

다중 인프라 기반의 공력 설계 교육을 위한 과학 워크플로우 통합 환경

김서영[†], 강혜정^{**}, 김윤희^{***}, 김종암^{****}

요 약

전 세계적으로 다양한 응용과학 분야의 연구자들은 그들의 연구 개발에 필수적인 고성능 컴퓨팅 자원의 확보와 복잡한 수치 해석 기법 개발을 위해 막대한 연구를 수행해 왔다. 특히 항공 우주 분야에서는 공력 최적 설계를 위해 소요되는 시간과 비용을 상당 부분 줄이기 위해 진보적인 수치기법을 개발하고 컴퓨팅 기술의 발전에 의존해왔으나, 여전히 1회의 실험에 막대한 비용 지출과 수개월의 소요 기간을 감수하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 항공 우주 분야 연구자들의 연구 개발 편의성을 도모하고자 다양한 컴퓨팅 자원 인프라를 제공하는 통합 공학 교육·실험 환경을 소개하고 그 우수성을 보인다. 다양한 컴퓨팅 인프라 구조로의 연결을 통해 산재되어 있는 다수의 컴퓨팅 자원 활용이 가능하므로 다수의 교육 대상자 및 연구자들에게 장소에 제한 없는 실험 시도를 가능케 함으로써 연구 개발의 복잡성을 줄이고 생산성을 높일 수 있다. 또한 통합 환경을 교육에 활용하여 교육 효율성을 극대화시킬 수 있다.

An Integrated Scientific Workflow Environment over Multiple Infrastructures for Engineering Education of Aerodynamics

Seoyoung Kim[†], Hyejeong Kang^{**}, Yoonhee Kim^{***}, Chongam Kim^{****}

ABSTRACT

All around the world, numerous scientists have been carried out researches of e-Science to improve performance of computations and accessibility of their experimental flexibilities for a long times. However, they still have been in difficulty securing high-performance computing facilities. In case of Aerodynamics, for example, a single experiment costs a tremendous amount of budget and requires a span of more than 6 months even though researchers have been developed diverse improved mathematical methods as well as relied on advanced computing technologies to reduce runtime and costs. In this paper, we proposed a multiple infrastructure-based scientific workflow environments for engineering education in fields of design optimization of aircraft and demonstrated the superiority. Since it offers diverse kind of computing resources, it can offer elastic resources regardless of the number of tasks for experiments and limitations of spaces. Also, it can improve education efficiency by using this environment to engineering education.

Key words: Multiple Infrastructure(다중 인프라), Scientific Workflow(과학 워크플로우), e-Science(e-사이언스), Science Cloud(사이언스 클라우드), Aerospace(항공 우주), Engineering education(공학 교육)

※ 교신저자(Corresponding Author) : 김윤희, 주소 : 서울 시 용산구 청파로47길 100 (청파동 2가) 숙명여자대학교 새싹관 402호 (140-742), 전화 : 02) 710-9664, FAX : 02) 710-9664, E-mail : yulan@sookmyung.ac.kr
접수일 : 2012년 11월 5일, 수정일 : 2012년 11월 23일
완료일 : 2012년 11월 30일

[†] 준회원, 숙명여자대학교 컴퓨터과학부
(E-mail : sssyy77@sookmyung.ac.kr)

^{**} 준회원, 숙명여자대학교 컴퓨터과학부
(E-mail : hjkang@sookmyung.ac.kr)

^{***} 정회원, 숙명여자대학교 컴퓨터과학부

^{****} 정회원, 서울대학교 기계항공공학부
(E-mail : chongam@snu.ac.kr)

※ 본 연구는 숙명여자대학교 2012학년도 교내연구비 지원에 의해 수행되었음.

