

INDEX HEAD를 이용한 절대 진원도의 측정 평가에 관한 연구

이 동 주*

A Study on the Measurement and Evaluation of LSC Roundness by Index Head

Dong-Ju Lee*

Abstract

A study on the measuring and evaluation of LSC (Least Square Center) roundness was carried out.

The experimental set-up was made by index head and indicator, and the measuring data were compensated by a developed computer program.

The results obtained are as follows :

- 1) An index head can conveniently be used to measure LSC roundness.
- 2) A program for calculating LSC roundness is developed.
- 3) Without a high quality roundness measuring apparatus, LSC roundness can be measured and calculated by using index head and the developed program in a machine shop as well as in a measuring room

1. 서 론

기계공업의 발전과 함께 각종의 기계, 장치 및 기동은 보다 고정도화, 다기능화 및 고품질화가 계속 추구되어 있다.

그러나, 이러한 개선 및 개량이 이루어지기 위해서는 필연적으로 이에 들어가는 각종 부품들의 고정도화와 고품질화가 선행되어야 한다. 특히, 많은 부품들로 이루어지는 복잡한 기계장치류에 있어서는 이들 부품 하나하나에 대해 요구되는 치수공차 이외에,

조립에 밀접한 영향을 미치고 있는 형상공차가 어느 일정한 한계 내에 들어가지 않으면 조립불량이 발생하거나, 정밀도 및 성능, 수명등에 지대한 영향을 미치게 된다. 이러한 영향을 미치고 있는 형상공차, 즉 형상정밀도 중, 진원도 공차는 회전정밀도와 매우 밀접한 관계에 있는 것으로써 그 중요성은 날로 더해가고 있다.

그동안 진원도를 측정함에 있어서는 마이크로미터에 의한 측정법, 3점법에 의한 측정법, 진원도 측정기에 의한 측정법, 양 센터지지에 의한 측정법등이

* 충남대학교 공과대학 기계과

이용되어 왔다²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾. 그러나, 마이크로미터에 의한 진원도 측정법은 비록 간단하고 편리 하기는 하나 등경의 비뚤어진 원의 측정이 불가능하고, 정도가 낮다는 결점 때문에 현장에서 일부 사용되어 왔을 뿐이며, 양센터 지지에 의한 측정법은 정확한 각도 분할과, 장시간의 복잡한 계산이 필요하다는 이유로 그다지 이용되지 못하였다⁷⁾⁸⁾⁹⁾. 3점법에 의한 진원도 측정법은 등경의 비뚤어진 원의 파악은 가능하나 V-block의 각도에 따라 다른 값을 지시하고 있어 이 또한 이용에 문제가 있다.

한편, 진원도 측정기에 의한 측정방법은 편리하기는 하나, 장비가 고가이고 고정밀도 측정시 측정정도에 문제가 있다는 결함 때문에 이것 역시도 완전한 것은 못되고 있다¹⁰⁾.

따라서, 본 연구에서는 이러한 제반의 문제점 내지는 결함을 어느정도 해결하고 현장 및 측정실에서도 용이하게 이용할 수 있는 Index head를 이용한 절대

진원도의 측정법(일종의 양센터 지지법)을 제안하고자 한다.

2. 이론적 배경

Fig. 1의 (a)는 원통의 피측정물을 가상중심 O를 중심으로 하여 회전하는 것을 보여주는 것으로써, 각각의 회전각도에서의 가상중심에서 원주까지의 거리의 차에 따라서 원주상에 접촉된 인디케이터의 지침에 흔들림이 나타난다.

이는 기하학적 이상 중심에 의한 회전이 아니고, 가상중심에 의한 회전이므로 지침 흔들림의 최대 및 최소 지시값의 합이 곧 진원도라고 할 수는 없다. 따라서, 이상중심을 기준으로 하여 회전시킨 것과 같은 결과를 나타내기 위해서는 적절한 보정을 해야한다.¹¹⁾

