

측정방법에 따른 진원도 측정값의 통계적 비교분석

Statistical Comparative Analysis of Out-of-roundness Values Measured according to Measurement Methods

유민우*, 송병근**

Min Woo Yoo*, Byung Keun Song**

ABSTRACT

Cylinders or shafts of hydraulic valves require very precise tolerance for air tightness in assembly. If round components are out of tolerance due to wear or lack of air tightness, they may not fully satisfy the intended function in the design and cause product damage in severe cases.

Such components must be regulated to meet not only dimensional tolerance but also geometric tolerance of out-of-roundness to ensure high-quality products.

The out-of-roundness measurement methods used mainly in the field include diameter, radius, and three-point method.

In this study, out-of-roundness is measured for a specimen using the three methods, and the measured values are analyzed statistically and then the effectiveness of measuring the out-of-roundness is evaluated for the three methods.

Key Words : Diameter method(직경법), Radius method(반경법), Three-point method(3점법), Dimensional tolerance(치수공차), Out-of-roundness(진원도)

1. 서론

진원도란 둥근 봉, 둥근 구멍, 둥근 추 또는 구 등의 한 단면의 윤곽형상이 기하학

* 인천대학교 공학대학원 기계공학전공

** 인천대학교 기계공학과 교수(bksong@inu.ac.kr)

적으로 똑바른 원으로부터 벗어난 크기를 말한다. 최근 우리 주위에 있는 여러 가지 기계의 성능이나 품질은 현저하게 향상되고 있다. 기계를 구성하는 부품의 부품이나 부분적으로 조립된 부품의 정밀도도 향상하고 있는 것처럼 말이다.

이러한 부품의 관리에는 치수 정밀도만이 아니고 진원도의 관리가 중요한 역할을 완수하고 있다.

실생활에서 진원도를 측정해야 하는 구체적인 이유는 다음의 예를 살펴보면 쉽게 이해할 수 있다.

조립부품의 고정밀화는 $5_{\mu m}$ 이하 또는 $3_{\mu m}$ 이하 등의 엄격한 치수이며, 정밀 부품의 경우 단순한 치수관리가 아닌 기하공차적인 진원도 차원에서 관리가 필요하다.

정밀한 단위를 요하기 때문이다. 선반, 연삭반 등의 회전 주축과 베어링의 경우, 회전 편차에 의한 고속 회전 시 에너지의 손실이나 부품 정밀도 불량 요인이 된다.

또한 유압밸브, 각종 패킹, 엔진밸브, 의료기기밸브는 기밀성이 필요한 부품들이고 축과 베어링, 각종 패킹 등의 진원도의 이상이 진동이나 소음을 일으킬 수 있다.

이러한 정밀한 결합성을 요구하는 원을 가진 부품 때문에 진원도는 기계를 구성하는 부품이나 부품에 중요한 역할을 수행한다.

좀 더 정밀한 측정방법을 통하여 선반의 베어링이나 연삭기의 스피들의 노화라든지 공작물의 흔들림, 양 센터의 중심 불일치, 원통의 흔들림 등의 오차 발생 원인을 줄이고 정밀한 진원도와 함께 우수한 품질을 가지고자 함이다.

2. 실험의 구성 및 방법

2.1 실험방법 및 조건

진원도 측정방법에는 대표적으로 직경법, 반경법, 3점법이 있다. 신뢰성 있는 진원도 측정값을 제시하기 위해 정밀측정 국가 기술

자격증을 소지한 1인이 수행하였고 측정장비의 사용법 및 측정방법 그리고 주의사항에 대해 살펴보도록 한다.

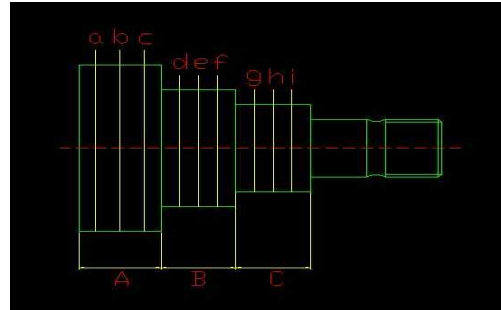


Fig 1 Produc floor plan

1) 직경법 측정방법

① 시편을 와이퍼로 깨끗이 닦고 사진(a)와 같이 디지털 마이크로미터($1_{\mu m}$)를 마이크로미터 전용 스탠드에 고정 후 영점조정을 한다.

