

# 단면 영상 데이터에 의한 두상 인골모형 제작에 관한 연구

허성민\*, 한동구\*, 이기현\*, 이석희\*\*, 최병욱\*\*\*

## Study on the Reconstruction of Skull Prototype using Sliced Image Data

Sung-Min Hur\*, Dong-Gu Han\*, Ki-Hyun Lee\*, Seok-Hee Lee\*\* and Byung-Wook Choi\*\*\*

### ABSTRACT

Shape reconstruction is considered as a new technology to be useful and important in many areas such as RPD (Rapid Product Development) and reverse engineering, compared with the conventional design and manufacturing. In shape reconstruction, it becomes possible to reconstruct objects not by their measured shape data but those data extracted from the original shape.

The goal of this research is to realize 3D shape construction by showing a possible way to analyze the input image data and reconstruct that original shape. The main 2 steps of the reconstructing process are getting cross-section data from image processing and linking loops between one slice and the next one. And the reconstructed object in this way is compared with the other object using a laser scanner and modelled by an commercial software.

**Key Words :** Sliced Image data (단면영상데이터), CT, Laser Scanner(레이저 스캐너)  
Reverse engineering (역공학), RP (쾌속조형), STL

### 1. 서론

#### 1.1 연구배경 및 목적

오늘날 생산에 있어서의 한 변화는 전통적인 관점에서의 공학 개념과 거기에 기초한 메커니즘을 통해 기하학적 모델링을 구성하고 실제 물체를 컴퓨터를 이용하여 생산하는 과정에서, 기하학적 데이터가 없는 물체에 대해서도 측정을 통해서 CAD/CAM에 이용할 수 있는 기하학적 형상 모델로 변화시키는 과정이다.

후자의 경우를 리버스 엔지니어링(RE : Reverse Engineering)이라고 할 수 있는데, 이 리버스 엔지니어링은 어떤 물체의 설계도가 없는 경우나 여분의 동일한 물건이 필요할 때 이용되어질 수 있으며, 주어진 물체로부터 더 향상된 새로운 부품을 생성하는 경우 분석과 개선을 위해서도 필요하다<sup>(1,2)}</sup>.

이런 리버스 엔지니어링에서 기하학적 데이터를 얻기 위해 CT(Computed Tomography), MRI (Magnetic Resonance Image), Laser scanner, CMM (Coordinate Measuring Machine) 등을 이용할 수 있

\* 부산대학교 대학원

\*\* 부산대학교 기계공학부 및 기계기술연구소

\*\*\* 한국생산기술연구원

으며, 리버스 엔지니어링 실현을 위한 자료로서 많이 연구되고 있다.

오늘날 CT는 의료 분야뿐만 아니라 공업 분야에서도 광범위하게 이용되고 있다. 이미 종래의 의료학적 의미에서의 X-ray를 뛰어넘어 산업계에서는 CT scanner와 같은 기구를 이용하여 물체의 외부 형상뿐만 아니라 내부 형상에 관한 이미지를 제공하고, 물체 내부의 결함(flaw)을 관찰하는데도 사용하고 있다.

본 논문에서는 고고학 분야에서 발견된 고대 인골의 형상 복원을 위하여 CT 데이터를 통한 형(型) 제작을 목표로 한다. 이 과정을 거쳐 제작된 인골 모델은 레이저 스캐너에서 얻어진 데이터를 이용하여 제작된 모델과 비교된다.

## 2. 관련연구

국외에서는 Robert N. Yancey<sup>(3)</sup>가 CT를 이용해서 얻어진 물체의 데이터로부터 원래의 형상을 재구성하는 reverse engineering에 대해서 연구하였다. James W. Kristoff<sup>(4)</sup>는 MRI데이터로부터 CAD 데이터로 변환시키는 연구를 하였으며, 실제로 사람의 MRI 데이터를 이용한 향상된 의료장비의 개발을 위해서 CAD 모델을 써서 제품 생산에 이용하는 방법을 설명하였다. Y. Miyake<sup>(5)</sup> 등은 단면 데이터로부터 3차원의 면을 생성하는 방법을 연구하였다.

