

## 레이저 변위 센서를 이용한 기상측정에 관한 연구

권세진, 이정근(영남대 대학원 기계공학과), 박정환, 고태조(영남대 기계공학과),  
김선호(기계연구원 자동화연구부)

### A Study on the On-the-Machine Measuring using a laser displacement sensor

S. J. Kwon, J. G. Lee(ME, Graduate School, Yeungnam Univ.), J. W. Park, T. J. Ko(School of ME,  
Yeungnam Univ.), S. H. Kim(Auto. Eng. Dept., KIMM)

#### ABSTRACT

From reverse-engineering's point of view, the main step is the digitizing or gathering three-dimensional points on the target physical model. As well known, the touch or scanning probe gives higher accuracy, while the non-contact digitizing apparatus by use of laser or structured light can rapidly obtain digitized points of great bulk without contacting onto the part surface of the physical model. We propose a digitizing methodology by use of the LK-031 laser displacement sensor, which was tested with a physical model.

**Key Words :** On-the-Machine Measuring(기상측정), Laser displacement sensor(레이저 변위 센서)

#### 1. 서론

현재 가공데이터의 검사 방식은 모의가공<sup>[1]</sup>을 통한 검증 소프트웨어를 활용하는 방식과 실 가공 물의 3차원 측정을 통한 검사 방식으로 나눌 수 있다. 소프트웨어를 이용한 방식은 실 가공 전에 미리 가공 데이터를 검증할 수 있다는 장점이 있으나 실제 가공 시 발생할 수 있는 제반상황 등에 대해 완전하게 검증하기에는 부족하다. 따라서 실 가공 후 가공곡면의 오차검사는 측정을 통한 방식이 일반적인데 대량 생산라인의 경우에는 별도의 전용 측정 및 검사공정을 따로 두고 있으나 이 같은 방식은 대량 소량 생산라인의 경우인 금형 제조와 같은 생산 시스템에는 부적절하므로 정밀 측정과 유연성이 높은 3차원 측정기(Coordinate Measuring Machine : CMM)를 설치하여 운용하는 것이 일반적이다.<sup>[2]</sup> 그러나, CMM의 경우 측정기 자체의 한정된 크기와 값비싼 비용, 설치를 위한 별도의 공간 및 유지비용 등이 확보되어야 하며 운용 시 고도의 전문인력의 양성 및 교육의 어려움을 지니고 있다. 또한, 측정을 위해 공작물의 이동이 있어야 하며 이에 따른 정확성에 대한 신뢰도가 보장되어야 하

고, 측정시간의 지연으로 인해 생산성 저하의 요인이 될 수 있다.<sup>[3]</sup> 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 공작기계에서 제품의 가공이 완료된 후, 장착된 공구를 측정용 접촉식 프로브(Probe)나 비 접촉식 센서로 교체하여 공작기계 상에서 측정을 할 수 있는 시스템(On-the-Machine Measuring : OMM)에 관한 연구가 진행되고 있다.<sup>[4]~[7]</sup>

OMM과 관련한 3차원 좌표 값의 측정방식은 크게 접촉식과 비접촉식으로, 하이브리드 방식이 있으며, 접촉식으로는 터치 트리거 프로브나 스캐닝 프로브를 이용한 방식이며, 비접촉식으로는 빛, 음향, 자기장 등을 이용한 방식이다. 그리고 하이브리드 방식은 일반적으로 비전시스템을 이용하여 전체 형상을 파악한 후 접촉식 프로브로 정밀한 측정을 수행하는 방식이다<sup>[10]</sup>. 접촉식을 이용하는 측정 방식은 비접촉식에 비해 넓은 측정 영역을 정밀하게 측정할 수 있다는 장점이 있지만 측정시간이 오래 걸리고 프로브 반지를 보정이 어렵다는 문제를 가지고 있다. 반면, 비접촉식은 측정 속도가 빠르고, 연성 재질의 물체를 손상 없이 측정이 가능하다.

3차원 측정에서 측정 오차 또한 관심을 가져야 하는 부분인데, OMM의 경우는 특히 공작기계의

작업환경, 체적오차, 열변형, 공작물 체결에 따른 탄성변형 그리고 측정기 자체의 오차 등이 고려되어야 할 주요 오차이다. 이러한 오차 보정에 대해서도 많은 연구가 진행되고 있으며<sup>[8],[9]</sup> 본 연구에서는 다루지 않기로 한다.

