

3차원 생물체 가시화 모델 구축장치 개발 및 성능평가

Development and Evaluation of System for 3D Visualization Model of Biological Objects

황 헌	최태현	김철수	이수희
정회원		정회원	정회원
H. Hwang	T. H. Choi	C. H. Kim	S. H. Lee

SUMMARY

Nondestructive methods such as ultrasonic and magnetic resonance imaging systems have many advantages but still much expensive. And they do not give exact color information and may miss some details. If it is allowed to destruct a biological object to obtain interior and exterior informations, 3D image visualization model from a series of sliced sectional images gives more useful information with relatively low cost. In this paper, a PC based automatic 3D visualization system is presented. The system is composed of three modules. The first module is the handling and image acquisition module. The handling module feeds and slices a cylindrical shape paraffin, which holds a biological object inside the paraffin. And the paraffin is kept being solid by cooling while being handled. The image acquisition module captures the sectional image of the object merged into the paraffin consecutively. The second one is the system control and interface module, which controls actuators for feeding, slicing, and image capturing. And the last one is the image processing and visualization module, which processes a series of acquired sectional images and generates a 3D volumetric model. To verify the condition for the uniform slicing, normal directional forces of the cutting edge according to the various cutting angles were measured using a strain gauge and the amount of the sliced chips were weighed and analyzed. Once the 3D model was constructed on the computer, user could manipulate it with various transformation methods such as translation, rotation, and scaling including arbitrary sectional view.

Keywords : 3D image visualization, Sectional image, Paraffin, Slicing, Volumetric model, Cutting angle.

1. 서 론

생물체의 내부를 가시화하는데 있어 초음파 영상법과 자기공명 영상법은 비파괴적인 방법으로

주로 의학적인 용도로 많이 이용되고 있다. 하지만 시스템의 가격이 매우 고가이며, 생물체 내부의 실제 색상을 얻을 수 없다. 만약 생물체를 절단하는 것이 허용된다면 일련의 단면 영상을 합성

This study was supported by Korea Research Foundation Grant(KRF-99-005-G0002). The article was submitted for publication in August 2001, reviewed in September 2001, and approved for publication by the editorial board of KSAM in November 2001. The authors are H. Hwang, Professor, T. H. Choi, Research Assistant and S. H. Lee, Senior Researcher, Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University, Korea, and C. S. Kim, Professor, Dept. of Bio-Resource Mechanical Engineering, Chonbuk University, Korea. The corresponding author is H. Hwang, Professor, Department of Bio-Mechatronic Engineering, Faculty of Life Science and Technology, Sungkyunkwan University, Korea. E-mail : <hhwang@yurim.skku.ac.kr>.

함으로써 저렴한 비용으로 많은 유용한 정보를 얻을 수 있다.

3차원 가시화는 2차원 영상을 입체적으로 표현하는 것으로 다양한 기법들이 개발되고 있다. 특히 의학 분야에서는 컴퓨터 단층촬영, 자기공명에 의한 일련의 2차원 영상으로 3차원 정보를 추출하는 적용 연구가 활발하다(Bomans et al., 1990, Steen and Olsatd, 1994). 小林 등(1995)은 3차원 내부구조 현미경의 개발 연구를 수행하였는데 이와 관련하여 생물체조직 관찰용 절편제작 시스템을 개발하였다(江藤 등, 1997). 개발 시스템은 본 연구에서 제안한 시스템과 유사하나 매우 고가의 장비로 개발되었다. 横田秀夫 등(2001)은 3차원 내부구조 현미경에 의한 동결시료에 대하여 본 연구와 유사한 하지만 보다 정밀한 고가의 시스템을 제작하여 절편을 제작하고 3차원 가시화를 수행하였다. Kim(2000a)은 수작업으로 접목묘를 절단하고 이들 접목묘의 단면영상을 3차원으로 가시화하여 접목묘의 통도조직을 분석하였다. Kim(2000b)은 복숭아에 대한 자기공명 영상 데이터를 이용하여 3차원 가시화를 수행하였다.

