

측정 자동화 구축을 위한 투영기의 치수오차 분석에 관한 연구

최지선*·김문기**†

*한국기술교육대학교 메카트로닉스공학과, **†한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

A Study on Analysis of Dimensional Error of Projector for Formulations of Measurement Automation

Choi, Jisun *, and Moon Ki Kim **†

*Department of Mechatronics Engineering, Graduate School of Korea University of
Technology and Education,

**†School of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education

ABSTRACT

In this research, the dimensional error of the measured specimen according to the measurement method was analyzed for the length, angle, radius of curvature and diameter using a projector which is used in industry. One-way analysis was performed on each data tested 30 times using a statistical technique. Through the experiment, it was found that an error occurred in each data when measuring the length and radius of curvature according to the measurement method, and the null hypothesis that no error occurred when measuring the angle and length was established. Based on this experimental data, the automatic measurement when measuring the projector causes less measurement error, so automatic measurement is recommended when measuring a small product. Also, an optimal measuring method is suggested for securing reliability on formulations of measurement automation.

Key Words : Projector, Dimensional error, Automatic measurement, Statistical technique, Reliability

1. 서 론

오늘날 여러 제조 산업분야에서 다양하고 복잡한 형상들이 개발되고 있고, 소형제품들의 증가에 따른 측정정밀도에 대한 신뢰성이 요구되고 있다. 제조업에서의 4차 산업혁명의 중요성이 인식되고 있으며 측정 신뢰성이 담보되지 않는 4차 산업혁명은 근간이 흔들릴 수 있다. 측정기술이 확보되지 않으면 빅데이터를 신뢰할 수 없어 리스크의 원인이 될 수 있기 때문에 제조공정 검사 공정 구축 시 올바른 측정기 선정과 효율적인 측정방법은 반드시 필요하다.

†E-mail: mkkim@koreatech.ac.kr

4차 산업 시대에 스마트 팩토리의 측정 자동화를 구현하려면 모든 측정기를 소형화하고 고속화하여 제조공정에 포함해야 하는데, 산업현장에서 다목적으로 많이 사용되고 있는 대표적인 측정 장치가 투영기이다. 스마트 팩토리에 적용되는 투영기 측정에 관한 연구들을 보면 Kim⁽¹⁾은 투영기법을 이용한 표면 실장부품의 위치 및 각도를 측정하여 측정 시 발생하는 오차에 대하여 정도를 검증하였고, Lee⁽²⁾는 비접촉식 광학적 변위 측정기를 이용하여 진동 및 변위를 측정하여 측정오차에 대한 개선안을 제시하였다. 또한 Lim과 Kim⁽³⁾은 비접촉 측정 시 측정오차를 최소화하는 측정법을 제안하였다. 투영기 측정과 동일한 원리를 이용하여 Jang⁽⁴⁾은 비접촉식 측정방법을 이용하여 형상특징에 적합한 측정경로를 알아내었고, Lee⁽⁵⁾

는 측정데이터의 영역화를 위하여 형상을 복원하는 프로세스를 구현하였다. 이처럼 비접촉 측정기⁽⁶⁾를 활용한 측정 및 역설계 관련한 장비와 시스템까지 다양한 전문분야에서 연구가 진행되고 있지만, 투영기의 구조 및 운용 방법에 따른 오차요인 분석 연구는 부족한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 투영기 정밀측정의 중요항목인 길이, 각도, 곡률, 내경 측정에 대한 오차분석을 실시하였다. 그리고, 실험계획법을 이용한 측정오차 등을 분석하여 향후 제조공정의 측정 자동화 구축 시 신뢰성 확보를 위한 최적의 측정방법을 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에 적용되는 실험장치는 Fig. 1과 같다. (a)는 본 실험에 사용한 투영기(PJA-3000, Mitutoyo Co.)로, 분해능은 1 μm, 최대측정범위는 ϕ300 mm이고 투영기 내 부착된 렌즈는 x20배를 사용하였다. (b)는 투영기 내 부착된 자동측정 프로그램이며(모델명: QM-DATA 200) 측정 시 분해능은 1 μm이다.

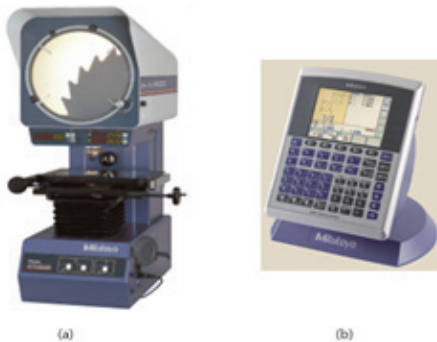


Fig. 1. Experimental equipment.

