


 특집
02

e-Science 국내외 기술 동향

목 차

1. 서 론
2. 한국 e-Science 환경 구축 기반 기술
3. 유럽 e-Science 환경 구축 기반 기술
4. 결 론

황순욱 · 남덕윤 · 김법균 · 염현영
(한국과학기술정보연구원 · 서울대학교)

<요 약>

IT기술의 눈부신 발전으로 인해 과학적 연구 (scientific research)는 더 이상 한 개인 연구자의 실험실내에서 수행되는 것이 아니라 학제, 실험실, 연구기관, 심지어는 국가를 포괄한 연구자 커뮤니티의 협업 형태로 수행되고 있다. e-Science란 이처럼 IT 기반으로 과학, 공학에 있어서 새로운 문제들을 풀기 위한 자원과 연구자들의 글로벌 협업을 말한다. 우리나라도 지난 2005년부터 국가적 차원에서 e-Science 사업을 진행해 오고 있다. 유럽도 지난 2004년부터 소위 EGEE (Enabling Grid for E-SciencE)라는 e-Science 프로젝트를 전 유럽차원에서 진행해 오고 있다. 본 논문에서는 그동안 진행해온 한국과 유럽의 e-Science 환경 구축에 있어서 핵심적인 역할을 하고 있는 e-Science 기반 기술에 대해서 소개를 하고자 한다.

1. 서 론

e-Science란 과학과 공학에 있어서 거대 도전 문제를 비롯하여 새로운 문제들을 풀기 위해

분산된 컴퓨팅 자원, 데이터, 실험 장비는 물론 연구자들은 연동한 글로벌 협업(global collaboration) 연구 환경을 말한다.[1] 이러한 새로운 문제들로서 천체 물리에 있어서 거대 블랙홀 시뮬레이션, 입자 물리에 있어서 검출기에서 쏟아져 나오는 막대한 양의 데이터 처리, 전 공학 주기의 시뮬레이션 등 과학, 공학에 걸쳐 다양하다.

글로벌 협업 연구환경의 대표적인 예로서 고에너지물리의 경우를 들 수 있다. 현재 유럽입자물리공동연구소(CERN)에서 건설 중인 강입자충돌기(Large Hadron Collider)가 가동될 경우 검출기에서 생산되는 데이터가 연간 10 PBytes 이상이 될 것을 예측하고 있다. 검출기에서 생산되는 데이터를 효율적으로 보관하고, 가공하고, 분석하여 우주의 근본 물질들과 이들 간의 상호작용을 규명하는 일은 한 국가나 한 연구기관이 감당하기엔 그 데이터 용량이 너무 방대하다. 이처럼 엄청난 양의 데이터 분석을 위해서 전 세계적으로 100여개가 넘는 연구기관에서 약 6000여명의 연구자들이 데이터 처리와 분석에 공동으로 참여할 것으로 예상된다. 우리나라도 약 100여명

의 박사급 연구진이 참여할 것으로 예상된다.

우리나라에서는 지난 2005년부터 한국과학기술정보연구원 (KISTI) 주도하여 2011년까지 선진국수준의 e-Science 환경을 구축하여 연구 생산성을 획기적으로 향상시키는 것을 목표로 하여 국가 e-Science 구축사업을 추진해 오고 있다.[2] 이를 위해 5개의 시범 응용 분야를 선정하여 e-Science 시범 환경을 구축하였다. 이들 5개 응용 분야는 초고전압투과전자현미경 (HVEM)을 이용한 환경 구축 (e-HVEM), e-Science 기반의 항공우주 수치풍동 구축 (e-AIRS), HG2C (인간유전자 정보로부터 활성화 화합물 탐색) 응용 서비스 개발 (e-HG2C), 기상 환경을 위한 Meteo-Data e-Science 시스템 개발, (e-WIS), 분자 시뮬레이션 e-Science 연구 인프라 개발 (e-Glycoconjugates)이다.

이들 5개 분야 e-Science 환경 구축의 기반 기술로서 공통 소프트웨어 (SW) 스택을 정의하였다. 이처럼 공통 SW 스택을 정의하고 소프트웨어 컴포넌트를 제공함으로써 각 분야별 응용 e-Science 환경 구축 시 공통적으로 사용되는 소프트웨어 컴포넌트들이 각 응용별로 중복 개발되는 것을 방지하였으며 각 응용별로는 응용별 e-Science 환경 구축에 특화된 소프트웨어 컴포넌트 개발에 전념할 수 있도록 하였다.

유럽의 경우 e-Science 관련 다양한 프로젝트들이 진행되고 있다. 그 중 대표적인 프로젝트가 EGEE (Enabling Grid for E-Science)이다. EGEE는 2004년에 시작된 프로젝트로서 현재 EGEE-II가 진행 중이며 2008년 5월부터는 제 3단계 사업인 EGEE-III가 착수될 예정이다. EGEE는 연구자들에게 24시간 접속 가능한 과학계산망을 구축하여 지리적 위치에 관계없이 컴퓨팅 자원 및 데이터를 접근할 수 있도록 production-quality 서비스를 제공하는 것을 주목적으로 두고 있다.[3]

EGEE는 2004년도 1단계 프로젝트 (EGEE-I)

를 시작될 때 원래 고에너지물리(HEP)과 생물 의과학(Biomedicine) e-Science 연구 환경 구축을 목표로 하였다. 하지만 2단계 프로젝트 (EGEE-II) 마무리 단계인 현재는 천체물리학 (Astrophysics), 지구과학 (Earth Science), 계산 화학 (Computational Science), 융합 (Fusion) 분야 등 과학 전 분야에 걸쳐 e-Science 응용 환경이 구축 운용되고 있다. 이를 위해 EGEE는 전세계 약 45개국의 240사이트를 (현재까지 총 약 40,000개 이상의 CPU 자원과 약 20 PBytes 가량의 데이터 저장장치) 연동한 글로벌 e-Science 인프라가 구축 운영되고 있고 이 인프라 위에서 고에너지물리, 생물 의과학을 비롯한 응용별 EGEE e-Science 연구 환경이 구축되어 있다.

EGEE e-Science 환경 구축의 기반 기술로 gLite라는 미들웨어를 정의하였다. gLite[4]는 인터넷 상에 분산된 컴퓨팅 및 저장 장치 자원들을 연동하여 e-Science 응용 환경 구축을 용이하게 해주는 프레임워크를 제공한다. "Lite"라는 이름에서 나타나듯이 이전의 EU 프로젝트 (예를 들면, European Data Grid)에서 개발된 미들웨어와는 달리 쉬운 설치 및 환경 설정을 보장하며 현재 100개 이상의 사이트에서 사용 중에 있다.

