

## 컴퓨터 원용 결합진단을 위한 그래픽 솔루션 개발에 관한 연구

### Development of Graphical Solution for Computer-Assisted Fault Diagnosis: Preliminary Study

윤한빈\*, 윤승만\*, 한중철\*, 조민국\*, 임창휘\*, 허성근\*\*, 손철순\*,  
 김성식\*\*\*, 이석희\*, 이 석\*, 김호경\*†

Hanbean Yoon\*, Seungman Yun\*, Jong Chul Han\*, Min Kook Cho\*, Chang HwY Lim\*,  
 Sung Kyn Heo\*\*, Cheol-Soon Shon\*, Seong-Sik Kim\*\*\*, Seok-Hee Lee\*, Suk Lee\* and Hokoung Kim\*†

**초 록** 역공학의 한 방법으로 엑스선 전산 단층촬영 장치에서 획득한 삼차원 데이터를 CAD(computer-aided design) 데이터로 변환하여 폐속조형 모델을 제작할 수 있고, 또한 삼차원 가시화를 통해 피검사체의 오차를 확인하고 분석할 수 있는 알고리즘들에 대한 연구를 수행하였다. 연구 결과를 바탕으로 GUI (graphical user interface) 기반의 소프트웨어를 개발하였다. 개발한 소프트웨어의 검증에 위하여 산업 및 의료용 샘플들에 대한 전산 단층촬영 스캐닝을 수행하고 CAD 데이터 변환 및 컴퓨터 원용 결합진단 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 통해 컴퓨터 원용 결합진단의 산업 및 의료분야 적용 가능성을 확인하였다.

**주요용어:** 역공학, 전산 단층촬영, 표준 삼각화 언어, 영상재구성, 영역구분, 삼각화

**Abstract** We have developed software for converting the volumetric voxel data obtained from X-ray computed tomography(CT) into computer-aided design(CAD) data. The developed software can used for non-destructive testing and evaluation, reverse engineering, and rapid prototyping, etc. The main algorithms employed in the software are image reconstruction, volume rendering, segmentation, and mesh data generation. The feasibility of the developed software is demonstrated with the CT data of human maxilla and mandible bones.

**Keywords:** Reverse Engineering, Computed Tomography(CT), Standard Triangulation Language(STL), Image Reconstruction, Segmentation, Triangulation

#### 1. 서 론

현대 사회는 급격하게 발전하는 기술 및 생산설비의 고도화로 인하여 끊임없이 새로운 제품이나 기술이 등장하고 있으며, 이로 인한 경쟁사의 제품

및 선진 연구 분석을 위한 역공학의 필요성이 강조되고 있다. 역공학을 위한 삼차원 스캐너에는 대표적으로 레이저를 이용한 옵티컬 스캐너, 엑스선을 이용한 전산 단층촬영 스캐너 등을 들 수 있다. 이 가운데 엑스선을 이용한 전산 단층촬영은 비침습적이고 비파괴적인 방법으로 고해상도의 삼차원 영상

획득이 가능하며, 무엇보다도 형상 내부의 결함 정보까지 포함하고 있기 때문에 최근 큰 관심을 받고 있다[1]. 따라서 전산 단층촬영 스캐너에서 얻은 데이터의 삼차원 형상정보와 형상 내부의 결함 정보를 이용하면 삼차원 형상 전체에 대한 컴퓨터 원용 결함진단을 수행할 수 있다.

