

## 원통형 공작물 검사장치의 기계장치 설계

황현석\*, 김갑순\*\*,#

\*경상대학교 지능형메카트로닉스공학과, \*\*경상대학교 제어계측공학과(ERI)

### Design of the Mechanical System for the Cylindrical Workpiece Inspection System

Hyun-Seok Whang\* and Gab-Soon Kim\*\*,#

\*Department of Intelligent Mechatronics Engineering, ERI, Gyeongsang National Univ.

\*\*Department of Control & Instrumentation Engineering, ERI, Gyeongsang National Univ.

(Received 22 December 2018; received in revised form 3 November 2018; accepted 27 November 2018)

#### ABSTRACT

In this study, we describe the mechanical design of the cylindrical workpiece inspection system which that can inspect the workpiece machined in the CNC lathe. The workpiece automatic measuring device is composed of a workpiece aligning mechanism, a workpiece diameter measuring mechanism, and a workpiece height measuring mechanism. If the workpiece machined on the CNC lathe is placed on the pedestal of the cylindrical workpiece inspection system, the workpiece aligning mechanism moves the workpiece to the diameter-measuring position and the height-measuring positions, and the diameter-measuring mechanism and the height-measuring mechanisms sequentially measure the diameter and the height of the workpiece. The cylindrical workpiece inspection system was designed and manufactured. The characteristic experiment was conducted to confirm the operation of the machine tool of the cylindrical workpiece inspection system. As a The result of the characteristic test shows that, the workpiece automatic measuring device operated safely.

**Key Words** : Workpiece Inspection System(공작물 검사장치), Machine Tools(공작기계), Workpiece(공작물), Total Inspection(전수검사), Structural Analysis(구조해석), Displacement(변위), Stress(응력)

#### 1. 서 론

자동차, 항공기 등의 각종 많은 부품들은 CNC 선반 등으로 가공되고, 가공된 부품들이 정확한 치수로 가공되었는지를 확인하기 위해서는 측정장치를 검사해야한다. CNC 선반에서 가공되는 공작물

들의 가공정도 측정은 전체를 실시하지 않고, 일부만 선택하여 측정하여 검사한다. 이와 같이 선택적으로 공작물을 검사하는 것은 공작물 검사장치들이 CNC 선반근처에서 가공된 공작물을 즉시 측정할 수 없기 때문이다. CNC 선반에서 가공되는 공작물을 전수검사할 수 없는 이유는 공작물을 측정하는 장치들이 전수검사에 적합하지 않기 때문이다.

Kim<sup>[1]</sup>은 카메라와 슬릿 레이저를 이용한 측정 시스템 개발하였고, Kim<sup>[2]</sup>은 거리센서를 이용하여

# Corresponding Author : [gskim@gnu.ac.kr](mailto:gskim@gnu.ac.kr)

Tel: +82-55-772-1745, Fax: +82-55-772-1749

수평과 수직 카메라를 자동으로 조절하여 공작물을 검사하는 장치를 개발하였으며, Ban<sup>[3]</sup>은 카메라로 축대칭 형상을 취득하여 영상처리를 통해 공작물을 측정할 수 있는 장치를 개발하였다. Youn<sup>[4]</sup>은 공작기계에서 공작물 측정을 위한 표준공작물에 대한 연구를 수행하였고, Cho<sup>[5]</sup>는 레이저 센서를 이용하여 PCB의 두께를 측정하는 자동측정기를 개발하였다. Shin<sup>[6]</sup>은 LVDT센서를 이용하여 공작물의 외경, 변위량, 직각도를 동시에 측정하는 기술을 개발하였고, Ha<sup>[7]</sup>는 LVDT를 이용하여 실린더 라이너의 내경을 측정하는 시스템을 개발하였으며, Kang<sup>[8]</sup>은 LVDT센서를 이용하여 공작물 내부홀의 크기를 측정하는 시스템을 개발하였다.

