

## 제품의 특징형상을 이용한 3차원 데이터의 레지스트레이션 방안 연구

김민석\*, 인재준+, 이응기\*\*

(논문접수일 2008. 1. 16, 심사완료일 2008. 8. 6)

### Study of Registration of 3D Data by Using the Feature on Products

Minseok Kim\*, Jaejun In<sup>+</sup>, Eungi Lee<sup>+</sup>

#### Abstract

Recently more complex geometric shapes, including freeform surfaces, are adopted for the design of products to emphasize style or beauty. Modeling of these products is extremely difficult or often impossible. Reverse engineering is the latest technology that can solve the problem by generating CAD models from the physical mockups or prototype models. Reverse engineering uses the coordinate measuring machine(CMM) to get the shape data of products. CMM is limited by the size of the product; therefore it must need the feature to solve it. The tooling-ball which is generally used for feature has difficulty in being used for soft products. Besides, the higher the accuracy of the tooling-ball is, the more expensive its cost is. This study will develop the feature of high accuracy without additional tools and compare the difference of accuracy by it.

**Key Words** : Reverse engineering(역공학), Registration(레지스트레이션), Feature(특징형상), CMM(3차원 측정기)

## 1. 서론

산업의 발달과 고객의 다양한 요구로 인하여 자동차, 가전 제품 및 전자 기기 등의 공업제품들은 과거에 비해 매우 복잡하고 부드러운 곡면으로 이루어진 형상을 많이 포함하고 있다. 또한 제품의 수명 역시 매우 짧아져 신속한 설계가

요구되어지고 있다. 이러한 현실의 요구에 대응하기 위하여 제조 분야에서는 전산 역공학(reverse engineering)을 이용하고 있으며, 이에 따라 3차원 형상 측정의 활용도 높아졌다<sup>(1,2)}</sup>.

3차원 측정 장비는 측정 정밀도 향상과 작업시간을 단축시킬 수 있다. 그러나 3차원 측정 방식의 한계로 인하여 제품의 완벽한 3차원 데이터나 측정기의 측정 범위보다 크기가

\* 공주대학교 일반대학원 기계공학과  
+ 공주대학교 기계자동차공학부  
++ 교신저자, 공주대학교 기계자동차공학부 (eklee@kongju.ac.kr)  
주소: 303-717 충남 천안시 부대동 275

큰 제품의 데이터를 얻는 것에 많은 비용과 노력이 소비되고 있다<sup>(3,4)</sup>.

제품의 3차원 전(全) 형상 데이터나, 크기가 큰 제품의 데이터를 얻기 위해서는 제품을 여러 부분으로 나누어 측정할 후 하나의 데이터로 통합하는 레지스트레이션(registration) 작업을 수행하여야 한다. 레지스트레이션 작업에서 톨링볼 등의 특징형상은 데이터의 정밀도에 직접적인 영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 측정 제품에 추가적인 특징형상을 사용하지 않고, 제품에 있는 홀(hole)이나 기타 형상을 특징형상으로 검출하고, 이를 이용하여 레지스트레이션을 수행할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 특징 형상

### 2.1 제품의 모양을 이용한 특징형상

제안하고자 하는 특징 형상의 기본 방안은 측정 대상이 가지고 있는 홀(hole) 등의 형상을 특징형상으로 대체함으로써, 기존에 필요하였던 고정구의 구매와 위치 변경 및 측정을 위한 셋업 시간을 줄여 측정 시간 및 비용을 단축시키는 것을 목적으로 한다.

본 연구에서는 CMM(coordinate measuring machine)(Fig. 1)를 사용하여 측정 대상의 각 부분을 측정한다. 그 다음 측정 데이터 중 제품이 갖고 있는 홀 등의 형상을 검출하여 공간상에서의 참조 위치인 특징형상으로 활용하게 된다.