본 연구에서는, NC 가공 후 가공 면에 대한 수치적인 검사를 목적으로 CAD 모델을 기반으로 LK-031 레이저 변위센서를 이용한 측정, 검사 시스템에 관하여 살펴보기로 한다.

## 2. 시스템 구성

Fig. 1은 본 시스템의 전반적인 정보 흐름을 보여주고 있다. 이는 크게 레이저 변위센서의 보정, 측정 및 검사 모듈로 이루어진다.

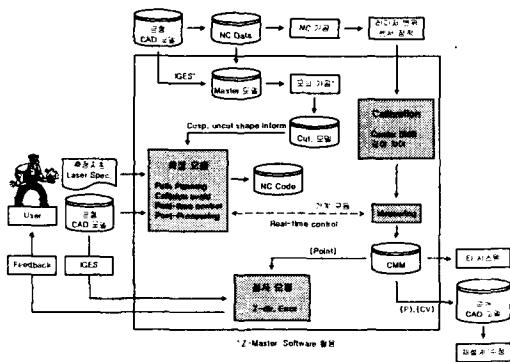


Fig. 1 Overall information flow

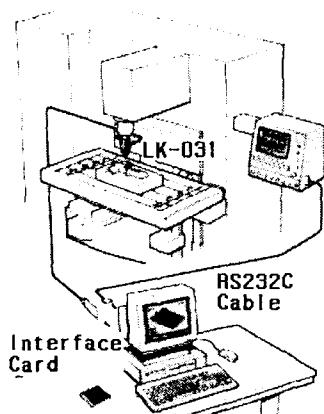


Fig. 2 Hardware configuration

레이저 변위센서 보정 모듈은 NC 가공 후 공구를 레이저 센서로 교체할 때 발생하는 편심(center shift)량에 대한 보정 작업을 수행한다. 측정 모듈은 사용자 입력 점 처리, 레이저 센서 측정경로계획(path

planning) 및 충돌검사(collision check), 실시간 NC 컨트롤 등을 다루며, 검사 모듈은 측정점과 CAD 곡면과의 오차를 계산하는 역할을 담당한다.

시스템의 하드웨어적인 구성을 Fig. 2에 보이고 있으며, 레이저 변위센서는 KEYENCE 사의 LK-031 모델을 사용하였다. 이와 관련된 사양은 Table 1과 같다.

Table 1 Hardware specification

Sensor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Model : LK-031 laser displacement sensor (KEYENCE)</li> <li>Reference distance : 30 mm</li> <li>Measuring range : <math>\pm 5</math> mm</li> <li>Spot diameter : Approx. 30 <math>\mu\text{m}^2</math> (at reference distance)</li> <li>Analog output voltage : <math>\pm 5</math> V</li> <li>Weight(include cable) : Approx. 260g</li> </ul>
Milling MC	DAEWOO CNC AV45(FANUC 0M)

## 3. 레이저 변위 센서 보정

레이저 변위센서를 사용하여 정확한 측정을 위해서는 레이저 광원 중심과 스팬들 중심과의 편차인 편심량(center shift)을 계산하여 측정 시 이를 보정해 주어야 한다. 측정을 위해 레이저 변위센서를 장착할 때 Fig. 3(a),(b)와 같이 장착되는데, Fig. 3(c)에서 보는 바와 같이 레이저 변위 센서 광원(laser source)과 스팬들 축 사이에 풋심( $\delta x, \delta y$ )이 발생하며 이를 측정 시 반영해 주어야 한다. 본 연구에서는 이미 반경 및 중심 좌표값을 알고 있는 기준 카운트 싱크 구멍(reference counter sink hole)을 활용하였다.

Fig. 4와 같이 공작기계 상에 미리 가공된 기준 카운트 싱크의 중심  $P_c$ 와 레이저 변위센서의 광원이 지나게 될 기준 카운터 싱크 경사면상에 존재하는 일정한 높이의 점  $P_1, P_2, P_3, P_4$ 의 좌표를 측정하여 가공에 사용된 공구의 중심과 센서 광원과의 편심량을 계산한다.