현대사회와 같이 고도로 자동화된 생산라인에서는 보다 효율적인 생산 공정으로의 개선이 필요하다. 전산 단층촬영을 이용한 컴퓨터 원용 결함진단은 여기서 중요하게 활용될 수 있다. Fig. 1과 같이 일련의 생산 공정을 통하여 완성된 샘플들에 대해 전산 단층촬영 스캐닝을 수행하여 삼차원 형상 데이터를 획득한 후 컴퓨터 원용 결함진단을 수행할 수 있다. 이를 통해 결함을 야기하는 공정에 대한 선택적인 피드백 및 개선을 가할 수 있다. 결국, 제품 및 생산라인 전체에 대한 신뢰도 및 완성도를 높여줄 수 있다[2]. 이 외에 산업분야 컴퓨터 원용 결함진단의 적용 예로는 변환된 CAD 데이터를 이용한 유한요소해석(FEA: finite element analysis) 및 도면이 없는 피검사체의 설계도면 추출, 변환된 CAD 데이터의 쾌속조형(RP: rapid prototype) 모델 제작을 통한 제품 생산 전 검토 단계에서의 활용 등 여러 가지 적용 분야에서 활용될 수 있다.

의료분야에서의 컴퓨터 원용 결함진단의 비중 또한 크다. 삼차원 전산 단층촬영 스캐닝 데이터의 가시화를 수행하여 암 등의 병변을 진단할 수 있으며, 인공관절 등의 쾌속조형 모델 제작, 수술 전 가공된 모형의 모의수술을 통한 의료사고 절감 등 많은 효과를 기대할 수 있다[3].

본 연구에서는 산업용 또는 의료용 엑스선 전산 단층촬영 스캐너에서 얻은 이차원 투과영상 데이터로부터 삼차원 단층영상을 재구성하고 이를 가시화하여 재구성된 단층영상에 대해 영역구분, 삼각화 등의 알고리즘을 적용하여 STL(standard triangulation language) 파일을 변환하는 알고리즘을 개발하였다. 이를 통하여 컴퓨터 원용 결함진단을 위한 통합 그래픽 솔루션을 소프트웨어로 구현하였다[4, 5]. 현재 개발한 소프트웨어로는 피검사체의 결함을 가시적으로 확인하거나 혹은 CAD 파일로 추출하여 원본 설계 CAD 파일과 비교를 통한 정성적인 분석만이 가능하다. 향후 결함의 자동검출, 정량적 분석 및 보고, 그리고 원본 설계 CAD 파일과의 비교를 통한 오차의 분석 및 보고 등에 관한 알고리즘 등이 보완되어야 할 것이다.

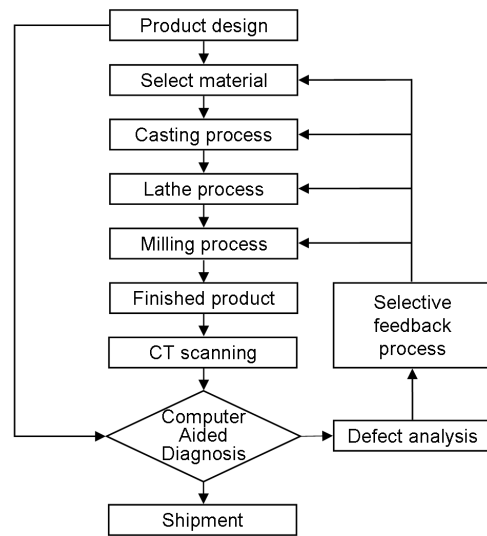


Fig. 1 An example describing computer-assisted fault diagnosis in industrial production line