일반적으로 많은 수의 제품들은 특징형상으로 사용할 수

있는 다양한 모양을 가지고 있다. 부품을 체결하기 위한 나사 구멍이나 제품과 제품 사이의 간섭을 억제시키며 재료의 사용을 최소화하기 위해 다양한 형태의 홀 등이 존재한다. 이러한 형상들을 이용하여 측정 장비의 범위를 벗어나는 대형의 제품들의 전 형상을 보다 쉽게 얻을 수 있다.

### 2.2 3차원 형상 스캐너

본 연구에서 사용한 3차원 형상스캐너는 Renishaw사의 Cyclone series 2 이다. 측정 영역은 600mm×500mm×400mm이며, 정밀도는 5μm이다. 비접촉식과 접촉식 타입을 동시에 사용할 수 있어 아주 연질의 제품이나 부품도 정밀하게 측정할 수 있다.

이 측정 장비는 x-y좌표에 따른 z좌표를 측정하는 작업을 반복적으로 실시하여 공간상의 데이터를 수집하게 된다. 그러나 측정 범위와 측정방향이 한정적이기 때문에 크기가 큰 제품이나 제품의 3차원 형상을 얻기 위해서는 특징형상이 반드시 필요하게 된다<sup>(5)</sup>.

### 2.3 특징 형상 검출

측정 제품이 가지고 있는 다양한 모양의 형상은 크게 삼각형과 사각형, 원 형상으로 대표되어질 수 있다. Fig. 2는 대표 형상을 검은 색 두꺼운 종이를 사용하여 제작한 샘플들이다. 이 샘플들은 각각의 형상이 레지스트레이션을 위한 특징형상으로 적합한지를 보여줄 것이다. 샘플 형상은 측정 데이터 안에 포함되어 있다. 따라서 측정 데이터로부터 각 형상을 검출하여야 한다. 각 형상으로부터 특징 형상을 검출하여 기준 좌표를 도출하기까지의 순서는 다음과 같다.

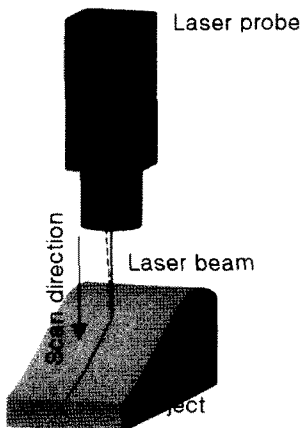


Fig. 1 Point laser scanner

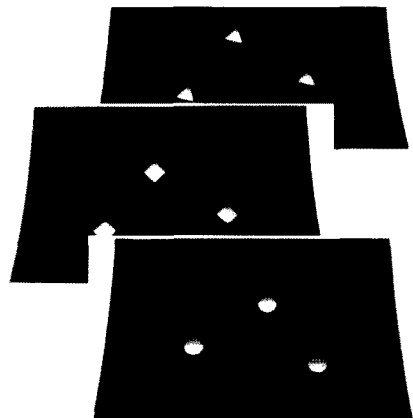


Fig. 2 Samples of the features

- a. 측정 제품의 측정
- b. 측정 데이터의 영상 데이터로의 변환
- c. 모서리(edge) 검출
- d. 검출 데이터의 좌표 데이터로의 변환
- e. 최소제곱법을 이용한 데이터의 도형화
- f. 정의된 도형의 중심좌표 도출

특징 형상으로 사용되어질 각 형상들은 일정하지 않은 다양한 모양을 가지고 있다. 그러나 이러한 형상들은 측정 데이터에서 급격한 위치 변화를 갖게 된다. 따라서 이러한 형상을 동시에 적용하기 위해 본 논문에서는 디지털 영상처리 기법 중 모서리 검출 방법을 적용하였다.

Fig. 3과 같이 특징 형상 부분의 x좌표를 가로방향의 픽셀로, y좌표들을 세로방향의 픽셀로 그리고 z좌표들을 흰색과 검은색의 그래디언트 값으로 변환하여 좌표 데이터를 영상 데이터로 변환하였다.

