

# e-Science 환경에서의 전자현미경 활용

글 \_ 권희석 박사 · 한국기초과학지원연구원 전자현미경팀 · hskweon@kbsi.re.kr

## 1. 서론

과학자에게 실험 장비는 연구 수행을 위하여 갖추어야 할 가장 기본적인 것 중 하나이다. 특히 급속도로 발전하고 있는 연구 여건 속에서 장비 없이는 연구를 할 수 없는 상황이 되었고 이는 곧 과학자의 연구 활동의 성패를 좌우할 정도로 중요한 위치를 차지하게 되었다. 그러나 불행히도 이러한 장비들은 학문의 발전 속도와 함께 가격 면에서 급속도로 증가하는 추세이다. 그렇다면 연구자들이 고가의 장비를 저마다 구입하여 사용을 한다고 가정을 하여 보자. 그중에는 한 연구자가 1년에 고작 수회 정도 사용하는 것들도 상당수 있는 것이 사실이다. 이는 국가 자원의 비효율적 활용에 의한 예산 낭비를 초래할 것이다. 그렇다면 어떻게 할 것인가? 여기에 대한 해법이 첨단 고가 장비의 공동 활용이다. 즉, 개별 대학이나 연구 기관이 독자적으로 구입 및 운영하기 어려운 대형 첨단 장비를 특정 기관에 설치 운영하여 국가 연구 역량을 극대화시킨다는 것이다. 이는 고가 장비의 중복 구매를 최소화함은 물론 장비 가동과 관련한 활용도를 높여 줄 수 있다는 장점이 있다. 따라서 이미 국가에서는 위의 목적으로 한국기초과학지원연구원을 설치하고 대덕 본원을 비롯하여 서울, 춘천, 전주, 대구, 광주, 부산센타 및 순천출장소를 두고 지역 특성에 맞는 첨단 장비를 설치하고 국내 연구자들에 대한 전문 연구 지원을 수행하고 있다. 아울러 각 대학에 설치하고 있는 공동기기실 등도

운영하고 있다. 실제로 이 제도는 국내 연구 능력 향상에 큰 공헌을 한 것으로 평가받고 있다.

하지만 연구자들은 여전히 필요로 하는 장비를 찾아 다녀야 하는 번거로움과 이동에 필요한 시간 및 경비 등 유·무형의 손실이 크다. 이를 극복하기 위한 방편으로 이미 선진국에서는 2001년부터 경쟁적으로 예산을 투입하여 e-Science 사업을 추진 중이다. e-Science란 그리드 기술 및 GLORIAD와 같은 초고속 연구망과 웹의 활용을 통하여 원격지 데이터 관측, 수집, 저장 및 관리, 온라인 데이터 분석 및 해석 등을 구현함으로써 연구자, 연구 장비, 정보 등의 실시간 공유를 통한 연구 활동의 시공간적 제한으로부터 탈피하고 이를 통하여 연구에 필요한 모든 자원을 하나로 통합, 동시 활용할 수 있는 차세대 연구 개발 환경을 말한다. 과학기술부는 e-사이언스 환경 구축을 통해 고부가성 물질 발굴 확률이 크게 높아지고 2009년까지 향후 5년간 슈퍼컴퓨터 공동 활용에 의한 경제적 파급 효과가 최소 2조 8,800억원에 달할 것으로 추산하고 있다.

한국기초과학지원연구원에서도 e-Science를 국가 첨단 장비에 적용한다는 계획 하에 2005년도부터 e-Science 환경 구축 사업에 참여하여 첫 단계로 대표적 국가적 대형 연구 시설인 초고전압 투과전자현미경 (high voltage electron microscope, 이하 HVEM)에 연동하여 연구자의 방문 없이도 원격지에서 장비를