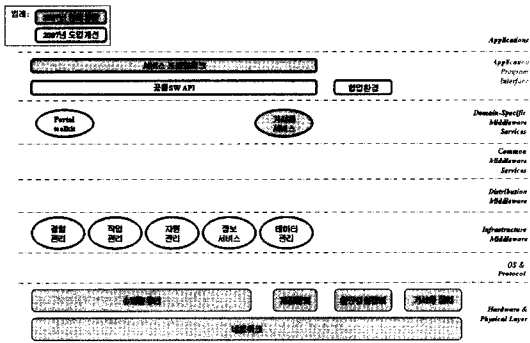
본 논문에서는 한국의 5개분야 시범 응용 e-Science 환경 구축의 기반 기술로 사용 중인 공통 SW 기술과 유럽 EGEE e-Science 환경 구축의 기반 기술로 사용 중인 gLite기술에 관해서 소개하고자 한다.

2. 한국 e-Science 환경 구축 기반 기술

지난 수년간, 전세계적으로 다양한 그리드 미들웨어 환경에서 다양한 자원과 서비스에 대한 접근을 요구하는 응용프로그램 프로젝트들이 증가함에 따라, 다수의 그리드 및 e-Science 관련 프로젝트들은 사용자에게 제품 수준의 서비스를 제안하고 있다. 전세계 대부분의 e-Science 프로젝트에서는 연구자들을 위한 소프트웨어들을 분

류하고, 제공하는 소프트웨어들이 하나의 통합된 솔루션이라기 보다는 연구자가 요구하는 응용프로그램 제작을 위한 세부 컴포넌트로서 개발된 것이다. 이에 한국 e-Science 환경 구축 사업에서도 e-Science 응용 지원을 위한 최소한의 공통 SW 컴포넌트를 정의하고, 이에 대한 연구 개발을 수행했다.

2.1 계층별 공통 SW 컴포넌트 및 응용과제별 결과물



(그림 1) 계층별 공통 소프트웨어

일반적으로 미들웨어를 포함한 소프트웨어들은 (그림 1)의 오른쪽에 작성된 계층으로 나누어 생각할 수 있다. 맨 밑 단의 하드웨어 및 물리적 계층은 네트워크는 물론, 슈퍼컴퓨터, 저장장치, 첨단실험장비, CAVE와 같은 물리적인 가시화 장치 등이 포함된다. 모든 시스템은 운영체제가 설치되어 있을 것이며, 네트워크 통신을 위해 프로토콜 또한 운영되고 있다. 운영체제 위에는 우리가 흔히 생각하는 미들웨어가 운영되는데, 공통 SW항목에 있는 결합관리, 작업관리, 자원관리, 정보서비스, 데이터관리와 같은 그리드 미들웨어의 기본적인 서비스들이 이 계층에 포함된다. 그 위에는 그리드 미들웨어 외에 분산객체 미들웨어 성격의 소프트웨어가 운영되며, 공통 미들웨어 서비스는 네이밍서비스, 트랜잭션 서비스 등과 같은 미들웨어 기반의 서비스들이 운영된다. 그 위의 특정도메인 서비스는 e-Science

연구환경을 위해 필요로 하는 서비스로 본 과제에서는 포탈툴킷과 가시화 서비스를 도입 개선했다. 마지막으로 e-Science 연구환경 구축을 위해, 연구자들의 활동에 도움이 될 수 있는 소프트웨어를 만들고 제공하기 위한 서비스 프레임워크와 공통 SW API, 협업환경을 설정하여 과제를 수행했다.

<표 1> 각 과제별 개발 소프트웨어

e-AIRS	협업 환경	Shared TightVNC
	작업관리	Job Scheduler
	작업관리	JSDL Editor
HVEM	데이터 관리	NanoBio-DataGrid
		Alignment Library
		Preprocessing Library
	작업관리	G-Render Client
		G-Render Server
	작업관리	Remote Controller Client
		Remote Controller Server
보안관리	인증서애플릿	
MGrid	작업관리	Advanced Gaussian Job Editor
	작업관리	Amber Job Editor
	작업관리	Charmm Job Editor
	작업관리	Gaussian Job Editor
	작업관리	MGrid Execution
	작업관리	MGrid PSE
	가시화	MGrid Analysis Toolkit
작업관리	WIMS	
WIS	포탈 툴킷	WIS Portal
HG2C	포탈 툴킷	MSF2
KISTI	서비스 프레임워크	e-Science Workbench
		e-Science Workbench Server

<표 1>은 응용연구들과 공통SW 컴포넌트 분류에 따른 최종 소프트웨어 산출물로, 과제별로 특화된 부분들을 정리한 것이다. 응용연구과제 들로는 항공우주분야의 e-AIRS, 장비활용분야의 HVEM, 분자 NT 분야의 MGrid, 기상과학분야의 WIS, 생명BT분야의 HG2C가 있으며,

KISTI는 서비스프레임워크에 속하는 SW를 개발했다. 계층별 공통 소프트웨어 분류에서 설명했듯이, 도입개선 부문은 대부분의 과제들에서 지원하고 활용되었다.

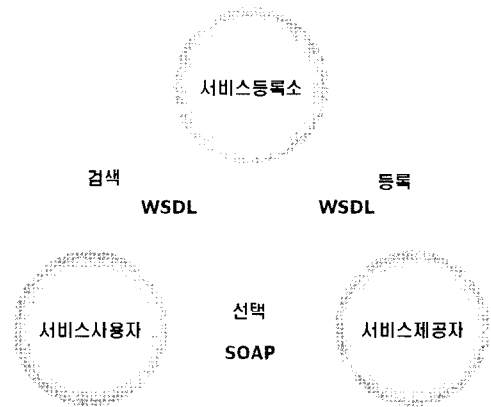
2.2 공통 SW 컴포넌트 소개

2.2.1 서비스 프레임워크

서비스 프레임워크는 공통 SW의 기능을 다양한 응용 과제에서 활용하기 위해 공통 SW의 컨테이너 기능을 하는 프레임워크이다. 이러한 서비스 프레임워크를 구현하는데 있어서 가장 유연성 있는 기본 구조는 웹 서비스이다. 웹 서비스는 여러 곳에 분산되어 존재하는 유용한 기능을 지닌 프로그램들을 모든 사용자에게 서비스로 제공한다. 분산되어 있는 여러 솔루션에 대한 서비스로서의 인터페이스를 사용자에게 제공할 뿐 기술적인 세부사항은 숨긴다. 웹 서비스로 서비스 프레임워크를 구성한다는 것은 모든 애플리케이션이나 서비스를 새롭게 개발한다는 의미가 아니다. 기존에 개발되어 있는 서비스에 웹 서비스를 위한 인터페이스를 개발하는 것이다. 이를 위해, 서비스 기술(Service Description) 및 서비스 등록(Service Registration) 작업 등을 수행해야 한다.

