

슈퍼컴퓨팅 기반의 공학해석 서비스 제공을 위한 멀티 뷰 지원 VR/AR 가시화 시스템 개발

서동우¹ · 이재열^{2†} · 이상민¹ · 김재성¹ · 박형욱¹

¹한국과학기술정보연구원, ²전남대학교 산업공학과

Multi-View Supporting VR/AR Visualization System for Supercomputing-based Engineering Analysis Services

Dong Woo Seo¹, Jae Yeol Lee^{2†}, Sang Min Lee¹, Jae Seong Kim¹, and Hyung Wook Park¹

¹KISTI

²Department of Industrial Engineering, Chonnam National University

Received 8 July, 2013; received in revised form 9 September, 2013; accepted 12 September, 2013

ABSTRACT

The requirement for high performance visualization of engineering analysis of digital products is increasing since the size of the current analysis problems is more and more complex, which needs high-performance codes as well as high performance computing systems. On the other hand, different companies or customers do not have all the facilities or have difficulties in accessing those computing resources. In this paper, we present a multi-view supporting VR/AR system for providing supercomputing-based engineering analysis services. The proposed system is designed to provide different views supporting VR/AR visualization services depending on the requirement of the customers. It provides a sophisticated VR rendering directly dependent on a supercomputing resource as well as a remotely accessible AR visualization. By providing multi-view centric analysis services, the proposed system can be more easily applied to various customers requiring different levels of high performance computing resources. We will show the scalability and vision of the proposed approach by demonstrating illustrative examples with different levels of complexity.

Key Words: Augmented reality, Engineering analysis, Multi-view, Supercomputing, Virtual reality, Visualization, User interaction

1. 서 론

최근 디지털 환경에서 제품의 설계 및 검증 활동을 수행하는 새로운 제품개발 패러다임이(Virtual

Design & Evaluation 등) 등장하고 있다^[1]. 컴퓨터를 통해 3차원으로 모델링된 가상 환경에서 제품 설계 및 시뮬레이션을 수행함에 따라 실제 제품생산 이전에 미리 생산 중 발생할 수 있는 오류를 발견하고 이를 통한 문제해결이 가능하게 되었다^[2-4]. 이러한 디지털 생산에서 CAE 시스템은 컴퓨터를 통해 모델링된 가상의 공간에서 설계 및 해석을

[†]Corresponding Author, jaeyeol@jnu.ac.kr
©2013 Society of CAD/CAM Engineers

수행함에 따라 기존의 오프라인에서의 물리적 실험 테스트 기능을 최소화하고 디지털화된 환경에서 설계 및 검증이 가능하게 한다. 따라서 CAE 해석은 시뮬레이션 시간과 프로토타입 수를 줄여 기업의 생산성 향상을 위한 필수적인 과정으로 활용되고 있다^[2-5].

CAE 뿐만 아니라 실제로는 존재하지 않는 특정한 상황을 컴퓨터를 이용한 모의실험을 통하여 마치 실제 세계에 놓여 있는 것처럼 느끼게 해주는 가상현실과 증강현실 기술이 다양하게 활용되고 있다. 특히, 증강현실은 실제세계에 실시간으로 가상의 개체(가상모델, 이미지, 사운드, 모션 등)를 합성하여 사용자에게 정보를 제공하는 기술이다. 이를 통해 사용자가 실제 환경에 증강된 가상의 모델을 보고 상호작용할 수 있어서 보다 나은 현실감과 몰입감을 제공할 수 있다. 특히, 단순한 가시화나 조작을 넘어서 보다 실감있는 가시화 및 상호작용을 지원하는 탠저블 증강현실로 발전하고 있으며, 이는 가상제품 품평, 제조시스템 설계, 상호작용 등 다양한 분야에 활용이 되고 있다^[6,7]. 또한, 탠저블 인터페이스를 통한 제품 품질 만족도를 증진시키는 연구도 진행되고 있다^[7-9]. 뿐만 아니라, 다양한 형태의 디스플레이가(Large Display, Tabletop, Mobile Device 등) 보편화되어 이러한 활동에 적극적으로 활용되고 있는 추세다^[10].

이러한 추세에 힘입어 글로벌 기업들을 중심으로 제품의 양산 이전에 가상공간에서 제품의 설계 및 생산과 관련된 일련의 작업들을 수행하는 새로운 형태의 설계/제조 환경을 적극적으로 도입하여 실용화에 주력하고 있다. 하지만, 글로벌 기업과 달리 중소기업은 이러한 변화에 빠르게 대응하기 힘든 실정이다. 따라서, 빠르게 변화하는 경쟁환경의 정점에 있는 국내 제조 중소기업의 경쟁력을 높이기 위해서는 중소기업에 적합한 형태의 디지털 생산 기술 개발이 무엇보다 중요하다. 중소기업이라도 상황에 따라서는 대형 조립품에 비선형 구조해석과 같은 고난이도의 공학해석을 수행하기 위해서는 계산문제를 빠르게 다룰 수 있는 슈퍼컴퓨터와 같은 계산자원을 활용한 해석 지원 시스템이 필요하다. 하지만, 인적·물적 자원의 한계를 가지고 있는 중소기업은 이러한 시스템을 구축하기가 현실적으로 어렵다.

현재까지 구조해석 문제의 해결을 위한 다양한

기법과 프로그램들이 개발되어 왔다. 이러한 프로그램들은 일반적으로 단순한 형상 가시화나 단일 뷰기반의 전후처리 지원을 제공하는데 GeoFEM^[11], ADVENTURE^[12,13] IPSAP^[14], Salinas^[2] 등이 대표적이다. 또한 ABAQUS^[15] 등과 같은 범용 구조해석 프로그램들은 하나의 화면을 분할하여 다수 결과를 가시화 해주는 기능을 제공하지만 가격이 매우 비싸고 다수의 장치와 VR과 AR의 통합을 통한 멀티뷰 기능은 제공하지 못한다.

