

3D Position Measurement & Coping using 2 CCD Cameras

姜 園 贊* · 申 碩 斗** · 金 永 炯***

(Won-Chan Kang · Suck-Doo Shin · Young-Dong Kim)

Abstract - Accurate acquisition of surface geometries such as machined surfaces, biological surfaces, and deformed parts have been very important technique in scientific study and engineering, especially for system design, manufacturing and inspection. Two-camera method keeps accuracy more than double than mechanical method.

In this paper, a new method is studied to acquire 3D geometric data of the small object such as a die in stone model. When the devices, cameras, laser beam and object are in a perfect plane, the calculation is measured by position error 0.025[mm] within.

But this paper shows that arbitrarily positioned system can also be used to obtain 3D data. Also, this paper present a method to generate coping surface data with which CAM system can do for milling work.

Key Words : Image Processing, Die Coping, CAD/CAM, Dental Engineering.

1. 서 론

소형 물체의 3차원 측정에는 측정 대상에 대한 측정 점의 위치, 즉 대상물의 표면을 검출기가 3차원 공간으로 운동하면서 각 측정점의 공간좌표를 검출하고 그 데이터를 컴퓨터가 처리함으로써 3차원적인 위치나 크기, 방향 등을 측정하는 것이다. 특히 수식으로 표현할 수 없는 복잡한 대상물의 형상을 측정하는데 유용하며 대상물의 한 점을 기준으로 하여 설정한 좌표계로 표면좌표를 결정한다[1,2].

3차원 측정은 주로 접촉식과 비접촉식 방법을 이용하고 있는데, 접촉식 방법은 데이터 획득용 측정 칩(probe)을 이용하는 방법으로서 수동형(floating or manual type), 조종간형(joystick type), 자동형(CNC type) 등으로 분류할 수 있고, 수동형 방법은 측정 칩을 수동으로 이동시켜 측정하는 방법으로 정확도가 낮으나 구조가 간단하기 때문에 가격이 저렴하고, 유지 보수가 용이하여 산업체에 많이 이용되고 있다[3-5]. 조종간형 방법은 모터를 부착하여 조종간을 이용해 측정하는 방법으로 이동속도가 정확하게 조절되어 반복정밀도가 좋으며 측정자에 따른 오차를 줄일 수 있다. 자동형 방법은 측정경로 및 순서가 입력된 프로그램에 따라 컴퓨터에 의해 제어되는 자동측정 방법으로 기계의 가동효율을 극대화시킬 수 있고 측정자의 육체적, 정신적 피로를 경감시킬 수 있지만 가격이 고가이고 유지관리가 어렵다.

비접촉식 방법은 주로 카메라를 이용하는 방법으로서 자 연광과 레이저광을 이용한다. 물체의 정확한 표면좌표를 획득하기 위해서는 단색광인 레이저빔의 스포트를 이용하는데 한 대의 카메라로도 측정이 가능하지만 대상물의 그늘진 부위는 측정을 할 수 없어 이러한 점을 보완하기 위하여 두 대의 카메라를 이용하는 복안식을 주로 사용한다. 이 방법은 측정대상의 위치를 자동적으로 추적할 수 있기 때문에 빠른 측정이 가능하고 자동초점 기능이 부가되어 있는 경우에는 깨끗한 화상의 획득이 가능하여 보다 정확한 측정을 할 수 있다.

이러한 3차원 측정방법은 기계, 전기, 전자, 토목, 건축, 의류, 신발, 지적도제작 등 복잡한 형상의 정밀 측정 및 가공을 위하여 컴퓨터시스템을 응용하고 있어 제품 개발의 기간 단축, 정확도 향상 및 기술 수준 고도화 등에서 큰 효과를 나타내고 있다. 또한 의료산업분야에서도 컴퓨터 정보기술의 적용은 날로 증가되고 있고 특히 치과의료분야에서 컴퓨터 시스템의 응용은 수복물 제작을 위한 측정 및 가공기술이 현실화되어가고 있다.

본 연구에서는 기존의 3차원 위치측정방법을 이용하지 않고, CCD 카메라 2대 이미지의 상관관계로부터 3차원을 좌표를 측정하는 새로운 방법을 통해 치과 수복물 측정 시스템에 적용하여 이의 유용성을 검증하고자 하였다. 이제까지의 치과 수복물을 제작하는 전형적인 방법은 인상을 채득하여 경석고 모형을 제작한 후, 모형에 왁스를 추가하여 납형 제작, 매몰, 소환, 주조 그리고 다듬질 및 연마하여 완성을 하였지만, 제안된 방법을 통하여 치형(die)의 정확한 데이터를 획득하여 최적의 수복물을 제작하는 방법인 치과용 CAD/CAM 시스템(Dental CAD/ CAM System)의 기술로 확장시키고자 한다[5].

