오픈소스 코드를 이용한 통합 전산유체역학 환경 구축★

강 승 훈*, 손 성 만*, 오 세 홍*, 박 원 만*, 최 청 열*

요 약

CFD 해석 기술은 열 또는 유체 유동과 관련한 산업 전분야에 걸친 제품의 설계, 개발 시에 컴퓨터를 응용하는 해석 기술로서, 컴퓨터를 이용한 가상 시험 (시뮬레이션)을 통해 개발기간 단축, 비용절감 등을 이루고자 활용되고 있다. 그러나 CFD 해석을 위해서는 고가의 외산 상용 CFD 소프트웨어의 사용이 일반적이다. 이에 대한 대안으로 Opensource 기반의 CFD 소프트웨어가 있으나 텍스트 인터페이스 환경만을 지원하기 때문에 전문적인 지식을 가진 사용자만이 사용 가능하다. 이에 본 기술개발에서는 상용 CFD 해석 소프트웨어 수준의 신뢰도를 가지며, 국내외적으로 많은 사용자를 확보하고 있는 Opensource 기반의 CFD 소프트웨어인 OpenFOAM에 대하여 그래픽 기반 환경 설정을 지원하도록 구성하여 전문가뿐만 아니라 초보자도 쉽게 CFD 해석 환경의 구축이 가능하도록 하는 환경을 개발하였다. 또한 개발된 시스템은 CFD 해석을 위한 전처리(형상 및 격자생성) 환경과 후처리(결과 분석 및 가시화)를 위한 환경을 연계를 지원하여 하나의 플랫폼안에서 통합된 CFD 해석 프로세스가 가능하도록 지원한다.

Development of Integrated Computational Fluid Dynamics(CFD) Environment using Opensource Code

Kang Seunghoon*, Son Sungman*, Oh Se-Hong*, Park Wonman*, Choi Choengryul*

ABSTRACT

CFD analysis is an analytical technique that applies a computer to the design and development of products across the e ntire industry for heat or fluid flow. This technology is used to shorten the development period and reduce costs through computerized simulation. However, the software used for CFD analysis is now required to use expensive foreign software. The Opensource CFD analysis software used in the proposed system has reliability of commercial CFD analysis software and has various user groups. However, for users who have expert knowledge, Opensource CFD software which supports o nly text interface environment, We have developed an environment that enables the construction of a CFD analysis enviro nment for beginners as well as professionals. In addition, the proposed system supports the pre-processing (design and me shing) environment for CFD analysis and the environment for post-processing (result analysis & visualization), enabling t he integrated CFD analysis process in one platform.

Key words : CFD, Opensource CFD, OpenFOAM, Integrated Software Platform

접수일(2018년 2월 25일), 수정일(1차: 2018년 3월 19일), 게재확정일(2018년 3월 30일)

* ㈜엘쏠텍 부설연구소

★본 논문은 과학기술정보통신부 및 연구성과실용화진흥원 2017년 연구개발서비스혁신역량강화사업의 지원을 받아 수행하였음. [2017K000119]

1. 서 론

전산유체역학(CFD: Computational Fluid Dynamics)[1]은 유체 흐름, 열 흐름 등을 기술한 비선형 편미분 방정식들을 FDM(Finite Difference Method)[2], FEM(Finite Element Method)[3] 또는 FVM(Finite Volume Method)[4] 등의 방법들을 사용하여 이산화(Discretization)하여 대수 방정식으로 변환하고, 이를 수치해석기법(Numerical Analysis Methods)의 알고리즘을 사용하여 수치해석적인 방법으로 유체 흐름, 열 흐름과 관련된 현상을 해석하는 기술이다. 전산유체역학은 다양한 산업분야에서 활용되고 있으며, 대표적으로 기계 설계 및 응용분야, 플랜트 혹은 엔지니어링 분야, 초소형 기계 및 회로 설계 분야에서 설계 시 문제점 파악 및 실험이나 계측이 어려운 분야에서의 사전 시뮬레이션 등에 이용되고 있다[5].

전산유체역학을 이용한 해석 시뮬레이션의 단계는 먼저 해석을 진행할 대상의 형상 디자인, 작업된 형상에 대해 해석을 진행할 최소 단위를 메쉬 형태로 구성하는 메쉬(Mesh 혹은 Grid) 생성을 전처리 작업(Pre-processing)이라고 한다. 그 후에 해당 메쉬와 해석조건을 설정 한 후, 수치해석(계산)을 진행하게 되는데 이 작업을 해석작업(Solving)이라 한다. 해석작업이 완료되면 각각의 메쉬에는 해석결과가 저장되는데 이 결과들은 후처리 작업(Post-processing)을 통해 유체흐름, 온도분포 등의 물리적 현상이 실제 사용자가 인지할 수 있도록 가시화된다. 전산유체역학 해석을 위해서 연구자나 엔지니어들은 Fluent, CFX, Star-CCM+와 같은 상용 전산유체역학 소프트웨어를 사용하거나 자체적으로 개발한 in-house 코드를 사용하고 있다[5][6][7].