최근 슈퍼컴퓨터 자원을 이용한 중소기업에 적합한 형태의 범용적인 형태의 대규모 해석 지원을 위해서 Collaborative Manufacturing Execution System (c-MES) 설계지원 플랫폼인 Large-scale Realistic Design platform(LARD)가 개발되고 있다^[5]. LARD 상에서의 전 후처리 정보 가시화는 해석처리를 위한 IO 통합과 Geometry 형태의 단순한 검토 수준의 기능에 집중되어 있어서 해석 전 후 정보에 대하여 다차원적인 검토를 할 수 없다. 특히, 역할이 다른 다수의 이해관계자들이 함께 제품 디자인과 해석결과를 검토하고 검증하여 품질을 향상시킬 수 있는 멀티 뷰 기반의 가시화나 협업 방법이 제공되지 않았다.

본 논문에서는 슈퍼컴퓨팅기반 c-MES 공학해석 서비스를 효과적으로 제공할 수 있는 멀티 뷰 지원 VR/AR 가시화 시스템을 제시한다. 이는 c-MES 설계지원 플랫폼인 LARD의 전·후처리 가시화 기능을 확장시키고 유기적으로 통합시켰다. 특히, 이를 위해 전·후처리 과정에서 실감 있는 형태의 모의 검토 및 결과 시뮬레이션을 제공해 주기 위하여 VR과 AR 기반의 가시화 기능을 개발하였다. 또한, 리모트 기반의 가시화 기술을 적용하여 다수의 중소기업 사용자들이 슈퍼컴퓨터기반의 공학해석 서비스를 손쉽게 활용할 수 있는 방법을 제공한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안된 시스템의 기반이 되는 LARD 플랫폼의 구조와 기능을 살펴보고 전·후처리 정보의 VR 가시화와 상호작용을 위한 통합 설계 결과를 살펴본다. 3장에서는 제안된 VR/AR 통합 모듈 구현을 위한 방법론과 개발 결과 등을 다룬다. 4장에서는 다양한 멀티 뷰를 제공할 수 있는 시스템 구현결과를 제시하고, 마지막으로 5장에서는 결론과 향후 발전방향을 제안한다.

2. 시스템 구성

2.1 LARD 프로젝트

제안된 시스템은 대용량 범용 해석 플랫폼인 LARD를 기반으로 VR/AR 가시화 및 상호작용 기능이 통합될 수 있도록 개발하였다. LARD는 중소기업 c-MES 서비스 지원을 위한 고성능 컴퓨터 기반 대규모 해석 및 제품설계 시스템 개발을 목표로 2009년에 개발이 시작되어 2014년도까지 개발이 완료되는 국가플랫폼 사업이다. 특히, LARD는 일본에서 개발되어 대규모 선형문제를 계산할 수 있는 Adventure 구조 해석기를 바탕으로 중/소 규모 문제는 물론 수 백만 개 이상의 미지수를 가지는 대규모 구조해석 문제를 효과적으로 처리하기 위한 전·후처리 기능을 제공한다. 진행되고 있는 플랫폼 시스템은 형상뷰어와 전·후처리 그리고 슈퍼컴퓨팅 관리자의 3가지 핵심모듈로 구성되었으며, 현재 시스템은 오픈소스를 기반으로 개발되고 3-Tier의 개방형 구조를 가지고 있어 적은 투자비용으로 고가의 공학해석프로그램과 슈퍼컴퓨터를 활용할 수 있도록 설계되어 개발 중이다.

LARD는 대규모 구조해석 문제를 슈퍼컴퓨팅 자원을 활용하기 위한 전·후처리 등 여러 모듈을 포함한 플랫폼으로 구성되어 있다. 하지만 LARD의 전·후처리 정보를 검토하기 위한 기능은 해석처리를 위한 IO 통합과 Geometry 형태의 단순한 검토 수준의 기능에 집중되어 있어 해석 전후 정보에 대하여 다차원적인 검토를 할 수 없다. 또한 중소기업 사용자 및 관련 전문가들이 결과를 함께 검토할 수 있는 멀티뷰 기능이 제공되지 않았다. 본 논문에서는 전·후처리 상에서 실감 가시화와 협업 상호작용을 지원해주기 위하여 LARD 플랫폼의 아키텍처를 개선하고 통합모듈 상에서 VR/AR 가시화와 상호작용을 지원해줄 수 있는 모듈들을 개발하였다.

2.2 VR/AR통합 최종 LARD아키텍처

제안된 VR/AR 가시화 및 상호작용이 통합된 최종적인 아키텍처는 Fig. 1과 같이 3-Tier 계층에서 VR/AR Integrated Service 레이어를 통해 프로세스 통합 기능, 슈퍼컴퓨터 기반 해석결과 실감 렌더링 기능, 원격기반 가시화 기능을 포함하고

