한국금형공학회지, 제12권 제2호, 2018
J. Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol.12 No.2, 2018 ISSN 2092-9692

자동차 토크앵글센서(TAS)의 평면 정밀도에 관한 연구

윤선진† · 조용무[1]
㈜디팜스테크† · 동서울대학교 항공기계과[1]

A study on the flatness of automotive torque-angle sensors

Sean-Jhin Yoon† · Yong-Moo Cho[1]
DPAMSTECH Co., Ltd.†
Dept. of Aerospace & Mechanical Engineering, DONG SEOUL University[1]
(Received May 23, 2018 / Revised July 24, 2018 / Accepted August 01, 2018)

Abstract: In this study, we proposed three analysis methods to calculate the flatness of torque-angle sensors (TAS). We introduced two statistical and one geometrical methods in evaluating the precision of the flat planes in the axis direction for TAS. To verified the results, we fabricated TAS and a reference sample using a injection molding machine, mold, polyester as a raw material. We measured (x_i, y_i) position using 3D contact automated system and applied three analysis methods developed for TAS and a reference sample to see the feasibility. While each analysis method has its own pros and cons, the analysis using the shortest optimal distance was the most precise technique for the flatness evaluation of TAS components.

Key Words: Flatness, Geometry, Precision, Statistics,, Torque-angle sensor

1. 서 론

전동방식 자동차 조향 장치는 운전자가 운전대에 가하는 힘을 감지하여 원하는 방향으로 차량을 회전 속도를 제어하는 토크 센서(torque sensor)와 돌아가는 각도를 감지하여 바퀴 각도를 변환하는 앵글센서(angle sensor)로 구성되어 있다. 종래 기술에서는 토크센서와 앵글센서가 각각 독립적으로 설치되어, 이미 협소한 자동차 핸들 공간에서 공간 활용성이 떨어지는 문제가 발생하며, 또한 많은 기능을 부여해야 하는 최신 자동차 기술의 급격한 발전에 적합하지 않았다. 최근 조향장치 기술에서는 동등 제조원가대비 보다 많은 기능 특히 스마트 기능을 탑재하려는 시도가 이루어지고 있다. 일예로, 차량의 야간운전에서 교차로 회전을 하는 경우 운전대가 돌아가는 비율에 맞춰 헤드라이트가 같이 변환하는 적응형 라이팅 시스템(adaptive front lighting), 차량이 코너를 돌 때 도로 설계상의 문제나 과속, 급작스런 핸들조작에 의한 사고를 방지하고 부드러운 운전을 제공하는 전자식 차체 자세 안정 시스템(electronic stability control)이 있다. 이처럼 보다 많은 스마트한 기능을 한데 묶어서 일체형으로 장착하기 위해서는 공간 활용성을 극대화해주는 부품 제조기술이 필요하다.

자동차용 조향장치 역시 핸들 내에 보다 넓은 공간을 확보하여 모듈을 일체화시키는 기술이 연구되어져 왔다. 토크센서와 앵글센서는 그 기능을 일체화한 토크앵글센서(torque-angle sensor; TAS)로서 출시되나, 서로 다른 형태의 모듈을 단일화로 인한 구조적 복잡성 문제로 인하여 제조 후 변형이 매우 심하고 특히 면외 평면 변형이 심화되는 치명적인 문제가 있다.

차량용 조향장치에 공간 활용성을 극대화하여 다기능 모듈을 장착하기 위해서는 결국 금형 정밀도가 우수하여야 하나, 이 문제는 (1) 금형설계 및 사출 성형 공정의 개선을 통하여 허용 공차를 구현을 할 수 있는 금형 정밀도 기술 (2) 외경 150㎜에 비례

† 교신저자: 디팜스테크 기술연구소
E-mail: sjyoon@dpamstech.co.kr

해 0.1㎜이하 평면 공차를 적정하게 평가할 수 있는 정밀 측정 기술이 필요하다.

평면 정밀도의 확보는 금형의 마이크로(㎛) 가공이 보편화되고 있는 초정밀 제품의 성능 확보에 필수적이며[1,2] 측정 샘플의 경사도, 지그에 의존하지 않는 일관된 결과를 보여줘야 하기에 그 중요성이 점점 심화되고 있다[3,4].