이때  $P_1, P_2, P_3, P_4$ 의 좌표를 구하기 위해  $\pm X, \pm Y$  네 방향으로 카운트 싱크 면을 측정한다. 여기서 얻어진 데이터는 Fig. 5와 같이 연속적인 데이터가 아니므로 Fig. 6과 같이 회귀분석을 통하여 2차 다항식의 형태( $y = a_0 + a_1x + a_2x^2$ )로 만든다. 그런 다음 구해진 식을 이용하여 일정한 전압일 때의 거리  $L_1, L_2, L_3, L_4$ 를 구하고 이를 식(1)을 이용하여 편심량( $\delta x, \delta y$ )을 구한다.

$$\delta x = \frac{L_1 - L_2}{2} - L_{csx}, \quad \delta y = \frac{L_3 - L_4}{2} - L_{csy} \quad (1)$$

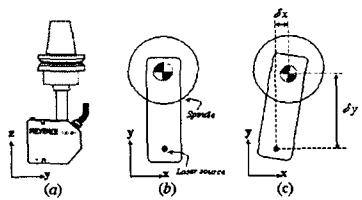
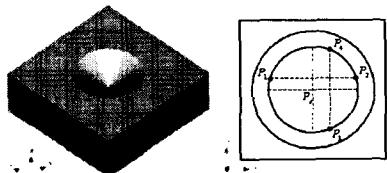
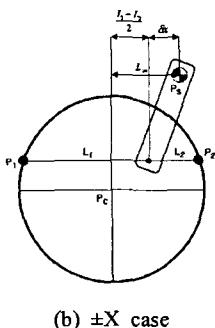


Fig. 3 Center shift in LK-031 setup



(a) Reference counter sink



(b)  $\pm X$  case

Fig. 4 Center aligning

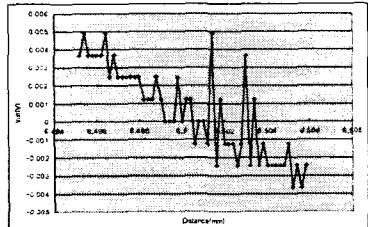


Fig. 5 Voltage output from LK-031

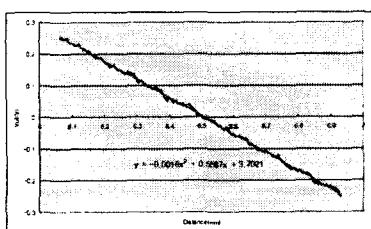


Fig. 6 Measured voltage & regression analysis using quadratic polynomial

#### 4. 측정 경로 계획

본 연구에서는 사용자가 측정하고자 하는 가공물상의 점들을 Z-Master 2000<sup>[11]</sup>의 내부 기능을 사용하여 선택할 수 있게 하였다. 사용자에 의해 측정하고자 하는 점이 선택되면 공작물의 최대 높이보다 안전 높이를 높게 하여 각 측정 점들의 이동간에 충돌이 발생하지 않도록 측정 경로를 생성하게 된다. Fig. 7은 측정하고자 하는 점들과 측정 경로를 보이고 있다.

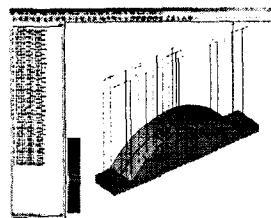


Fig. 7 Path planning for measuring

#### 5. 측정 및 검사

##### 5.1 구현 환경

본 시스템의 소프트웨어는 Windows 2000 환경에서 Visual C++를 이용하여 개발하였으며, 측정점 및 측정 경로 생성은 기존 상업용 CAM 시스템인 Z-Master 2000의 내부 기능을 활용하였다. 하드웨어적인 구성은 데이터 획득용으로 LK-031 레이저 변위센서를 사용하였으며, FANUC 0M 시리즈 컨트롤러를 장착한 DAEWOO CNC AV45 밀링 머신에서 RS232C 통신규약에 따라 기계로의 NC 전송이 이루어졌다. 자세한 하드웨어 사양은 Table 1에 나타낸 바와 같다.

##### 5.2 측정 모델 설정

본 연구에서 측정 테스트한 모델은 Fig. 8에서 보는 바와 같이 15°, 30°, 45°경사면을 가진 평면부와 곡면부로 이루어져 있다. Al 70 재질의 모델 형상치수는 225 x 40 x 50 mm이며 기계 상에서 가공 후 측정 테스트를 수행하였다. Fig. 8은 본 연구에서 선정한 모델과 측정 모습을 보여준다.

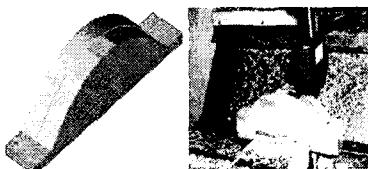


Fig. 8 Example shape & Measuring

## 5.2 측정 및 결과

본 연구에서 사용한 LK-031 레이저 변위센서는 광축 방향으로의 변위에 대한 전압 신호를 발생시킨다. 그리고 이때 발생한 전압(V)과 거리(mm)는 1:1 스케일을 이룬다. 곧 측정에서 얻어진 전압이 바로 가공 오차가 되는 것이다. Fig. 9는 레이저 변위센서의 출력 전압 특성을 나타낸 그림이다.