## 2. 컴퓨터 원용 결함진단 소프트웨어 개발

### 2.1. 소프트웨어 개요

컴퓨터 원용 결함진단을 위한 삼차원 전산 단층촬영 데이터로부터 CAD 데이터로의 변환은 일련의 과정을 필요로 한다. 전산 단층촬영 스캐너를 이용하여 검사하고자 하는 피사체에 대해 180° 이상의 방향에서 엑스선 투과영상을 얻는다. 획득한 이차원 투과영상을 이용하여 삼차원 단층영상 재구성, 단층영상에서 관심영역의 영역구분, 이진화된 영상의 삼각화, CAD 데이터 추출 등의 과정을 거치게 된다. 추출된 CAD 데이터는 피검사체의 도면을 얻거나 쾌속조형 기기의 입력데이터, 유한요소해석 등에 응용될 수 있다. 이와 같은 그래픽 솔루션을 구현하기 위하여 본 연구에서는 각 알고리즘들을 Microsoft사의 C++<sup>TM</sup> 언어를 사용하여 구현하였으며, 사용자의 편의를 위한 그래픽 유저 인터페이스 구현은 Visual C++<sup>TM</sup>를 사용하였다. 또한, 기타 알고리즘 검증을 위해서 MATLAB<sup>TM</sup>, Pro/Engineer<sup>TM</sup> 등을 사용하였다.

### 2.2. 삼차원 단층영상 재구성

전산 단층촬영 스캐너에서 360° 회전하며 획득한

피검사체의 일련의 투과 영상으로부터 단층영상 혹은 삼차원 영상을 구하기 위해서는 영상을 재구성하는 과정이 필요하다. 단층영상 재구성은 원추형 엑스선 투영 데이터로부터 영상을 재구성할 수 있는 FDK 알고리즘(Feldkamp, Davis 그리고 Kress에 의해 고안된 방법)을 사용하였다[6]. FDK 알고리즘은 기본적인 부채꼴(fan)형 엑스선 빔에 대한 전산 단층촬영 알고리즘에 대해 종축 방향으로 기울어진 각도  $\theta$ 를 고려하였을 뿐, 기본적으로는 고전적인 전산 단층촬영 알고리즘과 같다. Fig. 2에서 나타낸 바와 같이  $f(x, y, z)$ 를 구성하는 임의의 좌표점  $(x, y, z)$ 는 엑스선원과 영상센서가  $360^\circ$  회전하면서, 수많은 투과영상  $p_\theta(s, t)$ 의 정보에 기여하게 된다. 기본적으로 영상재구성은 피검사체의 정보를 다양한 각도에서 획득한 투과영상으로부터 찾아서 더하는 것이라 할 수 있다. 아래의 식 (1)은 FDK 영상재구성 알고리즘을 기술한다.

$$f(x, y, z) = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \frac{d_{SO}^2}{d_{SOP}^2} \left[ P_\theta(s, t) \frac{d_{SO}}{\sqrt{d_{SO}^2 + s^2 + t^2}} \right] * h(t) d\theta \quad (1)$$

$f(x, y, z)$  : 재구성하고자 하는 피검사체

$P_\theta(s, t)$  : 시스템이  $\theta$ 만큼 회전했을 때 획득한 투과 영상

$d_{SO}$  : 엑스선원에서 피검사체 중심까지의 거리

$d_{SOP}$  : 재구성하고자 하는 임의의 복셀(voxel: volume element)과 엑스선원 사이의 거리

$h(t)$  : 투과영상 획득과 재구성 과정에서 발생하는 시스템의 응답 특성을 상쇄시키기 위해 사용되는 고주파 통과 필터

식 (1)의 적분연산은 엑스선원과 영상센서가  $360^\circ$  회전하며 획득한 투과영상을 더하는 것을 의미한다. 원추형 엑스선을 평행한 선원으로 가정하

기 위해서 투과영상에 가중치  $\frac{d_{SO}}{\sqrt{d_{SO}^2 + s^2 + t^2}}$ 를

곱한다. 피검사체는 부피를 가지고 있는 입체이며 따라서 임의의 좌표점은 확대율을 가지고 영상센서에 맺히게 된다. 이러한 공간에 의존적인 요소를 보정하기 위해서  $\frac{d_{SO}}{d_{SOP}^2}$ 를 곱한다. 기호 \*는 컨볼루션 연산을 의미한다.

