

e-사이언스 기반 유체해석 통합 실험 관리

(An Integrated e-Science based Experiment Management for Numerical Analysis in Fluid Dynamics)

강혜정, 박숙영, 김윤희^{*}, 김종암¹

숙명여자대학교 컴퓨터과학과, 서울대학교 기계항공공학부¹

{hjkang, blue, yulan}@sookmyung.ac.kr, chongam@snu.ac.kr¹

요 약

과학 연구의 패러다임이 이론의 검증과 실험에서 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션으로 이동하면서 그리드 환경을 활용하여 과학 실험에 이용하는 e-사이언스 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그리드 환경은 지역적으로 분산된 컴퓨팅 자원을 네트워크로 연동하여 사용자들에게 하나의 컴퓨팅 자원처럼 제공하는 인프라스트럭처이다. 전통적으로 그리드 상에서 작업 관리 서비스는 작업을 제출하고 모니터링하는 중요한 역할을 하고 있으며, 자원 정보 서비스와 데이터 전송 및 관리 서비스와 더불어 중요한 요소 중의 하나이다. 본 논문에서는 대표적인 그리드 미들웨어인 유니코어를 기반으로 과학 응용 실험 수행을 위한 e-사이언스 단일 프레임워크 환경을 제시한다. 이 환경은 과학 응용 중 e-사이언스 환경이 거의 존재하지 않는 유체해석을 대상으로 유체해석 실험에 특화된 실험 환경을 제공하며, 새로운 응용의 추가 및 관리를 위한 서비스와 연구자가 수행한 연구에 대한 이력 관리가 용이한 데이터 관리 서비스를 제공한다.

Keywords: e-Science, Numerical analysis, PSE, UNICORE

1. 서 론

과학 연구의 패러다임이 이론의 검증과 실험에서 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션으로 이동하면서 가상 시뮬레이션, 실험 데이터 관리 및 분석을 위하여 계산 자원에서의 의존도가 높아졌다. 유체해석은 위의 경우 중에서도 가상 시뮬레이션을 필요로 하는 연구이다. 실 세계의 현상을 분석하는 유동의 특성상 주로 3 차원 형상을 대상으로 실험이 이루어지며, 이를 해석하기 위한 실험 장비와 비용의 제약, 가시화의 어려움이 존재한다. 컴퓨팅 기술의 발달로 e-사이언스 환경 구축이 활발히 이루어지고 있으며, 이를 통해 유체해석 분야 또한 기존하던 제약사항들을 완화시킬 것은 분명하다. 그러나 현재 제공되는 유체해석 프레임워크는 e-사이언스 환경을 제공하지 않거나[1] e-사이언스 환경을 제공하더라도 대개 비행체 설계 등 특정 목적을 위한 실험만을 제공하거나[2] 순수 수치해석의 연산 방정식을 풀기 위한 용도[3]로 사용된다.

e-사이언스 환경의 기반이 되는 그리드는 지역적으로 산재한 컴퓨팅 자원을 네트워크로 연결하여 사용자들에게 마치 단일한 컴퓨팅 자원을 사용하는 것과 같이 컴퓨팅 환경을 제공하는 인프라스트럭처이다[4]. 이런 그리드 개념을 실제로 구현한 것이 그리드 미들웨어이며, 일반적으로 그리드 미들웨어가 제공하는 기능은 크게 보안, 자원 할당 및 작업 실행, 자원 정보 검색 및 모니터링, 데이터 전송 및 관리 등으로 나누어진다. 이 가운데 자원 할당 및 작업 실행 서비스는 사용자들에게 작업을 제출할 수 있는 창구 역할을 할 뿐만 아니라 작업을 수행할 수 있는 자원을 할당하고 자원에서 수행되는 작업을 모니터링하는 중요한 역할을 하고 있다[5]. 유니코어(UNICORE; UNiform Interface to COmputing REsources)[6]는 유럽을 중심으로 개발된 대표적인 그리드 미들웨어의 하나로, 문자기반 인터페이스, GUI, 웹 포탈 등 다양한 형태의 클라이언트를 같이 제공하여 사용자가 무난히 계산 자원에 접근할 수 있도록 한다.

본 논문에서는 유체해석 실험을 위한 e-사이언스 단일환경을 제공하는 프레임워크를 제시한다. 유체해석 응용 중에서도 고속 유동(Hyperbolic Conservation Laws Numerical Study), 난류 유동(Turbulence Numerical Study),

^{*} 교신저자(Corresponding Author): 김윤희

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 국가수리과학연구소의 주요사업에서 지원을 받아 수행된 연구임 (NO.A21101)

다상 유동(Multi-phase Fluid Dynamics Numerical Study)의 다양한 수치기법 해석 실험에 특화된 유니코어기반 e-사이언스 환경을 개발하였다. 제안하는 프레임워크는 새로운 응용의 추가 및 관리를 위한 서비스와 연구자가 수행한 연구에 대한 이력 관리가 용이한 데이터 관리 서비스를 제공한다. UNICORE 미들웨어를 통한 매끄러운 그리드 환경 연동과 각각의 실험에 특화된 GUI 제공을 통해 사용자가 그리드 환경에 대한 지식 없이 유체해석 응용의 실험 수행을 가능하게 한다.

