

접촉식 변위센서를 이용한 홀 변위 측정 로봇시스템 개발

강희준#, 권민호*, 서영수**, 노영식**

Development of a Robotic System for Measuring Hole Displacement Using Contact-Type Displacement Sensors

Hee-Jun Kang#, Min-Ho Kweon*, Young-Soo Suh** and Young-Shick Ro**

ABSTRACT

For the precision measurement of industrial products, the location of holes inside the products, if they exist, are often selected as feature points. The measurement of hole location would be performed by vision and laser-vision sensor. However, the usage of those sensors is limited in case of big change of light intensity and reflective shiny surface of the products. In order to overcome the difficulties, we have developed a hole displacement measuring device using contact-type displacement sensors (LVDTs). The developed measurement device attached to a robot measures small displacement of a hole by allowing its X-Y movement due to the contact forces between the hole and its own circular cone. The developed device consists of three plates which are connected in series for its own function. The first plate is used for the attachment to an industrial robot with ball-bush joints and springs. The second and third plates allow X-Y direction as LM guides. The bottom of the third plate is designed that various circular cones can be easily attached according to the shape of the hole. The developed system was implemented for its effectiveness that its measurement accuracy is less than 0.05mm.

Key Words : Hole Displacement (홀 변위 측정), Linear Variable Differential Transformer (LVDT 센서), Linear Motion Guide (LM 가이드), Contact Forces (접촉력)

1. 서론

산업 현장에서 제작되는 많은 제작품의 제작 정도를 파악하는 것은 단순히 제품의 합격 유무를 판단하는 것뿐만 아니라, 제작품의 품질관리 및

품질 향상을 위하여 반드시 필요하다. 제작품의 제작 정도를 파악하는데 있어 제작품 내부에 다수의 홀(Holes)이 존재할 때, 이러한 홀의 중심을 특징점으로 인식하여 각 홀의 위치를 측정하여 제품의 정도를 판단하는 방법은 매우 효율적이라 할 수

접수일: 2007년 5월 17일 게재승인일: 2007년 11월 12일

교신저자: 울산대학교 전기전자정보시스템공학부

E-mail: hjkang@ulsan.ac.kr Tel. (052) 259-2207

* 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 대학원

** 울산대학교 전기전자정보시스템공학부

있다.

홀의 중심을 특징점으로 인식하고 제품의 정도를 파악하는 방법으로는 전통적으로 비전(Vision)을 사용하거나¹⁻⁴, 레이저-비전 융합 센서⁵를 사용하여 왔다. 하지만, 시각센서의 경우, 비접촉 측정의 장점을 가지고 있는 반면, 차광 상태에 따라 측정값들의 변화가 심하고, 또 측정하고자 하는 대상물의 표면 상태에 따른 반사광과 홀의 바탕 색깔에 따라 홀의 경계선 판단이 어려운 경우가 발생하는 단점을 가지고 있다(Fig. 1 참조).

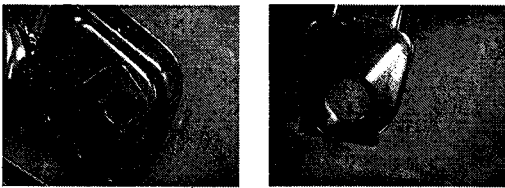


Fig. 1 Difficulties of Vision based Hole Measurement

본 연구에서는 상기에 언급한 문제를 극복하기 위하여 홀 중심과 로봇에 부착된 측정기구부의 원뿔부분 사이에 발생하는 접촉력을 이용하여 측정기구부의 변위를 발생시키고, 그것을 LVDT (Linear Variable Differential Transformer)⁶⁻⁸ 센서로 측정하는 접촉식 홀 변위 측정 기구부를 개발하였고, 산업용 로봇과 연동하여 0.05mm 이하의 정밀도를 보장하는 홀 변위 측정 로봇 시스템을 개발하였다.

본 논문에서는 홀 변위 자동 측정 시스템의 전체 구성 및 본 논문의 핵심 내용인 로봇에 부착되는 접촉식 변위측정 시스템의 구성 및 설계에 대하여 설명하고, 개발 시스템의 특징에 따라 산업용 로봇과 연동하여 운영하는데 필요한 운영시스템에 대하여 기술한다. 그리고 개발 시스템을 이용한 반복 홀 측정 실험을 통하여 얻어진 측정 데이터를 제시함으로써, 개발 시스템의 효율성과 그 측정 정밀도를 제시한다.

