

슈퍼컴퓨팅 기반의 대규모 구조해석을 위한 전/후처리 시스템 개발

김재성^{1†} · 이상민² · 이재열³ · 정희석² · 이승민⁴

¹한국과학기술정보연구원 정보화전략실, ²한국과학기술정보연구원 중소기업정보지원센터,
³전남대학교 산업공학과, ⁴한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨팅센터

Development of Pre- and Post-processing System for Supercomputing-based Large-scale Structural Analysis

Jaesung Kim^{1†}, Sang Min Lee², Jae Yeol Lee³, Heeseok Jeong², and Seungmin Lee⁴

¹Dept. of Informatization Strategy, Korea Institute of Science and Technology Information,

²SMB Knowledge Support Center, Korea Institute of Science and Technology Information

³Dept. of Industrial Engineering, Chonnam National University

⁴Supercomputing Center, Korea Institute of Science and Technology Information

Received 20 September 2011; received in revised form 21 February 2012; accepted 6 March 2012

ABSTRACT

The requirements for computational resources to perform the structural analysis are increasing rapidly. The size of the current analysis problems that are required from practical industry is typically large-scale with more than millions degrees of freedom (DOFs). These large-scale analysis problems result in the requirements of high-performance analysis codes as well as hardware systems such as supercomputer systems or cluster systems. In this paper, the pre- and post-processing system for supercomputing based large-scale structural analysis is presented. The proposed system has 3-tier architecture and three main components; geometry viewer, pre-/post-processor and supercomputing manager. To analyze large-scale problems, the ADVENTURE solid solver was adopted as a general-purpose finite element solver and the supercomputer named 'tachyon' was adopted as a parallel computational platform. The problem solving performance and scalability of this structural analysis system is demonstrated by illustrative examples with different sizes of degrees of freedom.

Key Words: ADVENTURE, CAE, Large-scale, Structural analysis, Supercomputing

1. 서 론

제품개발기간의 단축을 통한 빠른 시장진입은 글로벌 제품경쟁력 확보를 위한 핵심 요소로 간주된다. 특히, 다변화 되어가고 있는 국제 시장환경

에서의 생존을 위하여 '첨단 IT기술과 설계/제조 기술의 활용'을 통해 기존 생산방식의 혁신을 도모하고 이를 바탕으로 우수한 제품을 양산하는 것이 기업의 핵심 전략으로 제시되고 있다. 이러한 추세에 힘입어 대기업, 글로벌 기업들을 중심으로 제품의 양산 이전에 시공간적인 제약조건을 뛰어넘어 가상공간에서 제품의 설계 및 생산과 관련한 일련의 작업들을 수행하는 새로운 형태의 설계/제

[†]Corresponding Author, jaesungkim@kisti.re.kr
©2012 Society of CAD/CAM Engineers

조 환경을 적극적으로 도입하여 실용화에 주력하고 있는 것은 주지의 사실이다.

유한요소해석 등과 같은 전산기법에 근거한 CAE(Computer-Aided Engineering) 시스템들은 이러한 새로운 제품 설계/제조환경의 구축에 있어서 핵심적인 도구로 활용되고 있다. 일반적으로 CAE 시스템은 컴퓨터를 통해 모델링된 가상의 공간에서 설계 및 해석(Simulation)을 수행함에 따라 기존의 오프라인에서의 물리적 실험·테스트 활동을 최소화하고 디지털화된 환경에서 설계 및 검증을 가능하게 한다. 따라서 제품개발에 소요되는 시간과 비용을 절감하고 제품에 대한 설계기술을 향상시킬 수 있어 제조업체의 생산성 제고에 크게 기여하고 있다. 현재까지 다양한 구조해석 시스템이 개발되어 왔으며 부품의 설계에서부터 건축물의 설계, 나아가 지진과 같은 자연현상의 예측과 분석에 이르기까지 매우 광범위한 분야에 성공적으로 활용되고 있다.

한편 IT 기술의 진화, 사용자 요구의 다양화, 제품 구조의 복잡화 등으로 인하여 효율적인 제품설계와 해석에 요구되는 계산자원의 규모는 지속적으로 증가하고 있는 추세에 있다^[1]. 특히 대형 조립품에 대한 비선형 구조해석이나 대규모 유체해석 혹은 유체-구조 연성해석(FSI: Fluid-Structure Interaction)과 같은 고난이도의 공학해석을 수행하기 위해서는 수 십만개에서 수 억개에 이르는 격자(mesh)의 생성과 처리가 요구되는 것이 일반적이다. 이러한 대규모의 해석문제를 현장에서 요구하는 시간 내에 처리하기 위해서는 병렬성능이 높은 CAE 프로그램의 활용은 물론 소규모 클러스터 혹은 거대규모의 계산문제를 다룰 수 있는 슈퍼컴퓨터와 같은 계산자원의 활용이 요구되고 있다^[1,2,4].