지금까지 개발된 측정장치들은 자동으로 측정하지 못하거나 자동으로 측정할 수 있는 장치는 시간이 오래 소요되어 전수검사하기에 적합하지 않다. 또한 CNC선반에서 가공한 원통형 공작물의 높이와 직경을 동시에 측정하지 못한다.

본 논문에서는 CNC 선반에서 가공되는 공작물을 전수검사할 수 있는 원통형 공작물 검사장치의 기계장치를 설계하였다. 원통형 공작물 검사장치를

새롭게 개념설계하였고, 측정정확도와 강도를 위한 구조해석을 실시하였으며, 원통형 공작물 검사장치의 기계장치를 제작하였다. 그리고 제작된 원통형 공작물 검사장치의 기계장치의 동작 특성실험을 실시하였다.

## 2. 원통형 공작물 검사장치의 기계장치 설계

### 2.1 원통형 공작물 검사장치의 기본원리

Fig. 1은 원통형 공작물 검사장치의 원리를 나타내고 있고, 이 원통형 공작물 검사장치는 몸체(body), 공작물 정렬기구(workpiece fixing mechanism), 직경측정기구(DMI: Diameter Measuring mechanism), 높이측정기구(HMI: Height Measuring mechanism) 등으로 구성된다.

몸체는 공작물 정렬기구, 직경측정기구, 높이측정기구 등을 지지하고, 공작물 정렬기구는 측정을 위해 공작물 위치를 측정위치로 이동시키며, 직경측정기구는 공작물의 직경을 측정할 수 있도록 설계된다. 그리고 높이측정기구는 공작물의 높이를 측정할 수 있도록 설계된다. 원통형 공작물 검사장치의 동작순서는 우선, 로봇이 CNC 선반에서 가공된 공작물을 자동측정장치의 지정된 위치에 놓으면 공작물 정렬기구가 공작물을 밀어 고정함과 동시에 직경측정기구가 공작물의 직경을 측정한다.

그리고 공작물 정렬기구가 공작물을 높이측정위치로 이동시키고, 높이측정기구는 공작물의 높이를 측정하며, 측정이 끝난 공작물은 공작물 정렬기구가 로봇의 그리퍼 위치로 이동시킨다. 공작물의 직경과 높이 측정은 각 기구에 부착되어 있는 인디케이터를 이용한다.

### 2.3 원통형 공작물 검사장치의 구조해석

원통형 공작물 검사장치의 기계장치의 측정 정확도를 높이고, 구조의 안전을 확보하기 위해서는 구조해석을 실시해야 한다. Fig. 2의 (a)는 직경측정기구가 공작물의 하부직경을 측정하는 위치에 있을 때의 구조해석을 위한 주요 부품을 나타내고 있고,

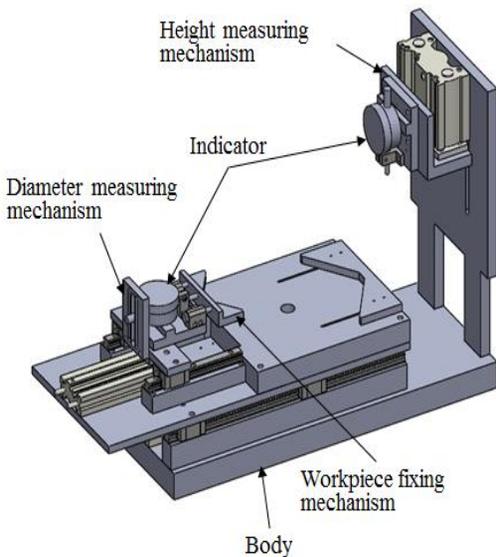


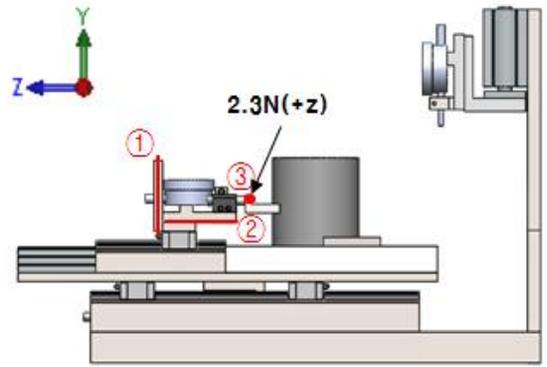
Fig. 1 Basic principle of cylindrical workpiece inspection system