Fig. 1의 (b)는 Fig. (a)에서 평균원 만을 끌어내

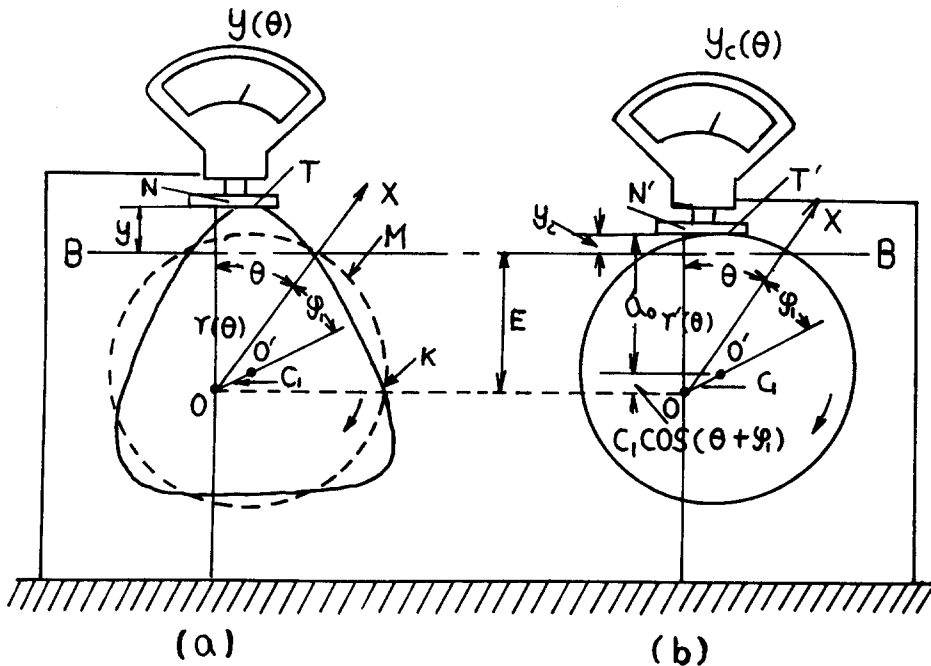


Fig. 1 A ROUNDNESS MEASURING METHOD BY LEAST SQUARE CENTER

어 이를 동일한 가상중심을 기준으로 하여 회전시켰을 경우, 인디케이터의 지침의 흔들림 관계를 보여주는 그림이다. 이른바 반경법에 의한 절대 진원도라함은 평균원에 대한 최대 소요철의 절대값의 합으로 나타내는 것으로써 그 관계는 다음과 같다.

Fig. (b)에서 원의 중심 0'는 측정중심 0보다 C₁만큼 편심되고, 기준선 x보다 ψ₁만큼 위상이 벗어나있다. 평균원의 반경을 a₀로 하고, 기준선에서 측정하고 있는 동경(動徑) r'까지의 각도를 θ라 하면,

$$r'(\theta) = a_0 + c_1 \cos(\theta + \psi_1) \dots\dots\dots(1)$$

이 된다.

인디케이터의 지침 y_e가 0을 지시할 때의 측정자의 위치를 BB로 하고 측정 중심에서 그곳까지의 거리를 E라고 하면, y_e는

$$y_e(\theta) = r'(\theta) - E = (a_0 - E) + c_1 \cos(\theta + \psi_1) \dots\dots\dots(2)$$

로 표시한다.

한편, Fig. (a)의 피측정물을 회전시켰을 경우의 인디케이터의 흔들림은 θ에 대해 2π를 주기로 하는 주기함수로 표시할 수가 있다.

즉,

$$r(\theta) = a_0 + a_1 \sin \theta + a_2 \sin 2\theta + a_3 \sin 3\theta + \dots\dots\dots + a_n \sin n\theta \dots\dots\dots + b_1 \cos \theta + b_2 \cos 2\theta + b_3 \cos 3\theta + \dots\dots\dots + b_n \cos n\theta \dots\dots\dots(3)$$

단, a_n, b_n은 상수로 표시된다. 식 (3)은 다시

$$r(\theta) = a_0 + c_1 \cos(\theta + \psi_1) + c_2 \cos(2\theta + \psi_2) + \dots\dots\dots + c_n \cos(n\theta + \psi_n) \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{단, } c_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}, \tan \psi_1 = -a_1/b_1$$

$$c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}, \tan \psi_n = -a_n/b_n, n = 2, 3, \dots\dots$$

로 나타내는 것이 가능하다.