2. 접촉식 홀 변위 자동측정기의 구성

2.1 홀 변위 자동측정 로봇시스템 구성

개발된 홀 변위 자동측정시스템의 구성은 Fig. 2에 제시된 대로, 산업용 로봇, 로봇에 부착된 접

촉식 측정기구부, 측정기구부 LVDT 센서값 Reader, RS232C 통신을 통한 데이터 취득부로 구성된다. 그 작동의 기본원리는 로봇의 교시점에서 측정기구부의 원뿔부분이 홀 사이에 발생하는 접촉력에 의해 평면운동이 가능하도록 기구부를 구성하고, 그 변위를 LVDT 센서로 측정함으로써, 측정대상물의 홀의 절대위치 뿐만 아니라, 홀 사이의 거리를 이용하여 제작대상물의 정밀도를 판단할 수 있도록 하는 것이다.

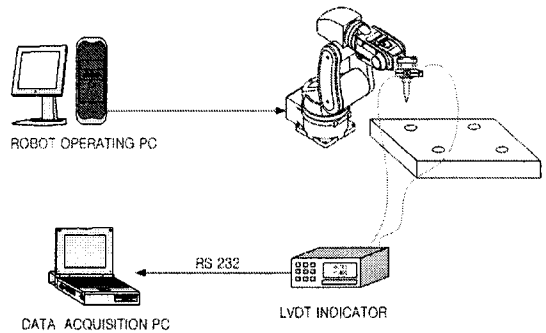


Fig. 2 Configuration of Automatic Hole Measuring Robotic System

2.2 LVDT 센서

LVDT(Linear Variable Differential Transformer)는 센서자체가 고감도이고, 매우 정밀하며, 소형경량이라는 점과 제조가 용이하고 내구성이 우수하여, 일반 공장에서는 거의 조건(온도, 습도)없이 사용할 수 있기 때문에 치수측정분야에 있어 활용도가 매우 높으며, 측정하고자하는 제품의 두께, 단차, 평탄도, 수직도 등의 품질 관리 데이터를 신속히 처리할 수 있는 장점이 있어 개발시스템의 변위 센서로 사용하였다.

LVDT 센서는 Fig. 3에 제시된 대로 프로브케이스, 복원스프링 및 측정 팁과 연결된 코어, 그리고 고정 코일로 구성되며, 작동원리는 코어가 코일의 중심위치에 있을 때 출력 전압이 되고 측정 팁에 작용하는 접촉력에 따른 코어의 변위량에 따라서 출력전압이 비례적으로 증가한다.

LVDT 센서의 프로브 케이스로는 절연재료로서 온도계수가 적은 것을 사용하여야 하며, 코어는 포화자속밀도 및 고유저항이 높은 것을 사용하여야 한다. LVDT센서의 사용상의 유의할 점은 코어가 양쪽 끝으로 이동할수록 선형성이 나빠진다. 이것

은 LVDT 센서 양단에서 발생하는 누설자속 (leakage flux)과 코어의 자화가 균일하지 못하고 자속밀도가 감소되므로 발생하는 일반적인 현상이다. 본 개발 시스템에서는 최대 10mm 변위량을 가진 프로브의 5mm 지점을 0 전압으로 설정하여 $\pm 5\text{mm}$ 변위가 가능하고, 실제 가능 변위량을 최대 3mm 정도로 가정하여 선형성을 보장하였다.