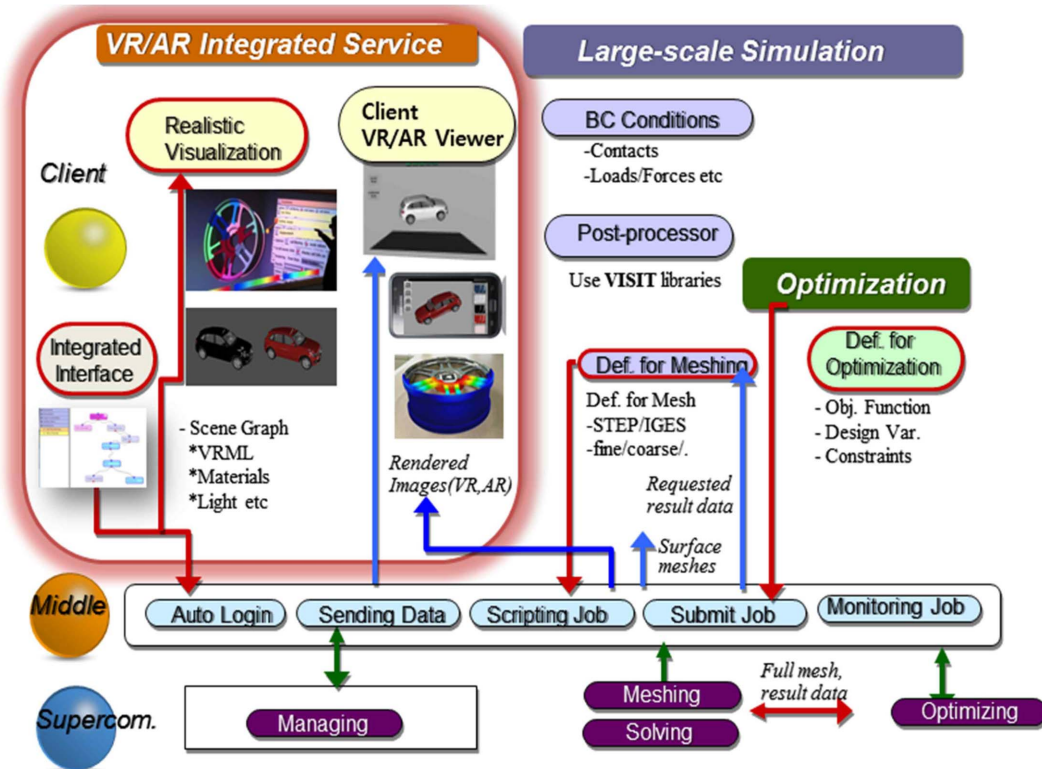


Fig. 1 An integrated VR/AR system for supercomputing-based c-MES engineering analysis services

다. 프로세스 통합 기술은 설계지원 프로세스상에서 VR/AR과 관련된 설계모듈들간의 요소들을 각 과정에 맞게 자동으로 통합해 준다. 슈퍼컴퓨터 기반 해석결과 실감 렌더링은 대형화면을 통해 전·후처리 정보를 VR과 AR로 실감있는 영상을 가시화 해준다. 또한 원격기반 가시화는 중소기업 사용자들이 슈퍼컴퓨터에서 가시화된 실감가시화 결과를 원격 데스크톱 및 모바일 환경에서 손쉽게 검토할 수 있는 기능을 제공해준다. 즉, 강화된 클라이언트 계층은 중소기업 사용자들이 자신의 컴퓨터와 모바일 장치들을 함께 이용하여 가상현실과 증강현실을 통한 형상과 해석 결과를 검토할 수 있는 기능을 제공한다.

3. 실감 가시화 및 협업 상호작용 지원을 위한 VR/AR 통합 시스템 개발

3.1 VR/AR 인터페이스 연결을 위한 통합 프로세스 관리

통합프로세스 관리는 전·후처리 단계에서 VR과 AR을 통합하여 제품가시화 및 해석결과에 대하여 협의하고 검토할 수 있도록 시스템을 구축하였다. 특히, 클라이언트 가시화 및 증강현실모듈은 전처리 단계인 슈퍼컴퓨터의 가시화 결과의 다양한 c-MES 분석을 위해서 일반 데스크톱뿐만 아니라 모바일 디바이스에서도 가시화할 수 있도록 지원하며, 후처리 단계에서 해석 결과를 증강현실을 통해 가시화할 수 있는 기술을 제공해준다(Fig. 2).

이는 전처리 단계의 실감가시화 결과를 바탕으로

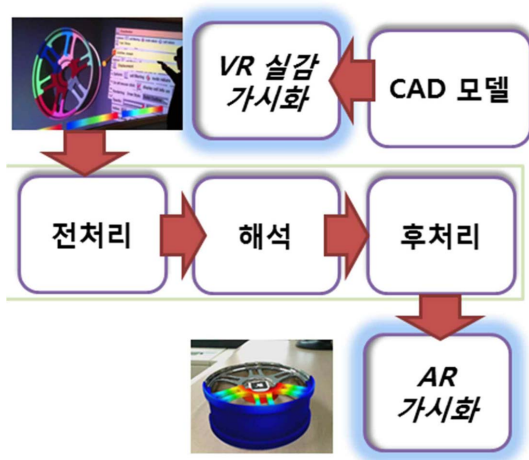


Fig. 2 Pre/post-interfaces process for VR/AR

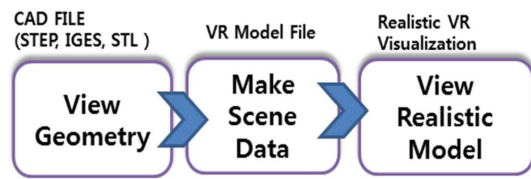


Fig. 3 Conversion to visualization data

로 다수의 관계자(중소기업 및 고객 등)간의 검토 및 협업이 가능하고, 후처리 단계에서는 증강현실 정보를 이용하여 현장에서 제품의 시뮬레이션 해석결과와 실제 제품의 실험결과를 비교해보고 논의하여 제품의 품질을 높일 수 있는 장점을 가진다. 또한, 이러한 상호작용을 효과적으로 지원하기 위해서 VR/AR 통합 공학프로세스 관리를 지원할 수 있는 통합 프로세스 관리 기술 및 방법을 제공한다.

