

하이브리드 측정기의 개발 및 성능평가

이영호*, 박기범*, 조영태*, 이응석**, 정윤교*.#

*창원대학교 기계공학부, ** (주)키메스

Development and Performance Evaluation of Hybrid Measuring Instrument

Young-Ho Lee*, Gi-Bum Park*, Young-Tae Cho*, Eung-Suk Lee**, Yoon-Gyo Jung*.#

*School of Mechanical Engineering, Changwon University., **KIMEAS LTD.

(Received 17 April 2017; received in revised form 22 April 2017; accepted 30 April 2017)

ABSTRACT

There are two types of expensive measuring instruments currently on the market shape measurement and roundness measurement instruments. As they are very expensive, from tens of millions to more than 200 million won, buying them is economically burdensome for small companies or individuals. Therefore, in order to integrate the shape and roundness measurements into a single transfer device, this study aimed to reduce the trial and error by 3D modeling and simulation, and we confirmed the feasibility of operation. Based on these outcomes, a prototype hybrid measuring instrument was fabricated. As a result of performance evaluation and comparative evaluation, we verified the feasibility of implementation and application of the hybrid measuring instrument.

Key Words : Hybrid Measuring Instrument(하이브리드측정기), Roundness Accuracy(진원도측정), Shape Accuracy(형상 측정), 3D modeling(3D 모델링), Performance Evaluation(성능평가)

1. 서 론

공작기계 성능 수준은 매년 향상되어지고 정밀 가공^[1] 부품이 생산되고 있어 가공품의 정밀 측정과 품질관리에 대한 인식이 높아지고 있다. 그 중에서도 산업현장에서 주로 사용되는 형상 측정기와 진원도 측정기의 수요는 계속해서 증가하고 있는 추세이다. 하지만 형상 측정기^[2]와 진원도 측정기^[3]는 각각 수 천만원에서 많게는 2억 원 사이의

매우 고가의 장비이기 때문에 소규모의 기업이나 개인이 구매하여 이용하기에는 경제적 부담이 따르게 된다. 현재 시중에서 사용되고 있는 형상 측정기의 소형 측정물인 경우 수평방향(X축) 이송축에 상하 방향의 프로브를 장착하여 측정물의 2차원 프로파일 측정기능을 가진 측정기이며, 진원도 측정기는 회전테이블에 원통형 측정물을 장착하고, 수평방향으로 프로브를 설치하여 회전축 대칭물의 진원도와 원통도를 측정하는 측정기이다. 따라서 본 연구에서는 경제성 있는 측정기를 위해 형상 측정기와 진원도 측정기를 통합하여 하나의 이송장치(Stage)를 이용하는 복합형상 측정기의 개

Corresponding Author : yjung@chanwon.co.kr

Tel: +82-55-213-3602, Fax: +82-55-213-2859

발이 필요^[1] 하다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 형상 및 진원도 측정이 동시에 가능한 하이브리드 복합 형상 측정기의 개발을 목표로 하고 있다. 복합 형상 측정기의 제작 시 작동 여부 및 간섭 체크를 위해 Inventor를 이용하여 3D 모델링 및 구동 시뮬레이션을 실시하였다. 또한, 제작된 복합형상 측정기에 대한 성능평가 및 기존의 장비와 측정 비교 평가를 함으로써 제작된 복합 형상 측정기의 신뢰성을 확보 하였다.

