.B. Eom, "Precision angle measurement," 2nd edition, KSRI-ET-63, 1984.