국내에서는 박형준<sup>(6)</sup> 등은 단면 정보를 이용한 형상을 삼각형 분할을 통해서 재구성하는 알고리즘을 제시하였다.

## 3. 본론

### 3.1 영상처리과정

영상 데이터를 통한 3차원 형상 구성을 위해서는 우선 영상데이터로부터 필요한 정보를 얻는 과정이 필요하다. 영상 데이터에서 얻을 수 있는 정보는 슬라이스간의 연결 과정에 필요한 슬라이스의 개수, 각 슬라이스를 이루는 루프의 개수, 각 루프를 이루는 정점의 개수, 각 정점의 좌표이다. 이를 위해서 영상 데이터를 256레벨의 밝기를 가진 그레이 영상(gray image)으로 바꾸고 이를 이진영상처리, 모폴로지, 윤곽선 추출, 세선화의 과정을 통해서 필요한 데이터를 생성한다.

### 3.1.1 이진 영상 처리

영상처리를 하는 데이터는 칼라, 그레이, 이진으로 분류할 수 있다. 임계값 처리란 입력 영상의 각 화소에 대해서 명도가 있는 일정값 이상의 경우에 대응하는 출력 영상의 화소값을 1로서, 그 이외의 경우는 0으로 하는 것이다. 임계값 처리는 식 (1)로 정의할 수 있다.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) \geq t \\ 0 & f(x, y) < t \end{cases} \quad (1)$$

여기서  $f(x, y)$ ,  $g(x, y)$ 는 각각 영상처리 전후의  $(x, y)$ 에 있는 화소의 명암값을,  $t$ 는 임계값(Threshold)을 나타내며, Fig. 1과 같은 결과를 얻을 수 있다.

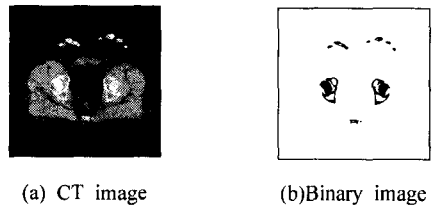


Fig. 1 Binary process

### 3.1.2 모폴로지 (Morphology)

모폴로지 기법은 영상 전처리 작업이나 초기 객체분류 또는 이러한 처리 후에 물체의 내재된 구조를 명확히 하는데 이용된다. 이것은 물체의 외곽선에서 가장 현저한 1 픽셀 두께의 외곽선이나 골격선을 간단하게 함으로써 이루어진다. 영상을 임계값에 의해 이진화하면 단혀지지 않은 영역들이 존재하게 된다. 이런 영역들의 경계선을 추출하게 되면 완전한 곡선이 아닌 형상을 왜곡시키는 곡선으로 표현이 된다. 따라서 이러한 문제들을 해결하기 위해서 폐곡화를 실행하게 된다. 폐곡화는 팽창연산과 제거연산에 의해 실행되는데 식 (2)는 팽창연산, 식 (3)은 제거연산, 식 (4)는 폐곡화를 나타내며, Fig. 2와 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$A \oplus B = \bigcup_{b \in B} A_b \quad (2)$$

$$A \ominus B = \bigcap_{b \in B} A_{-b} \quad (3)$$

$$B \cdot K = (B \oplus K) \ominus K \quad (4)$$

팽창연산은 구조요소의 이동의 합집합으로 식 (2)와 같이 표현될 수 있는데, 구조요소 B는 이미지 위에 이송되어지고, 전체 이송된 구조요소형상은 초기 출력영상에서 0값을 가지는 출력영상에 합해진다. 따라서 팽창연산은 배경색을 줄이고 물체의 색을 확장시킨다.

침식연산은 반대이송의 교집합으로 식 (3)과 같이 나타낼 수 있는데 팽창연산에서 OR을 AND로 바꾸고, 구조요소의 반대 점들의 이송에 의한 영상의 사용에 의해 표현된다. 배경에 대해 물체의 크기를 축소하는 역할을 하며 주로 물체와 배경사이의 스파크잡음을 제거하는데 사용된다.

구조요소 K에 의한 영상의 폐곡화는 팽창연산과 침식연산을 통해서 식 (4)와 같이 표현되고, Fig. 2와 같은 결과를 얻을 수 있다<sup>(7)</sup>.