② 사진(b)와 같이 시편[A]부분의 단면 a, b, c, [B]부분의 단면 d, e, f, [C]부분의 단면 g, h, i를 회전시키며 진원도를 총 27회 측정하여 DATA를 구한다. (Fig 1의 측정시편 도면 참조)



Fig 2 Measurement method of diameter method of diameter

③ 디지털 마이크로미터로 시편을 측정하여 Table 3.1, Table 3.2, Table 3.3과 같은 data를 얻었다. [A]부분 a의 최대값과 최소값

* 인천대학교 공학대학원 기계공학전공
 ** 인천대학교 기계공학과 교수(bksong@inu.ac.kr)

의 차이, b의 최대값과 최소값의 차이, c의 최대값과 최소값의 차이를 직경법의 진원도 평가값 이라 한다. 이와 같은 방법으로 나머지 [B], [C]의 진원도 평가값을 구하였다.

Table 1 Diameter method chart A

(단위:mm)

단면 횟수	A		
	a	b	c
1회	0.006	0.007	0.006
2회	0.003	0.004	0.005
3회	0.005	0.004	0.005

Table 2 Diameter method chart B

(단위:mm)

단면 횟수	B		
	a	b	c
1회	0.008	0.005	0.007
2회	0.006	0.004	0.006
3회	0.005	0.005	0.006

Table 3 Diameter method chart C

(단위:mm)

단면 횟수	C		
	a	b	c
1회	0.008	0.007	0.005
2회	0.007	0.005	0.004
3회	0.004	0.006	0.006

2) 반경법 측정방법

① 사진(a)와 같이 Bench Center에 시편을 고정 후 디지털 테스트 인디게이터(1_μm)를 화이트게이지에 고정 시킨 후 영점 조정을 한다.

② 시편[A]부분의 단면 a, b, c, [B]부분의 단면 d, e, f, [C] 부분의 단면 g, h, i를 회전시키며 진원도를 총 27회 측정하여 DATA를 구한다. (Fig. 3의 측정시편 도면 참조)

③ 주의사항으로는 사진(b)와 같이 디지털 테스트 인디게이터(1_μm)와 시편의 닿는 부분이 90° 직각이 되도록 한다.

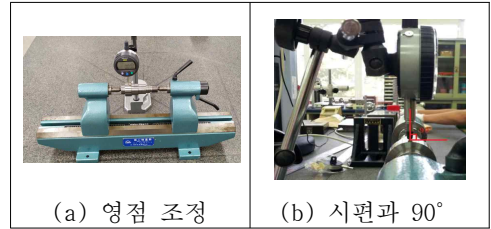


Fig. 3 Method of measurement of radius method

④ Bench center로 시편을 측정하여 Table 4, 5, 6과 같은 data를 얻었다. [A]부분 a의 최대값과 최소값의 차이, b의 최대값과 최소값의 차이, c의 최대값과 최소값의 차이를 반경법의 진원도 평가값 이라 한다. 이와 같은 방법으로 나머지 [B], [C]의 진원도 평가값을 구하였다.

Table 4 Radius method chart A

(단위:mm)

단면 횟수	A		
	a	b	c
1회	0.003	0.004	0.003
2회	0.002	0.004	0.004
3회	0.003	0.002	0.003

Table 5 Radius method chart B

(단위:mm)

단면 횟수	B		
	a	b	c
1회	0.005	0.002	0.004
2회	0.003	0.004	0.004
3회	0.003	0.003	0.003

Table 6 Radius method chart C

(단위:mm)

단면 횟수	C		
	a	b	c
1회	0.003	0.003	0.004
2회	0.002	0.005	0.004
3회	0.003	0.003	0.003

3) 3점법 실험방법

① 사진(a)와 같이 스탠드에 마그네틱 V블록을 올려놓고 디지털 테스트 인디게이터

* 인천대학교 공학대학원 기계공학전공
 ** 인천대학교 기계공학과 교수(bksong@inu.ac.kr)

(1 μ m)를 고정시킨 후 영점 조정을 한다.