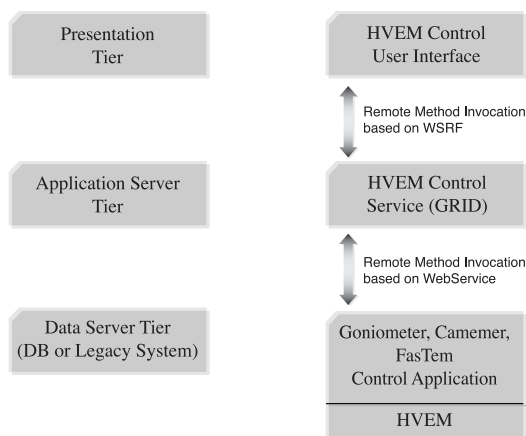


운용할 수 있도록 함은 물론 결과에 대한 분석까지 가능하게 함으로써 이를 전문 연구 지원 및 국제 공동 연구 등에 적극 활용하고자 한다. 이에 본고에서는 “초고전압투과전자현미경을 이용한 e-Science 환경 구축” 사업의 1차년도 성과를 소개하고 향후 활용 방안 등에 대하여 고찰하고자 한다.

## 2. 본 론

### 1. 전자현미경 원격 제어

HVEM을 원격지의 컴퓨터에서 제어하는 것은 전자현미경을 이용하는 인프라에서 중요한 부분을 차지한다. 전자현미경에서 원격 제어의 대상은 표본의 축과 경사각을 변경시켜주는 Goniometer, 전압과 포커스 등을 조절해주는 FasTEM, 그리고 표본의 실시간 이미지를 보여주는 CCD 카메라를 포함한다. 따라서 전자현미경 원격 제어는 현미경의 다양한 조절에 의하여 이미지 품질을 정밀하게 조정하고, 표본의 위치를 바꾸어가면서 표본의 상태를 관찰하고 그 이미지를 촬영할 수 있는 기능을 제공하는 것을 의미한다.



〈그림 1〉 전자현미경 원격 제어 시스템 구조

〈그림 1〉은 전자현미경 원격 제어 시스템의 구조이다. 전자현미경 원격 제어 시스템은 3 계층 구조를 가지고 있다. 3 계층 구조의 Presentation Tier에 해당하는 것이 전자현미경원격 제어 유저 인터페이스 프로그램(HVEM Control User Interface)이다. 그리고 Application Server Tier에 해당하는 것이 Grid 기반의 전자현미경 원격 제어 서비스(HVEM Control Service)이며, Globus Toolkit 4를 기반으로 동작한다. 따라서 전자현미경 원격 제어 유저 인터페이스와 전자현미경 원격 제어 서비스 사이의 모든 통신은 Web Service Resource Framework(WSRF) 기반의 원격 메소드 호출(RMI) 방식으로 이루어진다.

Data Server Tier에 해당하는 것은 Web Service로 캡슐화 되어 있는 Goniometer, FasTEM, Camera Control Application이며, 이 프로그램들은 현미경 제작사가 제공해주는 API를 사용하여 전자현미경의 안정성에 문제가 없는 기능만 제공한다.

#### 1) Goniometer 및 FasTEM 제어 시퀀스

Goniometer와 FasTEM 제어는 전자현미경 원격 제어 유저 인터페이스로부터의 제어 요청은 다음과 같은 시퀀스를 가지게 된다.

전자현미경 원격 제어 유저 인터페이스(HVEM Control GUI)는 해당 제어 요청을 WSRF 기반의 RMI 방식으로 전자현미경 제어 서비스(HVEM Control Grid Service)에 보낸다. 제어 요청을 받은 전자현미경 제어 서비스는 해당 요청을 분석하여 처리할 수 있는 Web Service로 Web Service 통신 방식으로 전달하며, 해당 Web Service는 전자현미경 제조사가 제공한 함수를 호출하고 그 결과를 되돌려준다.

전자현미경 원격 제어 시스템은 3 계층 구조를 가지고 있다.

□ 3 계층 구조의 Presentation Tier에 해당하는 것이 전자현미경 원격 제어 유저 인터페이스 프로그램이다.

□ 그리고 Application Server Tier에 해당하는 것이 Grid 기반의

전자현미경 원격 제어 서비스이며, Globus Toolkit 4를 기반으로 동작한다.