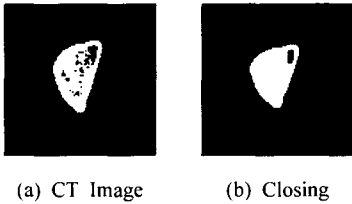


Fig. 2 Closing of CT image

### 3.1.3 경계선 추출

경계선 추출을 위해 prewitt 마스크를 사용하는 데 prewitt operator의 그레이던트 크기  $M$ 은

$$M = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} \text{이고,}$$

$$s_x = (a_2 + ca_3 + a_4) - (a_0 + ca_7 + a_6)$$

$$s_y = (a_0 + ca_1 + a_2) - (a_6 + ca_5 + a_4)$$

이다.

$s_x$ ,  $s_y$ 는 x방향 및 y방향의 경계를 추출하는 마스크를 수식으로 대표하는 것이고,  $a_0 \sim a_7$  은 마스크를 구성하는 인자들이며,  $c=1$  인 경우 prewitt 마스크가 되는데 여러 마스크에 대한 실험결과 prewitt 마스크가 가장 깨끗한 경계선을 추출하므로 Fig. 3과 같은 prewitt 마스크를 사용하여 Fig. 4와 같은 결과를 얻을 수 있다<sup>(7)</sup>.

### 3.1.4 세션화 (Thinning)

1	1	1	-1	0	1	$a_0$	$a_1$	$a_2$
0	0	0	-1	0	1	$a_7$	[i,j]	$a_3$
-1	-1	-1	-1	0	1	$a_6$	$a_5$	$a_4$

Fig. 3 Prewitt mask

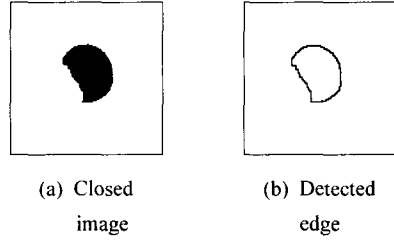


Fig. 4 Edge detection

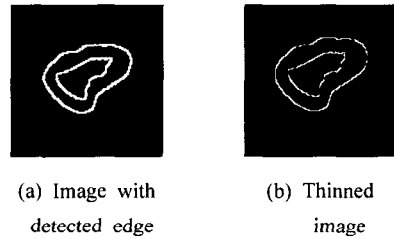


Fig. 5 Thinning process

세션화 방법이란 굵기가 불완전한 윤곽선을 동일한 굵기의 선(보통은 1화소의 폭)으로 정리하는 방법으로서 위에서 설명한 prewitt 마스크를 이용하여 얻어진 윤곽에 덧붙여 처리를 가하면 Fig. 5와 같이 보다 깨끗한 윤곽 영상을 얻는 것이 가능하다<sup>(7)</sup>.

### 3.1.5 단면 데이터 구하기

세션화를 통해 한 픽셀의 두께를 갖는 윤곽선(edge)을 생성한 후에 그 윤곽선을 이루고 있는 각 점들의 데이터를 생성한다. 먼저 화면상의 원점(왼쪽 상단 모서리)에서 가장 가까운 점을 찾는다. 그리고 난 후에 반시계 방향으로 연결된 점들을 찾아 나가는 방법을 사용하는데, Fig. 6과 같이 한 점을 찾았을 때 번호순으로 옆 픽셀들을 검사하고 픽셀의 값이 1인 점, 즉 흰색점의 좌표를 리스트로 작성하고 이 과정을 반복하면 Fig. 7과 같은 결과를 얻을 수 있다.

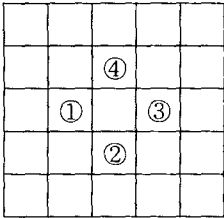


Fig. 6 Sequence to find point

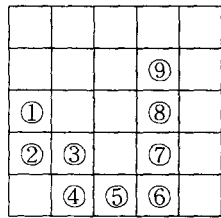


Fig. 7 Connected points

다음으로는 구성된 점들이 Fig. 8과 같이 허용된 공차 안에서 직선을 이루는 경우에 그 사이에 존재하는 점들을 제거하여 너무 많은 점때문에 삼각형 분할시에 긴 연산 시간이 소모되지 않게 한다.

