

# Grid 기반의 원격 기기 제어

염 현 영

## ◆ 목 차 ◆

- |                       |                   |
|-----------------------|-------------------|
| 1. 서 론                | 4. 분산공유형 건설연구 인프라 |
| 2. Grid 및 Web Service | 5. 결 론            |
| 3. 전자현미경 제어 시스템       |                   |

## 1. 서 론

최근 대형 실험 장비를 이용하는 공학 분야에서는 매우 큰 컴퓨팅 자원, 고성능 시각화 장치 그리고 인터넷을 통한 대형 공동 연구를 요구해왔다. 이러한 새로운 과학 및 공학 연구 기법이 요구하는 인프라를 구축하는 것은 그리드 컴퓨팅이 풀어내고자 하는 문제와 동일하다. 따라서 계산 그리드, 데이터 그리드, 시각화 그리드 그리고 원격 조정 그리드 서비스와 같은 표준화된 서비스를 통하여 대형 실험 장비의 효율성을 극대화하여 효율성을 제고하고, 과거 실험 및 공동 실험을 통해 연구의 질적 향상을 도모할 수 있다.

특히, 원격 조정 그리드 서비스는 이러한 대형 실험 장비를 이용하는 연구자나 공학자들을 위한 포털 서비스 및 가상 실험실 환경의 핵심 컴포넌트이다. 따라서 이 논문은 국/내외의 대형 장치를 원격 조정 그리드 서비스를 사용하여 가상 실험을 수행하고 있는 현황에 대해 기술하고자 한다.

본 논문은 먼저 그리드와 그리드의 기반이 되고 있는 웹 서비스에 대해 2장에서 설명하고, 3장에서는 한국 기초 과학 지원 연구원의 초고전압 투과 전자 현미경 제어 그리고 4장에서는 원격에서 건설 장비 실험을 할 수 있는 분산공유형 건설연구 인프라의 현황에 대해 기술할 것이다. 그리고 5장에서는 이 논문을 마무리 지을 것이다.

## 2. Grid 및 Web Service

그리드 구조는 분산되어 있는 계산 자원, 대용량 저장 장치, 대규모 실험 장비와 같은 자원들을 초고속 네트워크로 연결하여 공유 이용할 수 있는 시스템 구조를 뜻한다. 이는 과거의 텍스트 정보 공유뿐만 아니라 계산 자원, 저장 장치 및 대규모 데이터, 고가의 실험 장비들을 인터넷으로 공유하는 것을 뜻한다. 많은 기관에서 자체 소프트웨어나 외부 소프트웨어를 사용하여 공유를 위한 소프트웨어 프레임워크를 구축했으며, 이런 소프트웨어 프레임워크를 표준화하기 위해 Web Service로 그리드 구조를 기술했다.

Web Service는 CORBA와 Java RMI의 출현 이후 가장 중요한 미들웨어 기술로서 자리를 잡아가고 있다. Web Service는 Web Service Standards를 이용하여 인터넷을 통한 응용 프로그램의 개발과 배포의 기반을 제공하고 있다. Web Service 프로토콜과 메시지는 XML을 이용하여 구성되며, 대부분의 프로그래밍 언어로 작성된 응용프로그램들이 프레임워크가 제공하는 상호 운용성(interoperability)을 활용할 수 있도록 하고 있다. 응용프로그램 개발자들은 Web Service를 통하여 각기 다른 플랫폼 상에서 개발된 프로그램들 간의 통신이 가능하도록 할 수 있다. Microsoft의 .NET과 Sun Java의 J2EE는 이런 종류의 Web Service를 개발하는데 가장 널리 이용되는 플랫폼이며, Web Service를 개발하고 배포하기 위한 여러 가지 유용한 도구들을 제공하고 있다.

\* 서울대학교 컴퓨터공학부 교수

Web Service의 요소 중 그리드에서 특히 중요한 SOAP, WSDL, WS - Inspection에 대해서 간략히 설명하면 다음과 같다.

- SOAP은 서비스 제공자와 서비스 요청자 사이의 메시지 규약을 정의한다. SOAP은 원격 프로시저 호출과 메시지 규약을 간단하게 XML로 표현하는 방법을 제공한다. 그리고, SOAP 메시지는 HTTP, FTP, JMS와 같은 전송 규약과 상관없이 전달될 수 있다. 즉, SOAP은 하부의 전송 규약과는 독립적이다.
- Web Service Description Language (WSDL)은 메시지 구조와 메시지 교환 방법을 기술하여 서비스 제공자가 제공하고자 하는 서비스를 정의하는 XML 문서이다.
- WS - Inspection은 서비스 제공자가 제공하는 서비스 기술 문서들을 찾기 위한 XML 문법과 관련된 규칙들로 구성되어 있다. WS - Inspection 문서에는 일련의 서비스 표현들과 논리적으로 다른 위치의 서비스 표현을 위한 연결 정보들을 포함한다.