시료 내부를 3차원으로 가시화하기 위해서는 일련의 2차원 단면 영상을 3차원 정보로 변환하는 과정이 필요하다. 임상병리학에서 행해지는 시료의 내부검사는 시료를 일련 상태로 차례로 얇게 절단한 후 시편을 유리판 위에 부착하여 현미경을 통하여 육안으로 검사하는 방식이다. 그러나 이 방법으로는 시료의 특정부위에 대한 정밀한 3차원 위치정보 및 형상정보를 얻는 것이 매우 어렵다. 하지만, 시료에 대한 일련의 절단면 영상을 획득한 후 영상처리에 의해 특정 관심부위를 분할하고, 그로부터 추출한 2차원 정보들 사이의 연관성을 결정하여 대상부위의 3차원 위치정보와 형상 그리고 색상에 대한 정량화와 가시화를 구현할 수 있다.

본 연구에서는 파라핀으로 고정시킨 생물체를 순차적으로 자동 이송하고 절단한 후 절단면의 영상을 획득하고 이들 2차원 단면 영상으로부터 3차원 생물체모델을 자동으로 구축하는 시스템을 제시하였다. 전체 시스템은 시료의 이송, 조작과 단면 영상을 획득하는 모듈, 시스템 구동제어 및 인터페이스 모듈, 그리고 획득한 이차원 영상을 처리하여 3차원으로 가시화 모델로 변환하는 모듈의 세 개 모듈로 구성되어 있다. 대상체 이송에 있어서 균일한 이송간격 유지 및 절단시의 대상체의 일시적 고정 그리고 절단날의 각도에 따른 대상체

절단면의 밀립 방지 및 대상체의 액화 방지 등은 3차원 가시화 모델 구축에 직접적인 영향을 미친다. 따라서, 절단시 절단날 각도에 따른 절단날의 수직응력을 측정하고 절단 후 배출되는 칩의 균일 정도를 분석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시스템 구성

PC를 기반으로 한 3차원 가시화 모델 자동구축 시스템은 3개의 모듈로 구성하였다. 먼저 액체 파라핀을 원통형 알루미늄 시료 제작틀에 부은 후 실험할 생물체를 몰입하고 냉각시켜 파라핀이 굳어지면서 생물체가 파라핀 내에서 고정되도록 하였다. 시료를 이송, 조작하고 단면영상을 획득하는 모듈은 제작한 파라핀 시료를 절단용 베드에 장착하면 사용자가 입력한 간격만큼 순차적으로 이송하고 절단한다. 이송된 파라핀 봉은 절단날의 왕복 운동에 의해 단면이 절단되는데 절단시 절단날의 미는 힘에 의해 봉이 밀리지 않도록 봉 고정 그리퍼를 설치하였다. 절단된 단면 영상은 칼라 CCD 카메라를 통하여 획득되는데 그림 1은 시료 처리 및 단면영상 획득 모듈을 보여준다.

시료는 스테핑 모터를 이용하여 사용자가 설정한 일정 길이만큼 공급되며, DC 모터를 이용한 절단날에 의해 절단된다. 절단효율을 측정하기 위하여 시료 그리퍼에 로드셀(BS-4200, Bongshin Co., ROK) 부착하여 절단 수직응력을 측정하였다. 이송 절단과정 중에 시료를 몰입한 파라핀을 지속적으로 고체 상태로 유지하기 위하여 파라핀 이송부의 주위로 시료냉각기를 부착하였다. 그림 2는 시료 제작틀을 보여준다.

시료는 베드의 구멍을 통하여 공급되어 절단되며, 절단중 10ms의 샘플링 타임으로 절단력을 측정하였다. 그림 3은 시료가 절단되는 모습을 보여준다. 단면영상을 측정하기 위하여 컬러 CCD 카메라(TMC-74, Pulnix)와 프레임그래버(Meteor-II, Matrox)를 사용하였다. 조명으로는 할로젠 광 파이버 조명이 사용되었다.