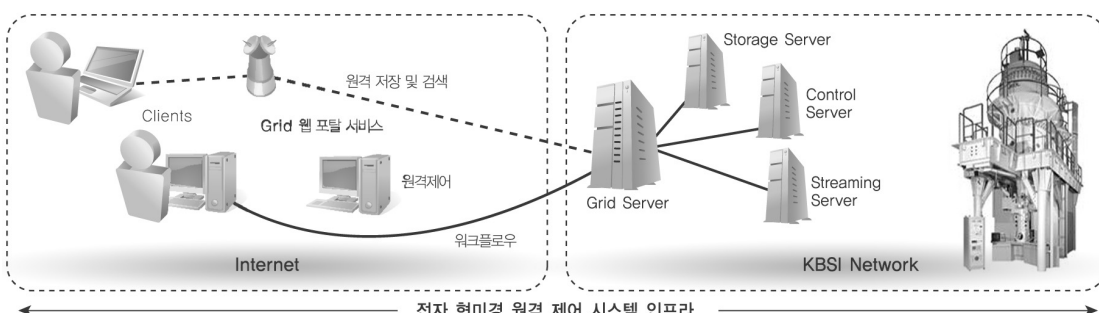
## 2) 카메라 제어 시퀀스

카메라 제어는 시편의 상태를 실시간으로 전송해주는 스트리밍 서비스와 시편의 현재 상태를 촬영해주는 서비스로 구분된다.

실시간 스트리밍 서비스(Real-Time Streaming Service)는 Java Media Framework(JMF)를 사용하여, 카메라 제조사가 제공하는 응용 프로그램이 생성하는 비디오 소스로부터 이미지를 얻는다. 실시간 스트리밍 서비스는 이미지를 얻은 후에 메시지를 멀티캐스트해주는 RBNB 응용 프로그램에 이미지를 전송하고, RBNB는 전달받는 이미지 데이터를 전자현미경 원격 제어 유저 인터페이스로 전송한다. 마지막으로 전자현미경 원격 제어 유저 인터페이스는 이미지를 사용자에게 보여준다.

전자현미경 원격 제어 유저 인터페이스에서 시편의 현재 상태를 촬영하라는 요청을 전자현미경 원격 제어 서비스로 요청하면, 원격 제어 서비스는 카메라 웹 서비스(Camera Web Service)로 그 요청을 전송한다. 카메라 웹 서비스는 카메라 제조사가 제공하는 카메라 응용 프로그램(Digital Micrograph)에 해당 요청을 전송한다.

## 3) 전자현미경 원격 제어 시스템의 네트워크 구조



전자 현미경 원격 제어 시스템 인프라  
(그림 2) 전자현미경 원격 제어 시스템 구성도

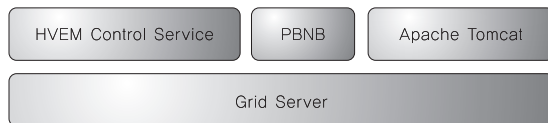
전자현미경 원격 제어 시스템의 구성 요소가 네트워크 상에서 위치하고 있는 모습은 <그림 2>와 같다. 전자현미경 원격 제어 유저 인터페이스는 장소에 구애받지 않고 인터넷 상에 자유롭게 위치할 수 있으며, 전자현미경 원격 제어 서비스 및 전자현미경/카메라 제조사가 제공하는 응용 프로그램과 그 응용 프로그램의 API를 사용하여 구현된 Web Service 등은 KBSI 네트워크 상에 위치한다. 전자현미경 원격 제어 서비스는 <그림 2>의 Grid Server에 동작하여 전자현미경 원격 제어 유저 인터페이스로부터의 모든 요청을 처리한다. 따라서 전자현미경 원격 제어 서비스는 전자현미경 원격 제어 유저 인터페이스와 제어를 위한 개별 Web Service 사이의 전달자 역할을 하게 된다. 이렇게 함으로써, 악의적인 인터넷 사용자가 전자현미경/카메라 제조사가 제공하는 응용 프로그램 및 API에 직접 접근하는 것을 막을 수 있다.

