# 측정조건에 따른 진원도 측정오차에 대한 연구

# 정현석<sup>1</sup> · 홍청민<sup>2</sup> · 최지선<sup>†</sup>

한국폴리텍대학 안성캠퍼스 기계품질측정과<sup>1</sup>·우리일렉(주)<sup>2</sup> 한국APTIV 품질경영팀<sup>\*</sup>

# A study on roundness measurement errors according to measurement conditions

Hyun-Suk Jung<sup>1</sup> · Ji-Sun Choi<sup>\*</sup>

Department of Mechanical Quality Measurement, Korea Polytechnic college Anseong Campus<sup>1</sup> WOORI ELEC Co., Ltd.<sup>2</sup>

Korea APTIV Quality management team\*

(Received September 18, 2019 / Revised September 26, 2019 / Accepted December 31, 2019)

Abstract: Due to industrial development, the importance of GD&T tolerance is growing day by day. Roundness measurement means the size deviated from the ideal circle. Roundness evaluation methods include LSCI, MZCI, MCCI, and MICI. Generally, A is used a lot at industrial evaluation. In this experiment, we studied the variations in table velocity, filter values, and detector angles, which can cause errors in roundness measurements. The measurement conditions were table speeds of 10, 30 and 60 mm/s, probe angles of 10, 20 and 30 degrees and frequency filter settings of 15, 150 and 500 upr and The number of experiments was measured 30 and the average value was chosen as a representative value. The hypothesis test showed that the p-value for the frequency filter was greater than 0.05, and the experiment rejected the null hypothesis and adopted the alternative hypothesis.

Key Words: ANOVA(가설검정), Centering(중심보정), Probe(검출부), Roundness(진원도), Tilting(기울림)

### 1. 서 론

현대사회는 공업의 발전과 더불어 정도 높은 기 계부품의 필요성이 높아지고 있는 추세이다. 우리가 사용하고 있는 작은 시계의 기어나 축에서부터 자 동차의 중요부품인 엔진, 동력을 전달하는 샤프트, 베어링 및 원자력발전소의 동력기관에 이르기까지 여러 개의 회전부품들로 구성되어져 있다. 그러므로 제품설계 시 치수공차 및 재질 표시와 더불어 기하 학적 치수공차의 중요성이 점차 인식되고 있는 추 세이다. 특히 동력을 전달하는 중요부품 설계 시에 는 진원도 규제에 대한 중요성이 매우 중요하게 인 식되고 있다. 진원도의 의미는 원형부품의 형상이

도면에 정의되어진 진원으로부터 벗어난 크기를 의 미한다. 만약 진원도의 공차가 벗어난 제품을 사용 한다면 원형부에 마찰이 발생하여 소음 및 동력손 실이 발생되며 이는 기계의 수명감소, 회전 및 이송 오차, 누수 등의 품질문제가 발생할 수 있다. 고전 적인 진원도 측정방법으로는 마이크로미터나 실린 더게이지를 이용하여 지름을 측정하여 최대치에서 최소치의 차이로 정의한 직경법과 V-블록을 이용하 여 제품을 회전시켜 측정값의 차를 진원도로 정의 한 3점법 및 센터지지대를 고정 후 제품을 회전시 켜 차이를 진원도로 값으로 채택하는 반경법 등이 사용되어왔다. 제품 형상공차인 진원도 측정에 대한 연구를 살펴보면 Oh와 Lee<sup>1)</sup>는 정밀가공 부품의 진 원도 특성 평가에 관한 연구를 통해 가공공정에 따 른 측정정확도 향상방법을 제시하였다. Han과 Noh<sup>2)</sup> 등은 진원도 측정기의 오차특성에 관한 연구를 통

<sup>1.</sup> 한국폴리텍대학 안성캠퍼스 기계품질측정과

 <sup>\*</sup> 교신저자: 한국APTIV 품질경영팀
E-mail: junghs@kopo.ac.kr

해 측정기의 회전오차가 시험편의 진원도 측정에 미치는 신호와 변동성분을 제시하였다. Park과 Kim<sup>3)</sup> 등은 2차원 프로브와 원반을 이용한 원호검사 법의 개선에 대한 연구를 통해 그 유효성을 검증하 였다. 본 연구는 Fig. 1과 같이 형상측정기 전문제 조업체인 마하(mahr, model: MM30)사에서 제작한 테이블 회전식 진원도 측정기를 활용하여 진원도 측정 시 중요 핵심요소인 테이블 속도, 프로브 각도, 주파수 필터의 영향을 파악하였다. 또한 본 연구를 통해 얻어진 각 항목들의 데이터를 이용하여 가설 검증을 실시하여 측정조건 간의 상관관계를 확인하 여 제품 진원도 측정 시 측정오차와의 관계를 제시 하고자 한다.