해석을 위해 상용 소프트웨어를 사용하고자 하면 고가의 비용을 지불하여야 하고, 고 사양의 컴퓨팅 환경을 갖추어야 하기 때문에 실제 제품 개발이나 연구를 위해 사용자가 사용하기 위해서는 어려움이 있다. 또한, 상용 CFD 소프트웨어의 경우에 솔버에 대한 제한적인 설정만을 지원해 사용자의 의도를 정확히 반영한 해석을 수행하는 데에는 제한이 있다. 이러한 단점에도 불구하고 상용 CFD 해석 소프트웨어는 일반 사용자가 쉽게 접근이 가능하도록 하는 높은 수준의 사용자 인터페이스의 제공과 해석 환경 설정 및 해석 결과의 통합 분석이 가능하도록 하는 일원화된 환경을 구축하여 사용자에게 제공한다[8][9].

현대 컴퓨팅 환경에서 오픈 소스 소프트웨어의 개발은 단순한 IT 분야에 국한되지 않고 다양한 산업분야에 적용되는 형태로 발전되고 있다. 단순한 라이브러리 프로그램부터 시작해 다양한 응용 프로그램, 웹 서비스 분야, 심지어는 운영체제조차도 오픈 소스로 개발되고 있으며, 이러한 흐름은 더욱더 가속화 되고 있다. 오픈소스 소프트웨어의 시작은 1990년대 시작된 GNU 재단의 일반 공중 사용 허가서(GPL: General Public License)가 그 시초라 할 수 있으며, 그를 기반으로 제작된 소스 코드의 무상 공개 및 사용자에 의한 해당 소스 코드의 자유로운 사용 및 수정이 허가되는 것이 주 내용이다.

전산유체역학분야에서도 최근 오픈소스 환경을 지원하기 위해 2000년대 초반 미국의 에너지기술연구소에서 개발된 MFiX 라는 CFD 소프트웨어의 소스를 공개하여 일반 연구자 혹은 개발자들을 지원하고 있다[7]. 또한, OpenFOAM의 경우, 1990년대 초반부터 개발되기 시작해 2004년 오픈소스로 공개되어 전산유체역학을 연구하는 연구자들 사이에서 많은 사용자층을 확보하고 있다[6]. 하지만, 오픈소스 전산유체해석 소프트웨어의 경우에 대부분 실제 해석에 사용되는 해석 솔버에 대한 코드만을 제공하며, 전처리(형상 설계 및 해석용 메쉬 생성)와 후처리(해석 결과의 분석 및 리포트 작성)를 위해서는 별도의 소프트웨어를 사용하여 한다[5]. 이는 결국 오픈소스 소프트웨어에 대한 사용자의 접근성을 제한하는 요인이 되고 있다. 또한, 대부분의 오픈소스 소프트웨어가 그렇듯이 기반 환경 자체가 리눅스 등의 환경이라서 IT 전문가가 아닌 전산유체역학 연구자 혹은 전산유체역학을 이용하여 제품을 개발하고자 하는 산업계의 수요자의 접근을 막고 있는 것이 현실이다[10].

OpenFOAM의 경우는 오랜 기간[10] 지속적인 개발로 해석 솔버의 안정성이 높고, 시스템의 구조가 간편하다는 장점으로 인해 많은 사용자층을 확보[12][13][14]하고 있다. 또한, 연구자 및 엔지니어들이 오랜시간 다양한 방법으로 OpenFOAM 해석 솔버의

신뢰성을 비교평가하기도 하였다[15]. 하지만 초기 개발 환경에서 만들어진 문제점인 최근의 CFD 해석 환경 설정 트렌드를 반영하지 못하는 해석 케이스 구조를 갖는다. 특히 일반 상용 소프트웨어와는 달리 텍스트 기반 환경 설정만을 지원하며, 개개의 설정 환경도 분산되어 있어 일반 사용자가 쉽게 OpenFOAM을 이용해 CFD 해석을 수행하기는 어렵다.

본 연구에서는 오픈 소스 CFD 해석 솔버를 제공하는 OpenFOAM을 이용해 사용자가 쉽게 전산유체해석을 수행할 수 있도록 하는 전처리/해석/후처리를 하나의 환경에서 통합 관리할 수 있도록 하는 환경을 제공하고자 한다. 제안된 시스템은 OpenFOAM 환경의 가장 큰 어려움인 텍스트 기반 해석 환경의 설정을 그래픽 사용자 인터페이스 기반 환경으로 제공하며, 전처리와 후처리 소프트웨어와의 연계도 구축하여 하나의 환경에서 통합된 CFD 해석환경을 제공하는 시스템을 설계/개발하였다.

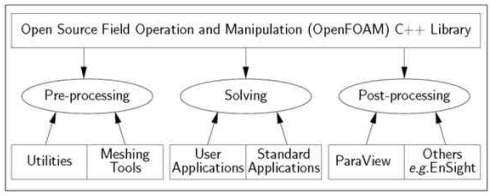
본 논문에서는 제안된 시스템의 기반이 되는 OpenFOAM의 구조를 설명하고, 이를 기반으로 개발된 시스템에 대한 구조를 기술한다. 개발된 시스템은 여러 개의 독립 모듈로 구성된 점을 고려하여 설계, 구현, 결과의 순서를 따르지 않고 모듈 단위로 기술하였다. 즉, 먼저 시스템의 구성요소의 필요성을 설명하고, 설계된 시스템의 주요 요소와 이들 요소들 사이의 상호관계를 기술한 다음 각 요소별로 설계 방향과 구현 결과를 제시한다.

