Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 20, No. 4 pp. 523-533, 2019

https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.4.523
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

모바일 증강현실 기술을 활용한 유체시뮬레이션 후처리기 연구

박상진, 김명일, 김호윤, 서동우*
한국과학기술정보연구원 가상설계센터

Mobile Augmented Reality based CFD Simuation Post-Processor

Sang-Jin Park, Myungil Kim, Ho-yoon Kim, Dong-Woo Seo*
Division of M&S Center

요 약 엔지니어링과 IT기술의 융합은 학문적 연구뿐 아니라 산업에도 많은 변화를 가져오고 있다. 특히 컴퓨터 시뮬레이션 기술은 실제 물리현상을 정확히 모사하고 실시간으로 분석할 수 있는 수준으로 발전했다. 본 논문에서는 산업에서 주로 활용되는 유체해석(CFD: Computational Fluid Dynamics) 기술과 최신 가시화 기술로 떠오르고 있는 증강현실을 활용한 후처리기에 대해 기술한다. 유체해석 시뮬레이션 결과를 증강현실기술을 활용하여 가시화하는 연구가 활발히 진행되고 있으나, 결과 데이터의 사이즈가 큰 특성상 데스크탑 환경에서 기사화하는 연구에 한정되어 실제 공간에서 검토가 필요한 유체해석 시뮬레이션분야에서 활용이 제한된다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법에 대해 논의한다. 이를 위해 후처리 과정에서는 유체해석결과를 분석한 후, 모바일 환경에서 원활한 구동을 지원하기 위한 데이터 경량화(70% 이상) 작업을 수행하며, 가시화 과정에서는 경량화된 데이터를 이용하여 클라우드 컴퓨팅을 활용한 실시간 추적 작업과 함께 유체해석결과를 화면에 정합하여 가시화 한다. 이를 통해 사용자는 시뮬레이션이 수행된 다양한 공간에서 유체해석결과를 효과적이고 몰입감있게 검토/분석 할 수 있다.

Abstract The convergence of engineering and IT technology has brought many changes to the industry as well as academic research. In particular, computer simulation technology has evolved to a level that can accurately simulate actual physical phenomena and analyze them in real time. In this paper, we describe the CFD technology, which is mainly used in industry, and the post processor that uses the augmented reality which is emerging as the post-processing. Research on the visualization of fluid simulation results using AR technology is actively being carried out. However, due to the large size of the result data, it is limited to researches that are published in a desktop environment. Therefore, it is limitation that needs to be reviewed in actual space. In this paper, we discuss how to solve these problems. We analyze the fluid analysis results in the post-processing, and then perform optimizing data (more than 70%)to support operation in the mobile environment. In the visualization, lightweight data is used to perform real-time tracking using cloud computing, The analysis result is matched to the screen and visualized. This allows the user to review and analyze the fluid analysis results in an efficient and immersive manner in the various spaces where the simulation is performed.

Keywords : Augmented Reality, Computation Fluid Dynamics, Lightweight Data, Mobile Environment, Simulation.

1. 서론

최근 초고성능컴퓨팅(HPC: High Performance Computing), 네트워크, IoT(Internet of Things) 디바이스, 빅데이터, 가시화 등의 기술이 급속히 발전하면서 이를 활용한 융합연구 및 기술개발이 활발히 진행되고 있다. 특히 컴퓨

본 연구는 (2019년도) 한국과학기술정보연구원(KISTI) 주요사업 과제로 수행한 것입니다.
*Corresponding Author : Dong-Woo Seo(Korea Institute of Science and Technology Information)
Tel: +82-42-869-1648 email: seodongwoo@kisti.re.kr
Received January 22, 2019 Revised March 7, 2019
Accepted April 5, 2019 Published April 30, 2019

터 시뮬레이션 기술은 이미 기존의 물리적 실험을 대체하는 수준에서 벗어나 실제 물리현상을 정확히 모사하고 실시간으로 분석할 수 있는 수준으로 발전했다. 더 나아가 머신 러닝이나 인공지능(AI: 증강현실Artificial Intelligence) 기술을 활용하여 기계 시스템의 오류 발생 가능성, 부품의 교체시기, 제품의 최적 설계 방안 등을 종합적으로 제시하는 디지털 트윈으로 발전하고 있다.

일반적으로 제품 개발 프로세스 중 설계분야는 제품의 성능을 반복적으로 평가하고 검증해야 하므로, 가장 많은 시간과 비용이 소요되는 단계이다. 제조기업은 이러한 비용과 시간을 절감해서 시장출시 시간을 줄여야 하는데, 이때 고성능 컴퓨터를 활용한 CAE(Computer Aided Engineering) 기술이 활용된다. 제조기업에서 활용하는 CAE는 크게 구조해석과 유체해석으로 구분할 수 있다. 구조해석 분야는 물리적 물체에 외부 힘이 미치는 영향을 찾아 측정하는 절차 또는 방법이다. 구조물에 작용하는 하중에 따른 구조물의 거동을 예측하는 데 사용된다. 반면에 CFD는 수학, 물리학 및 전산 소프트웨어를 사용하여 기체 또는 액체가 흐르는 방법과 기체 또는 액체가 흐르는 물체에 미치는 영향을 예측하는데 사용된다. CFD는 Navier-Stokes 방정식을 기반으로 하며 이 방정식은 움직이는 유체의 속도, 압력, 온도 및 밀도가 어떻게 유체의 흐름에 영향을 미치는지 예측한다. CFD 관련 연구에서 수치해석 기법의 정확도, 수렴성 등에 대해서는 많은 연구가 있었으나, 시뮬레이션 결과의 가시화에 대한 연구는 상대적으로 부족하다. 슈퍼컴퓨터를 활용한 대규모 CFD 시뮬레이션 결과의 가시화 연구는 종종 수행된 반면에, 가상현실이나 증강현실 등과 같은 최신 가시화 기술을 적용하는 연구는 아직 초보단계이다.