시스템을 구성하는 두 번째 모듈은 시스템 제어 및 인터페이스부이다. 이는 전체적인 시스템의 구동 제어를 담당하며 사용자로부터의 각종 시스템 구동 입력을 받아들이는 인터페이스 기능을 수행한다. 보통 하나의 시료를 절단하는 회수는 30~50회 정도 되는데 이러한 절단 및 이송, 그리고

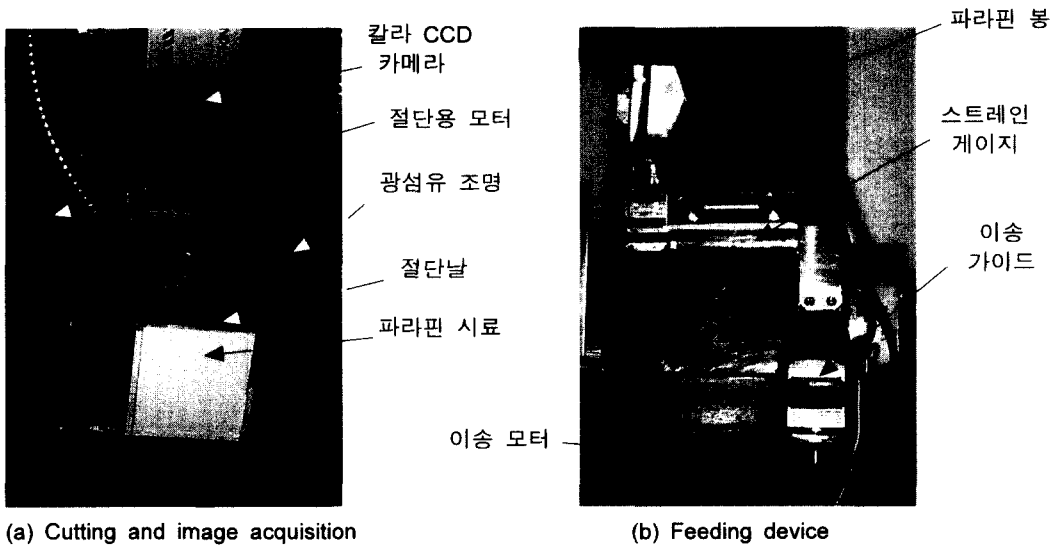


Fig. 1 Object handling and image acquisition module.

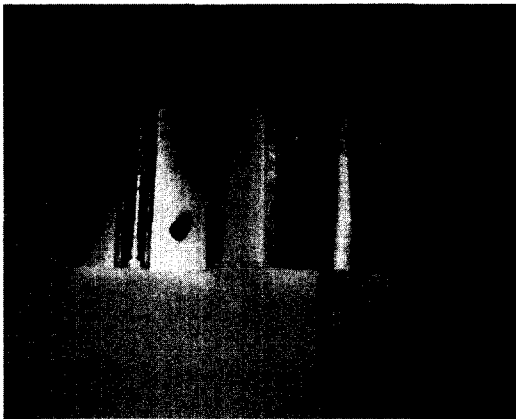


Fig. 2 Sample mold.

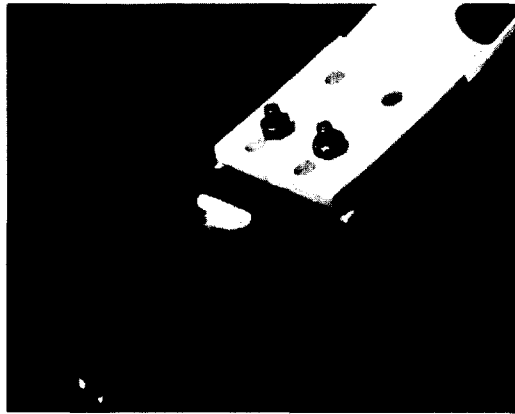


Fig. 3 Cutting device.

영상획득에 따른 반복작업을 자동으로 수행한다. 그림 4는 시스템 제어 및 인터페이스부의 모습이다.

시스템을 구성하는 세 번째 모듈은 영상처리 및 3차원 모델 가시화부이다. 이 모듈은 획득된 단면 영상을 이용하여 몇 가지의 영상처리 알고리즘을 적용시킨 후, 영상으로부터 사용자가 얻고자 하는 2차원 데이터를 추출하여 배열의 형태로 저장하는 역할을 한다. 그리고 이미지 전체의 데이터가 확

득되면 최종적으로 3차원 가시화 모델을 구축하게 된다. 본 논문에서는 3차원 모델 가시화에 상용 라이브러리인 VTK(visualization toolkit, Kitware Inc., USA)를 사용하였다. 일단 3차원 모델이 구축되면 사용자는 PC 상에서 모델의 이동, 회전, 축소/확대, 임의단면 절단 등의 동작을 자유롭게 행할 수 있게 된다. 그림 5는 영상처리 및 3차원 모델 가시화부의 모습이며 그림 6은 전체 시스템의 동작순서이다.