(b)는 직경측정기구가 공작물의 상부직경을 측정하는 위치일 때의 그것들을 나타내고 있다. ①의 구조해석 결과를 나타내는 선은 직경측정기구의 수직지지대(재질: SM45C) 바깥부분의 중심선을 나타내고, ②는 직경측정기구 인디케이터 받침대(재질: SM45C)의 중심선을 나타내고 있으며, ③은 직경측정기구의 인디케이터 끝 지점을 나타내고 있다. 인디케이터 끝 지점에 +z 방향으로 2.3N의 힘을 가하여 구조해석을 실시하였다. 이와 같이 인디케이터의 끝 지점에 가한 2.3 N은 인디케이터를 눌렀을 때 동작되는 힘이다.

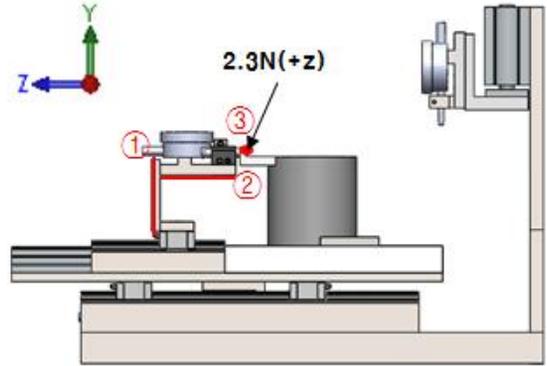
Fig. 2의 (c)는 높이측정기구의 구조해석을 위한 주요 부품을 나타내고 있고, ④는 높이측정기구의 인디케이터의 끝 지점을 나타내고, ⑤는 “L”자 지지대(재질: SM45C)의 하부 중심선, ⑥은 수직지지대(재질: SM45C)의 중심선, ⑦은 공작물 받침대(재질: SUS304)의 중심선을 각각 나타내고 있다. 구조해석은 높이측정기구 인디케이터 끝 지점에 +y 방향으로 2.3 N의 힘을 가하여 실시하였다. Fig. 3은 원통형 공작물 검사장치의 기계장치 소프트웨어를 이용하여 구조해석한 결과를 나타내고 있다.

기계장치 설계는 직경측정기구의 끝 지점인 ③에는 +z방향으로, 높이측정기구의 끝 지점은 ④에는 +y방향으로 각각 2.3 N의 힘을 가했을 때, 공작물 측정정확도 및 무게를 고려하여 직경측정방향과 높이측정방향으로의 각각의 변위가 3 $\mu$  이내가 되도록 구조해석을 수행하였다.