## 4) 전자현미경 원격 제어 서비스 구조

전자현미경 원격 제어 서비스가 구동되는 Grid Server에는 Globus Toolkit 4를 기반으로 하는 전자현미경 원격 제어 서비스와 시편의 상태를 스트리밍하는 RBNB 그리고 촬영된 사진 이미지를 다운로드하는 Apache Tomcat 등이 구동된다. Globus Toolkit 4를 기반으로 하는 전자현미경 원격 제어 서비스는 전자현미경 및 카메라 제조사가 제공하는



API를 사용하여 구동되는 개별 제어 웹 서비스를 호출하는 Plugin과 유저 인터페이스로부터의 요청을 받아서 Plugin으로 넘겨주는 HVEM Grid Service 그리고 전자현미경의 상태를 주기적으로 폴링하여 전자현미경 원격 제어 시스템을 동기해주는 HVEM Status Poller & Manager 부분으로 나누어져 있다.



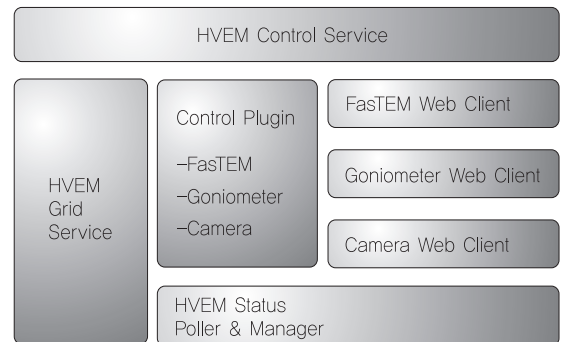
〈그림 3〉 Grid Server에 구동되는 소프트웨어 컴포넌트

(1) 전자현미경 그리드 서비스(HVEM Grid Service)

전자현미경 그리드 서비스는 WSRF 기반의 그리드 서비스이다. 전자현미경 그리드 서비스를 정의하기 위해 웹 서비스 기술 언어(Web Service Description Language : WSDL)를 사용하였다. 전자현미경 그리드 서비스의 WSDL로 작성된 문서에는 Type, Message와 PortType을 각각 정의되어 있다. Type에는 시편의 축 및 각, FasTEM 제어를 위한 element 들이 정의되고, Message는 메소드의 Input Parameter와 Output Parameter를 정의하며, PortType에는 전자현미경 원격 제어 유저 인터페이스가 호출할 수 있도록 메소드를 정의하였다.

(2) 제어 플러그인(Control Plugin)

제어 플러그인은 원격 제어 그리드 서비스가 받은 요청을 개별 제어 웹 서비스로 요청을 전달하는 것을 담당한다. 〈그림 4〉는 제어 플러그인의 구조를 보여준다. 제어 플러그인은 요청의 종류에 따라서 해당 제어 웹 서비스를 호출하기 위한 Web Client를 사용하여 요청을 전달한다. 해당 Web Client는 전달받은 요청을 제어 웹 서비스로 전달한다. 예를 들어, 시편의 X축을 이동하는 요청은 Goniometer Web Client를 사용하여, Goniometer Web Service로 전달된다.



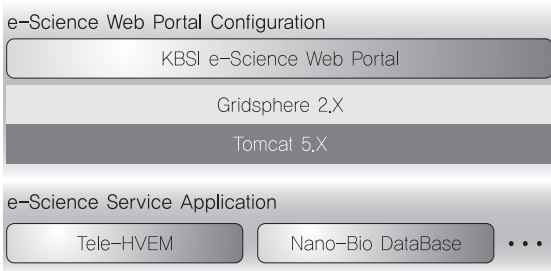
〈그림 4〉 제어 플러그인 구조

2. gridsphere 기반의 e-Science Web Portal System

e-Science Web Portal System은 연구자들이 관련 연구 및 서로의 데이터를 공유하고 커뮤니티를 구성할 수 있도록 개발하고 있다. 즉, 연구자 자신의 실험실에서 웹 사이트를 통해서 HVEM 원격제어 프로그램을 자동으로 다운로드 받을 수 있고, 데이터를 관리할 수 있는 기능을 제공한다. 뿐만 아니라 전자현미경 제어 및 DataBase와도 연동하여 데이터를 관리할 수 있고, 전체적인 실험 절차에 대해 정의를 할 수 있는 워크플로우도 제공하여, 인터넷을 이용한 가상 실험실을 완성할 수 있도록 계획하였다. 1차 년도의 경우 본원I에서는 그리드 스피어 기반으로 KBSI의 데이터 베이스 및 원격 제어 프로그램을 실행할 수 있는 형태로 프로토타입을 완성하였고, 2, 3차 년도를 거쳐 그리드 스피어 기반의 포털 형태로 서비스를 제공할 예정이다.