수동과 자동프로그램을 이용하여 측정자 3명이 각각 10회씩 반복 측정하였고, 측정에 사용된 시편은 알루미늄 합금 재질로 Fig. 2와 같다. 측정항목은 시편의 길이(L), 각도(A), 반지름(R)에 대한 위치도(LI) 및 구멍위치도(P)이며, 각각의 항목에 적용되는 공차는 장비의 정도 및 일반적인 공차를 적용하여 Table 1과 같이 설정하였다.

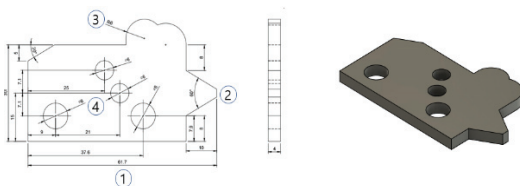


Fig. 2. Measurement drawing and elements.

Table 1. Measurement item and specification

No.	Item	Dimension	Tolerance(mm)
①	X-axis	61.7	±0.025
②	Angle	120 °	±0°12 '
③	Radius	6.0	±0.10
④	Dia	8.0	±0.015

측정 후 각각의 데이터를 이용하여 평균과 표준편차를 산출한 후, 통계프로그램을 이용하여 대립가설에 대한 유의차 검정을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 측정요소별 치수 오차분석

측정항목별로 3명의 측정자가 수동 또는 자동의 측정 방법에 따라 각각 10회씩, 즉 측정 방법별로 총 30회 측정을 하였고, 그 측정데이터를 이용하여 정확도와 정밀도를 알아보기 위해 통계프로그램의 x bar 관리도를 이용하여 각각의 측정요소에 대한 측정 편차를 계산하였다.

Fig. 3은 시편의 길이에 대한 x bar 관리도이다. 수동측정 시 평균은 61.731 mm, 표준편차는 0.008이며, 최소값은 61.721 mm, 최대값은 61.752 mm로 측정되었다. 자동측정의 경우는 평균 61.729 mm, 표준편차는 0.006이며, 최소값은 61.714, 최대값은 61.740 mm로 측정되었다. 본 실험을 통해 길이측정 시는 자동측정을 활용하였을 때 평균 및 표준편차가 적게 발생한 것을 알 수 있었다. 이는 자동측정 방식이 동일한 측정위치에서 반복측정이 되기 때문에 측정자의 반복오차가 적게 발생되었기 때문이라 판단된다.

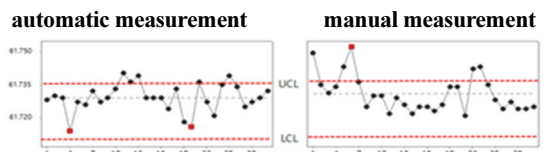


Fig. 3. X-axis dimension measurement deviation.

Fig. 4는 각도에 대한 x bar 관리도이다. 수동측정 시 평균은 120.06 °, 표준편차는 0.107, 최소값은 119.77 °, 최대값은 120.28 °이고, 자동측정의 경우는 평균 120.12 °, 표준편차는 0.063, 최소값은 119.97 °, 최대값은 120.25 °로 측정되었다. 정확도는 수동측정이 자동측정 시보다 좀 더 정확하게 나타났으나 표준편차가 더 크게 발생한 것을 확인하였다. 이는 각도를 세팅하기 위하여 스크린을 수동으로 회전하는 과정에서 측정자 간의 편차가 크게 발생했다는 것을 의미한다.

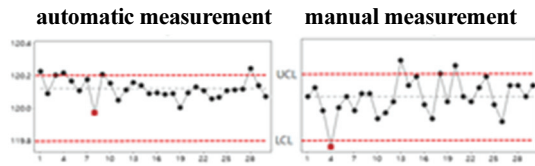


Fig. 4. Angle measurement deviation.

Fig 5는 곡률반경에 대한 데이터이다. 수동측정 시 평균은 6.009 mm, 표준편차는 0.014, 최소값은 5.982, 최대값은 6.038 mm이고, 자동측정의 경우는 평균 6.001 mm, 표준편차는 0.024, 최소값은 5.967 mm, 최대값은 6.056 mm로 측정되었는데, 예상과 달리 수동측정이 정밀도 및 정확도가 좋은 것으로 나타났다. 이는 측정자의 연습을 통해 제품의 반지름 부분을 스크린 십자선에 정확하게 일치시켜 측정자 간의 오차가 적었다는 것을 의미한다. 또한, 측정자가 수동측정 시 곡률반경의 시작점과 측정구간을 십자선을 통해 육안으로 비교적 정확한 위치점을 설정하기 때문에 반경의 시작점을 정확하게 인식하지 못하는 자동측정보다 수동측정이 유리한 것으로 사료된다.

