

3D SCAN DATA 를 이용한 직접유한요소모델 생성

이성범[#], 이수용^{*}, 김성진^{**}, 정재영^{***}, 박종식^{***}

Direct Finite Element Model Generation using 3 Dimensional Scan Data

Seong Beom Lee[#], Su Young Lee^{*}, Sung Jin Kim^{**}, Jae Young Jeong^{***} and Jong Sik Park^{***}

ABSTRACT

It is still very difficult to generate a geometry model and finite element model, which has complex and many free surface, even though 3D CAD solutions are applied. Furthermore, in the medical field, which is a big growth area of recent years, there is no drawing. For these reasons, making a geometry model, which is used in finite element analysis, is very difficult. To resolve these problems and satisfy the requests of the need to create a 3D digital file for an object where none had existed before, new technologies are appeared recently. Among the recent technologies, there is a growing interest in the availability of fast, affordable optical range laser scanning. The development of 3D laser scan technology to obtain 3D point cloud data, made it possible to generate 3D model of complex object. To generate CAD and finite element model using point cloud data from 3D scanning, surface reconstruction applications have widely used. In the early stage, these applications have many difficulties, such as data handling, model creation time and so on. Recently developed point-based surface generation applications partly resolve these difficulties. However there are still many problems. In case of large and complex object scanning, generation of CAD and finite element model has a significant amount of working time and effort. Hence, we concerned developing a good direct finite element model generation method using point cloud's location coordinate value to save working time and obtain accurate finite element model.

Key Words : Finite element model (유한요소모델), 3D scanner (3 차원 스캐너), Point cloud data (점 군 데이터), Location coordinate value (위치 좌표 값)

1. 서론

급변하는 산업환경의 변화와 소비자들의 다양한 요구에 맞물려 찾은 설계변경, 제품의 다양화

등 제품 수명이 점차 짧아지고 있다. 이러한 요구에 대응하기 위해 제품 개발 기간을 단축시키고, 개발 비용 절감을 위해 유한요소법을 이용한 해석 기술이 급속히 발전하고 있다.^{1,2} 국내에서는 1980

☞ 접수일: 2005년 12월 15일; 게재승인일: 2006년 4월 14일

교신저자: 인제대학교 기계자동차공학부

E-mail: mechlsb@inje.ac.kr, Tel: (055) 320-3667

* 용진루체 생활가전연구소

** 용진코웨이 환경기술연구소

*** 인제대학교 기계공학과

년 후반부터 대기업을 중심으로 몇몇 전문가에 의해 이러한 유한요소해석 기술이 적용되었으나, 사용자 편의를 고려한 User interface 기반의 해석 프로그램의 등장으로 최근에는 여러 분야에 걸쳐 널리 적용되고 있다. 또한 3 차원 CAD 프로그램과 연동하여 사용 가능한 해석 프로그램의 등장은 기존 해석 프로그램의 단점인 해석 모델 생성의 어려움, 장시간의 모델 생성 시간 등을 해결함으로써 이러한 현상을 더욱 가속화시키고 있다. 하지만 이러한 3 차원 CAD 프로그램을 적용한다 하더라도 복잡하고 자유곡면이 많은 모델의 경우 형상 모델링은 그리 쉽지 않다. 더욱이 최근 급속히 발전하고 있는 의료분야의 경우 도면이 존재하지 않기 때문에 해석에 필요한 유한요소모델을 생성하는 것은 거의 불가능하다. 이러한 문제점을 해결하고 효율적인 모델 생성을 위해 최근 3D scanner로부터 획득한 점 군 데이터(Point cloud data)를 이용한 surface 모델 생성 방법이 많이 사용되고 있다.^{3,4} 초기 이러한 방법은 scanner로부터 획득한 점 군 데이터 처리에 많은 시간이 소모되는 단점으로 그리 널리 적용되지는 못했지만, 최근 다양한 점 군 데이터 처리용 surface 생성 프로그램의 등장으로 점차 널리 적용되고 있다. 하지만 여전히 큰 모델을 scan 할 경우 획득한 점 군 데이터를 처리하는 과정에는 많은 시간과 노력이 필요하다. 또한 surface 생성 과정에서 실물 모델과 오차가 발생하기 때문에 정확한 유한요소모델을 얻기란 그리 쉽지 않다.