본 연구에서는 초정밀 TAS의 개발을 위하여 측정 샘플의 경사도, 측정 지그 등에 무관하게 평면 정밀도를 표현하기 위하여 3가지 수학적 모델을 제안하고, 샘플 제작과 측정을 통하여 그 유효성을 평가하였다. 수학적 모델의 전개는 각 측정 점에 대한 값을 통계적으로 처리하는 해석방법과 기하학적인 정의에 의한 해석방법이며 이를 이용하여 평면 정밀도를 평가하였다.

2. 이 론

Fig. 1은 토크앵글센터(이하 TAS라고 칭함)에 사용되는 개별 부품들의 이미지를 보여주고 있다.

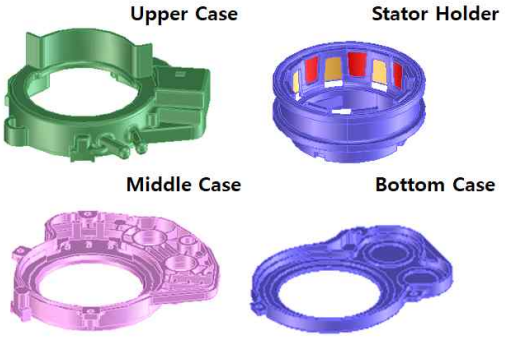

Fig. 1 Image of torque-angle sensor (TAS) parts

TAS 부품의 두드러진 특징은 중앙부에 핸들 중심축(axis)을 중심으로 내경과 외경을 가지고 중심축에 수직한 수평한 기준 평면을 가지는 구조로 되어있다.

TAS와 같이 그 구성 부품이 원통형 형상을 가지는 부품의 정밀도를 평가하기 위해서는 각 부품의 조립 정밀도를 결정하는 기준면의 평면 정밀도와 자동차 핸들의 회전 각도와 연관되는 원주방향 진원도로 평가가 이루어진다. 이중에서 평면 정밀도는 TAS 내경 또는 외경에 수직한 면의 평면 정밀도를 말하며 통상 기준면을 중심으로 떨어진 거리에 대한 공차를 말한다(Fig. 2).

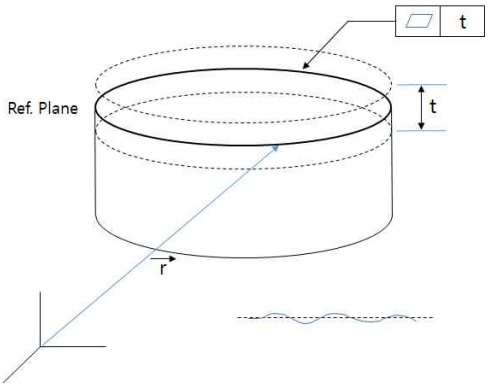

Fig. 2 Illustration of flatness precision for TAS

Method 1. 평면 정밀도는 설계자의 의도에 따라 다르게 정의될 수 있으나 기준이 되는 정반, 측정 지그, 거칠기에 무관하게 언제나 일관된 측정이 가능하여야 한다. 평면 정밀도는 3차원 측정기를 이용하여 기준면으로 떨어진 측정지점 (x_i, y_i)의 거리를 측정하여 그 거리를 계산하여야 하는데 이는

$$d_i = y_i - f(x_i, a_j),\ i, j = 1, \ldots, n \tag{1}$$

으로 정의된다. 여기서 기준면을 정의해 주는 함수 f(x_i, a_j)가 선형적 평면인 경우(j=1,2),

$$f(x_i, a_j) = a_1 + a_2 x_i \tag{2}$$

으로 표현되며 식 (1)은 다시

$$d_i = \frac{y_i - a_1 - a_2 x_i}{(1 + a_2)^{0.5}},\ i = 1, \ldots, n \tag{3}$$

와 같이 표현될 수 있다. 여기서 측정 편차값의 합은

$$R = \sum_{i=1}^{n} d_i \tag{4}$$

로 정의될 수 있다. 이 경우 기준면은 편차값이 최소가 되는 면으로 정의되는데

$$\frac{\partial R^2}{\partial a_j} = \sum_{i=1}^{n} d_i^2 = 0,\ j = 1, 2 \tag{5}$$

을 만족하는 면으로 정의된다.