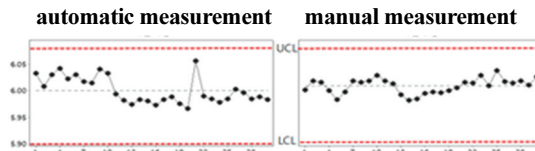


Fig. 5. Radius of curvature measurement deviation.

Fig 6은 내경치수에 대한 \bar{x} 관리도이다. 수동측정 시 평균은 8.016 mm, 표준편차는 0.006, 최소값은 8.006 mm, 최대값은 8.031 mm이고, 자동측정 시에는 평균 8.010 mm, 표준편차 0.007, 최소값 8.000 mm 및 최대값 8.025 mm로 측정되었다. 자동측정은 총 30회 측정 중 8회가 관리한계선 밖에 존재하였으며 수동측정 시에는 13회가 관리한계선 밖에 존재하였다. 그래프를 통해 자동측정 시가 정확도와 정밀도는 수동측정 시 보다 안정되게 나타난 것을 알 수 있다. 이는 측정자가 스크린 십자선과 원의 최고점을 교차하는 과정에서 위치, 시차 등의 오차가 발생한다는 것을 의미한다

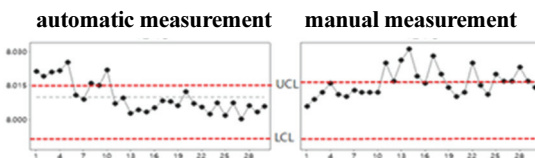


Fig. 6. Inner diameter measurement deviation.

3.2 측정요소별 측정자 간 오차분석

통계프로그램인 미니탭을 활용하여 30회 반복 측정한 데이터가 신뢰구간 95% 수준에서 측정자 간의 차이가 있는지를 확인하였다.

각각의 표본 통계량을 이용하여 관리공차 ± 0.026 mm를 기준으로 집단간 표준편차의 크기에 대한 가설검정을 시행하였는데, 1단계로 표본의 통계량에는 변화가 없을 것이라는 귀무가설(H_0)과 차이가 발생할 것이라는 대립가설(H_1)을 세웠다. 그리고 2단계는 유의수준을 5%로 설정하였고 3단계로 각 표본의 통계량을 계산하였으며, 4단계로 검정 통계량 P값을 계산하였다. 즉 각각의 측정항목에 대한 측정자 간의 측정오차 차이를 실험을 통하여 확인하였다.

1) 수동측정 시 측정자 간의 오차분석

가설검정 결과 길이측정에 대한 각각의 측정자 간의 검정 통계량 P값은 0.022로, 측정자 간의 측정값에 차이가 발생하여 검정 유의수준 0.05에서 차이가 발생한 것을 확인하였다. 이는 측정자 1의 평균값이 61.735mm와 측정자 2의 61.720 mm로 서로 다른 평균값에 따른 유의한 차이가 발생한 것으로 추정할 수 있다.

각도측정의 경우, P값이 0.151로 측정자 간의 측정값에 차이가 발생하여 검정 유의수준에서 차이가 발생하지 않는 것을 알 수 있다.

곡률반경 측정 시에는 P값이 0.001로, 측정자 간의 측정값에 차이가 발생하여 검정 유의수준에서 차이가 발생한 것을 검증하였다. 측정자2의 평균값은 6.007 mm인 반면 측정자 3의 평균값은 6.020 mm로 측정자 2와 3간의 측정오차가 크게 나타나는 것을 확인하였다. 또한, 측정자 3과 측정자 1간의 평균값에도 차이가 발생하는 것을 알 수 있다.

내경 측정 시 P값이 0.001로 측정자 간의 측정값에 차이가 발생하여 검정 유의수준에서 차이가 발생한 것을 검증하였다. 측정 시편의 내경측정을 통해 측정자1과 측정자 2번의 평균값이 다르게 나타났으며, 측정자 1과 측정자 3번의 경우에도 평균값이 다르게 나타났다. 더불어 측정자 2와 3번의 경우에도 측정자 간의 평균값에 유의한 차이가 발생함을 확인하였다.

2) 자동측정 시 측정자 간의 오차 분석

길이측정에 대한 각각의 측정자 간의 검정 통계량 P값이 0.489로 각각의 측정자 간의 측정값에 차이가 발생하지 않는다는 귀무가설을 채택하였다. 각도측정 시에도 검정 유의수준에서 차이가 발생하지 않는다는 귀무가설이 성립되는 것을 알 수 있다.