2. OpenFOAM 및 제안 시스템 구조

2.1 OpenFOAM

2.1.1 OpenFOAM 시스템 구조

OpenFOAM을 이용하여 열유동해석을 수행하는 기본 해석 단계를 그림 1에 나타내었다. 해석을 위해서는 해석하고자 하는 케이스에 대한 geometry 정보를 기반으로 “Meshing Tools”를 이용해 OpenFOAM에서 인지할 수 있는 격자(Mesh) 데이터로 변환하게 된다.



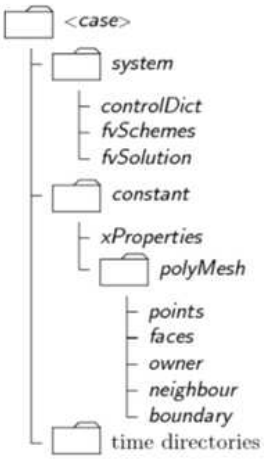
(그림 1) OpenFOAM의 시스템 구조[11]

사용자는 해석 케이스에 해당 격자 정보를 설정하고, 해석 방법(솔버: Solver)을 선택하거나, 사용자가 직접 개발한 솔버를 지정하여, OpenFOAM 솔버에 해석(Solving)을 요구한다. 해석이 완료되면 해석된 결과의 분석을 도와주는 소프트웨어를 이용해 해석된 결과를 가시화하고 리포트를 생성한다.

2.1.2 OpenFOAM 해석 케이스 구조

해석 케이스란 해석을 진행하기 위해 필요한 모든 정보를 정리한 파일 혹은 파일들을 의미하며, 해석에 사용되는 geometry 정보, 메쉬 정보, 해석을 위한 설정 정보 등을 의미한다. OpenFOAM을 이용해 해석 케이스를 생성하기 위해서는 해석 케이스 이름을 가진 폴더를 만들고, 해당 폴더의 하단에 기본적으로 “0, constant, system”이라는 이름의 폴더를 생성한 후 그 속에 해석을 위한 설정을 저장하는 파일들을 만들고, 해석에 이용되는 설정 값을 지정해야 한다. OpenFOAM의 해석 케이스의 기본 구조를 그림 2에 나타내었다.[11]

- Time directory
  [time] 디렉토리는 기본적으로 시간 정보(시작 시간: [0])를 디렉토리 이름으로 한다. [0] 디렉토리에는 유체의 초기 상태에 대한 물리량 파일들이 들어간다. 물리량을 기록하는 기준은 객체의 경계 이름을 기준으로 작성된다. 모의 시간을 10초, 계산 결과 저장 간격을 1초로 하여 계산을 수행하면 1초마다 누적 시간(1, 2, 3, ..., 10)을 이름으로 갖는디렉터리가 만들어진다.



(그림 2) OpenFOAM 해석 케이스의 폴더 구조 [11]

- Constant directory
  [constant] 디렉터리에는 중력가속도, 난류 방정식, 수송 방정식 등의 옵션들이 정의된 파일(xProperties)들과 [polyMesh] 서브 디렉터리를 갖으며, [polyMesh] 서브 디렉토리에는 해석하고자 하는 객체의 격자 정보와 경계의 기본 특성(patch, wall, ...) 정보 등이 포함된다.
- System directory
  [system] 디렉터리에는 기본적으로 솔버 실행을 위한 실행 조건 설정 파일(controlDict), 수치 기법(Numerical Schemes)에 대한 정의(fvSchemes) 및 [time] 디렉토리의 해석을 원하는 유체 운동 해석 정보 파일(p, U, ...)을 솔버가 어떠한 방식으로 그 해를 구할 것인가에 대한 정보를 설정하는 파일(fvSolution)이 포함된다.

2.2 제안 시스템

2.2.1 시스템 개발을 위한 고려사항

제안된 시스템을 개발하기 위해 본 연구에서는 단순히 OpenFOAM의 사용 편의성을 높이고자 하는 것이 아니라 개발된 시스템을 이용해 사용자가 실제 CFD 해석을 진행할 수 있도록 하기 위하여 다음과 같은 고려사항을 고려하여 시스템을 개발하였다.

(그림 3) 텍스트 기반의 해석 환경 편집

- OpenFOAM은 텍스트 기반 환경으로 인한 사용자 접근성이 낮다. (그림 3)
- OpenFOAM은 너무 많은 해석 솔버를 지원함에 따라 사용자가 해당 솔버의 특성을 정확히 이해하지 못하고 있다.
- 사용자가 해석 환경 구성을 위해 별도의 전처리 프로그램과 후처리 프로그램을 해석 전후에 이용하고 있다.

위와 같은 OpenFOAM 을 이용한 CFD 해석 환경의 특성을 고려하여 본 연구에서는 사용자가 하나의 환경에서 해석을 위한 전처리와 해석 환경 설정 및 해석, 후처리를 통합 관리할 수 있도록 다음과 같은 시스템을 개발하였다.