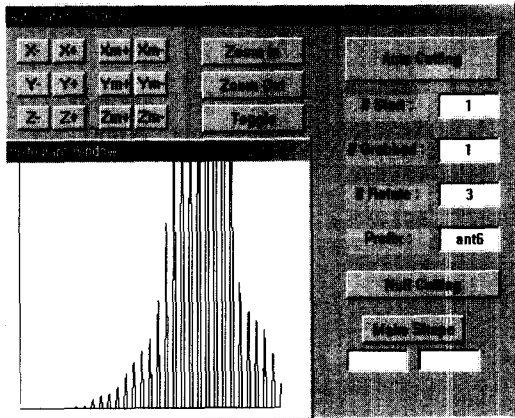


Fig. 4 System control and interface module.

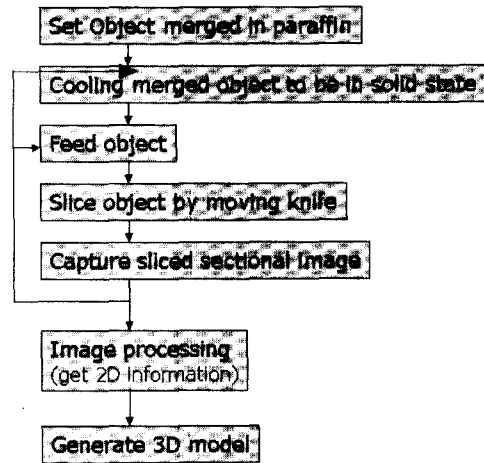


Fig. 6 Block diagram of manipulating sequence.

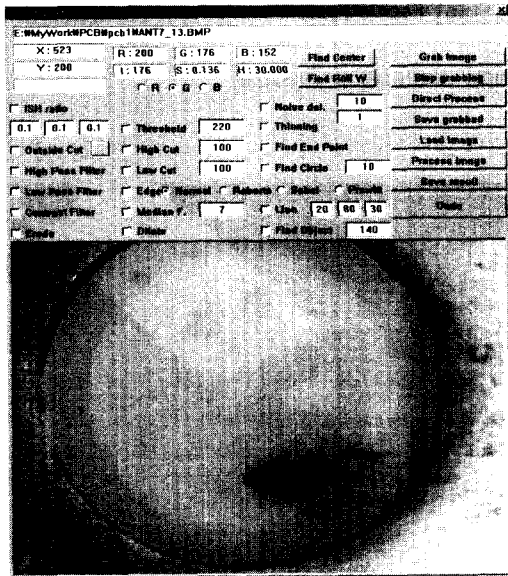


Fig. 5 Image acquisition and processing module.

나. 3차원 모델링

본 연구에서는 2차원 단면 영상을 3차원 가시모델로 만들기 위하여 언급한 VTK(Schroeder, 1998a, b)를 참조하여 사용하였다. VTK는 윈도 프로그래밍용 C 컴파일러에서 사용할 수 있으며 JAVA 또는 TCL interpreter 용으로도 개발되어 있다. VTK는 일단 원 영상으로부터 2차원 영상데이터를 추출한 후에 사용할 수 있으며 등가평면(isosurface

rendering) 또는 부피모델(volume rendering) 구현이 가능하다. 본 연구에서는 등가평면법을 구현하였는데, 이는 대상체의 표면을 화면에 구현하여 관심있는 내부 영역에 대하여 보다 신속한 가시화가 가능하다는 장점이 있다. 즉 부피 모델링 구현에 비해 상대적으로 적은 데이터를 다루므로 대상체의 이동, 회전, 축소/확대 등 프로세싱에 따른 CPU 부담이 상대적으로 줄어들어 조작 속도가 빠르다. 그림 7은 3차원 모델의 가시화 과정을 나타낸 것이다.

다. 3차원 모델 가시화 실험

실험에 사용한 재료는 껍질을 벗긴 잣을 사용했으며, 잣의 크기는 11.8mm였고, 총 절단회수는 40회로 1회 절단간격은 0.295mm이었다. 가시화를 수행하기에 앞서 절단날 각도에 따른 절단 수직응력의 변화와 각각의 절단이 균일하게 수행되었는지를 시험하였다. 파라인 칩은 절단되면서 둥글게 말리기 때문에 직접 절단칩의 두께를 측정하지 않고 정밀저울로 절단된 칩의 중량 변화를 조사하였다. 절단날의 각도는 23.6°, 21.4°, 19.4° 및 16.9°의 4수준으로 하였다.

