

# 접촉식 3점지지법에 의한 내경 측정의 기하학적 오차 해석 Geometric Error Analysis of Contact Type Three Point Supporting Method for Inner Diameter Measurement

\*김민호<sup>1</sup>, #김태영<sup>1,2</sup>, 신형곤<sup>1</sup>

\*M. H. Kim<sup>1</sup>, #T. Y. Kim(kimty@chonbuk.ac.kr)<sup>1,2</sup>, H.G.Shin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 전북대학교 기계항공시스템공학부, <sup>2</sup> 전북대학교 자동차신기술연구소

Key words : Inner Diameter, Three Point Supporting Method, LVDT, Error Analysis

## 1. 서론

베어링과 유공압 밸브등의 생산에 있어서 베어링의 내외륜, 밸브 스프링의 부품을 연삭가공후 조립하기 전에 내경 및 외경을 측정하여 허용공차내의 부품만 선별하여 제품을 조립하므로써 불량률을 줄이고 고품질의 제품을 생산할 수 가 있다. 생산 자동화에 따라 이러한 품질 검사 또한 자동화되어 가공되는 모든 제품을 모두 검사하는 전수검사를 하고 있다. 따라서 이러한 품질검사 자동화에서는 생산공정의 흐름을 저해하지 않는 검사속도를 유지하면서 안정적으로 검사를 할 수 있는 방법들을 찾고 있다.

내경측정방법에는 크게 비접촉식과 접촉식으로 나누어 볼 수 있고 비접촉식에는 머신비전, 레이저센서나 와전류센서 등을 이용한 측정이 있고, 접촉식에는 코어의 이동으로 1차 코일에서 2차 코일에 유도되는 자속의 변화로 기계적 변위를 전기적인 신호로 바꿔주는 LVDT와 압축공기가 노즐을 통해 배출될 때 배출구를 막고 있는 장애물(일반적으로 피측정물)과 배출구사이의 거리에 따라 발생하는 압력차이를 이용하여 거리를 측정하는 공기마이크로미터가 주로 사용되고 있다. 생산현장에서는 연삭후 세척 후에도 절삭유와 칩 등으로 비접촉식 측정에 영향을 줄 수 있는 요인들이 많아 접촉식 방법을 주로 사용하고 있다. LVDT를 이용한 측정은 내경에 접촉되어 내경직경에 따라 비례적으로 움직이는 부위에 LVDT를 접촉시켜 직경을 측정하게 되는데 이때 내경에 접촉되는 점을 두 점으로 할 경우 그 두 점을 이은 직선이 측정하고자 하는 원의 중심을 지나야 한다. 하지만 이러한 조건이 되도록 두 점을 접촉시키기가 쉽지가 않다. 더욱이 자동측정의 경우에는 현장의 여러 가지 열악한 환경으로 두 접촉점으로 신뢰할 수 있는 직경을 측정할 수가 없다. 따라서 원에 3점을 접촉시켜 직경을 측정하는 3점지지법을 사용하게 되는데 이 방법은 세 점이 항상 이등변삼각형이 되도록 접촉시키는 방법으로 3점이 모두 원에 접촉되면 이등변 삼각형의 꼭지점에서 밑변에 수직한 선은 항상 원의 중심을 지나게 되므로 자동측정시 세점이 원에 접촉되도록만 하면 되므로 원의 중심을 지나는 선을 찾기가 쉽고 간편한 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 3점지지법에 의한 내경 측정에서 비교측정의 타당성을 기하학적 검증을 통하여 알아보고 현장적용을 위한 방법을 제시한다.

## 2. 베어링 내경 자동측정

### 2.1 3점지지법

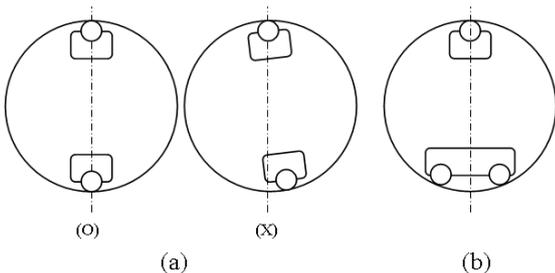


Fig. 1 Inner Diameter Measurement (a) Two Point Supporting Method (b) Three Point Supporting Method

Fig. 1(a)에서와 같이 2점지지법에 의한 내경 측정의 경우 접촉된 두 점의 거리가 측정하고자 하는 원이 내경인지 확인하기가 어렵고, 내경을 측정할 수있게 접촉되도록 하는 방법 또한 쉽지 않지만 3점지지법은 Fig. 1 (b)와 같이 세점이 모두 원에 접촉되는 것만으로 원의 중심을 측정기의 측정선에 쉽게 일치시킬 수 있다. 또한 3점지지법은 2점지지법에 비해 측정중 측정물의 진동이나 움직임을 더 빨리 제거할 수 있고 측정물을 더 안정적으로 고정하여 측정에 유리한 환경을 만들어 준다는 장점도 가지고 있다.