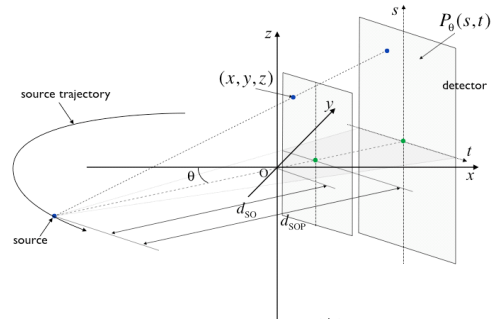


Fig. 2 Geometry of tomographic image reconstruction using con-beam X-ray

### 2.3. 관심영역 분할

관심영역의 분할은 재구성된 삼차원 단층영상 가운데 사용자가 보고자 하는 관심영역만을 추출하는 알고리즘이다. 본 연구에서 사용된 관심영역 분할 과정은 영상의 히스토그램을 이용하여 문턱치를 지정하고, 그 경계를 기준으로 영상을 분할하는 방법을 사용하였다.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } T_L < f(x, y) < T_U \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

식 (2)는 영상 분할의 기본 알고리즘이며,  $f(x, y)$ 는 단층영상,  $g(x, y)$ 는 분할 적용 후의 단층영상이다.  $T_L$ ,  $T_U$ 는 각각 문턱치의 하한과 상한 값이다. 시뮬레이션 및 실험 결과, 히스토그램 기반 영상 분할만으로는 영상의 관심영역을 정확히 추출하기 어렵다. 이상적으로 단층영상에서의 같은 물질은 동일한 밀도를 지녀야 하지만 영상재구성 과정을 거치기 때문에 정확한 값을 나타내지 못하기 때문이다[7]. 이는 관심영역 분할 시 사용자가 문턱치를 결정하는 과정에서 충분한 경험과 기술을 요구함을 의미한다.

### 2.4. 삼각화 및 CAD 데이터 추출

삼각화는 CAD 데이터 추출에 있어서 가장 중요한 과정이다. CAD에서 사용 가능한 데이터로 만들기 위해서는 일반적으로 사용하는 형식을 따라야 한다. 본 연구에서는 CAD 뿐만 아니라 쾌속조형 장비의 입력 데이터로서 호환이 가능한 CAD 파일 포맷인 표준삼각화언어(STL) 포맷으로 추출하였다.

STL 포맷에서는 임의의 형상의 모델을 표현하기 위해서 Fig. 3과 같이 모델의 표면을 삼각형 메쉬들의 집합으로 표현하는데, 삼각화란 이 표면을 나타내는 삼각형들의 구성점을 찾는 과정을 말한다. 삼각화 과정에 주로 사용되는 알고리즘에는 Delaunay 삼각화 알고리즘과 marching cube 알고리즘 등이 있다[8,9]. Delaunay 알고리즘의 경우, 삼각화 과정에서 하나의 삼각형 메쉬를 구성하는 적절한 세 점을 찾는 것에 많은 연산시간을 소비하며, 또한 구배가 심한 표면에 대해 영상 왜곡이 심한 단점이 있다[10]. 따라서 본 연구에서는 marching cube 알고리즘을 사용하였다. Marching cube 알고리즘은 Fig. 4와 같이 이차원 평면 영상의 대표점으로 구성된 임의의 육면체(cube)를 정의한 후 육면체의 8개의 모서리 값들의 분포를 비교해 가면서 각각의 육면체 내부에 적합한 삼각형 메쉬를 정의한다. 정의된 삼각형 메쉬들의 집합은 삼차원 단층영상에서 분할을 거친 관심영역의 삼차원 표면을 구성하게 된다. Marching cube 알고리즘에서 삼각형 메쉬를 정의하기 위해서는 하나의 육면체에서 8개의 모서리들이 보일 수 있는 분포의 최대 경우의 수인 256 ( $2^8 = 256$ ) 가지 각각에 대하여 육면체 내부의 삼각형 메쉬들의 구성을 설정해 놓은 LUT (look-up table)가 사용된다. 256가지의 경우의 수는 삼각형 메쉬들의 방향을 고려하여 구성이 반대인 경우와 역인 경우, 대칭인 경우를 제외하면 Fig. 5와 같이 15가지 경우로 압축된다. Marching cube 알고리즘에 의해 구성된 삼각형 메쉬들은 삼각형을 구성하는 구성점이 시계반대방향으로 이루어져 있기 때문에 구성점을 이용한 법선벡터의 계산을 통해 삼각형 메쉬의 최종적인 방향을 지정할 수 있다.