Fig. 3에서 볼 수 있듯이 전처리 단계에서 통합 절차는 형상뷰어(Geometry Viewer)에서 해석을 위한 형상CAD 데이터(STEP, IGES)을 검토하고 형상 데이터를 Make Scene Data 단계에 전달한다. VR Processor에서는 사용자가 전 단계에서 입력한 Geometry 데이터에 대한 VRML(Virtual Reality Modeling Language) 데이터를 생성한다. VRML 변환 처리는 솔리드커널인 Opencascade를^[4] 활용하여 개발하였으며 STEP, IGES 등의 파일 요소들을 읽어 형상모델의 요소들의 점, 선, 면의 정보를 표현하고 있는 TopTools_HSequenceOfShape 객체로 저장해준다. 다음으로 Opencascade 메모리 상에 로딩된 TopTools_HSequenceOfShape로부터 점, 선, 면등의 요소들을 읽어온 후 VRML의 점, 선 면의 데이터 포맷으로 변환하고 기타 다른 요소들을 처리해주는 VRMLData_ShapeConvert 모듈을 이용하여 VRML 가상 객체를 생성해준다. 생성된 VRML모델은 OSG(Open Scene Graph) 기반의 가시화 모듈을 통해 Scene Graph Data 형태의 실감있는 가상모델로 가시화 된다.

후처리 단계에서 통합 절차는 Solver를 통해 네트워크로 전달 받은 해석 데이터를 Post-Processor에 전달하고 가상/증강현실을 통해서 이를 검토한다. 특히, Post-Processor는 Make CAEARModel 단계에 가상 모델결과를 전달하는데 View CAEAR 단계에서 가시화할 수 있는 형태의 VRML데이터로 변환하여 증강현실로 통합이 가능하게 한다. 후처리 단계에서 VRML 변환 처리는 Visualization

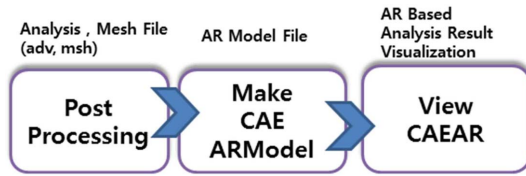


Fig. 4 Conversion to AR data

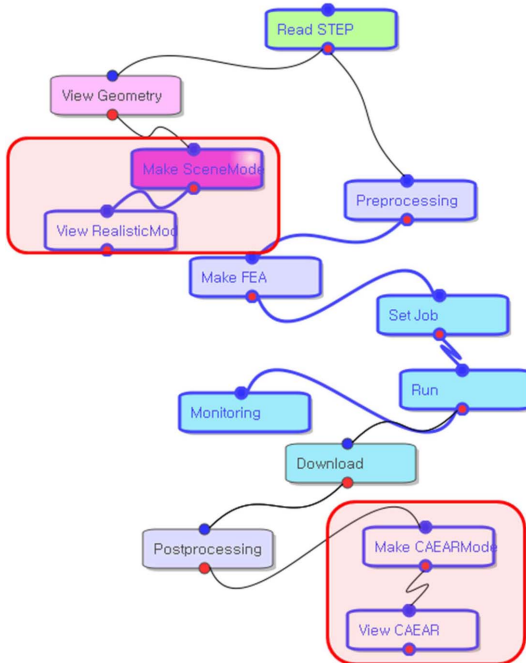


Fig. 5 Integrated VR/AR Process

Toolkit인 VTK를 활용하여 개발하였다^[17]. 이는 해석결과인 result.adv와 model.msh 파일의 domain, cell, point 등의 요소를 vtkDataArray 요소로 메모리에 읽어 들이고 vtkUnstructuredGrid 객체로 변환해주어 화면에 가시화 해준다. 이 절차가 끝나면 VTK의 vtkVRMLExporter 모듈을 이용하여 vtkUnstructuredGrid 요소들을 VRML로 변환하여 증강현실 모듈에 전달해준다.

사용자는 앞서 설명한 작업이 프로세스로 구성된 통합인터페이스를 이용한다. VR/AR 통합이 구현된 인터페이스는 Fig. 5와 같이 전처리에서는 데이터의 형상을 가시화 해주는 형상뷰어인 View Geometry UNIT 후에 처리되고 후처리 단계에서는 해석데이터를 저장하고 분석해주는 Post Processor UNIT 다음 단계에 처리된다. 이러한 인터페이스를 이용하여 각 절차상에 존재하는 이기

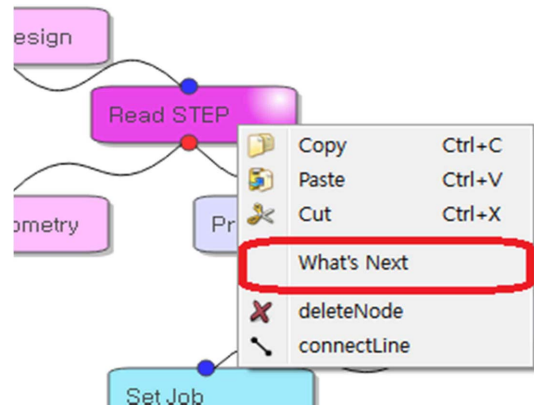


Fig. 6 Help for the user guide

종의 포맷간의 자동화된 통합이 이루어진다. 즉, VR과 AR과 관련된 모듈들이 해석 시스템과 연결되어 입력 파일 변경, 데이터 변환, 데이터 가시화 과정, 설정 파일 생성 및 변경이 자동화되어 반복적으로 이루어 질 수 있도록 프로세스 처리 과정에서 이를 지원해준다. 구축된 통합 인터페이스를 사용자가 보다 쉽게 사용하기 위한 방안으로 도움말 형태의 사용자 가이드를 제공한다. 이는 각 단계 별 UNIT에서 마우스 오른쪽 버튼 클릭시 현재 단계의 작업을 인식하여 사용자가 무엇을 해야 하는가에 대한 지침을 제공 하는 작업인식형 도움말의 형태이다(Fig. 6).

