

3차원 물체의 데이터 획득 및 가공

이경웅, 최한수, 김남오\*  
 조선대학교, 조선이공대학

Data Acquisition and Processing of 3D Object

Kyoung-Woong Yi, Han-Su Choi, Nam-Oh Kim\*  
 Chosun University, Chosun College\*

**Abstract** - Accurate acquisition of surface geometries such as machined surfaces, biological surfaces, and deformed parts and processing 3D object have been very important technique in scientific study and engineering, especially for system design, manufacturing and inspection.

Defective human teeth are usually ground to be coped with special alloy coping which is hand-made by dental technician. This make dental technician to be difficult and take a long time

Dental CAD/CAM Systems consist of two parts, data acquisition and milling.

In this paper, a method is studied to mill object which is acquired 3D geometric data of the small object such as a die in stone model.

This paper present a control program and a mechanical system for milling 3D object.

1. 서 론

이제까지의 치과 수복물을 제작하는 전형적인 방법은 인상을 채득하여 경석고 모형을 제작한 후, 모형에 왁스를 추가하여 남형 제작, 매몰, 소환, 주조 그리고 다듬질 및 연마하여 완성을 하였지만, 현재에는 치형(die)의 정확한 데이터를 획득하여 최적의 수복물을 제작하는 방법인 치과용 CAD/CAM 시스템(Dental CAD/CAM System)의 기술을 이용하는 추세로 급변하고 있다.

이 기술의 도입은 컴퓨터를 응용한 설계 및 제작공정의 기계화뿐만 아니라 제조방식의 첨단화를 도모하고, 품질향상, 비용절감, 제작시간, 적합성 등 생산성 향상을 위하여 수복물을 자동적으로 제작할 수 있는 3차원 계측 및 가공시스템이 시장에 등장하면서 주목을 받고 있다. 3차원 계측은 계측 대상에 대한 계측 점의 위치, 즉 대상물의 표면을 검출기가 3차원 공간으로 운동하면서 각 계측 점의 공간좌표를 검출하고 그 데이터를 컴퓨터가 처리함으로써 3차원적인 위치나 크기, 방향 등을 계측하는 것이다. 특히 수식으로 표현할 수 없는 복잡한 대상물의 형상을 계측하는데 유용하며 대상물의 한 점을 기준으로 하여 설정한 좌표 계로 표면좌표를 결정한다.

본 논문에서는 카메라를 이용하여 획득되어진 치아의 기하학적인 데이터를 이용하여 수복물의 가공을 자동화할 수 있는 알고리즘을 개발하고 이를 구현하기 위한 프로그램 및 시스템을 구현하여 계측되어진 3차원 데이터를 이용하여 실제와 똑같이 치아를 깎는 방법에 대하여 연구하였다.

2. 시스템의 구조

2.1 가공부 시스템

가공용 마이크로프로세서도 측정용 마이크로프로세서와 같은 구조로 설계되었다. 그림 1은 원칩 마이크로프로세서의 특징을 살려 포트 1은 스텝모터용 구동펄스를 출력하며, 포트 0는 각종 스위치 즉, 위치 검출을 위한 리미트스위치와 각단계 동작을 조절하는 푸쉬 버튼의 입력을 받아 시스템을 운전하도록 준비하였다. PC와의 통신을 위해 19.2k[bps]로 시리얼 통신을 통해 명령수신이나 현재 상태 모니터링을 수행하였다. 로컬에서 시스템의 상태를 표시하기 위해 시판되는 시리얼LCD를 부착하여 로컬에서 상태 모니터링을 하도록 하였다. 레지 회로는 74LS573을 사용하여 리미트 스위치와 푸쉬 버튼의 입력을 잡아 마이크로 프로세서에서 입력허가가 있을 시 전송하게 한다. 일반적인 키패드에서는 TR어레이를 사용하는 키바운싱 체크를 수행하는 구조이나 본 시스템에서는 키바운싱을 레지 회로를 적용하여 똑같은 효과를 얻었으며, 수동으로 키의 입력을 받고 싶을 때만 체크하도록 하여 여러 가지 왜란을 최소화하도록 하였다.