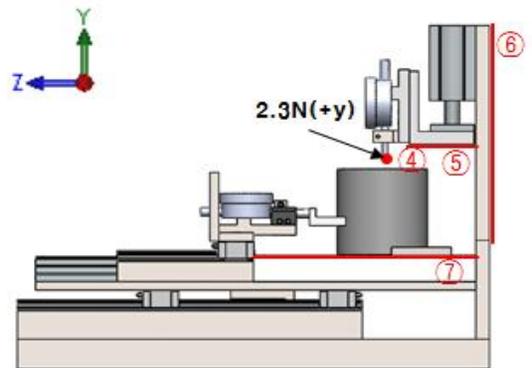
Fig. 4의 (a)는 직경측정기구의 수직지지대①를 구조해석한 결과, 중심선의 z축 변위를 나타낸 것이고, 변위는 시작위치에서 -1.6520  $\mu$ m, 끝 위치에서 0.00536  $\mu$ m이었다. (b)는 y축 방향의 응력을 나타낸 것이고, 25 mm 지점에서 최대응력 0.4366MPa이 발생하였다. Fig. 5의 (a)는 직경측정기구 인디케이터 받침대②의 중심선의 y축 변위를 나타낸 것이고, 변위는 시작위치에서 -0.1990  $\mu$ m, 끝 위치에서 3.7380  $\mu$ m이었다. (b)는 z축 방향의 응력을 나타낸 것이고, 0.55 mm 지점에서 최대응력 0.2963MPa이 발생하였으며, 0.5 mm 지점까지 감소하고 그 이후 끝 지점까지 0.0425 MPa까지 증가 하였다.



(a) low measurement position of diameter measuring mechanism



(b) upper measurement position of diameter measuring mechanism



(c) height measuring mechanism

Fig. 2 Structural analysis position of each measuring mechanism

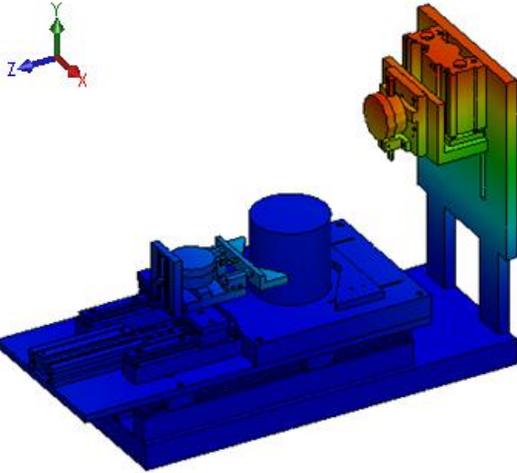
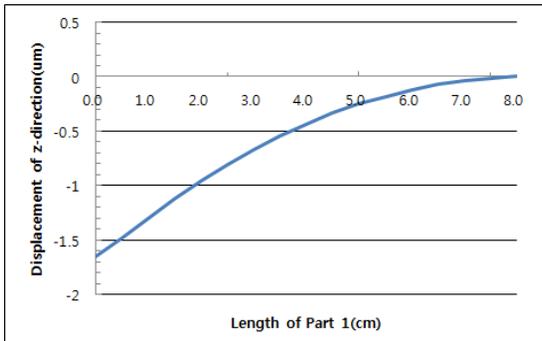
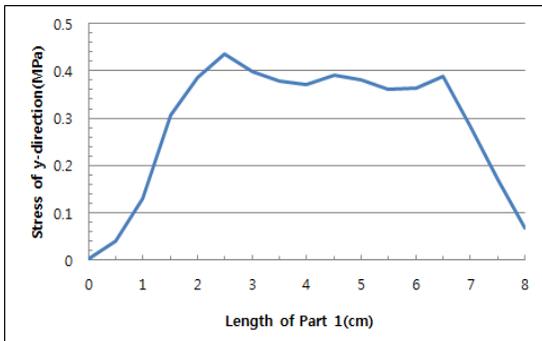