식 (5)를 만족하는 해는 대수학을 통하여 그 해를 유도할 수 있는데

$$a_2 = -B \pm \sqrt[2]{1 + B^2} \tag{6}$$

$$a_1 = \bar{y} - a_2 \bar{x} \tag{7}$$

으로 정의된다.

상기 식에서 B는 하기와 같이 정의된다.

$$B = \frac{\left(S_{yy} - n\overline{y^2}\right) - \left(S_{xx} - n\overline{x^2}\right)}{2\left(n\overline{x}\,\overline{y} - S_{xy}\right)} \quad (8)$$

$$\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i,\ \overline{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i \quad (9)$$

$$S_x = \sum_{i=1}^{n} x_i, S_{xx} = \sum_{i=1}^{n} x_i^2 \quad (10)$$

$$S_y = \sum_{i=1}^{n} y_i, S_{yy} = \sum_{i=1}^{n} y_i^2 \quad (11)$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i \quad (12)$$

축방향 평면 정밀도를 기준면에서 측정 점들의 편차로 정의하는 경우

$$s = \left(\frac{R^2}{n-1}\right)^{0.5} \quad (13)$$

로 표현된다. 만약에 축방향 평면 정밀도를 최고, 최저 범위로 정의하는 경우

$$s = Max(d_i) - Min(d_i) \quad (14)$$

로 정의된다. (이하 Max/Min으로 표시함)

Method 2. (1)~(14)의 전개에서 식(3)을 식(15)와 같이 정의하는 경우 수학적인 전개는 식 (16), (17)과 같이 매우 간단해지고 식(13, 14)은 동일하게 적용된다.

$$d_i = y_i - a_1 - a_2 x_i, i = 1, \ldots, n \quad (15)$$

$$a_2 = \frac{nS_{xy} - S_x S_y}{nS_{xx} - S_x^2} \quad (16)$$

$$a_1 = \left(S_y - a_2 S_x\right)/n \quad (17)$$

Method 3. 평면 정밀도는 원리적으로 기하학적 관계에 의해 정의될 수 있기 때문에 경사도를 감안한 평면 정밀도는 통계적 처리와 무관하게 기하학적 관계를 이용하여 계산이 가능하다. 즉, 기준면으로부터 측정점 (x_i, y_i)은 데이텀 평면을 고려한 새 좌표 (u_i, v_i)로 정의될 수 있는데 이 경우 측정점과 새 좌표의 관계는

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} c & -s \\ s & c \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ y \end{Bmatrix} \quad (18)$$

으로 정의되며[5] 여기서

$$c = \cos(\theta), s = \sin(\theta) \quad (19)$$

$$\theta = \mathrm{atan}\left(\frac{S_{xy} - n\overline{x}\,\overline{y}}{S_{xx} - n\overline{x^2}}\right) \quad (20)$$

이다. 식 (12), (13)과 마찬가지로 기준면에서 측정점들의 편차는

$$s = \left(\frac{R(u_i, v_i)^2}{n-1}\right)^{0.5} \quad (21)$$

최고점에서 최저점까지의 거리는

$$s = Max\left(d(u_i, v_i)_i\right) - Min\left(d(u_i, v_i)_i\right) \quad (22)$$

으로 정의된다.

TAS의 원주방향 진원도는 원주방향으로 내경 또는 외경 자체의 공차를 말하며, 축방향 평면 정밀도에서처럼 데이텀과 무관한 측정이 가능한 기준이 설정되어야 한다(Fig. 3). 원주방향 진원도는 수학적으로 원의 중심점을 기준으로 한 새 좌표의 도입이 필요하여 수학적으로 매우 긴 전개를 해야 하므로 차후 별도의 연구결과를 발표하도록 한다.