본 논문에서는 이러한 기존의 점 군 데이터를 이용한 모델 생성과정에서 발생하는 문제점을 해결하고, 보다 빠른 시간 내에 정확한 유한요소모델을 얻기 위한 연구를 수행하였다.

2. 유한요소모델 생성 방법 및 3D scanning

2.1 유한요소모델 생성 방법

유한요소해석 프로그램을 이용한 해석의 경우 유한요소모델의 생성 시간이 전체 해석 프로세서의 절반 이상을 차지한다. 유한요소모델은 정확한 해석을 위한 기본 토대가 되기 때문에 정확하고 빠른 유한요소모델 생성은 해석 시간의 단축뿐만 아니라, 신뢰성 있는 해석 결과를 얻는 필수 요소라 할 수 있다. 일반적으로 유한요소모델의 생성방법은 절점(node)과 요소(element)를 직접 생성하여

모델을 생성하는 직접생성방법(direct method)과 기하모델을 생성한 뒤 메쉬 생성(mesh generation) 과정을 거쳐 절점과 요소를 생성하는 간접 생성방법(indirect method) 두 가지 방법으로 나눌 수 있다. 형상이 간단한 2D 모델의 경우 직접 생성방법을 이용하는 것이 보다 효율적으로 유한요소모델을 생성 가능하나, 현재 대부분의 해석 모델이 복잡한 기하형상을 가지고 있기 때문에 주로 간접 생성 방법을 이용하여 유한요소모델을 생성한다.

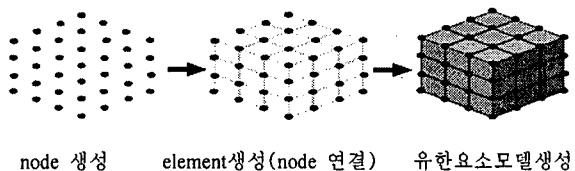


Fig. 1 Direct method

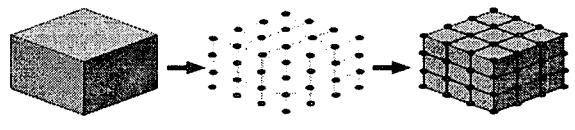


Fig. 2 Indirect method

2.2 3D Scanning

3D scanner는 한 쪽 카메라에서 광원을 발생하고 반대편 카메라에서 대상체에 투영된 광원정보를 받아 형상에 대한 정보를 획득한다. 이러한 과정을 통해 획득한 최초의 형상 정보는 점 군 데이터로 저장되며, 점 군 데이터를 바탕으로 surface 및 solid 모델을 생성한다. 모델의 크기 및 scanner 자체의 측정영역에 따라 조금의 차이가 있기는 하지만, 대부분의 경우 한번에 전체 형상을 측정하는 것은 불가능하다. 즉 한번의 scanning 과정을 통해서 얻어지는 점 군 데이터는 전체 형상의 일부에 대한 정보만을 가지고 있기 때문에, 전체 형상을 표현하기 위해 여러 각도에서 측정된 점 군 데이터가 필요하다. 이렇게 얻어진 여러 개의 scan 데이터는 정렬(registration) 및 병합(merge) 과정을 통해 최종적인 형상에 대한 정보를 구현하게 된다.