1) 시스템 구성

본 포털 시스템은 기본적으로 Gridsphere 기반 위에서 모든 서비스를 제공할 수 있도록 개발하였다. Gridsphere는 그리드 기반 응용 프로그램을 웹상에서 실행할 수 있도록 하는 WAS(Wep Application Server)이다. 아래의 그림과 같이 e-Science Web Portal 은 gridsphere 기반 위에서 작동하도록 구성되었다.



〈그림 5〉 e-Science Service Architecture

## 2) 서비스 내용 및 구현

기본적인 사양의 컴퓨터가 설치된 곳이라면 어느 곳에서라도 <http://e-science.kbsi.re.kr>를 통하여 모든 서비스 접속이 가능하다. Main 페이지에서는 e-Science에서 제공하는 서비스의 메뉴얼 및 서비스 이용을 위한 로그인 메뉴가 존재한다. 다만 Database의 경우 그리드 포틀릿 기반이 아닌 웹 포탈 기반으로 작성되었기 때문에 별도의 로그인 없이 데이터베이스 사이트를 링크를 하였다.



〈그림 6〉 e-Science 메인 홈페이지 화면

HVEM 원격제어 프로그램은 로그인을 하기 전에는 원격제어 프로그램을 다운받을 수 없으나 로그인을 한 이후에는 원격제어 프로그램을 다운받을 수 있다. 원격제어 프로그램은 기본적으로 별도의 프로그램이 필요치 않으나 자바 웹 어플리케이션 방식이기 때문에 유저의 컴퓨터에 반드시 자바가 설치되어 있어야 한다.

이상에서 소개한 바와 같이 본원의 e-Science Web

Portal을 통해서 Tele-HVEM 및 데이터베이스를 사용할 수 있는 통합 환경을 제공하고자 노력하고 있다. 앞으로 Tele-HVEM 기능 강화 및 데이터베이스 시스템의 본격 구축 그리고 HD급 고해상 영상 전송 시스템을 구축할 예정이다. 아울러 장비 중심의 e-Science는 제한된 사용자 외의 활용도가 떨어질 가능성을 배제할 수 없는 상황이다. 이를 극복하기 위하여 Tele-HVEM 시스템과 연동한 응용 프로그램(3차구조 모델링)을 개발할 예정이다. 따라서 가까운 미래에는 연구자 자신의 실험실에서 전자현미경의 관찰, 결과 획득, 분석 및 3차원 영상 가공은 물론 네트워크와 데이터베이스를 활용한 공동 연구를 최소한의 노력으로 진행할 수 있을 것이다.

## 3. 결 론

본 연구에서 HVEM의 원격 운영 시스템을 구축하고 e-Science Web Portal을 통해서 Tele-HVEM 및 데이터베이스 초기 버전을 사용할 수 있는 통합 환경을 확립 하였다. 따라서 일반 연구자들은 이 통합 사이트를 활용하여 보다 쉽고 발전된 형태의 연구를 수행할 수 있을 것이다. 추후에 보다 완성된 웹 포탈을 구현하기 위해서 다양한 콘텐츠와 어플리케이션 등이 개발되어야 하고 또한 그것들이 Web Portal을 통하여 제공되어야 할 것이다. 한 예로 현재 데이터베이스의 경우 JSP 방식의 웹 구성 방식을 취하고 있으나, 통합 환경을 위해서 Portlet 기반으로의 변경이 필요하다. 그리고 모든 연구자들의 실질적인 가상 실험실이 될 수 있도록 연구자가 원하는 기능을 추가함으로써 HVEM 뿐만 아니라 다양한 연구 장비에서 발생할 수 있는 시범 수준에서의 한계를 극복하고 시공간 개념을 넘어서 진정한 의미의 e-Science 공동 협업 시스템을 갖출 수 있을 것으로 기대한다. 