

CEMTool 환경에서 GUI 3차원 유한요소법 패키지

박정훈, 한세경, 권욱현
서울대학교 전기컴퓨터공학부

GUI 3D FEM Package in CEMTool Environment

Jung Hun Park, Sekyung Han, and Wook Hyun Kwon
School of Electrical Engineering and Computer Sciences, Seoul National University

Abstract - 유한요소법은 전자기, 기계, 또는 다른 공학 분야에서 다루는 풀기 어려운 복잡한 문제들을 해석하는데 널리 사용되고 있는 수치해석기법이다. CEMTool은 MATLAB과 유사한 과학기술 범용 패키지로서, 간편한 명령어 방식의 문법과 블록 다이어그램 설계, 이공학 전반의 함수 등의 다양한 기능들을 제공한다. 본 논문에서는 범용 공학 소프트웨어인 CEMTool 환경에서 실행되는 GUI 3D FEM 패키지에 대해 기술한다. FEM 해석의 일반적 단계인 전처리, 솔버, 후처리 단계별로 나누어 각 단계의 구조와 특징 등을 기존의 CEMTool 2D FEM 패키지, MATLAB PDE Toolbox, FEMLAB2.2와 비교하여 자세히 살펴보기로 한다.

1. 서 론

유한요소법(Finite Element Method, FEM)은 복잡하고 풀기 어려운 이공학 문제들을 쉽게 해석할 수 있는 잘 알려지고 유용한 수치해석 기법 중 한 가지이다. 유한요소법은 해석하기 어렵고 복잡한 모델이 있어서 다른 유사한 수치해석 기법인 유한차분법(Finite Difference Method, FDM)이나 유한체적법(Finite Volume Method, FVM)보다 문제에 적용하여 사용하기 쉬운 장점이 있다. 그래서 현재 이러한 유한요소법은 구조, 기계, 열전달, 유체해석 등과 같은 공학 분야의 문제에 적용될 뿐만 아니라 다른 다양한 이공학 분야에 널리 사용되고 있다. 또한 오늘날 컴퓨터 기술의 급속한 발달은 이러한 수치해석 기법들이 앞서 말한바와 같이 복잡한 문제에 해당하는 큰 행렬식 연산을 더욱 빠르게 가능하게 할 뿐만 아니라 그 결과 또한 편리하게 컴퓨터를 이용하여 도시할 수 있는 기능을 제공하였다. 마찬가지로 유한요소법 또한 이러한 컴퓨터 기술의 급속한 발달로 한층 강화된 강력한 수치해석기법으로 이용되고 있다. 현재 전자기, 구조, 기계, 열전달, 유체해석 등을 위해 개발된 유한요소해석 패키지가 다수 존재하고 있다. 그들 중 어느 특정분야에 적용되는 패키지가 아닌 범용과학기술 패키지의 일종으로 MATLAB은 전 세계적으로 잘 알려진 수학 및 공학 연산을 수행할 수 있는 범용과학기술 패키지이다. 이러한 MATLAB의 가능 중 편미분 방정식의 해를 구할 수 있는 투박스 형태의 패키지로써 MATLAB PDE Toolbox는 유한요소법을 이용하여 2차원 공간에서 표면되는 편미분 방정식의 해를 구하고 분석하는 기본적인 기능들을 포함하고 있다 [1]. MATLAB PDE Toolbox에선 명령어 실행 함수나 그래픽 사용자 인터페이스 (Graphic User Interface, GUI) 방식을 사용하여 공학 및 과학 분야의 응용문제 중 일부분을 편미분 방정식으로 수학적 모델링하여 해석할 수 있는 기능을 제공한다.

