

## 형상 검사를 위한 multiple-sensor 측정 시스템의 캘리브레이션 연구

김승만\*(광주과학기술원 기전공학과), 손석배(광주과학기술원 기전공학과),  
이관행(광주과학기술원 기전공학과)

### Calibration of a multiple-sensor measuring system for efficient visual inspection

S.M. Kim\* (Mechatronics, K-JIST), S. B. Son (Mechatronics, K-JIST), K. H. Lee (Mechatronics, K-JIST)

#### ABSTRACT

In acquiring the surface information of a part, two types of measuring machines have been used: contact type and non-contact type. Since each measuring device has the pros and cons, an integrated measuring system is proposed to acquire the optimal point data. In order to implement the integrated measuring system, the relationship of coordinate systems between each measuring device should be established.

In this paper, a new datum fixture and a calibration method for the multiple-sensor measuring system are proposed. The datum fixture is designed to interface two machines, a CMM and a laser scanner. The position of the datum fixture is calibrated by the axis information of a motorized rotation stage which is used for a part setup.

**Key Words** : datum fixture(데이텀 고정구), calibration(캘리브레이션), CMM(3차원측정기), laser scanner(레이저 스캐너), visual inspection(형상검사)

#### 1. 서론

생산된 제품의 형상과 재질에 대한 가시적인 검사는 제품의 설계 및 생산과정을 자동화하는 과정에서 중요한 부분을 차지하고 있다. 제품의 검사는 주로 제품의 결함을 발견하고 분류하여 합당한 오류 원인을 분석한 후, 생산되는 제품의 적합성 여부를 판단하거나 설계 변경에 적용된다<sup>[1]</sup>. 형상이나 재질에 따라 검사 방법이 달라질 수 있기 때문에 우선 검사 목적에 맞는 측정 장비나 검사 방법을 선택해야 적절한 측정 데이터를 얻어 원하는 검사를 수행할 수 있다.

3차원 형상 검사에는 주로 접촉식과 비접촉식 방법이 이용된다. 접촉식은 접촉식 프로브를 3차원 공간상에서 이동시키면서 검사될 부분에 접촉시켜 치수나 공차 검사를 위한 데이터를 한 점씩 획득하는 방식이다. 측정 속도가 느리고 무른 재질의 형상을 측정할 때는 측정 오차가 크게 발생하지만, 반복 및 측정 정밀도가 높아 기본 형상의 측정에 유리하고 불필요한 데이터가 발생하지 않는 장점이

있다. 이에 반해 비접촉식은 주로 레이저광이나 카메라를 이용하는 방식으로 물리적인 접촉을 하지 않고 일정 거리를 유지하며 형상의 곡면 정보를 획득하는 방식이다. 특히 레이저를 이용하는 방식은 레이저의 성능 향상에 따라 정밀한 데이터 획득이 가능하며 단시간 내에 많은 데이터를 획득할 수 있다. 또한 재질의 영향을 적게 받으며 복잡한 자유 곡면의 측정에 용이하여 접촉식보다 측정시간을 크게 단축할 수 있다. 하지만 많은 양의 데이터가 발생하기 때문에 데이터 처리 과정이 필요하고, 경면이나 투명한 재질로 된 물체의 경우에는 정반사나 난반사가 발생하기 때문에 추가적인 작업이 필요하다.

두 장비는 각각의 장단점을 가지고 있기 때문에 장점만을 고려할 수 있는 측정 시스템을 구성한다면 형상 데이터의 측정 효율을 높일 수 있다. 하지만 이 기종의 측정장비를 동일한 형상 검사시스템에 사용하려면 측정 시스템의 좌표계를 통합하는 과정이 필요하다. 일부 연구에서는 광학식 측정장비의 카메라를 CMM에 통합하기 위해 CMM의 프로브

팁을 공통 좌표계 생성을 위한 특징점으로 사용하였다. 광학식 측정 장비를 이용하여 프로브 팁을 측정하여 영상 데이터를 얻고, 근사를 통해 얻어진 팁의 중심점들을 이용하여 공통 좌표계가 생성하기 때문에 근사 오차가 나쁘면 부정확한 좌표계가 생성될 수 있다<sup>[2][3]</sup>.

