

# Survey of Finite Element Method-Based Real-Time Simulations

[https://www.researchgate.net/publication/334380044\\_Survey\\_of\\_Finite\\_Element\\_Method-Based\\_Real-Time\\_Simulations](https://www.researchgate.net/publication/334380044_Survey_of_Finite_Element_Method-Based_Real-Time_Simulations)

## 0. Introduction

- 유한 요소법(FEM)은 구조 해석 분야에서 가장 강력하고 효율적인 수치 해석 방법으로 자리매김
- 전통적인 FEM은 오프라인(off-line) 방식으로 수행되며 복잡한 구조물의 해석에 널리 사용
- 하드웨어 기술의 발전으로 인해 실시간(real-time) FEM 시뮬레이션의 가능성이 대두

## 1. Overview

- FEM은 구조물의 복잡한 기하학과 다양한 경계 조건을 효율적으로 모델링하고 시뮬레이션할 수 있는 수치 해석 방법
- 전통적인 FEM 해석은 모델 준비, 해석기 실행, 결과 분석의 세 단계로 구성, 오프라인에서 발생
- 하드웨어 성능의 향상으로 인해 FEM을 실시간으로 수행하려는 시도가 증가

## 2. Challenges

- 계산 복잡성 : FEM은 고차원 행렬 연산을 포함, 실시간 해석을 위해서는 계산 효율성이 필수
- 모델 크기 : 복잡한 구조물의 경우, 모델 크기가 매우 커져 실시간 해석이 어려움
- 정확도 유지 : 실시간 해석을 위해 근사 방법을 사용할 경우, 해석 정확도를 유지하는 것이 도전 과제

## 3. Taxonomy of Methods

### 1. 모델 차원 축소 (Model Order Reduction) :

- 고차원 시스템을 저차원으로 축소하여 계산 효율성을 향상
- 대표적인 기법 : Proper Orthogonal Decomposition (POD), Balanced Truncation 등

### 2. 병렬 처리 및 GPU 활용 :

- 병렬 컴퓨팅 환경을 활용하여 대규모 FEM 해석을 실시간으로 수행
- GPU를 이용한 가속화 기법이 널리 연구

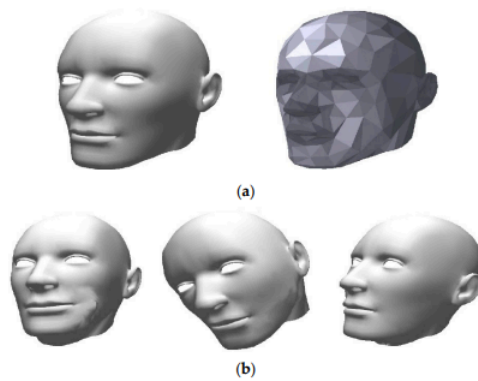
### 3. 하드웨어 최적화 :

- FPGA나 ASIC과 같은 특수 하드웨어를 사용하여 FEM 계산을 최적화
- 실시간 응용을 위한 하드웨어 설계가 중요

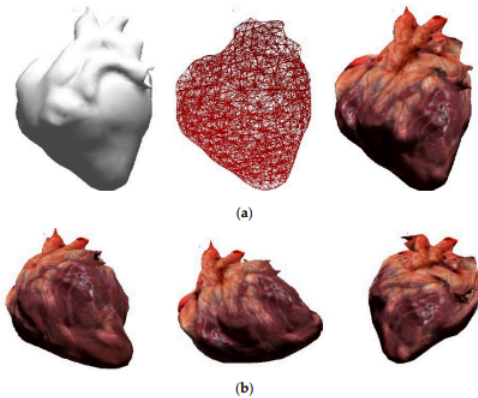
### 4. 근사 해석 기법 :

- FEM의 근사 해석을 통해 계산 시간을 단축시키는 방법
- 예 : Reduced Basis Methods, Neural Networks 기반 근사 모델 등

## 4. Applications / Case Studies



**Figure 3.** Human head model: (a) Geometry and the surface representation of the FE mesh; (b) screenshots from an interactive simulation [72].



**Figure 4.** Heart model: (a) Geometry, FE mesh, and texture; (b) screenshots from an interactive simulation [72].

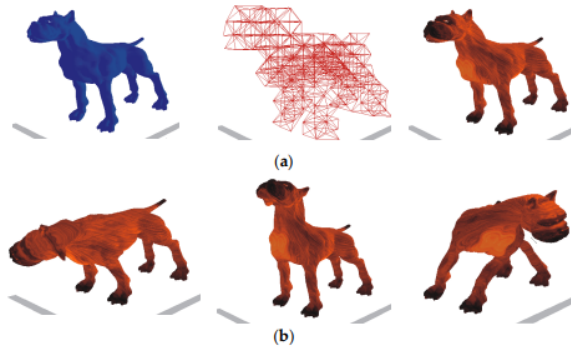


Figure 5. Dog model: (a) Geometry, FE mesh, and texture; (b) screenshots from an interactive simulation [7].

- 의료 시뮬레이션 :
  - 수술 훈련 및 계획을 위한 실시간 생체 해석 시뮬레이션에 FEM이 활용
  - 예 : 심장, 두개골, 근육 조직 등의 FEM 기반 시뮬레이션
- 산업 분야 :
  - 자동차, 항공, 건축 등 다양한 산업 분야에서 FEM 기반 실시간 시뮬레이션이 적용
  - 예 : 충돌 해석, 구조 최적화, 진동 분석 등
- 가상 현실(VR) 및 증강 현실(AR) :
  - 실시간 FEM 시뮬레이션을 VR/AR 환경에 통합하여 몰입감 있는 경험을 제공
  - 예 : 가상 건축 투어, 시뮬레이션 기반 게임 등

## 5. Results & Comparisons

- 계산 시간 단축 : 다양한 기법을 적용하여 FEM 해석의 계산 시간을 획기적으로 단축
- 정확도 유지 : 근사 기법을 사용하더라도 해석 정확도를 일정 수준 이상 유지
- 응용 분야 확대 : 실시간 FEM 시뮬레이션의 발전으로 인해 다양한 분야에서의 응용이 가능

## 6. Insight / Future Directions

- 인공지능(AI)과의 융합 :
  - AI 기반 모델링 및 해석 기법을 FEM에 통합하여 더욱 효율적인 실시간 시뮬레이션이 가능
  - 예 : 머신 러닝을 통한 모델 예측, 최적화 문제 해결 등
- 하드웨어 발전에 따른 기회 :
  - 차세대 하드웨어 기술의 발전에 따라 FEM 기반 실시간 시뮬레이션의 성능이 더욱 향상
  - 예 : 양자 컴퓨팅, 차세대 GPU/TPU 등

- 산업 표준화