Marching cube 알고리즘의 경우, 삼차원 단층영상의 최소 기준인 복셀에 따르기 때문에 모델의 왜곡이 적은 이득이 있다. 또한 삼각화 시간이 기하급수적으로 늘어나지 않는다. 이는 삼각화 시간이 복셀 수에 따라서 고정적으로 결정되기 때문이다. 그러나 재구성된 삼차원 단층영상 복셀 크기의 육면체 내에서 256가지 경우의 수로 한정된 삼각형 메쉬들로 관심영역의 삼차원 표면을 정의하기 때문에 재구성된 표면의 조도가 나빠지는 단점이 있다[11]. 따라서 재구성된 삼차원 표면의 구성점들에 가중치를 두어 전체 표면 조도를 향상시키는 평활화 과정이 포함되어야 한다[12]. 또한 삼차원 단층영상 전체를 복셀 크기 육면체 내부의 삼각형 메쉬

로 표현하기 때문에 정의되는 삼각형 메쉬들이 불필요하게 많아지게 된다. 예를 들어 구배가 없는 평면의 경우에는 구성점들 가운데 대표점을 설정하여 몇 개의 삼각형만으로도 표현할 수 있으나 marching cube 알고리즘에 따르면 각각의 육면체 내에서 정의하는 삼각형 메쉬들의 집합이 전체 평면을 구성하게 되므로 필요 없는 데이터가 많아지게 되는 것이다. 이는 구성된 삼각형 메쉬들의 법선벡터를 이용하여 구배가 없는 삼차원 표면을 재삼각화 하는 과정을 통하여 불필요한 데이터를 최소화할 수 있다[13].

삼차원 단층영상의 표면을 구성하는 삼각형 메쉬 구성점들의 정보를 이용하여 STL 데이터 포맷을 추출하는 것으로 CAD 데이터를 추출할 수 있다.

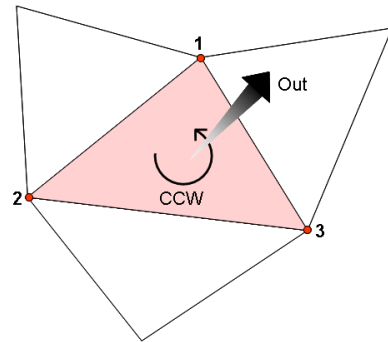


Fig. 3 A sketch describing triangle facets

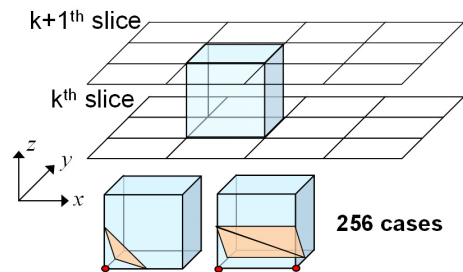


Fig. 4 Schematics of a marching cube and basic pattern of triangles

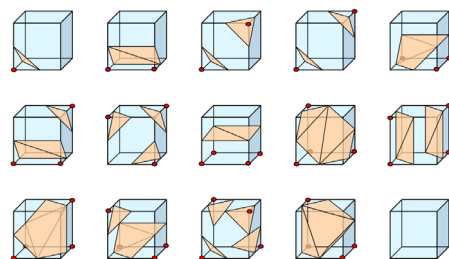


Fig. 5 Marching cube look-up table (15 cases)

## 2.5. 삼차원 가시화(Volume Rendering)

삼차원 가시화는 컴퓨터 원용 결합진단에 있어서 중요한 기능 중 하나이다. 삼차원으로 구성되어 있는 데이터를 사용자에게 가시화함으로써 내부의 결합이나 가공오차를 리포팅하는 기능을 한다. 본 연구에서는 삼차원 가시화의 방법으로 광선 추적법(ray casting method)을 사용하였다[14].