Web Service의 이런 유연함(flexibility)은 여러 가지 종류의 장비들을 통합하여 제어하려는 경우 매우 중요하게 된다. 일례로 전자현미경과 같은 장비를 제어하려면 여러 가지 장치를 조작할 수 있어야 한다. 시편의 축을 변경시키기 위한 고니오미터, 화상을 촬영하기 위한 고해상도와 저해상도 CCD카메라, 컨트롤 박스 등이 여기에 포함된다. 이런 장치들을 제어하기 위하여 여러 가지 언어들로 장치 드라이버와 API가 제공되고 있다. 하지만 이들을 분석하여 소프트웨어 보편성(software generality)을 찾아내고 다용도의 고수준 추상화(general - purpose high - level abstraction)를 개발해낼 수 있다면, 원격제어를 위한 인터페이스를 맞추기 위해 장치 드라이버와 API만 수정하면 될 것이다. 또한 이것은 다계층 소프트웨어 아키텍처로의 개발도 용이하게 하고 있다.

### 3. 전자현미경 제어 시스템

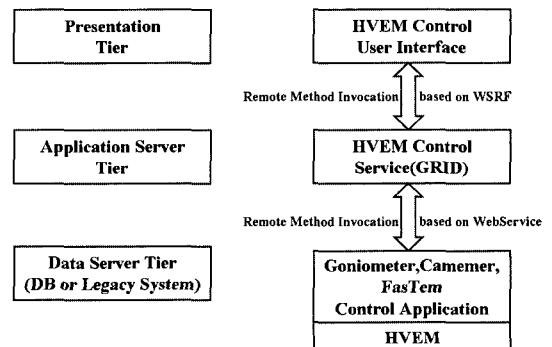
이 장에서는 한국 기초 과학 지원 연구원(Korea Basic Science Institute: KBSI)의 초고전압 투과전자현미경(High Voltage Electron Microscopy: HVEM)을 원격

에서 제어할 수 있는 응용 프로그램의 구현에 대해서 설명한다. 현미경의 제어하기 위해서는 여러 가지 장치에 대한 제어가 필요하다. 표본을 기울일 때에는 고니오미터(Goniometer)가 해당 표본의 축을 중심으로 정사각을 변화시키고, 패스템(FasTEM)을 통하여 전압과 포커스 등을 조절해주게 된다. 현미경 내부에 있는 표본의 실제 이미지는 CCD카메라를 통해서 볼 수 있다. 따라서 현미경 사용자들은 이러한 현미경의 구성요소들을 이용하여, 현미경을 정밀하게 제어하고, 표본의 위치를 바꾸어가면서 실제 이미지를 촬영할 수 있고, 촬영된 고해상도의 이미지를 계산하고, 저장 장원을 통해서 조작 및 저장을 할 수 있다.

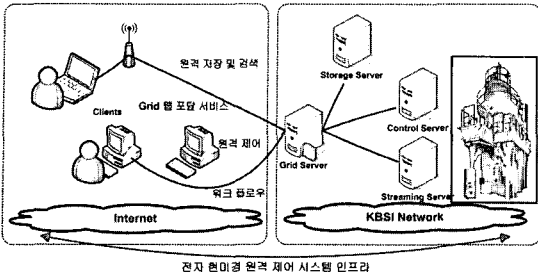
### 3.1 시스템 구조

초고전압 투과전자현미경 제어 시스템(HVEM Control System)은 Grid와 Web Service구조를 사용한 3계층 구조 시스템의 특성을 가진다.

(그림 1)은 전자 현미경 원격 제어 시스템의 구조를 보여준다. 3 계층 구조의 Presentation Tier에 해당하는 것이 전자 현미경 원격 제어 유저 인터페이스 프로그램(HVEM Control User Interface)이다. 그리고 Application Server Tier에 해당하는 것이 Grid 기반의 전자 현미경 원격 제어 서비스(HVEM Control Service)이며, Globus Toolkit 4를 기반으로 동작한다. 따라서 전자 현미경 원격 제어 유저 인터페이스와 전자 현미경 원격 제어 서비스 사이의 모든 통신은 Web Service Resource Framework(WSRF) 기반의 원격 메소드 호출



(그림 1) 전자 현미경 원격 제어 시스템 구조



(그림 2) 전자 현미경 원격 제어 시스템 인프라

(RMI) 방식으로 이루어진다. Data Server Tier에 해당하는 것은 Web Service로 캡슐화되어 있는 Goniometer, FasTEM, Camera Control Application이며, 이 프로그램들은 현미경 제작사가 제공하는 API를 사용하여 전자 현미경의 안정성에 문제가 되지 않은 기능만 제공한다.