2. 하이브리드 측정기의 설계 및 제작

2.1 측정기 설계

하이브리드 측정기는 KS규격품 및 표준 구매품과 31개의 제작 부품으로 설계 되었으며, Fig. 1과 같이 크기는 가로×세로×높이(450mm×250mm×630mm)이다. 그리고 형상 측정 및 진원도 측정이 동시에 가능하도록 X축, Z축 직선이동 스테이지와 A회전축 Rotary table로 구성되어 있다. X축은 크게 Probe and guide ass'y와 X-axis Guide, X-axis Servo motor로 이루어져 있으며, 총 이송 가능 거리는 150mm이다. Z축은 X-axis Ass'y를 포함한 Z-axis Guide와 Z-axis Servo motor로 구성되고 총 이송 가능 거리는 200mm이다. A축은 서보모터의 동력을 전달하는 X축 타이밍 벨트와 제품을 장착하고 360° 회전 할 수 있는 Rotary table로 되어 있으며, 각각의 이송축은 서보 모터의 동력을 받아 가이드의 이송 방향으로 자동 운전이 가능하도록 설계 하였다. Fig. 2는 X-axis guide를 상하로 35° Tilting을 할 수 있도록 설계한 도면이다. 이는 X-axis guide가 0~70°까지 Tilting되어 형상측정과 진원도 측정이 가능 하도록 하기 위함이다. 그리고 형상 및 진원도 측정 시 엔코더(Encoder)를 이용하여 스타일러스(Stylus)^[4]가 움직인 각도 값을 높이 값으로 변환되어 측정 될 수 있도록 설계하였다. Fig. 3은 스타일러스가 측정할 수 있는 최대 높이 값 82.78mm(Max)를 보여 주고 있다. 또한 측정 시 Probe의 높이 조절과 평행을 유지 할 수 있도록 황동 재질의 무게 추 (Weight control)를 가진 구조로 설계를 하였다.