* 正 會 員 : 朝鮮大 制御計測工學科 博士課程

** 正 會 員 : 朝鮮理工大 電氣科 教授 · 工碩

*** 正 會 員 : 朝鮮大 情報 · 制御計測工學科 教授 · 工碩

接受日字 : 2002年 2月 14日

最終完了 : 2002年 5月 30日

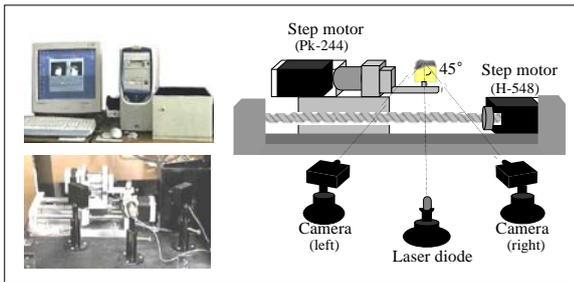


그림 1 측정시스템의 사진
Fig. 1 Photograph of the measurement system.

그림 1에 본 논문에서 제안한 시스템의 사진을 보인다. 카메라를 이용하여 치아의 기하학적인 정보 즉, 치아표면의 좌표 값을 획득하는 방법과 이를 가공하여 수복물을 위한 설계를 자동화 할 수 있는 알고리즘을 개발하고 시스템을 구현하기 위하여 레이저의 빔을 치형의 표면에 주사하여 스포트를 형성하고 그 위치를 카메라 영상으로 취하여 3차원 좌표 값을 계산하는 새로운 방법을 연구하였다. 또한 수복물의 설계를 위한 코핑(coping)의 자동 제작에 있어 획득한 치형 데이터에 수직두께를 부여하고 코핑표면의 좌표를 생성시키는 방법 그리고 생성된 코핑표면의 데이터에 대한 그래픽을 구현하는 방법에 관하여 연구하였다[3].

2. 카메라를 이용한 위치 측정

2.1 기본적인 거리 측정 방법

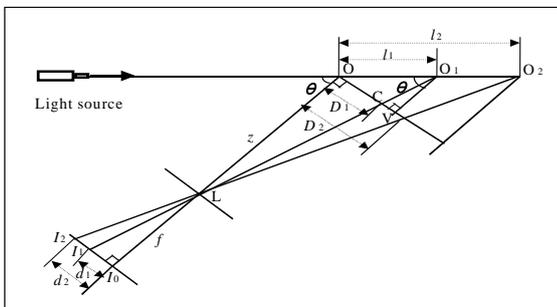


그림 2 실제거리 l과 영상거리 d와의 관계
Fig. 2 Relation between real distance l and image distance d .

기본에 연구된 방법으로 이제까지는 그림 2에서와 같이 직선의 레이저빔 상의 3점 좌표 O, O_1, O_2 를 실측을 통해 이미 알고 있다면 그에 해당하는 영상 I_0, I_1, I_2 로부터 물체의 거리 z 와 초점거리 f 를 구할 수 있도록 선행연구에서는 물체의 거리 z 를 식(1)과 같이 구하고 있다[1,2].

$$z = \frac{(d_2 - d_1)l_1 l_2 \cos \theta}{d_1 l_2 - d_2 l_1} \quad (1)$$

따라서 초점거리 f 도 다음 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$f = \frac{d_1 d_2 (l_2 - l_1)}{d_1 l_2 - d_2 l_1} \cot \theta \quad (2)$$

식 (2)에서 θ, f 가 결정되면 영상에서의 거리 d 에 따라 실측거리 l 을 식 (3)으로 구할 수 있게 된다.

$$l = \frac{zd}{f \sin \theta - d \cos \theta} \quad (3)$$

따라서 $\theta=45^\circ$ 로 취한 본 기구에서는 다음 식 (4)와 같은 관계식을 사용할 수 있다. 하지만 본 연구에서는 이 방법 대신 다음절에서 설명하는 방법으로 구하였다.

$$l = \frac{\sqrt{2}zd}{f - d} \quad (4)$$

2.2 상관관계를 이용한 거리 측정

요철이 있는 대상물은 한 대의 카메라로 측정을 할 때 주사 점이 가려져 영상이 나타나지 않을 경우가 있기 때문에 반대측에 또 하나의 카메라를 설치하여 측정이 가능하도록 하는 방법을 이용한다. 하지만 외부의 충격이나 진동 등에 의하여 그림 2의 설정 값들이 변하면 정밀도가 감소하게 된다. 따라서 카메라의 위치나 각 기구부의 거리에 대한 정확한 값을 도출하기 어렵거나 변동이 되더라도 정확성을 유지할 수 있는 방법이 필요하며 이를 위해 상관관계를 이용한 측정방법을 도입하였다.