현재 산업에서 널리 활용되고 있는 ABAQUS,

NASTRAN 등과 같은 범용 구조해석프로그램들은 수백만개 이상의 미지수를 가지는 대형 구조해석 문제의 경우에는 상대적으로 계산 성능이 떨어지는 것으로 알려져 있다^[3,4]. 따라서 그동안 수 백만개에서 수 억개의 미지수를 가지는 대형 구조해석 문제의 해결을 위한 다양한 기법과 프로그램들이 개발되어 왔다. 이러한 프로그램들은 일반적으로 반복적 방식과 직접적 방식을 통하여 연립방정식의 해를 구하는데 반복적 방식을 취하는 프로그램으로는 영역분할기법(Domain Decomposition Method)을 바탕으로 하는 ADVENTURE^[4,6], GeoFEM^[7], Salinas^[8] 등이 대표적이며 직접적 방식으로는 다중프론트기법(Multifrontal Solution Method)에 기반한 IPSAP^[2,9,10]가 대표적이다^[3].

본 논문에서는 ADVENTURE 구조 해석기(ADV_solid)를 바탕으로 중/소규모 문제는 물론 수 백만개 이상의 미지수를 가지는 대규모 구조해석 문제를 슈퍼컴퓨터를 활용하여 효과적으로 처리하기 위한 전/후처리(Pre-/Post-process) 시스템을 개발하였다. 제안된 시스템은 형상뷰어(Geometry Viewer)와 전/후처리기, 그리고 슈퍼컴퓨팅 관리자(Supercomputing Manager)의 3가지 핵심모듈로 구성된다. 본 시스템은 오픈소스를 기반으로 개발되었으며 3-Tier의 개방형 구조를 가지고 있어 적은 투자비용으로 고가의 공학해석프로그램과 슈퍼컴퓨터를 활용할 수 있도록 설계되었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 3-Tier 구조에서 각 계층(Layer)의 기능과 제안된 시스템의 기반이 되는 ADVENTURE 구조 해석기와 슈퍼컴퓨터 4호기 타키온(Tachyon) 시스템을 살펴본다. 3장에서는 제안된 해석시스템의 핵심 모듈 구현을 위한 방법론과 개발결과 등을 다룬다. 4장에서는 개발된 시스템의 적용 사례와 시스템 성능을 살펴보고 마지막으로 5장에서는 결론과 향후 과제를 제안하였다.

2. 시스템 구성 개요

2.1 기반 구성요소

2.1.1 ADVENTURE Project

언급한 바와 같이, 제안된 시스템에서는 대규모 구조해석 문제를 처리하기 위한 범용 해석기로 ADVENTURE 구조 해석기를 활용하고 있다. ADVENTURE(ADVanced Engineering analysis

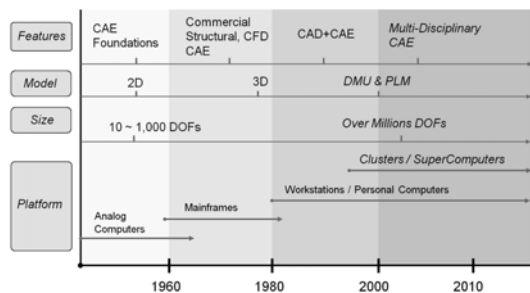


Fig. 1 The needs of HPC resources^[1]

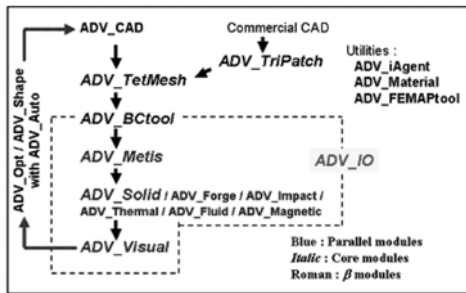


Fig. 2 The overview of ADVENTURE

Tool for Ultra large REal world) 프로젝트는 슈퍼 컴퓨터와 같은 초고성능 계산자원에 최적화되어 거대규모 문제를 효율적으로 다룰 수 있는 범용 공학해석시스템의 개발을 목적으로 하고 있다. 1998년부터 일본 동경대학교의 ADVENTURE 그룹을 중심으로 개발이 추진되고 있으며 현재도 시스템의 핵심모듈에 대한 성능개선이 꾸준히 진행되고 있다^[4,6]. 현재까지 1억개까지의 자유도(DOF: Degrees Of Freedom)를 가지는 임의의 형상에 대한 구조, 열, 유체 등 다양한 공학해석은 물론 구배기반법, 유전자알고리즘에 기반한 설계 최적화를 지원한다. Fig. 2는 ADVENTURE 프로그램의 전반적인 개요를 나타내고 있다.