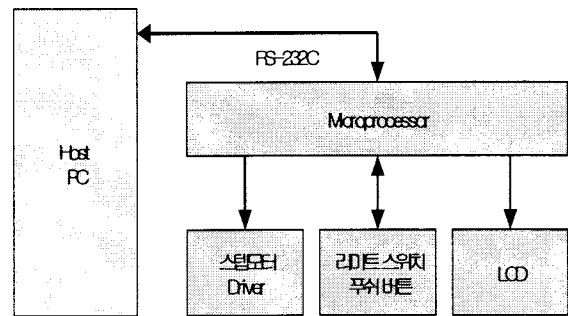


그림 1 마이크로 프로세서부 블록 다이어그램

2.2 측정 시스템

시스템은 마이크로프로세서로 모터 구동 가능한 시스템(Driver: SLA7024AM, Micom: AT89C52), CCD 카메라(HS1004), 영상캡처보드(MyVision: Micro robot), PC(Pentium-IV, 1Ghz, 256M memory) 등을 사용하여 그림2와 같이 구성하였다. PC의 PCI 슬롯에 장착된 캡처보드를 통해 영상을 획득하여 처리하고, 다음으로 처리할 영상을 입력받기 위해 마이크로프로세서가 모터의 위치를 이동시키도록 전용프로그램에서 통합 처리를 한다. 처리된 3차원 영상은 위치오차 0.01[mm]까지 측정이 가능하며, 영상의 해상도는 소프트웨어적으로 조절이 가능하도록 시스템을 설계하였다.

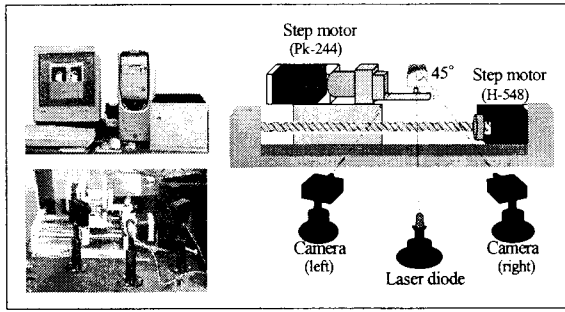


그림 2. 측정시스템의 구성

본 연구에서는 높은 분해능으로 대상물을 스캔하기 위해 전용 디바이스를 제작하였다. 구동부에 삽입된 스텝모터 제어장치는 간단한 구조로 설계되어 다양한 응용이 가능하도록 하였다. 디바이스 구성은 모터의 구동을 제어하는 모터 드라이버, 위치를 검출하는 리미트 스위치, PC와의 통신을 위한 RS-232C 통신부 등으로 구성되고 이를 관리하는 마이크로프로세서가 탑재된 구조이다.

일반 서보시스템의 경우 위치를 검출하는 로터리 센서, 정지시 제동력 발생을 위한 기계적인 브레이크 및 감속 장치 등이 필요하지만, 스텝모터의 경우에는 오픈루프 제어가 가능한 구동형이므로 로터리 센서와 제동 부분에서 정지 토크를 발생시키는 브레이크가 필요없고, 토크 발생 부분에서 자기 기어의 원리로 저속이면서 큰 토크를 발생시킬 수 있기 때문에 감속장치도 필요없어 제어장치 부분에서 저 비용으로 효율적인 시스템의 설계가 가능한 이점이 있다. 그러나 오픈 루프 제어에 있어 탈조 현상이나 응답성 면에 있어서 서보모터에 비해 다소 떨어지는 결점이 있다.

따라서 본 연구에서는 미세 구동 부분에 있어 서보모터와 동등한 성능을 발휘할 수 있도록 설계된 펌웨어 프로그램이 알고리즘을 보완하도록 시스템을 구축하였다.