3. 유한요소모델 생성 방법(기존방법)

기존의 3D scan 데이터를 이용한 유한요소모델 생성 방법 중 가장 일반적인 방법은 역 설계(reverse engineering) 전용 surface 생성 프로그램 또는 CAD 프로그램에 내장된 점 군 데이터 처리 Tool을 이용하여 모델을 생성하는 방법으로,^{5,6,7} 3D scanner로부터 획득한 실제 모델의 점 군 데이터를 폴리곤(polygon) 또는 테셀레이션(tessellation) 과정을 거쳐 curve를 생성하고 생성된 curve를 이용하여 최종 surface 모델을 생성한다.^{8,9}

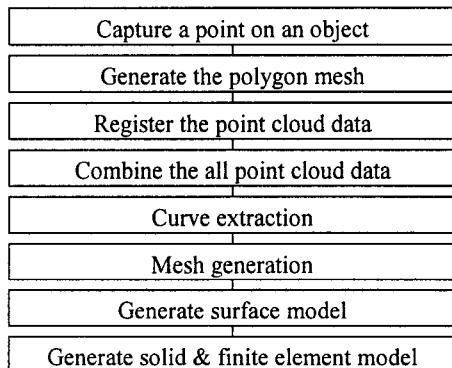


Fig. 3 Surface generation process (existing method)

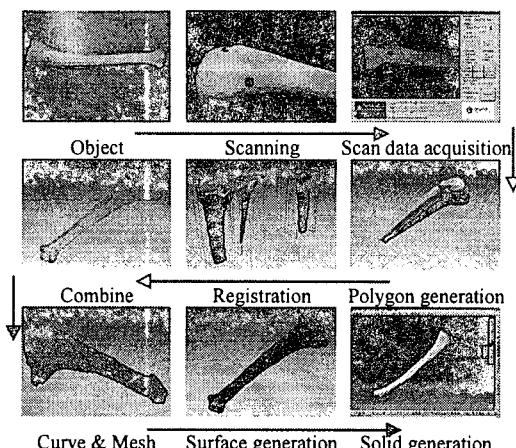


Fig. 4 Surface generation process (existing method)

기존의 방법은 3D scanner로부터 얻은 점 군 데이터를 처리하여 surface 모델을 생성함에 있어 많은 시간이 필요하다. 또한 실제 모델과 생성된 surface 모델 사이의 오차가 존재하는 문제점이 발생한다. 이러한 오차는 초기 점 군 데이터로부터 폴리곤 생성과정을 거쳐 curve를 생성할 때 보간법(interpolation)을 사용하는데 기인한다. 최종 surface 모델은 이렇게 생성된 curve를 이용하여 생성되기 때문에 curve 생성 시 발생하는 오차는 최종 surface 모델에도 영향을 주어 형상 오차를 발생하게 된다.

4. 직접유한요소모델 생성 방법(대체방법)

앞에서 설명하였듯이 기존의 surface 생성 방법은 정확한 모델을 얻기 힘들 뿐만 아니라, 최종 모델을 얻기까지 많은 시간과 노력이 필요하다. 이러한 기존방법의 문제점을 보완하고자 본 논문에서는 점 군 데이터로부터 curve를 생성하는 과정을 없애고 점 군 데이터의 위치정보를 이용하는 방법으로 전환하여 보다 단 시간 내에 정확한 유한요소모델 생성 가능한 방법을 제시하고자 한다.¹⁰

4.1 직접유한요소모델 생성 기본 개념

본 논문에서 제시하는 방법은 유한요소모델과 3D scan 데이터와의 기본적 유사점을 바탕으로 3D scan 데이터를 이용하여 직접 유한요소모델을 생성시킨다.

Property of finite element model	Property of 3D scan data
Finite element model represented many node data	3D scan data represented point cloud data
Each node data has location value in global coordinate system	Point cloud data has location value and can be used by node data
Finite element model represented by each node's location value in global coordinate system	3D scan data model represented by each point's location value in global coordinate system
Point cloud data can represent the finite element model	

Fig. 5 Basic concept flow of direct method

Fig. 5 에서 알 수 있듯이 유한요소모델과 3D

Figs. 3, 4는 기존의 surface 생성 프로그램을 이용하여 해석 모델을 생성하는 방법을 나타내었다.

scan 데이터는 점 군 데이터로 구성되어지며, 임의의 기준 좌표 상에서 고유의 위치 값을 가지고 있다. 이러한 유한요소모델과 3D scan 데이터와의 유사점을 이용하여 3D scan 데이터로부터 유한요소모델을 직접 생성 한다.