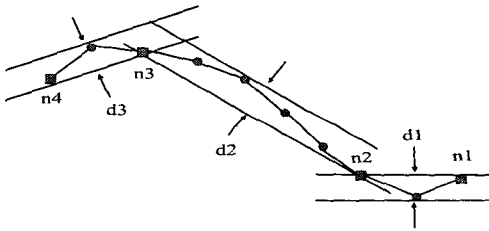


Fig. 8 Elimination of vertex

### 3.2 STL처리 과정

슬라이스별로 데이터를 다시 통합하여 전체 슬라이스 데이터 구성, 인접 루프간의 관계 파악, 각 루프간의 삼각분할, STL 포맷 출력 과정을 거쳐서 형상의 제작에 필요한 RP 장치의 입력 데이터를 얻을 수 있다.

#### 3.2.1 슬라이스 리스트 구성

본 논문에서 사용된 입력 파일에 포함된 정보는 다음과 같다.

- 각 슬라이스의 번호를 나타내는 Slice NO.
- 각 루프의 시작을 나타내는 SOL
- 각 루프를 구성하는 정점의 x, y, z좌표
- 각 루프의 끝을 나타내는 EOL .

이와 같은 입력된 슬라이스 데이터의 정보를 가지고 슬라이스 리스트를 구성한다. 전체 슬라이스는 각각의 슬라이스로 구성되며, 각 슬라이스는 여

러 개의 루프로 구성되며, 각 루프는 여러 개의 정점으로 구성된다. 이상의 관계를 도식화한 연결 리스트가 Fig. 9이다.

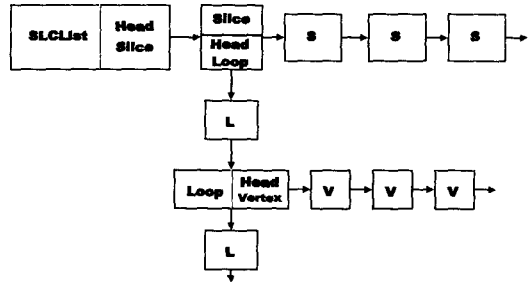


Fig. 9 SLCList structure

#### 3.2.2 각 슬라이스별 루프의 분류

한 슬라이스에 대한 루프와 인접하는 슬라이스에 대한 루프의 상관관계를 나타내기 위해서는 두 루프를 2차원 상에 투영하였을 때의 교차성(intersection)을 검사해야 한다. 이는 한 슬라이스내의 루프의 삼각형 분할 또는 한 슬라이스와 다른 슬라이스내의 루프간의 삼각형 분할을 위한 루프간의 정보를 얻기 위해서 필요하다.

두 루프 사이의 교차를 검사하면, 각 슬라이스에 대한 루프와 그 다음 슬라이스에 대한 루프의 상관관계를 Fig. 10와 같이 3가지 형태로 분류할 수 있다.

첫째, Fig. 10 (a)와 같이 branching area의 한 슬라이스에서 두 루프 간에 포함관계를 가지는 상태이다.

둘째, Fig. 10 (b)와 같이 capping area에서 한 슬라이스에서의 루프가 다음 슬라이스에서의 루프와 아무런 교점이 없이 분리된 상태이다.

셋째, Fig. 10 (c)와 같이 branching area의 한 슬라이스의 루프에서 다음 슬라이스의 루프간에 교점이 있는 상태이다.

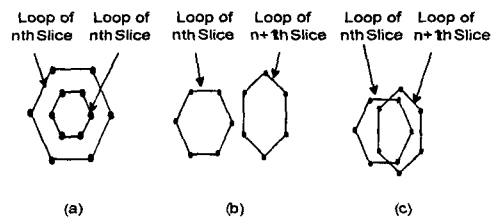


Fig. 10 Classification of loop state

루프간의 내부 또는 외부를 판별하는 알고리즘은 다음과 같다.

$n$ 개로 이루어진 다각형의 꼭지점들의 좌표를  $P_1(X_1, Y_1), P_2(X_2, Y_2), \dots, P_n(X_n, Y_n)$ 라 할 때, 점  $P(X_p, Y_p)$ 가 다각형의 내부에 있는지를 판단하기 위하여 식 (5)를 적용한다.