3차원의 실세계 좌표와 2차원의 영상좌표와의 관계는 차 좌표계를 이용하여 표현하면 식(5)과 같다.

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/f & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -f \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} (RT) \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

식(5)에서 $u = xt, v = yt$ 이고, x, y 는 영상좌표, f 는 초점거리, X, Y, Z 는 실세계 좌표, R, T ,는 회전 및 평행이동에 의한 변환 행렬이다. 실세계 좌표 (X, Y, Z) 에 대한 카메라 1의 영상좌표 값을 (x_1, y_1) 이라 하고 카메라 2의 영상좌표 값을 (x_2, y_2) 라 하면 다음 관계식(6), (7)을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_1 t_1 \\ y_1 t_1 \\ t_1 \end{bmatrix} = [T_1] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} x_2 t_2 \\ y_2 t_2 \\ t_2 \end{bmatrix} = [T_2] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

식 (6), (7)에서 T_1, T_2 는 카메라의 평행이동 T_r 와 회전 R 에 의해 결정되는 3×4 크기의 변환 행렬이다. 식 (6)과 식 (7)을 합하면 식 (8)로 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_1 t_1 + x_2 t_2 \\ y_1 t_1 + y_2 t_2 \\ t_1 + t_2 \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{14} \\ a_{24} \\ a_{34} \end{bmatrix} \quad (8)$$

식 (8)에서 A 는 T 에서 제 4열을 뺀 3×3 크기의 행렬이고 a_{i4} 는 T 의 제 4열 원소들이다. 식 (8)에서 X, Y, Z 를 구하면 식 (9)와 같다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = [A]^{-1} \begin{bmatrix} x_1 t_1 + x_2 t_2 - a_{14} \\ y_1 t_1 + y_2 t_2 - a_{24} \\ t_1 + t_2 - a_{34} \end{bmatrix} \quad (9)$$

식 (9)에서 A^{-1} 을 B 라하고 그 원소를 b_{ij} 라 하여 전개하면 식 (10)과 같다.

$$\begin{aligned} X &= b_{11}(x_1 t_1 + x_2 t_2 - a_{14}) + b_{12}(y_1 t_1 + y_2 t_2 - a_{24}) \\ &\quad + b_{13}(t_1 + t_2 - a_{34}) \\ &= b_{11} t_1 x_1 + b_{11} t_2 x_2 + b_{12} t_1 y_1 + b_{12} t_2 y_2 + b_{13} t_1 \\ &\quad + b_{13} t_2 - b_{11} a_{14} - b_{12} a_{24} - b_{13} a_{34} \\ &= C_{11} x_1 + C_{12} x_2 + C_{13} y_1 + C_{14} y_2 + C_{15} \end{aligned} \quad (10)$$

같은 방법으로 Y, Z 에 대하여 정리하면 식(11)와 같다.

$$\begin{aligned} Y &= C_{21} x_1 + C_{22} x_2 + C_{23} y_1 + C_{24} y_2 + C_{25} \\ Z &= C_{31} x_1 + C_{32} x_2 + C_{33} y_1 + C_{34} y_2 + C_{35} \end{aligned} \quad (11)$$

위 식들을 종합하여 행렬로 표시하면 식(12)과 같다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = [C] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ y_1 \\ y_2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

식 (12)에서 알 수 있는 바와 같이 실세계의 좌표는 두 쌍의 영상 좌표와 선형관계가 있다. 따라서 C 를 변환파라미터라 정의하고, 기지데이터를 이용하여 C 파라미터를 구한다. 다섯 쌍의 정확한 점만 있으면 C 파라미터가 결정되나 각 좌표 값에는 오차가 포함되어 있으므로 다수의 기지데이터를 취하여 C 파라미터를 결정해야 한다. C 파라미터가 결정되면 실세계의 좌표값이 결정되고 원점 O 로부터의 거리를 구할 수 있다.

2.3 변환 파라미터 C 결정

3차원 좌표로 변환하기 위하여 기지데이터를 사전에 정의하고 이것을 각각의 카메라에서 측정한 2차원 좌표계를 이용하여 2차원 대 3차원의 관계식을 얻고 변환 파라미터 행렬을 만들어 3차원 좌표변환에 이용한다. 본 연구에서는 3차원 좌표 변환을 위하여 기지데이터 12개를 사전에 정의하고, 각 카메라 영상에서 그에 해당하는 2차원 좌표 값을 구하여 표 1에 나타나 있다[6].