3차원 가시화를 위하여 먼저 컬러 이미지를 흑백 8비트 영상으로 변환한 후 이치화, 영상분할, 잡음제거 및 경계선을 추출하여 전체 영상에서 특징부의 윤곽 데이터를 추출하였다. 이치화에는

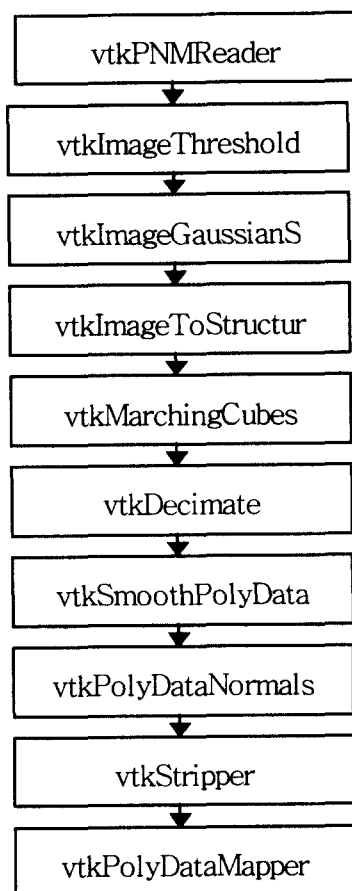


Fig. 7 Process diagram of isosurface construction.

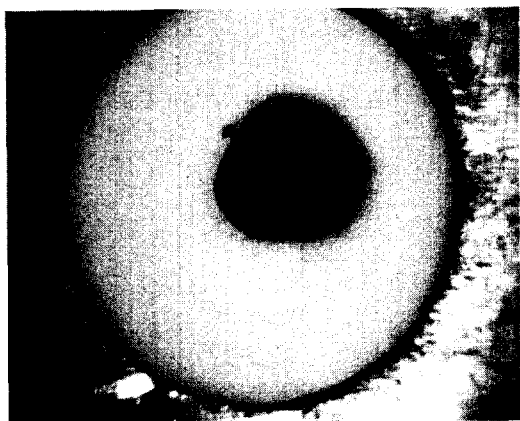


Fig. 8 Sliced sectional images of a pine-nut.

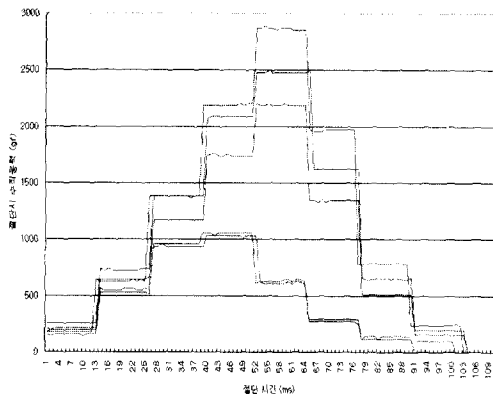
RGB 컬러 영상 중 G 프레임에 대해서 이치화를 수행하였다. 이치화를 수행한 후 잡음 성분과 같은 작은 대상체에 대해서는 blob 분석을 수행하여 이를 제거하였다. 이어서 윤곽선 필터를 사용하여 대상체의 윤곽선을 추출하고 이들의 좌표를 컴퓨터의 메모리에 저장하였다. 그림 8은 실험에 사용한 잣의 단면 영상을 나타낸 것으로 파라핀 내부의 잣과 잣 내부의 공동을 볼 수 있다.