그림에서 알 수 있듯이 ADVENTURE는 다양한 해석기(ADV_Solid, ADV_Fluid 등) 외에 전/후처리를 위한 여러 모듈을 가지고 있다. 하지만 ADVENTURE 프로그램은 리눅스 환경을 기반으로 개발되어 해석을 위한 제반과정에서 이용자에 의한 컨맨드와 스크립트의 처리가 요구되며 형상 데이터로 IGES 형식만을 지원하는 등 일반 이용자들이 사용하기에는 다소 불편한 점들이 존재한다. 따라서 본 논문에서는 ADVENTURE의 여러 모듈 중 병렬연산을 위한 영역분할(Hierarchical Domain Decomposition, ADV_Metis) 모듈과 구조해석(ADV_Solid) 모듈을 슈퍼컴퓨터에 설치하고 2.2절에서 제안된 3-Tier 구조에서 서버계층의 구조해석기를 원격에서 활용하기 위한 전/후처리 시스템을 개발하였다.

2.1.2 Tachyon 시스템

타키온시스템은 한국과학기술정보연구원(KISTI, Korea Institute of Science and Technology Information)에 구축되어 있으며 세계 Top500 리스트(2011년 11월 기준)에 37위^[11]로 등재된 슈퍼

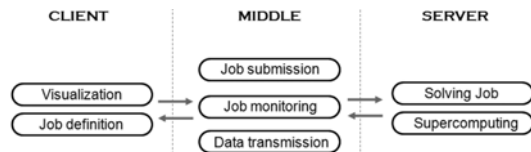


Fig. 3 3-Tier architecture

컴퓨터이다. 타키온시스템은 약 2만 8천개의 계산 코어를 가지는 초병렬 클러스터시스템(SUN Blade 모델)으로 약 324TFlops의 계산성능을 가지고 있다^[12]. 타키온시스템은 본 시스템에서 대규모 구조 해석을 위한 허부 기반인프라로 활용되고 있으며 2.1.1항에서 언급된 ADVENTURE 영역분할 모듈과 구조해석 모듈을 사용자의 요청에 따라 구동하는 기능을 수행한다.

2.2 3-Tier Architecture

제안된 공학해석 시스템은 Fig. 3과 같은 클라이언트/미들/서버계층으로 구성되는 3-Tier 구조를 가지고 있다. 클라이언트 계층은 서버(타키온시스템)의 활용이 필요한 요소 모듈(ADV_Metis, ADV_solid)에서 필요로 하는 정보를 정의(Pre-processing)하고 서버로부터 얻어진 결과를 분석(Post-processing)하는 기능을 담당한다. 즉, 클라이언트 계층은 사용자가 직접 활용하는 말단 프로그램(End-user program)으로서 제품의 형상이나 해석결과를 가시화하고 FEA(Finite Element Analysis) 모델을 생성하는 등의 문제를 정의하는 역할을 수행한다. 본 시스템의 핵심모듈들 중 형상부여와 전/후처리기는 클라이언트 계층에 해당한다.

미들계층은 클라이언트와 서버계층간의 데이터 교환과 통신기능을 담당한다. 클라이언트 계층에서 정의된 데이터를 타키온시스템에 설치된 해석기에 자동으로 전송하여 타키온시스템을 구동시킨 후 구동이 완료되면 얻어진 결과데이터를 클라이언트 계층으로 재전송하는 역할을 담당한다. 개발된 시스템에서 슈퍼컴퓨팅 관리자가 미들계층에 해당한다. 마지막으로 서버계층은 타키온시스템의 계산자원을 활용하여 클라이언트와 미들계층으로부터 요청된 작업(Job)을 일괄 처리하는 기능을 수행한다.

3. 전/후처리 시스템

제안된 전/후처리 시스템은 크게 형상부여, 전/

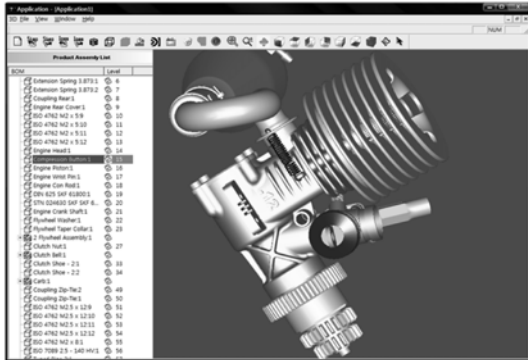


Fig. 4 Geometry Viewer

후처리기, 슈퍼컴퓨팅 관리자의 3가지 핵심모듈들로 구성되며 각 모듈의 세부사항은 다음과 같다.

3.1 Geometry Viewer

형상뷰어는 Fig. 4와 같이 구조해석을 위한 형상데이터(CAD)를 읽고 가시화하는 기능을 담당한다. 대부분의 CAD 시스템과 마찬가지로 IGES와 STEP AP203/AP214의 중립포맷을 지원하고 있다.