하지만 기지 데이터 정의에 있어서 MATLAB을 통한 시뮬레이션으로 변환 전후의 데이터가 정확한지 검증은 해야 했고, 아울러 12개의 데이터가 최소 오차로 줄어들었을 때 취한 값이다. 또한 실험결과 5개 이상의 균일하지 않는 데

이터가 정확성을 높여 주었다. 기지의 데이터를 직선이나 평면상에서 취하면 inverse를 구할 수 없는 경우가 발생하는데 불규칙한 3차원 데이터를 취함으로써 이를 최소화 할 수 있다. 식 (13)은 2차원 영상 좌표 값을 이용하여 최소자승법에 의해 얻은 변환파라미터 행렬이다.

$$C = \begin{bmatrix} -0.0349 & 0.1148 & 0.0907 & 0.0776 & -26.3223 \\ 0.0271 & -0.0357 & -0.0235 & -0.0678 & 12.2053 \\ -0.0290 & 0.0718 & 0.0255 & 0.0524 & -14.3569 \end{bmatrix} \quad (13)$$

표 1 3차원대 2차원 매핑 데이터
Table 1 3D to 2D mapping data.

	Real			Left 2D		Right 2D	
	X	Y	Z	x_l	y_l	x_r	y_r
P1	-5.7	5.1	-5.5	89.68	59.45	171.04	57.38
P2	0	5.1	-5.5	132.96	60.54	210.72	57.60
P3	5.7	5.1	-5.5	170.19	61.09	259.70	57.81
P4	-5.7	0	0	123.86	119.78	124.08	116.72
P5	0	0	0	168.87	119.23	172.51	117.38
P6	5.7	0	0	213.11	118.69	221.49	118.14
P7	-5.7	-2.6	3.6	150.02	161.12	99.48	155.45
P8	0	-2.6	3.6	196.02	160.14	147.80	156.87
P9	5.7	-2.6	3.6	238.91	159.60	192.78	158.29
P10	-5.7	-6.2	8.6	186.77	217.00	63.12	214.15
P11	0	-6.2	8.6	234.88	220.00	109.27	218.40
P12	5.7	-6.2	8.6	290.39	224.00	149.95	222.87

2.4 3차원 좌표 계산

식 (12)를 이용하여 대상물 표면의 모든 좌표 값을 구하기 위해서 광원과 카메라를 고정시키고, 대상물은 일정한 규칙에 따라 회전과 평행 이동시키는 방법을 택하였다. 그림 3과 같이 레이저빔에 수직방향으로의 대상물(object) 수평이동을 X 축으로 하고, X 축을 일정한 각도로 회전시켜 대상물의 모든 표면에 일정한 간격으로 레이저빔이 주사되게 하였다.

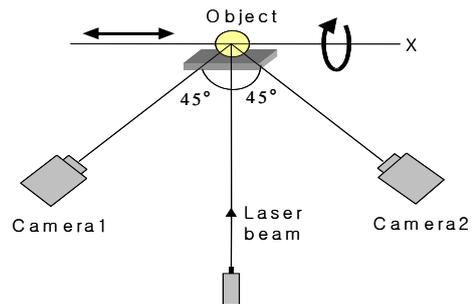


그림 3 시스템의 배치
Fig. 3 System layout.

회전은 분해능이 1.8°인 스텝모터를 이용하므로 1회전 200 step이 필요하다. 측정하고자 한 치형의 최초 주사 점으로부터 최후 주사 점까지의 각을 $\theta_{\alpha\beta}$ 라 하면 $360 - \theta_{\alpha\beta}$ 는 데이터를 무시한다. x 축으로 1회전이 완료되면 0.025[mm]만큼 평행 이동시킨다. 그림 4의 r 은 식(12)에서 계산된 z 값이므로 식(14)와 같이 실세계의 3차원 좌표를 구할 수 있다. 그러나 z 축에 대한 회전이 없으므로 옆면에 대한 측정이 부정

확하므로 z축을 90°회전 시켜 재측정 후 영상처리프로그램에서 영상투영의 관계를 이용하여 해결하였다.