3.2 슈퍼컴퓨터 기반 대형 스크린 실감 가시화

DOF 및 복잡도가 높은 대규모 구조해석 문제에서 제품 모델의 품질 및 해석결과에 대한 리뷰를 수행하기 위해서는 실사수준의 렌더링을 지원할 수 있는 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 제품의 실제 모양과 해석결과를 정밀하게 가시화해 주기 위해 슈퍼컴퓨터와 한국과학기술정보연구원(KISTI)에서 보유하고 있는 가시화 시스템을 사용하였다.

슈퍼컴퓨터는 타키온시스템을 이용하였다. 타키온시스템은 KISTI에 구축되어 있으며 세계 Top500 리스트(2011년 11월 기준)에 37위로 등재된 슈퍼컴퓨터이다. 타키온시스템은 약 2만 8천개의 계산 코어를 가지는 초병렬 클러스터시스템(SUN Blade 모델)으로 약 324TFlops의 계산성능을 가지고 있다^[17].

Fig. 7과 같이 가시화를 위해서 사용한 Picasso



Fig. 7 Picasso system in KISTI

시스템은 입체 영상기반의 다채널 VR 시스템 환경을 보유하고 있으며, 4대의 프로젝터를 활용 가능하고 16면 입체영상을 출력할 수 있는 구조로 되어있다. 또한 109개의 렌더링 클러스터 노드를 사용할 수 있도록 구성되었다. 이를 이용하여 사용자에게 보다 실감나고 정밀한 가시화 환경을 제공해 줄 수 있어, DOF 및 복잡도가 높은 수준의 제품 모델과 제품 해석 결과를 가시화 해줄 수 있다.

또한 실시간 수준의 렌더링이 적용된 영상 탐색 기능 및 이벤트 핸들링, 멀티화면 투사기 등을 활용하여 품평시스템으로써 활용 가능하도록 개발하였다. 이를 통해 고사양의 처리 자원이 필요한 모델 및 해석결과를 빠른 시간 안에 가시화할 수 있어서 제품 모델 및 해석결과 정보를 시기 적절하게 이용이 가능하다

3.3 VR 기반 light-weight 클라이언트 및 정적 증강현실 모듈

전문적인 인력과 고가의 상용소프트웨어를 이용하기 어려운 중소기업은 중소기업의 컴퓨터 장비의 성능에 상관없이 손쉽게 사용할 수 있는 범용 가시화 클라이언트가 필요하다. 이를 위해서 본 논문에서는 light-weight 클라이언트를 개발하였다. 이는 무겁고 크기가 큰 형태의 3D 모델을 사용자 장치에서 렌더링하는 방법을 사용하지 않고 KISTI 서버에서 가시화된 데이터를 네트워크를 통해서 받아온다. 네트워크를 통해서 받아온 데이터를 가시화된 결과를 캡처한 이미지픽셀 데이터로서 이미지 데이터를 화면에 그려주는 방법을 사용한다. 따라서 중소기업 사용자가 사용하는 장치가 메모리나 성능이 작더라도 무리 없이 결과를 검토

해볼 수 있다.

이러한 방법을 통해서 슈퍼컴퓨터에 구동된 VR 렌더러에 의해서 가시화된 정보를 Fig. 8에서 볼 수 있듯이 다수의 사용자들이 메모리가 매우 작고 성능이 매우 낮은 모바일 장치부터 데스크탑 장치까지 매우 다양한 장치에서 이용할 수 있는 기능을 제공해준다^[10]. 이를 지원해주기 위해서 단순한 형태의 단일 뷰기반의 서비스 처리가 아닌 멀티 뷰 기반의 서비스 뷰 결과를 보내고 이를 이용하는 방법을 이용한다. 서비스 뷰는 동적인 서비스 구조를 지원하는데 사용자가 설정한 작업 모드에 따라서 스마트폰, 테이블탑 등의 태블릿 장치에 적합한 가시화 뷰를 제공한다. 이러한 다양한 장치

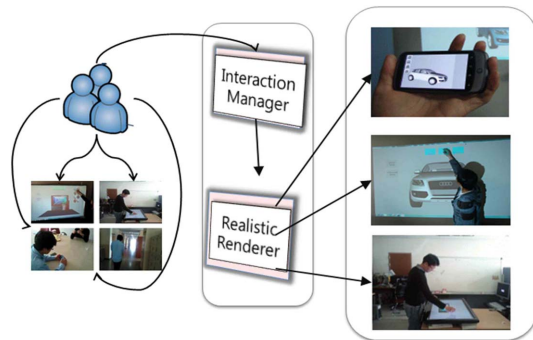


Fig. 8 Visualization and interactions using multi devices

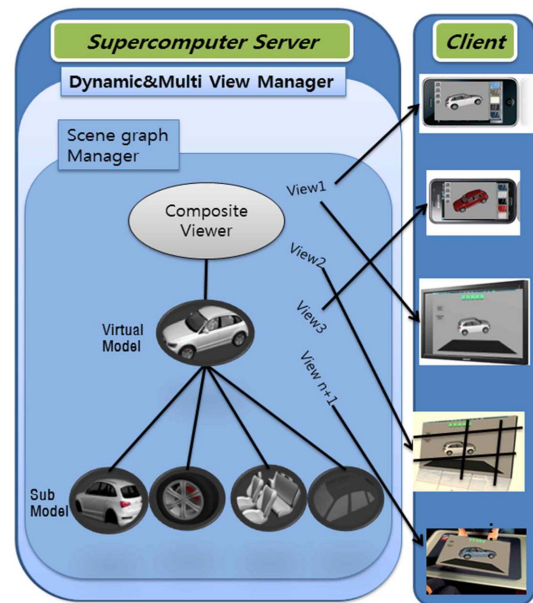


Fig. 9 Multi-view management for view sharing and collaboration

에 적합한 품질 좋은 가시화 포맷을 제공하기 위하여 JPEG으로 압축되어 전송 받은 결과를 디코딩하여 가시화 해준다. 사용자의 작업 모드에 따라 화면에 나타나는 뷰가 달라지고 각각의 서브 모델(Sub Model)로 이루어진 가상의 3D 객체나 멀티미디어는 Composite Viewer에 의해 가상의 3D 객체와 멀티미디어를 할당되어 클라이언트가 제공받는다(Fig. 9).