4.2 직접유한요소모델 생성 방법

4.1 절에서 소개한 3D scan 데이터를 이용하여 직접유한요소모델을 생성하는 방법의 기본 개념을 바탕으로 간단한 구 모델의 3D scan 데이터를 이용하여 유한요소모델을 생성하였다. 간략한 생성 절차는 Fig. 6 과 같다.

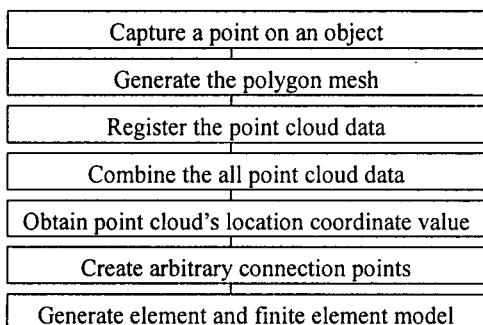


Fig. 6 Surface generation process (alternate method)

4.2.1 구형 대상체 3D scanning

3D scanner 를 이용하여 구형 대상체를 scanning 하여 점 군 데이터를 획득한다.



Fig. 7 Exyma ES-300 scanner

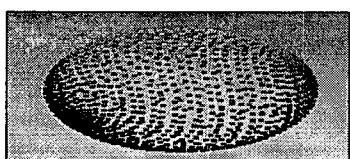


Fig. 8 Sphere scan data

4.2.2 점 군 데이터 위치정보 획득

3D scanner 를 이용하여 구형 대상체의 점 군 데이터 위치정보 값을 획득한 후 상용 유한요소프로그램을 이용하여 위치정보 값을 절점 값으로 전환시켜 입력한다.

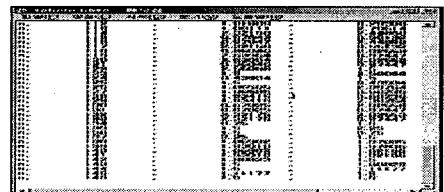


Fig. 9 Point cloud's location coordinate value

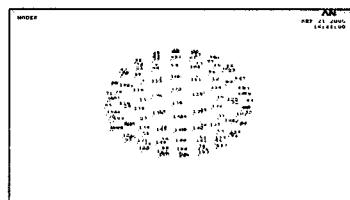


Fig. 10 Sphere input node data

4.2.3 임의의 연결 절점 생성

2D 모델의 경우 scan 된 점 군 데이터를 외부 절점 데이터로 변환시킨 후 절점을 연결하여 손쉽게 유한요소모델 생성 가능하나, 3D 모델의 경우 외부 절점뿐만 아니라, 내부의 절점과 연결시켜 체적형상을 표현해야 한다. 즉 3D scan 데이터로부터 변환된 초기 절점들은 외부 형상에 대해 위치 정보만을 가지고 있기 때문에 체적요소로 나타낼 수 없으며, 유한요소모델로 직접 사용이 불가능하다. 유한요소모델로 사용하기 위해서는 점 군 데이터로부터 전환된 외부 절점들 외에 내부 절점을 추가로 생성 시켜줘야 한다. 본 논문에서는 기존의 기하학적 요소 생성 방법 중 딜러니 삼각형 요소 생성 방법(delaunay triangulation method) 알고리즘을 확장하여 만든 Tetrahedral mesh generator 를 이용하여 내부의 추가적인 절점을 생성하였다. 이렇게 생성된 내부 절점과 이미 생성된 외부 절점을 연결하여 최종적인 요소를 생성하였다.^{11,12,13,14,15}

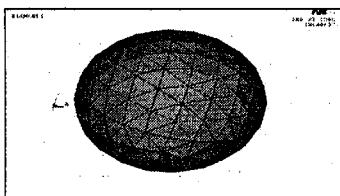


Fig. 11 Final finite element model



Fig. 12 Analysis result with arbitrary boundary condition

5. 직접유한요소모델 생성 방법 적용

직접유한요소모델 생성 방법의 효율성을 입증하기 위해 좀더 복잡한 자유곡면을 가진 인체의 뼈 및 기타 부품을 scan 한 후 직접유한요소모델 생성 방법을 이용하여 유한요소모델을 생성하였다.