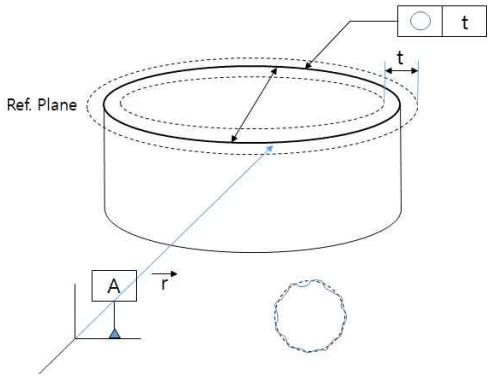

Fig. 3 Illustration of circular precision for TAS

3. 실 험

Fig. 4는 본 연구에서 평면 정밀도 평가를 위하여 제작되어진 TAS Upper Case를 보여주고 있다. TAS는 Fig.1에 보인 것처럼 총 4종의 부품으로 구성되어있으나 앞서 설명되어진바와 같이 제품 간 높은 유사성이 있는데다가, 본 연구의 목적은 초정밀 평면 정밀도를 평가하기 위한 목적이므로 upper case 부품 1종을 대상으로 연구를 진행하였다. 해당 TAS 부품은 Sodick(주) 220톤 사출기를 이용하여 폴

리에스테르(PE) 재료를 사용하여 제조하였으며 기타 성형조건은 하기 Table 1에 보여주고 있다.

Fig. 4 Image of manufactured TAS

Table 1 Mold injection parameters and properties

Parameters	Properties
Mold Temperature	80℃
Melt Temperature	250℃
Material	Polyesters
V/P Switch	99 %
Material Structure	Crystalline
Shear Stress Limit	0.4 MPa
Shear Rate Limit	50,000 1/s

Fig. 5는 Sheffield Pioneer 10 접촉식 측정기와 측정 지그를 이용하여 (x_i, y_i) 측정을 하였다. TAS는 초정밀 부품으로 측정값들의 편차가 심하지 않아 기울기로 인한 편차를 보기가 어려워 Fig. 6과 같이 경사도를 갖는 측정 지그를 기준 샘플로 활용하여 계산 방법 간 편차 유의성을 보는데 활용하였다.

Fig. 5 Measurement of the flatness of TAS

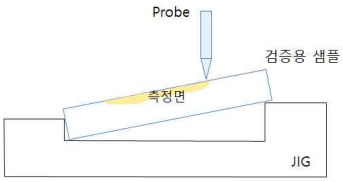

Fig. 6 Measurement of the flatness of JIG

4. 결과 및 고찰

Table 2는 3차원 측정기를 이용하여 경사진 기준 샘플에 대한 축방향 평면의 (x_i, y_i) 측정값 중 평면 정밀도에 관여하는 y_i을 보여주고 있다. 측정 Data (y_i)의 평균값은 12.338650㎜, 표준편차는 1.608185㎜이다. Table 3은 측정되어진 값을 앞서 제안된 세 가지 Method에 의하여 재계산을 한 결과로 Method 3 < Method 1 < Method 2 순으로 평면 정밀도 계산값이 차이가 나고 있어 계산 Method간 변별력에 차이가 있음을 알 수 있다.

Table 2 Measured (yi) data of JIG (unit: ㎜)

#1	#2	#3	#4	#5
14.390	13.149	12.689	11.038	10.424

Table 3 Calculated flatness of JIG (unit: ㎜)

	Method 1	Method 2	Method 3
Max/Min	0.646676	0.646846	0.644710
Deviation	0.253538	0.254377	0.253530

Table 4는 3차원 측정기를 이용하여 측정한 TAS upper case의 축방향 높이를 보여주고 있다. 측정값의 표준편차는 0.73238㎜, Max/Min 값은 0.211000㎜으로 편차대비 적은 Max/Min 값은 해당 측정 샘플이 측정 기준인 절대 평면에 따라 그 값이 심하게 차이가 날수 있으며 평면 정밀도를 대변할 수 없음을 보여준다.