Fig. 10은 측정 점을 나타내고 있다. 레이저 변위센서로 측정이 끝난 후 공작물을 CMM으로 옮겨서 같은 점들을 측정, 비교해 보았다. Fig. 11, 12는 OMM과 CMM에서의 가공 오차를 나타내고 있다.

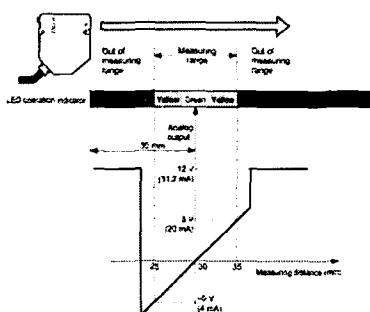


Fig. 9 Output characteristics of LK-031

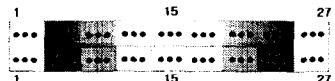


Fig. 10 Measuring points

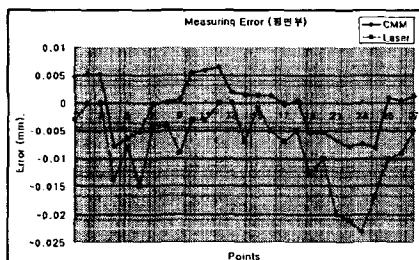


Fig. 11 Error along z-dir. OMM & CMM(plane)

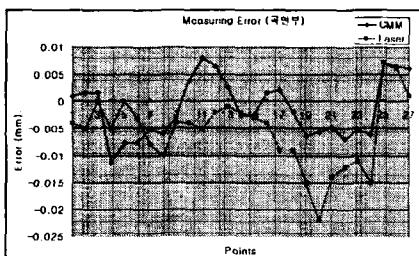


Fig. 12 Error along z-dir. OMM & CMM(surface)

## 6. 결론

본 연구에서는 레이저 변위센서를 이용하여 가공 직후 NC 기계 상에서 가공면의 수치 측정 및 검사를 통하여 가공 오류를 파악할 수 있는 시스템을 개발하였다. 최대 가공 오차가  $25\mu\text{m}$ 정도로서 서론에서 얘기한 오차들을 감안할 때 측정, 검사 시스템으로서 현장 적용이 가능할 것으로 보이며, 일반 고가의 CMM장비를 필요로 하지 아니하므로 측정 및 검사 시간을 대폭 단축하여 공수절감 효과가 클 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- Choi, B. K. and Herard, R. B., "Sculptured surface machining: theory and applications," Kluwer, 1998.
- Owen, J. V., "CMMs on the Shop Floor," Manufacturing Engineering, April, pp.66-70, 1991.
- 이상준, 김선호, 김옥현, "OMM 시스템에서의 측정 오차 해석," 한국정밀공학회지, 제15권, 제5호, pp.34-42, 1998
- 김선호, 김인훈, "Scanning probe를 이용한 OMM 시스템 개발 및 평가," 한국정밀공학회지, 제13권, 제10호, pp.71-77, 1996.
- 김경돈, 정성종, "접촉식 측정 프로브를 이용한 2 ½ 차원 온더머신 측정 및 검사 시스템의 설계 및 해석," 대한기계학회논문집, 제23권, 제1호, pp.37-46, 1999.
- 남우선, 정송정, "자유곡면의 온더머신 측정 및 검사를 위한 시스템 설계," 한국정밀공학회지, 제15권, 제12호, pp.81-88, 1998.
- 이승우, "기상측정 시스템 개발," 산업공학, 제11권, 제11호, pp.199-205, 1998.
- 조명우, 이세희, 서태일, "CAD/CAM/CAI 통합에 기초한 자유곡면의 On-Machine Measurement: I. 측정오차 모델링," 한국정밀공학회지, 제16권, 제10호, pp.172-181, 1999.
- 이상준, 김선호, 김옥현, "기계 체적오차가 고려된 가공형상-거칠기 측정 OMM 시스템," 한국정밀공학회지, 제17권, 제5호, pp.232-240, 2000.
- 고태조, 김희술, 이현직, "센서 융합을 통한 효과적인 디지타이징에 의한 역공학," 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, 1999.
- CubicTek, Z-Master Reference Manual, 2000.