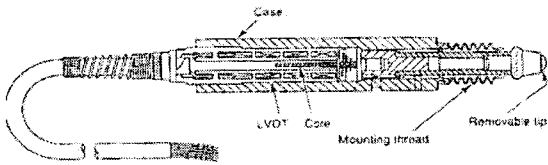


Fig. 3 Structure of LVDT sensor

2.3 접촉식 홀변위 자동 측정 기구부의 구성

로봇의 말단부에 부착되어 접촉력에 따른 X-Y 변위량을 측정하는 기구부의 전체적인 구성도는 Fig. 4에 제시된다. Fig. 4와 Fig. 5(a)에 보여진 기구부의 상판은 로봇 말단부와와의 부착될 수 있도록 설계하였고, 특히, 측정기구부와 측정대상인 홀 사이의 적절한 접촉력 및 접촉에 따른 충격방지를 보장하고자 4개의 스프링과 슬라이딩 가이드를 통하여 로봇 교시 중에 적절한 Preload를 적용할 수 있도록 설계하였다. Fig. 5 (b), (c)에 제시된 대로, 기구부의 중간판과 하판은 움직이는 방향으로 로울러를 통한 LM가이드 형식의 슬라이딩 조인트를

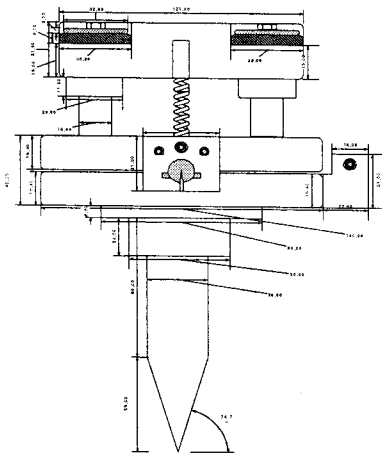
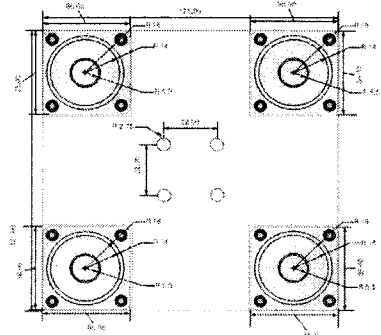
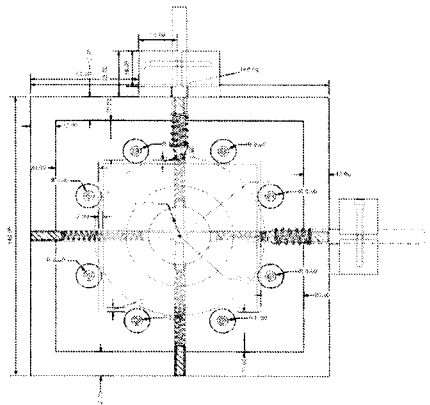


Fig. 4 Total Structure of Contact-Type X-Y Displacement Measurement Device

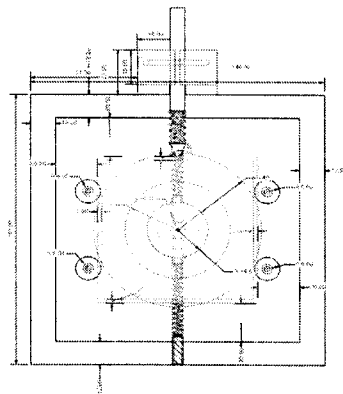
구성해, 상판에 대하여 중간판이 X-축 운동이 가능하고, 중간판에 대하여 하판이 Y-축 운동을 가능케 구성하였고, 각 방향에 대하여 두 개의 LVDT 센서



(a)



(b)



(c)

Fig. 5 (a) the Top Plate, (b) the Middle Plate and (c) the Bottom Plate of the Device

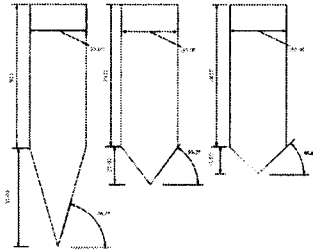


Fig. 6 Cone Attachments corresponding to the Shapes of the Holes

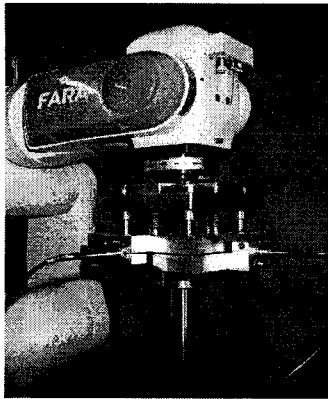


Fig. 7 View of an Automatic Hole Displacement Measuring Robotic System

를 고정하여 접촉력에 대한 홀 변위를 측정할 수 있도록 구성하였다. 접촉력에 의한 기구부의 변위를 측정 후, 기구부가 본래의 위치로 자동으로 이동할 수 있도록 움직이는 방향에 스프링을 설계하고 적절한 Preload를 생성하여 원점복원이동을 보장하였다. 또한, 중간판과 상판의 결합은 로울러를 통하여 이루어지고, 그 조립공차를 만들기 위하여 편심너트를 사용하였다.