마이크로프로세서는 원칩 마이크로프로세서인 AT89C52를 사용하였고, 스텝모터(PK-244, H-548)를 구동하기 위해 스텝모터 전용드라이버인 SLA7024AM과 L297을 사용하여 프로그램의 부하를 줄이도록 하드웨어 설계를 하였다.

### 3 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 재차 좌표계를 이용하여 표현하면 식(5)과 같다.

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/f & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -f \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} 001(RT_p) \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

식(1)에서  $u = xt, v = yt$ 이고,  $x, y$ 는 영상좌표,  $f$ 는 초점거리,  $X, Y, Z$ 는 실세계 좌표,  $R, T_p$ 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 영상 좌표 값을  $(x_2, y_2)$ 라 하면 다음 관계식(2), (3)을 얻을 수 있다.

$$\begin{pmatrix} x_1 t_1 \\ y_1 t_1 \\ t_1 \end{pmatrix} = [T_1] \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} x_2 t_2 \\ y_2 t_2 \\ t_2 \end{pmatrix} = [T_2] \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

식 (2), (3)에서  $T_1, T_2$ 는 카메라의 평행이동  $T_p$ 와 회전  $R$ 에 의해 결정되는  $3 \times 4$ 크기의 변환 행렬이다. 식 (2)와 식 (3)을 합하면 식 (4)로 표현할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} x_1 t_1 + x_2 t_2 \\ y_1 t_1 + y_2 t_2 \\ t_1 + t_2 \end{pmatrix} = [T] \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} = [A] \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_{14} \\ a_{24} \\ a_{34} \end{pmatrix} \quad (4)$$

식 (4)에서  $A$ 는  $T$ 에서 제 4열을 뺀  $3 \times 3$  크기의 행렬이고  $a_{i4}$ 는  $T$ 의 제 4열 원소들이다. 식 (4)에서  $X, Y, Z$ 를 구하면 식 (5)와 같다.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = [A]^{-1} \begin{pmatrix} x_1 t_1 + x_2 t_2 - a_{14} \\ y_1 t_1 + y_2 t_2 - a_{24} \\ t_1 + t_2 - a_{34} \end{pmatrix} \quad (5)$$

식 (5)에서  $A^{-1}$ 을  $B$ 라하고 그 원소를  $b_{ij}$ 라 하여 전개하면 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} X &= b_{11}(x_1 t_1 + x_2 t_2 - a_{14}) + b_{12}(y_1 t_1 + y_2 t_2 - a_{24}) \\ &\quad + b_{13}(t_1 + t_2 - a_{34}) \\ &= b_{11}t_1 x_1 + b_{11}t_2 x_2 + b_{12}t_1 y_1 + b_{12}t_2 y_2 + b_{13}t_1 \\ &\quad + b_{13}t_2 - b_{11}a_{14} - b_{12}a_{24} - b_{13}a_{34} \\ &= C_{11}x_1 + C_{12}x_2 + C_{13}y_1 + C_{14}y_2 + C_{15} \end{aligned} \quad (6)$$

같은 방법으로  $Y, Z$ 에 대하여 정리하면 식(7)와 같다.

$$\begin{aligned} Y &= C_{21}x_1 + C_{22}x_2 + C_{23}y_1 + C_{24}y_2 + C_{25} \\ Z &= C_{31}x_1 + C_{32}x_2 + C_{33}y_1 + C_{34}y_2 + C_{35} \end{aligned} \quad (7)$$

위 식들을 종합하여 행렬로 표시하면 식(8)과 같다.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = [C] \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ y_1 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

식 (8)에서 알 수 있는 바와 같이 실세계의 좌표는 두 쌍의 영상 좌표와 선형관계가 있다. 따라서  $C$ 를 변환 파라미터라 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 O로부터의 거리를 구할 수 있다.