증강현실은 일반적으로 VE(Virtual Environments) 혹은 가상현실에서 파생한 것으로, 실제 환경에 가상의 개체인 이미지, 모션, 애니메이션, 오디오, 정보 등을 포함하는 컴퓨터 그래픽 영상을 삽입하여 사용자로 하여금 현실에 존재하는 것처럼 보이도록 하는 실제와 가상의 영상혼합을 뜻한다[1,2]. 때로는 MR(Mixed Reality)라는 용어와 혼용되어 사용되기도 하지만, 실세계와 가상세계 사이의 연속관계를 표현하는 범용적인 용어이다. 최근 카메라, 컴퓨터 등의 하드웨어 기술의 발전 및 시스템 구매 비용이 감소하여 증강현실 콘텐츠들이 폭발적으로 성장하는 추세다. 또한 스마트폰 기반의 모바일 증강현실 시스템들은 위치정보, 각도 등의 다양한 센싱 정보를 활용하여 다양한 인터넷 서비스와 결합하여 정보를 제공하는 증강 정보 서비스의 형태로 진화하고 있다. 하지만 기존의 증강현실 콘텐츠 기술은 엔터테인먼트, 게임 등의 정보 제공이나 단순한 이미지나 동영상 위주의 정보 제공에 한정되어 있다.

실체의 물체와 가상 물체의 정합을 기반으로 구성되는 공간에서 수행되는 증강현실 기술은 가상물체와 실제 물체가 차지하는 비중에 따라 완벽한 실제 환경으로도 구성될 수 있고 가상 환경만으로도 구성될 수 있다. 즉, 증강현실 기술은 가상현실 기반 기술들과 실제 환경 기반 기술들이 가지는 장점들을 모두 이용할 수 있음을 의미한다. 최근에는 이러한 증강현실의 이점을 활용하여 제품설계, 제품 평가, 제조 등의 산업에서도 활발한 연구를 진행하고 있다. 하지만 산업체가 가지고 있는 다양한 형태의 데이터와 폭발적으로 커지는 시뮬레이션 정보를 모바일과 같은 저 사양 장비에서 계산 및 구동하기가 어려워 그 활용성이 미미한 실정이다[3].

본 논문에서는 증강현실 기술을 기반으로 유체해석시뮬레이션 결과를 가시화하는 방안에 대해 기술한다. 이때 CFD 오픈소스 솔버 중 가장 널리 활용되는 SW인 OpenFOAM과 Fluent 등의 상용 솔버의 해석결과를 이용하여 실내 유동 및 오염물 대류-확산 해석을 수행한다. 해석된 결과는 증강현실 기술을 이용하여 모바일장치에서 현실감 있게 가시화되며, 실시간 가시화를 위해 클라우드 컴퓨팅 환경을 활용한다. 즉, 대규모 컴퓨팅 자원이 필요한 CFD 시뮬레이션 결과처리와 증강현실 환경에서의 환경 추적을 위해 클라우드 컴퓨팅 환경을 활용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 엔지니어링 시뮬레이션 분야에서 증강현실 기술을 활용한 연구들에 대하여 서술하고 그 제한점을 논의한다. 3장에서는 제안한 모바일 증강현실 기술을 활용한 유체시뮬레이션 후처리기 시스템의 구성에 대해 기술하고, 4장과 5장에서는 상용 및 오픈소스 솔버를 통해서 계산된 해석결과의 후처리를 통한 데이터 경량화 및 표현 데이타 생성 방법과 병렬기반의 클라우드 컴퓨팅 활용을 통한 증강현실 환경 추적 및 해석결과 가시화 방법을 설명한다. 6장에서는 공기청정기 유체해석 시뮬레이션 모델을 활용하여 모바일 장치와 착용형 장비를 활용한 구현 결과에 대해 기술하고, 마지막으로 7장에서 결론을 맺고 향후 연구내용에 대하여 논의한다.

2. 관련연구

전통적으로 다양한 수치해석 문제들이 엔지니어링 문제를 해결하는데 활용되어 왔다. 20세기 초반부터 컴퓨터 기술의 획기적 발전에 힘입어 ANSYS, Abaqus, COMSOL 등과 같은 강력한 분석 및 시뮬레이션 소프트웨어들이 개발되었다. 이러한 분석 및 시뮬레이션 소프트웨어의 메뉴, 대화 상자 및 툴바 등의 사용자 인터페이스는 사용자가 학습하는데 많은 시간이 소요되는 문제를 가지고 있고 시뮬레이션 결과를 직관적으로 검토하기가 어렵다.

이를 해결하기 위한 일환으로 몰입형 가상환경을 통한 엔지니어링 분석 가상현실 연구들이 활발하게 진행되었다. 이를 통해 시뮬레이션 결과를 보다 직관적이고 효율적으로 검토할 수 있는 환경이 마련되었다. 하지만 현실세계의 물리적인 요소와 밀접하게 연관되어 있는 엔지니어링 분야의 특성상 가상현실은 물리적인 영향력을 명확하게 인지하기 어려워 활용성이 떨어지는 문제점이 있다. 뿐만 아니라 고가의 장비가 필요한 가상현실시스템은 비용이 많이 들고, 무거운 장비 장착의 불편함이 가중되는 한계점을 가지고 있다.

증강현실은 가상현실의 한계점을 보완함으로써 엔지니어링 분석의 품질을 향상시키는 효율적이고 보완적인 도구로서 수십 년 동안 연구되었다. 증강현실기반 가시화는 실제 물리공간에서 수치해석결과를 증강현실로 가시화하고 표현함으로써 사용자에게 해석 결과를 보다 정확하게 인지하고 이해하게 도와준다[3]. 사용자는 실제 세계에서 실시간으로 수치해석 결과를 업데이트해봄으로써 제품 및 기술에 영향을 주는 파라미터들을 실시간으로 확인하고 문제를 효율적으로 분석할 수 있다. 따라서 증강현실은 엔지니어링 분석 및 시뮬레이션을 위한 가장 뛰어난 도구로써 활용될 수 있다[3].