중소기업의 특성상 공장이나 현장 등의 현실공간상에서 프로토타입 등에 가시화하여 결과를 검토해볼 경우가 많다. 하지만 증강현실의 특성상 빛이 많거나 트래킹을 방해하는 많은 요소가 있는 공장이나 현장 등에서는 이용하기가 어렵다는 문제가 있다. 이를 해결하기 위하여 Fig. 10과 같이 정적인 형태의 증강현실 가시화 방법을 이용하였다. 정적인 형태의 증강현실 방법은 일단 마커가 인식이 잘되는 환경을 만들고 해당 마커를 인식시킨다. 마커가 인식이 되면 현실공간상에서 마커의 공간 정보를 저장한다. 저장인 완료되면 마커를 트래킹하지 않고 저장해놓은 마커의 공간 정보를 이용하여 공간상에 결과객체를 가시화 해준다. 대상 객체와의 동적인 상호작용이 필요할 경우에는 사용을 못한다는 단점이 있지만 공장이나 현장 등에서 검토를 위한 목적으로 사용되는 경우에는 활용성이 높은 방법이다.

사용자는 증강현실 공간안에서 인터페이스를 이

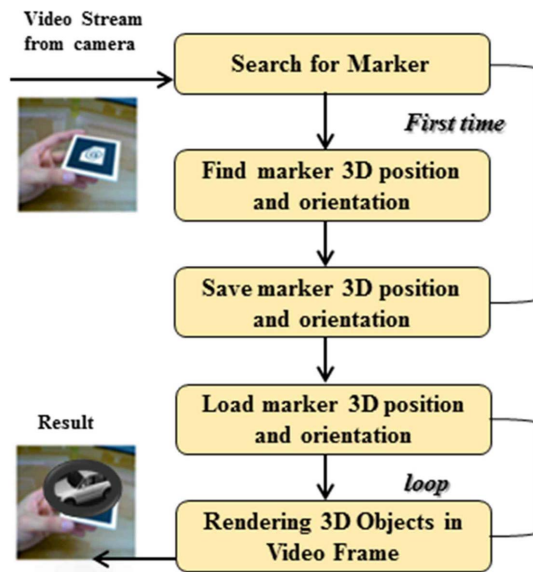


Fig. 10 Static AR rendering method

용하여 제공된 해석 모델들의 요소들을 가시화 및 비가시화하여 Stress, Strain 등의 해석결과를 검토해볼 수 있다. 특히, 실제공간에서 제품의 물리실험 후 시뮬레이션 해석결과를 현실 공간에 증강시킴으로써 정확성 등의 결과를 통합적으로 검토해볼 수 있는 장점을 가진다. 또한 사용자는 제공된 사용자 인터페이스를 이용하여 크기, 위치 등을 조작하여 모델이나 해석결과를 다양한 형태에서 관찰할 수 있다. 증강현실 환경에서 사용자는 마커를 직접 손으로 조작함으로써 손쉽게 디지털 제품과 해석결과를 검토할 수 있다.

4. 시스템구현

제시된 시스템을 바탕으로 KISTI 산업체슈퍼컴퓨팅에서는 슈퍼컴퓨팅기반 멀티 뷰를 제공하는 공학해석 서비스 지원시스템을 개발하였다(Fig. 11). 본 연구에서는 KISTI의 슈퍼컴퓨팅 자원 및 가시화 장비를 활용하여 대규모 해석이나 실사수준의 렌더링을 통한 가시화 및 품질을 지원할 수 있을 뿐만 아니라, c-MES 응용여부에 따라서 분산환경하에서 멀티 디바이스 활용이 가능하도록 구현하였다. 본 장에서는 제시된 시스템을 바탕으로 멀티뷰를 제공하는 구현결과를 설명한다.

우선, 기존의 모델에 구조해석으로 인하여 변형된 가시화 결과를 보여주기 위해서는 해석된 결과의 Deformation 등의 Vector, Scalar 등의 변화량을 기존 모델에 적용하여 반영해 주어야 한다. 이를 위해서 해석기로부터 해석된 정보들을 이용하여 가시화될 모델의 각 정점들에 벡터정보를 적용하여 Fig. 12와 13과 같이 Deformation을 처리해주