본 논문의 2 장에서는 관련연구들을 논하고, 3 장에서는 전체 프레임워크 구조에 대해 설명한다. 4 장은 대상 응용의 수행과 데이터 및 응용 관리에 대해, 5 장은 프레임워크의 구현에 대해 기술한다. 마지막으로 6 장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

유동 현상을 분석하기 위한 수치 해석 연구용 e-사이언스 전용 프레임워크가 개발된 사례는 거의 드물다. 연구 목적이 아닌 다른 이유로 물리 시뮬레이터 수준으로 개발된 사례는 있으나, 복잡한 물리 현상을 수치적으로 정확하게 해석하는 데에는 한계가 있다.

국내에서는 항공분야를 중심으로 수치해석 중심의 유체역학 교육을 위한 웹 기반 환경(e-AIRS)[2][7]을 구축하여, 이를 실제 대학 교육에 활용한 사례가 있다. 교육 목적의 웹 기반 환경인 e-AIRS 에서는 1 차원 및 2 차원 Euler, Navier-Stokes 방정식 해석을 위한 수치해석자와 별도의 전후처리를 동시에 제공함으로써, 웹 기반 유체역학 교육을 성공적으로 수행한 사례라 할 수 있다. 그리고 EDISON-CFD[8]는 e-AIRS 에서의 서비스 경험을 바탕으로 유체 역학 분야의 서비스를 위한 문제 해결 환경을 제안하며, 비슷한 분야의 교육 및 연구를 위한 융합 환경 구축을 목표로 웹 기반의 포털 서비스를 제공하는 플랫폼을 제시하였다. 그러나 e-AIRS 나 EDISON-CFD 는 범용적인 수치해석 분야에 대한 연구보다는 항공분야의 응용 연구에 집중되어 있어 유체해석 연구자들을 위한 실험 환경 구축이라고는 할 수 없다.

범용적인 수치 해석 프로그램 개발을 위한 수치 선형 대수학 분야의 다양한 루틴은 이미 개발되어 있으며, 연구용뿐 아니라 상용 수치 해석 프로그램에서도 이를 이용하기도 한다. 유동 해석을 위한 수치 기법 개발에 특화된 경우는 CLAWPACK[1]과 같이 모델 방정식을 해석하는 소스 코드 형태로 제공되며, 이를 변형하여 새로운 수치 기법 개발에 응용되기도 한다. 수치해석 응용을 대상으로 그리드 자원에 접근 가능한 독립 소프트웨어를 개발한 연구로는 FLOWGRID[9]가 존재한다. FLOWGRID 는 전산 유동을 위한 실험환경 연구로서, 규모가 큰 실험을 수행할 수 있으며 가시적인 사용자 인터페이스를 제공한다. 하지만 전산유동 전문가를 대상으로 하는 FLOWGRID 는 일반 연구 및 학습을 목적으로 하는 사용자가 새로운 실험을 적용하는 것이 어렵다.