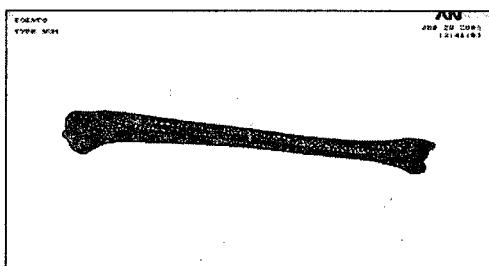


Fig. 13 Human bone node data

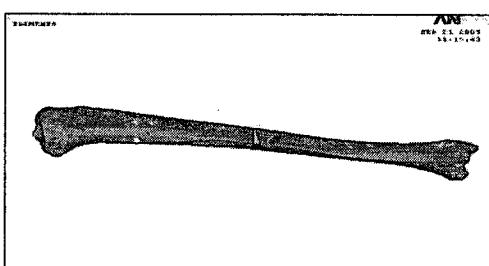


Fig. 14 Human bone finite element model I

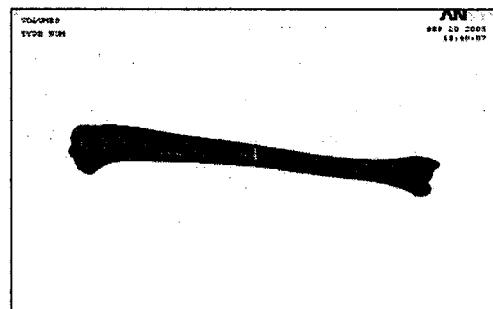


Fig. 15 Human bone finite element model II

6. 기존방법 vs 대체방법 비교

동일한 모델에 대해 기존의 유한요소생성 방법과 본 문에서 제시된 직접유한요소모델 생성 방법을 이용하여 유한요소모델을 생성할 경우의 모델 생성 프로세스를 비교하여 보면 아래의 Fig. 16과 같다.

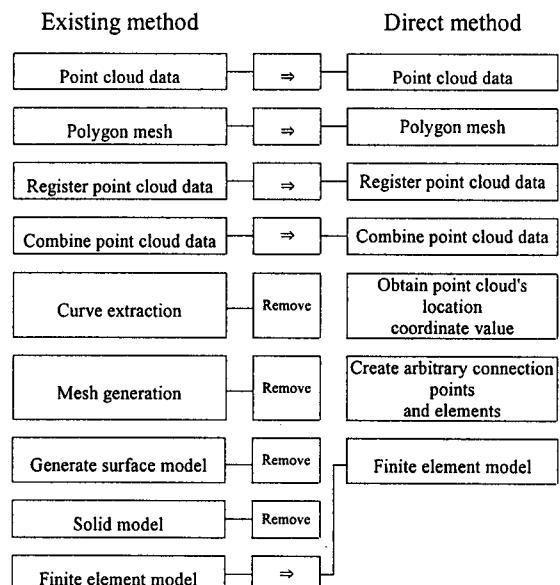


Fig. 16 Comparison between existing & direct method

Fig. 16에서 알 수 있듯이 직접유한요소모델 생성 방법은 기존의 생성 방법 프로세스 중 형상

에 오차를 가져올 수 있는 curve 생성 과정을 제거하고 점 군 데이터의 위치 좌표 값을 사용함으로써 초기 scan 데이터의 왜곡 없이 보다 정확한 유한요소모델생성이 가능하다. 또한 기존 방법에서 최종유한요소모델을 생성하기 위한 메쉬 생성 및 surface 과정을 제거함으로써 기존의 방법보다 짧은 시간 내에 유한요소모델 생성이 가능하다.