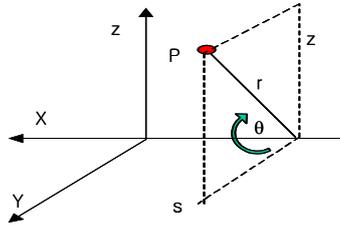


그림 4 3차원 좌표로 매핑
Fig. 4 Mapping to 3D coordinate.

$$\begin{aligned} x &= \text{pitch size} \times n / 200 [\text{mm}] \\ y &= r \cdot \sin\left(\theta \frac{\pi}{180}\right) [\text{mm}] \\ z &= r \cdot \cos\left(\theta \frac{\pi}{180}\right) [\text{mm}] \end{aligned} \quad (14)$$

단, pitch size=5[mm]이다. 따라서 x축에 대한 위치분해능은 0.025[mm]이다.

3. 코핑좌표 생성 방법

코핑이란 제작하고자 하는 가공물의 두께를 일정하게 부여하는 것이다. 이는 치과의 수복물에 일정한 두께의 금속을 붙여 의치를 만드는 과정이다. 코핑좌표의 생성 방법은 치형 표면으로부터 수직방향을 찾고 일정한 거리의 점을 결정하는 과정이다[3].

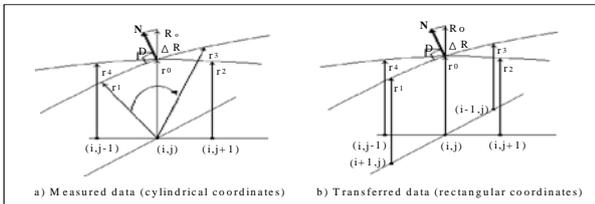


그림 5 코핑 좌표계의 조사
Fig. 5 Determination of the coping coordinates.

그림 5와 같이 회전방향으로 측정된 좌표에서 두께를 결정하고자 하는 위치 r 값을 r_0 라 하여 이를 중심점으로 하고, 인접한 4개의 위치 r 값을 r_1, r_2, r_3, r_4 라 하여 그림 b)와 같이 수직 값으로 환산하고, 직각좌표로 표현한다.

그림 5 b)에서 5개의 r 값 즉 r_0, r_1, r_2, r_3, r_4 로 이루어지는 4각 곡면을 식 (15)와 같이 2원 2차 다항식으로 표현하여 r_0 점에서 크기가 D 인 법선 N 을 구하고, 법선에 수직으로 투영되도록 하는 R_0 값을 r_0 연장선에 취한 것을 코핑 표면의 좌표 값으로 결정한다.

$$r = f(x, y) = ax^2 + by^2 + cx + dy + e \quad (15)$$

그림 5 b)에서 (i,j)점을 원점으로 취하면 원점 위의 좌표

는 $(0, 0, r_0), r_1 = r_1 \cos \theta, x_1 = r_1 \sin \theta$ 이고, (i+1,j)점 위의 좌표는 $(r_1, 0, r_1'), r_3' = r_3 \cos \theta, x_3 = -r_3 \sin \theta$ 이므로 (i-1, j) 점 위의 좌표는 $(x_3, 0, y_3')$ 이다. (i, j+1)점 위의 좌표는 $(0, y_2, r_2)$ 이고, (i, j-1)점 위의 좌표는 $(0, y_4, r_4)$ 이다. 여기서 $y_4 = -y_2$ 이다.

식(15)는 위의 5개의 점에서 식 (16)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} ax_1^2 + cx_1 &= r_1' - r_0 \\ ax_3^2 + cx_3 &= r_3' - r_0 \\ by_2^2 + dy_2 &= r_2 - r_0 \\ by_4^2 + dy_4 &= r_4 - r_0 \end{aligned} \quad (16)$$

여기서 c, d 를 구하면 식 (17)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} c &= \frac{x_1^2(r_3 - r_0) - x_3^2(r_1 - r_0)}{x_1 x_3 (x_1 - x_3)} \\ d &= \frac{y_2^2(r_4 - r_0) - y_4^2(r_2 - r_0)}{y_2 y_4 (y_2 - y_4)} \end{aligned} \quad (17)$$

(i,j)에서의 구배는 식(18)과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial r}{\partial x} &= 2ax + c = c \quad (\because x = 0) \\ \frac{\partial r}{\partial y} &= 2by + d = d \quad (\because y = 0) \end{aligned} \quad (18)$$

법선 방향은 식 (19)와 같다.

$$\begin{aligned} N &= \left(i + \frac{\partial r}{\partial x} k \right) \times \left(j + \frac{\partial r}{\partial y} k \right) = -c i - dj + k \\ \Delta R &= \frac{D}{\cos \gamma} = D \sqrt{1 + c^2 + d^2} \quad (\because \cos \gamma = \frac{Nr}{|N|}) \end{aligned} \quad (19)$$