#### 3.1 변환 파라미터 C 결정

3차원 좌표로 변환하기 위하여 기지데이터를 사전에 정의하고 이것을 각각의 카메라에서 측정된 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.

하지만 기지 데이터 정의에 있어서 MATLAB을 통한 시뮬레이션으로 변환 전후의 데이터가 정확한지 검증해야 했고, 아울러 12개의 데이터가 최소 오차로 줄어들었을 때 취한 값이다. 또한 실험결과 5개 이상의 균일하지 않는 데이터가 정확성을 높여 주었다. 기지의 데이터를 직선이나 평면상에서 취하면 inverse를 구할 수 없는 경우가 발생하는데 불규칙한 3차원 데이터를 취함으로써 이를 최소화 할 수 있다. 식 (9)는 2차원 영상 좌표 값을 이용하여 최소자승법에 의해 얻은 변환파라미터 행렬이다.

$$C = \begin{bmatrix} -0.0349 & 0.1148 & 0.0907 & 0.0776 & -26.3223 \\ 0.0271 & -0.0357 & -0.0235 & -0.0678 & 12.2053 \\ -0.0290 & 0.0718 & 0.0255 & 0.0524 & -14.3569 \end{bmatrix} \quad (9)$$

표 1 3차원대 2차원 매핑 데이터

Table 1 3D to 2D mapping data.

	Real			Left 2D		Right 2D	
	X	Y	Z	x <sub>l</sub>	y <sub>l</sub>	x <sub>r</sub>	y <sub>r</sub>
P1	-5.7	5.1	-5.5	89.88	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	234.68	220.00	109.27	218.40
P12	5.7	-6.2	8.6	290.39	224.00	149.95	222.87

### 3.2 3차원 좌표 계산

식 (8)을 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 조사되게 하였다.

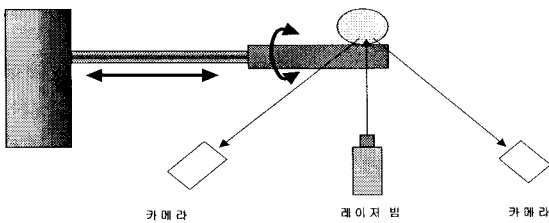


그림 3. 영상 획득 방법

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. x축으로 1회전이 완료되면 0.025(mm)만큼 평행 이동시킨다. 그림 4의 r은 식(8)에서 계산된 z값이므로 식(10)와 같이 실제계의 3차원 좌표를 구할 수 있다. 그러나 z축에 대한 회전이 없으므로 옆면에 대한 측정이 부정확하므로 z축을 90°회전시켜 재측정 후 영상처리프로그램에서 영상투영의 관계를 이용하여 해결하였다.

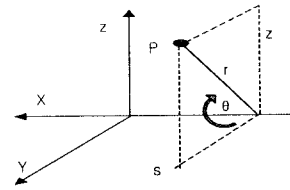


그림 4. 3차원 좌표로 매핑

$$x = \text{pitch size} \times n / 200 \text{ [mm]}$$

$$y = r \cdot \sin\left(\theta \frac{\pi}{180}\right) \text{ [mm]} \quad (10)$$

$$z = r \cdot \cos\left(\theta \frac{\pi}{180}\right) \text{ [mm]}$$

단, pitch size=5(mm)이다. 따라서 x축에 대한 위치분해능은 0.025(mm)이다.

## 4. 3차원 위치측정 및 가공 알고리즘

### 4.1 3차원 위치 측정

영상 처리방법은 1단계 NTSC 방식의 영상을 캡처하여 캡처보드의 프레임 버퍼에 30(Hz)마다 계속 영상을 갱신시킨다. 그리고 프레임 버퍼를 한쪽에선 입력 그리고 다른 한쪽에서는 가공이 가능하도록 더블 버퍼링 기법을 이용한다. 즉 캡처보드 관리 프로세서는 계속 영상을 갱신하며 사용자는 3차원 좌표추출 프로세서를 이용하여 샘플링 한 시점의 영상을 획득하여 처리한다.