② 시편[A]부분의 단면 a, b, c, [B]부분의 단면 d, e, f, [C] 부분의 단면 g, h, i를 회전시키며 진원도를 총 27회 측정하여 DATA를 구한다. (Fig. 3의 측정시편 도면 참조)

③ 주의사항으로는 반경법과 마찬가지로 디지털 테스트 인디케이터(1 μ m)와 시편의 닿는 부분이 사진(b)와 같이 90° 각각이 되어야 한다.

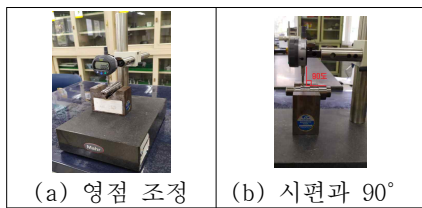


Fig. 4 Three-point experiment method

④ V블록에 고정 후 시편을 측정하여 Table 7, 8, 9와과 같은 data를 얻었다. [A] 부분 a의 최대값과 최소값의 차이, b의 최대값과 최소값의 차이, c의 최대값과 최소값의 차이를 3점법의 진원도 평가값 이라 한다. 이와 같은 방법으로 나머지 [B], [C]의 진원도 평가값을 구하였다.

Table 7 Three-point method chart A

(단위:mm)

단면 횟수	A		
	a	b	c
1회	0.007	0.005	0.007
2회	0.008	0.007	0.005
3회	0.008	0.008	0.005

Table 8 Three-point method chart B

(단위:mm)

단면 횟수	B		
	a	b	c
1회	0.006	0.007	0.008
2회	0.005	0.006	0.008
3회	0.004	0.007	0.006

Table 9 Three-point method chart C

(단위:mm)

단면 횟수	C		
	a	b	c
1회	0.005	0.006	0.006
2회	0.006	0.007	0.008
3회	0.007	0.007	0.007

3. 실험결과 및 고찰

3.1 통계적 분석에 의한 모평균(μ)과 모분산(σ^2)의 추정

모집단에 설정된 모평균의 변화여부를 표본에서 구한 표본평균을 기준으로 판단하는 통계적 방법으로 σ 를 알고 있는 경우는 정규분포에 의한 추정이 행하여지며, σ 를 모르는 경우 t 분포에 의한 추정이 행하여 진다.

또한 모집단에 설정되어 있는 기준의 산포의 변화여부를 표본에서 구해진 통계량인 표본분산을 기준으로 입증하려는 통계적 방법으로 시료분산(s^2)에 관한 분포인 Chi-square distribution(χ^2)분포를 이용하여 추정한다.

1) 직경법의 모평균(μ)과 모분산(σ^2)의 추정

① 통계량의 시료평균(\bar{x})과 시료표준편차(s)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{27\text{회}} x_i}{n} = 0.00552mm$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{27\text{회}} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.00128mm$$

② 모평균의 95% 신뢰한계의 추정

$$\mu = \bar{x} \pm t_{1-\alpha/2}(26) \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$= 0.00552 \pm 0.00051mm$$

* 인천대학교 공학대학원 기계공학전공

** 인천대학교 기계공학과 교수(bksong@inu.ac.kr)

③ 모분산(σ^2)의 95% 신뢰한계 추정

$$\begin{aligned} \blacktriangleright \frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{1-\alpha/2}(26)} \leq \sigma^2 \leq \frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{\alpha/2}(26)} \\ 0.000001mm \leq \sigma^2 \leq 0.000003mm \end{aligned}$$