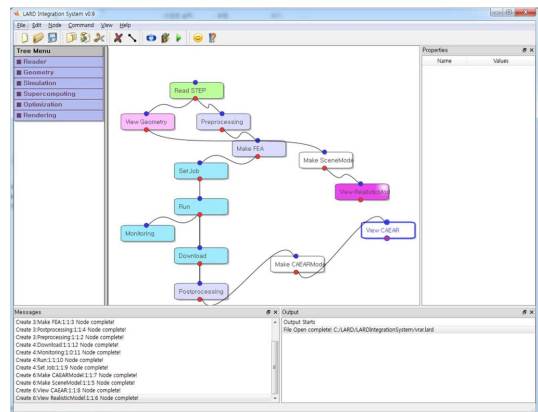


Fig. 11 Integrated process manager

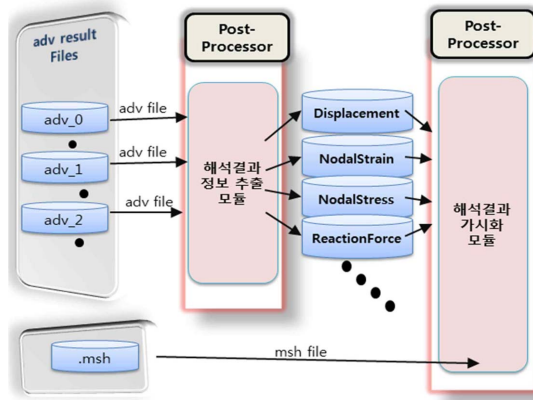


Fig. 12 Procedure for the extraction of analysis information

```

Displacement Elements vector
num_items=5557

0: -1.42373093e+001 -2.48058082e+001 -2.79411483e-002
1: -1.42342689e+001 -2.48124022e+001 -1.38428622e-002
2: -1.95851056e+001 -2.48268964e+001 -1.88917696e-002
.
.
5557: -2.90051056e+001 -0.18268964e+001 -1.18917696e-003

n = num_items
FEA Model Elements vector(Fn=(uxn,uyn,uzn), n=0,..,n-1)
Displacement Elements vector(Dn=(vxn,vyn,vzn), n=0,..,n-1)
For( i=0;i<n;i++)
Result Elements Vector( Rn=(Fn+Dn) )
    
```

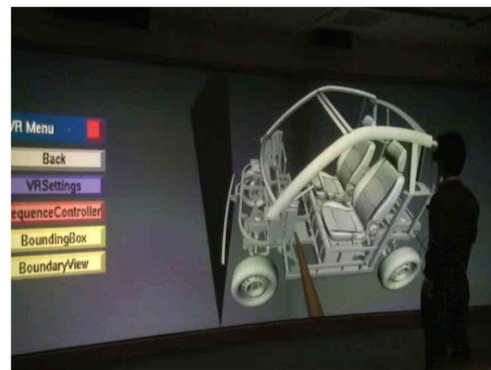
Fig. 13 Extracted displacement vector and analysis mesh

는 방법을 사용한다. 그 방법은 Adventure의 해석 결과인 Adv 해석 결과 파일에서 Deformation 등의 구조 해석 요소들을 분리시킨다. 이들을 파일에서 분리하여 해당 백터변화량을 추출하여 기준 모델에 적용해주어 변화된 정보를 표현해준다.

Fig. 14는 KIST내의 고성능 가시화 시스템을 활용한 품평과정을 보여주며, Fig. 15는 이를 바탕으로 증강현실을 활용하여 실물에 휠 해석결과를 증강시킨 결과를 보여준다. VR/AR을 함께 활용함으로써 서로 장단점을 보완할 수 있으며 사용자 환경에 따른 맞춤형 서비스를 제공할 수 있다. 또 Fig. 16은 자동차 내부의 공기흐름에 대한 시물레



(a) wheel analysis visualization



(b) car frame visualization



(c) car design model visualization

Fig. 14 Supercomputing-based realistic rendering and interaction for the engineering analysis

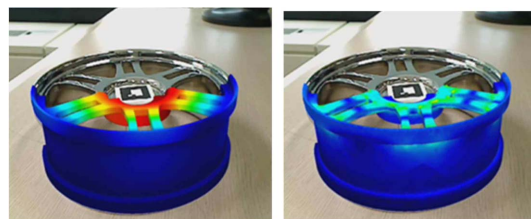


Fig. 15 AR-based visualization and analysis of a wheel



Fig. 16 AR-based air flow simulation inside a car

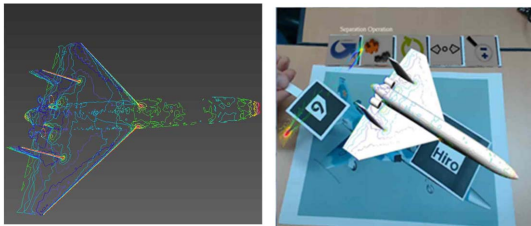


Fig. 17 AR applications to different engineering visualization and analysis such as car pamphlet and airplane fluid analysis and interaction



Fig. 18 Visualization, collaboration and mobile interaction for c-MES clients

이전 결과를 증강시킨 결과를 보여준다. ARToolkit^[18]이 활용되었으며 슈퍼컴퓨터를 통해 계산된 해석 결과를 마커 위에 증강시켰다. 특히, 정적인 형태의 증강현실 기술을 활용하여 공장이나 현장에서 도 쉽게 이용이 가능하다.

또한, 이러한 결과를 바탕으로 증강현실 환경에서 상호작용이 가능하다. 현재는 Fig. 17과 같이 증강현실 마커를 활용하여 증강된 객체와의 상호작용을 지원하고 있다. 추후에서 보다 직관적인 상호작용 방법을 적용시킬 예정이다.

또한, Fig. 18과 같이 중소기업 사용자가 구동하는 장치의 성능이나 메모리에 상관없이 언제 어디서나 분산환경하에서 모바일 디바이스를 활용하여 해석결과를 쉽게 가시화하고 검토해볼 수 있

다. 단, 이 모듈은 해석된 결과의 이미지 정보를 전송 받아서 가시화하기 때문에 제한적인 서비스를 제공하게 된다.

5. 결 론

본 논문에서는 슈퍼컴퓨팅기반 c-MES 공학해석 서비스를 효과적으로 제공할 수 있는 VR/AR 가시화 시스템을 제시하였다. 이는 c-MES 설계지원 플랫폼인 LARD의 전·후처리 가시화 기능을 확장시키고 유기적으로 통합시켰다. 특히, 위해 전·후처리 과정에서 실감 있는 형태의 모의 검토 및 결과 시뮬레이션을 제공해주기 위하여 VR과 AR 기반의 가시화 기능을 개발하였다. 또한, 리모트 기반의 가시화 기술을 적용하여 다수의 중소기업 사용자들이 슈퍼컴퓨터기반의 공학해석 서비스를 활용할 수 있는 방법을 제공하였다.