7. 결론

본 논문에서는 3D scan 데이터를 이용하여 직접 유한요소모델을 생성하는 방법에 대해 연구하였다. 본 논문에서 제시한 직접유한요소모델생성 방법은 도면이 없는 제품이나, 복잡하고 자유곡면이 많은 모델을 3D scanning을 통해 손쉽게 모델 생성 가능 할 뿐만 아니라, scanning 된 점 군 데이터를 유한요소모델의 절점 데이터로 직접 전환함으로써 단시간 내에 유한요소모델생성이 가능하며, 기존의 curve 생성 시 발생하는 해석모델의 오차를 점 군 데이터의 위치 좌표 값을 데이터 왜곡이 직접 사용함으로써 보다 정확한 유한요소모델생성이 가능하다.

후기

본 논문은 2004년도 인체대학교 학술연구조성비 보조에 의한 것임.

참고문헌

- Song, H. J., Jung, I. H., Lee, S. H., Park, T. W., Park, J. K., Lee, H., Cho, D. H., Kim, H. and Lee, M. K., "A Study on Structural Safety of a Urethane Wheel Using FEM," J. of the KSPE, pp. 1042-1047, 2004.
- Kim, B. W., Lee, K. S., Lee, H. Y. and Cho, H. W., "A Study on Stress Distribution in the Osseointegrated IMPLANT using Finite Element Method," J. of the KSPE, pp. 540-545, 1997.
- Flowers, J., "3D Laser Scanning in Technology Education," International Technology Education Association, Vol. 60, pp. 27 - 30, 2000.
- Kim, S. M., Lee, S. S., Kim, M. J., Jang, S. G. and Jeon, E. C., "A Study on 3D modeling using a 3D scanner and VisualLISP," J. of the KSPE, pp. 410-413, 2001.
- Levoy, M., Pulli, K., Curless, B., Rusinkiewicz, S., Koller, D., Pereira, L., Ginsberg, J., "The Digital Michelangelo Project: 3D Scanning of Large Statues," International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp. 131 – 1444, 2000.
- Kruth, J. P., "Reverse engineering modeling of free-form surface from point clouds subject to boundary condition," Journal of materials processing technology, Vol. 76, No. 1 – 3, pp. 120 – 127, 1998.
- Dey, T. and Goswami, S., "Tight Cocone: A Water-tight surface Reconstructor," Journal of Computing and Information science in Engineering, Vol. 3, No. 4, pp. 302 – 307, 2003.
- Witzgall, G. and Cheok, G., "Experience with Point Cloud Registration," National Institute of Standards & Technology, pp. 349 – 356, 2003.
- Mitra, N. and Nguyen, A., "Estimating Surface Normals in Noisy Point Cloud Data," Proceeding of The annual Symposium on Computational Geometry, Vol. 19, pp. 322 – 328, 2003.
- Yang, H. J., "Automation of Volume mesh generation form 3D Scanner coordinate data," Chosun University, pp. 1 – 115, 2003.
- Hang, S., "A 3D Delaunay Tetrahedral Mesh Generator Version 1.2 User's Manual," Weierstrass Institute for Applied Analysis and Stochastics, pp. 1 – 27, 2002.
- Borouchaki, H., "Delaunay mesh generation governed by metric specifications Part 1 Algorithms," Finite element in analysis and design, Vol. 25, No. 1, pp. 61-84, 1997.
- Dey, T. K., Giesen, J. and Hudson, J., "Delaunay Based Shape Reconstruction from Large Data," IEEE Symposium on Parallel and Large data Visualization and Graphics, pp. 19 – 28, 2001.
- Rodrigues, A., "Delaunay Surface Reconstruction form Scattered Points," Lecture Notes in Computer Science, pp. 272 – 283, 1999.
- Dey, T. K. and Zhao, W., "Approximate medial axis as a Voronoi subcomplex," Elasevier Science B. V., Amsterdam, pp. 195 – 202, 2004.