형상뷰어는 개방형 솔리드커널인 오픈캐스케이드(Open CASCADE)^[13]를 활용하여 개발되었으며 STEP 파일의 조립구조를 분석하여 특정 모델에 대한 BOM(Bill of Material)과 연계되는 조립목록 정보를 생성하여 트리형태로 가시화한다. 본 형상뷰어는 격자(Mesh) 생성 등에 활용되는 전처리기와 형상정보를 공유하며 공학해석 뿐만아니라 형상의 탐색과 색상, 재질변경 등의 편집기능을 지원함에 따라 추후 대규모 렌더링을 위한 클라이언트 프로그램으로도 활용될 예정이다.

3.2 Pre - / Post-processor

전처리기는 형상정보로부터 격자생성, 경계조건

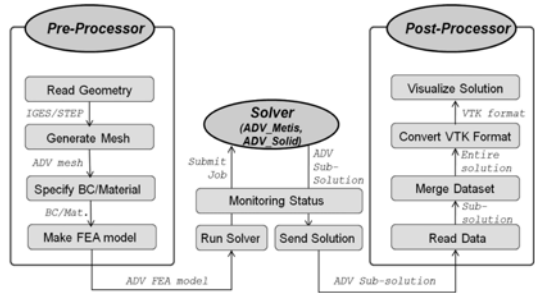


Fig. 5 The Overall Process of Pre-/Post-processor

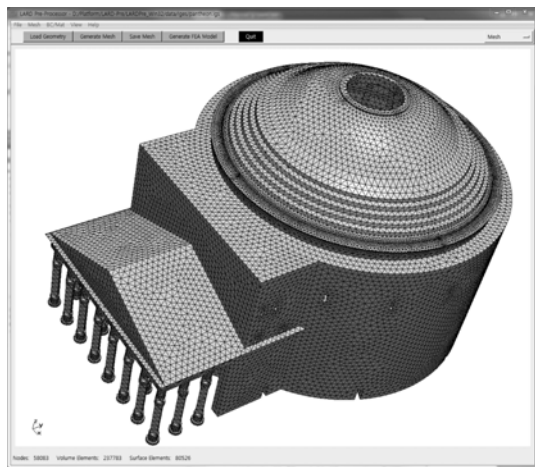


Fig. 6 The Pre-processor : mesh generation

입력의 과정을 거쳐 ADVENTURE 해석모델(ADV FEA model)을 생성하며 후처리기는 ADVENTURE 해석기로부터 얻어진 해석결과를 읽고 이를 가시화하는 기능을 담당한다. Fig. 5는 제안된 시스템에서 전/후처리의 전반적인 과정을 보여주고 있다.

전처리기는 형상뷰어와 마찬가지로 오픈캐스케이드를 활용하여 IGES와 STEP 데이터의 가시화를 지원하며 사면체 격자(Tetrahedral mesh)의 자동 생성을 수행한다. 본 시스템의 전처리기에서는 오픈소스인 NETGEN 라이브러리^[14,15]를 활용하여 격자의 자동생성을 수행한다. 격자생성은 매우 성김(very coarse)에서부터 매우 조밀(very fine)까지의 5단계로 사용자 GUI를 통해 선택할 수 있으며 필요시 격자 크기를 사용자가 직접 입력하여 격자 조밀도를 조절 할 수 있다. Fig. 6은 본 시스템의 전처리기와 판테온(pantheon) IGES 데이터로부터 보통(medium) 사이즈 조건에서 생성된 격자를 보이고 있다.

슈퍼컴퓨터에 설치된 ADVENTURE 영역 분할

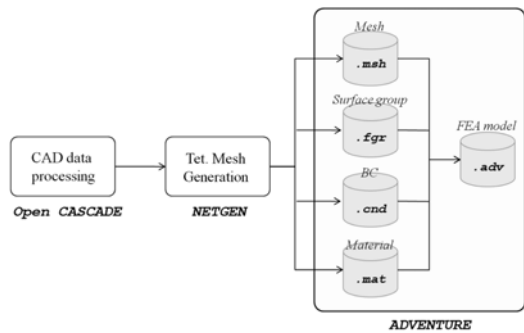


Fig. 7 Generation of ADVENTURE FEA model

기와 ADVENTURE 해석기를 구동하기 위해서는 전처리기에서 ADVENTURE FEA 모델을 생성해야 한다.

Fig. 7은 CAD 형상 데이터로부터 ADVENTURE FEA 모델을 생성하는 전반적인 과정을 보이고 있다. ADVENTURE FEA 모델을 생성하기 위해서는 NETGEN 포맷의 격자 데이터로부터 ADVENTURE 포맷의 격자(확장자: msh), 곡면그룹(Surface group, 확장자: fgr), 경계조건(확장자: cnd), 물성치 데이터(확장자: mat)를 추출/변환되어야 한다. 각 데이터의 상세한 포맷은 참고문헌^[16]을 참고하기 바란다.