Fig. (a)의 인디케이터의 읽음 y(θ)는

$$y(\theta) = r(\theta) - E = (a_0 - E) + c_1 \cos(\theta + \psi_1) + \sum_{n=2}^{\infty} c_n \cos(n\theta + \psi_n) \dots\dots\dots(5)$$

가 되며 식 (2)와 (5)를 비교하면,

$$\sum_{n=2}^{\infty} c_n \cos(n\theta + \psi_n) = a_2 \sin 2\theta + \dots\dots$$

$$+ a_n \sin n\theta + \dots\dots + b_2 \cos 2\theta + \dots\dots + b_n \cos n\theta + \dots\dots\dots(6)$$

가 진원도를 나타내는 항이다. 이를 ε(θ)로 표시하면, 식 (5)에 의하여

$$\epsilon(\theta) = y(\theta) - ((a_0 - E) + a_1 \sin \theta + b_1 \cos \theta) \dots\dots(7)$$

따라서, 각 위치에서의 평균원으로 부터의 오차 ε_e(θ)는

$$\epsilon_e(\theta_i) = y(\theta_i) - ((a_0 - E) + a_1 \sin \theta_i + b_1 \cos \theta_i) \dots\dots(8)$$

$$\text{단, } a_0 - E = 1/m \sum_1^m y(\theta_i)$$

$$a_1 = 2/m \sum_1^m y(\theta_i) \sin \theta_i$$

$$b_1 = 2/m \sum_1^m y(\theta_i) \cos \theta_i$$

m : 원주 등분수

로 표시되며, 절대 진원도 LSC는

$$LSC = |\epsilon_e(\theta_i) \max - \epsilon_e(\theta_i) \min| \dots\dots(9)$$

로 표시된다.

3. 실험

3.1 측정장치

Fig. 2는 본 실험에 사용한 실험 장치를 나타내는 것으로써 ①은 시편, ②는 척크, ③은 인디케이터, ④는 분할판, ⑤는 심압대이다.

측정 시편은 선삭가공에 의하여 원통으로 가공한 것을 형상 편차에 따른 진원도 영향을 보기위해서 형상수정을 실시하였다.

시편의 형상은 선삭 그대로인 진원형 원과, 타원형, 3각형, 4각형으로 형상수정한 원등 모두 4종류의 원을 취하고, 등분수 2~24로 하여 인디케이터에 의한 측정값을 얻었다.

본래, 측정 정밀도를 높이기 위해서는 인디케이터 대신 전기 마이크로미터(Electric micrometer), 미니미터(Minimeter), 마이크로케터(Microkator) 등을 사용하여야 하나, Index head의 절대 진원도 측정기로써의 사용가능성만을 보기 위해서 다이얼 테스트 인디케이터를 사용하였다.

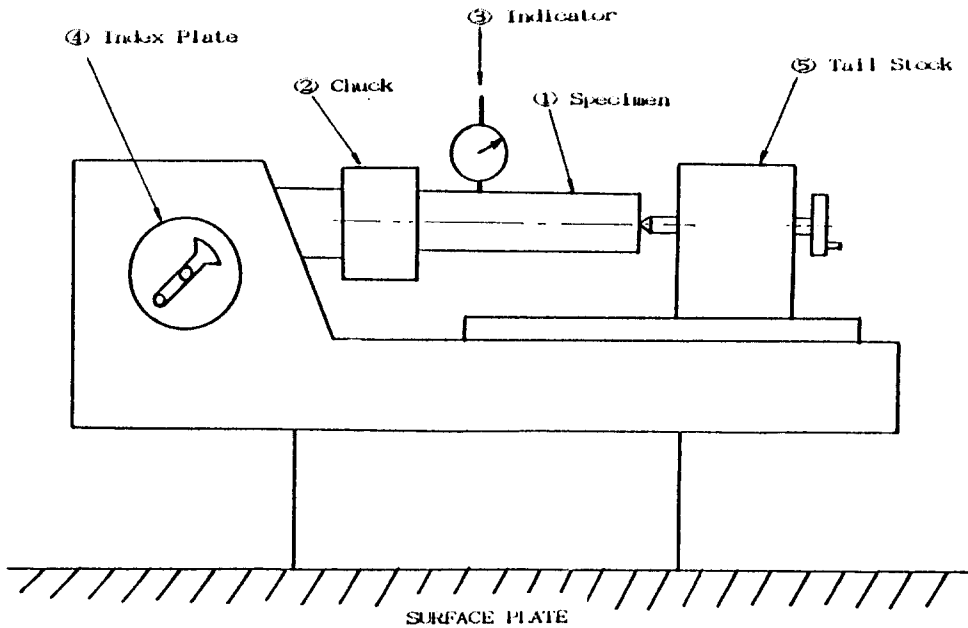


Fig.2 EXPERIMENTAL SET-UP

이렇게하여 얻어진 측정 Data는 식 (8) 과 (9) 를 이용함으로써 각분할 회수에 따른 절대 진원도를 계산하고, 동일 시편을 진원도 계측기(Talyround 500)로 측정한 값인 최소 영역중심법(MZC)에 의한 진원도, 최대 내접원 중심법(MIC)에 의한 진원도, 최소 외접원 중심법(MCC)에 의한 진원도 값과 비교하였다.