Table 4 Measured (yi) of TAS upper case (unit: ㎜)

#1	#2	#3	#4	#5
12.142	12.115	12.116	12.232	12.213

#6	#7	#8	#9	#10
12.051	12.201	12.061	12.021	12.181

Table 5 Calculated flatness of TAS upper case (unit: ㎜)

	Perpendicular	Vertical	Geometrical
Max/Min	0.185622	0.185636	0.030090
Deviation	0.071608	0.071609	0.009574

Table 5는 앞서와 동일하게 측정되어진 값을 제

시된 3가지 방법에 의하여 재계산을 한 결과로 동일한 Method 3 < Method 1 < Method 2 순으로 평면 정밀도 계산 값이 차이가 나고 있으나 Table 3과 다르게 Method 1, 2간의 차이가 매우 적은데 비해, Method 3은 Method 1 또는 2에 비해 매우 큰 값을 보여주고 있다. Method 1, 2는 평면 정밀도를 계산함에 있어서 최단거리, 수직거리의 기본 가정을 가지고 계산을 하였기에 TAS와 같은 초 정밀 제품에 대하여 큰 차이를 보이지 않고 있으나 측정 샘플이 심하게 기울어지는 경우 기준 샘플의 경우 그 정밀도가 차이가 나게 된다. 이는 정반이나 TAS는 측정 샘플과 측정 지그의 경사가 심하지 않은 정밀한 설계가 되었기 때문에 경사로인한 영향이 심하지 않았으며, 샘플/측정 지그 경사도를 정확히 맞출 수 없는 경우 Method 2는 사용되어 질 수 없음을 알 수 있다. Method 3의 경우는 측정값의 스케일이 큰 기준 샘플의 경우 Method 1, 2와 별 차이가 나오지 않고 있으나 TAS와 같은 마이크로(㎛) 가공을 기초로 한 미세 단위 구조물에 대한 측정의 경우 도형변환에 따른 반올림 오차비중이 커지는 것이 발견되고 있다. 따라서 Method 3은 금형의 미세가공에 대한 측정 방법으로 사용되어 질수 없음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 초정밀 TAS의 개발을 위하여 샘플의 경사도, 측정 지그 등에 무관하게 평면 정밀도를 표현할 수 있는 수학적 모델을 제안하며, 샘플 제작과 측정을 통하여 그 유효성을 평가한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 3차원 측정을 통하여 측정되어진 기준면과 거리 측정값 (x_i, y_i)들은 제안되어진 3가지 모델 Method 1, 2, 3에 이하여 평면 정밀도의 계산이 가능하였다.

2) Method 1을 통한 결과는 샘플의 경사도, 치수 정밀도에 무관히 모두 안정된 평면 정밀도 계산 값을 보여주고 있었다.

3) Method 2는 Method 1와 유사한 결과를 보여주고 있고 계산이 용이한 장점이 있으나 샘플이 경사져 있거나, 측정 지그 또는 정반의 평면 정밀도의 품질이 매우 불량한 경우 에러가 커짐을 볼 수 있었다.

4) Method 3는 평면 정밀도의 직관적 이해가 가능한 장점이 있지만 TAS와 같은 마이크로 금형 기술에 의존하여 제작된 구조물에 대해서는 평면 정밀도의 정확도가 급격히 떨어지고 있음을 볼 수 있었다.

5) 초정밀 TAS의 평면 정밀도를 평가하기 위하여 Method 1이 유효하게 사용될 수 있음을 알 수 있다.

후기

본 연구는 산업기술평가관리원 우수기술연구센터사업 (10077292)의 지원으로 진행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1) Molleda, J., Usamentiaga, R. and Garcia, D.F., “On-Line Flatness Measurement in the Steelmaking Industry”, Sensors Vol. 13, No1, p. 10245, 2013.
2) Lakota, S. and Gorog, A., “Flatness Measurement by Multi-point Methods and by Scanning Methods”, Journal of Interdisciplinary Research Vol.1 No.1, p. 124, 2011.
3) KS B ISO 12781-1,2, Geometrical Product Specifications (GPS) - Flatness, Korean Standards and Certifications, 2014.
4) KS F 2635, Door leaves - Measurement of defecfs of general flatness, Korean Standards and Certifications, 2015.
5) Tobias M. J., *Matrices in Engineering Problems*, Morgan & Claypool Publishers, p. 160, 2011.