격자, 경계조건, 물성치 데이터는 텍스트 포맷을 가지며 비교적 간단한 방식의 파일 I/O를 통해 변환 혹은 생성이 가능하나, 곡면그룹 데이터의 경우 상대적으로 다소 복잡한 과정을 통해 생성된다. 곡면 그룹데이터는 격자정보로부터 생성되며 형상의 면, 선 등에 경계조건을 부여하는데 활용된다. 곡면그룹 데이터는 Fig. 8에 나타난바와 같이 형상이 가지는 전체 곡면의 수, 각 곡면에 속한 곡면요소들(Surface elements)에 대한 상세 정보로부터 얻어진다. 이는 생성된 사면체 격자로부터 경계곡면을 추출하기 위한 과정으로 격자 데이터 구

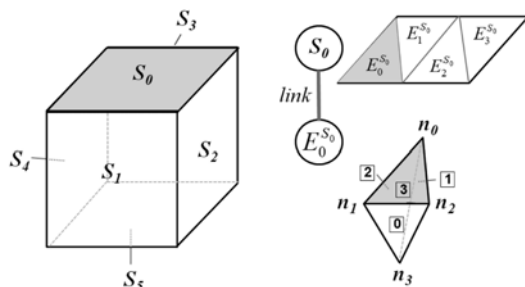


Fig. 8 Generation of Surface Group Data

조에서 각 곡면(일반적으로 Face, $S_i, i = 0, \dots, n-1$)을 구성하는 곡면요소($E_j^{S_i}, j = 0, \dots, k-1$)의 번호와 곡면요소가 속한 볼륨요소(Volume element)에서 해당 곡면요소가 가지는 순서($O = 0, 1, 2, 3$)와 노드의 번호로 구성되는 포맷을 가진다. NETGEN 격자 데이터구조에는 곡면요소가 속한 볼륨요소에 대한 관계가 부재하여 곡면그룹 데이터 생성에 많은 시간이 소요되었다. 이의 해결을 위하여 초기 격자생성 단계에서 NETGEN 격자 데이터구조에 각 곡면정보와 볼륨요소간의 관계를 생성함으로써 신속하고 정확한 곡면그룹 데이터를 얻을 수 있었다.

격자데이터와 곡면그룹데이터가 생성되면 사용자 인터페이스를 통해 경계곡면, 노드를 선택하여 하중 정보를 경계조건으로 부여하게 되며 이러한 정보는 경계조건 데이터(cnd)로 저장된다. 마찬가지로 물성치데이터(mat)는 인터페이스를 통해 사용자로부터 입력되어 저장된다. 최종적으로 이러한 과정을 통해 얻어진 네가지 데이터들로부터 ADVENTURE FEA 모델이 생성되며 3.3장에서 기술된 슈퍼컴퓨팅 관리자에 의해 슈퍼컴퓨터로 전송되어 해석결과를 도출하게 된다. ADVENTURE FEA 모델은 사용자로부터 입력되는 CPU 개수에 따라 ADVENTURE 영역 분할기에 의해 나누어진 후 해석기(ADV_solid)로 보내져 병렬 계산된다. 따라서 해석결과 역시 각 영역별로 분리/생성되어 후처리기로 전송된다. 따라서 후처리기에서는 각 영역별로 얻어진 해석결과 데이터를 결합하여 종합적인 해석결과를 얻은 후 다시 VTK (Visualization ToolKit)^[17] 포맷으로 변환하여 Stress, Strain, Displacement 등의 해석결과를 가시화하게 된다.

3.3 Supercomputing Manager

슈퍼컴퓨팅 관리자는 본 시스템의 3-Tier 구조 중 미들계층에 해당하며 전/후처리기와 같은 클라이언트 계층과 슈퍼컴퓨터와 같은 서버계층 사이에서 발생하는 데이터 교환과 관리, 통신을 담당한다. 슈퍼컴퓨팅 관리자는 전처리기에서 생성된 ADVENTURE FEA 모델과 이용자로부터 정의되는 CPU의 개수를 입력받는다. 타키온 시스템에서 작업의 구동/처리를 위해서는 배치 작업 스케줄러인 SUN 그리드 엔진용 작업 스크립트(Job Script)의 생성 및 실행이 필요하다. 슈퍼컴퓨팅 관리자