Fig. 3 Structural analysis result of cylindrical workpiece inspection system

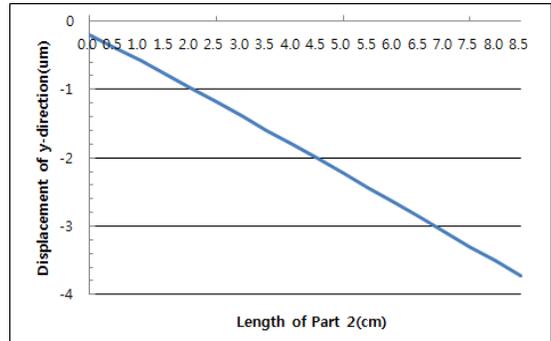


(a) z-direction displacement

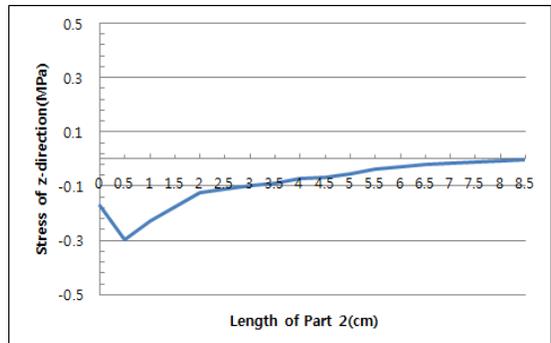


(b) y-axis stress

Fig. 4 Graph of displacement and stress of ①



(a) y-direction displacement

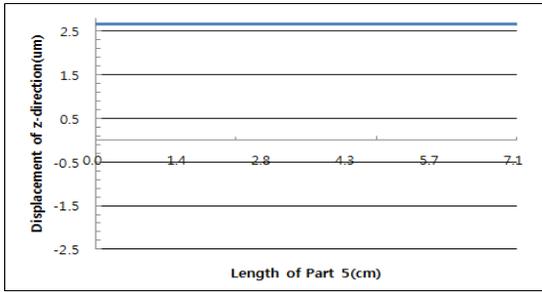


(b) z-axis stress

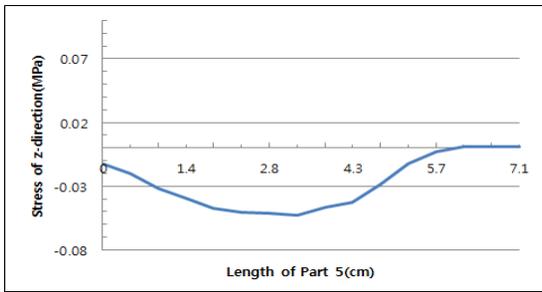
Fig. 5 Graph of displacement and stress of ②

Fig. 6의 (a)는 높이측정기구의 “L”자 지지대⑤의 중심선의 z축 변위를 나타낸 것이고, 최대변위는  $2.6740 \mu\text{m}$ 이었다. (b)는 z축 방향의 응력을 나타낸 것이고, 최대응력  $0.532 \text{ MPa}$ 이 발생하였다. Fig. 7의 (a)는 높이측정기구의 수직지지대의 중심선의 z축 변위를 나타낸 것이고, 최대변위는  $5.5120 \mu\text{m}$ 이었다. (b)는 y축 방향의 응력을 나타낸 것이고, 최대응력  $-0.1027 \text{ MPa}$ 이 발생하였다. Fig. 8의 (a)는 공작물 받침대의 중심선의 y축 변위를 나타낸 것이고, 최대변위는  $-0.06261 \mu\text{m}$ 이었다. (b)는 z축 방향의 응력을 나타낸 것이고, 최대응력  $0.0604 \text{ MPa}$ 이 발생하였다.

각 부품의 구조해석결과, 최대변위는  $5.5120 \mu\text{m}$  이내이었고, 최대응력은  $0.4366 \text{ MPa}$  이내로 각 부품재질(SM45C)의 인장강도인  $612 \text{ MPa}$ 보다 매우 낮은 수치로 나타났으므로 안전하다고 판단된다.