2) 반경법의 모평균(μ)과 모분산(σ^2)의 추정

① 통계량의 시료평균(\bar{x})과 시료표준편차(s)

$$\blacktriangleright \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{27\text{회}} x_i}{n} = 0.00330mm$$

$$\blacktriangleright s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{27\text{회}} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.00082mm$$

② 모평균의 95% 신뢰한계의 추정

$$\begin{aligned} \blacktriangleright \mu = \bar{x} \pm t_{1-\alpha/2}(26) \frac{s}{\sqrt{n}} \\ = 0.00330 \pm 0.00032mm \end{aligned}$$

③ 모분산(σ^2)의 95% 신뢰한계 추정

$$\begin{aligned} \blacktriangleright \frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{1-\alpha/2}(26)} \leq \sigma^2 \leq \frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{\alpha/2}(26)} \\ \therefore 0.0000004mm \leq \sigma^2 \leq 0.000001mm \end{aligned}$$

3) 3점법의 모평균(μ)과 모분산(σ^2)의 추정

① 통계량의 시료평균(\bar{x})과 시료표준편차(s)

$$\blacktriangleright \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{27\text{회}} x_i}{n} = 0.00652mm$$

$$\blacktriangleright s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{27\text{회}} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.00116mm$$

② 모평균의 95% 신뢰한계의 추정

$$\begin{aligned} \blacktriangleright \mu = \bar{x} \pm t_{1-\alpha/2}(26) \frac{s}{\sqrt{n}} \\ = 0.00652 \pm 0.00046mm \end{aligned}$$

③ 모분산(σ^2)의 95% 신뢰한계 추정

$$\begin{aligned} \blacktriangleright \frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{1-\alpha/2}(26)} \leq \sigma^2 \leq \frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{\alpha/2}(26)} \\ \therefore 0.0000008mm \leq \sigma^2 \leq 0.000003mm \end{aligned}$$

3.2 두 집단 모분산비에 관한 검 · 추정

서로 독립인 두 모집단의 표본에서 구한 표본분산의 비를 구한 후, F분포를 이용하여 산포가 같은가의 여부를 판단하기 위한 통계적 방법론이다. 여기에서 직경법은 σ_A^2 , 반경법은 σ_B^2 , 직경법은 σ_C^2 라 정의 한다.

1) 직경법(σ_A^2)과 반경법(σ_B^2)의 모분산비에 관한 검 · 추정

① 가설설정 : $H_0 : \sigma_A^2 = \sigma_B^2$, $H_1 : \sigma_A^2 \neq \sigma_B^2$

② 유의수준 : $\alpha = 0.05$

③ 검정통계량 : $F_0 = \frac{s_A^2}{s_B^2} = 2.43664mm$

④ 기각역 : $F_{0.975}(26, 26) = 2.07$
 $F_{0.025}(26, 26) = 0.48$

⑤ 판정 : $2.43664 > 2.07 \rightarrow H_0$ 기각

▶ 즉, 이분산으로 직경법(σ_A^2)과 반경법(σ_B^2)의 정밀도는 같다고 볼 수 없다.

2) 두 모분산비의 추정

* 인천대학교 공학대학원 기계공학전공

** 인천대학교 기계공학과 교수(bksong@inu.ac.kr)

$$\blacktriangleright \frac{F_0}{F_{1-\alpha/2}(26, 26)} \leq \frac{\sigma_A^2}{\sigma_B^2} \leq \frac{F_0}{F_{\alpha/2}(26, 26)}$$

$$\blacktriangleright 1.17712 \leq \frac{\sigma_A^2}{\sigma_B^2} \leq 5.07633$$

3) 반경법(σ_B^2)과 3점법(σ_C^2)의 모분산비에 관한 검 · 추정

① 가설설정 : $H_0 : \sigma_B^2 = \sigma_C^2$, $H_1 : \sigma_B^2 \neq \sigma_C^2$

② 유의수준 : $\alpha = 0.05$

③ 검정통계량 : $F_0 = \frac{s_B^2}{s_C^2} = 0.49970mm$

④ 기각역 : $F_{0.975}(26, 26) = 2.07$
 $F_{0.025}(26, 26) = 0.48$

⑤ 판정 : $0.48 < 0.49970 < 2.07 \rightarrow H_0$ 채택

▶ 즉, 등분산으로 반경법(σ_B^2)과 3점법(σ_C^2)의 정밀도는 같다고 볼 수 있다. 그러므로 추정은 무의미 하다.