서비스 기술(Service Description)은 제공하려는 서비스를 표준 형식에 맞게 기술(describe)하여 사용자가 쉽게 이해하도록 하는 것이다. 대표적인 언어가 WSDL(Web Service Description Language)이다. 서비스 등록(Service Registration)은 서비스 제공자의 물리적인 위치를 모르더라도 사용자가 서비스를 사용할 수 있도록 서비스 등록소(Service Registry)에 저장하는 것이며 대표적인 등록소가 UDDI(Universal Description, Discovery, and Integration)이다. 서비스 사용자(Service Consumer)는 서비스 제공자가 제공하는 서비스를 사용하는 역할을 하며, 서비스 등록소(Service Registry)에서 원하는 서

비스를 검색해서 서비스 기술(Service Description)을 보고 어떻게 사용할 것인지를 알아야 한다. 찾아진 서비스를 연결(Bind)하고, 호출(Invoke)하는 것은 결국 서비스 사용자의 몫이 된다. 서비스 등록소는(Service Registry)는 서비스 제공자가 자신의 서비스를 등록할 수 있는 곳으로서, 서비스 사용자가 원하는 서비스를 찾는 곳이 된다. 일종의 네이밍 서버가 되며, 다양한 응용 서비스 목록을 관리하고 검색하여 결과를 알려 주는 역할을 한다. (그림 2)의 구조도에서 서비스 사용자는 각 응용 과제에 해당하고 서비스 제공자는 각 공통 SW가 설치되고 서비스 되는 곳을 뜻하며 서비스 등록소가 공통 SW와 응용 과제를 연결해 주는 서비스 컨테이너 역할을 한다.

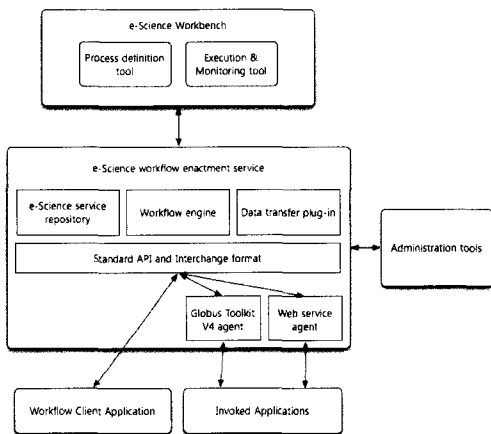


(그림 2) 서비스 프레임워크 구조도

또한 서비스 등록소에 포함된 단일 서비스가 어떠한 오류나 버그가 없는 실제로 이용 가능한 서비스인지를 검증하는 서비스 테스트가 서비스 프레임워크에 포함될 수 있다. 이러한 서비스 프레임워크를 바탕으로 e-Science 연구자는 자신의 연구에 필요한 다양한 계산 및 응용 서비스들을 검색하고 그 서비스들을 조합함으로써, 연구 워크플로우(Scientific Workflow)를 구성할 수

있어야 한다. 이 연구 워크플로우에 관련 연구자들의 협업 활동도 포함될 수 있어야 한다. 따라서 이러한 점을 고려하여 총체적인 서비스 프레임워크를 구현한 것이 바로 KISTI e-Science 워크벤치이며, 서비스 프레임워크의 각 단위 서비스를 모아 놓은 서비스 저장소 역할을 한다.

가. KISTI e-Science 워크벤치



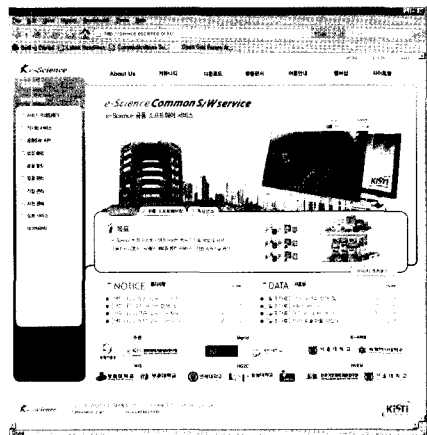
(그림 3) KISTI e-Science 워크벤치 구성도

KISTI e-Science 워크벤치는 협업 환경에서 손쉽게 개발된 단위 e-Science 응용 서비스를 통합하고 완성도 높은 서비스 및 프로세스를 구축할 수 있도록 해 준다. 워크벤치의 구조는 (그림 3)과 같다.

e-Science 서비스 통합 워크벤치 엔진 서버는 다양한 e-Science 서비스로 이루어진 워크플로우 작업을 수행하고 관련된 관리 작업을 서비스한다. e-Science 서비스 통합 워크벤치를 위한 자원 연동 컴포넌트는 e-Science workflow enactment service에서 Globus Toolkit V4를 기반으로 제공되는 서비스에 접근 가능하도록 하는 plug-in 형태의 소프트웨어 컴포넌트와 e-Science workflow를 실행하면서 필요한 데이터 전송을 지원하기 위한 소프트웨어 컴포넌트로 구성되는데, (그림 3)에서 Data transfer

plug-in과 Globus Toolkit V4 agent 등이 이에 해당한다. e-Science 서비스 기반 프로세스 모델링 워크벤치는 e-Science 서비스 기반 워크플로우 프로세스를 연구자가 직접 모델링할 수 있고 e-Science workflow enactment service를 통해 워크플로우 작업의 실행과 관련된 작업을 수행할 수 있으며, 실행 과정에 대한 모니터링이 가능한 사용자 인터페이스이다. (그림 3)에서는 Process Definition Tool과 Execution & Monitoring Tool이 이에 해당한다. (그림 3)의 e-Science Service Repository는 e-Science workflow enactment service에 e-Science 서비스 등록 및 검색이 가능한 도구이다. e-Science 서비스 통합 워크 벤치 클라이언트 인터페이스는 각 작업 클라이언트의 작업리스트에 접근할 수 있으며 작업 수행에 부수적인 처리를 할 수 있는 유저 인터페이스이다.

나. 서비스 등록 사이트



(그림 4) e-Science 공통 SW 서비스 사이트

본 사업을 추진하여 얻은 최종 결과물들은 (그림 4) KISTI 공통 SW 서비스 사이트에서 모두 다운받아 사용할 수 있다[5] 유럽의 OMIII 프로젝트처럼 공통 SW 분류별로 사용자 매뉴얼 및 소프트웨어를 제공한다. 향후에는 보다 많은 분야의 주요 SW들을 지원함은 물론, 사용자 편

의성을 고려한 다양한 서비스를 지원하는 e-Science 기술센터로 운영될 수 있을 것이다.

2.2.2 가시화 서비스

최근 전 세계적으로 각 응용 분야의 연구 기반이 IT로 이동함에 따라 연구 규모의 확대와 더불어 글로벌 협업이 강조되고 대용량 연구 데이터의 고품질 가시화에 대한 요구가 증가하고 있다. 이를 위해, eAIRS 분야에서는 eAIRSView, MGrid 분야에서는 MGrid Analysis Toolkit, KISTI에서는 자체적으로 KISTI 가시화 서비스 등을 개발하였다.