3. 프레임워크 구조

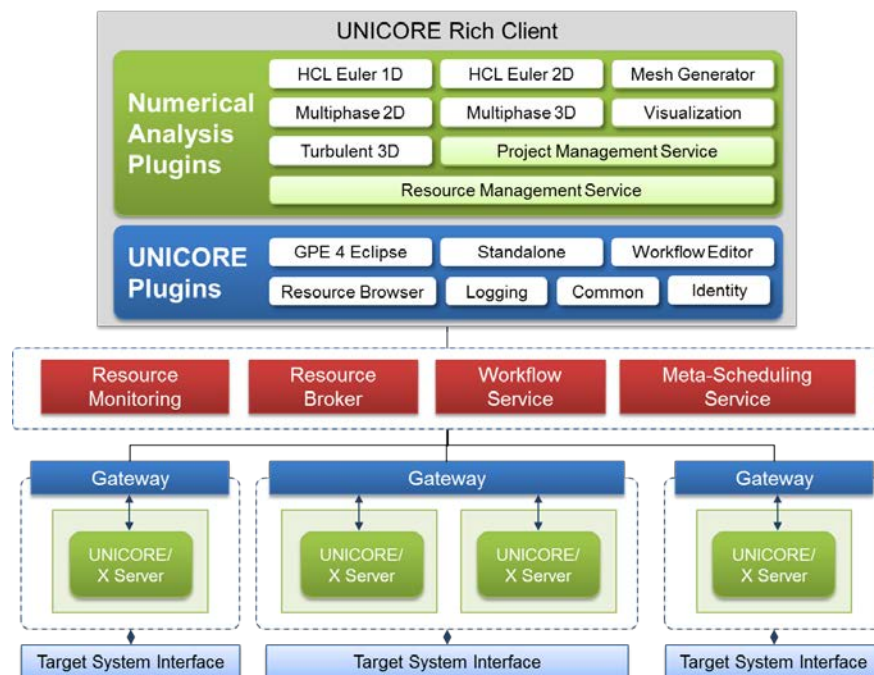


그림 1 전체 구조

유니코어 기반의 유체해석 실험을 위한 단일 프레임워크의 구조는 **그림 1** 과 같다. 클라이언트는 URC(Unicore Rich Client)의 핵심 플러그인과 유체해석 실험 설계 환경을 위한 플러그인을 포함한다. 먼저 유니코어 플러그인[10]을 살펴보면 Resource Browser 플러그인은 응용에 따라 사용 가능한 자원 목록을 보여주며, GPE4Eclipse 플러그인은 작업 명세를 그래픽으로 표현하고 GPE (Grid Programming Environment)[11] 컴포넌트와 URC 를 연결한다. Standalone 플러그인은 워크벤치와 Perspective 를 생성한다. Logging 플러그인은 모든 플러그인들이 그들의 로그 메시지를 기록하고 표시할 수 있도록 한다. Common 플러그인은 미들웨어와 상호작용할 수 있는 코드와 클라이언트 스텝을 제공하며, Identity 플러그인은 URC 의 Security view 와 보안 서비스를 관리한다. 마지막으로 Workflow Editor 플러그인은 워크플로우를 그래픽으로 표현하는 역할을 수행한다.

그림에서 ‘Fluid Dynamics Plugins’은 유체해석 플러그인의 개괄적인 모습을 보여주는 것으로 HCL Euler 1D 와 2D, Multiphase2D 및 3D, Turbulent3D 는 각각 고속 유동 해석, 다상 비압축성 N-S 해석, 난류 해석의 수치기법에 따른 실험들을 지원하는 유체해석 플러그인이다. Mesh Generator 는 유체해석 실험의 전처리 단계에서 입력 파일인 격자를 생성하는 플러그인으로 경계 조건과 같은 격자의 속성 값 설정을 지원한다. Visualization 은 실험의 결과를 이미지, 동영상과 같은 가시화된 형태로 보여주기 위한 플러그인이다.

사용자가 통합 유체해석 프레임워크를 사용하여 작업 또는 워크플로우를 생성하여 유니코어 서버에 제출하면, Resource Broker 가 작업 제출요청을 받는다. 작업 요청은 응용 이름, 자원 정보, 노드의 수, CPU core 수 등과 같은 자원 요구를 포함하며, 이 정보들은 Resource Monitoring 을 통해 수집된 각 자원 사이트(Site)의 정보와 비교하여 자원을 선택하는데 활용된다. 만약 적절한 자원이 선택되면 사용자가 제출한 작업은 사용자 정보와 함께 해당 자원 사이트의 Gateway 에서 인증 과정을 통과하여 서버 모듈인 UNICORE/X 를 거쳐 실제 머신을 관리하는 Target System Interface 를 통해 실행되게 된다. 워크플로우 작업 또한 Resource Broker, Meta- Scheduling Service 와 상호 작용하는 Workflow Service 모듈을 통해 일반 작업의 실행과 유사하게 제출 및 수행이 가능하다.

4. 유체 해석 응용 실행 및 관리

대상 응용인 유체해석 중에서도 충격파의 발생에 따른 불연속 구간의 수치 불안정성을 해결하기 위한 수치 기법을 연구하는 고속유동과 미세규모의 유동 특성까지 엄밀한 분석을 할 수 있는 기법을 연구하는 난류유동, 서로 다른 특성의 유체가 혼재하는 유동현상을 해석하기 위한 보다 정확한 수치해석 기법을 연구하는 다상유동의 세 가지 응용들에 대한 수치해석 연구를 위한 유체해석 수행 서비스를 제공한다.