이와 유사하게 강력한 범용과학기술 수치해석 패키지로써 CEMTool은 과학기술적 연산을 위한 유연한 환경을 제공하는 수치해석 기능과 그 해석 결과를 사용자에게 편리하게 보여주는 도시기능 및 프로그래밍하기 편리한 고급 프로그래밍 언어를 제공한다 [2,3]. 또한 CEMTool은 사용자가 이용하기 편리한 구조를 가지고 있으며 다양한 툴박스 형태의 정보처리기능 및 알고리즘 개발기능을 가지고 있어 보다 직관적이며 다른 언어의 프로그램과 경쟁할 수 있는 좋은 장점을 가지고 있다 [4,5]. MATLAB에서 제공하는 MATLAB PDE Toolbox와 유사하게 CEMTool은 CEMTool 2D FEM Toolbox를 개발 완료하였다. 개발되어진 CEMTool 2D FEM Toolbox는 기존의 MATLAB PDE Toolbox에 존재하는 몇몇 불편하거나 부족한 점들을 개선하였다. 그래서 MATLAB PDE Toolbox와 비교하여 보면 CEMTool 2D FEM Toolbox는 보다 빠른 연산속도와 보다 정확한 결과를 보장한다. 특별히 CEMTool 2D FEM Toolbox를 사용하면 교육용뿐만 아니라 실제 산업현장에서 사용되는 복잡한 모터의 해석까지도 가능하다 [6,7,8]. 이 논문에서는 기존에 개발된 CEMTool 2D FEM Toolbox와 다른 새로운 CEMTool GUI 3D FEM Toolbox 개발에 대해 소개하도록 한다. 이번에 새롭게 개발된 CEMTool GUI 3D FEM Toolbox은 기존과 달리 복잡한 3차원 모델을 해석할 수 있다. CEMTool GUI 3D FEM Toolbox는 크게 세 부분으로 나누어 개발되었다. 각각은 전처리기, 솔버, 후처리기이다. 전처리기는 우선적으로 유한요소해석에 필요한 3차원 모델을 모델링하거나 입력하는 단계이다. 따라서 CEMTool GUI 3D FEM Toolbox의 전처리기는 기본적으로 간단한 6가지의 3차원 모델을 모델링할 수 있다. 또한 추가적으로 복잡한 3차원 모델의 입력을 위한 상용 CAD 소프트웨어와 호환할 수 있는 인터페이스 기능을 가지고 있다. 따라서 이런 기능을 활용하여 상용 CAD 프로그램에서 모델링한 형상의 3차원 모델을 손쉽게 입력할 수 있다. 그리고 전처리 단계에선 유한요소법을 적용할 수 있게 자동 메쉬 생성 기능을 제공할 뿐만 아니라 사용자 편의성을 고려한 다양한 경계 및 하중

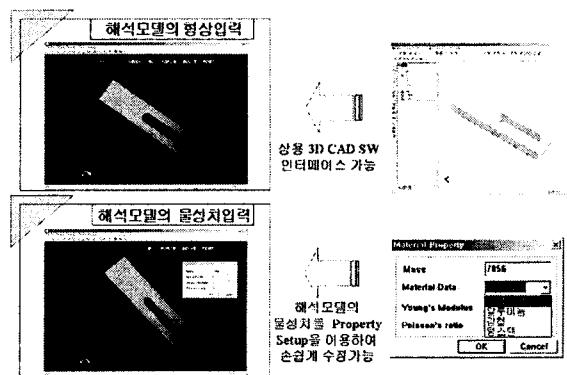
조건 부여 기능을 포함하고 있다. 솔버 단계에선 이전 단계인 전처리 단계에서 입력되어진 3차원 모델의 문제를 유한요소해석을 할 수 있도록 선형대수 방정식으로 변형하여 그 해를 구할 수 있는 기능을 제공한다. 이에 개발되어진 CEMTool GUI 3D FEM Toolbox는 다양한 해석기법을 제공하여 시간에 대해 정적인 문제뿐만 아니라 동적인 문제를 풀 수 있다. 특별히 정적 문제를 해석하기 위해 gauss-jordan elimination solver, band solver, skyline solver 기능을 제공하고 있다. 또한 동적 문제를 해석하기 위해 inverse power solver, newmark scheme solver 기능을 제공하고 있다. 또한 CEMTool GUI 3D FEM Toolbox의 솔버는 node renumbering과 같은 최적화 알고리즘을 적용하여 보다 짧은 연산시간과 보다 효율적인 메모리 사용을 보장하고 있다. 마지막으로 후처리 단계에선 솔버 단계에서 해석되었던 결과를 효과적으로 도시할 수 있는 강력한 기능을 제공한다. 정적 해석 후 나온 변위결과 및 응력분포결과를 도시할 수 있을 뿐만 아니라 동적 해석 후 나온 시간에 따른 변위결과를 애니메이션으로 도시할 수 있어 사용자에게 해석결과를 보다 효과적으로 이해시킬 수 있다. 결과적으로 새롭게 개발되어진 CEMTool GUI 3D FEM Toolbox 기준의 CEMTool 2D FEM Toolbox나 MATLAB PDE Toolbox와 달리 3차원으로 모델링 되는 다양한 공학 문제들을 해석할 수 있다.