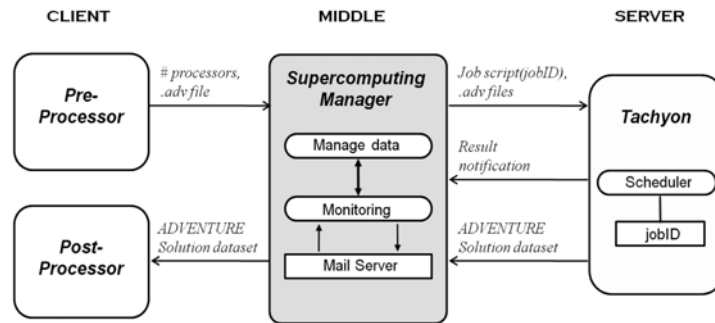


Fig. 9 The Supercomputing Manager

는 ADVENTURE FEA 모델과 CPU 개수로부터 작업 클래스(class) 타입, 작업 ID, ADVENTURE 영역분할 및 실행을 위한 조건 등을 포함하는 작업 스크립트를 자동으로 생성한다. 작업 스크립트가 생성되면 타키온시스템에 로그인한 후 스케줄러를 통해 해석 작업을 수행하기 위한 작업ID 디렉토리의 생성 및 해당 디렉토리에 FEA 모델, 작업스크립트를 자동으로 업로드하여 해석기를 구동한다. SUN 그리드 엔진은 대기, 시작, 정지, 종료 등과 같은 작업 스케줄링의 각 단계에 대한 진행정보를 메일로 통보하는 기능을 제공한다. 슈퍼컴퓨팅 관리자는 메일서버로부터 작업의 진행상황을 주기적으로 모니터링하며 작업 진행과정 중 에러가 발생할 경우 해당 에러 메시지를 클라이언트에 전송한다. 작업이 오류 없이 성공적으로 종료되었을 경우 해당 작업ID 디렉토리에 생성된 ADVENTURE 해석결과 데이터를 FTP 방식으로 다운로드 한 후 해석결과 가시화를 위한 클라이언트 프로그램인 후처리기에 결과 데이터를 전송한다.

전반적인 프로세스를 통해 알 수 있듯이 슈퍼컴퓨팅 관리자를 구현, 적용함으로써 사용자는 슈퍼컴퓨터 활용에 대한 상세한 지식이 없어도 슈퍼컴퓨터의 활용이 가능하다. 사용자는 단지 FEA 모델의 파일경로와 사용하고자 하는 CPU의 개수만을 입력하면 슈퍼컴퓨터 및 ADVENTURE의 구동을 위해 필요한 데이터의 생성, 관리, 통신 등의 제반사항은 슈퍼컴퓨팅 관리자가 자동으로 처리한다.

이러한 슈퍼컴퓨팅 관리자의 기능은 슈퍼컴퓨터에 대한 지식이 부족한 초보 이용자의 활용 편의성을 증대시키는 물론 전문가의 경우에도 슈퍼컴퓨터 활용을 위해 수반되는 번거로운 작업들을 줄여주는 장점이 있다.

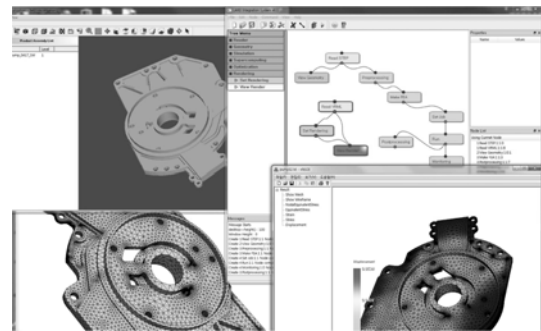


Fig. 10 System User Interface

4. 시스템 적용 및 성능검증

Fig. 10은 본 연구에서 개발된 형상뷰어, 전/후처리기 및 설계유닛(Design Unit)을 통해 전체 설계작업의 흐름을 정의하는 통합인터페이스를 보여주고 있다.

통합인터페이스를 통해 형상, FEA 모델 데이터의 파일경로나 CPU 개수 등을 정의하거나 형상뷰어, 전/후처리기를 실행하는 등의 사용자 작업을 수행하도록 설계되었다. 각각의 설계 행위들은 노드로 표시되는 설계유닛으로 정의되었으며 이러한 설계유닛들을 네트워크 방식으로 연계함으로써 전체적인 설계 작업을 진행 할 수 있도록 구성되었다.

본 시스템의 적용과 성능검증을 위하여 약 1백만 개의 요소(872,649 DOF)를 가지는 자동차 휠(Wheel) 모델과 약 1천만개 요소(5,871,771 DOF)를 가지는 크레인(Crane) 모델에 대한 선형 구조 해석을 수행하였다. 자동차 휠모델의 경우 단조 휠의 내구성 평가를 위한 동적 선회 피로시험과 유사한 해석으로 휠의 회전축에 수직인 방향으로 1.87 KN의 하중을 부여하였으며 휠의 물성은 알

Table 1 Wheel Model

Total degrees of freedom	872,649
Number of nodes	290,883
Number of elements	1,102,245

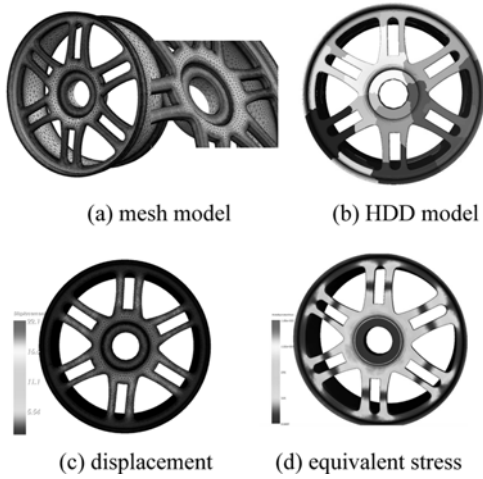


Fig. 11 Static Analysis of Wheel Model

Table 2 Crane Model

Total degrees of freedom	5,871,771
Number of nodes	1,957,257
Number of elements	10,397,413