한편, LSC 값을 얻기 위한 분할대로써는 그 척의 회전 중심이 분할등분시에 변하지 않아야 함으로, 이를 확인하기 위하여 테스트 바를 척과 심압대 센터에 고정한후 회전 중심의 변동 유무를 확인하였다. 그 결과 1 μ m이내에서 만이 회전중심이 변하고 있어, 본 실험에의 이용에는 무리가 없는 것으로 판명되었다.

3.2 진원도 계산 프로그램

식 (8) 과 (9) 를 이용함으로써 각 등분수에 따른 절대 진원도의 계산이 가능하다. 이를 하나하나 계산 한다는 것은 매우 번거롭고, 많은 시간을 요할 뿐만

아니라, 오산의 우려가 있어 이의 계산을 신속 정확히 할 수 있는 PROGRAM을 작성하였다.

Fig. 3은 이에 대한 FLOW CHART를 나타낸 것으로서, 그림 중의 M은 m, E(I)는 $y(\theta_i)$, AO는 a.-E, A는 a_i, B는 b_i, EE(I)는 $\epsilon_i(\theta_i)$, LSC는 최소 자승법 진원도(Least square center)를 각각 나타낸다.

4. 실험 결과 및 고찰

Fig. 4의 (a) (b) (c) (d)는 각각 진원형, 타원형, 3각형, 4각형에 대한 진원도 그래프와 분할 등분수에 따른 LSC값 및 참고로 MZC, MCC, MIC 값을 나타낸것이다.

Fig. (a)의 진원형 시편 경우에는 분할 등분수 12 회 이상에서 LSC 진원도 값 8~9를 보이고 있으며, 진원도 그래프에서는 MZC, MCC, MIC가 각각 9, 9, 11를 나타내고 있다.