이러한 증강현실 기술은 다양한 엔지니어링 시뮬레이션 분야에서 다음과 같이 활발히 연구가 진행되었다. 바이오 의학 분야에서는 CT (Computed Tomography) 및 MRI(Magnetic Resonance Imaging) 데이터를 증강현실에서 시각화하는 연구를 주로 수행하였다[4]. 하지만, 현재의 연구 결과물의 정확도 문제와 관련 시스템 환경 구성의 어려움으로 주로 교육적인 도구로 활용되는 한계가 있다.

기계 및 제조 분야에서는 CAD(Computer-Aided Design)와 같은 3D 설계 데이터를 사용자들이 직관적으로 검토하고 논의할 수 있도록 3차원 형상 모델 및 구조해석 결과의 증강현실 가시화를 위한 연구들이 수행되었다[5-8]. 기계 및 제조 분야에서의 증강현실 활용연구는 구조해석 및 기계장비 등의 한정된 분야에 중점을 두었으며 물리적 모델과의 정확한 정합이 어려워 그 한계성이 존재한다. 또한 전·자기분야에서도 전자기 해석 결과를 증강현실로 표현하여 그 결과를 직관적으로 검토할 수 있는 연구도 수행되었다

특히, 유체해석 시뮬레이션은 기계, 토목, 도시 공학 등 분야의 분석 결과를 시각화하는 연구를 수행하였다. 이를 통해 토목 엔지니어와 도시 디자이너는 증강현실로 가시화된 결과를 이용하여 실내외 환경을 분석하고 개선할 수 있다. 하지만 종래의 유체해석 시뮬레이션 기반의 증강현실 연구들은 주로 전체 도시설계나 건축 엔지니어링 분야에 중점을 두고 있어 다양한 분야의 유체해석 시뮬레이션에 적용하기 어렵다. 유체해석 시뮬레이션 결과를 증강현실 기반으로 가시화하기 위한 대표적인 연구들은 Table 1과 같다.

각 연구들은 Java3D, OpenGL, paraview, VRML 등 다양한 가시화방법을 채택하여 유체해석 시뮬레이션 결과 데이터를 증강현실 기술을 활용하여 가시화하기 위한 연구를 수행하였다. 하지만 대부분 연구들이 특정한 유체해석 시뮬레이션을 지원하는 것에 한정되어 있거나 데스크탑 기반의 가시화만을 지원하여 다양한 공간에서의 검토와 활용이 제한된다. 따라서 본 논문에서는 소프트웨어 산업체가 가지고 있는 다양한 형태의 데이터와 폭발적으로 커지는 시뮬레이션 정보를 증강현실 환경에서 모바일과 같은 저 사양 장비에서 활용하기 위한 방법을 제안한다.

3. 시스템 설계

본 장에서는 다양한 형태의 상용 및 오픈소스 유체해석결과를 이용한 모바일 증강현실기반 유체시뮬레이션 후처리기 구조를 설명한다.

제안한 모바일 증강현실 기반 유체시뮬이션 후처리기는 Fig 1과 같이 AR Post-Processing과 AR Visualization으로 구성된다. 먼저 유체해석결과는 CFD 오픈소스 솔버 중 가장 널리 활용되는 SW인 OpenFOAM와 Fluent 등

Table 1. Related works

Related Works	Visualization Method	Characteries	Limitation of the Research
[9,10]	Java3D	Indoor thermal data visualization in a robot environment. Improvement of voice and motion-based interactive environment	Can be utilized only in a restricted indoor environment Only provided an robot based environment
[11,12]	OpenGL, VR Markup language	AR visualization of the CFD simulation of a housing design. Design tool consisting of CFD, VR, AR and BIM. Multiple users wearing head-mounted displays (HMD) can superimpose the results of analysis or sensory data on video images of outdoors	Lack of restricted outdoor environment Lacks support in a mobile environment Lacks real scene AR
[13]	Paraview	AR with CFD to develop training materials for operation of a large boiler at a coal-fired power plant. System uses a desktop computer. Simulation, post processing, modeling of associated 3D structures, and registration with relevant technical drawings.	Restricted to visualization of set information, not calculation of post-processing data difficult to integrate with other applications Lacks real scene AR
[14]	Local image overlay	AR visualization of temperature, speed and direction of air flow in the cabin, or air pressure.	Setup is pre-defined and is not adaptable to other applications Lacks real scene AR Lacks support in a mobile environment
[15]	OpenGL	Integrates interactive simulation, a marker-based tangible user interface and several interaction concepts for 3D CFD. AR visualization for turbine design and development of prototypes.	Lacks support in a mobile environment Lacks real scene AR

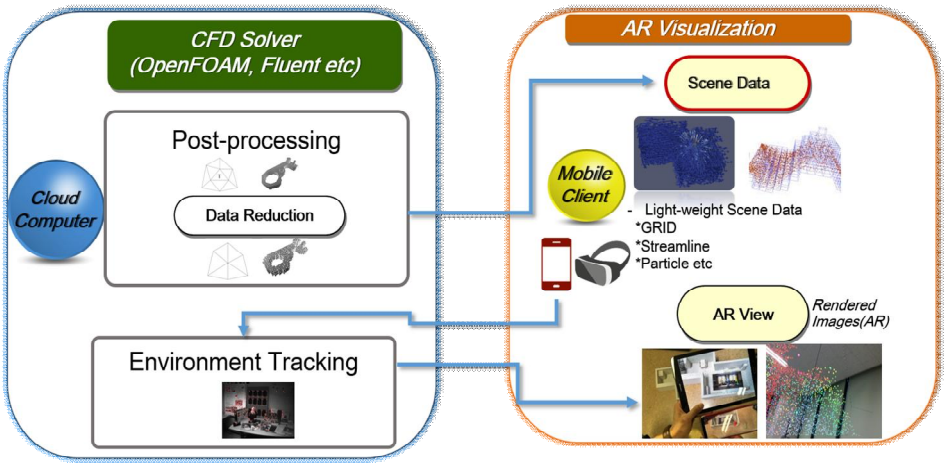


Fig. 1. Proposed System

의 상용 솔버에 의해서 계산된 실내 유동 및 오염물 대류-확산 등의 주요한 정보를 활용한다.