3. 결과 및 고찰

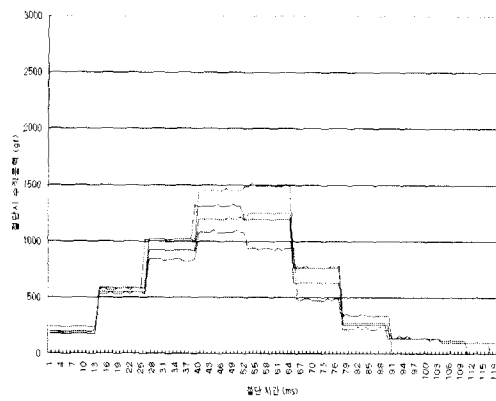
시료 절단면의 균일성을 측정하기 위하여 절단날이 시료를 절단하면서 발생하는 절단력을 측정하였다. 절단력 측정실험은 4단계의 진입 각도에 대하여 각각 5번 측정하였다. 그림 9는 절단날의 진입각도 변화에 대한 절단 시작시부터 절단 종료 시까지의 절단력의 변화를 나타낸 것으로 각도가 클수록 절단 수직응력의 변화는 커짐을 볼 수 있었다. 비록 반복 횟수에 따른 편차는 있었으나 4가지 실험에 대해서 제일 작은 각도를 갖는 16.9°가 가장 균일한 수직응력의 변화를 보여주었다. 절단각을 무작정 작게 하는 것은 장치 제작상 문제가 있으며 얇은 절단날의 절단각이 0°에 가까워지면 절단시의 마찰력이 증대된다. 특히 절단날이 얇고 절단 칩의 두께가 두꺼울 경우는 파라핀을 파고 들어가면서 생기는 날 양면과의 마찰로 인하여 끼임 현상도 배제할 수 없을 것으로 판단된다. 그림 9의 계단식 절단력 변화는 측정 샘플링 시간에 따른 것이다.

또한 모든 절단이 균일하게 이루어졌는지를 판단하기 위하여 각 칩의 무게를 측정하고 이들의 중량 변화를 조사한 결과 그림 10에서 보듯이 절단 각도에서와 마찬가지로 가장 작은 각도인 16.9°일 때 칩간의 중량 차이가 가장 작은 것으로 나타났다.

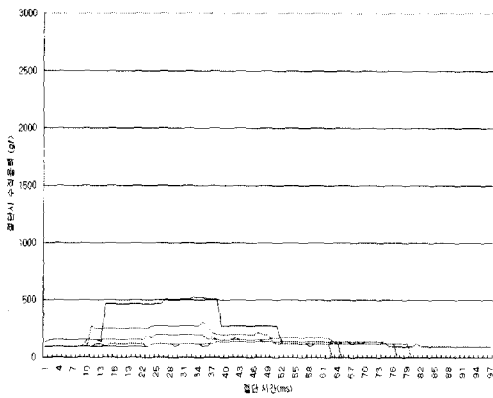
그림 11은 전체 단면영상으로부터 추출한 2차원 윤곽선 데이터를 공간상에 표현한 것이다. 2차원 단면 영상들을 배열의 형태로 저장한 후 최종적으로 3차원 모델을 생성하였다. 그림 12는 잣의 외부/내부 3차원 가시화모델을 나타낸 것으로 잣의 표면 형상과 내부 공동을 볼 수 있다. 내/외부의 형상을 한 곳에 합성하여 다양한 방법으로 관찰할 수 있는데, 그림 13(a)는 외부가 투영된 잣의 3차원 모델이고, 그림 13(b)는 임의 단면으로 절단된 잣의 3차원 모델이다.



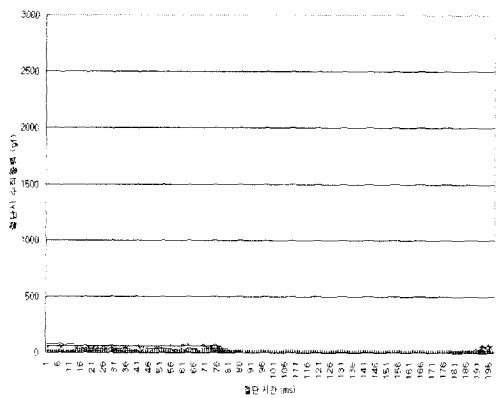
(a) Cutting angle 23.6°



(b) Cutting angle 21.4°



(c) Cutting angle 19.4°



(d) Cutting angle 16.9°

Fig. 9 Variance of cutting lift force.