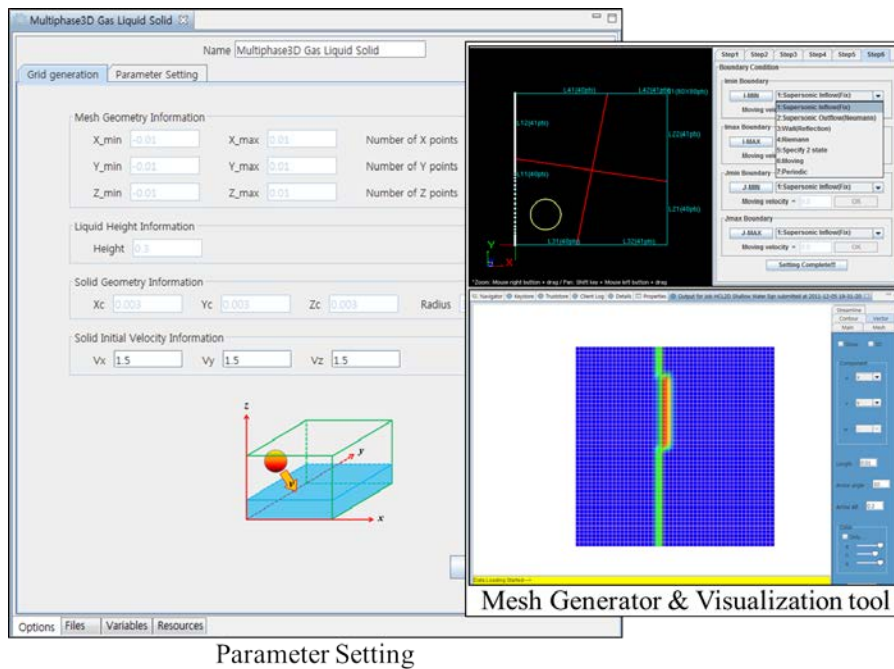
4.1 응용 관리

본 논문에서 제시한 프레임워크는 URC 의 새로운 실험 및 응용의 추가 및 삭제가 용이한 특징을 확장하여 응용 개발자와 관리자가 응용을 추가하여 사용할 수 있는 서비스를 제공한다. 유니코어 미들웨어 환경에서 모든 응용은 XML 형태의 IDB(Incarnation DB)를 통해 관리되며, GUI 의 경우 JAR(Java Archive)파일 형식으로 패키징하여 사용자에게 제공할 수 있다. 응용 등록 시에는 우선 해당 응용의 실행 파일을 수행 가능한 자원의 특정 위치에 복사한 후 IDB 에 해당 응용의 이름, 버전 및 실험 수행에 필요한 실행파일 위치, 파라미터 정보를 추가한다. 사용자의 실험 수행 지원을 위해 개발한 GUI 는 JAR 형태로 패키징하여 사용자에게 배포된다. 본 연구에서 제시한 프레임워크는 컴퓨터 지식이 없는 과학 응용 연구자들이 보다 쉽게 프레임워크에 응용을 추가 등록하여 사용할 수 있도록 응용 등록을 위한 템플릿을 제공한다. 기존에 무작위로 경로를 지정하여 사용하던 실행파일의 위치를 지정된 응용 저장소(Application Storage)에 저장하여 사용함으로써 응용의 관리와 등록이 용이하도록 하였으며, 응용 추가에 따라 수정이 필요한 IDB 의 응용 명세 템플릿을 제공하여 응용 등록의 편의성을 제고하였다. 응용 삭제 시에는 계산 자원의 IDB 에서 해당 응용 명세를 삭제하고 응용 저장소의 실행파일 제거를 통해 삭제가 가능하며, 사용자는 자신의 JAR 파일을 삭제하여 UI 로 작업 생성을 하지 않도록 할 수 있다.

새로운 응용의 UI 지원에 있어서도 사용자의 편의를 추구하였다. 본 프레임워크에서 각 응용 수행에 필요한 파라미터 값들을 설정하는 인터페이스는 ‘Options Panel’이며, ‘Options Panel’은 최종 입력 파일 형태를 보여주는 ‘Input File Panel’과 상호작용하여 작업 수행에 필요한 입력 파일을 생성하는 기본적인 수행 패턴이 존재한다. 각 패널에서 수정한 값들은 즉각적으로 상대방 패널에 수정되어 사용자가 GUI 의 형태나 파일 형태의 인터페이스로 파라미터 값들을 확인하고 수정할 수 있도록 한다. 이러한 기본적인 UI 의 수행 패턴과 파라미터 설정을 위한 기본적인 컴포넌트들을 템플릿 소스로 작성하여 과학 응용 연구자들에게 제공함으로써 그들의 응용 실험에 필요한 간단한 UI 는 직접 개발하여 사용할 수 있도록 하였다.

그림 2 는 본 논문에서 제시하는 프레임워크에 기 등록되어 실제 실험 수행이 가능한 응용의 사용자 인

터페이스 중 하나이다. 다상유동 분야의 실험으로 액체와 구 형태의 고체가 일정 속도로 충돌하였을 때의 유동 현상 분석을 위한 실험으로 그림에서 보이는 파라미터 설정 부분은 실험 대상인 액체와 고체의 속성 값들을 설정하는 UI 를 보여주고 있다. 또한 그림의 오른쪽과 같이 격자 파일을 생성하는 전처리기, 실험 결과를 시각화하여 보여주는 후처리가 존재하여 실험 설정 및 결과 가시화를 돕는다.



Parameter Setting

그림 2 실험 설계 환경

4.2 프로젝트 및 데이터 관리

연구자의 실험 데이터를 효과적으로 관리하기 위하여 응용의 각 실험에 대해 실험 수행 데이터인 입/출력 파일, 작업 파일 관리를 위한 프로젝트 관리와 파라미터 단위의 관리를 위한 데이터 관리를 나누어 제공한다.