이러한 점들 때문에 대부분의 베어링 내경 자동측정기에서는 3점지지법을 이용하고 있다.

### 2.2 비교측정법

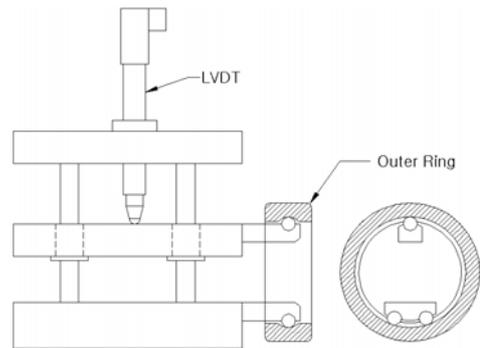


Fig. 2 Inner diameter measurement device of bearing outer ring using LVDT

측정방법은 절대측정과 비교측정으로 나눌 수 있다. 절대측정은 측정기가 측정하고자 하는 물리량의 기준점을 가지고 있어 그 기준점으로 피측정물의 측정량을 측정하는 것이다. 이에 비해 비교측정법은 측정기에 측정하고자 하는 물리량의 기준점이 없어 측정을 하기 전에 기준이 되는 측정물 즉 마스터를 측정하여 그때의 값을 기준값으로 하고 동일한 환경에서 측정된 피측정물의 측정값과 기준값과의 차이를 측정하는 방법으로 마스터의 절대값을 알고 있다면 마스터값과 차이값으로 피측정물의 절대값도 알아 낼 수 있는 방법이다.

길이측정에서 절대측정방식의 측정기로는 버니어캘리퍼스를 들 수 있고 비교측정방식의 측정기로는 LVDT를 들 수 있다. 절대측정기는 측정범위가 넓으나 그만큼 측정기의 크기가 크고, 분해능이 비교측정기에 비해 낮다. 동일한 제품의 공차나 오차를 측정하는 정밀측정과 같은 경우에는 측정범위는 작아도 분해능이 높은 비교측정기를 사용한다. 비교측정기는 측정범위가 작아 측정오차 누적이 절대측정기에 비해 적고 크기도 작게 제작할 수 있어 자동화 측정에 유리한 점을 가지고 있다.

## 3. 기하학적 오차 해석

### 3.1 오차해석

$D_b$  : 지지볼의 지름  
 $R_b$  : 지지볼의 반지름

- L : 두 지지볼 중심을 잇는 직선거리( $\overline{O_1O_2}$ )
- $O_m$  : 마스터의 중심
- $R_m$  : 마스터의 반지름( $O_mA_m$ )
- $D_m$  : 마스터의 지름
- $H_m$  : 마스터 중심에서 두 지지볼 중심을 잇는 선까지의 수직 거리( $\overline{O_mF_m}$ )
- O : 샘플의 중심
- R : 샘플의 반지름( $\overline{OA}$ )
- D : 샘플의 지름
- H : 샘플 중심에서 두 지지볼 중심을 잇는 선까지의 수직 거리( $\overline{OF}$ )

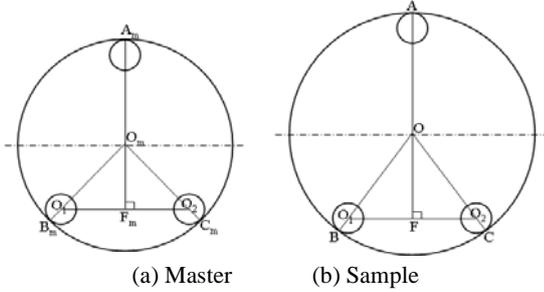


Fig. 3 Diagram of inner diameter measurement using three point supporting

샘플과 마스터의 실제 직경차는 식(1)과 같으며, 3점 지지법에 의해 측정된 샘플과 마스터의 직경차는 식(2)와 같다.

$$\Delta D = 2(R - R_m) \quad (1)$$

$$\Delta D' = (R + H) - (R_m + H_m) \quad (2)$$

한편 식(2)의  $H_m$ 은  $\Delta O_m F_m O_1$ 을 이용하여 식(3)과 같이 쓸 수 있고,  $H$ 는  $\Delta O F O_1$ 을 이용하여 식(4)와 같이 쓸 수 있다.

$$H_m = \sqrt{(R_m - R_b)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2} \quad (3)$$

$$H = \sqrt{(R - R_b)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2} \quad (4)$$

따라서 식(2)는 식(3)과 식(4)를 대입하여 식(5)와 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta D' = (R - R_m) + \sqrt{(R - R_b)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2} - \sqrt{(R_m - R_b)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2} \quad (5)$$

또한 식(1)과 식(5)을 이용하여 3점지지법에 의해 측정된 값의 오차는 식(6)과 같이 구할 수 있다.

$$E = \Delta D' - \Delta D = (H - H_m) - (R - R_m) = \sqrt{(R - R_b)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2} - \sqrt{(R_m - R_b)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2} - (R - R_m) \quad (6)$$

식(6)을 통하여 3점 지지법으로 내경을 측정할 경우  $L > 0$  and  $R \neq R_m$  인 조건에서는 항상 기하학적 오차가 발생하게 됨을 알 수 있다.