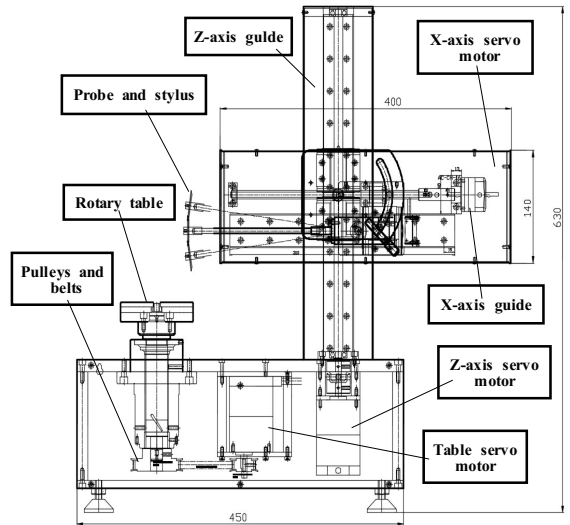


Fig. 1 Designation of hybrid measuring instrument

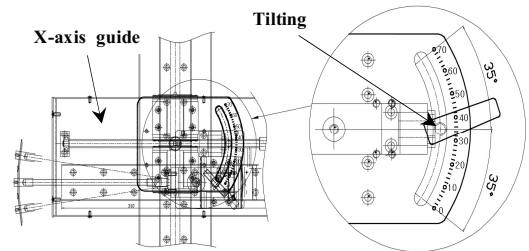


Fig. 2 Tilting function

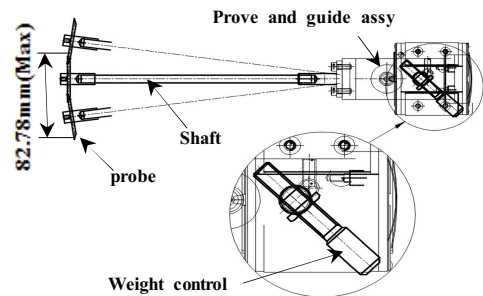


Fig. 3 Probe height control

2.2 3D모델링 및 시뮬레이션

2D 설계도면을 바탕으로 각각의 부품을 Inventor S/W를 이용하여 3D 모델링을 하였다. 3D 모델링^[5] 한 각각의 단품들을 Inventor S/W의 Assembly design모듈을 이용하여 하이브리드 측정기로 조립하였다. Assembly design이란 3D 모델링된 각각의 부품을 Inventor S/W의 Mate 기능을 활용하여 조립했을 때 부품간의 간섭을 확인하기 위한 과정이다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 각각의 단품들과 (a), (b), (c), (d)의 주요 조립품 들이 간섭 없이 조립되는 것을 확인 할 수 있었다. 그리고 조립된 하이브리드 측정기의 정상적인 동작 유무를 확인하고, 가상의 측정 제품을 대상으로 Assembly design된 하이브리드 측정기가 설계대로 형상 및 진원도 측정이 가능한지를 확인하기 위하여 Motion simulation^[6]을 하였다. 그 결과, 설 200mm, A계 계획대로 X축 이송거리 150mm, Z축의 이송거리 축 회전테이블 360°, 프로브의 측정 가능 최대높이 82.78mm인 것을 확인하였고, Tilting기능에 각도를 달리하여 다양한 제품에 대해 형상 및 진원도 측정이 가능 한 것을 확인하였다. Fig. 5의 (a)는 Tilting기능의 각도를 주어 진원도 측정을 하는 모습이고 (b)는 형상 측정을 하는 모습이다.

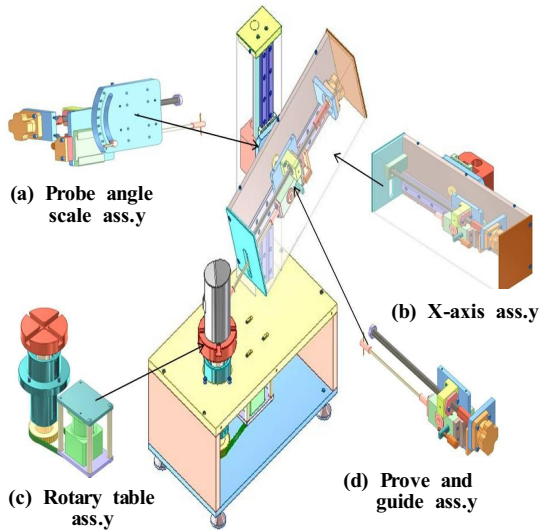
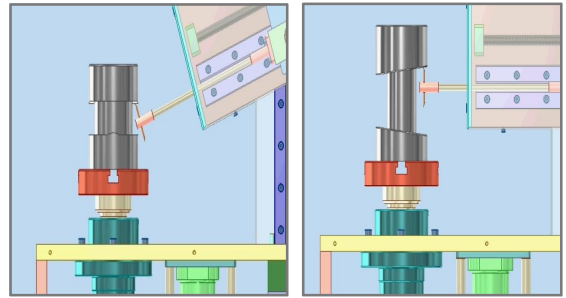
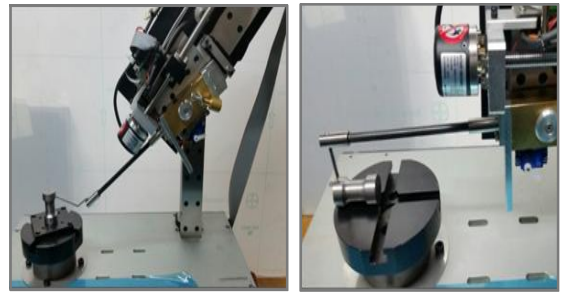


Fig. 4 Hybrid measuring instrument 3D modeling



(a) Roundness measurement (b) Shape measurement
Fig. 5 Hybrid measuring instrument motion simulation



(a) Roundness measurement (b) Shape measurement
Fig. 6 Measurement of hybrid measuring instrument