과학 응용 실험을 수행하는 사용자, 즉, 연구자들에게 실험 수행으로 얻은 데이터 및 실험 수행에 이용한 모든 데이터는 추후 실험의 비교 및 분석 시에 다시 이용될 수 있는 중요한 자원이다. 유니코어에서는 이러한 데이터들을 사용자가 직접 관리할 수 있도록 클라이언트 측에 프로젝트 단위로 작업 이력 데이터 및 작업 데이터를 제공한다. 작업 데이터는 이전에 변경한 파라미터 값들을 GUI 의 형태로 그대로 불러올 수 있는 형태로 저장되는 것이며, 작업 이력 데이터는 GUI 를 통해 수정한 파라미터 값으로 생성된 입력 파일, 작업의 수행으로 생성된 결과 파일 등을 지칭한다. 그러나 이들 작업 이력 중에 작업 수행중의 모니터링 정보는 포함되지 않으며, 사용자가 이후 작업 수행 시에 자원의 상태와 같은 정보 제공을 받지 못하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서 제시하는 프레임워크는 이러한 모니터링 정보를 log 파일 형태로 작업 이력 데이터로서 프로젝트 단위로 관리하는 기능을 추가 제공한다. 사용자는 프레임워크를 통해 작업을 수행할 때에 자동으로 생성되는 프로젝트를 통해 작업에 대한 수행 이력을 관리하거나 새로운 프로젝트를 직접 생성하여 해당 프로젝트 내에서 여러 작업의 수행 이력을 관리할 수도 있다. 이미 생성된 프로젝트 내의 작업을 파라미터 값을 수정하여 새롭게 수행하였을 때에는 프로젝트 내에 작업 제출 시간을 기준으로 새로운 입/출력 파일 폴더가 생성되어 기 수행된 작업의 이력 데이터와 분리되어 관리할 수 있도록 한다. 프로젝트 삭제 시에는 윈도우의 파일 시스템에서 폴더를 삭제하는 것과 같이 Delete 키나 팝업메뉴의 'Delete' 메뉴를 통해 삭제 가능하며 이 때에는 실제 파일시스템 공간에서도 해당 프로젝트에 대한 정보가 제거되게 된다.

파라미터 관리를 위한 데이터 관리는 실험별로 입력된 파라미터 값의 유효성 검사를 제공하여 실험 수행에 입력되는 파라미터 값의 오류를 줄이도록 도와준다. 유효성 검사는 1 차적으로 사용자가 값을 입력할 때에 tooltip 을 통해 해당 파라미터에 입력할 수 있는 값의 범위를 보여주며, 범위 외의 값을 입력하였을 경우 사용자에게 경고 메시지를 통해 이를 알리고 새로운 유효값을 입력하도록 유도하게 된다. 파라미터 값 입력력에서부터 유효값 입력을 도와 실험 수행 결과로 나온 데이터에도 오류를 줄일 수 있으며, 이로 인해 실험의 결과로 엉뚱한 데이터가 나올 확률을 줄일 수 있으므로 실험 효율도 증가시킬 수 있다.