AR Post-pcrocessing단계에서는 계산된 유체해석결과를 활용하여 모바일 환경에서 원활하게 구동시키기 위한 표현데이터를 생성한다. 데이터 사이즈가 매우 큰 유체해석결과를 빠르게 분석하여 경량화 데이터를 생성한다. AR Visualization단계에서는 실시간 위치 추적 및 해석결과에 대한 가시화 작업을 수행하는데, 클라우드로부터 생성된 경량화 된 표현정보를 활용하여 각 요소를 생성하고, 이렇게 생성된 가시화 요소를 추적된 위치에 맵핑(mapping)하여 증강현실 환경에 가시화한다. 여기서 전체 환경 공간에 대한 실시간 추적을 빠르게 수행하기 위하여 계산 량이 복잡한 계산을 클라우드 환경에서 처리한다.

4. AR Post-processing

유체해석결과 가시화는 데이터가 크고 계산량이 많이 요구되기 때문에 주로 데스크탑 PC환경의 가상공간에서 이루어지고 있으며, 상대적으로 하드웨어 성능이 낮은 모바일 환경에서는 구동에 어려움이 있다. 본 논문에서는 많은 계산량이 요구되는 유체해석결과 분석을 여러 개의 계산 자원으로 이루어진 서버에서 빠르게 처리할 수 있도록 하였다. 서버에서는 유체해석결과 분석 및 분석결과 경량화, 상호작용 및 협업을 지원하기 위한 가시화 요소 제어를 수행한다.

4.1 CFD 해석결과 분석

유체해석을 지원하는 대부분의 상용 툴에서는 해석결과의 분석 및 가시화를 위한 자체 모듈이 탑재되어있어 외부에서의 제어가 어려우며, 오픈소스 기반의 분석 및 가시화 툴의 경우, 단일 실행파일 만을 제공하여 외부에서 기능에 대한 제어가 어려워 활용성 측면에서 제약을 갖는다. 본 논문에서는 Fig. 2와 같은 과정을 수행하여 다양한 유체해석 툴의 해석결과를 지원하고, 외부에서 제어가 가능하도록 하였다.

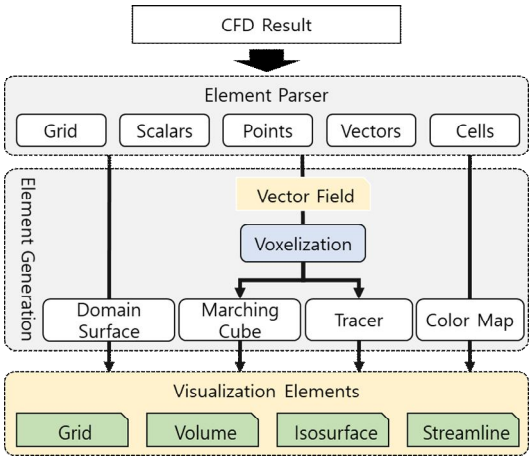


Fig. 2. Analysis of the CFD result

CFD 해석결과에는 Grid, Scalar, Point, Cell 등의 요소가 포함되어 있으며, 이들 요소에 대한 분류/분석을 통해 가시화 요소들을 생성할 수 있다. 분류를 담당하는 Element Parser에서는 구문분석(Syntax Analysis)을 통해 가시화 요소 추출을 위한 요소들의 분류를 수행한다. 이 과정에서는 다양한 포멧(VTK, Fluent, CFX 등)을 지원하기 위해 각 포맷을 지원하는 라이브러리가 활용된다. 분석을 담당하는 Element Generation에서는 분류된 결과를 토대로 벡터필드(Vector Field)와 색상지도(Color Map)을 생성한 다음, 계산을 최소화하기 위해 벡터필드에 대해 복셀화(Voxelization) 과정을 수행한다. 이후, 복셀화된 벡터필드로부터 Marching Cube[16] Tracer를 통해 해석결과에 대한 등가곡면(Isosurface) 과 유선(Streamline)을 계산하고, 분류된 요소들을 입력으로 하는 Domain Surface를 통해 격자(Grid)와 볼륨(Volume)을 계산한다. 색상지도는 속성에 따라 계산된 가시화 요소에 각각 적용된다. 여기서, 유선은 저사양 환경을 고려하여 최대 100개의 시작점(Seed points)을 토대로 생성/추출하였고, 이외 요소들은 추가 작업 없이 추출하되 이후 경량화 과정에서 축약이 이루어진다.

4.2 분석결과 경량화

유체해석 결과에서 유체가 거동하는 공간은 표면 데이터뿐만 아니라 내부가 채워진 형태로 표현되기 때문에 요소의 수가 매우 크다. 따라서, 모바일 환경에서 유체해석결과의 원활한 가시화를 위해서는 분석결과를 통해 추출되는 가시화 요소에 대한 경량화가 요구된다. 이를 위해 본 논문에서는 Fig. 3과 같은 가시화 요소 경량화 과정을 수행함으로써 모바일에서의 원활한 구동을 지원할 수 있도록 하였다.