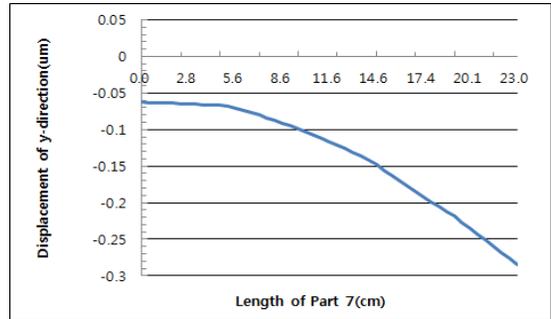


(a) z-direction displacement

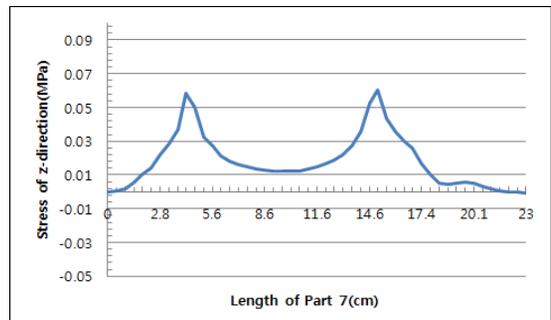


(b) z-axis stress

Fig. 6 Graph of displacement and stress of ⑤

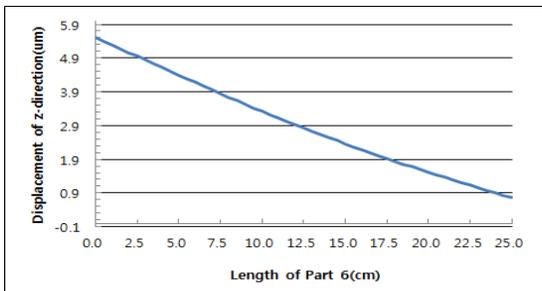


(a) y-direction displacement

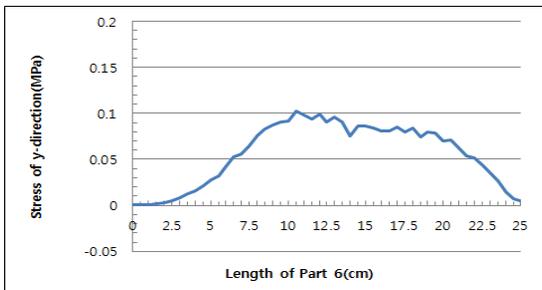


(b) z-axis stress

Fig. 8 Graph of displacement and stress of ⑦



(a) z-direction displacement



(b) y-axis stress

Fig. 7 Graph of displacement and stress of ⑥

Table 1은 Fig. 2의 (a)와 (b)에 나타난 직경측정 위치의 직경측정기구에 부착된 인디케이터의 끝 지점 ③의 변위를 나타내고 있다. 이것은 인디케이터의 끝 지점에 +z방향으로 2.3N을 가했을 때 인디케이터의 끝 지점이 변위된 것으로서, 공작물 직경측정 오차에 포함된다. 공작물의 하부직경을 측정할 때 공작물 직경방향인 z방향의 오차가 약 0.16  $\mu\text{m}$ 이내이었고, 상부직경을 측정할 때가 2.12  $\mu\text{m}$ 이었다. 공작물 직경의 상부부분의 직경측정 시 z방향의 오차가 큰 것은 수직지지대가 +z방향으로 2.3N을 힘이 가해질 때 +z방향으로 힘이 발생하기 때문이다. Table 2는 Fig. 2의 (c)에 나타난 높이측정위치의 높이측정기구에 부착된 인디케이터의 끝 지점 ④의 변위를 나타내고 있다. 이것은 인디케이터의 끝 지점에 +y방향으로 2.3N을 가했을 때 인디케이터의 끝 지점이 변위된 것으로서, 공작물 높이측정 오차에 포함된다. 공작물의 높이는 y방향이므로 변위결과도 y방향이 중요하다.