가공에 편리한 데이터로 변환하기 위해 R_0 를 취한다. N 방향으로 취한점은 가공기의 회전둘레에서 벗어나게 되므로 N의 위치가 될만한 회전 둘레의 위치를 정해주기 위해 R_0 를 구하였고, 구해진 R_0 값은 식 (20)과 같다.

$$R_0(i, j) = r_0(i, j) + \Delta R \quad (20)$$

4. 시스템의 구성

시스템은 마이크로프로세서로 스텝모터를 구동하여 카메라에 잡힌 영상을 처리하여 3차원 좌표를 얻도록 설계된 시스템이다. 시스템은 크게 마이크로 프로세서부와 이를 제어하고 3차원 좌표를 얻는 프로그램, 얻어진 2개의 영상 데이터를 처리하여 코핑 데이터 좌표생성을 수행하고, 그래픽 처리하는 후처리 프로그램으로 나뉜다. 시스템 구성은 표 2와 같다.

PC에 장착된 캡처보드를 통해 영상을 획득하여 처리하고, 다음으로 처리할 영상을 입력받기 위해 마이크로프로세서가 모터의 위치를 이동시키도록 영상처리 프로그램에서 통합 처리를 한다. 처리된 3차원 영상은 위치 0.025[mm]까지 측정이 가능하며, 영상의 해상도는 소프트웨어적으로 조절이 가능하도록 시스템을 설계하였다.

표 2 시스템의 구성

Table 2 Composition of system

장치	모델명	수량
제어용 PC	P-IV-1GHz	1
마이크로프로세서	AT89C52	1
스텝모터드라이버	SLA7024AM	2
영상캡처보드	MyVision99	2
CCD 카메라	HS1004	2

4.1 마이크로프로세서

본 연구에서는 높은 분해능으로 치형을 스캔하기 위해 전용 디바이스를 제작하였다. 디바이스 구성은 모터 드라이버, 위치 검출부, 통신부 등으로 구성되고 이를 관리하는 마이크로프로세서가 탑재된 구조이다[7,8].

마이크로프로세서는 원칩 마이크로프로세서인 AT89C52를 사용하였고, 스텝모터(PK-244, H-548)를 구동하기 위해 스텝모터 전용드라이버인 SLA7024AM과 L297을 사용하였고, PC의 응용 프로그램의 명령을 고속으로 처리하기 위해 고속 시리얼 통신을 사용하였다.

4.2 영상처리 프로그램

영상처리 프로그램의 플로우차트는 그림 6에 나타내었다. 이것은 3차원 측정프로그램의 메인 프로세서로써 영상캡처보드와 디바이스에 탑재된 마이크로프로세서를 구동하여 측정된 후, 측정된 데이터를 저장하고, 차후 후처리프로그램에서 측정된 데이터를 처리하여 그래픽으로 보여주게 된다. 주프로그램은 세 개의 쓰레드 즉 캡처보드 관리 프로세서, 시리얼 통신을 통한 마이컴 제어 프로세서, 3차원 좌표추출 프로세서로 구성되었다.

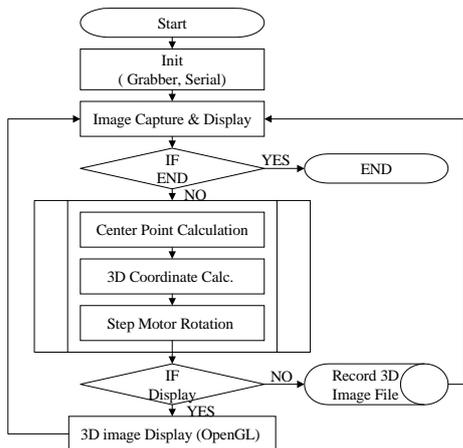


그림 6 프로그램의 플로우차트

Fig. 6 Flowchart of program.

프로그램 수행이 시작되면 캡처보드와 시리얼 통신의 초기화가 진행되는데 캡처 보드는 좌측과 우측의 영상을 각각 빠르게 처리하기 위하여 두 개를 사용하였다. 처리되는 영상은 8bit 그레이 스케일로 NTSC 방식의 영상을 캡처하여 캡처보드의 프레임 버퍼에 30[Hz]마다 계속 영상을 갱신시키고, 프레임 버퍼 한쪽에선 입력 그리고 다른 한쪽에서는

가공이 가능하도록 더블 버퍼링을 통해 처리하는데, 이는 영상을 쓰레홀드(threshold) 처리 시에 편리하기 때문이다.