식 (5)의 각각의 식의 값이 모두 같은 부호를 가지면 점  $P(X_p, Y_p)$ 는 다각형의 내부에 존재하는 점이고, 그렇지 않으면 외부의 점이 된다.

$$\begin{aligned} & (X_1 - X_p) \times (Y_2 - Y_p) - (X_2 - X_p) \times (Y_1 - Y_p) \\ & \vdots \\ & (X_i - X_p) \times (Y_{i+1} - Y_p) - (X_{i+1} - X_p) \times (Y_i - Y_p) \\ & \vdots \\ & (X_n - X_p) \times (Y_1 - Y_p) - (X_1 - X_p) \times (Y_n - Y_p) \end{aligned} \quad (5)$$

슬라이스 단면에 존재하는 루프가  $m$ 개일 경우 한 루프에서 임의의 점을 가지고 자기 자신을 제외한 나머지 루프들에 대하여 식을 적용하면 그 점을 구성원으로 하는 루프의 다른 루프들에 대한 포함 관계를 알 수 있다.

### 3.2.3 삼각형 분할 과정

각 루프의 삼각형 분할은 크게 두 종류로 나눌 수 있다. 첫째, capping area에 있는 루프면 자체는 다각형 (polygon)을 형성하여 다른 슬라이스내의 어느 루프와도 삼각형 분할에 영향을 주지 않으므로 Fig. 11과 같은 일반적인 다각형 삼각형 분할을 할 수 있다<sup>(8)</sup>.

둘째, 슬라이스간의 루프 사이에서 삼각형 분할을 할 경우이다. Fig. 12와 같이 분할된 삼각형의 정점은  $n \rightarrow n+1 \rightarrow n$  또는  $n+1 \rightarrow n \rightarrow n+1$ 의 슬라이스의 루프를 거치는 관계로 되어 있다.

효율적인 삼각형 분할을 위하여 한 루프의 정점이 다른 루프에서 선택할 수 있는 정점 중에 가장 가까운 정점을 구하기 위해서 Christiansen 알고리즘을 이용한다<sup>(5)</sup>.

Christiansen 알고리즘은 Fig. 13과 같이 이 알고리즘의 기본 작용은 선분으로부터 인접한 점들을 연결하는 것이다. 이 예에서 세그먼트 AH와 GB가 선택될 수 있는데, AH의 경우가 더 바람직한 경우라고 할 수 있다.

삼각 패치는 3차원 형상을 구성하는 면을 나타

내는 기본 구조를 나타내는 삼각형이며, 슬라이스 사이의 세그먼트를 정의하고 각 패치들을 연결시켜 면을 생성시킬 수 있다.

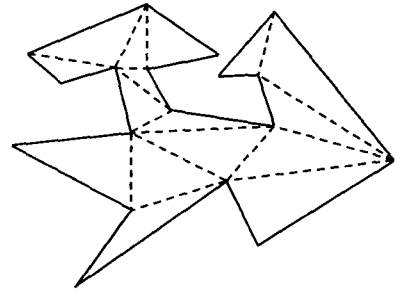


Fig. 11 Triangulation of polygon

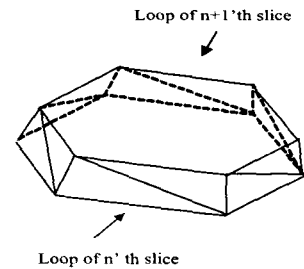


Fig. 12 Triangulation between different Slices

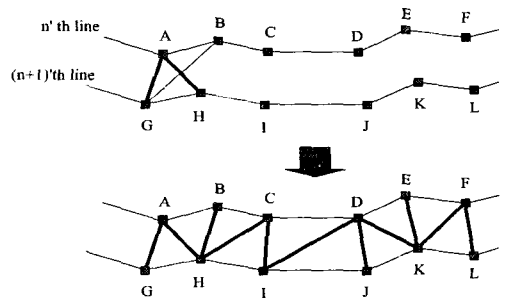


Fig. 13 Christiansen algorithm

### 3.2.4 각 루프 사이의 삼각형 분할

각 루프에는 삼각형 분할 이전에 그 슬라이스내에서의 다른 루프와의 포함 관계 또는 다음 슬라이스에서의 다른 슬라이스와 접점을 가지는 관계를 가지고 있다.