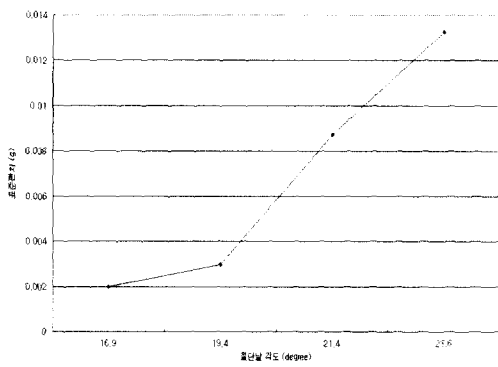


Fig. 10 Standard deviation of weight of sliced chips according to the various cutting angles.

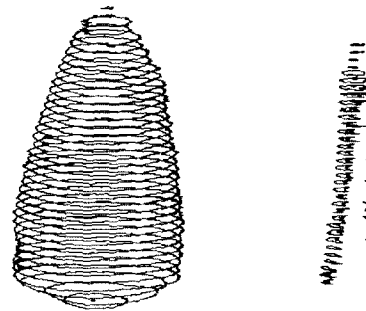
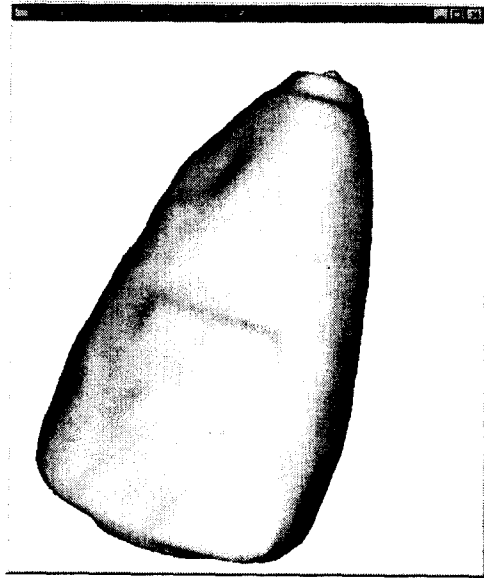
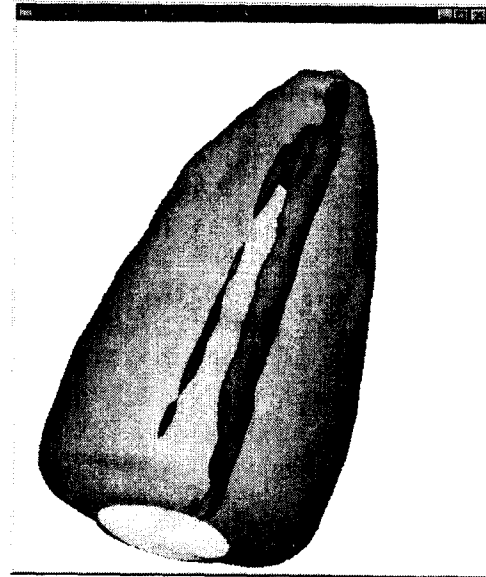


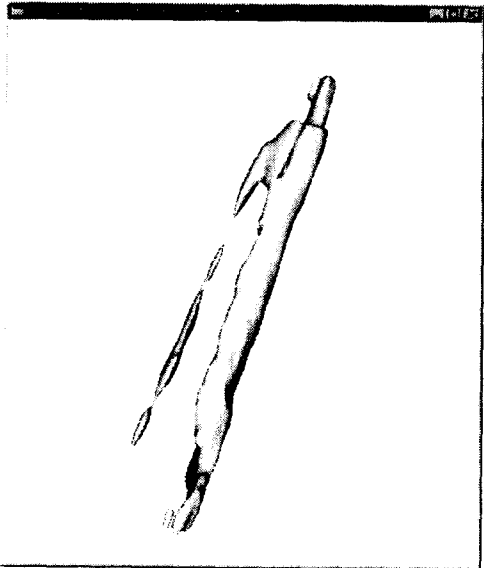
Fig. 11 Wire-frame image of external & internal feature of a pine-nut.