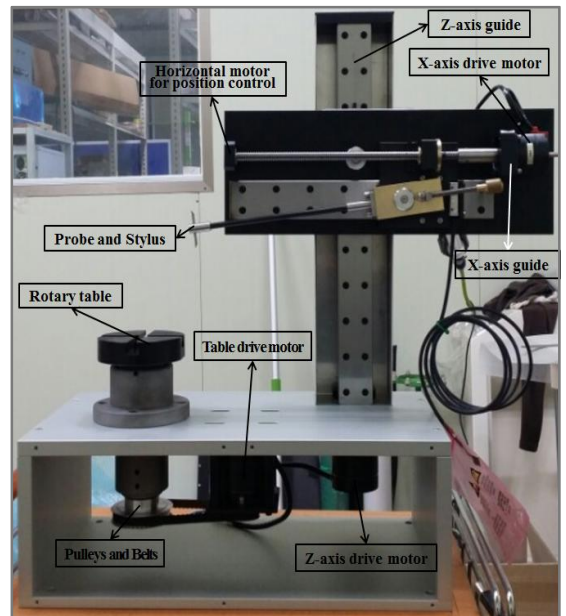


Fig. 7 Hybrid measuring instrument

2.3 하이브리드 측정기 제작

설계된 제작도면과 3D시뮬레이션 결과를 바탕으로 KS규격품^[7] 및 표준구매품과 31개의 제작 부품을 이용하여 복합 형상 측정기의 시제품을 제작하였다. Fig.8은 측정기의 정밀도에 큰 영향을 미치는 KS규격품에 대한 제품 사양을 나타내고 있다. 모든 제조 공정은 공차 이내로 관리 하였으며, 제작도면과 비교한 기술적 완성도를 100% 만족하였다. Fig. 6의 (a)는 하이브리드 측정기의 틸팅(Tilting)기능^[8]을 사용하여 X축 가이드를 기울여서 진원도를 측정하는 모습을 나타내고 있고, (b)는 형상을 측정하는 모습을 나타내고 있다. Fig. 7은 본 연구에서 제작한 하이브리드 측정기의 모습을 나타내고 있다.

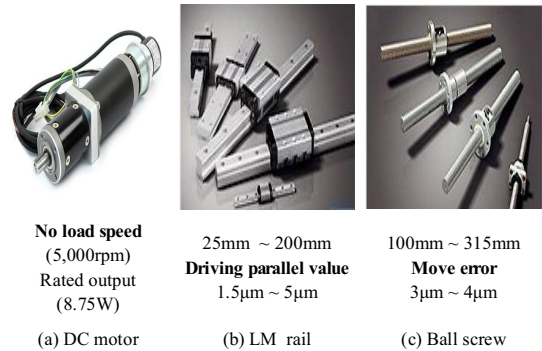


Fig. 8 KS Standard product specification

2.4 소프트웨어 개발

복합 형상 측정기의 소프트웨어는 Visual Studio 2010 C#^[9]을 사용하여 장비와 PC를 연동시킬 수 있도록 프로그래밍 하였다. 또한 소프트웨어를 처음 접하는 사용자도 쉽게 익힐 수 있도록 구성 하였다. 조그 기능으로 손쉽게 복합형상측정기를 X축(좌,우)와 Z축(상,하)을 이송 할 수 있고 A축을 회전^[10]시킬 수 있다. 또한 측정버튼을 사용하여 결과 값에 수치를 나타 낼 수 있으며, 치수 측정이 끝난 후 기능 버튼의 프린트 버튼을 이용하여 인쇄도 가능하다. Fig. 9는 소프트웨어의 로딩 시 화면이며, Table 1에 각 버튼의 기능에 대해 나타내었다.

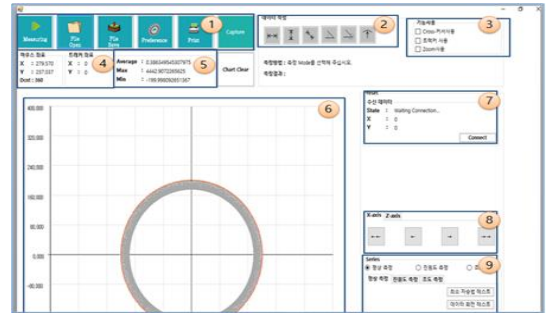


Fig. 9 Hybrid measuring instrument software

Table 1 Function button of software

No	Explanation
①	Function button
②	Dimensional measurement button set
③	Function Use button
④	Mouse coordinate value
⑤	Average value of measured data
⑥	Graph area
⑦	Received data
⑧	Traverse button
⑨	Calibration of measurement data