가. e-AIRView

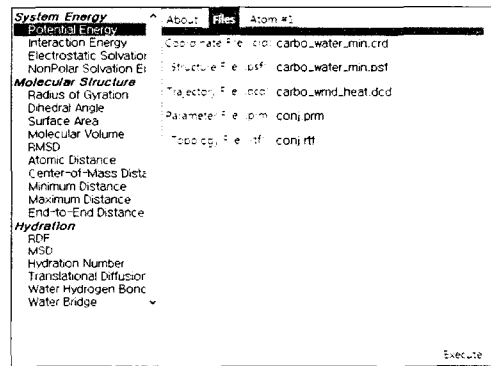
e-AIRS 분야에서 제공되는 Post-Processor를 e-AIRView라 명명하였다. e-AIRView는 가상 공동 실험 계산 결과로부터 얻어진 데이터를 통합하여 가시화해준다. e-AIRView는 계산 결과 데이터를 3차원적인 구조와 다양한 색상 변화로 표현하기 때문에 사용자는 이를 통해 결과 데이터를 보다 효과적이고 쉽게 분석할 수 있다. 또한 가시화된 3차원 데이터를 분석함에 있어 편리함과 정밀성을 제공하기 위한 다양한 컨트롤 기능을 제공한다. e-AIRView는 가상 공동 실험 결과를 효율적으로 분석할 수 있도록 제공함은 물론, 실제 공동실험 결과와 유기적으로 연동되고 협업 환경의 원격 가시화가 가능하도록 하여, 항공우주 연구개발시의 연구시간 감소 및 중복 투자를 방지하는 토대가 된다.

나. MGrid Analysis Toolkit

MGrid Analysis Toolkit은 MGrid PSE에서 수행한 작업들의 결과를 분석하여 그래프와 데이터 시트를 만들어 주는 웹 응용 프로그램이다.

분석 도구를 실행하면 (그림 5)와 같은 화면이 나타난다. 이 도구는 Charmm 소프트웨어의 실행 결과를 분석하는 도구이다. 좌측 메뉴 리스트에 분석 방법들이 나열되어 있고, 수행하고자

하는 분석 방법을 선택하면 된다. 분석을 위해 Charmm을 실행할 때, 사용한 파일과 생성된 파일들이 요구되며, 이 파일 목록은 도구 실행 시 제공된다. 오른쪽의 "Files"를 선택하여 해당 분석 방법에 사용할 파일을 정확히 선택해야 한다. 분석 방법마다 필요로 하는 인자가 다르므로 주의해야 한다. "Files" 오른쪽에 필요로 하는 인자 수가 "Atom #?" 형태로 나타나는데, 이를 모두 입력해 주어야 한다. 모든 옵션이 선택된 경우, 오른쪽 하단의 Execute 버튼을 클릭하면 MGrid Execution 서비스에 자동으로 수행이 요청되고 결과가 시각화된다.



(그림 5) MGrid Analysis Toolkit 실행 화면

2.2.3 공통 SW API

공통 SW API는 그리드 및 이사이언스에서 사용하는 하부의 미들웨어 혹은 인프라스트럭처를 접근할수 있는 보다 정형적이며, 쉽고 표준화된 인터페이스를 제공하는것을 목적으로 한다. 이것이 필요한 이유는 상위의 이사이언스 어플리케이션과 사이버 인프라스트럭처간의 계층간의 물리적/논리적 격차가 존재하기 때문이다. 예를 들어 물리적으로는 이기종의 계산 노드, 저장장소등을 들 수 있으며 논리적으로는 서로다른 프로그래밍 언어와 개발 환경등을 들 수 있다. 공통 SW API 는 어플리케이션 수준에서 보다 명확한 인터페이스를 통하여 하위의 기술들을

이용하고자하는 기술들이다. 글로버스 프로젝트에서는 Globus Toolkit 에 프로그래밍 수준에서 접근을 용이하게 하는 CoG Kit 을 제공하고 있으며 표준화 단체인 OGF에서는 SAGA, DRMMMA 와 같은 표준안을 통하여 지원해주고 있다.

2.2.4 협업환경

지역적으로 떨어진 다수의 사용자가 원격에서 서로가 가진 프로그램, 데이터를 공유하거나 채팅, 영상 및 음성을 통해 서로가 의사소통을 가능케 하는 협업 환경을 지원하는 소프트웨어로 VNC가 있다. 또한 e-AIRS 분야에서는 Shared TightVNC를 이용하여 협업 환경을 지원하였다.

가. Shared TightVNC

e-AIRS 시스템에 적용된 Shared TightVNC는 AG(Access Grid)의 공유 애플리케이션 중에, TightVNC 서비스를 추가함으로써 AG의 회의 환경과 TightVNC의 가시적 결과 공유 기능을 제공하는 서비스이다. 기존의 공유 애플리케이션 중 Shared Desktop은 서버의 전체 화면을 공유하는 시스템이었지만, Shared TightVNC는 원하는 프레임만을 공유할 수 있도록 제공하기 때문에 보안적 측면이 향상되었다.

2.2.5 포탈툴킷

포탈 툴킷은 이사이언스 커뮤니티 포탈 구축을 위한 프레임워크 및 제작 지원 기술이다. 특히 그리드의 특성을 적용하여 쉽게 커뮤니티 포탈을 구축하고 하부의 미들웨어의 기능과 연동시킬수 있는 포탈 프레임워크가 제공되고 있다. 또한 커뮤니티 구성원간의 지식공유 및 협력을 위한 Wiki 시스템은 해외의 대부분의 이사이언스 커뮤니티에서 필수적으로 제공 되고 있다.

2.2.6 결함관리

과학기술 인프라의 오류의 자동 감지를 통한 작업의 안정적 실행 보장하기 위해서 제공되어

야 할 항목이다. 애플리케이션의 실행 시 동작에 대한 모니터링을 하고 오류가 발생할 시, 이에 대한 보고를 사용자에게 함으로써 오류에 대해 대처할 수 있게 한다. 미국 NCSA에서 테라그리드 자원 및 작업 관리 모니터링을 하는 Clumon 이 주요 소프트웨어 이다.

2.2.7 작업관리

작업관리란 사용자가 요청하는 작업을 원격의 계산 자원에 작업을 할당하고 감시하며 최종적으로 정상적인 결과를 획득하는 일련의 과정이다. 작업관리를 위한 공통소프트웨어는 이사이언스 환경에서 가장 중요한 요소중에 하나이다. 따라서 해외의 대부분의 그리드 미들웨어는 작업 관리기능을 제공해준다. 특히 Globus Toolkit의 GRAM은 대표적인 작업관리 모듈이라고 할 수 있다.

2.2.8 자원관리

그리드 및 이사이언스 환경에서 자원관리는 상위에서 제공하는 작업관리와 상호보완적인 역할을 한다. 다시말하면 작업관리는 기본적으로 자원관리가 수행되어야 가능한 것이며 자원관리 또한 자원내의 작업관리를 포함하고 있다. 하지만 자원관리는 작업의 수행에 있어서 필요한 자원의 상태에 중점을 두고 관리를 한다. 자원관리자로서 크게 지역자원관리자와 전역자원관리자로 구분할 수 있으며 전역자원관리자는 지역자원관리자의 상위 계층으로 통합된다. 지역자원관리자로 대표적인 소프트웨어가 Portable Batch System (PBS) 이며 회사 의존적인 Sun Grid Engine (SGE), Loadlevler (IBM) 등이 있다.