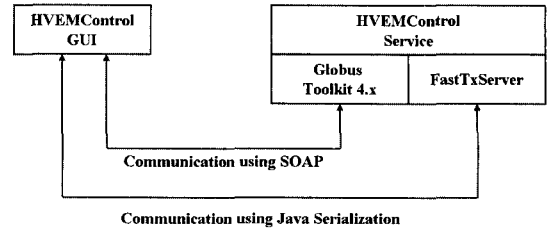
### 3.2 네트워크 구조

전자 현미경 원격 제어 시스템의 구성 요소가 네트워크 상에서 위치하고 있는 모습은 (그림 2)와 같다.

전자 현미경 원격 제어 유저 인터페이스는 인터넷 상에 자유롭게 위치할 수 있으며, 전자 현미경 원격 제어 서비스 및 전자현미경/카메라 제조사가 제공하는 응용 프로그램과 그 응용 프로그램의 API를 사용하여 구현된 Web Service 등은 KBSI 네트워크 상에 위치한다. 전자 현미경 원격 제어 서비스는 (그림 2)의 Grid Server에 동작하여 전자 현미경 원격 제어 유저 인터페이스로부터의 모든 요청을 처리한다. 따라서 전자 현미경 원격 제어 서비스는 전자 현미경 원격 제어 유저 인터페이스와 제어를 위한 개별 Web Service 사이의 전달자 역할을 하게 된다. 이렇게 함으로써, 악의적인 인터넷 사용자가 전자 현미경/카메라 제조사가 제공하는 응용 프로그램 및 API에 직접 접근하는 것을 막을 수 있다.

### 3.3 시스템 성능 개선

원격에서 현미경을 제어하는 경우, 원격 메소드 호



(그림 3) 개선된 시스템 구조

출이 단시간에 많아지게 되면 방화벽이 그것을 서비스 거부 공격(DoS Attack)로 인식하게 된다. 이 경우 제어에 대한 응답 시간이 매우 느려지게 되는데, 여기서는 이것을 해결한 방법에 대해서 설명한다.

(그림 3)은 개선된 시스템 구조를 보여준다. 원격 제어 유저 인터페이스와 원격 제어 그리드 서비스 사이의 통신은 SOAP과 HTTP를 사용하는 방식과 Java Serialization을 사용하는 방식으로 나누어지게 된다. Java Serialization을 사용하는 통신 서버를 FastTxServer라 하고, 이는 Globus Toolkit과 같은 레벨에서 동작하게 된다. FastTxServer는 Globus Toolkit과 달리 SOAP 요청의 결과를 클라이언트에 되돌린 후에 연결을 종료하지 않고, 그 연결을 재사용하여 방화벽이 서비스 거부 공격으로 인식하지 않게 해준다.

## 4. 분산공유형 건설연구 인프라

이 장에서는 원격에서 건설 장비 실험을 할 수 있는 분산공유형 건설연구 인프라(Korea Construction Engineering Development: KOCED)의 구현에 관하여 설명한다. 먼저 KOCEDgrid의 기반이 되고 있는 NEESgrid에 관하여 설명하고, 그것을 확장한 KOCEDgrid에 대해서 설명한다.

### 4.1 NEESgrid

Network for Earthquake Engineering Simulation(NEES) 프로젝트의 목표는 Grid 기술을 활용하여 지진 시뮬레이션 장비와 데이터를 공유하고, 이를 통해 협력적인 연구를 발전시키는데 있다. NEESgrid는 크게 NEESpop,

TPM (TelePresence Mode) 시스템, DAQ 시스템으로 구성되어 있고, 추가로 데이터 저장소 구축을 위한 데이터 모델이 포함된다.

NEESpop은 장치사이트(Equipment site)로의 접근 관문(Gateway) 역할을 하는 시스템으로, 사용자 인증 및 관리, 통합 연구 환경, 데이터 저장 및 전송 등의 기능을 제공하며, Data Turbine, Grid core(Globus), 그리고 협업 응용프로그램(Collaborative Application)의 기반이 되는 CHEF 등으로 구성된다. 또한 비디오, 오디오 그리고 실시간 실험 데이터를 전송하기 위해 Ring Buffered Network Bus(RBNB) Data Turbine이라는 소프트웨어 패키지를 사용한다.