3. 성능평가

개발한 하이브리드 측정기의 성능평가를 실시하였다. 성능평가^[11]를 위한 4가지의 주요 성능지표로는 형상 정밀도, 진원도 정밀도, 각도 정밀도, 분해능 (형상/진원도)이다. 형상 정밀도의 평가를 위해 KOLAS에서 교정 받은 직각자 Master를 이용하여 100mm구간을 5회 반복 측정하였으며, 평균값은 2.68/100(μ m/mm)이었다. 진원도 정밀도의 평가를 위해 KOLAS에서 교정 받은 표준구를 이용하여 5회 반복 측정하였으며, 평균 값은

Table 2 Valuation results

Evaluation items (Main performance spec)	Unit	Development objectives	Measure value
1. Shape accuracy	μ m/mm	$\pm 3/100$	2.68/100
2. Roundness accuracy	μ m/mm	$\pm 2/100$	2.04/100
3. Angle (indexing) precision	Angle/ 360 $^{\circ}$	± 0.1	0.045
4. Resolution (shape / roundness)	μ m	0.1	0.1

2.04/100($\mu\text{m}/\text{mm}$)이었다. 각도 정밀도는 진원도 측정 시 360° 에 대한 펄스가 8000이기 때문에 각도 정밀도가 $0.045'$ 가 되는 것을 하이브리드 측정기 S/W 내에서 확인하였다. 분해능(형상) 평가를 위해 Blocks gauge 50mm와 바닥면과의 차이를 측정하여 소프트웨어의 표기(측정) 가능한 최소 단위가 $0.1\mu\text{m}$ 임을 확인하였다. 분해능(진원도) 평가를 위해 표준구를 이용하여 측정한 결과 소프트웨어의 표기(측정) 가능한 최소 단위가 $0.1\mu\text{m}$ 임을 확인하였다. 위와 같이 진행된 성능평가는 국제공인시험기관 (재)대구기계부품연구원 (성적서 번호 : Te-16-045 02)을 통해 공인인증을 완료하였으며, Table 2 에서 보는 바와 같이 각각의 평가항목에 대하여 연구개발의 목표치를 달성 하였다.

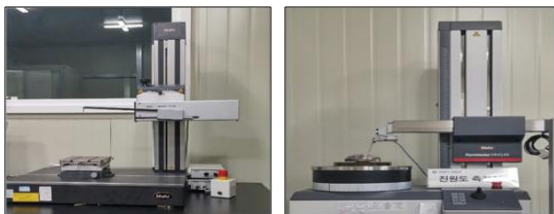
4. 측정 비교 평가

4.1 활용 장비

본 연구에서 개발한 하이브리드 측정기와 기존의 형상 및 진원도 측정기의 측정 성능 비교 평가를 위해 피 측정물을 대상으로 측정 비교 평가를 하였다. 기존의 장비는 Mahr사의 Marsurf CD120 형상측정기와 Formtester MMQ44 진원도 측정기이며, 각각의 장비 사양을 Table 3에 나타내었다.

4.2 측정 시편

측정 성능 비교 평가를 위해 비 자성체의 비철 금속인 황동을 이용하여 형상 및 진원도 측정이 가능하도록 제작하였으며, 정확한 측정을 위해 표면 광택 처리하였다.



(a) Marsurf CD120 (b) Formtester MMQ44
Fig. 10 Application equipment

Fig. 11은 제작된 시편^[11]의 모습과 비교 평가를 위한 측정 위치를 나타내고 있다. 형상 측정 성능 비교 평가를 위해 H1~H5를 5회 반복 측정하였으며, 진원도 측정 성능 비교 평가를 위해 D1~D5를 5회 반복 측정 하였다.