2절에서는 CEMTool GUI 3D FEM Toolbox 중 전처리기에 대해 설명할 것이다. 그리고 3절에서는 CEMTool GUI 3D FEM Toolbox 중 솔버에 대해 논의하도록 한다. CEMTool GUI 3D FEM Toolbox 중 후처리기는 4절에서 이야기하도록 한다. 마지막으로 5절에서 이 논문의 결론을 정리한다.

2. 본 론

2.1 CEMTool GUI 3차원 유한요소해석 전처리기

CEMTool GUI 3D FEM Toolbox 중 전처리기는 사용자가 해석하고자 하는 실제 3차원 형상모델의 모델링 기능이 요구된다. 또한 입력되어진 3차원 형상모델의 물성정보, 외부하중정보, 경계조건 등이 전처리기를 통해 사용자가 쉽게 입력할 수 있어야 한다. 이렇게 입력되어진 정보들을 이용하여 유한요소해석을 위해서는 입력되어진 3차원 형상모델을 각각의 요소별로 나누는 메쉬 생성 작업을 거쳐야 실제적으로 유한요소법을 적용할 수 있다. 따라서 이와 같은 작업을 사용자가 손쉽게 할 수 있도록 CEMTool GUI 3D FEM Toolbox 전처리기는 다양한 기능을 제공할 수 있다. 우선 기본적으로 간단한 6가지의 3차원 모델(육면체, 원기둥, 프리즘, 원뿔, 구, 도넛)을 모델링할 수 있다. 또한 추가적으로 복잡한 3차원 모델의 입력을 위한 상용 CAD 소프트웨어와 호환할 수 있는 인터페이스 기능을 가지고 있다. 따라서 이런 기능을 활용하여 상용 CAD 프로그램에서 모델링한 복잡한 형상의 물성치(포아송비, 영률)를 입력하기 쉽도록 물성치를 데이터베이스화하여 제공하고 있다. <그림 1>은 이러한 전처리기 기능을 이용하는 간단한 예제를 보여주고 있다.



<그림 1> 상용 CAD 프로그램 호환성 및 물성치 데이터베이스

또한 유한요소법을 적용할 수 있게 자동 메쉬 생성 알고리즘을 이용하여

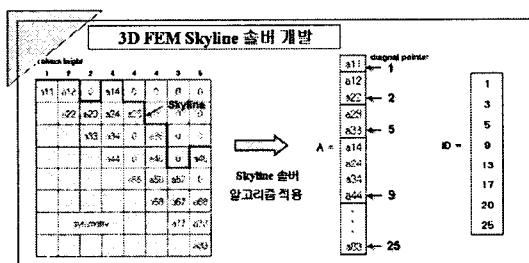
손쉽게 사면체 요소를 생성할 수 있고 사용자 편의성을 고려한 다양한 경계 및 하중조건 부여기능(점, 면)을 포함하고 있다. <그림 2>은 이러한 전처리기 기능을 이용하는 간단한 예제를 보여주고 있다.