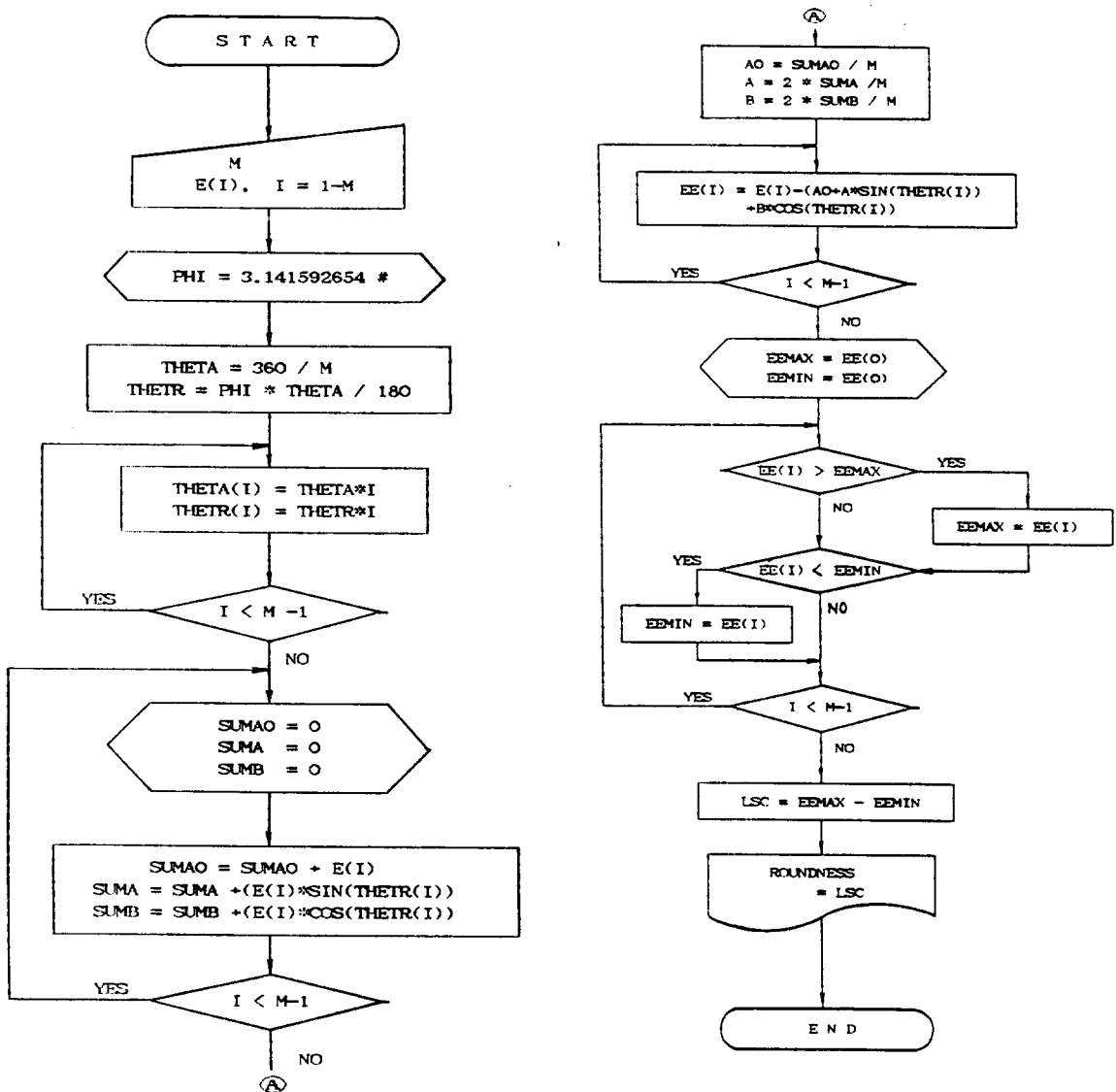
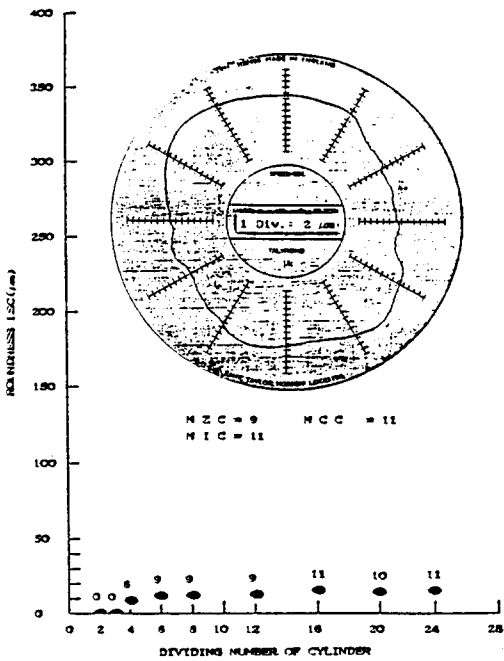


Fig. 3 FLOW CHART FOR CALCULATING ROUNDNESS LSC

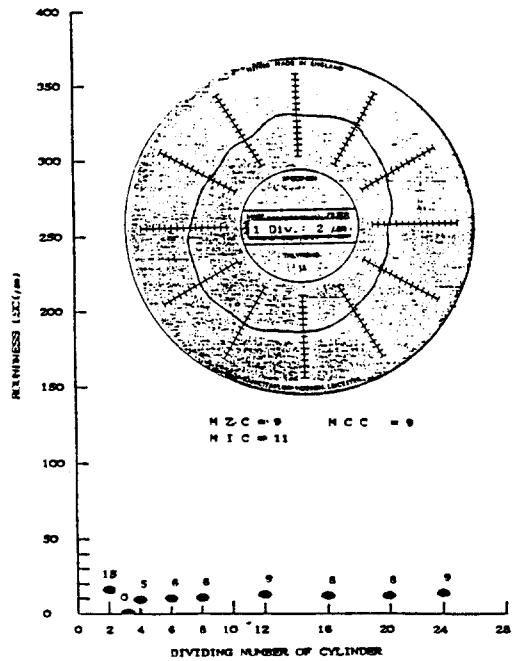
Fig. (b)의 타원형 시편 경우에는 분할 등분수 16 이상에서 LSC값 10~11를 보이고 있고, MZC, MCC, MIC값은 각각 9, 11, 11를 나타내고 있다. Fig. (c) (d) 경우도 분할 등분수 16이상에서 어느 일정한 값을 나타내고 있고, 그 값들은 각각의 MZC,

MCC, MIC와 거의 동일한 값을 나타내고 있음을 볼 수 있다.