4) 직경법(σ_A^2)과 3점법(σ_C^2)의 모분산비에 관한 검 · 추정

① 가설설정 : $H_0 : \sigma_A^2 = \sigma_C^2$, $H_1 : \sigma_A^2 \neq \sigma_C^2$

② 유의수준 : $\alpha = 0.05$

③ 검정통계량 : $F_0 = \frac{s_A^2}{s_C^2} = 1.21760mm$

④ 기각역 : $F_{0.975}(26, 26) = 2.07$
 $F_{0.025}(26, 26) = 0.48$

⑤ 판정 : $0.48 < 1.21760 < 2.07 \rightarrow H_0$ 채택

▶ 즉, 등분산으로 직경법(σ_A^2)과 3점법(σ_C^2)의 정밀도는 같다고 볼 수 있다. 그러므로 추정은 무의미 하다.

3.3 두 집단 모평균차에 관한 검 · 추정

서로 독립인 두 집단에 대한 모평균의 차이 여부를 표본에서 계산된 통계량의 차이인 표

본평균의 차이를 통하여 입증하려는 통계적 방법이다. 여기에서 직경법은 μ_A , 반경법은 μ_B , 3점법은 μ_C 라 정의 한다.

1) 직경법(μ_A)과 반경법(μ_B)의 모평균차의 검 · 추정

① 가설설정 : $H_0 : \mu_A = \mu_B$, $H_1 : \mu_A \neq \mu_B$

② 유의수준 : $\alpha = 0.05$

③ 검정통계량 : $t_0 = \frac{\bar{x}_A - \bar{x}_B}{\sqrt{\frac{s_A^2}{n_A} + \frac{s_B^2}{n_B}}}$
 $= 7.58846mm$

④ 등가 자유도 : 직경법(σ_A^2)과 반경법(σ_B^2)은 분산이 같지 않은 이 분산성 이므로 등가 자유도를 구해줘야 한다.

$$\blacktriangleright \nu^* = \frac{(\frac{s_A^2}{n_A} + \frac{s_B^2}{n_B})^2}{\frac{(\frac{s_A^2}{n_A})^2}{n_A - 1} + \frac{(\frac{s_B^2}{n_B})^2}{n_B - 1}} = 44$$

⑤ 기각역 : $-t_{0.975}(44) = -2.000$
 $t_{0.975}(44) = 2.000$

⑥ 판정 : $7.58846 > 2.000 \rightarrow H_0$ 기각

▶ 즉, 직경법(μ_A)과 반경법(μ_B)의 두 모집단의 평균에는 차이가 있다고 할 수 있다.

⑦ 모평균차의 신뢰구간의 추정

$$\blacktriangleright \mu_A - \mu_B = (\bar{x}_A - \bar{x}_B) \pm t_{1-\alpha/2}(\nu^*) \sqrt{\frac{s_A^2}{n_A} + \frac{s_B^2}{n_B}}$$

$$= 0.00222 \pm 0.00059mm$$

2) 반경법(μ_B)과 3점법(μ_C)의 모평균차의 검 · 추정

* 인천대학교 공학대학원 기계공학전공

** 인천대학교 기계공학과 교수(bksong@inu.ac.kr)

- ① 가설설정 : $H_0: \mu_B = \mu_C$, $H_1: \mu_B \neq \mu_C$
- ② 유의수준 : $\alpha = 0.05$
- ③ 합성분산(V^*) : 반경법(σ_B^2)과 3점법(σ_C^2)은 분산이 같은 등분산 이므로 합성분산을 사용한다.