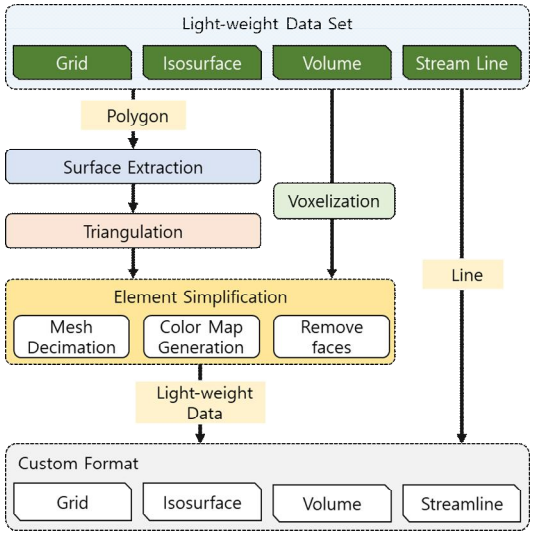


Fig. 3. Optimization of the CFD result

유체해석결과에 대한 가시화 요소가 추출되면, 속성에 따라 경량화 과정을 수행한다. 해석결과 가시화에서 격자와 등가곡면, 볼륨은 렌더링에서 가장 많은 부분을 차지하기 때문에 이들을 중점으로 경량화가 이루어진다. 본 논문에서 활용된 Unity3D에서는 3차원 메쉬 모델(3D mesh model) 표현을 위해 삼각 메쉬(Triangle mesh)만을 지원한다. 따라서, 형태에 따라 다양한 메쉬(Triangle, Rectangle, Hexagon 등)를 가질 수 있는 격자와 등가곡면에 대해 삼각화(Triangulation)[17] 정을 수행한 다음, 삼각화로 인해 세분화된 절점의 수를 줄이고 렌더링 부담을 해소하기 위해 요소 축약(Element Simplification)[18] 정을 수행한다. 유체해석결과에는 각 절점에 색상정보가 포함되어 있어 일반적인 메쉬 축약 방식의 경우 색상정보도 함께 제거 된다. 따라서, 축약 전에 해석결과의 색상정보로부터 매핑 이미지(Mapping Images)를 생성한 후, 메쉬를 축약하여 축약된 메쉬에 맵핑이미지를 적용하는 방식을 취한다. 볼륨의 경우에는 절점들의 인접관계로부터 복셀을 생성하고, 공유 면을 제거하는 축약 방식의 중복요소 제거를 통해 모바일에서도 원활한 가시화가 가능할 수 있도록 하였다. 이렇게 경량화된 정보는 자체 설계한 포맷의 형태로 각각 저장되며, 이는 모바일환경에서 가시화에 활용된다.

4.3 상호작용 및 협업

전술한 바와 같이 본 논문에서는 유체해석결과의 분석 및 가시화 요소 추출을 위해 Post-processing을 수행하였다. 이는 최초 해석결과 분석 및 가시화 요소 추출뿐만 아니라 상황에 따라 모바일환경에서 사용자에 의해 요구되는 가시화 요소에 대한 제어에도 유용하게 활용될 수 있다. 따라서 유선 시작점 변경 또는 요소별 색상표현(Legend) 범위 변경 등과 같은 기능별 제어 기능을 구성하여 해석결과에 대한 보다 세밀한 검토 및 분석이 가능하도록 하였다(Fig. 1 참조). 유체해석결과를 검토/분석하는 과정에서 사용자로부터 가시화 요소에 대한 제어 이벤트가 발생하면, 이벤트에 따른 파라미터가 서버에 구성된 제어 스크립트에 전달되고, 결과를 수정하여 수정된 결과를 가공하여 이를 다시 사용자에게 전달하는 과정을 반복한다. 이러한 제어 방법은 해석결과를 활용한 협업 시스템에도 효과적으로 활용될 수 있다.

5. AR Visualization

모바일 장치를 활용한 증강현실기반 유체해석결과 가시화를 위해서는 실시간 위치 추적과 함께 해석결과 가시화가 동시에 이루어져야 한다. 성능이 낮은 모바일환경에서 원활한 구동을 위해서는 비교적 계산량이 적은 연산과 함께 렌더링에 대한 최적화가 요구된다.

5.1 가시화 요소 생성 및 최적화

Post-processing을 통해 분석 및 경량화된 유체해석결과의 가시화 요소는 Unity3D 렌더링 요소와 직접 호환이 되도록 정의된 단순화된 포맷에 저장되고, 이는 모바일 장치로 전달된다. 따라서, Unity3D에서 미리 정의 및 생성된 렌더링 요소를 통해 복잡한 연산과정 없이 간단한 구문분석만으로 빠르게 렌더링을 수행할 수 있다. 렌더링 요소생성은 Fig. 4와 같이 격자와 등가곡면, 볼륨 요소를 생성하는 Create Mesh와 유선 요소를 생성하는 Create Curve Mesh, 그리고 유체의 흐름 요소를 생성하는 Create Particle 생성과정으로 이루어지며, 각 과정을 통해 생성된 요소들은 Unity Rendering Pipeline을 통해 렌더링 된다.

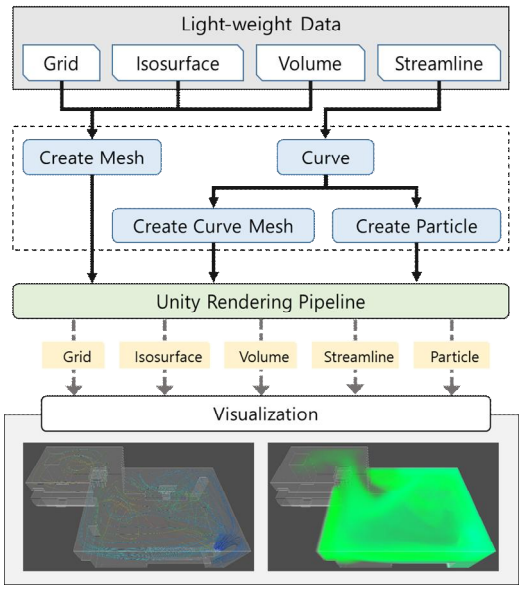


Fig. 4. Generation visualization data

이렇게 가시화된 요소들의 경우 비교적 적은 연산이 요구되지만, 증강현실 구현을 위한 실시간 위치 추적 연

산과 동시에 구동될 경우 상황에 따라 프레임 저하가 발생할 수 있다. 따라서, 렌더링 최적화가 요구되는데, 본 논문에서는 렌더링 요소의 배칭(Batching) 과정을 통해 드로우콜(Draw call)과 가비지 컬렉터(Garbage collector)[19] 호출을 최소화 하였다. Fig. 5는 유선을 예제로 렌더링 최적화를 위해 수행되는 과정을 나타낸다.