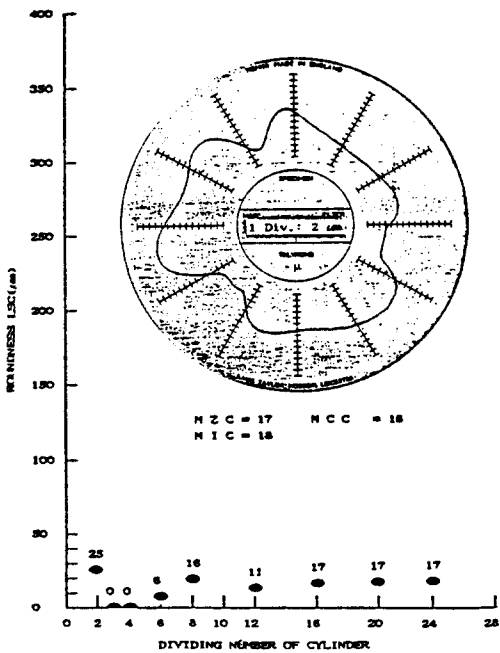
따라서 Index head를 이용한 가중심법에 의한 절대진원도의 측정 평가법은, MZC가 LSC의 대략 10%정도의 작은 값을 나타낸다고 하는 보고등을 참고하



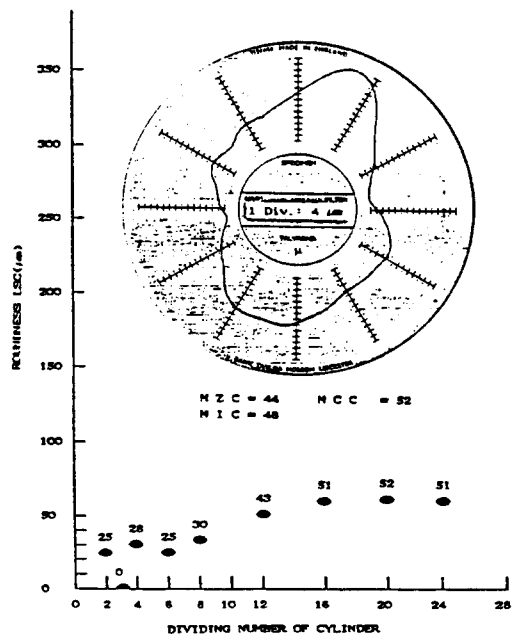
(a) ROUND TYPE CIRCLE



(b) ELLIPSE TYPE CIRCLE

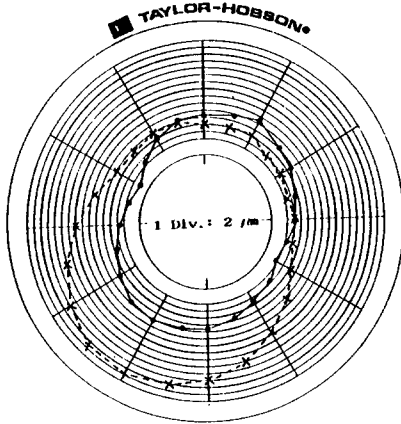


(c) TRIANGLE TYPE CIRCLE



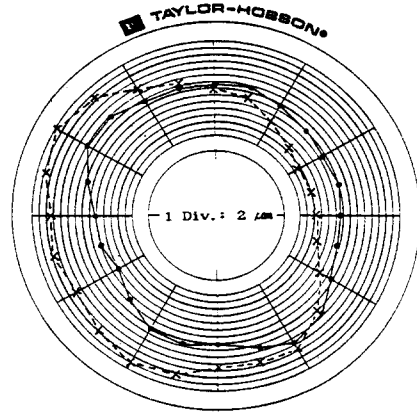
(d) SQUARE TYPE CIRCLE

Fig4. ROUNDNESS PROFILE AND ROUNDNESS VALUE BY RADIUS METHOD



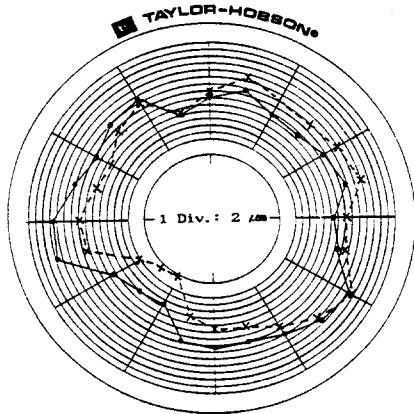
x - - - x : Measured Values
(24.5 μm)
o - - - o : Compensated Values
(LSC = 10.4 μm)