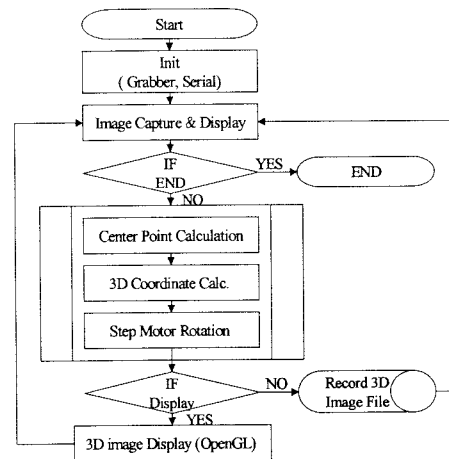


그림 5. 측정 프로그램의 플로우 차트

영상처리의 첫 단계는 쓰레드홀드(threshold) 필터링으로 0~255의 깊이를 갖는 영상 중 200보다 큰 레벨은 255로 200보다 낮은 레벨은 0으로 필터링을 한다. 필터링 된 영상은 둥근 원의 모양을 나타내는데 이는 레이저빔의 스포트가 가리키는 위치이고, 빔의 스포트 크기가 크게 나타나므로 이 스포트의 중심점을 구한다.

스포트의 중심점을 구하는 방법은 필터링 된 영상이 200 이상인 지점의 개수를 카운트하고 스포트 중심점 결정방법에 의하여 결정된다. 중심점이 결정되면 3차원 좌표로 변환되고, 다음 계측을 위해 모터를 이동시킨다. 프로그램에서는 x축 120 step 회전, 계측거리의 -6~6mm 범위 안에서 계측한다. 계측이 끝나면 파일에 저장되고, 사용자 요구 시에 OpenGL로 구현된 3차원 뷰어 프로그램에 의해 치아의 형상을 구현한다. 모든 동작이 완료되면 디바이스는 계측 초기 위치로 이동하게 된다. 초기 위치로 이동되면 다음 계측 시까지 시스템은 대기하며 종료 명령 시에 프로그램은 중지한다.

## 4.2 가공 알고리즘

가공시스템의 플로우차트는 그림 6에 나타내었다. 프로그램을 시작하면 마이크로프로세서와의 통신을 위해 시리얼 포트를 초기화하고, 자동 접속을 한다. 접속이 됐음을 폴링데이터의 교환을 통해 확인하고, 가공데이터의 입력을 대기한다. 가공데이터가 입력되면 마이크로프로세서로 전송하고 각 모니터링 장치에 상태를 표시한다. 가공이 시작되면 각 모터를 구동하여 물체를 가공하고 가공이 완료되면 다음 가공을 위한 준비를 시작하는데 다음가공준비는 취출 위치로 디바이스를 이동시켜 교환을 하도록 한다. 교환이 완료되면 가공버튼이나 푸쉬버튼을 통해 다음 가공을 수행한다.

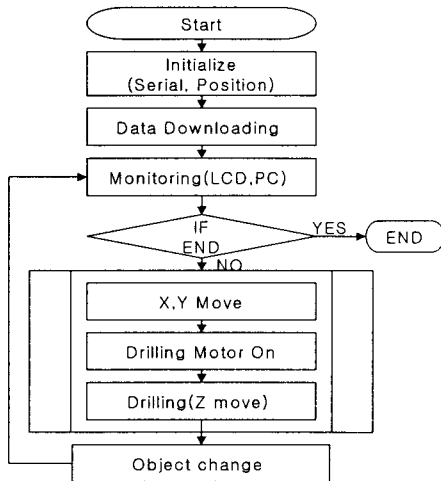


그림 6 가공프로그램 플로우차트

## 5. 실험

### 5.1 가공 프로그램

3차원 영상처리를 통해 가공물의 형태가 결정되면 이를 다시 디바이스에서 가공이 가능하도록 펄스 데이터로 변환해야 한다. 이때 시스템의 각 정보를 통합하여 가공속도와 정밀도 등의 데이터를 종합하여 가공 파일로 저장하고, 변환이 완료된 파일을 통해 현재의 프로그램에서도 직접가공이 가능하도록 준비 하였다.