<그림 2> 자동 메쉬 생성 알고리즘 및 경계/하중조건 부여기능

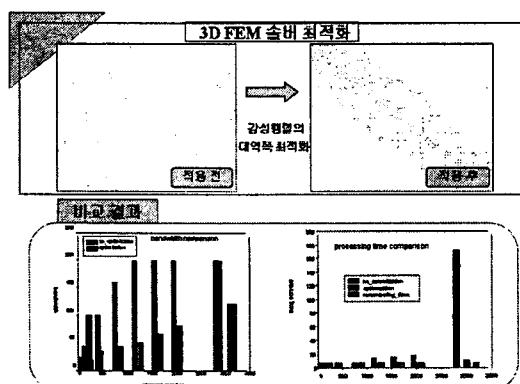
2.2 CEMTool GUI 3차원 유한요소해석 솔버

CEMTool GUI 3D FEM Toolbox 중 솔버는 이전 단계인 전처리기를 통하여 입력되어진 3차원 형상모델의 문제를 유한요소해석을 할 수 있도록 각 요소별로 선형대수행렬식으로 변형한 후 요소별 행렬 방정식을 하나로 합치는 과정을 통해 하나의 선형대수행렬 방정식으로 바꾸는 작업을 수행하게 된다. 이러한 과정 중에 큰 행렬 방정식을 풀기 위해 많은 시간과 메모리가 필요하게 되는데 이것을 최소화할 수 있는 다양한 방법을 고려하여 새롭게 CEMTool GUI 3D FEM Toolbox 솔버를 개발하였다. 솔버는 크게 두 가지 분류로 나누어 볼 수 있다. 하나는 시간에 무관한 정적해석 솔버이고, 나머지 하나는 시간에 따른 동적해석 솔버이다. 우선 정적해석 솔버로는 gauss-jordan elimination solver, band solver, skyline solver 기법을 제공하고 있다. 특별히 skyline solver 기법은 쓸데없는 정보들을 제거하여 행렬식을 구성하는데 있어 최소한의 메모리를 사용하는 방법 중의 하나이다. <그림 3>은 skyline solver 기법을 적용하는 간단한 예제를 보여주고 있다.



<그림 3> skyline solver 알고리즘

CEMTool GUI 3D FEM Toolbox의 솔버는 node renumbering과 같은 솔버 최적화 알고리즘을 적용하여 보다 짧은 연산시간과 보다 효율적인 메모리 사용을 보장하고 있다. <그림 4>는 솔버 최적화 알고리즘 적용 전과 후의 비교결과를 보여주고 있다.



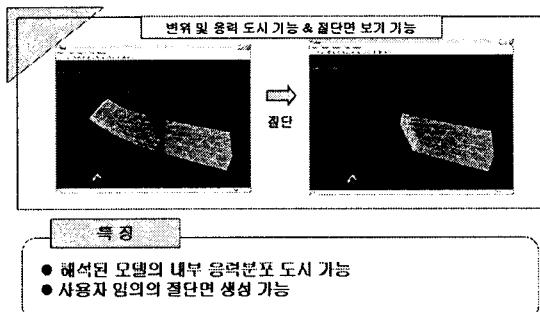
<그림 4> 제솔버 최적화 알고리즘

위 그림을 통해 알 수 있듯이 솔버 최적화 알고리즘 적용 전과 후에 소요되는 연산 시간과 사용되는 메모리의 양에 상당히 큰 차이를 보여주고 있다. 따라서 node renumbering을 통하여 솔버를 최적화함으로써 보다 짧은 시간에 메모리를 효율적으로 사용하여 해석결과를 도출할 수 있다.

또한 CEMTool GUI 3D FEM Toolbox의 솔버는 동적 문제를 해석하기 위해 inverse power solver, newmark scheme solver 기법을 제공하고 있다. inverse power solver 기법은 진동수 해석에서 입력되어진 3차원 형상의 고유치와 고유벡터를 구하는데 사용되고 newmark scheme solver 기법은 시간이력해석에 사용되어 시간에 따른 3차원 형상의 거동을 해석할 수 있다. 앞으로 추가적인 작업을 수행하여 CEMTool GUI 3D FEM Toolbox의 솔버에 열응력해석, 비선형해석, 좌굴해석 등과 같은 다양한 해석기법을 추가할 예정이다.