2.2.9 정보서비스

정보 서비스는 e-Science의 기저가 되는 그리드 컴퓨팅 환경에 속하는 분산된 자원을 애플리케이션이 가상으로 하나의 자원으로 보일 수 있게 필요한 정보를 효율적으로 제공하는 것이어

야 한다. 특정한 조건을 만족하는 자원들에 대한 리스트를 얻을 수 있는 자원 발견(Resource Discovery) 기능을 제공해야 하며, 특정 자원에 대한 자세한 정보를 얻을 수 있는 자원 검색(Resource Lookup) 기능을 제공해야 한다. CPU, 메모리, 네트워크 상태와 같은 정보를 계속해서 모니터링 할 수 있도록 자원 상태 모니터링(Resource Monitoring) 기능도 지원되어야 한다. 그리고 특정 자원의 상태 변화를 효율적으로 전달하거나 다양한 가상 조직을 위해 필요한 자원을 효율적으로 관리하기 위해 계층적인 자원 그룹화 기능도 필요하다. 더욱이 분산화 된 메타데이터 관리를 위해 어떤 한 서버에서 실패(failure)가 발생하더라도 다른 곳으로부터 정보를 얻을 수 있도록 하는 서비스 가용성 정보를 제공해야 한다. 기존 언어를 통해 그리드 정보 서비스를 이용할 수 있는 라이브러리를 제공하거나 상호 인증을 이용한 바인딩을 통해 서비스 사용자도 판별할 수 있어야 한다. 마지막으로 정보 서비스를 사용할 수 있는 권한을 사용자마다 제한할 수 있는 기능도 제공해야 한다. 이러한 정보 서비스를 제공하는 컴포넌트로서, GT4 (Globus Toolkit 4)의 MDS (Monitoring & Discovery System), Ganglia, gLite의 BDII (Berkeley Database Information Index) 등이 있다.

2.2.10 데이터관리

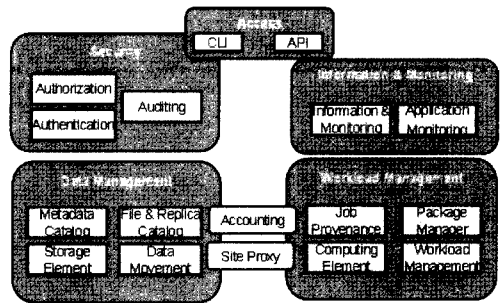
분산되어진 대용량의 데이터를 처리하는 일이 빈번한 과학 분야 e-Science에서는 이러한 분산된 대용량 저장장치에 저장된 데이터들에 대한 관리 및 사용자들의 사용 권한 부여, 복제저장소의 관리, 데이터에 대한 요약정보를 제공하는 메타 데이터가 필요하다. 본 사업에서는 e-Science 환경에서 분산된 데이터를 저장, 관리하는데 널리 사용되는 SRB(Storage Resource Broker)를 도입하였고 메타 데이터 관리를 위해서는 EGEE의 공식 메타 데이터 관리 소프트웨어인

AMGA (Arda Metadata Grid Application)를 개선하였다.

3. 유럽 e-Science 환경 구축 기반 기술

본 장에서는 세계에서 제일 큰 e-Science 인프라라고 할 수 있는 EGEE 인프라의 운영에 활용되고 있고 그리고 고에너지 물리, 생명 정보학 분야등 다양한 응용 e-Science 환경 구축의 기반 소프트웨어 컴포넌트로서 활용되고 있는 EGEE gLite 미들웨어에 대해서 설명한다.

gLite는 EGEE 프로젝트에서 직접 개발한 소프트웨어 컴포넌트라기 보다는 WLCG[6], DataGrid[7], DataTAG[8], Globus[9], Griphyn[10], iVDgL[11] 등 많은 프로젝트들에서 활용된 기술들을 리엔지니어링한 그리드 미들웨어 기술이다.



(그림 6) EGEE gLite 구조도

gLite의 구조도는 (그림 6)과 같다. 그림에서 보는 것처럼 gLite는 사용자 인터페이스 (Access), 보안 (Security), 정보 (Information), 모니터링 (Monitoring), 데이터관리 (Data Management), 워크로드관리 (Workload Management) 서비스로 구성되어 있다.

3.1 EGEE 인프라

서론에서 언급했듯이 EGEE 인프라는 현재 전 세계에 약 240개 이상의 사이트를 가지고

있으며 40,000개의 CPU와 20 PB의 데이터 스토리지를 가지고 있다. 현재 상태는 Grid Operations Centre(GOC) 모니터링 페이지에 연결되어 있는 많은 모니터링 페이지를 통해서 확인할 수 있다. 또한 Google map을 통해 전체 사이트에 대해 간략하게 볼 수 있다. 각각의 사이트들은 어떠한 VO를 어떠한 level로 사용할 수 있는지 정의를 하고 있어 일반적으로 사용자들은 모든 사이트를 접근할 수는 없다.

사이트마다 각각의 컴퓨팅 자원과 스토리지 자원을 가지고 있으며 이들 사이트 간에는 계층적 구조로 되어 있다. 입자 가속기와 검출기가 있는 유럽입자물리공동연구소 (CERN)에 Tier0를 운영하고 있으며 입자 충돌시 검출기에서 검출되는 방대한 양의 데이터를 일차 가공하여 임시 보관하는 역할을 Tier에서 수행한다. 전 세계적으로 11개의 Tier1 데이터 센터가 있으며 Tier0에서 일차 가공된 데이터를 영구 보관하는 역할을 한다. Tier2는 전 세계적으로 약 50개 가량 흩어져 있으며 데이터 분석을 위한 몬테카를로 시뮬레이션 데이터를 생산하고 보관하며 Tier1로 이 데이터가 전송 보관된다. Tier3는 각 대학의 고에너지 물리학과에 해당하며 이곳에서 고에너지 물리 연구자들에 의해서 실제로 데이터가 분석되고 고에너지 물리 연구가 수행된다.

3.2 Security

EGEE 사용자 그룹은 Virtual Organization들로 구성되며 사용자는 WLCG/EGEE 사용규칙과 참여하고자 하는 VO에서 요구하는 규칙들에 동의해야 하며 그리고 Registration Service에 사용자 자신의 데이터를 등록해야 한다.

Grid Security Infrastructure (GSI)에 의해 개방된 네트워크 환경에서 secure authentication과 통신이 이루어진다. GSI는 public key encryption, X.509 certificates,와 single sign-on과 delegation을 포함한 Secure Sockets Layer

(SSL) communication protocol을 기반으로 하고 있다.

그리드 자원을 사용하기 위해서는 EGEE에서 인증하는 Certification Authority(CA)에서 발급한 digital X.509 certification이 필요하다. 일반적으로 그리드 자원들은 certification을 이용하여 사용자나 다른 서비스들에게 그리드 자원을 authentication할 수 있도록 되어있다.

특정한 그리드 자원 안에서 사용자에 대한 authorization은 두 가지 방법으로 할 수 있다. 첫 번째 방법은 Globus Toolkit(GT)에서 사용하는 grid-mapfile을 이용한 로컬 어카운트 매핑 기법이 있다. 매핑에는 사용자의 DN과 로컬 어카운트가 사용된다. 두 번째 방법은 Virtual Organization Membership Service(VOMS)와 LCAS/LCMAPS 메커니즘을 활용하여 VO 및 VO내의 역할에 따라 로컬 어카운트를 매핑하는 방법이 있으며 현재 대부분 이 방법이 사용되고 있다.