- 그래픽 사용자 인터페이스를 지원하는 OpenFOAM 기반의 직관적인 CFD 해석 환경 설계 자동화 도구 개발을 통해 사용자 편의성을 높인다.
- 다양한 CFD 해석 솔버를 체계적으로 분류해 해석 환경에 대한 단계적인 사용자 입력을 통해 적절한 해석 솔버의 선택을 지원한다.
- 솔버별 필요 파라메터에 대한 정보를 자동으로 사용자에게 제공하여 사용자의 해석 환경 설정을 돕

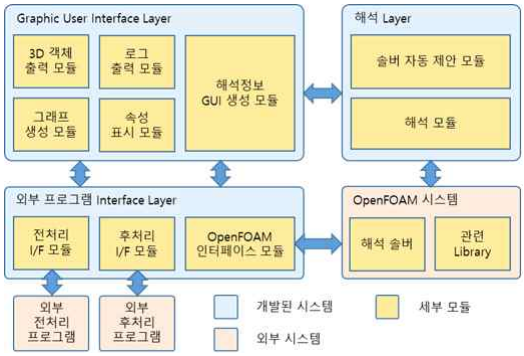
는다.

- 해석 속도 향상을 위해 MPI(Message Passing Interface) 기술을 이용한 다중 CPU 해석 환경 설정을 지원한다.
- 전처리/해석/후처리를 통합 관리하는 환경을 제공하여 사용자가 하나의 프로그램에서 일원화된 프로세스를 통해 해석 환경 설정이 가능하도록 한다.

2.2.2 제안 시스템의 구조

제안된 시스템은 위의 조건들을 만족하기 위하여 그림 4와 같은 3개의 독립 계층을 갖는 시스템으로 설계 및 개발하였다. 각 계층은 여러 개의 세부 모듈로 구성되며 각 모듈의 독립성을 최대한 보장하도록 설계하였다. 또한 효율적인 CFD 해석을 지원하기 위해 CFD 해석 전문가의 의견을 최대한 반영하여 설계하였으며, 기존의 시스템에서 제공하는 예제 해석 케이스를 실제 개발된 환경에서 설정하여 해석을 진행하였다.

그림 4에 제시된 바와 같이 제안된 시스템은 “Graphic User Interface(GUI) Layer”, “해석 Layer”, “외부 프로그램 Interface Layer”로 구성되며 각 레이어는 별도의 통합 모듈로 구성되도록 개발되었다.



(그림 4) 제안된 시스템 구조도

GUI Layer에서는 해석 환경 설정을 위해 OpenFOAM 시스템 정보를 이용해 사용자의 간편한 해석 환경 설정을 지원하며, 해석과 관련된 3차원 객체 출력 모듈, 그래프 생성 모듈 등으로 구성되어 있다. GUI Layer는 해석을 위한 설정 정보 입력을 위해 외부 프로그램 Interface Layer 내부의 OpenFOAM 인터페이스 모듈을 이용하여 OpenFOAM 시스템의 정보를 얻어온다. 하지만 해석 환경이 설정된 후에는 해석 Layer에서 CFD 해석을 위해 직접 OpenFOAM 시스템에 접근하도록 설계하였다. 이는 해석 환경이설정된 후에는 보다 빠르고, 정교한 OpenFOAM 시스템의 접근을 지원하도록 하기 위함이다.

외부 프로그램 Interface Layer는 기본 정의된 외부 전처리/후처리 뿐만 아니라 사용자가 정의한 전처리 혹은 후처리 프로그램을 지원하기 위해 별도의 모듈로 구성하여 확장성을 고려하였다. 같은 이유로 OpenFOAM 인터페이스 모듈 또한 향후 새로운 오픈소스 기반의 CFD 코드의 이용이 가능하도록 하기 위해 모듈화 하였다. 그림의 시스템 구조도에 분리되어 있는 해석 Layer역시 같은 이유로 별도의 Layer를 갖도록 하였다.

2.2.3 개발 및 운용환경

제안된 시스템의 개발 및 운용 환경은 OpenFOAM 시스템이 지원하는 환경에서 이용이 가능하도록 개발되었다. OpenFOAM은 기본적으로 리눅스(Linux) 기반 환경에서 가장 잘 작동하며, 윈도우 기반 환경에서도 Cygwin 등의 에뮬레이션 소프트웨어를 이용하는 경우 속도가 많이 저하되지만 작동되고 있다. 본 연구에서는 이러한 OpenFOAM의 운영 환경을 모두 지원하기 위해 다음과 같은 개발 및 운영 환경을 갖도록 하였다.

- 개발 환경
  - 리눅스: gcc 4.9 , Qt 4.8.x , vtk-6.3
  - 윈도우: MSVC2010, Qt 4.8.x, vtk-6.3
- 운영 환경
  - 리눅스: Debian 계열 / RHEL 계열 (64 bit)
  - 윈도우: Native 윈도우 지원 / Cygwin 에뮬레이션 환경 지원

3. GUI기반의 CFD 해석 환경 설계

오픈소스 CFD 엔진인 OpenFOAM은 다양한 연구자 및 실무자들의 다양한 요구로 인하여 시스템의 통일성 및 사용자 편의성이 부족한 측면이 있다. 제안된 시스템은 OpenFOAM에 기반하여 그림 5와 같은 일반적인 CFD 해석 환경 설정 프로세스를 지원하도록 설계하였다. 그림에서 보는 바와 같이 OpenFOAM의 경우에 CFD 해석 프로세스에 맞는 해석 환경 설정을 모두 텍스트 기반의 환경에서 사용자가 직접 수행해야 하며, 일관된 프로세스가 없고 사용자가 해석 진행 시 나타나는 오류를 바탕으로 적절한 위치의 해석 설정 파일을 수정하게 된다.