(a) ROUND TYPE CIRCLE



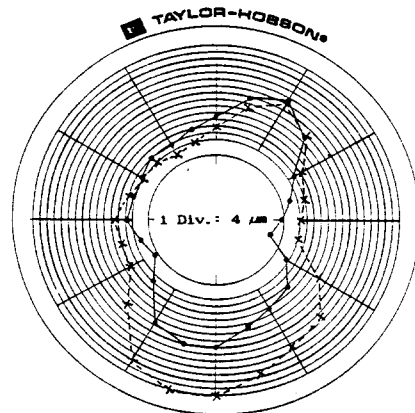
x - - - x : Measured Values
(24.5 μm)
o - - - o : Compensated Values
(LSC = 11.6 μm)

(b) ELLIPSE TYPE CIRCLE



x - - - x : Measured Values
(24.5 μm)
o - - - o : Compensated Values
(LSC = 16.1 μm)

(c) TRIANGLE TYPE CIRCLE



x - - - x : Measured Values
(59.0 μm)
o - - - o : Compensated Values
(LSC = 53.0 μm)

(d) ROUNDNESS PROFILE OF LSC

Fig.5 ROUNDNESS PROFILE OF LSC

면, 충분히 이용가능하여 고가의 진원도 계측기의 구입 없이도 현장에서 정확한 진원도(절대 진원도)의

계측이 가능한 것으로 판단된다.

또한, LSC 값을 구하기 위한 원주의 분할 등분수

는, 여러 문헌에서 12회 정도를 취하는 경향이 있으나 이는 부족하다는 것을 알 수 있으며 최소한 16능분 이상은 되어야 할 것으로 사료된다.

Fig. 5의 (a) (b) (c) (d)는 LSC 값을 구하기 위한 인디케이터의 지시값과 LSC값을 구하기 위하여 보정한 값을 Plotting한 것이다.

인디케이터의 지시값은 시편을 고의로 편심시켜 Chucking 한 결과, 어느 경우에도 중심이 어긋나 있음을 볼 수 있고, 보정된 원의 중심은 중앙으로 와 있음을 볼 수 있다. 이는 원주 24등분시의 측정값과 보정값을 수동에 의하여 Plotting 한 것이나, 이의 그래프화 작업도 Program을 개발하여 이용한다면, 절대 진원도 측정 시스템 개발에 일보 진전이 있고, 원형 단면의 형상 파악이 보다 신속하게 될 수 있을 것으로 사료된다.

Fig. 6은 3각형원의 시편을 단지 배율만을 달리하여 측정한 결과이다. 그림에서도 알 수 있는 바와 같이 저배율인 경우에는 단면의 형상이 거의 진원으로 되어 있고, 단지 120도 간격으로 약간 들어가 있음만을 볼 수 있다. 그러나 배율이 점점 증가할수록 그 들어간 정도는 심하여 $\times 1000$ 인 경우에는 전혀 다른 원형의 형상처럼 보인다. 이는 배율의 증가에 따라 시편 원주의 요철부분만이 확대된 결과에 기인하는 것으로서, 배율이 클수록 진원도 값의 수치적 파악에는 보다 편리하고 정확하나, 원형단면의 형상이 이와 같다고 오인해서는 않된다는 것을 보여주는 그림이라 할 수 있다.

이상의 전체적인 결과로써 언급할 수 있는 것은, 기계공장의 현장에서 흔히 볼 수 있는 Index head와 Comparator류를 적절히 이용하고, 상기의 절대 진