인증과정에서 사용되는 proxy는 대부분 일정한 lifetime을 가지며 사용자 인증서의 경우 12시간 정도로 제한되고 있다. 그리고 인증서의 보관 및 서비스를 위해 MyProxy 서버를 활용하고 있다.

3.3 User Interface

사용자가 EGEE 그리드를 사용하는 첫 관문은 User Interface(UI)이다. UI는 사용자의 개인 어카운트를 가지고 있고 사용자 certificate가 설치된 어떠한 컴퓨터에서도 동작을 할 수 있다. 사용자에 대한 authentication 및 authorization은 UI에서 이루어지며 Information, Workload 그리고 Data management system에서 제공하는 여러 서비스들에 접근할 수 있으며 그리드를 이용한 어플리케이션을 만들 수 있도록 WLCG/EGEE API들을 제공하고 있다.

3.4 Storage Element

Storage Element(SE)는 데이터 스토리지 자원을 공통된 방식으로 접근하는 방식을 제공한다. Storage Element는 간단한 디스크 서버들, 큰 디스크 array 또는 tape에 기반을 둔 Mass Storage Systems(MSS)를 컨트롤 할 수 있다.

Storage Resource Manager(SRM)을 통해 대부분의 저장자원들에 대한 관리가 이루어지며 다른 SE들은 다른 버전들의 SRM 프로토콜을 지원하거나 또한 서로 다른 SRM 성능을 가지고 있다. SRM에는 디스크 저장소만을 다루는 Disk Pool Manager (DPM), 디스크와 테이프 저장소를 함께 다루기 위한 CASTOR, MSS와 대규모 디스크 어레이를 모두 다루기 위한 dCache 등이 있으며 현재도 다양한 SRM에 대한 개발과 진화가 이루어지고 있다. SRM 인터페이스를 가지고 있지 않은 Classic SE들은 간단한 disk-based 저장소 모델을 제공하고 있다. WLCG/EGEE에서 사용되고 있는 가장 보편적인 SE들은 <표 2>와 같다.

<표 2> WLCG/EGEE의 보편적인 SE 비교

Type	Resource	File transfer	File I/O	SRM
Classic SE	Disk server	GSIFTP	insecure RFIO	No
DPM	Disk pool	GSIFTP	secure RFIO	Yes
dCache	Disk pool /MSS	GSIFTP	gsidcap	Yes
CASTOR	MSS	GSIFTP	insecure RFIO	Yes

3.5 Computing Element

Computing Element(CE)는 하나의 사이트 내에 있는 계산 자원들을 묶어서 표현하기 위해 사용된다. CE는 용어로 GT의 Gatekeeper와 같은 Grid Gate(GG)를 가지고 있는데 GG는 클러스터에게 공통된 인터페이스 역할을 한다. 클러스터란 Local Resource Management System (LRMS) (batch system이라고도 불린다) 그리고 Work Nodes(WN)들의 집합인 클러스터 등이다.

gLite3에는 EDG에서 개발하고 LCG-2에서 사용되고 있는 LCG-CE와 EGEE에서 개발한 gLite-CE 등이 사용된다. 사이트들은 참여하는 프로젝트에 따라 GG를 선택하며 각 GG는 작업 제출을 받아 실행을 위한 준비 작업을 해준다. 현재 제공되는 LRMS에는 OpenPBS/PBS, LSF, Maui/Torque, BQS와 Condor등이 있으며 Sun GridEngine을 지원하기 위한 작업이 진행되고 있다.

다음은 하나의 LRMS내의 특정 queue에 CE를 매핑하는 문법을 표현한 것이며 같은 클러스터 내의 서로 다른 queue들은 서로 다른 CE로 간주된다.

```
CEId = <gg_hostname>:<port>/<gg_type>-<LRMS_type>-<batch_queue_name>
```

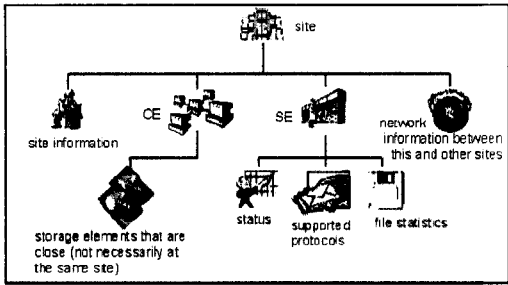
3.6 Information Service

Information Service(IS)는 자원들과 이 자원들의 상태 정보를 제공하며 GLUE Schema를 따르고 있다.

현재 gLite3에는 자원의 검색 및 상태 제공을 위해 사용되는 Monitoring and Discovery Service (MDS)와 과금, 모니터링, 사용자 정보 등을 제공하는데 사용되는 Relational Grid Monitoring Architecture(R-GMA)가 포함되어 있다.

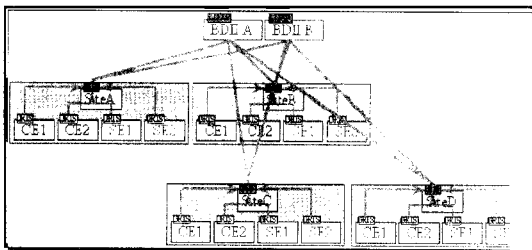
3.6.1 MDS

MDS는 OpenLDAP을 바탕으로 GLUE 스키마를 구현한 것으로 각 항목은 Entry(사람, 컴퓨터, 서버 등)와 하나 또는 그 이상의 Attribute들로 구성된다. 각 entry는 유일한 식별자인 Distinguished Name(DN)을 가지고 있으며 각각의 attribute는 type과 하나 이상의 value를 가지고 있다.



(그림 7) Directory Information Tree (DIT)

DN은 attribute/value의 짝으로 이루어져 있으며 DN의 entires들 기반으로 Directory Information Tree(DIT)라고 불리는 계층적인 트리 모양의 구조를 만들 수 있다. DIT 구조는 (그림 7)과 같다.



(그림 8) WLCG/EGEE의 MDS 정보 서비스

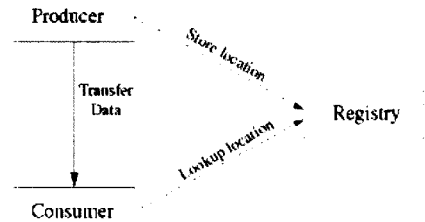
(그림 8)은 EGEE에 있는 MDS의 아키텍처를 나타내고 있다. 하나의 사이트에 있는 자원들은 Grid Resource Information Server (GRIS)라고 불리는 LDAP를 통해 공개된다. Grid Index Information Server (GIIS)라고 불리는 각 사이트에 있는 다른 LDAP서버는 local GRIS로부터 정보를 얻어 정보를 공개한다.