Fig. 1 Experimental device for roundness tester

#### 2. 이론적 배경

#### 2.1. 진원도 정의

진원도란 등근 봉, 등근 구멍, 둥근 추 또는 구 등 이 이론적인 진원에서 벗어난 크기를 의미한다. 우 리나라는 2002년에 개정된 KS B 5545에 정의되어 있으며, 이는 ISO 6318과 동일하게 정이되어 있다. 진원도 측정법으로는 크게 직경법, 3점법, 반경법 등으로 구분되어 진다. 반경법의 평가방법으로는 최 소제곱원법(LSCI), 최소영역원법(MZCI), 최소외접 원법(MCCI), 최대내접원(MICI) 등 4가지 방법으로 규정되어 있다.

# 2.2. 반경법 진원도 평가

## 2.2.1. 최소제곱원법(LSCI)

Fig. 2와 같이 구할 평균원과 실측단면과의 반경 의 차를 제곱하여 그 제곱의 총합이 최소가 되는 그 런 평균원을 구했을 때 그 평균원을 최소제곱원이 라 하고 그 원의 중심에서 실측 단면까지의 최대반 경과 최소반경과의 차이로 진원도를 정의한다. 진원 도 측정 시 일반적인 통계처리에서 가장 많이 사용 된다.



Fig. 2 Roundness of least square circle

#### 2.2.2. 최소외접기준원(MCCI)

원형부분을 측정한 극좌표 기록 도형에 외접하는 최소원과 그 원의 중심에서 기록도형에 내접하는 원을 그리고 두 원의 반경차로서 진원도를 표시한 다. 현업에서 구멍에 축을 삽입할 수 있는 구멍이 가장 작은 경우와 샤프트의 축 중심을 판단하는데 활용된다.



Fig. 3 Roundness of minimum circumscribed reference circle

#### 2.2.3. 최대내접기준원(MICI)

원형부분을 측정한 기록도형에 내접하는 최대의 원과 그 원의 중심에서 기록도형에 외접하는 원을 그리고 두 원의 반경차로 진원도를 표시한다. 이 방 법은 회전축 기준에 구멍의 형상, 또는 이 구멍에 들어있는 회전축의 중심위치, 샤프트 회전축의 최대 경을 판단하는데 사용한다.



Fig. 4 Roundness of maximum inscribed reference circle

#### 2.2.4. 최소영역기준원(MICI)

그린 도형에 대해 같은 중심을 갖는 내접원과 외 접원을 그려 그 내접원과 외접원의 반경의 차가 최 소가 되는 중심을 기준으로 하고 그 내, 외접원의 반경의 차이로 진원도를 정의한다. MICI 측정법에 의해 측정된 진원도 값이 일반적으로 가장 작은값 이 된다.



Fig. 5 Roundness of minimum zone reference circle

# 3. 실험장치 및 방법

#### 3.1. 실험장치

본 실험에 사용된 진원도 측정기는 형상측정기 제조 전문업체인 마하(Mahr)사의 테이블 회전식 진 원도 측정기이며 분해능은 10 nm, 정확도는 75 nm 이다. 테이블 속도는 1.66~10 nm/s이다. 측정 시 사 용하는 필터는 일반적으로 15, 50, 150 500, 1500 등 의 5구간이 설정되어있으나 본 실험에서는 15, 150 500 등 3종류의 필터를 사용하여 측정하였다.

#### 3.2. 실험방법

테이블 상면에 진원도 시편을 고정 한 후 기울림 (tilting) 및 중심(centering) 조정을 실시한 후 Table 1 의 실험 조건으로 각각 30회 측정 후 평균값을 그래 프로 나타내었다.