1. 서 론

전 세계적으로 e-사이언스 환경을 더욱 유연하고 효율적으로 구축하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다[1]. e-사이언스[2]는 국내외에 위치한 연구자, 연구 장비, 연구 정보 등의 연구 자원을 사이버 공간에서 공동 활용하여 연구를 수행하는 차세대 연구 활동으로, 특히 복잡한 형태의 계산 중심 응용을 주로 다루는 전산 유체 역학(Computational Fluid Dynamics: CFD[3])분야에 대한 컴퓨터 과학 분야의 협력이 국내외로 진행되고 있는 실정이다[4]. 이러한 CFD분야에서 최적 설계 지원을 위해서는 고성능 컴퓨팅 자원 확보뿐만 아니라, 전문 연구자를 위한 실험에 필수적인 과학 워크플로우 설계 도구 역시 함께 요구된다. 현재 전문 연구자를 위해 고수준의 연구 환경을 지원하면서 동시에 고성능 계산 자원의 접근을 허용하는 e-사이언스 환경에 대한 연구는 미미하여 CFD를 다루는 다양한 응용과학 분야 중 항공우주 응용을 대상으로 하는 e-사이언스 프로토타입을 개발하였다[5]. 기존 연구[5,6]의 경우, 그리드 환경[7]으로의 자원 확장으로 대규모의 고성능 컴퓨팅 자원 활용이 가능했으나 자원을 공유하여 사용하는 만큼 특정시간대에 집중적으로 다수의 작업 수행 요구가 발생하면 자원 사용을 위한 긴 대기 시간을 초래하는 문제가 발생하였다. 본 논문에서는 자원 요구가 늘어날 경우, 가상화 기술을 바탕으로 동적인 자원 확장이 가능한 클라우드를 다중 인프라에 포함하여 실험 수행이 가능하도록 확장한다. 즉, 로컬 클러스터와 그리드 컴퓨팅 환경뿐만 아니라 동적인 자원 확장이 가능한 클라우드 환경까지 모두 접근 가능한 웹 기반의 워크플로우 설계 서비스를 제안한다.

본 논문의 2장에서는 관련 연구에 대해 논한 후, 본 논문에서 프로토타입으로 한 대상 응용에 대한 특징 및 실행 속성을 3장에서 간단하게 알아본다. 4장에서는 제안한 포탈 시스템의 전체 시스템 구조에 대한 설명과 성능 검증 실험을 논하며, 그 후에는 이를 기반으로 구현된 포탈을 소개한 뒤, 마지막으로 결론 및 향후 연구에 대해 논하겠다.

2. 관련 연구

과학 분야에서는 방대한 데이터의 관리와 분석을

자동화하기 위해서 과학 워크플로우를 이용해왔다. GridFlow[8], P-GRADE[9]와 같은 과학 워크플로우 시스템의 경우는 대규모의 그리드 자원을 기반으로 수행된다.

GridFlow는 그리드 환경에서 워크플로우 관리 서비스를 제공하는 시스템이다. 그리드 자원 관리 시스템을 통해 워크플로우의 관리 서비스를 제공하여 시뮬레이션 실행과 모니터링 기능을 가능하도록 해준다. 하지만 이 시스템은 응용 형태로 제공되어 별도의 설치 과정 및 컴퓨팅 환경과의 연결을 위한 추가 설정이 필요하므로 연구자에게 불편함을 준다는 단점이 존재한다. P-GRADE 포탈은 다양한 그리드(EGEE, UK, NGS, GIN VO, OSG, TeraGrid 등) 자원에 접근하여 큰 단위의 작업들을 생성, 실행, 관리할 수 있는 서비스를 제공한다. 그리드 자원 관리를 위한 미들웨어를 제공하며, 워크플로우 작업을 변경하지 않고 다른 그리드 자원으로 쉽게 마이그레이션하는 기능도 제공한다. 대용량의 작업 수행에 다양한 그리드 자원을 지원한다는 점에서 상호운용성을 제공하지만, 단순한 작업의 반복 실행만을 수행하기 때문에 복잡한 수치에 대한 연산 수행에는 한계가 있다.