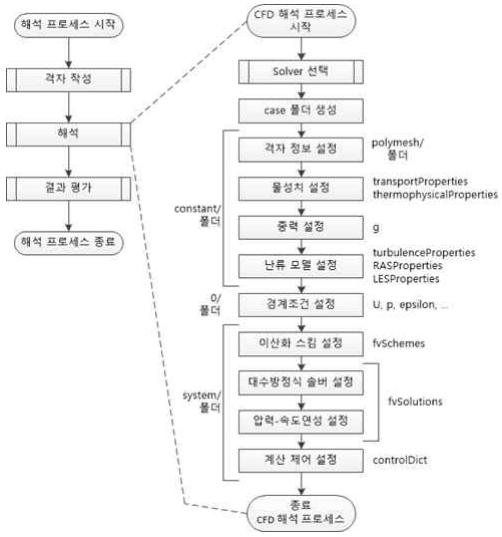
제안된 시스템은 사용자가 보다 쉽게 해석 환경의 설정이 가능하도록 그림 5의 해석 환경 설정 프로세스를 프로그램의 GUI 중 CFD 해석 tree의 기본 구조로 채택하였다. 이를 바탕으로 사용자는 CFD 해석 환경 설정을 위해 tree에 표현되고 연결되어 있는 그래픽 사용자 인터페이스에 적절한 정보를 입력하게 되면 최종적으로 사용자가 원하는 CFD 해석 환경이 완성되도록 구성하였다.

3.1 전체 시스템 UI

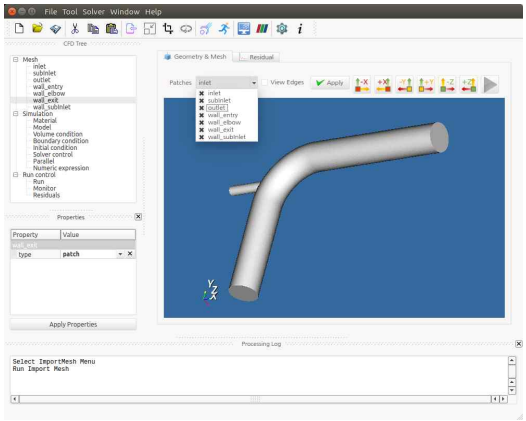
개발된 시스템의 전체 인터페이스 화면을 그림 6에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 개발된 시스템은 총 4개의 분할된 화면 구성을 갖는다.

좌측 상단 화면에 CFD 해석 환경 설정 프로세스가 트리화된 것을 볼 수 있다. 사용자가 해당 트리를 선택하면 각 트리에 맞는 사용자 설정 정보 입력 창이 나타나도록 설계되었다.

좌측 하단의 속성 정보 출력창에는 사용자가 선택한 트리의 메뉴 중 단순한 속성값이 표시되도록 하였다. 우측 창은 2개의 탭으로 구성되어 있으며, 첫 번째 탭은 현재 해석을 진행할 대상의 3차원 형상을 보여주는 화면과 연결된 탭이다. 두 번째 탭은 해석이 진행되는 동안 해석 진행 과정을 보여주는 해석 결과에 대한 residual 정보를 출력하는 창이다. 사용자는 해석이 진행되는 동안 residual 정보의 변화를 모니터링하며 해석 진행의 적절성을 판단할 수 있다. 아래의 창은 현재 솔버가 해석되는 정보를 텍스트로 출력하여 주는 창이다. 이 창에 출력되는 정보 중 일부가 우측의 두 번째 탭에서 residual 그래프로 표시된다.



(그림 5) CFD 해석 환경 설정 프로세스



(그림 6) 제안된 시스템 메인 인터페이스

3.2 경계 조건 설정

해석 조건 설정 시 가장 중요한 부분은 해석대상의 경계면에 해석조건(경계 조건: Boundary condition)을 설정하는 부분이다. 상용 CFD 해석 소프트웨어에서는 개별 경계에 대해 해석이 필요한 정보(압력, 속도, 에너지 등의 물리량)에 대해 통합 설정을 지원하는 구조를 갖는다. 이는 경계에 따라 특정 정보를 설정하지 않는 경우가 있기 때문이다. 하지만, OpenFOAM

에서는 개개의 정보에 따라 설정 파일이 분리되어 있어 사용자에게 혼동을 줄 수 있는 여지가 많다. 또한 사용자는 해석을 하고자 하는 객체가 갖는 모든 경계의 이름을 기억해야 하며, 입력 오류가 존재하는 경우에 별도의 에러 메시지를 보여주지 않고, 해석을 강제 종료하는 등 사용자에 대한 고려가 부족하다.