EGEE는 원래의 Globus GIIS보다 안정적인 Berkeley Database Information Index(BDII)를 이용한다. BDII는 계층구조 중 최상위층에서 사용된다. 이 레벨에 있는 BDII들은 전체적인 그리

드 자원들을 효과적으로 볼 수 있도록 정의된 지정된 사이트로부터 데이터를 읽어 들인다. 모든 사이트에 있는 GIIS들에 질의를 하며 그리드 상태에 대한 정보를 자신의 데이터베이스에 저장해서 자신들이 보고 있는 그리드 사이트들에 대해 알려진 모든 정보를 가지고 있으며 GIIS들이나 GRIS들과 직접적인 교신을 통해 특정한 자원에 대한 정보를 항상 얻을 수 있다.

3.6.2 R-GMA

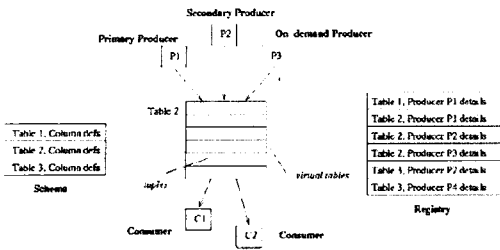
R-GMA는 Open Grid Frum(OGF)에서 제안한 Grid Monitoring Architecture(GMA)를 구현했다. 이 모델은 관계형 데이터베이스보다 향상된 query operation을 지원한다. 또한 R-GMA에서는 보다 적절한 사용자 정보를 만들기 위해 스키마를 변경을 보다 쉽게 할 수 있다.



(그림 9) R-GMA 아키텍처

R-GMA는 세 개의 중요한 컴포넌트로 되어 있다. (그림 9 참조)

- Producer: 정보를 제공하고 자신들을 Registry에 등록을 하며 자신들이 제공하는 정보에 대한 type이나 structure를 설명한다.
- Consumer: 정보를 요청하고 Registry를 통해 Producer를 찾아 데이터를 요청할 수 있다.
- Registry: Producer와 Consumer 사이에서 대화를 중재한다.



(그림 10) R-GMA의 가상 테이블

사용자 입장에서 보면 커다란 관계형 데이터베이스처럼 보이며 query도 일부분 SQL을 사용한다.

3.7 Data Management

gLite에서는 사용자가 사용하는 파일에 대해 논리적인 파일 이름을 제공함으로써 사용자로부터 파일의 저장소에 관한 고민을 할 필요가 없도록 하고 있다. 이 때 사용되는 서비스는 LCG File Catalogue (LFC)이며 각 파일들은 Grid Unique Identifier(GUID), Logical File Name(LFN), Storage URL(SURL) 과 Transport URL(TURL)등을 통해 다른 이름들로 불릴 수 있다.

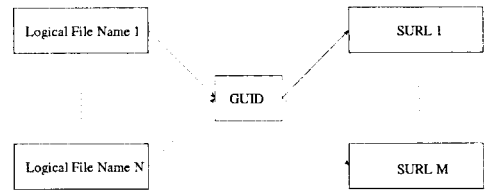
하나의 파일은 GUID에 의해 분명하게 규정될 수 있다. GUID는 파일이 처음 그리드에 등록될 때 주어지며 이것은 단일성을 보장하기 위해 UUID 표준을 기반으로 하고 있다. UUID는 MAC 주소와 타임 스탬프를 복합적으로 사용하여 모든 UUID가 하나만 존재하도록 한다.

하나의 그리드 파일은 Unix 파일 시스템에서 하나의 파일이 여러개의 링크를 가질 수 있는 것과 같이 많은 LFN을 가질 수 있다. SURL은 파일 복사본의 물리적인 위치에 대한 정보를 제공한다. 현재 SURL은 (그림 11)과 같이 구성되어 있다.

sfn:<SE hostname>/<path>

or

srm:<SE hostname>/<path>



(그림 11) Logical 파일이름과 GUID

TURL은 물리적 복사본을 쓰거나 또는 얻을 수 있도록 필요한 정보를 제공한다. 어플리케이션에서 복사본을 열거나 카피할 수 있도록 hostname, path, protocol 그리고 port등을 제공한다. TURL의 포맷은 <protocol>://<SE hostname>:<port>/<path>로 이루어져 있다. 위의 그림은 하나의 파일에 대한 다른 이름들의 관계를 보여주고 있다. LFN과 GUID 그리고 SURL들 간의 mapping은 File Catalogue라고 불리는 서비스에 저장되어 있다. 파일 자체는 Storage Element에 저장되어 있다.

3.8 Workload Management

Workload Management System(WMS)의 목적은 사용자의 작업들을 받아 가장 적당한 CE에 분배하고 이 작업들의 상태정보를 기록하며 작업의 결과 값을 가져오는 일을 한다. RB는 WMS 서비스들이 실행되고 있는 기계를 말한다.

Job Description Language(JDL)을 사용하여 작업에 대한 정보가 기술되며 어떠한 작업이 어떠한 파라미터를 이용하여 실행되어야 하는지, 어떠한 파일들이 작업이 실행되고 있는 Worker Node에 전달되어야하고 어떤 파일을 Worker Node에서 가져와야하는지, 어떠한 그리드 파일들이 필요한지 그리고 CE와 Worker Node에서 어떠한 요구사항들이 있는지에 대한 설명들이

포함된다.

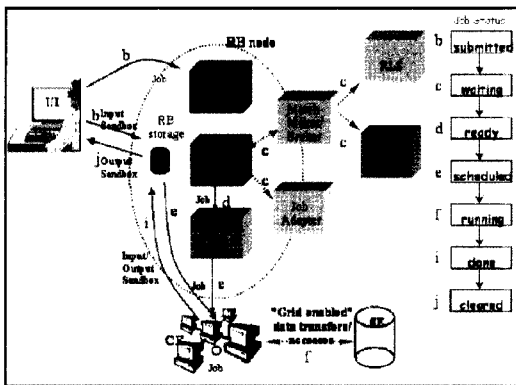
match-making 과정을 통해 사용할 CE를 선택하는데 사용가능한 모든 CE들 중 사용자의 요구사항을 만족하고 그리드 파일들에서 지정한 것과 가장 가까운 CE를 선택한다.

RB는 Data Location Interface(DLI)라는 서비스를 이용하여 작성한 작업의 설명에 정의되어 있는 그리드 input 파일을 찾는다. DLI는 파일 카탈로그에 대한 일반적인 인터페이스를 제공한다. 이러한 방법으로 Resource Broker는 LFC를 통하지 않고 파일 카탈로그와 정보를 교환할 수 있다.

EGEE에서 가장 최근에 만들어진 WMS는 하나의 작업을 제출할 수 있을 뿐만 아니라 여러 개의 작업들을 동시에 제출할 수 있도록 되어 있다. 이 서비스는 기존의 LCG2 WMS보다 많이 효율적이며 더 많이 사용되고 있다.

Logging and Bookkeeping service(LB)는 WMS에서 관리되고 있는 작업들에 대해 추적하는 일을 하고 있다. LB는 많은 WMS 컴포넌트들로부터 이벤트를 모으는 일을 하고 있으며 작업에 대한 상태와 history를 저장한다.