최근 그리드의 한계를 극복하기 위해 이기종 분산 컴퓨팅 자원에 속하는 계산 그리드와 클라우드를 통합·구축하여 과학 워크플로우 수행을 지원하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. VGrADS(Virtual Grid Application Development Software)프로젝트[10]는 고성능 컴퓨팅 수행을 위해 기존 그리드 환경과 공용 클라우드 자원인 아마존 EC2를 동시에 이용 가능하도록 컴퓨팅 자원을 확장하였다. ASKALON[11]의 경우, 기존 응용 개발 및 실행 환경을 확장하여 그리드와 클라우드 환경을 동시에 활용할 수 있는 응용개발환경 구축을 목표로 두 가지 환경을 통합한 서비스를 연구하고 있다. 사용자는 UML 그래픽 도구를 이용하여 워크플로우를 쉽게 설계할 수 있으며, 'Enactment engine'이 워크플로우에 최적의 자원을 스케줄링하는 역할을 담당한다. Nimrod툴[12]는 High Throughput Computing(HTC) 중심 응용 수행을 지원하는 미들웨어 통합 실행 프레임워크로, 로컬 클러스터 또는 대규모 그리드 자원 상에서 응용 수행이 가능하도록 그리드 미들웨어 및 인터페이스를 구축하고 더불어 효율적인 실행을 위한 스케줄링 정책

도 함께 구현하였다. 자원 관리 비용을 감소시키고 저렴한 비용에 원하는 만큼의 자원을 빠르게 빌려 쓸 수 있는 클라우드의 장점을 고려하여 클라우드와 기존 자원 간에 연결 어댑터를 추가함으로써 컴퓨팅 자원의 혼합 활용이 가능한 구조 제공을 위한 연구를 진행 중이다.

3. 과학 응용의 특징

본 논문에서는 다양한 계산 과학 연구 중에서 항공 우주 분야의 비행체 설계 응용을 대상으로 하였다. 항공 우주 분야는 주로 진산 유체 역학을 통해 효율적이고 안정적인 비행체 형상을 개발하는 연구 분야로, 유체 해석을 통해 수행되는 비행체 설계 연구는 고정밀 수치해석을 반복적으로 수행하고 그 결과를 분석하므로 대용량의 고성능 컴퓨팅 자원과 함께 단계적 설계를 위한 워크플로우 수행이 지원되는 대규모 실험 환경을 요구한다. 워크플로우를 이루는 각 단계의 수행은 응용 간 의존성이 존재하며 수행 도중 데이터의 이동 또한 잦다. 그림 1은 본 논문에서 대상으로 한 항공우주 응용의 기본적인 수행 과정을 일부 나타낸 것이다.

워크플로우를 이루는 대상 응용의 기본적인 실행 패턴은 그림과 같이 ‘유동해석 단계’(Flow Analysis Step), ‘HTC 단계 및 첫 번째 설계 단계’, ‘두 번째 설계 단계’의 세 부분으로 크게 구분되며, 이 세 부분의 내부 흐름은 기존 연구[5]에 제시된 것과 동일한 형태로 수행된다. HTC단계가 포함된 두 번째 실행 단계의 경우, 동일한 응용에 대해 파라미터만을 변경한 입력 파일을 이용해 Bag of Tasks 형태의 다수의 독립적인 작업들을 생성한다. 수행시간이 긴 작업의 경우 시뮬레이션 1회에 포함되는 모든 작업을 병렬