Fig. 10 (a)의 경우, 루프는 내부 루프 또는 외부 루프임을 표시하는 정보를 가지고 있으므로 다음 슬라이스의 루프와 내부 루프는 내부 루프끼리, 외

부 루프는 외부 루프끼리 삼각 분할을 행한다.

Fig. 10 (b)의 경우, 루프는 각각에 대해서 다각형에 대한 삼각형 분할을 독립적으로 행한다.

Fig. 10 (c)의 경우, 한 루프는 그 루프가 접하고 있는 모든 루프를 조사하여 삼각형 분할한다. 이때, 두 슬라이스간의 교차하는 루프끼리의 수가 1 : 1 인 경우는 전술한 바와 같이 슬라이스사이의 삼각형 분할을 행한다.

인접한 두 슬라이스간에 교차하는 루프의 수가 1 : m인 Fig. 14와 같은 경우, m개의 루프로 구성된 n번째 슬라이스의 각 루프를 하나의 루프로 만들어서 n+1번째 슬라이스의 루프와 연결성을 유지하도록 한다.

n번째의 A와 B 루프를 Fig. 15(a)와 같이 점 a와 점 c, 점 b와 점 d를 bridge edge로 연결함으로써 Fig. 15(b)와 같이 하나의 루프로 만든다.

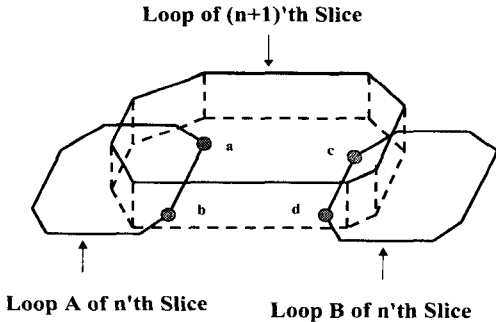


Fig. 14 Case of 1 : m triangulation

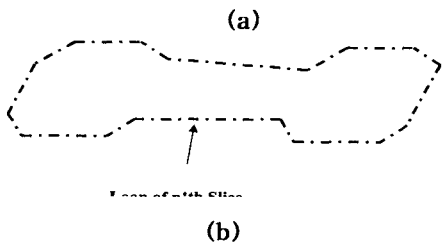
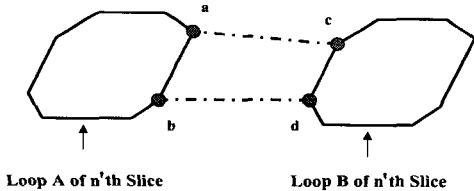


Fig. 15 Connection of two loops

삼각형 분할은 하나의 루프로 재구성된 n번째 슬라이스의 루프와 n+1 번째 슬라이스의 루프간에 교차하는 루프끼리의 수가 1 : 1인 경우로 삼각형 분할을 하여 Fig. 16과 같은 삼각형 분할 결과를 얻을 수 있다. 두 루프의 중첩된 모양이 나타나면서도 연결성을 잃지 않음을 확인할 수 있고, 슬라이스간의 간격을 줄여 삼각화 과정에서 발생할 수 있는 오차를 줄인다.

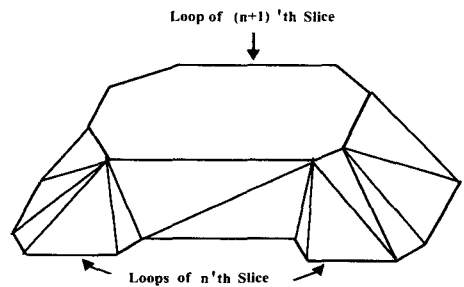


Fig. 16 Result of 1 : m triangulation

#### 4. 적용예

본 논문에서는 Fig. 17와 같이 CT 데이터를 이용하여 제작된 인골과 레이저 스캐너에 의한 스캔 데이터를 이용하여 제작된 인골을 서로 비교한다.