가공의 첫 단계는 쓰레홀드 필터링으로 0~255의 깊이를 갖는 영상 중 200보다 큰 레벨은 255로 200보다 낮은 레벨은 0으로 필터링을 한다. 필터링 된 영상은 타원의 모양을 나타내는데 이는 레이저빔이 가리키는 위치이고, 빔의 스포트 크기가 크게 나타나므로 이 스포트의 중심점을 구한다. 중심점이 결정되면 식 (14)에 의해 3차원 좌표로 변환되고, 다음 측정을 위해 모터를 이동시킨다. 그림 7에 영상처리 프로그램을 보인다.



그림 7 영상처리 프로그램

Fig. 7 Image processing program.

그림 7에서 중심점을 찾아 “+”자로 표시하고 3차원으로 변환된 좌표를 보여주고 있다. 좌측 카메라의 중심좌표가 221, 121이고 우측 카메라의 중심좌표가 116, 115일 때의 3차원으로 변환된 좌표는 6, 1.89693, 5.26893으로 변환된 결과를 보여 주고 있다. 이는 식 (12)와 식 (14)를 이용해 계산한다.

4.3 영상 후처리

① 폴리곤 모델

그림 8은 OpenGL 렌더링 명령에 따라 영상처리 프로그램에서 획득된 1개의 영상 데이터(4800개의 데이터)를 폴리곤 모델로 보여준다.

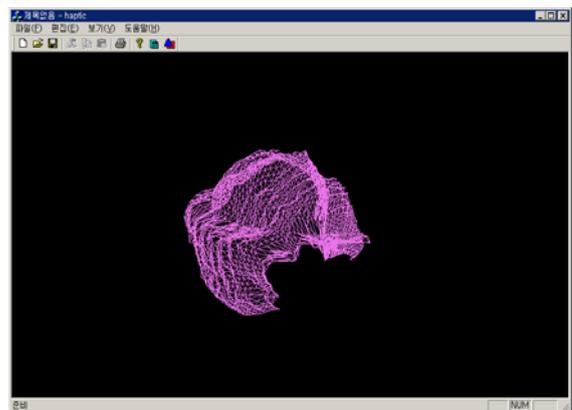


그림 8 폴리곤 모델

Fig. 8 Polygon model.

② Die와 coping model

그림 9는 2개의 폴리곤 데이터(기본 데이터와 90°회전시켜 얻은 데이터)를 영상 후처리를 통해 하나의 완전한 치형 데이터를 획득하여 다이와 코핑 모델로 변환한 결과를 보인다. 좌측 그림은 치형 데이터의 필요한 부분만을 추출하여 die model로 변환한 결과이고, 우측 그림은 치형 데이터에 일정한 두께를 부여한 coping model을 보여주고 있다.

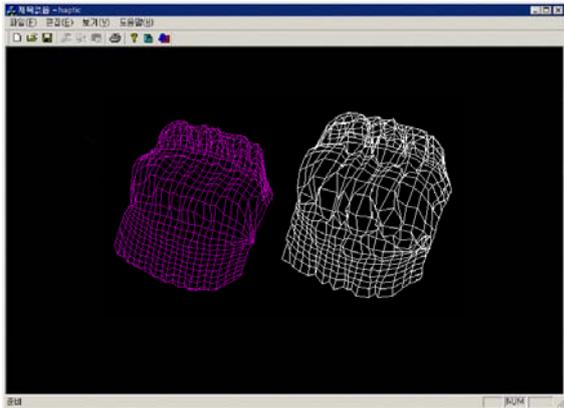


그림 9 다이(왼쪽)와 코핑모델(오른쪽)
Fig. 9 Die(left) and coping model(right).

③ Coping offset model

그림 10은 치형 표면의 데이터에 일정한 두께를 부여하여 치형 표면에 코핑을 옵션한 coping offset model을 보여주고 있다.

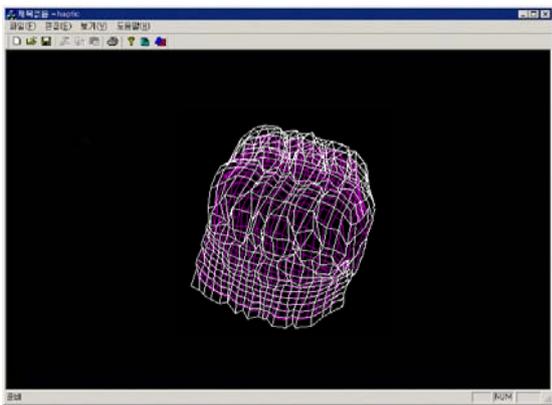


그림 10 코핑 오프셋 모델
Fig. 10 Coping offset model.

