

## CCD-카메라를 이용한 홀 변위 자동측정시스템 개발

김병규\* (울산대학교 대학원), 최재영(울산과학대), 강희준, 노영식(울산대학교)

### Development of Automatic Hole Position Measurement System using the CCD-camera

Byung-Kyu Kim \*, Jae-Young Choi, Hee-Jun Kang, Young-Sik Ro  
(School of Electric, Electronic and information Engineering, University of Ulsan)

#### ABSTRACT

For the quality control of the industrial products, an automatic hole measuring system has been developed. The measurement device allows X-Y movement due to contact forces between a hole and its own circular cone and the device is attached to an industrial robot. Its measurement accuracy is about 0.04mm. This movement of the plate is measured by two LVDT sensor system. But this system using the LVDT sensors is restricted by high cost and precision of measurement and correspondence of environment so particularly, a vision system with CCD-Camera is discussed in this paper for the above mentioned purpose. The device consists of two of two links jointed with hinge pins basically and, they guarantee free movement of the touch prove attached on the second link in the same plane. These links are returned to home position by the spring plungers automatically after each process for the next one. On the surface of the touch prove, it has a circular white mark for camera recognition. The system detect and notify the center coordinate of capture mark image through the image processing. Its measuring accuracy has been proved to be about  $\pm 0.01\text{mm}$  through the repeated implementation over 200 times. This technique will shows the advantage of touch-indirect image capture idea using cone-shaped touch prove in various symmetrical shaped holes particularly, like tapped holes, chamfered holes, etc As a result, we attained our object in a view of the accuracy, economical efficiency, and functionality

**Key Words** : 홀(Hole) 변위 측정, LM 가이드(Linear Motion Guide), LVDT 센서(Linear Variable Differential Transducer), CCD-카메라 (Charge Coupled Device-Camera)

#### 1. 서론

산업 현장에서 제작되는 많은 제작품의 제작 정도를 파악하는 것은 단순히 제품의 합격 유무를 판단하는 것뿐만 아니라, 제작품의 품질관리 및 품질향상을 위하여 필요하다. 제작품의 제작 정도를 파악하는데 있어 제작품 내부에 몇 개의 홀(Hole)을 가지고 있다면, 이러한 홀을 특징점으로 인식하여 각 홀의 위치를 측정하여 제품의 정도를 판단하는 방법은 매우 효율적이다.

지금까지 변위 측정장치에 있어서 다양한 센서와 기구를 포함하는 시스템이 개발되어 적용되어 왔고 그중에서도 LVDT 센서를 이용하여 홀변위 측정시스템을 개발한 바가 있다. 하지만 각기 요구되는 환경 대응성, 측정정밀도, 비용 등의 측면에서 그 장단점을 갖고 있어 현장적용에 많은 제한 요소가

되고 있다.

여기서는, 측정의 주(主) 기능장치로서 저가의 CCD 카메라와 간단한 기구를 사용함으로써 저비용화를 실현하고, 관련 시스템의 실험 및 연구를 통하여 환경대응성과 측정정밀도를 확보함으로써, 현장적용에 있어 경쟁력이 있는 시스템을 구축하여, 홀(Hole)위치 측정 장치로서, 하나의 대안을 제시함을 목적으로 하였다.

따라서 본 연구는 홀 중심과 로봇에 부착된 측정기구부의 원뿔 부분이 일치하도록 로봇을 교시(teaching)한 후, 측정대상인 홀 중심의 변위가 발생할 시, 교시점과 홀 중심 사이의 변위에 따라 원뿔과 홀 사이에 발생하는 접촉력에 따라 측정기구부가 변위를 발생시키고, 그것을 측정은 홀 접촉식 측정기구부를 개발하였다. 이때, 홀 중심위치의 변화에 따른 기구부의 위치 변화는 기구부에 부착된

CCD 카메라로 얻은 영상데이터를 분석하여 측정한다.

교시(Teaching)된 매니플레이터(Manipulator)를 목적위치까지 반복동작 수행이 가능토록 하며 동작 수행을 완료하면, 홀(Hole) 중심점을 찾기 위한 CCD 카메라의 영상처리 과정을 수행하여, 추출 데이터를 Host PC 로 보내게 된다. 또한, Manipulator 에 장착한 기구의 탐침이 홀(Hole)과 수직을 이루면서 작업을 수행하도록 동작을 하며, 로봇을 통한 실험을 통하여 0.01mm 정도의 정밀도를 보장함을 입증하였다.

본 연구에서는 저가의 CCD 카메라가 탐침의 기준점을 읽어 들여 목표치로부터의 어긋난 정도를 측정토록 하는 접촉-간접 방식을 채택함으로써, 이미지 센서등을 활용한 비접촉방식의 열악한 환경적응성과 LVDT 나 고성능 CCD 카메라 등의 고비용화 문제를 해소화하고, 측정 정밀도 향상을 실현하였다.