4.3 실험 수행 관리

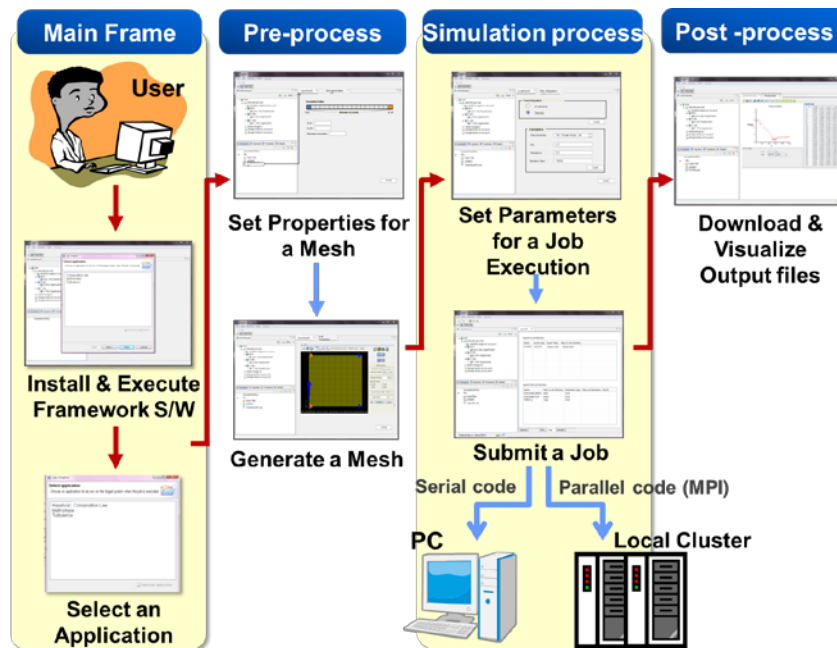


그림 3 프레임워크에서의 실험 수행 관리

유체해석 실험은 기본적으로 전처리, 시뮬레이션, 후처리의 세 가지 단계로 이루어진다. 고속 유동과 다상 유동은 이 기본단계를 각각 구분하여 전처리 단계에서 사용자가 직접 입력 파일인 격자를 생성하고, 생성한 격자를 대상으로 시뮬레이션을 수행할 지배방정식을 선택하고, 각각에 대입될 파라미터 값들을 설정하여 작업을 수행한다. 작업 수행이 완료되면 시뮬레이션 결과로 생성된 파일을 다운로드 받아 해당 파일을 해석하여 가시화할 수 있는 후처리기를 통해 확인하는 후처리 단계를 거친다. 반면 난류 유동은 전처리 과정이 생략되어 수행하는 수치기법 실험에 따라 초기값 입력 파일이 제공되며, 사용자는 시뮬레이션에 사용할 파라미터 값들을 설정하는 단계만을 거쳐 실험을 수행하고, 후처리기를 통해 결과를 확인하게 된다. 그림 2 는 위에서 설명한 기본적인 세 가지 단계를 거치는 유체해석 실험을 프레임워크를 통해 수행하였을 때의 수행 흐름을 보인다.

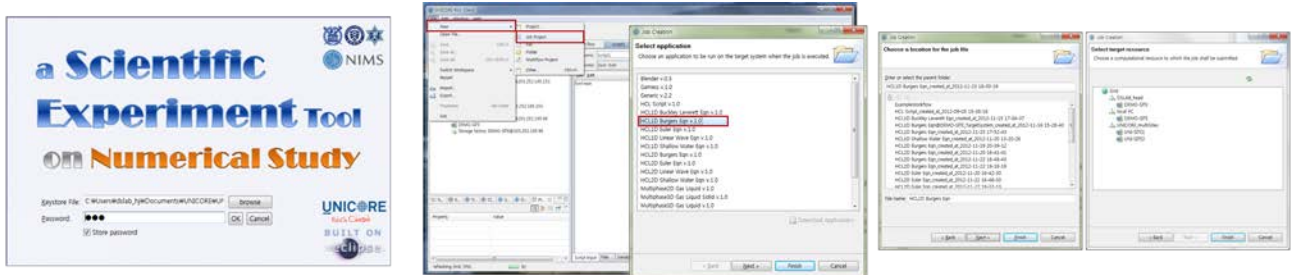
4.4 자원 관리

사용자가 프레임워크를 사용하여 작업을 생성하면 프레임워크의 'Resources' 탭에서 해당 작업이 수행 가능한 자원 리스트를 표시해준다. 작업 생성과 함께 기본으로 하나의 계산 자원이 선택되나, 필요에 따라 사용자가 원하는 자원을 선택하여 작업을 제출할 수도 있다. 자원 필터링은 생성된 작업이 갖는 응용정보와 사용자가 'Job Properties'로 설정한 CPU 수, Wall time 과 같은 정보를 계산 자원의 IDB 에 명세된 응용 정보 및 자원 정보와 비교하여 수행된다. 본 논문에서 제시하는 프레임워크는 사용자가 설정하도록 되어있는 'Job Properties'를 그림 1 의 'Resource Broker' 모듈에서 자동화하여 작업 제출이 이루어지도록 하였다. 응용별로 응용 개발시에 미리 'Job Properties'를 명세한 후 이 정보를 기반으로 'Resource Broker'가 작업 수행에 필요한 계산 자원을 필터링 하도록 한다.