▶ $V^* = \frac{s_B^2 \times (n_B - 1) + s_C^2 \times (n_C - 1)}{(n_B - 1) + (n_C - 1)} = 0.000001$

④ 검정통계량 : $t_0 = \frac{\bar{x}_B - \bar{x}_C}{\sqrt{V^* \left(\frac{1}{n_B} + \frac{1}{n_C} \right)}}$
 $= -11.83104mm$

- ⑤ 합성 자유도(ν^*) : 반경법(σ_B^2)과 3점법(σ_C^2)은 분산이 같은 등분산 이므로 합성자유도를 사용한다.

▶ $\nu^* = n_B + n_C - 2 = 52$

⑥ 기각역 : $-t_{0.975}(52) = -2.000$
 $t_{0.975}(52) = 2.000$

- ⑦ 판정 : $-11.83104 < -2.000 \rightarrow H_0$ 기각
 ▶ 즉, 반경법(μ_B)과 3점법(μ_C)의 두 모집단의 평균에는 차이가 있다고 할 수 있다.

- ⑧ 모평균차의 신뢰구간의 추정

▶ $\mu_B - \mu_C = (\bar{x}_B - \bar{x}_C) \pm t_{1-\alpha/2}(\nu^*) \sqrt{V^* \left(\frac{1}{n_B} + \frac{1}{n_C} \right)}$
 $= (-0.00322) \pm 0.00054mm$

- 3) 직경법(μ_A)과 3점법(μ_C)의 모평균차의 검 · 추정

- ① 가설설정 : $H_0: \mu_A = \mu_C$, $H_1: \mu_A \neq \mu_C$
- ② 유의수준 : $\alpha = 0.05$
- ③ 합성분산(V^*) : 반경법(σ_A^2)과 3점법(σ_C^2)은 분산이 같은 등분산 이므로 합성분산을 사용한다.

▶ $V^* = \frac{s_A^2 \times (n_A - 1) + s_C^2 \times (n_C - 1)}{(n_A - 1) + (n_C - 1)} = 0.000001$

④ 검정통계량 : $t_0 = \frac{\bar{x}_A - \bar{x}_C}{\sqrt{V^* \left(\frac{1}{n_A} + \frac{1}{n_C} \right)}}$
 $= -3.67423mm$

- ⑤ 합성 자유도(ν^*) : 직경법(σ_A^2)과 3점법(σ_C^2)은 분산이 같은 등분산 이므로 합성자유도를 사용한다.

▶ $\nu^* = n_A + n_C - 2 = 52$

⑥ 기각역 : $-t_{0.975}(52) = -2.000$
 $t_{0.975}(52) = 2.000$

- ⑦ 판정 : $-3.67423 < -2.000 \rightarrow H_0$ 기각

- ▶ 즉, 직경법(μ_A)과 3점법(μ_C)의 두 모집단의 평균에는 차이가 있다고 할 수 있다.

- ⑧ 모평균차의 신뢰구간의 추정

▶ $\mu_A - \mu_C = (\bar{x}_A - \bar{x}_C) \pm t_{1-\alpha/2}(\nu^*) \sqrt{V^* \left(\frac{1}{n_A} + \frac{1}{n_C} \right)}$
 $= (-0.001) \pm 0.00054mm$

4. 결론

본 연구는 하나의 동일한 시편을 가지고 실제 현장에서 자주 사용하는 진원도 측정방법인 직경법, 반경법, 3점법에 따른 진원도 측정값을 통계적 분석에 의한 방법으로 비교하였고 그 결과를 해석 고찰하여 다음과 같은 결론이 도출 되었다.

첫째, 직경법으로 구한 진원도 측정값들의 모평균(μ)이 $0.00501mm \leq \mu \leq 0.00603mm$, 모분산(σ^2)이 $0.000001mm \leq \sigma^2 \leq 0.000003mm$ 사이에 95%의 확률로 존재한다는 것을 확인 할 수 있었다.

둘째, 반경법으로 구한 진원도 측정값들의 모평균(μ)이 $0.00298mm \leq \mu \leq 0.00362mm$,

* 인천대학교 공학대학원 기계공학전공

** 인천대학교 기계공학과 교수(bksong@inu.ac.kr)

모분산(σ^2)이 $0.0000004mm \leq \sigma^2 \leq 0.000001mm$ 사이에 95%의 확률로 존재한다는 것을 확인할 수 있었다.