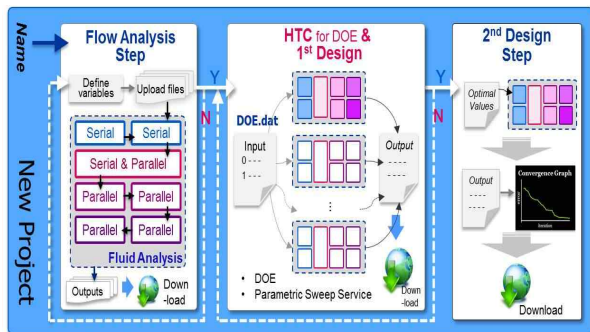


그림 1. 항공우주 응용의 실행 패턴

로 실행하게 되면 작업의 대기 시간이 줄어들게 되어 전체 응용의 수행 시간이 단축될 수 있다. 자원의 상태에 따라 처리 시간에 편차가 발생하기 때문에 컴퓨팅 자원의 상태정보와 작업 실행 상태정보가 제공되어야 하며, ‘HTC 단계’의 모든 작업 수행이 완료되면 그 결과를 일괄적으로 모아 다시 한 번 응용을 수행 시킴으로써 ‘첫 번째 설계 단계’를 완성한다. 사용자의 판단에 따라 다음 순서인 ‘두 번째 설계 단계’를 수행하게 되며 이 과정까지 모든 수행이 항공우주 분야에서 최적 설계를 위한 기본적인 설계 과정의 한 사이클이 된다.

4. 과학 워크플로우 지원 교육·실험 환경 구조

교육·실험 통합 환경의 전체 서비스 구조는 그림 2와 같다. 웹 포털을 통해 사용자가 장소에 제한 없이 접근 가능하며, ‘사용자 정보 관리’ 및 ‘실험 이력 관리’, 가용 컴퓨팅 자원에 대한 정보를 제공하는 ‘자원 카탈로그’, 클라우드 자원의 모니터링 정보를 제공하는 ‘가상머신 모니터링 서비스’, ‘워크플로우 편집서비스’ 등이 존재한다. 이러한 서비스들은 내부적으로 다른 서비스들과의 상호작용을 통해 다양한 형태로 제공된다[5].

주 서비스인 ‘파라메트릭 스위프 서비스’는 HTC 실행을 위해 입력한 파라미터 범위에 따라 다수의 작업을 자동으로 생성시켜 주는 서비스이며, 응용에서 사용할 파라미터 값들의 범위를 사용자로부터 입력 받아 범위에 따르는 다수의 작업들을 생성한다. ‘CFD 서비스’는 시뮬레이션에 사용될 CFD응용들을 관리하고 수행 도중 요구되는 파라미터의 이동과 작업 구성을 담당한다. 또한, 계산 도중 사용자에게 제공

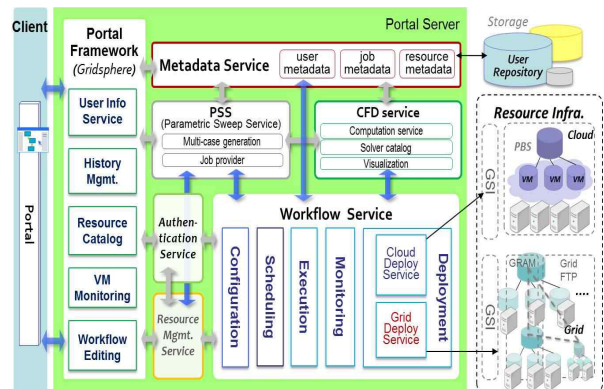


그림 2. 전체 서비스 구조

되는 수렴 그래프 생성 등을 책임진다. ‘워크플로우 서비스’는 포탈을 통해 구성된 워크플로우의 실행 및 관리를 제공하며 사용자가 포탈의 ‘워크플로우 편집 서비스’를 통해 워크플로우를 설계하면, 3장의 기본 실행 단계에 따라 서비스 내의 ‘구성’ 모듈에서 워크플로우를 분리하고 독립적인 형태로 재구성을 한다.