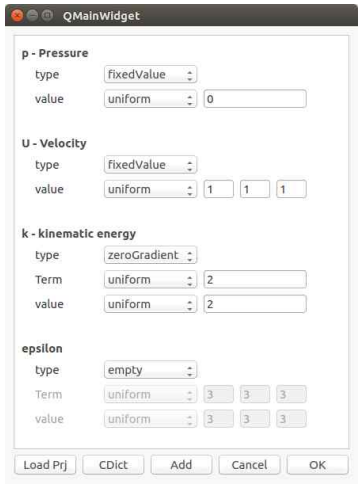
상기와 같은 OpenFOAM의 단점을 해소하고자 제안된 시스템에서는 각각의 경계에 대해 사용자가 통합된 인터페이스에서 경계 조건을 설정할 수 있도록 구성하였다. 또한, 사용자에게 현재 객체에 존재하는 모든 경계 이름을 자동으로 표시하여 사용자가 쉽게 경계조건을 설정 할 수 있도록 구성하였다. 한 화면에서 하나의 경계에 대해 모든 경계 조건의 설정을 지원하는 통합된 인터페이스 화면을 그림 7에 나타내었다. 본 시스템에서 제공되는 인터페이스에서는 솔버에 따라 해석 정보의 종류 및 입력값이 바뀌는 경우에 자동으로 해당 정보에 맞는 인터페이스가 동적으로 구성되도록 개발되었다.

3.3 난류 모델 설정

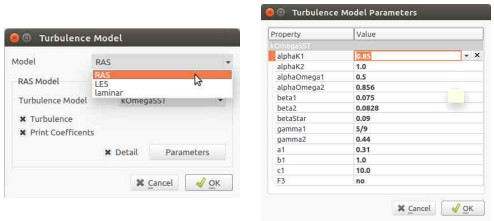
난류 모델이란 유체유동 시 난류효과를 고려하기 위한 수치해석 모델로서 유체의 흐름 특성에 따라 다양한 난류모델이 존재하기 때문에 유체 흐름 특성에 따라 적절한 난류모델이 선택되어야 한다. 제안된 시스템은 OpenFOAM에서 지원하는 다양한 난류 모델에 대한 정보를 데이터베이스화하여 기본 난류 특성에 따라 자동으로 사용 가능한 난류 모델의 선택 및 해당 난류 모델에 따른 사용자의 입력이 필요한 변수 및 변수의 기본값이 자동으로 입력되도록 개발하였다. 그림 8의 (a)는 이러한 난류 모델 선정 화면을 보여주고 있으며, (b)는 난류모델에 따라 수정이 가능한 파라메터 정보를 보여준다.

4. CFD 해석 솔버 제안 기술

CFD 해석 시 계산속도와 해석 결과의 정확도에 가장 큰 영향을 미치는 것이 사용된 해석 솔버이다. 해석하고자 하는 문제에 맞는 적절한 해석 솔버의 선택은 경험적인 지식에 많은 영향을 받는다.



(그림 7) 경계 조건 설정



(a) 난류 모델 선정 인터페이스

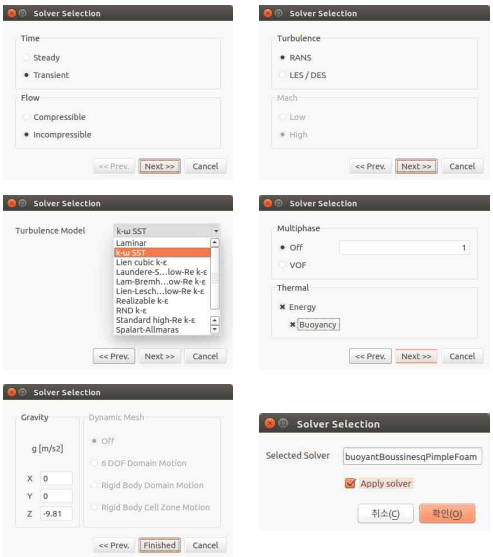
(b) 모델 파라메터 입력 인터페이스

(그림 8) 난류 모델 인력 인터페이스

일반 사용자 혹은 초보자들은 이러한 해석 솔버 선택의 경험이 부족하기 때문에 솔버 선택의 오류로 인해 잘못된 해석 결과를 얻는 경우가 많다. 제안된 시스템은 OpenFOAM 전문가와의 협업을 통해 솔버 선택에 대한 사용자 경험을 플로우 차트로 표현하고, 이를 기반으로 단계적으로 사용자에게 해석 환경에 대한 정보 입력을 요청하고, 이를 기반으로 적절한 솔버를 제안하는 형태의 솔버 제안 시스템을 개발하였다.

제안된 시스템이 지원하는 솔버 선택 플로우는 OpenFOAM에서 제공하는 다양한 솔버들 중에서 일반적인 CFD 해석에 대해 사용 빈도가 높은 솔버를 기준으로 사용자가 입력하는 해석 조건에 따라 적절한 솔버가 선택되도록 하였다. 솔버 선택 플로우를 실제 시스템으로 구현한 화면을 그림 9에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 단계적인 사용자 입력을 통

해 솔버가 제안되는 화면을 볼 수 있다.