통신을 위한 연결, 끊기, 설정 등의 메뉴와, 수동으로 모터의 위치를 조정하는 메뉴 현재의 통신 상태를 표시하는 창, 그리고 시스템 전체의 상태를 모니터링하는 부분 등으로 구성되었다. 사용자는 데이터 전송과 자동운전을 통해 인레이를 가공하고, 종료버튼이 눌러지면 프로그램 수행을 중단한다.

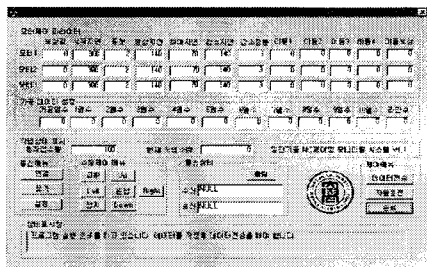


그림 7 데이터 변환 프로그램

그림 7은 인레이 가공 프로그램으로 가공용 데이터 파일이 작성되면 데이터 전송버튼을 눌러 가공용 파일을 선택하고 선택된 가공용 파일이 자동으로 마이크로프로세서로 업로딩 된다. 업로딩이 완료되면 LED와 LCD 그

리고 모니터링 창에 완료를 표시한다. 이때부터 자동작업 버튼이 눌러지면 순서적으로 가공이 수행된다.

앞에서와 마찬가지로 수동으로 모터위치 조정과 통신방식설정 및 변경 작업 그리고 현재 상태를 모니터링할 수 있는 상태 표시 창으로 구성되었다. 아울러 같은 처형을 여러개 가공할 수 있도록 준비가 되었으며, 가공속도를 조절하여 빠른 가공이 가능하게 할 수도 있다. 하지만 빠른 가공에서는 진동이 안정되지 않을 때 연삭이 부드럽게되지 않는 문제도 있으므로 적정 가공속도를 유지해야 한다.

### 5.2 영상의 전처리

그림 8은 대상물의 초기영상으로써 두 대의 카메라에서 영상을 추출하여 나타내는 과정이다.

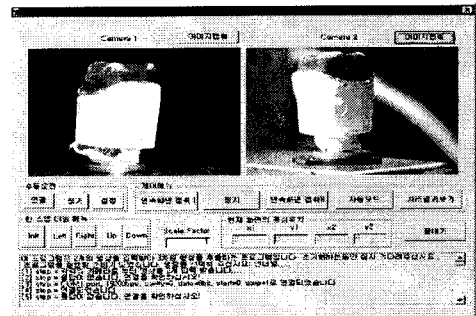
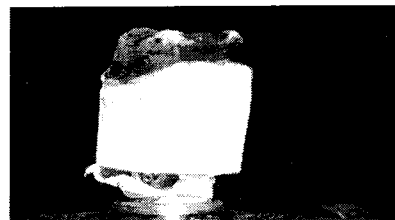


그림 8. 두 대의 카메라에 의한 캡처된 영상

### 5.2 영상처리 및 가공결과

그림 9의 (a)는 그림 8의 프로그램의 화면 캡처 버튼을 눌렀을 때 저장되는 'bmp' 파일 포맷의 영상을 나타내고 있다. (b)는 영상 처리중의 영상을 캡처한 것으로 중앙의 흰원은 레이저가 가르키는 곳이고 십자 모양의 중심이 2차원 좌표의 중심점이다.