3.9 Job Submission



(그림 12) WLCG/EGEE에서의 작업 플로우

(그림 12)는 하나의 작업이 그리드에 제출되었을 때 gLite의 각 서비스간의 상호작용

(interaction)과 이들간의 데이터플로우에 대해서 잘 설명하고 있다.

- a. 사용자는 CA로부터 서명을 받은 후 VO 등록, UI로부터의 계정 취득을 통해 사용 권한을 획득한다.
- b. RB에 작업을 제출하며 이 과정에서 LB가 각종 이벤트에 대한 기록을 담당하고 작업의 상태는 SUBMITTED로 바뀐다.
- c. WMS가 가장 적합한 CE를 찾는다. BDII를 통해 수집된 상태정보를 활용하며 File Catalogue를 통해 입력 파일을 찾는다. 작업의 상태는 WAITING으로 바뀐다.
- d. RB는 선택된 CE에 작업을 파라미터와 함께 제출하며 작업 상태는 READY로 바뀐다.
- e. CE는 LRMS에 작업을 보내고 작업의 상태는 SCHEDULED로 변한다.
- f. LRMS가 지속적으로 WN에서 실행되는 작업들을 관리하며 작업 상태는 RUNNING으로 변한다.
- g. 작업이 실행되는 동안 RFIO나 gsidcap protocol을 이용하거나 Data Management Tool을 이용하여 파일들을 WN에 있는 local file system에 복사를 한 후에 SE로부터 직접적인 접근이 가능하다.
- h. 작업에 의해 새로운 파일이 생성될 경우 SE에 복사되고 LFC에 등록되어 다른 사용자들에게 사용할 수 있도록 할 수 있다.
- i. 성공적으로 수행되었다면 결과 파일은 RB로 전달되며 작업의 상태는 DONE으로 바뀐다.
- j. 이 시점에서 사용자는 자신의 작업에 대한 결과 값을 UI에서 확인할 수 있으며 작업의 상태는 CLEARED로 변한다.
- k. 작업의 상태에 관한 사항은 UI로부터 LB에게 제공된다. 또한 UI이로부터 자원들의 상태정보를 위해 BDII에게 문의할 수 있다.
- l. 만약에 작업을 보낸 사이트에서 작업을 받아들일 수 없거나 실행을 할 수 없으면 사용자가

정의한 요구사항을 만족하는 다른 CE에게 자동적으로 다시 전달될 것이다. 작업을 다시 제출할 수 있는 지정된 횟수를 넘으면 작업은 aborted라고 표시된다. 사용자는 LB 서비스를 통해 작업의 history에 대한 정보를 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서 최근 한국과 유럽의 다양한 분야의 e-Science 환경 구축에 사용되는 기반 기술에 대해서 기술하였다. e-Science 기반기술로서 한국에서는 자체기술 2종을 포함하여 총 10종의 e-Science 공통 소프트웨어가 개발되었고 KISTI e-Science 기술지원센터를 통해서 국내 e-Science 커뮤니티에 기술 보급 중에 있다. 유럽의 경우는 범 유럽 e-Science 프로젝트인 EGEE를 통해 gLite 미들웨어가 개발되었고 세계 최대의 e-Science 인프라 중의 하나인 EGEE 인프라 구축 및 운영에 활용되고 있다. 유럽의 EGEE는 매 2년마다 3천5백유로 이상의 예산이 투입되는 프로젝트로서 예산 규모면에서 한국 e-Science 프로젝트의 10배가 넘는다. 성공적인 e-Science 환경 구축을 구축하기 위해선 우선 (1) 컴퓨팅과 데이터와 같은 물리적 인프라가 있어야 하고 그리고 이 물리적 인프라를 연동시키는 (2) 소프트웨어 인프라 즉 미들웨어가 개발되어야 하고 그리고 마지막으로 (3) 이 인프라를 꽃피우는 e-Science 응용의 개발이라는 선순환 구조가 되어야 한다. EGEE는 이미 이런 선순환 구조를 잘 갖추고 있다. 따라서 향후 한국 e-Science 기반 기술을 개발함에 있어서 EGEE와 협력을 통해서 EGEE 인프라를 e-Science 기반기술 개발에 있어서 활용하여야 한다. 그리고 우리 독자적인 기술 개발도 의미 있는 일이지만 EGEE 기반기술을 도입하여 우리의 e-Science 환경 구축에 활용하고 개선해 나가야 한다.

참고문헌

- [1] J.M. Taylor, see <http://www.e-science.clrc.ac.uk>
- [2] 국가 e-Science 구축사업 보고서, 한국과학기술정보연구원, 2008
- [3] EGEE 프로젝트 웹사이트, <http://www.eu-egee.org/>
- [4] gLite 웹사이트 <http://glite.web.cern.ch/glite/>
- [5] KIISTI 공통S/W 사이트 <http://service.escience.or.kr>
- [6] Worldwide LHC Computing Grid(WLCG), <http://cern.ch/LCG>
- [7] The DataGrid Project, <http://www.edg.org>
- [8] DataTAG, <http://cern.ch/datatag>
- [9] The Globus Alliance, <http://www.globus.org>
- [10] GriPhyN, <http://www.griphyn.org>
- [11] iVDGL, <http://www.ivdgl.org>
- [12] Open Science Grid(OSG), <http://www.opensciencegrid.org>
- [13] The Virtual Data Toolkit, <http://vdt.cs.wisc.edu>
- [14] NorduGrid, <http://www.nordugrid.org>

저자약력



황순욱

1990년 서울대학교 수학과 졸업(학사)
 1995년 서울대학교 계산통계학과 졸업(석사)
 2003년 미국 남가주대학교 전산과학과 졸업(박사)
 2003년~2006년 일본 국립정보학연구소 연구원
 2006년~현재 한국과학기술정보연구원 선임연구원
 관심분야 : 그리드 컴퓨팅, 워크플로우 시스템 등
 이 메 일 : hwang@kisti.re.kr



김범군

1999년~2001년 (주)건지소프트
 2005년 전북대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
 2005년~2007년 전북대학교 박사후과정
 2007년~현재 한국과학기술정보연구원 선임연구원
 관심분야 : 분산 및 병렬처리, Grid, 협업 연구 미들웨어
 이 메 일 : kyun@kisti.re.kr



남덕운

1999년 포항공과대학교 컴퓨터공학과 학사
 2001년 한국정보통신대학교 공학부 석사
 2006년 한국정보통신대학교 공학부 박사
 2004년 7월~현재 한국과학기술정보연구원 연구원
 관심분야 : 분산컴퓨팅, 미들웨어, 그리드컴퓨팅
 이 메 일 : dknam@kisti.re.kr



염연영

1984년 서울대학교 계산통계학과 학사
 1986년 Texas A&M Univ. 전산학 석사
 1992년 Texas A&M Univ. 전산학 박사
 1993년 9월~현재 서울대학교 컴퓨터공학부 교수
 관심분야 : 분산컴퓨팅, 시스템 소프트웨어
 이 메 일 : yeom@snu.ac.kr