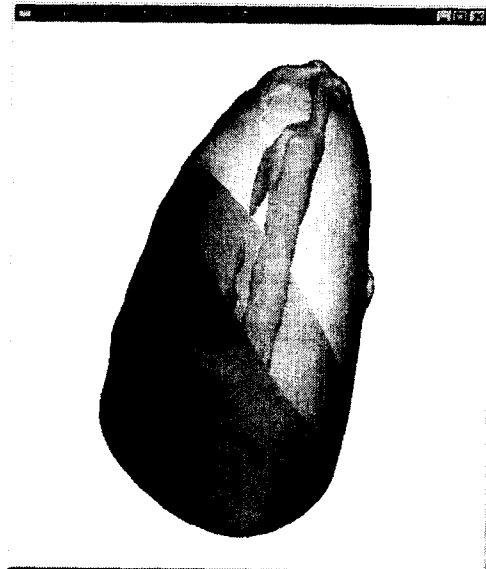
(a) External



(a) Transparent view



(b) Internal



(b) Sectional view

Fig. 12 Rendered external and internal features of a pine-nut.

Fig. 13 Visualization of external and internal feature of a pine-nut.

복원된 3차원 모델은 대상체의 3차원 내외부 입체정보를 잘 표현해 주었으며, 특히 2차원 절단면의 정보만으로는 판단이 어려운 가려진 굴곡 등도 쉽게 관찰할 수 있었다. 한편 각 단계별 소요시간

으로는 먼저 시료 절단에 5분(40회 절단), 영상처리 및 데이터 저장에 1분 30초, 그리고 3차원 모델링에 30초가 소요되었다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 파괴적인 방법이지만 생물체의 내부를 가시화 할 수 있는 자동화된 3차원 모델 가시화 시스템을 구축하였다. 시스템은 시료 조작, 처리 및 단면 영상획득부, 시스템제어 및 인터페이스부, 그리고 영상처리 및 3차원 가시화부로 구성하였다. 절단 수직응력 측정 결과와 절단칩의 무게측정 결과로부터 절단날의 진입 각도가 작을 수록 절단편차도 줄고 절단면도 고르게 나타남을 확인할 수 있었다. 껍질을 벗긴 잣의 3차원 가시화를 수행하기 위해 총 40회 단면을 획득하고 단면 영상의 윤곽선을 추출한 후 이를 모델링하였다. 3차원 가시화 결과 2차원 영상으로는 얻을 수 없는 시료의 3차원적 위치 정보를 파악할 수 있었고, 실제로 단면 영상으로는 확인하기 어려운 가려진 굴곡 등도 가시화가 가능하였다. 개발한 시스템은 현재는 직경 1cm 이하의 생물체를 대상으로 하고 있으나, 큰 대상체의 경우에는 절단과 이송에 따른 구동장치를 보완하여 쉽게 개발할 수 있어 향후 생물체 구조에 대한 교육용 3차원 가시화 모델 및 역모델링에 의한 생물체 모형제조에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

1. Bomans, M., K. H. Hohne, U. Tiede and M. Riemer. 1990. 3D segmentation of MR images of the head for 3D display. *IEEE Trans. Medical Imaging*, Vol. 9.
2. Kim, Y. H. and C. S. Kim. 2000. Three dimensional visualization for vessel structure of grafted seedlings. *Proceedings of the KSAM 2000 winter conf.* 5(1):492-498
3. Kim, C. S. 2000. 3D visualization of magnetic resonance imaging data. *Proceedings of the KSAM 2000 winter conf.* 5(1):499-504.
4. Schroeder, W. J., K. Martin, L. S. Avila and C. Law. 1998a. *The Visualization Toolkit User's Guide*. Kitware, Inc.
5. Schroeder, W. J., K. Martin and B. Lorensen. 1998b. *The Visualization Toolkit 2nd Edition*. Prentice Hall.
6. Steen, E. and B. Olstad. 1994. Volume rendering of 3D medical ultrasound data using direct feature mapping. *IEEE Trans. Medical Imaging*, Vol. 13.
7. 小林, 樋口, 青木, 江藤. 1995. 3次元 内部構造顯微鏡 開發, 日本 精密工學會紙, 61(1):100-106.
8. 江藤, 福田, 小久保, 南都, 樋口. 1997. 生體組織觀察用 切片製作裝置 開發. 56th JSAM Annual Conf. Proceeding 293-294.
9. 橫田秀夫, 江藤, 樋口, 相浪, 都甲洙. 2001. 3차원 내부구조 현미경에 의한 동결생체 시료의 관찰과 계측. *농산물 품질선별 기술개발의 현재와 미래 농촌진흥청 해외 전문가 초청 세미나 자료* 57-66.