Table 3 Equipment specification

Model	Marsurf CD120	Model	FormtesterMMQ44
Company	Mahr(Germany)	Company	Mahr(Germany)
Measuring speed	0.2mm/s to 4mm/s	Vertical axis (Z)	500 mm/19.7
Measuring range	50 mm	Horizontal axis (X)	180 mm/ 7.1
Traversing lengths	0.2mm to 120mm	Positioning accuracy	7 μm
Measuring force	1mN to 120mN	Positioning speed.	30mm/s

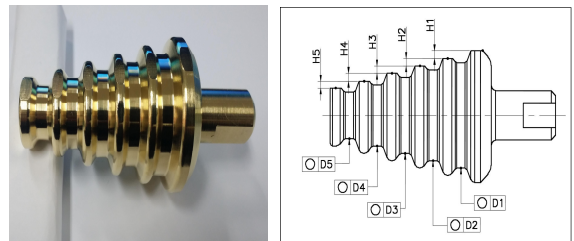


Fig. 11 Test specimen

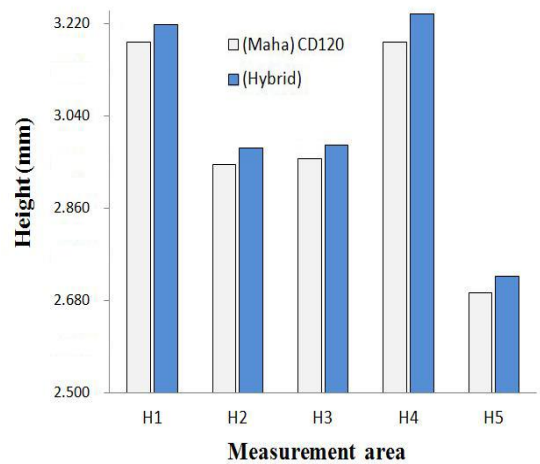


Fig. 12 Comparison shape measurement of maha and hybrid measuring instrument

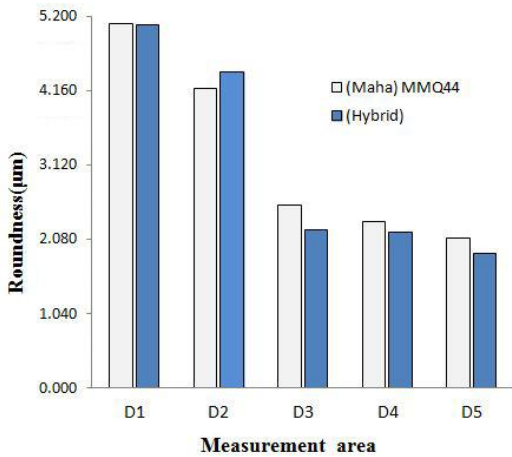


Fig. 13 Comparison roundness measurement of maha and hybrid measuring instrument

4.3 형상 측정 성능 비교 평가

형상 측정 성능 비교 평가를 위해 기존의 형상 측정기와 본 연구에서 개발한 하이브리드 측정기를 이용하여 시편의 H1~H5구역을 동일한 조건으로 5회 반복 측정^[11]하였다. Fig. 12에 각 구역별 평균값을 나타내었으며, Hybrid 측정기와 Marsurf CD120의 오차 범위는 최대 0.0025mm(2.5µm)이었다. 이 오차 값은 하이브리드 측정기의 S/W에 Align기능이 없어서 발생하는 것으로 판단된다. 따라서 하이브리드 측정기의 S/W에 Align기능을 추가 할 계획이다. 하지만 본 연구에서 개발한 하이브리드 측정기의 형상 정밀도가 ±3µm인 것을 감안하면 해당 공차범위에 있는 제품들에 대한 활용 가능성은 충분할 것으로 판단된다.