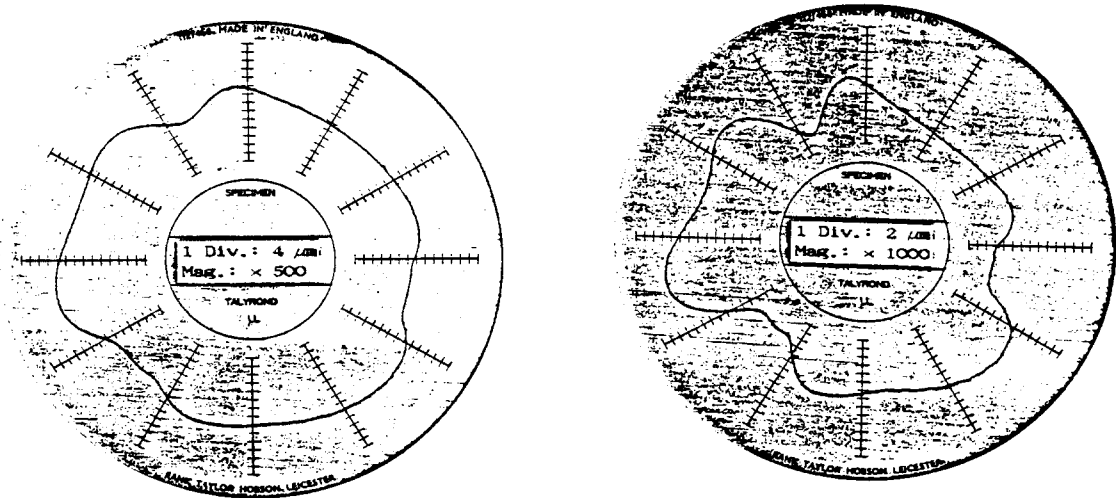


Fig. 6 ROUNDNESS PROFILE BY DIFFERENT MAGNIFICATION

Fig. 5의 수동 그래프들은 Fig. 4의 진원도 그래프들과 비교할 때 단면의 형상들이 어느 정도 일치하고 있음을 볼 수 있어, Fig. 5만으로도 진원도 계측기에 의한 그래프를 대신할 수 있을 것으로 생각된다.

원도 계산 프로그램과 그래프 작성요령을 활용함으로써, 고가의 진원도 계측장비의 구입없이도, 신속 정확한 진원도의 측정평가가 가능하다고 할 수 있다.

5. 결 론

이상과 같이 Index head, Dial test indicator를 이용하고, 진원도 계산용 Program을 병용한, 절대 진원도의 측정 실험에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Index head를 이용하면, 절대 진원도의 측정이 용이하게 측정 가능하다.
- 2) 절대 진원도 측정용 Program을 개발하였다.
- 3) 위 1)과 2)를 조합 이용함으로써, 고가의 진원도 측정장비의 구입없이도, 측정실은 물론 현장에서, 정확하고 신속한 절대 진원도의 측정이 가능하다.

참고문헌

- 1) Donard F. Eary et al, Process Engineering for Manufacturing, PRENTICE-HALL, INC., (1972) P. 42-97
- 2) B. S. 3730 : 1964, Methods for the Assessment of Departures from

Roundness.

- 3) JIS B 0621-1974, 形状および位置の精度の定義 および 表示
- 4) ANSI B 89. 3. 1-1972, Measurement of Out-of-Roundness.
- 5) ISO/R 1101-1969, Technical Drawing, Tolerances of Form and of Position, Part 1, Generalities, Symbols, Indications on Drawings.
- 6) DIN 7168 (Teil 2)-1981, Allgemeintoleranzen (Form und lage)
- 7) JIS B 6201-1966, 공작기계 정도 시험방법
- 8) 和田尚, 精密測定 演習, 産業圖書, 昭50年 (第2版), P. 118-126
- 9) 青水保雄, 精密測定 (1) (2), コロナ社, 昭52年 (第17版), P. 362-371
- 10) 大園成夫, 3点法による 眞圓度 測定, 機械の研究, Vol. 33, No. 1 (1981)
- 11) 中田孝, 機械の 數學解析, 誠文堂新光社, 昭26年, P. 13-60



●한계성형비(Limiting Drawing Ratio)

정 4 각형 컵 성형에서는 성형이 가능한 최대 소재의 길이를 펀치단면의 하변의 길이를 나눈 값을 말한다. 여기서 길이의 측정방향은 펀치단면의 중심에서 펀치 단면의 한 변에 나란한 방향을 따라 측정한 거리를 말한다.

●반복이차계획법(RQP Algorithm)

비선형 최적화 문제 해법의 한가지로써, 비선형의 목적함수와 제약조건함수를 선형으로 전개하여 이차함수의 목적함수식과 선형의 제약조건함수식으로 변형한 이차계획법의 문제를 반복적으로 풀어 최적해를 구하는 방법이다. 이 방법에서는 초기해를 가정하고 보다 개선해를 구해가는 직접법이므로 개선방향을 정하는 과정과 결정된 방향으로의 이동거리를 구하는 계산과정으로 구성된다.