‘스케줄링’ 모듈에서는 사용자가 선택한 자원으로 작업을 제출하고 작업 간 의존 여부에 따라 스케줄링 한다. 사용자가 자원을 선택하지 않는 경우, 현재 자원 상태에 따라 작업들의 의존 여부를 함께 고려하여 자동 스케줄링을 제공한다. 스케줄링 된 작업들은 ‘실행’모듈에서 실행을 위한 데이터의 존재 여부 및 의존성을 확인한 후에 수행되며, ‘배치’ 모듈을 통해 클라우드, 그리드와 같은 계산 자원에 배치된다. ‘배치 서비스’에서는 클라우드의 경우, ‘클라우드 배치 서비스’에서 스케줄링 된 작업 양에 따른 가상머신 확장 또는 축소를 통해 자원의 양을 조절한다. 로컬 클러스터와 그리드 환경에는 글로버스 툴킷[13]과 클라우드 환경에는 오픈네블라[14]를 사용하였다. ‘메타데이터 서비스’는 사용자들의 정보 및 그들의 데이터에 대한 관계 정보를 포함하며, 실행한 작업 정보들을 관리하여 자원 메타데이터를 포함한 실시간 자원 정보를 사용자에게 제공한다.

포탈 서비스는 그림 3과 같은 인프라 구조를 기반으로 계산 서비스를 제공한다. 사용자가 포탈 서버를 통해 설계한 워크플로우를 제출하면, 이를 구성하는 작업들은 세 가지 인프라의 상태에 따라 스케줄링 된다.

다중 인프라를 기반으로 서비스를 제공했을 때의 성능 검증을 위해 단일 인프라에서와 제안하는 구조 간의 과학 시뮬레이션 수행 시간 및 평균 작업 실행

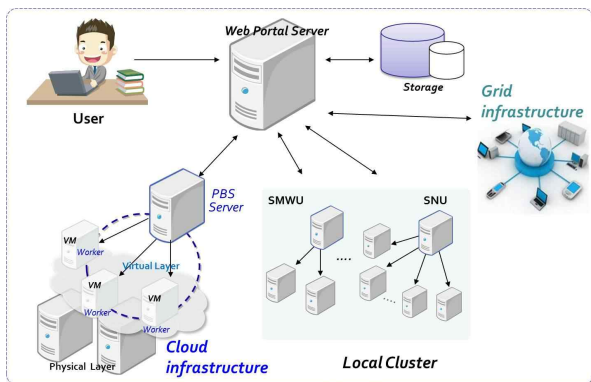


그림 3. 작업 실행을 위한 컴퓨팅 자원 구조

시간을 비교/분석하였다. 실험 수행을 위한 각 컴퓨팅 환경 정보는 표 1과 같다. 단일 인프라의 경우에는 총 40코어의 계산 노드를 갖는 로컬 클러스터에서 수행시간을 측정하였으며, 다중 인프라는 동일 조건의 클러스터(40코어)와 4코어 노드로 구성된 클라우드 환경을 함께 병행 사용했을 때의 평균 작업 실행 시간을 측정하였다. 실험 총 100회 수행 후에 단계별 평균 작업 수행시간을 구한 결과는 그림 4의 그래프에 나타내었다. 먼저 각 단계 별 수행시간 비교 결과를 통해 HTC 케이스들의 개수가 많은 경우, 로컬 클러스터로만 구성된 단일인프라에서의 수행 시간이 다중인프라에서보다 더 오래 소요됨을 알 수 있다. 클라우드와 고성능 자원을 병행하여 사용하는 경우, 가상화 오버헤드는 존재하더라도 가용 자원 수의 증가로 인해 병렬로 수행되는 작업 수가 증가하여 단일 작업 당 평균 수행시간이 오히려 적게 소요되는 결과를 보였다. 다중인프라 기반의 실행 시간이 다른 두 환경에서 보다 단축되었음을 알 수 있으며 성능 향상에 도움이 됨을 알 수 있다. 다중인프라 구조와 함께, 응용 특성을 파악해 실험 설계의 복잡성을 줄이고 반복 횟수에 제한 없는 동일한 서비스를 지원할 수 있도록 워크플로우에 대한 관리 프레임워크[5]가

표 1. 실험 환경 정보 (단위: 개)