광선 추적법은 입력된 볼륨 데이터를 바탕으로 관찰자의 시각에서 바라본 영상을 역으로 계산하여 삼차원으로 가시화하는 방법이다. 먼저 볼륨 데이터와 관찰자 평면의 좌표를 계산한 후 사용자의 시각에서 볼륨데이터를 향해 가상의 직선을 발사한다. 직선으로 발사된 광선을 통해 해당하는 모니터 화소의 한 점에 영향을 미치는 복셀들을 샘플링한 후 셰이딩 인자를 대입한다. 이후 복셀 데이터를 조합하여 모니터의 한 픽셀에 역투사한다. 이러한 일련의 과정을 통해 한 픽셀에 대한 광선 추적이 종료되고 모든 픽셀에 대해 일련의 과정을 반복하게 되면 모니터에 삼차원으로 형상화된 이차원 영상을 얻게 된다.

## 3. 사용자 인터페이스 구성

본 연구에서 구현된 알고리즘들은 Fig. 6과 같이 컴퓨터 원용 결합진단을 위한 통합 그래픽 유저 인터페이스로 구현되었다[4,5]. 인터페이스 구성에는 OpenGL™, VTK™ 및 Visual C++™이 사용되었으며 MFC(Microsoft foundation class) 기반의 SDI (single document interface)로 구성되었다. 사용자의 편의를 최대화하기 위하여 삼차원 단층영상의 재구성에서부터 결합진단까지 데이터의 흐름에 따라 실행 버튼을 배치하여 각 프로세스에 필요한 변수를 입력한 후 실행시킴으로 구동할 수 있다.

사용자 인터페이스의 주요 기능으로는 삼차원 단층영상재구성, 관심영역 분할, 삼각화 및 STL 파일변환, 삼차원 가시화 등을 들 수 있으며, 변환된 STL 파일은 Pro/Engineer™ 등의 상용 CAD 및 해석 프로그램에서 활용이 가능하며 쾌속조형 기기의 입력데이터로 활용할 수 있다.

## 4. 산업 및 의료분야 시뮬레이션 결과

개발된 그래픽 솔루션은 전산 단층촬영 스캐너가 활용되는 산업분야 및 의료분야에서의 다양한 응용을 목적으로 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 일련의 연구결과를 통해 사용된 알고리즘들의 적합성을 검증하기 위하여 Vatech사의 Implagraphy™ 장비에서 얻어진 이차원 투과영상 데이터로부터 사람

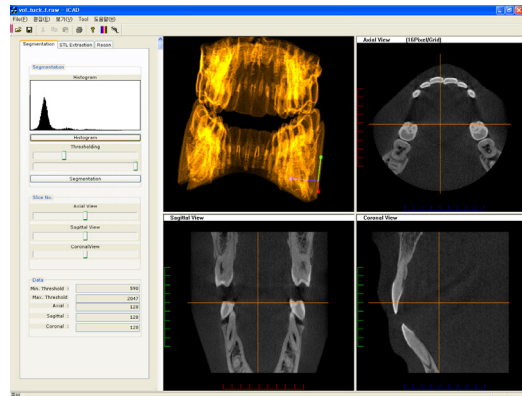


Fig. 6 Graphical user interface of the developed graphical solution

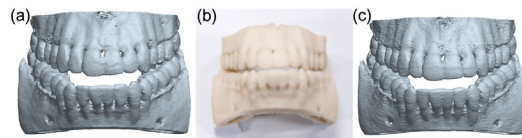


Fig. 7 Medical modeling of the maxilla and mandible. (a) is the extracted CAD model and the fabricated RP model is shown in (b). (c) is the extracted CAD model using the commercial software (Mimics Z™, Materialise, Belgium) for comparison