이를 위해 제안된 시스템의 기반이 되는 LARD 플랫폼의 구조와 기능을 살펴보고 전·후처리 정보의 VR 가시화와 상호작용을 위한 통합 설계 결과를 살펴보았다. 또한 제안된 VR/AR 통합 모듈 구현을 위한 방법론과 개발결과 등을 다루고 다양한 멀티 뷰를 제공할 수 있는 시스템 구현결과를 보여주었다.

추후 연구로는 본 시스템의 사용성을 검증하기 위하여 2013년 10월달에 KISTI의 관련 산업체 사용자들을 대상으로 사용자 설명회를 개최할 예정이다. 설명회를 통해서 자동차 부품, 냉장고 강판, 철골 구조물, 물탱크, 디스크패드 등의 다양한 산업제품의 구조해석이 필요한 회사를 선별할 것이고 사용자들에게 이를 직접 이용하도록 할 것이다. 선별된 회사의 사용자들이 제안한 시스템을 이용하여 구조해석을 위한 전처리 단계부터 후처리 단계에서 협업 및 상호작용하는 기능들을 이용하게 하고 그 과정을 지켜본 후 설문과 인터뷰를 통해 사용자들의 의견을 수집할 것이다. 이를 통해 제안한 시스템의 사용성을 평가하고 실제적인 문제점을 파악하여 기능과 사용자 편의성 등을 보완할 예정이다.

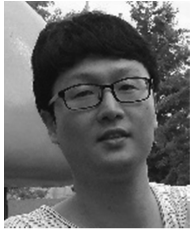
감사의 글

본 연구는 c-MES 설계지원 플랫폼사업(10033162), 한국과학기술정보연구원 산업체 공학해석 지원 및

요소기술 개발사업(K-13-L01-C01-S05)과 한국연구재단 일반연구자지원사업(2012R1A1A2004189)에 의해 지원되었습니다.

References

1. Suri, R. and Hidebrant, R., 1997, Modeling Flexible Manufacturing System, *Journal of Manufacturing Systems*, 3(1), pp.27-38.
2. Bhardwaj, M. et al., 2002, Salinas: A Scalable Software for High-Performance Structural and Solid Mechanics Simulations, *Proc. of Supercomputing Conference 2002*, Baltimore, Maryland, pp.16-22.
3. 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(30), pp.662-670.
4. 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.
5. Kim, J.S., Lee, S.M., Lee, J.Y., Jeong, H.S. and Lee, S.M., 2012, Development of Pre- and Post-processing System for Supercomputing based Large-scale Structural Analysis, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 17(2), pp.123-131.
6. Augmented Reality, 2012, http://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality
7. Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S. and MacIntyre, B., 2001, Recent Advanced in Augmented Reality, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6), pp.34-47.
8. Lee, J.Y., Seo, D.W. and Rhee, G.W., 2011, Tangible Authoring of 3D Virtual Scenes in Dynamic Augmented Reality Environment, *Computers in Industry*, 62(10), pp.107-119.
9. van Reimersdahl, T., Bley, F., Kuhlen, T. and Bischof, C.H., 2003, Haptic Rendering Techniques for the Interactive Exploration of CFD Datasets in Virtual Environments, *Proc. EFVE'03*, pp.241-246.
10. Lee, J.Y., Kim, M.S., Kim, J.S. and Lee, S.M., 2012, Tangible User Interface of Digital Products in Multi-displays, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 59(9), pp.1245-1259.
11. GeoFEM. URL: <http://geofem.tokyo.riost.or.jp/>
12. ADVENTURE Project, 2010, <http://adventure.sys.t.u-tokyo.ac.jp/project/>
13. Hiroshi, K., 2011, Open Source CAE System: ADVENTURE, *Proc. of the 2nd International Workshop on Industrial HPC*, Stuttgart, Germany.
14. IPSAP, <http://ipsap.snu.ac.kr>
15. ABAQUS, <http://www.abaqus.co.kr>
16. OPENCASCADE, 2012, <http://www.opencascade.org>
17. VTK(The Visualization Toolkit), <http://vtk.org>
18. ARToolkit, <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>



서 동 우

2006년 전남대학교 산업공학과 학사
2008년 전남대학교 산업공학과 석사
2013년 전남대학교 산업공학과 박사
2013년~현재 한국과학기술정보
연구원 선임연구원/슈퍼컴퓨팅
중소기업지원실

관심분야: VR/AR based post-
processing, Digital Product
Design, Collaboration Interaction,
Service Strategy



이 재 열

1992년 포항공과대학교 산업공학과
학사
1994년 포항공과대학교 산업공학과
석사
1998년 포항공과대학교 산업공학과
박사

1998년~2002년 한국전자통신연구원
선임연구원

2003년~현재 전남대학교 조교수/
부교수/교수

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



이 상 민

1989년 서울대학교 천문학과 이학사
1993년 서울대학교 천문학과 천체
물리학 이학석사

2002년 서울대학교 천문학과 천체
물리학 이학박사

2002년~현재 한국과학기술정보
연구원 책임연구원/슈퍼컴퓨팅
중소기업지원실

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



김 재 성

1997년 홍익대학교 산업공학과 학사
1999년 포항공과대학교 산업공학과
석사

2003년 포항공과대학교 산업공학과
박사

2003년~현재 한국과학기술정보
연구원 책임연구원/연구전략실

관심분야: VR/AR based post-
processing, Digital Product
Design, Collaboration Interaction,
Service Strategy



박 형 욱

2007년 조선대학교 산업공학과 학사
2009년 조선대학교 산업공학과 석사
2009년~현재 조선대학교 치과대학
치의생명공학과 박사과정

2011년~현재 한국과학기술정보
연구원 연구원/슈퍼컴퓨팅중소
기업 지원실

관심분야: BME (Biomedical Engi-
neering), Dental CAD/CAM,
Virtual Reality