	단일 인프라	다중 인프라
정보	로컬 클러스터	로컬 클러스터 + 클라우드 인프라
사양	AMD Phenom (tm) II X4 945 Processor	AMD Phenom(tm) II X4 945 Processor + Intel(R) Core(TM)2 CPU
물리 코어 수	40코어 계산노드	40코어 계산노드 + 4코어노드(클라우드환경)

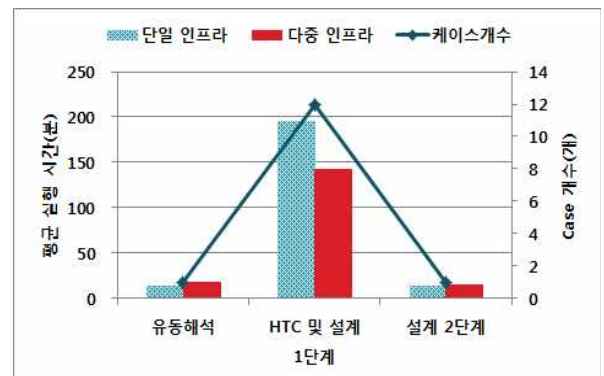


그림 4. 단일 인프라 및 다중 인프라 간의 평균 수행시간 비교

함께 동작한다. 이로써 수행 특성에 알맞은 적절한 계산 자원으로의 스케줄링을 제공하여 전반적인 작업 수행 성능뿐만 아니라 효율적인 자원 활용에 도움을 줄 수 있다.

5. 구현

그림 5는 과학 워크플로우를 지원하는 통합 교육·실험 환경 포털로 기본 워크플로우 형태가 구성된 템플릿을 로드하여 워크플로우를 생성하고 파라미터 값의 설정 및 입력파일을 생성하는 모습이다. 오른쪽 패널은 워크플로우의 정보를 표시해주는 역할을 하는데 워크플로우의 이름과 수행중의 상태 정보 외에 로컬 클러스터 및 그리드, 가상머신으로 이루어진 다중 인프라 자원의 지원을 위하여 새롭게 추가된 인터페이스로 각 자원의 호스트이름과 유형, 가용 코어 수를 확인할 수 있는 자원 목록을 제공한다. 또한 수행 중에는 표준 출력(Stdout)의 내용을 ‘Console’ 패널을 통해 사용자에게 실시간으로 제공해준다. 가상 자원 모니터링 테이블에서 자원을 선택하여 해당 자원에 워크플로우를 제출할 수 있다. 그리드 및 클라우드 자원 모두 가능하며 선택된 자원의 호스트이름이 상단 바에 표시된다. 워크플로우가 수행되는 중에는 중심패널이 비활성화 되고, 작업의 수행이 완료되면 그 상태를 표시하는 ‘Process Workflow’ 패널에 위치한 다운로드 버튼이 수행 완료와 함께 활성화되며, 클릭 후에는 수행 결과가 압축파일의 형태로 제공되고 동시에 그래프 생성이 가능하다. 사용자가 작업의 수행상태 또는 파라미터 정보를 확인한 후

오류라고 판단하면 해당 작업을 재수행하거나 중단할 수 있도록 ‘Rerun’, ‘Stop’버튼이 제공된다.

또한 클라우드 자원의 경우 가상머신 모니터링을 워크플로우 편집 페이지와 구분하여 ‘VM Mgmt.’라는 가상머신 모니터링을 제공한다. 본 포털에서 가상머신 환경 구축에 이용한 오픈네블라의 모니터링 도구인 Sunstone[15]의 일부 기능을 포털에 통합한 것으로 가용 가상머신의 수와 상태, 현재까지 사용된 가상머신의 정보 등을 확인할 수 있다. ‘Work History’ 탭을 통해 사용자가 과거에 수행한 워크플로우의 정보 및 결과를 확인할 수 있다(그림 6), 워크플로우의 JOB의 내역을 보여주는 하단의 테이블에서는 편집 환경에서 워크플로우를 수행하여 모니터링 정보를 확인할 때와 같이 결과 파일을 다운로드 받거나 ‘두 번째 설계 단계’의 작업에 대한 그래프를 확인할 수 있도록 하였다.