Source	Table speed (mm/s)	Probe angle(o)	Filter(upr)
Test value	10	10	15
	30	20	150
	60	30	500

#### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 필터의 종류에 따른 진원도 평가

진원도 측정기의 원리는 측정 시편의 외경부에 대하여 검출부(probe) 접촉 시 발생한 신호는 측정 기 내에 장착된 증폭기 내 주파수 필터를 거쳐 신호 로 변환된다. 즉 거칠기 측정에서 필터란 측정기가 응답하는 피 측정물의 1회전, 즉 360도 당 주기적인 정현파 파동의 범위를 의미하며 Fig. 6과 같이 진원 도 측정 시 필터 값이 커질수록 포함되는 해상도 값 또한 많아져 값이 커지게 된다. 거칠기가 거친 제품 일수록 upr을 낮게 설정하여 측정하며 일반적으로 는 50 upr로 사용한다. 본 연구에서는 각도 10°, 테 이블 속도 30 mm/s로 측정조건을 설정 후 진원도 측정기 내 필터의 종류에 따른 진원도 모습을 Fig. 7 에 나타내었다. 필터의 upr이 높을수록 고주파 영역 이 되며 진원도 형상도 촘촘히 표시되는 것을 알 수 있다.



Fig. 8은 필터 값의 차이에 따른 진원도 측정값을 나타내었다. 주파수 필터 15 upr의 구간에서는 0.38~0.45 mm이며 평균값은 0.42 mm 이며 50 upr의 구간에서는 0.48~0.56 mm, 평균값은 0.51 mm로 나 타났다. 고주파 영역인 500 upr의 구간에서는 0.73~0.82 mm, 평균값은 0.80 mm로 나타났다. 실험 결과를 통해 고주파 필터 구간인 500 upr 구간의 진원도 값이 가장 높게 나타났으며, 저주파 영역인 15 upr 구간에서 진원도 측정값이 가장 낮은 것으로 나타났다. 주파수 필터에 대한 영향을 살펴보면, 필 터의 값이 증가할수록 진원도 측정값이 증가하는 것을 알 수 있다.



Fig. 7 Roundness according to kind of filter



Fig. 8 Roundness due to difference in filter values





#### 3.2. 회전속도 차이에 따른 진원도 평가

테이블 회전속도에 따른 평가를 위해 각도 10°, 필터 15 upr로 측정조건을 설정 후 테이블 회전속도 10, 30, 60 mm/s에 대한 진원도 평가를 실시하였다. Fig. 9에 나타난 것과 같이 테이블 속도에 따른 진원 도 측정값은 저속인 10 mm/s의 구간에서의 측정값 은 0.37~0.46 mm이며 평균값은 0.42 mm임을 확인 하였다. 고속인 60 mm/s의 구간에서의 측정값은 0.39~0.44 mm이며 평균값은 0.42 mm임을 알 수 있 다. 실험을 통하여 테이블 속도 변화에 따른 진원도 값의 변화는 미비하다는 것을 검증하였다.

Fig. 10은 검출부 각도 차이에 따른 진원도 측정 값을 나타내었다. 필터 15 upr, 테이블 속도 30 mm/s 로 측정조건을 설정하였다. 검출부 각도가 10°구간 에서의 진원도 값이 0.40~0.45 mm이며 평균값은 0.42 mm임을 확인하였다. 검출부 각도 20° 구간에서 는 0.38~0.43 mm 평균값은 0.40 mm임을 알 수 있다. 검출부 각도 최대구간인 30° 구간에서의 측정값은 0.48~0.56 mm 평균값은 0.51 mm임을 알 수 있다. 검출부 각도 20° 구간에서 진원도 값이 0.4 mm/s로 가장 낮게 나타났으며, 검출부 각도 최대구간인 30° 구간에서 진원도 측정값이 0.51 mm로 가장 높게 것 으로 나타났다. 본 실험을 통하여 진원도 측정 시 주파수 필터가 고주파 영역으로 올라 갈수록 진원 도 측정값이 커지는 경향을 보였다. 그러나 그 외 측정요서인 테이블 속도 및 프로브 각도에 따른 진 원도 측정의 변화는 미비한 것으로 나타난 것을 알 수 있다. Table 2는 통계프로그램인 Minitab release 13을 사용하여 진원도 측정 시 오차의 요인이 되 는 주파수 필터, 테이블 속도 및 검출부 각도에 대한 영향을 분산분석(ANOVA)<sup>47)</sup>을 통하여 나타 낸 결과이다.