Fig. 6은 다양한 홀의 형태에 따라 사용되도록 제작된 원뿔형 지그들을 나타낸다. 일반적으로 표시 각도가 클수록 더 큰 접촉력이 발생하나, 홀의 깊이가 제한된 경우를 고려하여 표시각도를 조절할 수 있다. Fig. 7은 제안된 자동측정기구부를 제작하여 로봇에 부착한 모습을 나타낸다.

3. 홀 변위 자동측정 프로세스

개발된 시스템을 이용한 홀 변위 자동측정 프로

세스는 Fig. 8에 제시되고, 제시된 측정 흐름도를 살펴보면 다음과 같다.

① ROBOT TEACHING

로봇 말단부에 부착된 측정기구부 밑면의 원추형 구조물을 측정하고자하는 홀들에 가볍게 접촉시켜 로봇의 교시점 정보를 저장한다.

② OUTPUT SIGNALS FROM THE MMC

교시된 위치로 로봇의 이동이 완료되면 로봇 제어기(MMC)에서LVDT INDICATOR에 측정 시작을 알리는 신호를 보낸다.

③ LVDT INDICATOR OPERATION

LVDT 프로브의 측정값을 DC로 변환하고 RS 232 시리얼 통신을 이용하여 Data Acquisition PC로 데이터를 송신한다. LVDT INDICATOR는 2채널 Micrometer Range로 표시할 수 있어, Hole Position의 X, Y 값을 표현한다.

④ DETERMINENT OF RIGHT DATA

LVDT INDICATOR로부터 한 Hole에 대하여 3개의 측정값을 얻어 그것의 중간값을 취함으로써 측정의 신뢰도를 높이고 외란에 의한 오차값을 줄이고자 하였다.

⑤ DETERMINENT OF RIGHT DATA

LVDT INDICATOR로부터 한 Hole에 대하여 3개의 측정값을 얻어 그것의 중간값을 취함으로써 측정의 신뢰도를 높이고 외란에 의한 오차값을 줄이고자 하였다.

⑥ JUDGEMENT OF HOLE POSITION

LVDT 측정값을 통하여 사용자는 Hole Center Position 확인 혹은 불량품 이상 유무를 판단한다.

상기에 제시한 자동측정프로세스가 가능하도록 로봇의 교시 프로그램, 로봇과 LVDT 시스템과의 RS232C 통신 프로그램, 측정값의 저장 및 관리 등을 총괄하는 소프트웨어를 작성하여 운영하였다.

4. 개발 시스템의 측정 실험 및 고찰

Fig. 9에 보여진 측정 모습과 같이, 대상물의 홀의 중심에 로봇을 교시한 후, 30번 반복 측정하여 측정시스템의 반복 정밀도를 검토하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 한번에 3개의 측정값을 받아 그 중 중간값을 측정값으로 받아 진행하였다. 실제 실험 시 프로브 케이스와 측정기구 측정기구부 금속

판 사이에 테프론 로봇의 모터파워에서 Drift되는 전류에 의한 노이즈 문제가 발생하였는데 이를 방지하기 위하여 LVDT를 절연재로 사용하여 비교적 안정된 측정값을 얻을 수 있었다.