(그림 9) 사용자 입력에 따른
단계적 솔버 제안 시스템 인터페이스

5. CFD 해석 통합 관리

상용 CFD 해석 소프트웨어들은 해석을 위한 전처리(객체(Geometry)디자인 및 메쉬 생성)/CFD 해석/후처리(해석 결과 분석 및 가시화)를 위한 소프트웨어를 하나의 GUI 환경에서 통합하여 지원한다. 하지만 OpenFOAM의 경우에는 이러한 전처리 및 후처리 소프트웨어를 지원하지 않고, 사용자가 직접 별도의 소프트웨어를 사용해서 전처리 및 후처리를 진행해야 한다. 제안하는 시스템은 OpenFOAM을 이용한 CFD 해석 프로세스의 불편을 최소화하기 위해 통합 환경으로 개발하여 전처리 및 후처리 소프트웨어에 대한 원격 호출 및 전처리 소프트웨어에서 생성된 데이터를 읽어 들이고, 해석된 결과를 후처리 소프트웨어에 전달하는 기술을 개발하였다(그림 10).

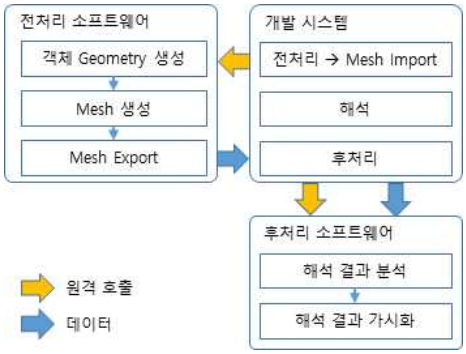
5.1 전처리 소프트웨어 호출 및 데이터 연계

제안된 시스템에서는 OpenFOAM 사용자의 대부분이 이용하는 전처리 소프트웨어인 Salome 에 대한 원격 호출 및 Salome에서 생성된 데이터에 대한 import 기능을 지원하여 OpenFOAM 전용 데이터 포맷으로 변경하는 기능을 지원한다(그림 11). OpenFOAM의 경우에 해석을 위한 대상의 메쉬는 전용 데이터 형식을 이용하여 해석을 진행한다. 이 때문에 다른 전처리 소프트웨어에서 생성된 메쉬 정보를 OpenFOAM 형식으로 변환해야 하며, 개발된 시스템은 이러한 기능을 지원하며, 추가로 상용 소프트웨어(Fluent, CFX, Star-CCM+)에서 사용하고 있는 전용 데이터 형식에 대한 변환 기능을 제공한다.

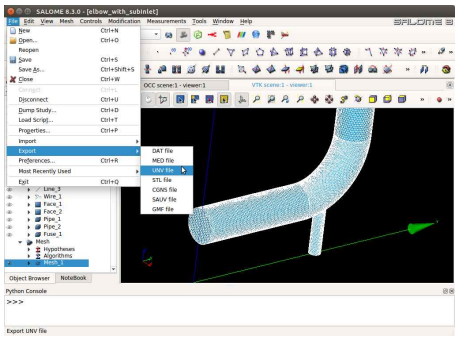
5.2 후처리 소프트웨어 호출 및 데이터 연계

후처리 소프트웨어는 해석 데이터에 대한 가시화가 주 기능이기 때문에 다양한 가시화 효과의 지원이 필수적이다. 다양한 가시화 효과를 보여주면서 오픈소스 소프트웨어로 배포되는 대표적인 소프트웨어는 Paraview이다.

Paraview는 OpenFOAM에서 생성한 해석 데이터의 가시화를 지원하고 있기 때문에 대부분의 OpenFOAM 사용자들은 후처리를 위해 Paraview를 사용하고 있다. 물론 Paraview는 다양한 CFD 해석 소프트웨어의 결과에 대한 가시화를 지원하고 있기 때문에 사용자가 텍스트 환경에서 Paraview를 사용하기 위해서는 Paraview를 실행한 후 부가적인 사용자의 입력이 요구된다.



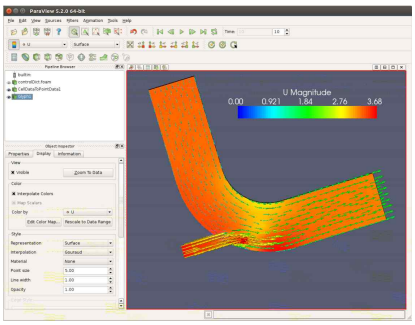
(그림 10) 통합 환경 전처리/해석/후처리
연계 프로세스



(a) Salome을 이용한 메쉬 생성

(b) 외부 메쉬 데이터 Import

(그림 11) 전처리를 통한 외부 메쉬 정보 Import



(그림 12) 후처리 소프트웨어를 이용한 가시화

제안된 시스템에서는 사용자들이 부가적인 입력 없이 해석 결과 데이터가 자동으로 Paraview와 연동되게 하기 위해 별도의 연동 지원 모듈을 개발하여 해석이 종료되면 자동으로 해석 케이스 정보가 Paraview로 전송되도록 지원하여 사용자의 편의성을 높였다(그림 12).