셋째, 3점법으로 구한 진원도 측정값들의 모평균(μ)이 $0.00606mm \leq \mu \leq 0.00698mm$, 모분산(σ^2)이 $0.0000008mm \leq \sigma^2 \leq 0.000003mm$ 사이에 95%의 확률로 존재한다는 것을 확인할 수 있었다.

넷째, 직경법(σ_A^2)과 반경법(σ_B^2)은 정밀도가 같지 않은 이분산으로 분산의 비가 $1.17712mm \leq \frac{\sigma_A^2}{\sigma_B^2} \leq 5.07633mm$ 사이에 95% 확률로 존재한다는 것을 확인할 수 있었다.

다섯째, 반경법(σ_B^2)과 3점법(σ_C^2), 직경법(σ_A^2)과 3점법(σ_C^2)은 등분산으로 정밀도가 95%의 확률로 같다는 것을 확인할 수 있었다.

여섯째, 직경법(μ_A)과 반경법(μ_B)의 두 모집단의 모평균(μ)은 95%의 확률로 $0.00163mm \leq \mu_A - \mu_B \leq 0.00281mm$ 차이가 있다고 확인할 수 있었다.

일곱째, 반경법(μ_B)과 3점법(μ_C)의 두 모집단의 모평균(μ)은 95%의 확률로 $-0.00376mm \leq \mu_B - \mu_C \leq -0.00268mm$ 차이가 있다고 확인할 수 있었다.

여덟째, 직경법(μ_A)과 3점법(μ_C)의 두 모집단의 모평균(μ)은 95%의 확률로 $-0.00154mm \leq \mu_A - \mu_C \leq -0.00046mm$ 차이가 있다고 확인할 수 있었다.

아홉째, 직경법, 반경법, 3점법의 진원도 측정값들의 모평균(μ)은 모두 차이가 있다는 것을 확인할 수 있었고 모평균(μ)을 낮은

순서대로 나열한다면 반경법 < 직경법 < 3점법의 순이다.

열 번째, 모분산(σ^2)은 직경법과 반경법만이 차이가 있었고 대부분 정밀도가 같은 등분산임을 확인할 수 있었다.

열한번째, 본 연구를 통해 진원도는 완성품의 성능과 수명을 결정하는 중요한 기하공차 중 하나이며 산업현장에서 양산품을 측정할 때 적절한 평가방법이 선정되어야 하고 규제되어야 할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 이장구, “정밀측정공학”, 기전연구소, 2002
2. 이종대, “정밀측정실습”, 성안당, 1996
3. 김명희, “정밀측정실기”, 한국산업인력공단, 2012
4. 오상록, “정밀가공 부품의 진원도 특성 평가에 관한 연구”, 한국공작기계학회 춘계학술대회논문집
5. 한응교, “진원도 측정기의 오차특성에 관한 연구”, 대한기계학회논문집 13.5 (1989): 862-874.
6. 박정보, “2차원 프로브를 이용한 진원도 및 직각도 측정에 관한 연구”, 한국기계 기술학회지 4.1 (2002): 45-51.
7. 이민기, “축차 2점법을 이용한 회전체의 진원도 프로파일 측정에 관한 연구”, 大韓機械學會論文集A 34.8 (2010): 1029-1034.
8. 장성민, “직교배열에 의한 선삭과 회귀분석 방법에 의한 A1-6061의 진원도 평가” 한국 산학기술학회논문지 13.1 (2012): 45-50
9. 김수광, “진원도 형상 추정 연구”, 한국기계가공학회지 10.2 (2011): 38-45.
10. 정현석, “측정조건에 따른 진원도 측정 오차에 대한 연구”, 한국금형공학회지 13.4 (2019): 51-56

* 인천대학교 공학대학원 기계공학전공

** 인천대학교 기계공학과 교수(bksong@inu.ac.kr)