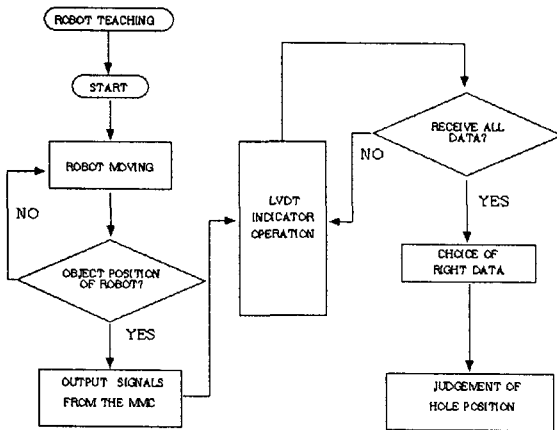


Fig. 8 Flowchart of Hole Displacement Measuring Process

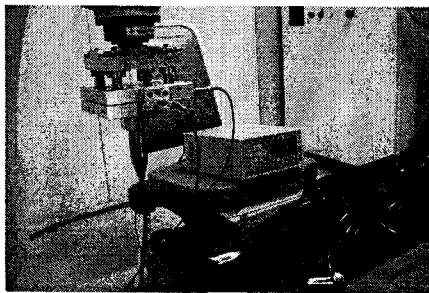
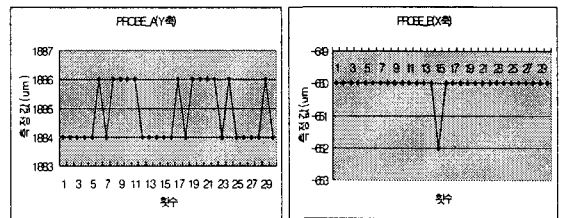


Fig. 9 Measurement of Hole Displacement

Fig. 10의 그림은 동일한 위치에 대하여 30번 연속 측정하였을 때, X-축, Y-축 변위를 나타내고, 그 결과로는 한 홀에 대한 연속측정 오차가 0.01mm 이내임을 알 수 있다. 이 오차는 실제로 LVDT 센서가 측정할 수 있는 최소값으로 불가피한 한 단위 디지털 오차에 해당된다. 이 결과는 이 지점에서 로봇의 반복정밀도와 측정기구부의 오차가 전혀 없음을 나타내고 있지만, 로봇의 다양한 위치 및 불가피한 센서오차를 감안하여 보다 타당한 실험 결과를 위해 홀의 위치를 바꾸어 11가지 홀 위치에 대한 반복실험을 수행하였다. 측정값에 대한 최대 오차 및 분산, 표준 편차를 각 경우에 대하여 표 1

에 나타내었다. X축(PROBE_B), Y축(PROBE_A)의 측정값은 최대 0.03mm를 벗어나지 않는 것을 볼 수가 있다. 분산과 표준편차는 측정값의 분포도를 알아보기 위한 것으로서 표준편차는 0.01mm 이상 벗어나지 않는 것을 또한 확인할 수 있어 상당히 정밀한 측정 결과를 나타냄을 알 수 있다. 다음 실험은 제품의 정밀도 및 제작 제품의 오차 정도를 판별할 수 있도록 대상물 내부에 있는 두 홀 사이를 번갈아 가면서 연속으로 홀 변위를 20번 측정 실험하였다.



(a) (b)

Fig. 10 (a) Measurement value of A Probe and (b) Measurement value of B Probe

Table 1 Max Error, Variance and Standard Deviation of 11 Test Positions

	max_오차 (um)		분산 (um)		표준편차 (um)	
	y축(probe_a)	x축(probe_a)	y축(probe_a)	x축(probe_a)	y축(probe_a)	x축(probe_a)
test1	2	2	0.96	0.128889	0.979796	0.359011
test2	6	10	4.36	72.56	2.088061	8.518216
test3	18	12	78.51	16.6	8.860587	4.06878
test4	8	6	6.51	3.39	2.55147	1.841195
test5	2	4	13.79	12.91	3.713489	3.593049
test6	2	2	0.75	1.39	0.866025	1.178983
test7	8	6	89.15	5.16	9.441928	2.271563
test8	2	10	0.96	10.64	0.979796	3.261901
test9	2	26	0.91	75.56	0.953939	8.692526
test10	12	30	10.59	56.64	3.254228	7.525955
test11	2	14	1.55	18.36	1.24499	4.284857

Fig. 11의 결과에 의하면 두 홀에 대해서 번갈아 연속 측정하는 경우 최대오차가 0.04mm 가 발생하였고, 그리고 위치를 바꿔가며 진행한 두 홀 반복 실험에서도 최대오차가 0.05mm 이하로 측정되어 제시된 시스템의 안정성 및 측정의 높은 신뢰도를 나타내었다.