영상에서의 모서리는 물체와 배경의 경계이고, 물체가 오버랩되는 경계이기도 하다. 모서리는 영상 안에서 상당한 밝기의 차이가 있는 곳이며 픽셀 값의 불연속이나 픽셀 미분 값의 불연속점에 존재한다.

좌표 (x,y)의 경우 농담 분포를 나타낸 1차 미분 값은 크기와 방향을 가진 벡터로 표현된다.  $G(x,y)=(f_x,f_y)$ 라고 할 때 그래디언트의 크기와 방향은 식 (1),(2)과 같이 표현하였다<sup>6)</sup>.

$$G[f(x,y)] = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (1)$$

$$a(x,y) = \tan^{-1} \left( \frac{G_x}{G_y} \right) \quad (2)$$

그래디언트 연산자를 사용할 경우 모서리의 크기는 곧 그래디언트의 크기이며, 이는  $G_x$ 와  $G_y$ 의 벡터 합을 계산함으로써 구할 수 있다. 최종적으로 식 (3),(4)는 그래디언트의 크기와 에지의 방향이다.

$$G(x,y) = \sqrt{G_x^2(x,y) + G_y^2(x,y)} \quad (3)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{G_x(x,y)}{G_y(x,y)} \quad (4)$$

디지털 영상처리 중 모서리 검출에는 다양한 연산자가 있다. Sobel연산자는 수평과 수직 윤곽보다는 대각선 방향에 놓인 윤곽에 더 민감하며, Prewitt연산자는 대각방향의 윤곽보다는 수평, 수직 윤곽에 더 민감하다. Roberts연산자는 다른 연산자보다 크기는 작지만 잡음에 매우 민감하여 도출된 영상의 값들을 효과적으로 평균화 시킨다. 제작한 샘플의 삼

각형과 사각형, 원 형상은 주로 대각방향을 갖는 형태이므로 식 (5)의 Sobel연산자를 사용하였다.

$$G_x = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$G_y = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

영상파일 형태로 변환된 데이터에 Sobel연산자를 이용하여 모서리를 검출하면 Fig. 3과 같이 특징 형상 부분의 급격한 값의 변화가 발생하는 부분이 검출된다. 동일한 방법으로 삼각형과 사각형, 원에 각각 적용하여 Fig. 4와 같이 형상을 검출하였다.

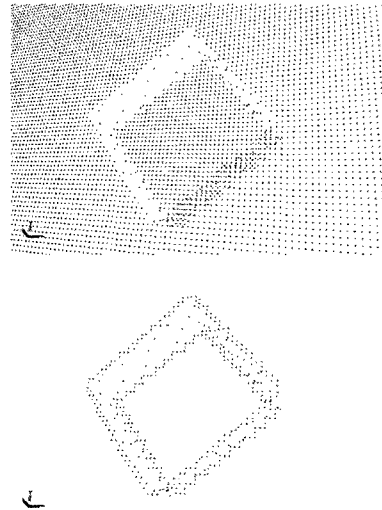


Fig. 3 Edge detection

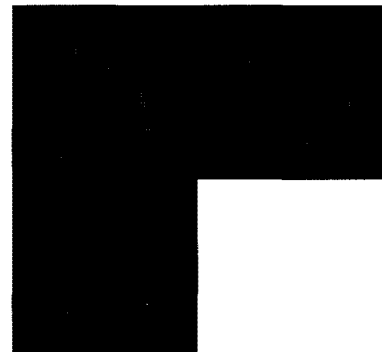


Fig. 4 Edge detection of the features

### 2.4 중심 좌표 검출

검출된 데이터는 형상을 구성하는 점 좌표들로 이루어져 있다. 따라서 많은 수의 점 좌표의 오차를 최소화하기 위하여 각 형상의 기준 위치 계산에 최소제곱법을 적용하여 기준 점을 계산하였다. 삼각형과 사각형은 직선의 방정식으로 피팅(fitting) 하였으며, 원은 원의 방정식으로 피팅 하였다. 측정데이터를  $(x_i, y_i, z_i), i=1,2,\dots,n (n>3)$ 으로부터 각 형상의 중심좌표를 계산한다. 여기서 n은 검출된 각 형상의 점의 개수이다. 삼각형과 사각형의 각 모서리를 표현하는 식은 식 (6)과 같은 직선의 방정식으로 표현된다.