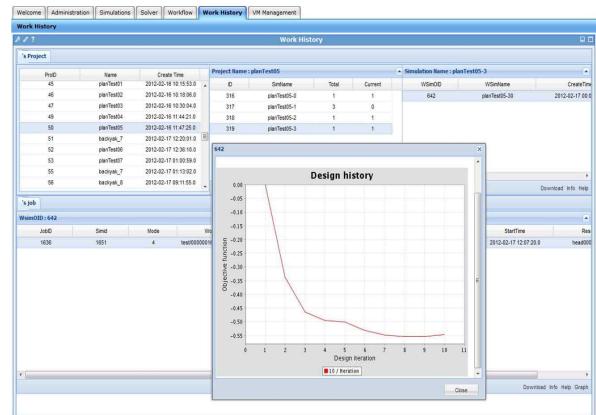


그림 6. 히스토리 데이터 확인 메뉴

6. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 다양한 자원 인프라에 기반을 둔 공력 최적 설계 환경을 과학 워크플로우 지원과 함께 제공하고 계산 자원의 모니터링 및 워크플로우 수행이 가능한 웹 기반의 통합 교육·실험 환경을 설계하였다. 구축된 과학 워크플로우 환경은 웹 기반으로 교육 대상자 및 연구자가 언제 어디서든지 과학 워크플로우를 편집하고 수행할 수 있으며, 직관적인 인터페이스의 제공 및 작업과 자원 모두에 대한 모니터링을 제공함으로써 사용자의 실험 수행에 대한 제어성을 향상시켜 보다 정밀한 실험 및 의미 있는 실험 수행이 가능하도록 하였다. 향후에 이를 교육 현장에