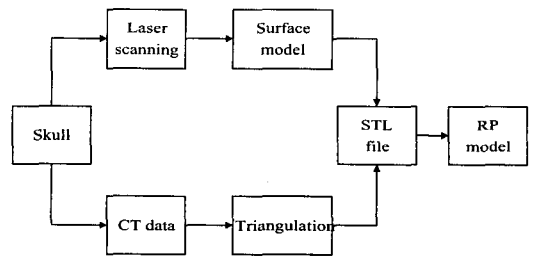


Fig. 17 Comparison of two ways to build skull

#### 4.1 CT 데이터를 이용한 인골 제작

Fig. 18과 같은 인골 모델에 대해서 3mm 간격으로 등분한 단면으로 구성된 영상을 구한다. Fig. 19와 같은 CT 데이터를 256레벨의 밝기를 가진 그레이 영상으로 바꾼다. 그리고 영상 데이터를 저장시에 파일 헤더에 그 파일 형식에 대한 정보를 가지지 않은 영상의 데이터만으로 구성된 raw image 파일을 이용한다.

영상 처리 과정은 입력된 영상을 Fig. 20 (a)~(d)와 같이 이진영상 처리, 폐곡화, 윤곽선 추출, 세션화 과정을 통해서 3차원 형상 구성을 위한 데이터를 얻는다. 이를 삼각화 과정을 통해서 Fig. 21과 같은 STL 모델을 얻을 수 있으며, Fig. 22는 RP로 제작된 인골의 모델이다.



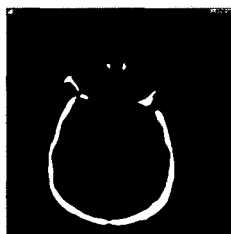
Fig. 18 Skull I



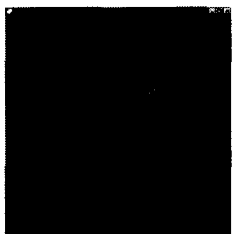
Fig. 19 Original CT data



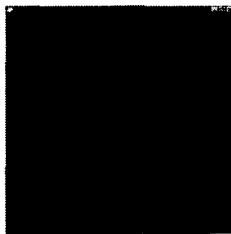
(a) Binary image



(b) Closing



(c) Prewitt masking



(d) Thinning

Fig. 20 Image processing

#### 4.2 레이저 스캔 데이터를 이용한 인골 제작

Fig. 23과 같은 인골 모델을 미국 LDI사의 Surveyor 1200 (Fig. 24)을 이용하여 측정하여, Fig. 25와 같은 레이저 스캔 데이터를 구한다. Fig. 26은 레이저 스캔 데이터를 Imageware사의 S/W인 Surfacer에서 모델링한 것이며, Fig. 27은 이를 RP로 제작한 인골의 모델이다.



Fig. 21 STL model

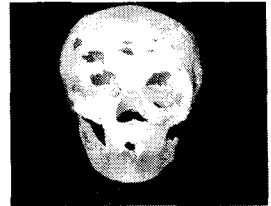


Fig. 22 RP model



Fig. 23 Skull II

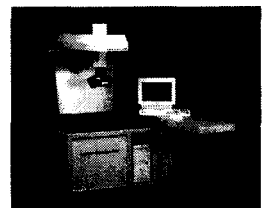


Fig. 24 Laser scanner



Fig. 25 Scan data



Fig. 26 Surface model

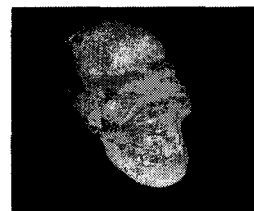


Fig. 27 RP model

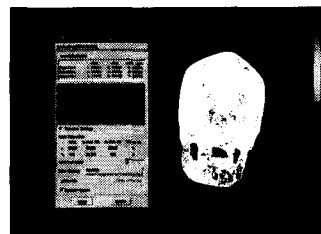


Fig. 28 Comparison of error between laser scan and CT

### 4.3 제작 결과 비교

Fig. 28은 Fig. 23의 인골 모델 II에 대해서 CT 데이터를 통해 형성된 외부 형상의 STL 파일과 인골의 레이저 스캔 데이터를 비교한 것이다. 평균적으로 0.9mm 정도의 오차를 가지고 있으며 이는 주로 영상처리 과정에서의 해상도와 관련된다.