$$y = ax + b \tag{6}$$

모서리의 직선의 방정식을 계산하기 위해 에너지 함수 E를 식 (7)과 같이 가정한다.

$$E(a, b) = \sum_{i=1}^n (L_i - y_i)^2 \tag{7}$$

여기서,  $L_i = ax_i + b$ 이고, 에너지 함수 E를 미지수인 a, b에 대하여 식 (8)과 같이 편미분함으로써 오차를 최소화하였다<sup>(7)</sup>.

$$\begin{aligned} nb + \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) a &= \sum_{i=1}^n y_i \\ \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) b + \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) a &= \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{aligned} \tag{8}$$

식 (8)로부터 각 모서리의 교점을 구하고, 무게 중심을 구하여 삼각형과 사각형의 기준점을 구하였다.

원은 중심좌표를 (a, b), 반지름을 r로 가정할 때, 식 (9)와 같은 원의 방정식으로 표현된다.

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2 \tag{9}$$

원의 중심점 (a, b) 계산을 위하여 에너지 함수 E를 식(10)과 같이 가정한다.

$$E(a, b, r) = \sum_{i=1}^n (L_i - y_i)^2 \tag{10}$$

여기서,  $L_i = \sqrt{(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2}$  이며, 에너지 함수 E를 미지수인 a, b, r에 대하여 식 (11)과 같이 편미분함으로써 오차 함수를 최소화 하였다.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \{(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 - r^2\} &= 0 \\ \sum_{i=1}^n \{(x_i - a)^2 x_i + (y_i - b)^2 x_i - r^2 x_i\} &= 0 \\ \sum_{i=1}^n \{(x_i - a)^2 y_i + (y_i - b)^2 y_i - r^2 y_i\} &= 0 \end{aligned} \tag{11}$$

식 (11)로부터 수치해석적인 방법과 반복 계산으로 식 (10)의 에너지 함수 E를 최소화 시키는 미지수를 계산하여 원의 중심좌표를 얻었다.

### 2.5 특징 형상 검출 결과 비교

모서리 검출 기법과 검출된 특징 형상의 최소제곱법을 이용하여 기준점을 구하였다. 얻어진 기준점의 정밀도를 확인

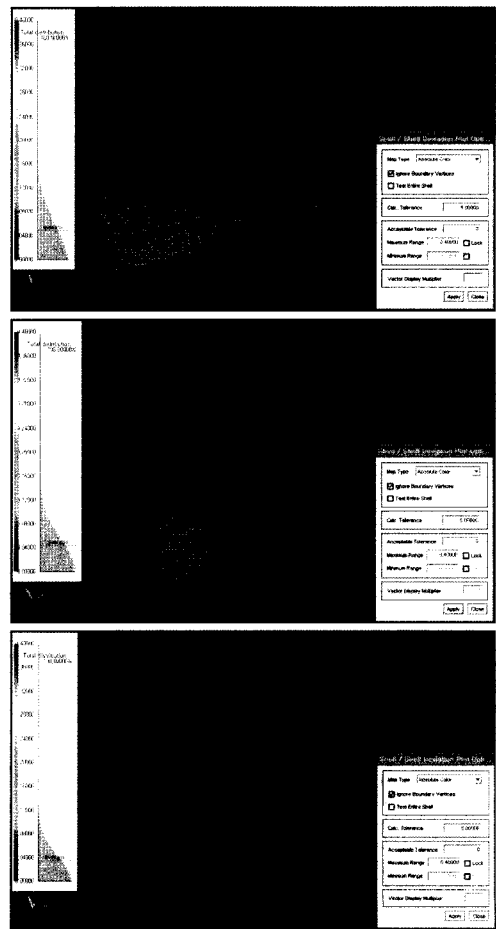


Fig. 5 Accuracy of the features

하기 위해 시편들을 다른 좌표에서 각각 측정하여 두 데이터를 얻어진 기준점의 기준으로 결합하여 두 데이터의 오차를 비교하였다.