5. 프레임워크에서의 실험 수행 예

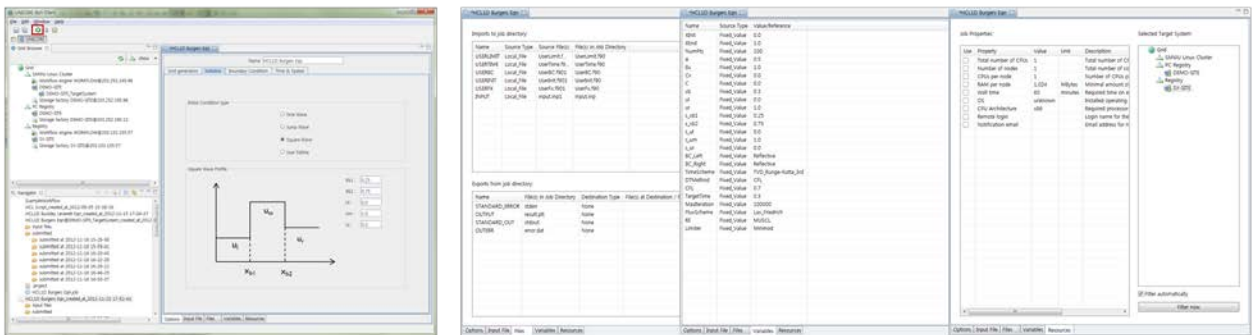
그림 4 는 프레임워크에서 실험을 수행했을 때의 예를 보여준다. 사용자가 프레임워크를 실행하면 본 논문에서 제안하는 프레임워크의 로고를 포함한 로그인 화면이 먼저 나타나게 되고 사용자는 인증에 사용할 key 파일을 선택하고 해당 key 에 알맞은 비밀번호를 입력하는 간단한 인증과정을 거친다. 프로그램 실행 후 새로운 작업 프로젝트를 생성하기 위한 메뉴를 선택하면 프로젝트 생성을 위한 대화상자가 나타나고 작업의 종류를 선택한 후 finish 버튼을 클릭하여 나머지 설정은 기본값으로 작업을 설정할 수도 있고, next 버튼을 클릭하여 프로젝트 디렉토리나 실제 작업 파일의 이름을 정하고 작업을 수행할 자원을 선택할 수도 있다. 작업 생성이 완료되면 해당 작업의 파라미터 설정, 자원 선택을 할 수 있는 사용자 인터페이스가 나타난다. 본 프레임워크의 UI 는 기본적으로 'Options', 'Input File', 'Files', 'Variables', 'Resources'의 네 가지 탭

으로 구성된다. ‘Options’ 탭은 파라미터 종류에 따라 다시 작은 탭으로 분류하여 그 안에서 값을 설정하는 컴포넌트가 존재하며, ‘Input File’ 탭은 사용자에게 입력 받은 파라미터 값을 실제 작업 수행에 이용되는 입력 파일의 형태로 보여주는 역할을 수행한다. ‘Files’ 탭에서는 사용자가 입/출력 파일을 확인하고 수정할 수 있으며, ‘Variables’ 탭은 모든 파라미터와 해당 값을 한 눈에 볼 수 있는 뷰를 제공한다. ‘Resources’ 탭은 작업을 수행할 자원을 선택하는 인터페이스를 제공하며 사용자는 기본으로 선택된 계산 자원에 그대로 작업을 제출할 수도 있고, 직접 원하는 계산 자원을 선택하여 작업을 제출할 수도 있다. 작업이 제출되면 제출 중(Submitting), 수행중(Running), 완료(Finished)와 같은 간단한 상태의 모니터링을 위한 모니터링 패널이 생성되며 작업 수행이 완료되면 ‘Fetch output files’ 메뉴 및 툴바의 버튼을 통해 결과 파일들을 다운로드 받을 수 있다. 사용자는 다운로드 받은 결과파일들을 파일의 형태에 따라 프레임워크에 연동된 후처리기를 통해 가시화하여 확인할 수도 있다.

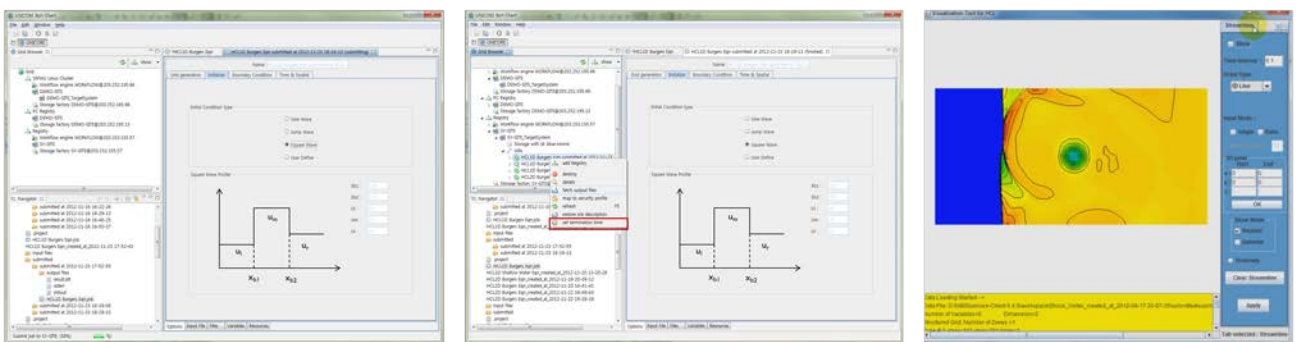


Login

Creating a job project



Editing Mode



Job Monitoring & fetching job outcomes

그림 4 프레임워크에서의 실험 수행 예

6. 결 론

본 연구에서는 유동 수치해석 분야의 고속 유동, 난류 유동, 다상 유동의 세 가지 응용을 대상으로 해당 응용들의 연구를 e-사이언스 환경에서 수행할 수 있도록 하는 과학 응용 실험 지원 프레임워크를 제시하였다. 유체해석 프레임워크는 유니코어의 가시적인 사용자 인터페이스인 URC 를 기반으로 확장하였고, 통합 환경에서 e-사이언스 환경으로의 접근이 가능하고 작업을 수행, 관리, 모니터링 할 수 있다. 또한 실험의 대상개체인 격자를 사용자가 전처리기를 통해 생성하고 실험의 결과를 가시화 툴을 이용하여 확인하기까지의 작업을 단일 프레임워크 상에서 수행할 수 있는 편리한 환경을 구축하였다. 이 연구는 수치해석이라는 서