곡률반경 측정 시 측정자1을 기준으로 측정자2와 차이

가 발생하였으며 측정자2와 측정자3 간의 평균값에도 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이는 검정 유의수준 0.05 신뢰구간을 기준으로 각각의 측정자 간의 평균값에 차이가 발생함을 의미한다. 자동측정 프로그램을 이용한 내경 측정 시에도 측정자1을 기준으로 측정자 2와의 측정 시 차이가 발생하였으며 측정자 2와 측정자3 간의 평균값에도 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 측정 방법별 측정 항목에 대한 P값을 정리하면 Table 2와 같다.

Table 2. P-value(Probability value) for 3 raters

	Manual	Auto
Length	0.022	0.489
Angle	0.151	0.151
Radius	0.001	0.001
Inner Dia.	0.001	0.001

3.3 실험계획법을 이용한 측정오차요인 분석

길이측정 시 데이터 분석은 Fig 7과 같고, 가설검정 결과는 검정 통계량 P값이 0.370으로 측정방법에 따른 측정자 간의 평균측정 값에 차이가 발생하지 않는다는 귀무가설(H_0)이 성립된 것을 알 수 있다.

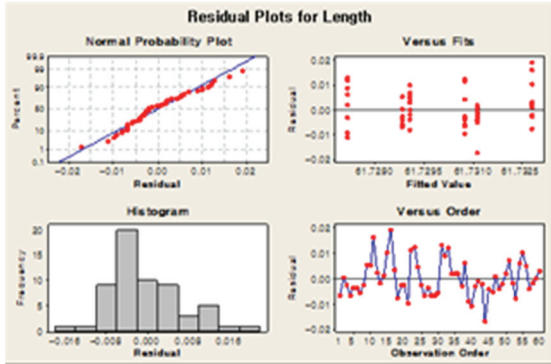


Fig. 7. Length measurement deviation analysis using experimental design method.

각도측정 시 데이터 분석은 Fig 8과 같고, 검정 통계량 P값이 0.011로 유의수준 0.05에서 평균값이 서로 다르게 나타내었다. 이는 측정방법에 따른 측정값에 차이가 발생하지 않는다는 귀무가설(H_0)을 기각하고 측정 시 측정자 간의 평균값에 차이가 발생하는 대립가설(H_1)을 채택하였다.

곡률반경 측정 시 데이터 분석은 Fig 9와 같고, 검정 통계량 P값이 0.107로 유의수준 0.05에서 평균값이 서로 다르다는 결론은 내릴 충분한 증거가 없으므로 귀무가설(H_0)이 성립된 것을 알 수 있다.

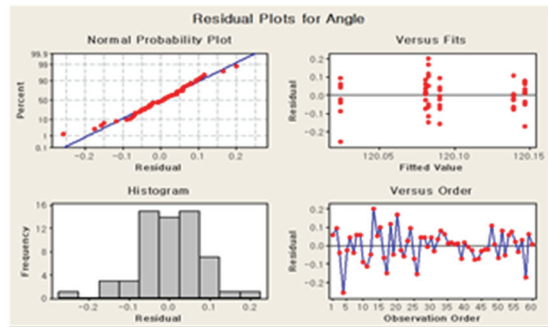


Fig. 8. Angle measurement deviation analysis using experimental design method.

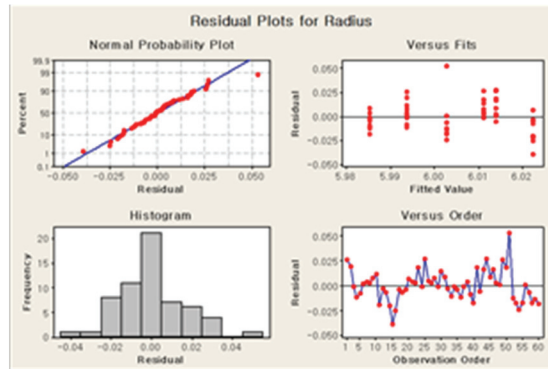


Fig. 9. Radius of curvature measurement deviation analysis using experimental design method.

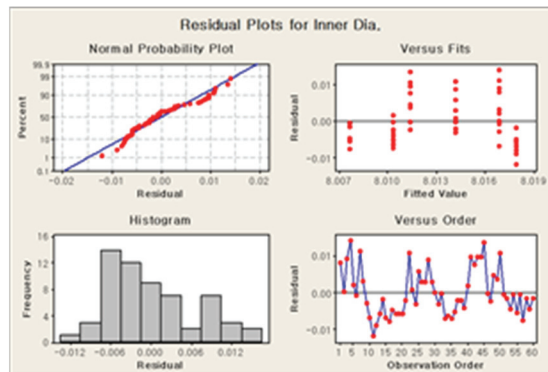


Fig. 10. Inner diameter measurement deviation analysis using experimental design method.