이 논문에서는 홀 변위 측정 시스템에 대한 설계와 CCD-카메라를 이용한 접촉-간접 방식의 원추형 구조물을 주요 소개 한다. 또한 예전에 개발한 바가 있는 LVDT 센서를 이용한 홀변위 자동 측정 시스템을 개략적으로 소개함으로써 두 시스템의 신뢰성에 대한 반복 측정 실험을 비교 분석하고 우수한 정밀도 보장 뿐만 아니라 현장 적용에 있어서의 많은 제한요소를 해결함을 보여준다.

## 2. 홀 변위 자동측정시스템 구성

개발된 홀변위 자동 측정기구의 구상개념은 Fig. 2.1 과 같다. 또한 자동측정 시스템 구성요소들을 흐름도와 함께 각각설명하고자 한다.

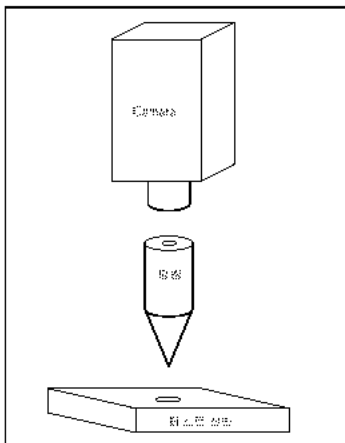


Fig.2.1 Construction of automatic hole measuring system

## 2.1 홀 변위 측정 흐름도

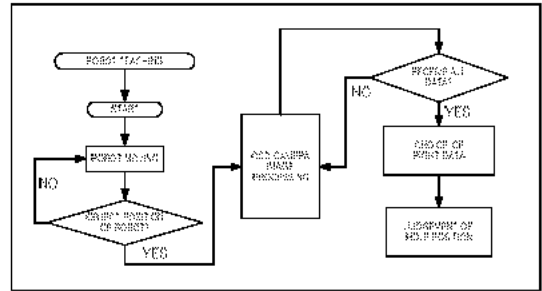


Fig. 2.2 Flow chart of automatic hole measuring system

Fig. 2.2 의 홀변위 자동측정 흐름도를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

**ROBOT TEACHING** 매니플레이터에 장착한 원추형 구조물의 끝점이 선반의 홀에 들어 가서 고정될 수 있도록 메인 프로그램에 각 정보를 저장한다. 여기서 구조물이 선반의 홀에 근접할 때 항상 직각으로 근접하여 홀의 Center (X,Y)를 측정한다

**START** 매니플레이터의 Teaching 을 한 후에 그 정보로 계속 반복 작업을 하기 위한 명령을 내린다.

**CCD CAMERA IMAGE PROCESSING** 결과 영상을 저장할 메모리를 할당하여 쉼터기준값을 흑백기준값으로 변경하여 환경에 맞게 정한 tresold 값에 따라 흑,백으로 이치화 하여 중심취득 영역의 중심좌표 영역을 검은 바탕의 흰 마크를 사용하여 중심 좌표(X,Y)값을 얻는다.

**DETERMINENT OF RIGHT DATA** 카메라 IMAGE PROCESSING 으로부터의 한 Hole 에 대한 3 개의 신호를 순차적으로 정렬하여 가운데 값을 취함으로써 데이터 오차를 줄여 시스템 반복정도를 높인다

**JUDGEMENT OF HOLE POSITION** 측정값에 의해 사용자는 Hole Center Position 확인, 혹은 불량품 이상유무의 확인이 가능하다.

## 2 로봇 교시(Teaching) 와 영상처리

Fig. 2.3 은 로봇 교시(teaching) 관련 Operation 과 동시에 실시간 영상처리(image processing)가 가능한 Program 이다. Teaching 된 Manipulator 를 목적지까지 반복 수행 가능하며 동작 수행이 완료 하면, 홀(Hole) 중심점을 찾기 위한 CCD-카메라의 영상처리과정을 수행하여, 추출데이터를 호스트 피시(Host

PC)로 보내게 된다. 또한, 모니터에 장착한 기구의 탐침이 홀(Hole)과 수직을 이루면서 작업을 수행하도록 동작한다.



Fig. 2.3 Robot teaching operation program

### 3. 홀변위 측정기의 구성

Fig 3.1 은 CCD-카메라를 이용하기 위한 홀변위 측정기 도면이다. 두개의 링크와 스템바는 힌지 연결이 되어 탐침의 중심이 평면상의 위치 이동이 자유롭고 상하위치는 억제되는 운동이 되도록 한다.