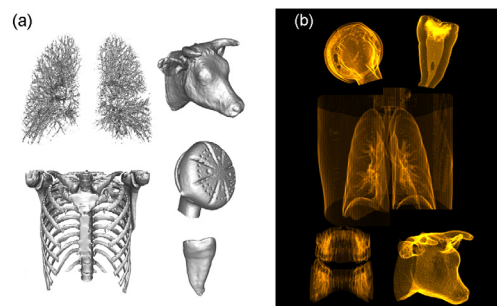


Fig. 8 (a) Various samples of extracted CAD files and (b) 3D volume-rendered images

의 상악 및 하악골에 대한 CAD 데이터의 추출 [Fig. 7(a)]까지의 일련의 과정을 컴퓨터 원용 결합 진단을 위한 소프트웨어를 이용하여 수행하였다. 변환된 STL 파일은 쾌속조형 기기(DESIGNmate Mx, Context, USA)의 입력 데이터로 사용하였다. Fig. 7(b)는 이로부터 제작된 쾌속조형 모델로 재질은 ZP130 파우더가 사용되었으며, 적층 두께는 0.089 mm이다. 이와 같은 쾌속조형 모델의 제작은 수술 전 모의수술 등에 활용될 수 있다. 또한 같은 전산 단층촬영 데이터를 이용하여 기존의 CAD 파일 변환 상용 소프트웨어(Mimics Z<sup>TM</sup>, Materialise, Belgium)에서 추출된 CAD 파일[Fig. 7(c)]과 비교하였을 때 표면 조도에 있어서 본 연구에서 개발된 CAD 파일변환 알고리즘에 의한 결과물이 더 우수하다는 것을 확인할 수 있었다.

또한 Fig. 8(a)와 같이 산업용 혹은 의료용의 여러 샘플들에 대한 전산 단층촬영을 수행하여 개발된 그래픽 솔루션의 기능을 검증 하였으며, 피검사체의 내부 정보를 비파괴적으로 확인할 수 있는 삼차원 가시화[Fig. 8(b)]를 구현함으로써 산업 및 의료분야에서의 활용 가능성을 확인하였다.

## 5. 토 의

본 연구에서 구현한 컴퓨터 원용 결합진단 그래픽 솔루션은 전산 단층촬영 데이터의 영상재구성에서부터 CAD 데이터의 추출까지의 일련의 과정을 담고 있다. 각각의 과정은 기존 연구에 의해 공개된 알고리즘이며 각각 다른 분야에서 연구되던 알고리즘을 조합하여 새로운 방향을 제시했다는 데 그 의미가 있다. 삼차원 데이터인 전산 단층촬영 영상은 그 자체로는 시각적 진단 이외의 활용에 사용할 수 없다. 하지만 본 연구에서 제안한 방법으로 STL 파일로 변환하게 되면 상용으로 판매되는 삼차원 해석 툴에 입력 데이터로 사용이 가능하다. 대표적인 예로 유한요소해석 및 응력 변형률 해석, 메쉬 정보를 사용한 형태학적 해석, 금형 가공 등의 프로그램을 들 수 있다.

이상의 결과를 통해 현재 사용하고 있는 전산 단층촬영 시스템에 추가부담 없이 단순한 수학적 데이터 처리기술만으로 범용적인 형식의 STL 데이터를 변환할 수 있다. 이를 통해 전산 단층촬영의 활용성을 한 단계 진보시키고 나아가 여러 가지 활용방법에 대한 연구의 기틀을 마련했다는 점에서

본 연구의 의의를 찾을 수 있다.