레이저 스캔 데이터에 의한 인골 제작은 다음과 같은 특징이 있다. 레이저 스캐너의 특성상 레이저가 반사될 수 없는 인골 내부의 형상을 얻을 수 없기 때문에 내부 모델링이 어렵고, 이는 RP 제작시 수지와 레이저 사용이 증가하게 되어 모델 제작 가격 상승으로 이어진다. 그리고 레이저 스캔 데이터 획득시 registration 과정에 필요한 볼의 부착 때문에 볼 주위의 형상이 불분명해진다.

CT 데이터에 의한 인골 제작은 다음과 같은 특징이 있다. 내부 형상의 표현이 가능하므로 RP 제작시 원가 절감의 효과를 기대할 수 있다. 그러나 각 단면 사이의 간격이 좁을수록 CT 장비에 무리한 부하를 줄 수 있으므로 형상의 정도에 영향을 줄 수 있다. 또, 표면이 거칠고 침점이 많아 RP 모델 제작시 support가 많이 발생하여 내부에 생기는 support는 제거하기에 곤란한 경우도 있다. 침점의 경우에는 support가 생성되더라도 조형중 파손의 위험이 항상 존재하는 부분이므로 작업자의 지속적인 감시가 필요한 단점이 있다.

### 5. 결론

본 연구에서는 2차원 단면 데이터를 이용하여 3차원 형상을 STL 파일 형식으로 구성하는 문제에 대해서 크게 두가지 단계로 나누어 설명하였는데, 첫째는 단면 데이터를 256레벨의 밝기를 가진 그레이 영상으로 바꾸고 이를 이진영상처리, 모폴로지, 윤곽선 추출, 세션화 기법의 과정을 통해서 3차원 형상 구성을 위한 데이터를 얻는 영상 처리과정이며, 둘째는 전체 슬라이스 데이터 구성, 인접 루프간의 관계 파악, 각 루프간의 삼각분할, STL 포맷 출력 과정을 거쳐서 STL 포맷 데이터를 출력하는 것이다.

이 과정을 거쳐서 제작된 인골의 모델은 레이저 스캐너에서 얻어진 인골의 모델과 비교함으로써 그 장단점을 비교하였다. 생성된 모델은 고대 인골의 형(型) 제작을 위해서 사용될 뿐만 아니라, 파손이나 보관상의 문제로 해서 일반인들이 접촉할 수 없

었던 물체를 실물로 만들어서 새로운 용도로 이용할 수도 있다.

### 후기

본 논문은 한국생산기술연구원 주관 첨단생산시스템개발사업 개발과제 중 지능형생산시스템 응용기술의 위탁과제 "쾌속제품개발을 위한 실현지원기술개발"의 일부로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Kathryn A.Ingle, "Reverse Engineering," McGraw-Hill Inc., 1994.
2. Yasser Hosni, Labiche Ferreira, Ramesh Burjanroppa, "Rapid Prototyping through Reverse Engineering," 2nd Industrial Engineering Research Conference Proceedings, pp. 420~424, 1993.
3. Robert N.Yancey, Dennis S.Eliassen, S. Trent Neel, James H.Stanley, "Reverse Engineering using Computed Tomography," Proceedings of the Fifth International Conference on Rapid Prototyping, Dayton, Ohio, pp. 141~149, 1994.
4. Kristoff J, "Mapping Human Anatomy from MRI Data for Improved Product development," MD&DI, 1997, <http://www.devicelink.com/mddi/archive/97/03/017.html>.
5. Y.Miyake, T.Kondo, S.Kaneko, S.Igarashhi, H.Narahara, "Reconstruction of Three Dimensional Surface from Slice Positional Data," Chapman& Hall, 1997.
6. 박형준, 김광수, "단면정보를 이용한 형상의 재구성," 한국정밀공학회지, 제10권, 제4호 pp. 81~93, 1993.
7. Ramesh Jain, Rangachar Kasturi, Brian G. Schunck, "Machine Vision," McGraw-Hill Inc., 1995.
8. Joseph O'Rourke, "Computational Geometry in C," Cambridge University Press, 1994.