**Table 1 Displacement of the end point ③ of indicator with diameter measuring mechanism**

Value	x( $\mu$ m)	y( $\mu$ m)	z( $\mu$ m)
Low position	-0.0413	-4.204	0.1588
Upper position	-0.0240	-0.1705	2.1112

**Table 2 Displacement of the end point ④ of indicator with height measuring mechanism**

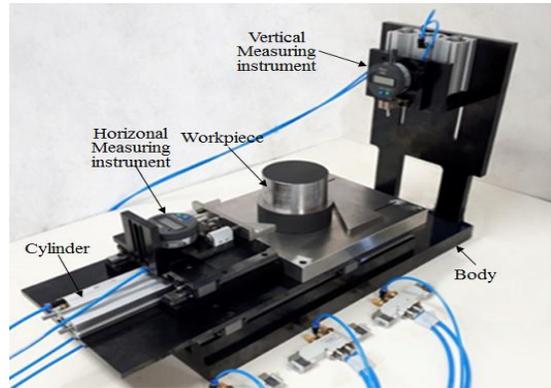
Value	x( $\mu$ m)	y( $\mu$ m)	z( $\mu$ m)
Weight of HMI	0.0001	-3.016	2.1360
Applied force 2.3N	0.0389	-0.4147	2.1300

**Table 3 Displacement of the center point ④ of workpiece for height measurement**

Value	x( $\mu$ m)	y( $\mu$ m)	z( $\mu$ m)
Weight of workpiece	0.0001	-0.1005	-0.1108
Applied force 2.3N	0.0001	-0.1004	-0.1123

높이측정기구의 자체 무게에 의해 y방향변위가  $-3.01 \mu\text{m}$ , 힘을 +y방향으로 2.3N 가했을 때가  $-0.42 \mu\text{m}$ 이었으므로 순수하게 힘을 가했을 때 y방향의 변위는  $2.59 \mu\text{m}$ 이었다. Table 3은 높이측정을 위해 공작물 받침대 ⑦에 공작물을 놓았을 때 공작물 자중과 2.3 N의 힘을 -y방향으로 가했을 때의 각각의 공작물 중심위치의 변위를 나타낸 것이고, y방향 변위는 약  $-0.10 \mu\text{m}$ 였다. 그러므로 공작물 높이 측정시 인디케이터를 공작물의 중심에 2.3 N으로 누르면 약  $2.69 \mu\text{m}$ 가 +y방향으로 변위가 발생하여 이만큼이 높이측정 오차에 포함된다.

구조해석결과는 직경측정오차와 높이측정오차가 각각 목표한  $3 \mu\text{m}$ 이내의 오차로 나타났다. 구조해석 결과로 결정된 직경측정기구의 주요 부품의 크기는 ①수직지지대의 두께가 10 mm, ②받침대의 두께가 12 mm이었고, 높이측정기구의 주요 부품의 크기는 ⑤“L”자 지지대의 두께가 각각 15



(a) Front view (b) right side view

**Fig. 9 Manufactured cylindrical workpiece inspection system**

mm와 15 mm, ⑥수직지지대의 두께가 15mm, ⑦공작물 받침대의 두께가 30 mm로 각각 결정되었다.

### 3. 원통형 공작물 검사장치의 기계장치 제작 및 특성실험

Fig. 9는 제작한 원통형 공작물 검사장치의 기계장치를 나타내고 있으며, 이 원통형 공작물 검사장치는 몸체, 공작물 정렬기구, 직경측정기구, 높이측정기구 등으로 구성되었다. 몸체는 직경측정기구, 높이측정기구, LM가이드, 공압 실린더 등을 고정 및 지지하고, 크기가 520×214×400 mm이며, 재료는 탄소강 SM45C를 사용하였다. 공작물 정렬기구는 밀대(push bar), 고정틀(fixed frame), 리니어부시, 스프링으로 구성되었고, 구성품 중 밀대는 리니어부시, 나사, 스프링으로 결합되었으며, 고정틀은 몸체에 나사로 고정되어있고 나사위치에 따라 이동된다.