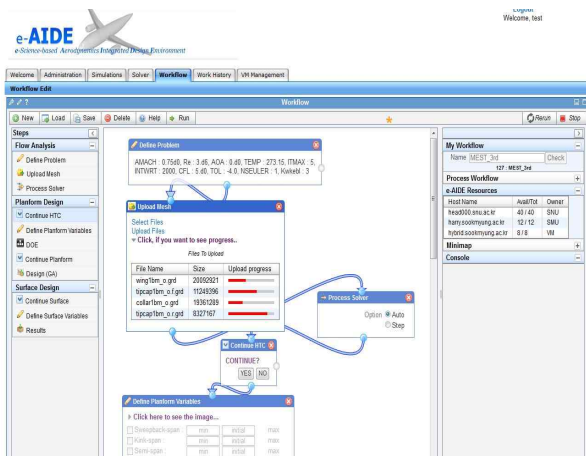


그림 5. 워크플로우의 편집 환경

활용하여 교육 효과를 극대화 할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 조금원, 이상동, 이지수, 국내·외 e-Science 현황 및 동향, 물리학과 첨단기술, 한국물리학회, 서울, 2005.
- [2] e-Science, www.nesc.ac.uk/nesc/define.html, 2013
- [3] CFD, <http://www.cfd-online.com/>, 2013
- [4] 정영진, 진두석, 김규진, 임재형, 남덕윤, 문종배, 유정록, 안부영, 박선례, 이종숙, 조금원, "EDISON-CFD: 웹 기반의 유체역학 교육·연구 융합 환경 구축," 한국전산유체공학회 2011년도 추계학술대회, pp. 333-336, 2011.
- [5] 김서영, 윤경아, 김윤희, "계산 과학 응용을 위한 과학 워크플로우 통합 수행 환경 설계," 인터넷 정보학회논문지, 제13권 제1호, pp. 37-44, 2012.
- [6] S.Y. Kim, H.J. Kang, K.A. Yoon, Y.H. Kim, C.Y. Hur, and C.A. Kim, "Scientific Workflow support of multi-stage experiments on an e-Science environment," In Proceedings of ICONI 2010 & APIC-IST 2010, pp. 663-667, 2010.
- [7] 김일민, "차세대 인터넷 서비스: Grid Computing," 한국멀티미디어 학회지, 제7권 제4호, pp.103-108, 2003.
- [8] Cao, Junwei, Stephen A. Jarvis, Subhash Saini, and Graham R. Nudd, "GridFlow: Workflow Management for Grid Computing," In Proceedings of Cluster Computing and the Grid 2003, pp. 198-205, 2003.
- [9] Kacsuk, P., Kiss, T., and Sipos, G., "Solving the Grid Interoperability Problem by P-GRADE Portal at Workflow Level," Future Generation Computer Systems, Vol. 24, No. 7, pp. 744- 751, 2008.
- [10] Ramakrishnan, Lavanya, Charles Koelbel, Yang-Suk Kee, Rich Wolski, Daniel Nurmi, Dennis Gannon, Graziano Obertelli, Asim YarKhan, T. Mark Huang, Kiran Thyagaraja, and Dmitrii Zagorodnov, "VGrADS: Enabling e-Science Workflows on Grids and Clouds with Fault Tolerance," In Proceedings of the Conference on High Performance Computing Networking, Storage and Analysis(SC'09), pp. 1-12, 2009.
- [11] Fahringer, T, Prodan R, Duan R, Nerieri F, Podlipnig S, Qin J, Siddiqui M, Truong HL, Villazon A, and Woeczorek M, "Askalon: A Grid Application Development and Computing Environment," In Proceedings of Grid Computing 2005, pp. 122-131, 2005.
- [12] Bethwaite, B, Abramson, D, Bohnert, F, Garic, S, Enticott, C, and Peachey, T, "Mixing Grids and Clouds: High-Throughput Science Using the Nimrod Tool Family," Cloud Computing, Principles, Systems and Applications, pp. 219-237, Springer London, London, 2010.
- [13] Globus Toolkit, www.globus.org, 2013
- [14] OpenNebula, www.opennebula.org, 2013
- [15] SunStone, <http://opennebula.org/documentation:archives:rel3.0:sunstone>, 2013



김 서 영

2005년 3월~2010년 2월 숙명여자대학교 컴퓨터과학과 학사
2010년 3월~2012년 2월 숙명여자대학교 컴퓨터과학부 석사

관심분야 : 그리드/클라우드 컴퓨팅, 메타 스케줄링, 워크플로우 제어



강 혜 정

2006년 3월~2010년 2월 제주대학교 컴퓨터공학과 학사
2010년 3월~2012년 2월 숙명여자대학교 컴퓨터과학부 석사

관심분야 : 그리드 컴퓨팅 환경 (PSE), 온톨로지, 지능형 시스템



김 윤 희

1987년 3월~1991년 2월 숙명여자대학교 전산학과 학사
1994년 9월~1996년 8월 Syracuse University 전산학과 석사
1996년 9월~2000년 8월 Syracuse University 전산학과 박사

1991년 1월~1994년 7월 한국전자통신연구원 연구원
2000년 9월~2001년 2월 Rochester Institute of Technology 컴퓨터공학과 조교수
2001년~현재 숙명여자대학교 컴퓨터과학부 교수
관심분야 : 그리드/클라우드 컴퓨팅, 워크플로우 제어, 그리드/클라우드 관리



김 종 암

1984년 3월~1988년 2월 서울대학교 항공우주공학과 학사
1988년 3월~1990년 2월 서울대학교 항공우주공학과 석사
1992년~1997년 Princeton University 기계항공공학과 박사

1991년~1992년 KIST 시스템공학연구소 연구원
1997년~1998년 Stanford University Center for Turbulence Research, Research Fellow
1998년~2000년 서울대학교 전임강사
2000년~현재 서울대학교 기계항공공학부 교수
관심분야 : 항공우주수치해석, e-Science 기반 수치풍동설계