TPM 시스템은 온라인 공동 연구 환경에 대한 GUI (Graphical User Interface)라고 볼 수 있다. 인터넷을 통해 원격 사용자들은 과학 장비 자원에 대한 원격 관측이나 원격명령을 수행할 수 있게 된다. 좀 더 구체적으로 본다면, TPM 시스템은 사용자를 가벼운 World Wide Web (WWW) 클라이언트를 통해 TPM 시스템의 자원들과 연결하는 다양한 인터페이스, 하드웨어 그리고 소프트웨어의 통합물이라고 볼 수 있다. 궁극적으로 TPM 시스템은 각각의 실험 주체를 NEES의 자원과 연결시켜 실제로 실험 사이트에 있지 않으면서도 가상적으로 실험사이트에 존재하는 것처럼 보이도록 하는 NEES 공동 연구 작업 환경을 만드는 것에 목적을 두고 있다.

NEES에서 수행하는 다양한 실험에는 여러 사이트들을 포함하는 실험이 포함되어 있다. 이것은 여러 사이트에서 수행되는 실험들이 장비를 사용한 실험뿐만 아니라 계산 시뮬레이션이나 물리적인 시뮬레이션이 될 수도 있다. 이와 같이 여러 사이트에 걸친 다양한 실험환경 하에서 하나의 목적을 가진 실험을 하기 위해서는 이들을 모두 포함할 수 있는 공통된 프로토콜이 필요하다. 이를 위해 제안된 것이 NTCP(NEESgrid Teleoperations Control Protocol)이다. 실제 실험장비는 공통된 표준으로 제작된 것이 아니기 때문에 이를 위해 실험을 수행하기 전에 파라미터들에 대한 조율이 필요하다. 또한 명령자체가 네트워크를 통해 전달되기 때문에 완벽히 신뢰할 수 있는 네트워크로 연결된 것이 현실적으로 어려우므로 사용자의 요청이 적절한 종료조건을 가지고 있어야 한다. 비슷한 이유로 사용

자의 요청이 중복되어서 들어올 수 있으므로 이에 대한 처리도 필요하다. NTCP는 이와 같은 여러 가지 면들을 고려하고 있다.

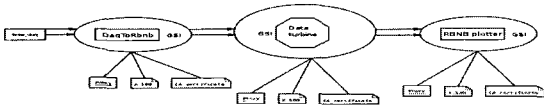
DAQ(Data Acquisition) 시스템은 실험 장비들로부터의 실시간 모니터링이나 실험 결과 데이터 수집을 지원하기 위한 시스템이다. 이러한 시스템의 지원을 바탕으로 사용자는 원격에서 현재 수행중인 실험의 실시간 모니터링 기능과 수행했던 실험의 결과 데이터들을 확인하는 기능을 제공받는다. NEES의 DAQ 시스템은 물리적인 구성과 관련하여 세 부분으로 나눌 수 있는데, 실험 장비와 연결되어 수행되는 실험의 결과를 얻는 장치 영역(data acquisition)과 원격으로 전송된 데이터를 NEESpop으로부터 Service 받는 사용자 영역(data presentation), 그리고 이 둘을 연결시켜주는 데이터 전송 영역(data transmission)으로 구성된다.

## 4.2 KOCEDgrid

앞서 말했듯이 KOCEDgrid는 NEESgrid에 기반을 두고 기능을 확장하려한다. 기본적으로 두 시스템에서 추구하는 목적은 같지만 NEESgrid에서는 여러 곳에 있는 장비들을 하나로 연결해서 공동실험을 하겠다는 것이 제일 중요한 목적으로 제시되는 데 반해서 KOCED에서는 서로 다른 장비들을 연결하는 것으로 원격지에서 실험을 할 수 있는 원격실험이 더 강조된다. 이런 목적을 위하여 NEESgrid에는 보안 및 실시간 실험 데이터 처리등과 관련된 여러 가지 기능이 추가되었다.

DaqToRbnb, Data Turbine 서버와 클라이언트(RBNB plotter)는 GSI(Grid Security Infrastructure) 상에서 동작해야 보안의 허점이 없이 시스템을 운용할 수 있다. 그러나 NEESgrid에서는 (그림 4)와 같이 DaqToRbnb, Data Turbine, RBNB plotter가 GSI 기반으로 구성되어 있지 않다. 따라서 실험 장비로부터의 실시간 실험 데이터를 안전한 통신 채널로 전송해줄 수 있는 방법이 필요하며, 이를 위해 기존 모듈에 GSI 관련 모듈을 추가하였다.