Fig. 5는 결합된 두 데이터의 오차 결과를 나타낸 것이다. 삼각형은 43 $\mu$ m, 사각형은 41 $\mu$ m, 원은 38 $\mu$ m의 레지스트레이션 오차를 각각 나타내었다. 여기서 레지스트레이션 오차란, 첫 번째 데이터와 두 번째 데이터의 거리 차이를 나타낸 값이다. 일반적으로 50 $\mu$ m 이내의 오차가 발생하게 되면 데이터의 병합에 아무런 문제가 발생하지 않으므로, 본 연구에서 사용한 방법은 데이터의 병합에 적합하다. 또한 샘플의 형상 모양에 관계없이 균일한 오차 값을 얻을 수 있다.

### 3. 특징 형상을 이용한 제품의 병합

특징 형상을 이용한 물체의 병합은 측정 대상의 3차원 전 형상을 얻거나 측정 대상의 크기가 측정기의 측정 범위를 벗어나는 경우에 사용되어진다. 본 연구에서는 실제 측정 데이터의 특징 형상 검출 및 적용 예로 Fig. 6과 같이 측정기의 측정 범위보다 크기가 큰 차량용 시트의 하단 베이스 패널을 선정하였다. 베이스 패널을 측정할 때 작업자가 측정 대상의 형상을 고려하여 측정물의 형상에 고르게 위치하는 특징 형상을 선정하는 것이 필요하다. 특징 형상이 한쪽으로 치우쳐 있는 경우나 좁은 간격으로 부착되는 경우 물체와의 거리에 비례하는 오차가 발생하게 된다. 특징 형상이 일직선상에 놓여 있는 경우보다 물체 주위로 넓게 분포되어 평면상에 놓이는 경우가 오차가 적으며, 물체 주위에 넓게 분포되어 공간상에 존재하는 경우에 발생하는 오차가 가장 작게 된다<sup>(8)</sup>. 따라서 Fig. 6과 같이 측정 대상을 특징 형상을 공간상에서 넓게 포함하도록 위와 아래의 두 부분으로 나누어 측정하였

다. 원 2개와 사각형 1개의 중심좌표를 3개를 Table 1과 같이 구하였으며, 그 점을 이용하여 제품의 레지스트레이션을 실시하였다.

제품이 포함하고 있는 특징 형상을 검출하여 획득된 형상 데이터들을 결합함으로써 3차원 전면적의 형상 데이터를 완성하였다. Fig. 7과 Fig. 8에 검출할 수 있는 특징 형상을

Table 1 The coordinate of the feature

	X	Y	Z
Part 1			
Circle 1	320.079760	312.820490	39.966887
Circle 2	449.900960	310.917710	39.343889
Rectangle	332.893880	234.478980	28.060640
Part 2			
Circle 1	308.798280	228.346070	41.095224
Circle 2	411.328890	307.931490	40.409709
Rectangle	367.862680	175.555260	28.950440