측정 시편의 내경 지름측정 시 데이터 분석은 Fig 10과 같고, 검정 통계량 P값이 0.000로 유의수준 0.05에서 평균값이 서로 다르다는 결론은 내릴 충분한 증거가 발생하였으므로 귀무가설을 기각하고 대립가설을 성립되는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 제품측정 시 일반적으로 사용하는 투영기를 이용하여 측정방법에 따른 각각의 측정요소 및 측정자 간의 측정오차를 통계적 프로그램을 이용하여 가설검정을 시행 측정 시 발생하는 오차에 대해서 분석하였고, 결론은 다음과 같다.

1. 측정방법에 따른 데이터 분석결과, 길이와 곡률반경 측정오차 분석 시에는 신뢰수준 95% 구간에서 데이터 간의 편차가 적은 반면, 각도 및 내경 측정 시에는 자동측정 방법이 수동측정 시 보다 편차가 적게 발생하였다.
2. 곡률반경 측정 시에는 측정방법에 따라 8 μ m의 측정오차가 발생하였지만, 유의수준 범위 내 존재하였으며 측정산포 확인결과 자동측정보다 수동측정 시 정밀도가 우수한 것을 알 수 있었다.
3. 내경 측정 시에는 측정방법에 따라 6 μ m의 오차가 발생하였으며 자동측정 시 정밀도 및 정확도가 더 우수한 것을 알 수 있었다.
4. 수동 및 자동측정에 따른 검정 통계량 P값은 내경이 0.000, 각도는 0.011, 곡률반경은 0.107, 길이는 0.370으로 나타났으며 이는 x축 길이 및 곡률반경은 측정방법에 따른 산포가 유의차 안에 존재한다는 것을 알 수 있다. 그러나 각도 및 내경 측정 시에는 유의차 밖에 존재하므로 측정 시 효율적인 측정방법을 신중하게 결정해야 할 것으로 생각된다.
5. 수동측정 시 측정자 간에 각도측정을 제외한 곡률반경, 길이 및 내경 측정 등에서 편차가 발생하였는데, 특정 측정요소와 상관없는 편차로 보아 측정자 숙련도 향상도 정밀 측정을 위한 하나의 중요한 요소임을 확인하였다.
6. 측정자 간의 측정 편차는 대체로 수동측정보다 자동측정 시 적게 발생하였고, 향후 산업현장에서의 제품 측정 시에는 특별한 경우를 제외하고는 자동측정 방법의 활용을 추천한다.

감사의 글

이 논문은 2021학년도 한국기술교육대학교 교수 교육연구진흥과제 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Kim, K. H., "Position and angle detection of surface-mounted parts using projection techniques", Master's Thesis, 1994.
2. Lee, J. H., "Vibration and displacement measurement using a non-contact optical displacement meter", Master's Thesis, 2002.
3. Lim, D. Y., and Kim, S. W "A Noncontact Optical Roughness Measurement Technique of Ground Surface by Light Scattering", Journal of The Korean Society of Mechanical Engineers., Vol. 12, No.6, 1988, pp. 1303-1311.
4. Jang, G. Y., "A Study on the Multi-step digitizing method and Reverse model generation for improvement of Reverse Engineering Accuracy", A master's degree thesis of Incheon university graduate school, 2003, pp. 45-52.
5. Lee, Y. Y., "Segmentation of scanned point data using a face-based method in reverse engineering", A master's degree thesis of Korea university graduate school, 2003, pp. 41-71.
6. Kim, M. S., "Study of the reverse engineering to use feature", A master's degree thesis of Kongju university graduate school, 2009, pp. 37-48.
7. Chung, M. O., "Study on the metal artifact reduction using metal artifact reduction algorithm in dual energy CT", A master's degree thesis of Korea university graduate school, 2013, pp. 28-47.
8. Hong, S. W "Quantitative analysis of metallic artifact on cone beam CT", Doctor thesis of Engineering of Kyunghee university graduate school, 2010, pp. 7-8.
9. Jeon, E. C., Kim, S. Y., Han, M. S., and Kim, T. H., "The Study on Application of Reverse Engineering on Correction of a Product Error by Rapid Prototyping", Journal of Korean Society of Manufacturing Process Engineers, 2007, pp. 8-14.

접수일: 2021년 11월 29일, 심사일: 2021년 12월 10일,
게재확정일: 2021년 12월 14일