TeleObservation은 사용자가 실험 중에 실험 장비에 설치되어 있는 고성능 카메라로 실험을 관찰하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 NEESgrid



(그림 4) Data Turbine의 보안을 위한 GSI 적용

에서는 TPM을 제공하여 주고 있지만 영상과 음성의 동기화가 제대로 이루지지 않고 있다. 따라서 영상 및 음성 데이터가 제대로 동기화될 수 있도록 데이터가 NEESpop의 Data Turbine 으로 보내져야 했고, 이를 위해 TPM 과 Data Turbine 과의 통신을 위한 인터페이스를 구현하였다. (그림 4)는 실시간 실험 데이터 처리 및 비디오 스트리밍을 위한 전체적인 구성도를 나타내고 있다.

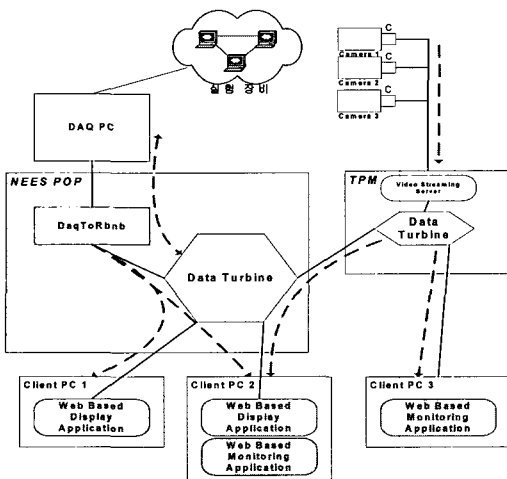
## 5. 결론

본 고에서는 Grid 기반의 원격 기기 제어 시스템에 대하여 설명하였다. Grid 기반의 원격 기기 제어 시스템은 각기 다른 운영 환경과 여러 가지 장치들을 제어할 수 있어야 하고, 이것들은 Web service가 제공하는 상호운용성과 유연성을 통하여 해결할 수 있었다. 초고전압 전자현미경 원격 제어 시스템은 Web service

의 캡슐화를 통하여 보안을 강화하였고, 시스템 성능을 향상시키기 위하여 서비스 레벨에서의 최적화도 적용되었다. 분산공유형 건설연구 인프라는 Grid와 Web service를 통하여 다양한 건설 실험 장비들을 원격에서 실험할 수 있는 환경을 구축할 수 있었고, 또한 NEESgrid와의 연동을 통하여 다른 나라와의 공동 연구도 가능하게 하였다. Grid 기반의 두 가지 원격 기기 제어 시스템을 개발 사례에서 볼 수 있듯이 Grid 는 원격 기기 제어 시스템을 개발하는데 매우 적합한 프레임워크라 할 수 있다. 앞으로 Grid는 원격 기기 제어 및 e-Science분야에서 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

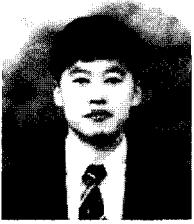
## 참고 문헌

- [1] Globus Alliance "Globus Toolkit 4.0 Release Manuals", <http://www.globus.org/toolkit/docs/4.0>
- [2] NEESit, <http://it.nees.org>
- [3] Sun Microsystems, Java, <http://java.sun.com>
- [4] Microsoft, .NET, <http://www.microsoft.com/net>
- [5] Tuecke S. and Czajkowski K. and Foster I. and Frey J. and Graham S. and Kesselman C. and Maguire T. and Sandholm T. and Snelling D. and Vanderbilt P "Open Grid Services Infrastructure(OGSI) Version 1.0", Global Grid Forum, June 2003
- [6] Foster I, Kesselman C, Nick J and Tuecke S, "The Physiology of the Grid: An Open Grid Services Architecture for Distributed Systems Integration", Globus Project, 2002. <http://www.globus.org/research/papers/ogsa.pdf>



(그림 5) 실시간 실험 데이터 처리 및 비디오 스트리밍을 위한 구성도

◎ 저 자 소 개 ◎



**염 헌 영**

1984년 서울대학교 계산통계학과 졸업 (이학사)  
1986년 Texas A&M University 전산과학 졸업 (공학석사)  
1992년 Texas A&M University 전산과학 졸업 (공학박사)  
1992년 ~ 1993년 삼성데이터시스템 연구원  
1993년 ~ 1998년 서울대학교 컴퓨터공학부 조교수  
1998년 ~ 2004년 서울대학교 컴퓨터공학부 부교수  
2004년 ~ 서울대학교 컴퓨터공학부 교수  
관심분야: 분산시스템, 멀티미디어 시스템, Transaction processing