2.3 CEMTool GUI 3차원 유한요소해석 후처리기

CEMTool GUI 3D FEM Toolbox 중 후처리기는 앞선 솔버 단계를 통해 얻어진 해석결과를 사용자 편의성 및 이해력을 높기 위해 다양한 그래픽 기능을 이용하여 도시할 수 있는 기능을 제공한다. 정적해석을 통해 해석되어진 3차원 형상의 변위 및 응력분포 결과를 효과적으로 나타낼 수 있다. 또한 CEMTool GUI 3D FEM Toolbox 후처리기는 임의의 절단면 생성 알고리즘 기능을 개발하여 해석된 3차원 형상의 내부 응력분포 결과를 손쉽게 도시할 수 있다. 그리고 동적해석을 통해 얻어진 시간에 따른 3차원 형상모델의 변위거동을 3차원 애니메이션 기능을 사용하여 사용자 이해를 더욱 도울 수 있다. <그림 5>는 이러한 후처리기 기능을 사용하는 간단한 예제를 보여주고 있다. 추가적으로 모든 해석되어진 결과 데이터는 엑셀과 같은 외부 프로그램과 호환성을 가질 뿐만 아니라 CEMTool과 호환하여 다양한 데이터처리 작업을 수행하여 분석할 수 있다.



<그림 5> 후처리기를 통한 해석결과도시

3. 결 롬

본 논문에서는 새롭게 개발되어진 CEMTool GUI 3D FEM Toolbox에 대해서 알아보았다. CEMTool GUI 3D FEM Toolbox는 기존의 CEMTool 2D FEM Toolbox와 MATLAB PDE Toolbox가 가지고 있던 단점을 보완하여 새로운 전처리기, 솔버 후처리기를 제공한다. 따라서 개발되어진 전처리기, 솔버 후처리기를 사용하여 다양한 공학 문제를 보다 편리하게 접근할 수 있을 것이다. 특별히 구조해석에서 실제 존재하는 3차원 형상을 모델링에서부터 해석까지 할 수 있을 것으로 기대되는 바이다.

[참 고 문 헌]

- [1] The Mathworks, Inc., Partial Differential Equation Toolbox : User's Guide, 2002.
- [2] S. H. Han, S. K. Choi, K. H. Lee, J. S. Lee, and W.H. Kwon, The implementation and the application of CEMTool, In the proceedings of the 14th KACC, 1999.
- [3] W. H. Kwon, K. B. Kim, S. K. Choi, H. J. Kim, and S.H. Han, The technical trend and the practical application of the real-time control system design in CEMTool, ICASE Magazine, vol. 5, pp. 18-26, 1999.
- [4] W. H. Kwon, K. B. Kim, and S. G. Choi, Control system design and analysis with CEMTool for control education, Transaction on Control, Automation, and Systems Engineering, March 2001.
- [5] W. H. Kwon, K. B. Kim, and S. G. Choi, Control system design and analysis with SIMTool and CEMTool for control education, Transaction on Control, Automation, and Systems Engineering, March 2000.
- [6] C. K. Ahn and W. H. Kwon, Generalized command-mode finite element method toolbox in CEMTool, Proc. Int. Conf. on Control, Automation and Systems, 2003.
- [7] C. K. Ahn, S. H. Han, and W. H. Kwon, An equation based approach to the implementation of generalized PDE solver in CEMTool, Proc. Int. Conf. on Computer Applications in Industry and Engineering, Las Vegas, USA, 2003.
- [8] C. K. Ahn, S. H. Han, and W. H. Kwon, The development of finite element method package in CEMTool, In IEEE CCA/ISIC/CACSD, Taipei, Taiwan, 2004.