### 3.2 적용예

Fig. 4는 마스터의 지름이 10mm, 지지볼의 지름이 1mm일 경우 두 지지볼의 간격이 각각 3, 4, 5mm일때의 샘플의 직경 측정 오차를 식(6)을 적용하여 구한 그래프이다. 마스터의 직경과 샘플의 직경이 같을 경우에는 오차가 없으나 샘플과 마스터의 직경 차이가 커질수록 오차도 커지고, 두 지지볼 사이의 간격이 클수록 오차가 커짐을 알 수 있다.

Fig. 5는 마스터의 지름이 10mm, 두 지지볼의 간격이 4mm일 경우 지지볼의 지름이 0, 1, 2mm일 때의 샘플의 직경 측정 오차를 식(6)을 적용하여 구한 그래프이다. 마스터의 직경과 샘플의

직경이 같을 경우에는 오차가 없으나 샘플과 마스터의 직경 차이가 커질수록 오차도 커짐을 알 수 있다.

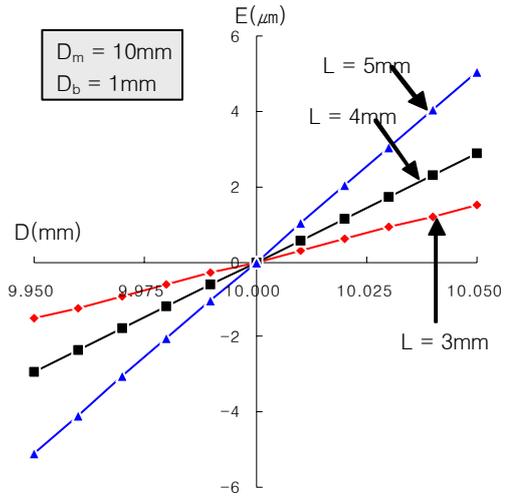


Fig. 4 Error of three point supporting measurement when  $D_m = 10\text{mm}$ ,  $D_b = 1\text{mm}$

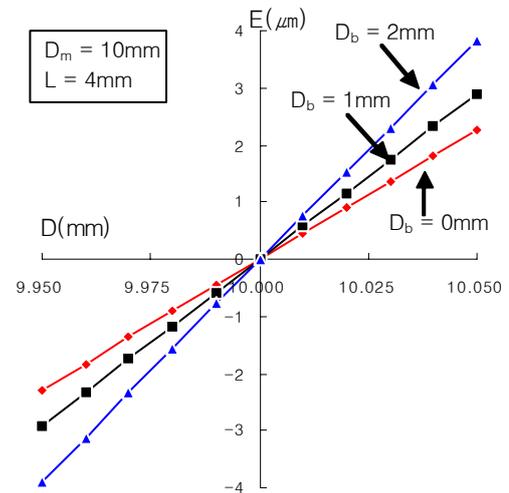


Fig. 5 Error of three point supporting measurement when  $D_m = 10\text{mm}$ ,  $L = 4\text{mm}$

## 4. 결론

내경측정에 있어 3점 지지법은 기하학적으로 오차가 발생함을 증명하였고, 오차공식을 도출하였다. 오차공식을 이용하여 내경이 10mm인 마스터와 비교 측정시 마스터와 직경차가 커질수록 오차도 거의 선형적으로 커졌고 지지볼의 지름이 커질수록, 지지볼 사이의 간격이 커질수록 오차도 커짐을 확인 할 수 있었다.

마스터의 지름 보다 클 때는 실제보다 더 크게 측정되고 마스터의 지름보다 작을 때는 실제보다 더 작게 측정되므로 실제 공차범위 보다 더 작은 공차범위로 검사하게 된다. 이를 극복하기 위해서는 측정공차범위를 오차만큼 더하여 설정해 주어야한다.

## 참고문헌

1. Lim Jaesun, "Development of In-Process Gauging Technology", Korea Research Institute of Standards and Science, pp. 1-79, 1989.
2. Jeong-Suk Kim, Myeong-Chang Kang, Jeong-Cheol Bae, "A Scheme on Roundness Improvement in Internal Grinding of Bearing Inner Race, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 13, No. 5, pp. 60-66, 1996