또한 두개의 링크는 외력에 의해 회전된후 외력이 제거되면 스프링플런저(Spring Plunger)에 의해 일정한 회전각의 범위 안에서는 원위치로 복원되도록 하여, 다음 작업을 위한 준비위치로 탐침을 이동시킨다. 이 기능은 측정 대상인 홀의 자세가 수평이 아닌 경우에 중력에 의한 탐침의 위치이동을 방지 하는 역할도 병행한다. 또, 스프링 플런저의 기능은 작업중 오류에 의한 과도한 탐침의 위치이동이 발생할 경우 기구에 무리한 외력이 작용함을 방지함으로써 기구를 보호하는 기능을 확보한다.

하관은 링크연결구조의 상하 흔들림이 발생할 경우 링크와의 접촉을 이용하여 흔들림에 의한 측정오차를 방지하는 기능을 하며, 모든 기계가공 부품의 상대운동이 없는 부분은 흑색 인산염피막처리(Black Phospatong)작업을 하여 방청기능을 가능케 한다.

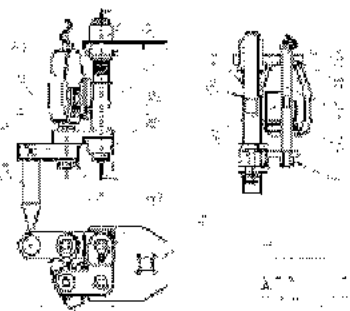


Fig. 3.1 Measurement device consists of two links

구성된 홀변위 측정기의 기구부를 산업용 로봇에 부착하여 교시된 홀 중심점으로 진입시키면 테스트하고자 하는 홀과 원뿔사이에서 발생하는 접촉력으로 측정기구부가 변위를 발생시키고, 그것을 측정하는 홀 접촉식 측정기구부를 개발하였다. 이때, 홀 중심위치의 변화에 따른 기구부의 위치 변화는 기구부에 부착된 CCD 카메라로 얻은 영상데이터를 분석하여 측정한다.

로봇을 통한 실험을 통하여 0.01mm 정도의 정밀도를 보장함을 입증하였다.

Fig 3.2 는 개발된 CCD-카메라를 이용한 홀 변위 측정시스템의 사진이다. 본 측정 시스템은 교시된 로봇의 위치에서 투입되는 제조품의 품질검사에서 홀 변위를 CCD-카메라로 측정함으로써 제조품의 제작정도를 제공한다.



Fig. 3.2 Development automatic hole measuring system

### 4. 개발 시스템의 실험결과 및 고찰

카메라에 의한 영상취득 및 중심위치 추출은 조명상태의 다양한 조건과 분석 알고리즘에 의한 영향으로 오차의 발생이 일반적이바, 이에 대한 데이터의 확보를 위하여 교시된 홀의 위치를 반복 측정함으로써, 개발된 측정시스템의 반복정밀도를 측정하였다. 또한 예전에 개발한 바가 있는 LVDT 센서를 이용한 홀변위 자동 측정 시스템에서의 측정 반복 정밀도를 소개하고 두 시스템의 신뢰성에 대해서 비교 분석하여 우수한 정밀도 보장 뿐만 아니라 현장 적용에 있어서의 많은 제한요소를 해결함을 보여준다.

#### 4.1 CCD-카메라를 이용한 측정오차

탐침의 상면에 지름 5mm 의 흰색 식별마크를 부착하여 기구를 로봇에 장착하여 시험편(Test Piece)의 지름 20mm 인 특정 홀(Hole)을 로봇의 임의의 위치

로부터 반복왕복동작을 실행하면서 반복정도를 측정하였다.

Fig 4.1 과 Fig 4.2 는 정지위치와 반복동작상태의 오차량의 절대값을 나타낸다.

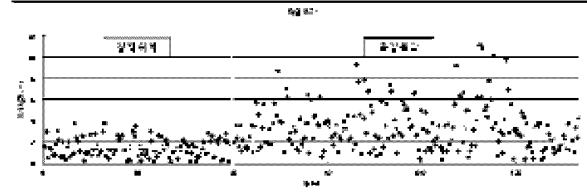


Fig. 4.1 Measurement error value of moving

| 회수        | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8      | 9      | 10    | 11    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
| 최대오차 (mm) | 5.775 | 6.751 | 6.509 | 9.341 | 7.989 | 6.634 | 4.817 | 11.161 | 10.137 | 4.662 | 4.301 |

Fig 4.2 Measurement error value of difference in number

제시된 실험결과에 의하면, 홀의 위치를 바꾸어 가며 11 가지 홀 위치에 대한 반복실험을 수행하여 얻어진 측정값에 대한 최대오차가 0.011mm 이내의 오차를 보여주는 것을 알 수가 있다.