본 연구에서는 접촉 장비인 CMM 과 비접촉식 장비인 레이저 스캐너의 장점을 적절히 고려하여 통합해서 사용할 수 있도록 캘리브레이션 방법을 제안한다. 우선 측정 시스템들의 공통 좌표계를 제공함으로써 시스템간의 공통 원점을 제공해줄 수 있는 데이텀 고정구를 설계한다. 실제로 CMM 으로는 전체 형상에 대한 정보를 한 셋업에서 측정할 수 없고, 레이저 스캐너도 한 방향(-Z)으로만 측정이 가능하기 때문에 측정할 수 있는 영역이 제한되어 있다. 따라서 물체를 적절한 위치나 방향으로 변경시켜 줄 수 있는 시스템으로 3 축으로 회전 가능한 전동식 고정구를 사용하였다. 그리고 정밀구를 사용하여 각각의 장비에 대한 전동 스테이지의 좌표 시스템을 캘리브레이션을 하였다.

## 2. 데이텀 고정구

### 2.1 3차원 형상 측정 시스템

본 연구에서 사용될 측정장비는 미쯔도요사의 BRT504(CMM)과 LDI 사의 Surveyer 1200(3 차원 Laser Scanner)이다. Fig. 1 의 (a)와 같이 CMM 은 moving bridge 형태의 프레임에 연결되어 있는 탐침(probe)을 3 차원 공간상에 이동시키면서 원하는 부분의 기하 좌표값을 획득한다. 반면에 fig.1 의 (b)와 같이 레이저 스캐너는 fixed table cantilever 형태의 프레임에 부착된 스캐너 헤드에서 레이저 광을 물체에 주사하고, 반사되는 광을 양쪽에 있는 CCD 센서로 탐지하여 삼각법(triangulation)을 이용하여 물체 형상에 대한 3 차원 좌표값을 계산한다. 라인 형태의 레이저가 미리 설정된 측정 경로에 따라 물체에 주사되면서 형상 데이터를 얻게 된다.

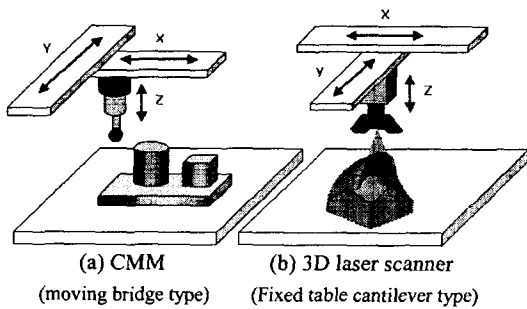


Fig. 1 CMM and 3D laser scanner

### 2.2 데이텀 고정구 설계

다른 기종의 측정장비에서 얻어진 측정 데이터를 동일한 좌표계로 통합하기 위해서, fig. 2 와 같이 공통의 기준 좌표계를 제공해줄 수 있는 데이텀 고정구를 설계하였다.

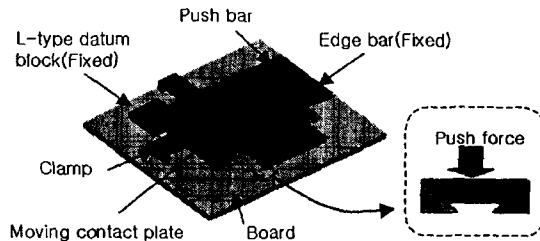


Fig.2 Datum fixture

기준 좌표계의 원점으로 사용될 L-type datum block 은 직각도(angularity)를 0.005° 이하로 설계하였고, board 를 비롯한 평판 모양의 구성 파트는 평면도(flatness)를 0.005 mm 이내로 설계하였다. 또한 측정될 물체는 moving contact plate 상에 부착되며, 이를 CMM 이나 레이저 스캐너의 정반에 고정시키기 위해, 사면으로 가공된 push bar 에 아래 방향의 힘을 가해 L-type datum block 에 밀착시키면서 아래 방향으로 힘이 전달되도록 하였다. 또한 발생하는 모멘트를 고려하여 두 방향에서 고정할 수 있다.

### 2.3 3축 전동식 회전 스테이지

CMM 과 레이저 스캐너의 측정 영역에 대한 한계가 있기 때문에 물체의 원하는 부분의 형상 데이터를 얻기 위해서는 물체의 위치와 방향을 적절하게 변경할 필요가 있다. 또한 서로 다른 특정 방향에서 측정된 데이터들을 하나의 공통 좌표계로 일치시켜주기 위해서 3 축으로 회전이 가능한 전동 스테이지를 이용한다<sup>[4]</sup>. Fig.3 과 같이 전동 스테이지는 높은 분해능을 가지는 스테핑 모터와 회전 스테이지로 구성된 3 축 시스템이며, 각 축은 컨트롤러에 의해 독립적으로 구동된다.