## 6. 결 론

본 연구를 통해 삼차원 전산 단층촬영 데이터를 기반으로 CAD 파일을 추출하고 이를 삼차원으로 가시화하는 컴퓨터 원용 결합진단 그래픽 솔루션을 개발하였다. 개발된 소프트웨어에 사용된 알고리즘들은 여러 샘플들의 삼차원 전산 단층촬영 데이터에 대한 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 그 결과 삼차원 전산 단층촬영 데이터에 영역 분할, 삼각화 알고리즘을 적용한 STL 파일을 추출, 삼차원 가시화 등의 컴퓨터 원용 결합진단을 수행할 수 있었다. 또한 이를 쾌속조형 모델에 활용함으로써 현재 빠른 추세로 증가하고 있는 산업 및 의료 분야의 삼차원 전산 단층촬영 스캐닝 분야의 응용폭을 넓혀줄 수 있을 것으로 기대된다. 향후 의료 분야에 적용하기 위해서는 영상에서의 연부조직 관심영역 분할을 위한 알고리즘의 향상뿐만 아니라 인공관절, 모의수술 등의 임상실험을 통해 안정성을 확보해야 할 것이다. 산업용에 적용하기 위해서는 추출된 CAD 파일의 치수 정보 신뢰도를 확보하고 컴퓨터 원용 결합진단이 적용 가능한 분야에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 2007년도 원자력연구기반확충사업(M20609000107-06B0900-10710)의 지원으로 수행되었음.

## 참고문헌

- [1] H. K. Kim, "Cone-beam microtomography and its application," J. of Korea Society of Precision Engineering, Vol. 22. pp. 7-14, (2005)
- [2] G. A. Mohr and T. Fock, "X-ray inspection in the aerospace industry - state of the art, challenges, and emerging technologies," GE Inspection Technologies, (2001)
- [3] D. Ma, F. Lin and C. K. Chua, "Rapid prototyping applications in medicine. part 2: STL file generation and case studies," J. of Advanced Manufacturing Technology, Vol.

18. pp. 118-127, (2001)
- [4] H. K. Kim, "A program for converting 3D CT data into STL," 2006-01-199-008796, Korea Software Copyright Committee, (2006)
- [5] H. K. Kim, M. K. Cho, S. M. Yun and H. B. Yun, "A toolbox for computer-aided fault diagnosis," 2006-01-199-008803, Korea Software Copyright Committee, (2006)
- [6] A. C. Kak and M. Slaney, Principles of Computerized Tomographic Imaging, IEEE Press, (1999)
- [7] L. S. Avila, VTK User's Guide 4.4. Kitware, Inc, (2004)
- [8] D. Chongjiang, "An algorithm for automatic Delaunay triangulation of arbitrary planar domains," J. of Advances in Engineering software, Vol. 27. pp. 21-26, (1996)
- [9] W. E. Lorensen and H. E. Cline, "Marching cubes: a high resolution 3D surface reconstruction algorithm," J. of Computer Graphics, Vol. 21. pp. 163-169 (Proc. of SIGGRAPH), (1987)
- [10] L. R. Hermann, "Laplacian-isoparametric grid generation scheme," J. of the Engineering Mechanic Division, Vol. 5. pp. 749-756, (1976)
- [11] S. A. Canann, J. R. Tristano and M. L. Staten, "An approach to combined Laplacian and optimization-based smoothing for triangular, quadrilateral. and quad-dominant meshes," ANSYS, Inc., (1998)
- [12] N. Amenta, M. Bern and D. Eppstein, "Optimal point placement for mesh smoothing," J. of Algorithms, Vol. 30-2. pp. 302-322, (1999)
- [13] W. J Schroeder, J. A. Zarge and W. E. Lorensen, "Decimation of triangle meshes," J. of Computer Graphics, Vol. 26. pp. 65-70 (1992)
- [14] B. Lichtenbelt and R. Crane, Introduction to Volume Rendering. Hewlett Packard, (1998)