#### 4.2 LVDT 센서를 이용한 측정오차

LVDT DATA 의 노이즈 제거를 위한 방법으로써 절연재로 쓰이고 있는 테프론을 사용하여 RS 232 로 각 프로브의 data 값 3 개를 연속으로 받아서 정렬하여 중간값을 취하여 실험을 수행하였다. 실험방법은 교시된 홀의 위치를 반복하여 측정함으로써, 개발된 측정시스템의 반복정밀도를 검토하였다.

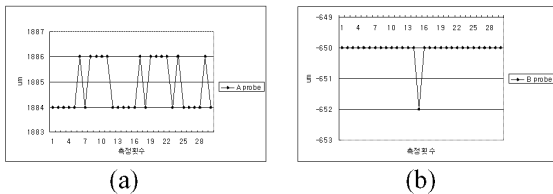


Fig. 4.3(a) Measurement value of A Probe and (b) Measurement value of B Probe

| 회수        | 1차 |   | 2차 |    | 3차 |    | 4차 |   | 5차 |   | 6차 |   | 7차 |   | 8차 |   | 9차 |   | 10차 |    | 11차 |   |    |
|-----------|----|---|----|----|----|----|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|-----|----|-----|---|----|
|           | X  | Y | X  | Y  | X  | Y  | X  | Y | X  | Y | X  | Y | X  | Y | X  | Y | X  | Y | X   | Y  | X   | Y |    |
| 최대오차 (mm) | 2  | 2 | 6  | 10 | 16 | 12 | 8  | 6 | 2  | 4 | 2  | 2 | 2  | 8 | 6  | 2 | 10 | 2 | 26  | 12 | 30  | 2 | 14 |

Fig 4.4 Measurement error value of difference in number

Fig 4.3 은 동일한 홀의 위치를 20 번 연속으로 측정하여, A,B Probe Data 는 각각 홀 위치의 X-축, Y-축 변위를 나타낸다. 제시된 실험결과에 의하면, 한 홀에 대한 연속측정 오차가 0.03mm 이내의 오차를 보여주는 것을 알 수가 있다.

Fig 4.4 는 측정한 반복정도를 (X,Y)방향의 위치 오차로써 정리한 것을 비교자료로서 제시하였다.

CCD-카메라와 LVDT-센서의 측정오차 비교에 있어서 측정방법이 상이하여 직접비교에는 조금 무리가 있지만, 본 실험의 최대오차 결과치인 0.011 mm 는 LVDT 측정오차에 비하여 30%정도 측정정밀도가 향상됨을 볼수가 있다.

### 5. 결론

본 연구는 산업 현장에서 제작되는 제작품의 품질관리를 위하여 제작품 내부의 홀(Hole)과 CCD-카메라를 이용하여 제작품의 제작정도를 자동으로 측정하는 홀 변위 자동측정 시스템을 개발하였다. 특히, 비전과 로봇을 활용한 기존의 홀변위 측정시스템의 일반적인 문제점을 해소하되, 측정정밀도를 확보하고, 상대적으로 저비용인 시스템을 개발하는데 초점을 두고 있다.

#### 후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 울산대학교 네트워크 기반 자동화 연구센터의 지원을 받아 수행하였고, 지원에 감사드립니다

#### 참고문헌

1. Monacos, S.P; Portillo, A.A.; Liu, W.; Alexander, J.W.; Ortiz, G.G; "A high frame rate CCD camera with region-of-interest capability", Aerospace Conference, 2001, IEEE Proceedings. , Volume: 3 , 10-17 Pages:3/1513 - 3/1522 vol.3. March 2001
2. Johnson, C.T., Jr; "A high resolution full frame transfer CCD camera", WESCON/94. 'Idea/Microelectronics'. Conference Record, Pages:210-213, Sept. 1994
3. Arthur R. Weeks, Jr., "Fundamentals of Electronic Image Processing," SPIE Press and IEEE Press, 1966
4. Ramesh Jain, Rangachar Kasturi and Brian G. Schunck, "Machine Vision", Addison-McGraw Hill, 1955.
5. B. Prescott and G. F. McLean, "Line-Based Correction of Radial Lens Distortion," Graphical Models and image Processing, Vol.59, No.1, pp.39~47, Jan.1997
6. Yassa, F. Garverick, S. "A multichannel digital demodulator for LVDT/RVDT position sensors" Solid-State Circuits, IEEE Journal of, Volume:25 Issue:2, April 1990 Page(s):441-450
7. Harry N. Norton , "Handbook of Transducers" Pearson Education POD
8. Y. T. Park , "the Analysis on The Performance Characteristics for Design of Linear Variable Differential Transformer(LVDT) , ISEM