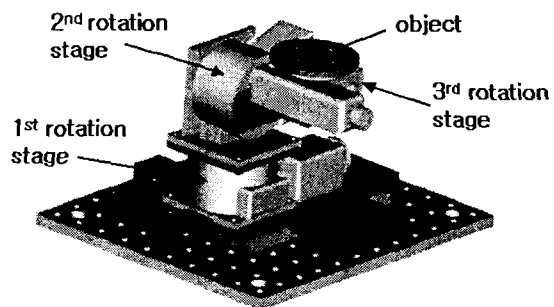


Fig. 3 3-axis motorized rotation stage and datum fixture

### 3. 시스템 캘리브레이션

#### 3.1 시스템 간의 좌표 변환

서로 다른 센서를 사용하는 측정시스템 간의 캘리브레이션을 위해 CMM에 의해 생성된 기준축으로 레이저 스캐너의 좌표계를 일치시킨다. Fig. 4에서와 같이 각 장비는 독립된 좌표계를 가지고 있기 때문에 서로 다른 플랫폼에서 측정된 데이터를 식 (1)과 같이 적절한 변환을 통해 하나의 기준좌표계로 일치시켜 주어야 한다.

$$[P]' = [T]_{Rot} [T]_{Trans} [P] \quad (1)$$

이때  $[P]$ 는 초기 위치를 나타내고  $[P]'$ 은 변환된 후의 위치를 나타내며,  $[T]_{Rot}$ 는 두 좌표계에 따른 회전변환,  $[T]_{Trans}$ 는 병진변환을 나타낸다

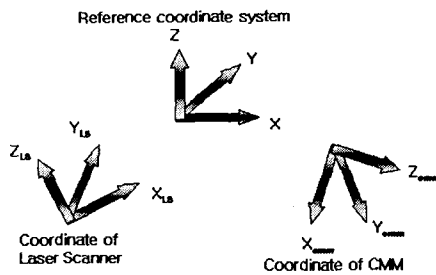


Fig. 4 Coordinate system for each measuring machine

#### 3.2 CMM을 이용한 기준 좌표계 설정

데이텀 고정구를 이용하여 좌표계 원점을 설정하고 난 후, 전동 스테이지의 회전축은 fig. 5와 같이 3축 전동 스테이지의 회전평면에 정밀구를 붙이고 각각의 축에 대해서 일정각을 변화시키면서 측정하여 회전중심을 구한다. Fig. 6는 CMM을 이용하여 측정된 정밀구의 중심점을 이용하여 계산된 각 축의 회전축과 회전평면을 나타낸다. 마찬가지로 레이저 스캐너 시스템을 위한 전동 스테이지의 좌표축을 계산하기 위해 fig. 7과 같이 정밀구를 측정하였다. 레이저 스캐너는 직접적으로 정밀구의 중심점을 계산할 수 없기 때문에 일단 정밀구를 측정된 데이터를 구로 근사한 후 얻어지는 중심점들을 이용하여 회전축과 회전평면을 계산한다.

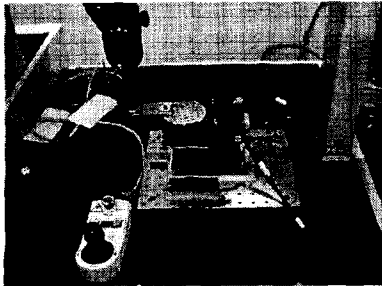


Fig. 5 Reference coordinate calibration using CMM

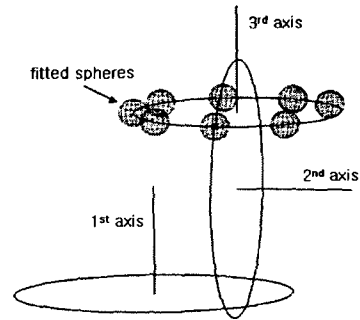


Fig. 6 Coordinate system(CMM) of 3-axis rotation stage



Fig. 7 Coordinate calibration using laser scanner

#### 3.3 좌표계 통합

Fig. 8은 레이저 스캐너와 CMM에 의해 각각 생성된 전동 스테이지의 좌표계를 기준좌표계로 통합하는 과정을 도식적으로 보여준다. 실제로는 CMM에 의해 생성된 좌표계를 기준좌표계로 설정하였으며, 레이저 스캐너의 좌표계를 기준좌표계로 변환하였고 table 1은 좌표 변환과정에 필요한 변환 파라미터를 보여준다.