5. 결 론

본 논문에서는 치형 표면의 3차원 데이터를 획득하기 위하여 치형의 영상을 두 대의 카메라로 캡처하여 거리를 측정하는 새로운 방법과 치형 표면의 데이터에 일정한 두께를 부여하여 코핑의 표면좌표를 생성시키는 방법을 제안하였다.

두 영상의 2차원 좌표 값으로부터 실세계의 3차원 좌표 값을 얻는 변환 파라미터를 최소자승법으로 구하여 두 카메라

의 영상좌표 값이 실세계의 좌표 값과 선형 관계가 있음을 보였다. 변환 파라미터를 구하기 위해서는 정확하게 측정된 다섯 개 이상의 규칙성을 갖지 않는 데이터를 사용할 때 오차가 작았다.

자동가공을 위한 수복물의 설계는 코핑의 표면 데이터를 설계하는 작업으로서 데이터의 생성은 치형 표면 데이터로부터 수직방향을 찾고 일정한 거리의 점을 좌표 값으로 결정하여 코핑의 두께를 부여하는 방법을 연구하였다.

본 논문에서 제안된 시스템은 분해능 0.025[mm]로 소형 물체를 측정할 수 있으나 분해능 높은 스텝모터나, 기어를 부착한 모터를 사용함으로 분해능을 자유롭게 조절이 가능하며, 소형에서 중·대형의 3차원 측정 및 변형에 응용이 쉽고 제작가격이 매우 경제적이므로 높은 활용이 기대된다.

향후 연구 과제는 더욱 향상된 3차원 측정 이론의 연구와 치형 데이터의 형상을 가공할 수 있는 가공시스템을 구축한다면 수작업에만 의존하던 치기공분야에 자동화 생산을 통한 고속화, 정밀화, 대량생산화, 저 비용화가 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2000년도 조선대학교 연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] Wen-Jean Hsueh, Erik K. Antonsson, "Automatic high-resolution opto- electronic photogrammetric 3D surface geometry acquisition system," Intl. journal of Machine Vision and Applications, Vol 10, No. 3, pp. 98-113, 1997.
- [2] Roger y. tsai, " A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses," IEEE journal of robotics and automation, Vol RA3, No. 4, pp. 323-344, 1987.
- [3] Nacjum Samet. Benjamin Resheff. Shaul Gelbard. Noah Stern. "A CAD/CAM system for the production of metal copings for porcelain- fused-to-metal restorations." J Prosthet Dent., No. 73, pp. 457-463, 1995.
- [4] Edward A. McLaren. John A. Sorensen. "Fabrication of conservative ceramic restorations using copy-milling technology." QDT. pp. 19-25, 1994.
- [5] Jurgen Willer. Albrecht Rossbach, Hans-Peter Weber, " Computer assisted milling of dental restorations using a new CAD/CAM data acquisition system." J Prosthet Dent. No. 80, pp. 346-353, 1998.
- [6] 임동천, "수복물 설계를 위한 3차원 치형데이터의 획득 및 처리", 조선대학교 박사학위논문, 2002.
- [7] 강원찬, 신석두, 김동욱, 김원배, 김영동, "PC 기반의 6자유도 촉각장치의 개발", 대한전기학회 논문지 Vol 50D, No. 5, pp. 211-217. 2001.
- [8] 강원찬, 신석두, 김동욱, "실의 장력을 이용한 역감장치", 대한전기학회 논문지 Vol 50P, No. 4, pp. 192-198. 2001.

저 자 소 개



강 원 찬 (姜園贊)

1970년 12월 23일생. 1993년 조선대학교 공대 제어계측공학과 졸업(학사). 2000년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2000년~현재 동 대학원 제어계측공학과 박사과정

Tel : 062)230-7764
Fax : 062)230-7106
E-mail : kwc89@shinbiro.com



신 석 두 (申碩斗)

1946년 6월 10일생. 1974년 조선대학교 공대 전기공학과 졸업(학사). 1984년 조선대학교 산업대학원 졸업(석사). 현재 조선이공대학교 전기과 교수

Tel : 062)230-8351
Fax : 062)230-8355
E-mail : sdsin@mail.chosun-c.ac.kr



김 영 동 (金永炯)

1944년 11월 28일생. 1968년 조선대학교 공대 전기공학과 졸업(학사). 1984년 명지대학교 대학원 졸업(석사). 1993년 일본 애지공업대학교 객원 연구원, 현재 조선대학교 전자정보공과대학 정보제어계측공학과 교수

Tel : 062)230-7032
Fax : 062)230-7106
E-mail : ydkim@mail.chosun.ac.kr