직경측정기구는 고정지지대, 직선운동기구, 인디케이터, 공작물 정렬부로 구성었고, 이것들 중 직선운동기구는 공압실린더와 LM가이드로 구성되었으며, 사용된 공압실린더(모델: MGQ모델)는 내경크기가  $\varnothing 12$  mm, 스트로크가 100 mm)이다. 사용된 인디케이터는 미쓰토요(mitutoyo)사에서 제작한 543-790b모델(분해능: 0.001 mm, 측정범위:

12.7 mm, 반복정밀도: 0.003 mm)이다. 높이측정기구는 직선운동기구, 인디케이터로 구성되었고, 직선운동기구에는 공압실린더가 부착되어 있으며, 사용된 공압실린더는 내경크기가  $\varnothing 32\text{mm}$ , 스트로크가 50 mm)이다. 그리고 측정영역을 이동시키기 위하여 부착된 실린더(모델: MGQ모델)는 내경크기가  $\varnothing 20\text{ mm}$ , 스트로크가 125 mm)이다. 제작한 원통형 공작물 검사장치의 기계장치는 사용된 공압실린더에 공기를 공급하여 기계적으로 동작되는지의 동작특성을 실시하였고, 그 결과는 예상했던 것과 같이 원활하게 동작됨을 확인하였다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 CNC 선반에서 가공한 공작물을 전수검사하기 위한 원통형 공작물 검사장치의 기계장치를 설계 및 제작하였다. 원통형 공작물 검사장치의 기계장치를 구조해석한 결과, 직경측정기구와 높이측정기구의 최대응력은 0.4366 MPa 이내이었고, 이 결과는 각 부품재료의 인장강도인 612MPa 보다 매우 낮으므로 안전하다. 그리고 원통형 공작물 검사장치의 직경측정기구의 직경방향인 z방향의 오차가 약  $0.16\ \mu\text{m}$ 이내이었고, 높이측정기구의 높이방향인 y방향 오차가  $2.69\ \mu\text{m}$ 이내이었다. 그러므로 제작한 원통형 공작물 검사장치의 기계장치는 공작물의 직경과 높이를 정밀하고 안전하게 측정할 수 있을 것으로 판단된다. 추후 연구로는 원통형 공작물 검사장치의 제어장치를 개발하는 것이다.

#### 후 기

“이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지역신산업선도인력양성사업 성과임(No. 2016H1D5 A1909809).”

#### REFERENCES

1. Kim, J. W., Song, T. H. and Ha, J. E., "Measurement of 3D Shape of Fastener using Camera and Slit Laser," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 32, No. 6, pp. 537-542, 2015.
2. Kim, H. S., Hwang, H. S. and Kim, G. S., "Camera Focus Adjustment of Workpiece Inspection Device," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 23, No. 5, pp. 309-316, 2017.
3. Ban, K. S. and Bae, J. Y., "A Study on Automated Outer Diameter Measurement System for Axisymmetric Automotive Part," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 12, No. 3, pp. 61-68, 2013.
4. Youn, J. W., Kim, K. H. and Park, J. T., "A Study on the Test Workpiece for Accuracy Evaluation of 5-Axis Machine Tool," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 31, No. 5, pp. 431-439, 2014.
5. Cho, K. C., Kim, S. Y. and Shin, K. Y., "Development of Automated Non-contact Thickness Measurement Machine using a Laser Sensor," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 2, pp. 51-58, 2015.
6. Shin, K. Y., Hwang, S., "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.
7. Ha, Y. S., "Development of LVDT-Based Measuring System of the Cylinder Liner Wear for Marine Diesel Engines and Its Performance Evaluation," Journal of the Korean Society of Marine engineering, Vol. 35, No. 6, pp. 829-834, 2011.
8. Kang, H. J., Kweon, M. H., Suh, Y. S. and Ro, Y. S., "Development of a Robotic System for Measuring Hole Displacement Using Contact-Type Displacement Sensors," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 25, No. 1, pp. 79-84, 2008.