로 같은 분야의 다른 도메인의 응용에 대한 실험들을 공통의 인터페이스를 통하여 통합된 환경에서 제공할 뿐만 아니라 e-Science 환경이 거의 전무한 유동 수치해석 분야에 필요한 연구 환경을 제공하여 유체해석 기법 연구의 효율성을 증진시킬 수 있다. 또한 프로젝트 단위의 작업 이력 관리로 실험 데이터를 관리하고 재활용하기에 용이하며, 이후 새로운 응용을 추가하는 것도 가능하여 유동 수치해석 응용의 연구 환경 구성비용을 절감하는 데에도 크게 기여할 수 있다.

향후 연구로는 현재 유체해석에 특화된 e-사이언스 프레임워크의 다양한 과학 응용 수행이 가능하도록 확장하는 것과 응용 개발자나 관리자의 응용 등록을 도울 수 있는 사용자 인터페이스 개발이 필요하다.

7. 참고 문헌

- [1] CLAWPACK : <http://www.clawpack.org/>
 [2] Jongbae Moon, Chongam Kim, Yoonhee Kim, and Kum Won Cho. CFD Cyber Education Service using Cyberinfrastructure for e-Science. Networked Computing and Advanced Information Management, 2-4 Sept. 2008.
 [3] SciLab : <http://www.scilab.org/>
 [4] <http://www.cs.wisc.edu/condor/>
 [5] 명훈주, 이필우, “TIGRIS 상에서 작업 관리 서비스의 설계 및 구축”, 한국 콘텐츠학회 2007 추계종합학술대회 논문집 제 5 권 제 2 호(하), Nov. 2007.
 [6] UNICORE: <http://www.unicore.eu>
 [7] 조정현, 허신영, 김윤희, 김종암, 조금원. e-Science 기반 사이버 교육을 위한 유체 해석 연구 시스템. Korean Network Operations and Management (KNOM) Review, Vol. 12, No. 1, pp.42~50, June, 2009.
 [8] 정영진, 진두석, 김규진, 임재형, 남덕윤, 문종배, 유정록, 안부영, 박선례, 이종숙, 조금원. EDISON-CFD: 웹 기반의 유체역학 교육 연구 융합 환경 구축. 한국전산유체공학회 2011년도 추계학술대회, 2011.
 [9] FLOWGRID : <http://www.unizar.es/flowgrid/>
 [10] Bastian Demuth, Bernd Schuller, Sonja Holl, Jason Daivandy, Andre Giesler, Valentina Huber, “The UNICORE Rich Client: Facilitating the Automated Execution of Scientific Workflows”, 6th IEEE International Conference on e-Science, 2010.
 [11] GPE Project: <http://sourceforge.net/projects/gpe4gtk/>
 [12] Sandra Bergmann. GridBean Developer’s Guide. UNICORE, 2009.



강혜정

2010 제주대학교, 컴퓨터공학과 학사

2012 숙명여자대학교, 컴퓨터과학부 석사

<관심분야>그리드 컴퓨팅 환경(PSE), 온톨로지, 지능형 시스템



박숙영

2000 숙명여자대학교, 컴퓨터과학과 학사

2003 숙명여자대학교, 컴퓨터과학과 석사

2010 숙명여자대학교, 컴퓨터과학과 박사

2010 ~ 현재 숙명여자대학교 컴퓨터과학과 초빙교수

<관심분야> 그리드 컴퓨팅 환경(PSE), 무선 네트워크



김윤희

1991 숙명여자대학교, 전산학과 학사

1996 Syracuse University, 전산학과 석사

2000 Syracuse University, 전산학과 박사

1991 ~ 1994 한국전자통신연구원 연구원

2000 ~ 2001 Rochester Institute of Technology, 컴퓨터공학과 조교수

2001 ~ 현재 숙명여자대학교 컴퓨터과학부 교수

<관심분야> 그리드 컴퓨팅 환경(PSE), 워크플로우 제어, 그리드/클라우드 관리



김 종 압

1988 서울대학교 항공우주공학과 학사

1990 서울대학교 항공우주공학과 석사

1997 프린스턴대학교 기계항공공학과 박사

1998~서울대학교 항공우주공학과 교수

<관심분야> 전산유체역학, 수치기법 개발, 고성능 병렬계산