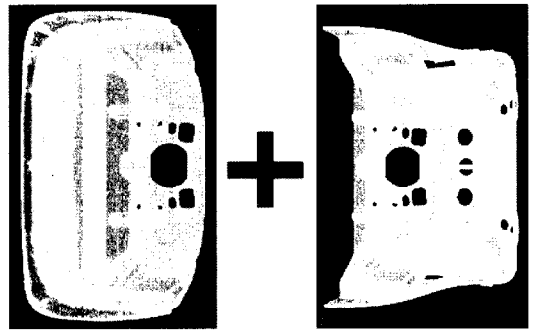


Fig. 7 Scanned data from each direction

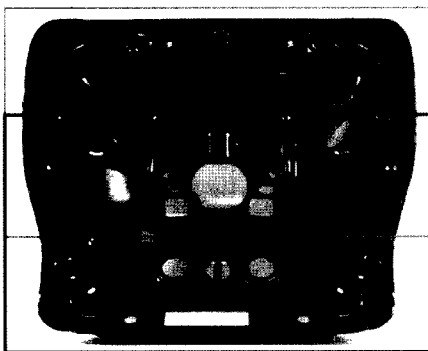


Fig. 6 Car seat panel

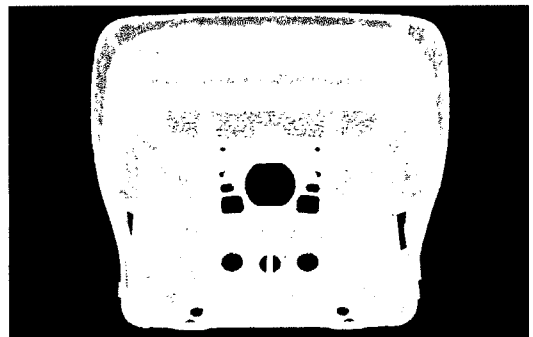


Fig. 8 Registered data

포함하도록 측정된 각각의 측정 데이터 및 결합하는 과정, 결합된 전 형상 데이터를 도시하여 3차원 측정 데이터를 완성할 수 있음을 보여 주었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 3차원 측정기를 이용할 때, 툴링볼 등의 기타 추가적인 특징형상 없이 측정 제품에 있는 형상을 이용하여 레지스트레이션 작업을 할 수 있는 방안을 제시하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 제품의 측정 데이터를 특징형상으로 이용할 때 디지털 영상처리 기법인 모서리 검출 알고리즘을 적용하여 특징형상으로 참조할 형상이 모양에 상관없음을 확인할 수 있었다.
- (2) 모서리 검출된 특징형상은 많은 수의 점 데이터로 이루어져 기준이 되는 점을 잡기 어려워 레지스트레이션이 용이하지 않다. 이를 해결하기 위해 직선 및 원으로 근사되는 최소제곱법을 matlab으로 계산하여 쉽게 얻을 수 있었다.
- (3) 제품의 형상을 직접 이용할 수 있어 툴링볼이나 기타 보조기구를 사용하지 않으므로 추가적인 비용이 발생하지 않으며, 측정 준비에 필요한 셋업 시간을 획기적으로 줄일 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

#### 참 고 문 헌

- (1) Varady, T., Martin, R. R., and Cox, J., 1997, "Reverse Engineering of Geometric Models - an introduction," *Computer-Aided Design*, Vol. 29, No. 4, pp. 255~268.
- (2) Yang, M. Y. and Lee, E. K., 1999, "Segmentation of measured point data using a parametric quadric surface approximation," *Computer-Aided Design*, Vol. 31, No. 7, pp. 449~457.
- (3) Lee, K. H., Lee, S. K., and S. M. Kim, 2002, "Design of a Universal Fixture for Laser Scanning," *Advance Manufacturing Technology*, Vol. 19, pp. 426~431.
- (4) Kim, S. M., 2001, "Development of a universal fixture and the automation of registration for 3D laser scanning," A Thesis for a Master's degree, Kwangju Institute of Science and Technology, Republic of Korea.
- (5) Kang, B. S., Kang, J. G., 2006. "Profile Error Measurement of a Turbine Blade Using a Contact Type 3D-Scanner," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 15, No. 6, pp. 76~81.
- (6) Baxes, G. A., 1994, *Digital Image Processing*, John Wiley, USA.
- (7) Wolfram MathWorld, n.d, viewed 23 April 2008, <<http://mathworld.wolfram.com/LeastSquaresFitting.html>>.
- (8) Kim, S. M., Lee, K. H., 2000, "Development of a universal modular fixture for 3D non-contact measuring system," *Proceeding of KSPE Spring Conference*, pp. 303~306.