Fig. 10 Roundness due to difference in probe angle

Source	DF	SS	MS	F	Р
Frequency filter	2	2.290	1.145	1760.5	0.000
Table velocity	2	0.0004	0.0002	0.32	0.724
Detector angle	2	0.202	0.101	165.6	0.000
Total	6	2.496	1.246	1926.4	0.724

Table 2 Analysis of variance for roundness error

(\* : p<0.01)

분산분석결과 주파수 필터 및 검출부 각도 변화 에 대해 유의함(p<0.01)을 알 수 있었다.

#### 4. 결론 및 토의

본 연구에서는 진원도 측정 시 측정오차의 요인이 되는 변화를 고찰하고, 최적의 측정조건을 제시하는 바, 주과수 필터, 테이블 회전속도 및 검출부 각도의 변화를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

 검출부 각도 변화에 따른 측정값의 차이가 있 을 것으로 가정하고 실험한 결과 측정값의 차이가 있는 것을 확인할 수 있었다. 이는 시편의 형상에 따라 검출부의 각도를 다르게 하여 측정해야 하는 경우가 있지만, 검출부의 각도는 비교적 값의 차이 가 적었던 10°~20°를 넘지 않게 설정하여 사용해 야 하는 것으로 보인다.

2) 주파수 필터값의 변화에 따른 측정값의 차이 가 있을 것으로 가정했으며 실험한 결과 필터값을 크게 설정할수록 측정값 또한 커지는 것을 알 수 있 었다. 이는 필터를 크게 설정하면 더 많은 양의 굴 곡 성분들을 기록하기 때문이며 진동 등 주변 환경 의 영향을 많이 받으므로 측정 시 주의해야 할 것으 로 사료된다.

3) 회전속도에 따라 차이가 없을 것으로 가정했고 실험한 결과 차이가 없었으나 회전 속도를 빠르게 설정할수록 측정값들의 산포가 상대적으로 커지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 회전속도를 빠르게 설정할수록 측정 시의 정밀도가 떨어지는 것을 의미한다고 볼 수 있으며, 때문에 진원도 측정 시에는 회전속도는 가능한 느리게 설정한 상태에서 측정하는 것이 측정오차를 줄일 수 있을 것으로 사례된다.

# 참고문헌

1) Oh, S. R. and Lee, G. J., "A Study Evaluation of

Roundness Characteristics about Precise Machined Parts", Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Spring Conference, pp. 209-215, 2005.

- Han, E. K. and Noh, B. O., "A Analysis of Performance Error of Hight Precision Measuring Instrument", Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 13, pp. 8627-874, 1989.
- Park, J. B. and Kim, M. J., "A study on the Measurement of Circularity and Orthogonality Using Two-dimensional Probe", Journal of Korean Society of Mechanical Technology, Vol. 4, pp. 45-51, 2002.
- 4) Jung, H. S. and Yoo, J. H., "Injection Unit Precision Inspection according to Control Method of Injection Molding Machine", Journal of the Korea Academia Industrial cooperation Society, Vol. 17, No.4, pp. 414-419, 2016.
- Choi, B. K. and Lee, D. G., "A study on the Process Capability Analysis of MIM Product", Journal of the Korea Society of Machine Tool Engineers, Vol. 19, No.1, pp. 57-64, 2010.
- 6) Hong, C. M. and Jung, H. S., "Melting Plastic Mixing and Product Density Based on Screw Shape", Journal of Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 28, pp. 100-105, 2019.
- Shine, K. H. and Kim, M. A., "Development of high performance and efficiency plastic axial fan by proximity cooling mold to minimize warpage", Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol. 13, No.1, pp. 61-67, 2019.

저자 소개

정 현 석(Hyun-Suk	Jung)	[정회원]
	2013년 8월: 한국기술고 메카트로닉스공학 (공학	교육대학교 학박사)
•	2002년 1월~2019년 2 기계(주) 품질경영팀 부	월: 한국엔겔 <sup>브</sup> 장
	2019년 3월~현재: 한 안성캠퍼스 기계품질측	국폴리텍대학 - 정과 조교수
< 관심분야 >		
사출성형 및 금형, 정밀측정	]	



최 지 선(Ji-Sun Choi)

#### 2016년 8월: 한국기술교육대학교 메카트로닉스곳학과 (공학석사수료

[정회원]



- 메카트로닉스공학과 (공학석사수료) • 2005년 5월~현재: 한국APIIV correction
  - systems(주) 품질경영팀, 차장

< 관심분야 > 사출성형 및 금형, 정밀측정