Unity3D에서는 그리고자 하는 요소를 6만개이하의 정점으로 구성된 오브젝트(Object) 단위로 구분하여 렌더링을 하며, 렌더링의 성능은 오브젝트를 화면에 그리기 위한 드로우콜과 메모리 관리를 위한 가비지 컬렉터의 호출 빈도에 많은 영향을 받는다. 렌더링 오브젝트 수가 많을수록 드로우콜은 빈번하게 호출되며, 이에 따른 메모리증가로 가비지 컬렉터도 자주 호출하게 된다. Fig. 5의 예제와 같이 유사한 속성을 가지는 유선들을 하나의 그룹으로 묶는 배칭 과정을 수행하여 최소의 오브젝트들로 정의함으로써 드로우콜과 가비지 컬렉터의 호출을 줄일 수 있도록 하고, 이를 통해 프레임저하를 최소화 한다.

5.2 실시간 추적기반 증강가시화

성능이 낮은 모바일 환경에서 가시화와 추적이 동시에 이루어지기 위해서는 실시간 추적에 대한 성능이 보장되어야 한다. 또한 집과 같은 실제 공간에서의 공기흐름과 같은 유체해석 결과를 정합시키기 위해서는 넓은 영역을 추적하는 기술이 필요하다.

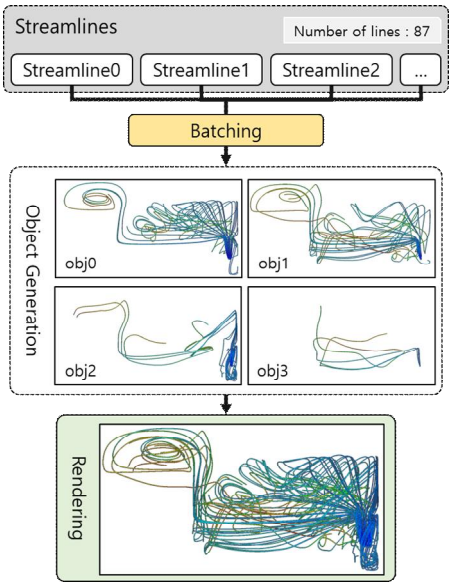


Fig. 5. Example of the optimizing streamline

논문에서는 주택 내부라는 물리적 공간에서 공기의 흐름을 증강현실로 가시화하기 위하여 모바일 장치의 카메라 영상을 이용한 환경기반 추적 기술을 활용한다. 환경기반 추적기술은 넓고 복잡한 공간에서도 해석결과를 보다 정확하고 몰입감 있게 검토할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 환경기반의 추적기술은 실시간으로 전체 환경에 대한 정보를 계산해야 하므로 연산이 시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 이러한 계산량이 많은 실시간 tracking 작업을 효과적으로 수행하기 위해 Fig. 6과 같이 클라우드 시스템에서 tracking을 수행하도록 설계하였다. 즉, 많은 연산이 필요한 대상 추적 프로세스는 클라우드 system에서 처리하고, 대상을 정합하는 작업은 사용자 장치에서 처리하도록 구성하는 것이다.

클라우드 기반의 실시간 증강현실 Tracking은 증강현실 Display, 증강현실 Mapper, 증강현실 Tracker로 구성된다. 먼저 증강현실 Display는 사용자 mobile 장비의 카메라로부터 실시간으로 이미지 데이터를 획득하고, 클라우드 system의 증강현실 Tracker로 전송한다. 증강현실 Tracker는 전송 받은 이미지로부터 FAST featuring 기법[20]을 이용하여 feature를 추출하고, 이를 통해 카메라와 대상 공간 사이에 시뮬레이션 결과가 증강될 3차원 공간을 생성한다.

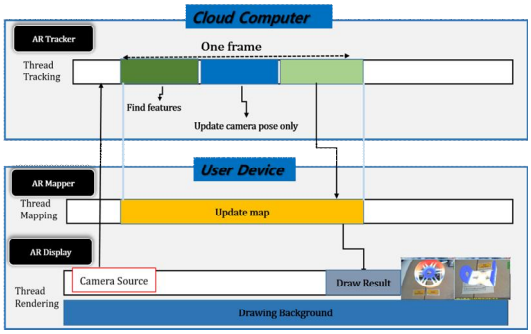


Fig. 6. Method of cloud based parallel method

이때 증강현실 Mapper는 simulation 결과와 증강현실 Tracker로부터 생성된 3차원 공간 데이터를 정합하는 역할을 수행한다. 이때 사용자가 물리 공간에서 이동하여 카메라가 빠르게 움직이면, 증강된 오브젝트가 흔들리는 오류가 발생할 수 있다. 이를 개선하기 위하여 Gauss-Newton 기법[21]을 활용하여 흔들림의 오차를 개선하여 위치를 보정하는 작업을 수행한다.

6. 구현 결과

본 논문에서는 사용자가 공기청정 시뮬레이션 결과를 실제 공간에서 직관적으로 이해할 수 있도록 하기 위해 증강현실 기술을 활용하였다. 이를 위해 주택 실내에 공기청정기를 배치하고 유체시뮬레이션을 수행한 후, 스마트폰/패드 또는 착용형 장비를 이용하여 그 결과를 증강현실 기반으로 검토할 수 있도록 구현했다.이때 주택 구조 모델과 내부의 물리적 공간과 맵핑된 특정 영역을 상세히 검토할 수 있는 증강 모델을 구현했다. Table. 2와 Table. 3은 증강현실 가시화를 위한 장비에 대한 설명이다.

본 구현결과에서는 오픈소스인 OpenFoam을 통해서 해석된 결과를 활용하였다. Fig. 7은 해석된 데이터의 후처리 과정과 경량화를 통한 데이터의 축소 결과를 보여준다. 해석결과는 30 step을 기준으로 크기는 780MB 로 해석결과 분석을 위한 GRID, Vector, Scalar 등의 모든 데이터를 포함하고 있다. 일차적으로 Post-Processing을 통해서 분석결과 표현을 위한 데이터를 추출하고 계산한다. 그 결과는 GRID, ISO, STREAMLINE 등으로 추출되며 그 크기는 85MB 이다.