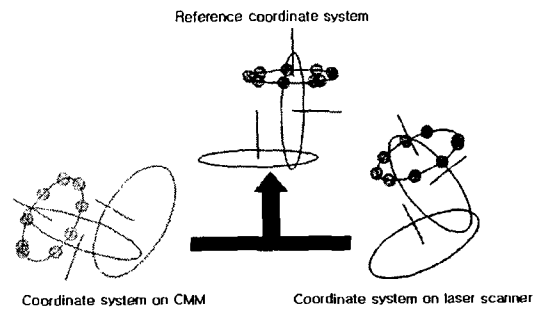


Fig. 8 Integration of coordinate system

Roll angle (X axis)	20.1822 degrees
Pitch angle (Y axis)	21.5368 degrees
Yaw angle (Z axis)	-41.1108 degrees
Translation	(372.239 190.389 230.108)

Table 1 Transformation parameters

### 3.4 적용 예

형상 검사에 적용되는 물체에 기본형상이 포함 되어 있는 경우 CMM 으로 측정하는 것이 용이하고, 자유곡면으로 되어 있는 경우에는 레이저 스캐너를 이용하는 것이 유리하다. 본 연구에서는 형상이 주로 자유곡면으로 구성되어 있는 하악골(lower jaw-bone) 치형에 측정 시스템을 적용하였다. Fig. 9 는 하악골과 치형을 위한 측정 시스템을 보여준다. 하악골에는 치밀한 골과 돌출부들이 존재하기 때문에 한 방향에서의 측정으로는 전체 형상을 얻을 수 없다. 따라서 서로 다른 4 방향에서 측정을 하였으며, fig. 10 은 각각의 방향에서 측정된 치형 데이터와 기준좌표계로 통합된 형상 데이터를 보여준다.



Fig. 9 Measurement of lower jaw-bone and teeth



Fig. 10 Registered point data

### 4. 결론

본 연구에서는 이 기종의 측정 장비의 플랫폼을 효율적으로 통합하기 위한 데이터 고정구 설계 및 캘리브레이션 방법을 제안하였다. 이를 통해서 주어진 대상 물체의 형상 복잡성, 크기, 재질, 측정목적 등에 가장 부합하는 측정 장비를 선택적으로 사용할 수 있어, 제품의 품질 검사나 형상모델링을 위한 최적의 점 데이터 획득이 가능하다. 그리고 파트의 위치결정을 위해서 전동 스테이지를 사용함으로써 정확한 측정방향 설정을 가능하게 하고, 가림현상을 줄이며, 하드웨어를 이용한 직접적인 데이터 정렬이 가능하다. 이로써 기존의 수작업에서 생길 수 있는 예러나 작업시간을 획기적으로

줄일 수 있다. 또한 이러한 하드웨어는 향후 자동화된 측정시스템을 구축하기 위한 핵심 모듈로 이용될 수 있다.

### 후기

본 연구는 한국과학재단 지정 특정기초연구 지원 과제(2000-1-30400-006-3)의 지원으로 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 깊이 감사 드립니다

### 참고문헌

1. Timothy S. Newman and Anil K. Jain, "A Survey of automated visual inspection," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 61, No. 2, pp. 231 - 262, 1995.
2. Shen, T. S., Menq, C. H., "Automatic camera calibration for a multiple-sensor integrated coordinate measurement system," *IEEE transactions on robotics and automation*, Vol.17 No.4, pp.502-506, 2001.
3. Shen, T. S., Huang, J., and Menq, C.H., "Multiple-sensor planning and information integration for automatic coordinate metrology," *ASME Journal of Computing and Information Science in Engineering*, Vol.1, No. 2, pp. 167-179, 2001.
4. 손석배, 김승만, 이관행, "3 축 전동테이블을 이용한 레이저 스캐너의 측정 및 레지스트레이션 자동화", *대한기계학회 춘계학술대회*, pp. 134-139 2001.