(a) 본래의 치아 모형

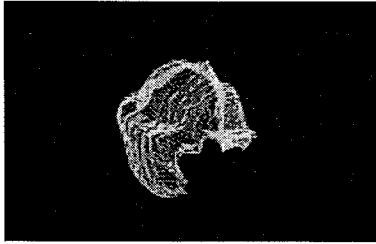


(b) 영상처리중의 이미지

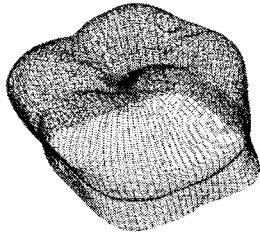
그림 9. 영상처리

## 참 고 문 헌

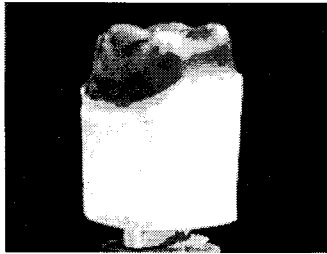
- [1] Robert ottlander, Bjorn Adielsson, Per Haag. "Efficient manufacturing, precision fit, and biocompatibility in the Procera technique for fabricating dental prosthesis." QDT. 9-17, 1994.
- [2] Nacjum Same의 2. "A CAD/CAM system for the production of metal copings for porcelain-fused-to-metal restorations." J Prosthet Dent., 73:457-463, 1995.
- [3] Francois Duret, Jean-Louis Blouin, Bernard Duret. "CAD-CAM in dentistry." JADA., 117:715-720, 1988.
- [4] Francois Duret. "The Practical Dental CAD/CAM in 1993." J Can Dent Assoc., 59:445-446, 1993.
- [5] 한국퀀테센스出版(株). "Cadim system의 가공정밀도와 임상적용", 『QDT』, vol. 4 NO. 3, 46-53, March, 2001.
- [6] Dianna Rekow. "DENTAL CAD-CAM SYSTEMS." JADA. 122:43~48, 1991.
- [7] 前田芳信・山田道生・野首孝嗣・浦出哲夫・堤 定美. "DCS CAD/CAM システム「President」のバリエーション" 補綴誌, 39:67-78, 1995.



(c) 1차 스캔 완료된 영상



(d) 2차 스캔후 처리된 영상



(e) 가공된 치아 모형

그림 9. 영상처리

그림 (c)는 측정 프로그램에서 1번 스캔한 결과로 그림과 같이 x축 방향으로 뺨 뜯려 완전한 영상을 기대할 수 없다. 따라서 y축에 대해 90도 회전후 2차 스캔을 하여 두영상을 매칭처리하여 그림 (d)와 같은 완전한 3차원 가상 객체를 생성한다. 완전한 3차원 가상객체가 완성되면 가공프로세서에 의해 가공을 하여 그림 (e)와 같은 치아를 정밀하게 깎아낼수 있다.

## 5.결 론

본 논문에서는 카메라를 이용하여 치아의 기하학적인 정보 즉 치아표면의 좌표 값을 획득하는 방법과 이를 이용하여 수복물 설계 및 가공을 자동화 할 수 있는 알고리즘을 개발하고 이를 이용한 시스템에 관하여 연구하였다.

치형에 주사된 레이저 스폿 영상을 두 대의 카메라로 캡처하여 거리측정방법, 치형을 계측하기 위한 레이저빔의 스폿 중심점 결정등을 이용하여 영상좌표로부터 실세계 좌표 값으로 변환하여 생성된 가공 데이터를 이용하여 치아를 실제 모형과 똑같이 깎아 내기 위한 프로그램 및 가공 시스템을 구현하였다.

구현되어진 가공시스템으로 치아를 실제 모형과 똑같이 깎아 낼수 있었다. 다만 시스템 분해능으로 인해 가공의 정밀도는 0.25[mm]이내이지만 차후 연구에서 정밀도 높은 시스템 구현과 측정 및 가공의 일체화한 프로그램의 개발이 향후 연구과제이다.