Table 2. Mobile Device based scenario

Device Type	Mobile Device
Implementation Device	Samsung Galaxy 7 Samsung Galaxy Note
Function	Visualization of results of the entire indoor housing space Visualization of analysis data like Streamline, Particle, Volume and animation depending on time

Table 3. Wearable device based Scenario

Device Type	Wearable AR Device
Implementation Device	Microsoft HoloLens
Function	Visualization of physical space of real apt. and interpretation results through mapping Visualization of analysis data like Streamline, Particle, Volume and animation depending on time

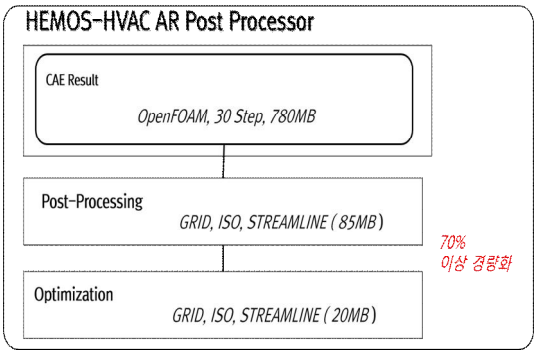


Fig. 7. Example of optimization

이 결과를 이용하여 모바일 환경에 적합한 형태로 경량화 단계를 거쳐 최적화 시킴으로써 20MB 크기로 변환시킴으로써 표현결과에는 변화가 없는 결과를 생성시킨다. 구현결과(Fig. 7)를 통해서 보여주듯이 경량화 성능은 70%이상의 성능을 보여준다. 이를 통해 모바일 장치에서 네트워크를 통해서 데이터를 주고 받는 비용과 일반적으로 하드웨어의 성능이 떨어지는 모바일장비에서 원활하게 그 결과가 구동 가능하도록 해준다.

본 논문에서는 형상 정보를 3차원으로 렌더링 하기 위하여 Unity 엔진을 사용하고 있으며, 사용자에게 보다 현실적인 몰입환경을 제공하기 위하여 증강현실 디스플레이 장치를 활용하였다. 이러한 증강현실 가시화를 위한 디스플레이 구성은 Fig. 8과 같다.

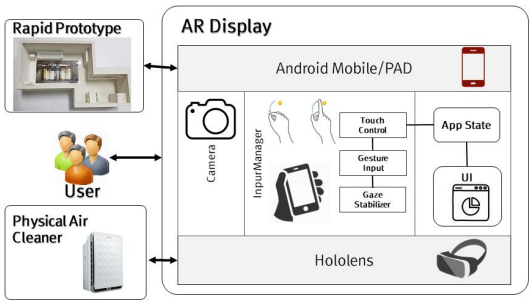
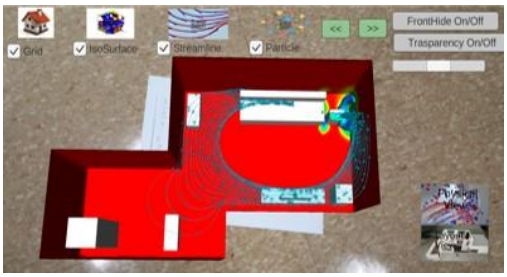


Fig. 8. Demonstration of implementation

사용자는 안드로이드 기반 스마트폰/패드와 Hololens glass 기반의 착용형 장비로 결과를 증강현실 환경에서 검토할 수 있다. 증강현실가시화는 주택 내부 전체 공간과 특정 공간에 대한 검토를 동시에 지원하도록 구현되었다. 즉, 주택 내부 전체 공간에 대한 해석 결과 가시화뿐 아니라, 실제 공기청정기와 시뮬레이션 상의 가상의

공기청정기의 맵핑을 통한 해석 결과 가시화 기능도 구현하였다.



(a)

(b)

Fig. 9. Mobile based AR
(a) Streamline and particle visualization
(b) Particle visualization

(a)

(b)

Fig. 10. Wearable device based AR
(a) Particle visualization
(b) Streamline and particle visualization

Fig. 9는 주택 내부 전체 공간에 대한 해석 결과 가시화는 먼저 rapid prototype(RP) 모델을 인식하고, 그 후 시뮬레이션 결과를 RP 모델에 정합하여 가시화 한 결과를 보여준다. 또한 Fig. 10은 실제 공기청정기에 가상의 공기청정기 모델을 배치하여 공기청정기 영역에 대한 시뮬레이션 결과를 가시화 한 것이다.

7. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 모바일 증강현실 기술을 이용한 유체시뮬레이션 후처리기를 제안하였다. 이를 위해 후처리 과정에서는 유체해석결과를 분석한 후, 모바일 환경에서 원활한 구동을 지원하기 위하여 70%이상의 데이터 경량화 작업을 수행하며, 가시화 과정에서는 경량화된 데이터를 이용하여 클라우드 컴퓨팅을 활용한 실시간 추적 작업과 함께 유체해석결과를 화면에 정합하는 방법을 보여주었다. 이를 통해 사용자는 시뮬레이션이 수행된 다양한 공간에서 유체해석결과를 효과적이고 몰입감있게 검토/분석 할 수 있다. 마지막으로 실내 공기청정에 대한 해석결과를 대상으로 제안된 방안의 유용성을 보인다.

추후 연구로는 실내 공기청정뿐만 아니라 다양한 형태의 유체시뮬레이션 결과를 적용하고 사용성 테스트를 수행하고자 한다.

References

[1] P. Sinclair, “Integrating Hypermedia techniques in augmented reality environments”, *Ph.D thesis*, University of Southampton, 2007.

[2] R. Azuma, “Overview of augmented reality”, *Proc. Of SIGGRAPH International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques,* pp. 8-12, 2004.