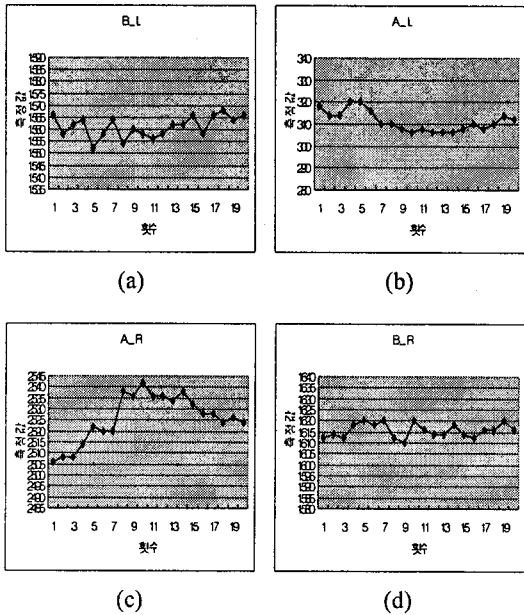


Fig. 11 (a) X-axis of Left Hole Displacement , (b) Y-axis of Left Hole Displacement, (c) X-axis of Right Hole Displacement, (d) Y-axis of Right Hole Displacement

5. 결론

본 연구는 산업 현장에서 제작되는 제작품의 품질 관리를 위하여 제작품 내부의 홀(Hole)을 이용하여 제작품의 제작 정도를 자동으로 측정하는 홀 변위 자동측정 시스템을 개발하였다. 비전 및 레이저-비전을 이용한 비접촉식 방법 및 가위형/집계형 등 다양한 형태의 접촉식 측정 기구를 검토, 수정하여 최종적으로 앞에서 설명한 로봇 부착형 원추형 측정 기구를 설계, 제작하였고, 홀 중심 측정실험에서 0.05mm이내의 측정정도를 나타냄을 확인할 수 있었다. 본 논문은 산업현장에서 흔히 활용되고 있는 산업용 로봇을 이용한 정밀측정기구 제작 연구에 많은 도움이 되기를 기대한다.

후 기

본 연구는 2005년 울산대학교 교내 연구비, 산업자원부 지정 울산대 RIC(NARC) 및 교육인적자원부 지정 울산대 BK21대학원(EVERDEC) 지원에 의한 것입니다. 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Ryu, H. K., Lee, J. K., Woo, K. H. and Choi, W. H., "A 3-D Position Compensation Method of Industrial Robot Using Block Interpolation," Journal of Control, Automation, and Systems Engineering, Vol. 13, No. 3, pp. 235-241, 2007.
2. Eom, J. J. and Huh, K. M., "Development of Automatic ALC Block Measurement System Using Machine Vision," Journal of Control, Automation and Systems Engineering, Vol. 10, No. 6, pp. 487-493, 2004.
3. Triggs, B. and Laugier, C., "Automatic Camera Placement for Robot Vision Tasks," IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1732-1737, 1994.
4. Lee, I. H., Ahn, W. J., Park, H. J., Hwang, D. H. and Kim, W. D., "Spot Inspection System for Camera Target Lens using the Computer Aided Vision System," Spring Conf. of the Korean Society for Precision Engineering, pp. 271-275, 1996.
5. Kim, J. D., Shin, C. B. and Lee, J. W., "A Study on Intelligent Robot Bin-Picking System with CCD Camera and Laser Sensor," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 23, No 11, pp. 58-67, 2006.
6. Jang, S. M., Park, Y. T., Shin, H. K., Jang, W. B. and Jeong, Y. H., "The Analysis on The Performance Characteristics for Design of Linear Variable Differential Transformer (LVDT)," Proceedings of the International ISEM Symposium on Advanced Computational and Design Techniques in Applied Electromagnetic Systems, pp. 164-171, 1994.
7. Yassa, F. and Garverick, S., "A Multichannel Digital Demodulator for LVDT/RVDT Position Sensors," IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 25, Issue 2, pp. 441-450, 1990.
8. Denaro, D. and Sylvan, J., "The easy way to interface an LVDT to digital," Analog Dialogue Vol. 20, No. 2, pp. 19-21, 1986.