6. 결 론

본 연구에서는 최근 표준화되고 있는 CFD 해석 프로세스의 특징을 살려서 오픈소스 CFD 코드를 이용한 CFD 해석 소프트웨어를 개발하였다. 개발된 시스템은 CFD 해석을 통한 제품 개발의 신뢰성을 높이고자 하는 요구가 커지는 현재 산업환경에 알맞은 그래픽 사용자 인터페이스를 지원하는 통합 CFD 해석 환경이다. 기존의 사용자가 사용하는 상용 소프트웨어가 아닌 오픈 소스 기반의 CFD 해석 코드를 사용하였기 때문에 소프트웨어 비용에 대한 부담을 현저히 경감할 수 있을 것을 기대된다. 또한, 오픈소스 CFD 코드 사용 시 가장 큰 난점인 텍스트 기반 사용자 인터페이스를 그래픽 사용자 인터페이스 환경으로 변환하여 사용자의 편의성을 높였다. 또한, 전문가뿐만 아니라 초보자도 쉽게 사용할 수 있도록 일원화된 해석 환경의 설정, 다양한 솔버에 대한 사용자 선택 지원, 해석 시 필요한 다양한 파라메터의 데이터베이스화 등과 구현하였다. 개발된 시스템은 전처리 및 후처리 소프트웨어에 대한 연계 기능 개발을 통해 사용자가 하나의 시스템에서 모든 단계의 CFD 해석 업무를 진행할 수 있도록 하였다.

참고 문헌

[1] Batchelor, G. K. (1967), An Introduction to Fluid Dynamics, Cambridge University Press, ISBN 0-521-66396-2.

[2] Christian Grossmann, Hans-G. Roos, Martin Stynes. 'Numerical Treatment of Partial Differential Equations', Springer Science & Business Media. p. 23. 2007.

[3] Reddy, J.N, 'An Introduction to the Finite Element Method (3rd ed.)', McGraw-Hill, 2006.

[4] Eymard, R. Gallouët, T. R. Herbin, R. 'The finite volume method Handbook of Numerical Analysis, Vol. VII', p. 713 - 1020, 2000.

[5] 박준권, 강관형, "Source 공개 코드 Open FOAM에 대한 리뷰", 한국전산유체공학회지, 제15권, 제 3호, pp. 46-53, 2010.

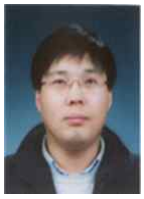
[6] OpenFOAM, Th OpenFOAM Foundation, http://www.openfoam.org/

[7] MFS NETL Multiphase Flow Science, http://www.mfix.org/, U.S. Depart. of Energy.

[8] Ansys, 'ANSYS Fluent User Guide',

Ansys Inc.
[9] Siemens, 'STAR-CCM+ UserGuide', Simens Co.
[10] 손일엽, 김병윤, 노현석, '공개 전산열유체 시뮬레이션 OpenFOAM의 설치 및 사용 매뉴얼', 연구보고서, 2014, 한국과학기술정보원(KISTI).
[11] OpenFOAM Foundation, 'OpenFOAM(The Open Source CFD Toolbox) User Guide', 2017.
[12] V.H. Bhusare, M.K. Dhiman, D.V. et el., "CFD simulations of a bubble column with and without internals by using OpenFOAM", Chemical Engineering Journal, Vol. 317, pp.157-174, 2017.
[13] A. Passalacqua, F. Laurentb, E. Madadi-Kandjani, J. C. Heylmun, R. O. Fox, "An open-source quad-rature-based population balance solver for OpenFOAM", Chemical Engineering Science, Vol.176, pp.306-318, 2018.
[14] Konstantinos Lyras, Siaka Dembele, David P.Schmidt, Jennifer X.Wen, "Numerical simulation of subcooled and superheated jets under thermodynamic non-equilibrium", International Journal of Multiphase Flow, 2018.
[15] ㈜엘쏠텍, "3차원 전산유체해석(CFD) 기반의 배관감육 예측 및 평가 프로그램 개발", 연구보고서, 2016, 중소기업 기술개발사업(창업성장기술개발사업) 최종보고서.

〔저자소개〕



강 승 훈 (SeungHoon Kang)
1994년 2월 경희대 컴퓨터공학 학사
1996년 2월 경희대 컴퓨터공학 석사
2018년 2월 경희대 컴퓨터공학 박사
현재 (주)엘쏠텍 재직
<주관심분야 : 이동물체추적, 얼굴/표정/나이 인식, 3차원 시뮬레이션 등>

email : shkang@elsoltec.com

손 성 만 (Son Sungman)
2000년 2월 한국교통대 기계공학 학사
2002년 2월 경희대 기계공학 석사
2008년 2월 경희대 기계공학 박사
현재 (주)엘쏠텍 재직
<주관심분야 : HVAC, 3차원 시뮬레이션, 환경 등>

email : sungman@elsoltec.com

오 세 홍 (Oh Se-Hong)
2008년 2월 경희대 기계공학 학사
2011년 8월 경희대 기계공학 석사
현재 (주)엘쏠텍 기술연구소 재직
<주관심분야 : 전산유체역학(CFD), 상변화열전달 모델링 등>

email : osh0610@elsoltec.com

박 원 만 (Park Wonman)
2004년 2월 경희대 기계공학 학사
2006년 8월 경희대 섬유공학 석사
2010년 2월 경희대 기계공학 박사
현재 (주)엘쏠텍 구조해석분야 재직
<주관심분야 : 응용역학, 생체역학, 동역학, 기계진동 등>

email : osh0610@elsoltec.com

최 청 열 (Choi Choengryul)
1994년 2월 경희대 기계공학 학사
1996년 2월 경희대 기계공학 석사
2003년 3월 경희대 기계공학 박사
현재 (주)엘쏠텍 기술연구소 재직
<주관심분야 : 전산유체역학(CFD), 상변화열전달 모델링 등>

crchoi@elsoltec.com