4.4 진원도 측정 성능 비교 평가

진원도 측정 성능 비교 평가를 위해 기존의 진원도 측정기와 하이브리드 측정기를 이용하여 시편의 D1~D5구역을 동일한 조건으로 5회 반복 측정하였다.^[9] Fig. 13에 각 구역별 평균값을 나타내었으며, Hybrid 측정기와 Formtester MMQ44 측정의 오차 범위는 최대 0.35 µm이었다. 이 오차 값은 하이브리드 측정기의 진원도 정밀도(±2 µm)에 비해 아주 작기 때문에 충분히 무시 될 수 있다. 따

라서 하이브리드 측정기가 Formtester MMQ44 측정기를 대체 할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 하이브리드 측정기를 제작하기 위해 Inventor 프로그램을 통한 3D모델링 및 애니메이션 진행함으로써 구동 가능성을 확인 한 후 시제품을 제작하였다. 그리고 제작된 하이브리드 측정기의 성능평가를 실시하여 개발 목표치를 달성하였다. 또한 기존의 형상 및 진원도 측정기와 실제 제작된 하이브리드 측정기의 측정 성능 비교 평가결과 기존의 형상 측정기 기준으로 구역별 측정 차이가 최소 0.0017mm(1.7µm) ~ 최대 0.0025mm(2.5µm)으로 최대 0.0025mm(2.5µm) 오차 범위를 볼 수 있었다. 진원도 측정 부분에서는 최소 0.0160µm ~ 최대 0.2272µm으로 최대 0.2272µm의 오차 범위를 볼 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제작된 하이브리드 측정기의 형상 및 진원도 측정의 성능평가 정밀도는 각각 형상(±3µm), 진원도(±2µm)을 감안하면 해당 공차 범위에 있는 제품들에 대한 활용가능성은 충분할 것으로 판단된다.

후 기

“이 논문은 2017~2018년도 창원대학교 자율연구 과제 연구비 지원으로 수행된 연구결과임.”

REFERENCES

1. Bae, J. I. and Hwang, Y. Y., "On Study for Shape Measurement using 3D Auto Inspection System," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, pp. 309-311, 2008.
2. Kim, B. C., "Development of Aspheric Surface Profilometry using 2nd Derivative," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 10, No. 2, pp. 104-109, 2011.

3. Lee, J. M. and Jo, N. G., "Development of Roundness measurement system using multi-probe method," A Thesis for a Master, Hanyang University, republic of korea, 2015.
4. Kim, H. G. and Lee D. G., "Development of Error Compensation Program for the Articulating Probe Calibration," The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, pp. 9-14, 2004.
5. Hwang, J. D., and Ko, H. J., "Development of the Optimized Angle Head for Internal Shape Machining Using Five-Axis Machine Tool," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 1, pp. 123-129, 2015.
6. Lee, H. J., "A Study on the Machine Simulation of Rotary type Multi-axis Machine," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, pp. 23-25, 2011.
7. Moon, S. H. and Lee, C. H., "A Basic on Structural Analysis of C3 Grade Double end-cap Type Ball Screw," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 10, No. 1, pp. 118-118, 2016.
8. Lee, C. H. and Lee, E. S., "Touch-Trigger Probe Error Compensation in a Machining Center," The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 35, No. 6, pp. 661-667, 2011.
9. Kim, H. I., "An Integrated C Programming Environment for Novices Based on Visuals," The Journal of Korean Association of Computer Education, Vol. 16, No. 6, pp. 111-120, 2011.
10. Sim, J. Y. and Oh J. S., "Performance Evaluation of Hydrostatic Bearing Guided Rotary Table for Large Volume Multi-tasking Vertical Lathe," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 31, No. 7, pp. 635-642, 2014.
11. Shin, K. Y. and Hwang, Seon., "Development of Contact-Type Thickness Measurement Machine using LVDT Sensors," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 4, pp. 151-159, 2015.
12. Han, E. K., "An Analysis of Perfirance Error of High Precision Roundness Measuring Instrument," The Korean Society of Manufacturing Engineers, pp. 540-544, 1988.
13. Kim, S. H. and Kim, B. H., "A Study on the Measurement Method and Uncertainty Factors for Precision Inspection to Fed Unit of High Precision Machine Tool," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 4, pp. 55-61, 2012.