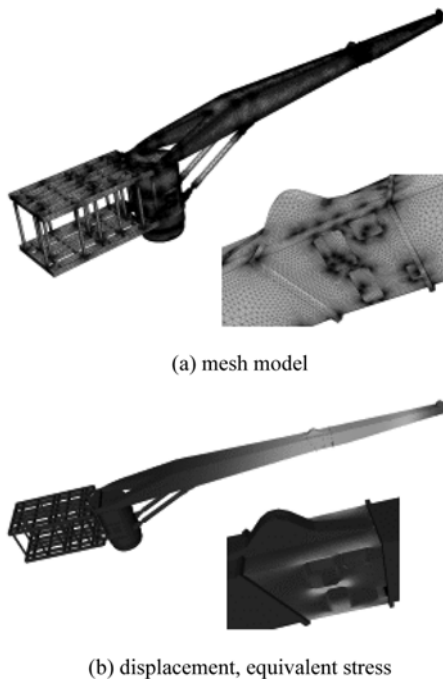


Fig. 12 Static Analysis of Crane Model

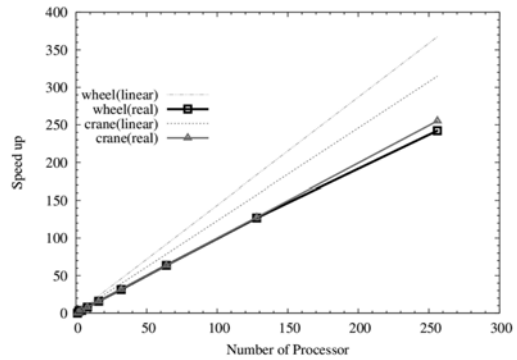


Fig. 13 Speedup test for Wheel/Crane Model

루미늄 재질을 사용하였다.

Fig. 12는 중·대규모 해석 사이즈를 가지는 크레인 모델에 대한 해석결과를 보이고 있다. 해석에 활용된 크레인 모델은 (주)DMC^[18]에서 개발된 해상 플랫폼용 오프쇼어(Offshore) 크레인으로 약 100 ton 규모의 하중의 인양이 가능한 모델이다. 해석의 성능검증 및 보다 정밀한 해석을 위하여 크레인 CAD 모델의 수정을 최소화하여 격자를 생성한 후 해석을 수행하였다.

Fig. 13은 휠 모델과 크레인 모델에 대한 Speedup 테스트 결과를 보이고 있다. 본 시스템을 활용하여 두 모델에 대한 선형 구조해석에 있어서 단일 CPU에서부터 256개 CPU를 사용하였을 때 소요된 계산시간을 도표화하였다. 일반적으로 이러한 Speedup 테스트는 병렬시스템의 효율성 평가에 활용된다^[19]. 그림에서 알 수 있듯이 두 모델 모두 사용하는 CPU의 개수가 늘어 날수록 계산속도가 감소하고 있어 양호한 병렬성능(Scalability)을 보이고 있는 것으로 판단된다.

5. 결론 및 향후 연구 계획

본 논문에서는 소규모는 물론 수백만에서 수억 개의 격자를 가지는 대규모 구조해석 문제를 슈퍼컴퓨터를 활용하여 효과적으로 처리하기 위한 전/후처리 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 클라이언트/미들/서버로 구성되는 3-Tier 구조를 가지며 형상뷰어, 전/후처리기, 슈퍼컴퓨팅 관리자의 세가지 핵심모듈로 구성된다. 대규모 구조해석을 위한 범용 해석기로 ADVENTURE 구조 해석기를 활용하였으며 하부 계산인프라로서 슈퍼컴퓨터 4호기인 타키온시스템을 채용하였다. 핵심 모듈 중 수

퍼컴퓨팅 관리자는 사용자로부터 최소한의 필요 정보를 입력받아 슈퍼컴퓨터 상에서의 구조해석을 위한 제반사항을 자동으로 처리함으로써 사용자의 활용편의성을 증대할 수 있다. 개방형 구조인 3-Tier 구조와 더불어 본 시스템은 ADVENTURE, 오픈케스케이드, NETGEN 등의 오픈소스를 활용하여 개발되어 국내 기업들이 최소한의 투자비용으로 공학해석 프로그램과 슈퍼컴퓨터를 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 개발된 시스템을 자동차 휠과 해상 크레인 모델의 구조해석에 적용함으로써 본 시스템의 실용성을 확인하였으며 Speedup 테스트를 통해 우수한 병렬성능을 확인할 수 있었다. 향후 ADVENTURE 해석기를 개발하고 있는 동경대와 상호협력을 통하여 현재까지 개발된 선형 구조해석 시스템을 확장하여 다양한 접촉과 대규모 변형을 지원할 수 있는 비선형 구조해석 시스템으로 발전시킬 계획이다.