[3] W. Li, A. Y. C. Nee, S. K. Ong, “A State-of-the-Art review of augmented reality in Engineering Analysis and Simulation”, *Multimodal Technologies Interact*. Vol.1, No.3, pp.1-22, Sep. 2017.
DOI: https://doi.org/10.3390/mti1030017

[4] T. Tawara, K. Ono, “A framework for volume segmentation and visualization using augmented reality”, *In Proceedings of the 2010 IEEE Symposium on 3D User Interface (3DUI)*, pp.121-122, March 2010.
DOI: https://doi.org/10.1109/3dui.2010.5444707

[5] D. Weidlich, S. Scherer, M. Wabner, “Analyses using VR/AR visualization”. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.28, No.5, pp.84 - 86, Aug. 2008.

DOI: https://doi.org/10.1109/mcg.2008.89

[6] C. J. Paulus, N. Haouchine, D. Cazier, S.Cotin, "Augmented reality during cutting and tearing of deformable objects". I*n Proceedings of the 2015 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, pp.54-59, November 2015.
DOI: https://doi.org/10.1109/ismar.2015.19

[7] A. Buchau, W. M. Rucker, U. Wössner, M. Becker, "Augmented reality in teaching of electrodynamics", *In. J. Comput. Math. Electr. Electron*, pp.948–963, July 2009.

[8] R. L. Silva, P. S. Rodrigues, J. C. Oliveira, G. Giraldi, "Augmented Reality for Scientific Visualization: Bringing Datasets inside the Real World", *In Proceedings of the Summer Computer Simulation Conference (SCSC 2004)*, pp.20–24, January 2004.

[9] R. Lakaemper, A. M. Malkawi, "Integrating robot mapping and augmented building simulation", *J. Comput. Civil. Eng.* Vol.23, No.2 pp.384-390, Oct. 2009.
DOI: https://doi.org/10.1061/(asce)0887-3801(2009)23:6(384)

[10] A. M. Malkawi, R. S. Srinivasan, "A new paradigm for Human-Building Interaction: the use of CFD and Augmented Reality", *Automation in Construction*, Vol.14, No.1 pp.71-81, Jan. 2005.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.08.001

[11] T. Fukuda, K. Mori, J. Imaizumi, "Integration of CFD, VR, AR and BIM for design feedback in a design process-an experimental study". *In Proceedings of the 33rd International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design Europe (eCAADe33)*, pp.22-26, September 2015.

[12] N. Yabuki, S. Furubayashi, Y. Hamada, T. Fukuda, "Collaborative visualization of environmental simulation result and sensing data using augmented reality", *In Proceedings of the International Conference on Cooperative Design, Visualization and Engineering*, pp.227-230, Sep. 2012.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-32609-7_32

[13] J. Moreland, J. Wang, Y. Liu, F. Li, L. Shen, B. Wu, C. Zhou, "Integration of Augmented Reality with Computational Fluid Dynamics for Power Plant Training", *In Proceedings of the International Conference on Modeling, Simulation and Visualization Methods*, pp.22–25, 2013.

[14] H. Regenbrecht, G. Baratoff, W. Wilke, "Augmented reality projects in the automotive and aerospace industries", *IEEE Comput. Graph. Appl.* pp.48-56, Nov. 2005.
DOI: https://doi.org/10.1109/mcg.2005.124

[15] F. Niebling, R. Griesser, U. Woessner, "Using Augmented Reality and Interactive Simulations to Realize Hybrid Prototypes", International Symposium on Visual Computing, pp.2008-1017, March 2018.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-89639-5_96

[16] W. E. Lorensen, H. E. Cline, "Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm", *In ACM siggraph computer graphics,* Vol.21, No.4, pp.163-169, July. 1987.
DOI: https://doi.org/10.1145/37402.37422

[17] L. P. Chew, "Constrained Delaunay Triangulations", *Algorithmica*, Vol.4, No.1-4, pp.97-108, June. 1987.
DOI: https://doi.org/10.1007/bf01553881

[18] M. Garland, P. S. Heckbert, "Surface simplification using quadric error metrics", *Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp.209-216, August 1997.
DOI: https://doi.org/10.1145/258734.258849

[19] Unity Manual: Optimization, https://docs.unity3d. com/Manual/MobileOptimisation.html.

[20] E. Rosten, T. Drummond, "Machine learning for high-speed corner detection", *Computer Vision – ECCV*, pp.430-443, May 2006.
DOI: https://doi.org/10.1007/11744023_34

[21] M. Sarkis, K. Diepold, "Camera-Pose Estimation via Projective Newton Optimization on the Manifold". *IEEE Transactions on Image Processing.* Vol.21, No.4, pp. 1729-1741, April 2012.
DOI: https://doi.org/10.1109/tip.2011.2177845

박 상 진(Sang-Jin Park) [정회원]

- 2012년 2월 : 조선대학교 일반대학원 산업공학과 (공학석사)
- 2017년 2월 : 조선대학교 일반대학원 산업공학과 (공학박사)
- 2017년 4월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 박사후연구원

<관심분야>
VR/AR based post-processing, CAD/CAM Applications, 3D Model Construction Using Medical Images, Dental Biometrics, Virtual Angioscopy, Machine Learning.

김 명 일(Myungil Kim) [정회원]

- 2000년 2월 : 전남대학교 산업공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 전남대학교 산업고학과 (공학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 책임연구원

<관심분야>
Modeling & Simulation, 슈퍼컴퓨팅, 제조혁신

김 호 윤(Ho-yoon Kim) [정회원]

- 1999년 2월 : 부산대학교 정밀기계공학과 (공학석사)
- 2008년 2월 : 부산대학교 정밀기계공학과 (공학박사)
- 2008년 8월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 가상설계센터

<관심분야>
Modeling and Simulation, Digital Transformation, Additive Manufacturing

서 동 우(Dong-Woo Seo) [정회원]

- 2008년 2월 : 전남대학교 일반대학원 산업공학과 (공학석사)
- 2012년 2월 : 전남대학교 일반대학원 산업공학과 (공학박사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 연구원

<관심분야>
AR/VR-based CAD/CAM Services, Software Architecture, user experience (UX) in CAE Service and collaborative design and interaction.