감사의 글

본 연구는 중소기업 생산성 극대화 및 제조공정 라인 운영 합리화를 위한 맞춤형급형 제조실행 플랫폼 기술개발 사업 중 c-MES 설계지원 플랫폼 기술개발 과제의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Sadeghi, R., 2006, Multi-Discipline Solutions for Real Life Engineering, *HP CAE Symposium*, Seoul.
2. Kim, J. H., Lee, C. S. and Kim, S. J., 2005, High-Performance Domainwise Parallel Direct Solver for Large-Scale Structural Analysis, *AIAA Journal*, 43(3), pp. 662-670.
3. Kim, J. H. and Woo, S. W., 2005, "Study on High-Performance Computing Technique for Large-scale Structural Analysis", *Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea*, 18(1), pp. 37-44.
4. Hiroshi, K., 2011, Open Source CAE System : ADVENTURE, *The 2nd International Workshop on Industrial HPC*, Stuttgart, Germany.
5. Yoshimura, S., 1999, *Overview of ADVENTURE project*, University of Tokyo, Tokyo, Japan, ADV-99-1
6. ADVENTURE Project. URL: <http://adventure.sys.t.u-tokyo.ac.jp/project/>
7. GeoFEM. URL: <http://geofem.tokyo.rist.or.jp/>
8. Bhardwaj, M. *et al.*, 2002, Salinas: A Scalable Software for High-Performance Structural and Solid Mechanics Simulations, *Supercomputing Conference 2002*, Baltimore, Maryland, pp. 16-22
9. Kim, S. J., Lee, C. S., Kim, J. H. and Lee, S., 2003, IPSAP: A High-performance Parallel Finite Element Code for Large-scale Structural Analysis Based on Domain-wise Multifrontal Technique, *Supercomputing Conference 2003*, Phoenix, AZ, pp. 17-21.
10. IPSAP. URL: <http://ipsap.snu.ac.kr>
11. Top500 List. URL: <http://www.top500.org>
12. Tachyon system. URL: <http://www.ksc.re.kr>
13. Open CASCADE. URL: <http://www.opencascade.com>
14. NETGEN. URL: <http://www.hp fem.jku.at/netgen/>
15. Joachim, S., 1997, NETGEN : An Advancing Front 2D/3D-Mesh Generator based on Abstract Rules, *Computing and Visualization in Science*, 1(1), pp. 41-52.
16. ADVENTURE project, 2005, *User Manual : Automatic Generation of Tetrahedral Mesh from Triangular Surface Patches*, University of Tokyo, Tokyo, Japan.
17. VTK. URL: <http://www.vtk.org>
18. Dongnam Marine Crane. Co., LTD. URL: <http://www.dongnam-crane.co.kr>
19. Ananth, Y. G., Anshul, G. and Vipin, K., 1993, Isoefficiency: Measuring the Scalability of Parallel Algorithms and Architectures, *IEEE Parallel & Distributed Technology : System & Technology*, 1(3), pp. 12-21.



김재성

1997년 홍익대학교 산업공학과 학사
1999년 포항공과대학교 산업공학과 석사

2003년 포항공과대학교 산업공학과 박사

2003년~현재 한국과학기술정보연구원 선임연구원/정보화전략실 실장

관심분야: Product design, large-scale simulation, VR/AR based post-processing



이상민

1989년 서울대학교 천문학과 천문학 이학사

1993년 서울대학교 천문학과 천체물리학 이학석사

2002년 서울대학교 천문학과 천체물리학 이학박사

2002년~현재 한국과학기술정보연구원 책임연구원/산업체슈퍼컴퓨팅 팀장

관심분야: Industrial Supercomputing, Modeling & Simulation, Large-Scale Simulation, Industrial Digital Manufacturing



이재열

1992년 포항공과대학교 산업공학과 학사

1994년 포항공과대학교 산업공학과 석사

1998년 포항공과대학교 산업공학과 박사

1998년~2002년 한국전자통신연구원 선임연구원

2003년~현재 전남대학교 산업공학과 조교수/부교수

관심분야: Tangible User Interface for Collaboration and Interaction, AR/VR, MobileHCI, Digital Product Design and Evaluation, Semantic Patent Analysis



정희석

2002년 충남대학교 컴퓨터공학과 학사

2004년 충남대학교 컴퓨터공학과 석사

2004년~ 현재: 한국과학기술정보연구원 선임연구원

관심분야: Software Engineering, Workflow, Web Standard



이승민

2003년 포항공과대학교 컴퓨터공학과 학사

2006년 포항공과대학교 컴퓨터공학과 석사

2006년~현재 한국과학기술정보연구원 선임연구원

관심분야: Heterogeneous Computing, Parallel Programming & Optimization