

# Tele-Science: 원격지의 장비를 이용한 과학/기술 연구 활동

서울대학교 김형석 · 염현영  
 한양대학교 강수용  
 한성대학교 황기태

## 1. Tele-Science 의 개념 및 필요성

과학기술 분야의 발달은 관련된 기반 기술의 진보와 맥을 같이 한다. 과학 연구 기술의 분야가 나노 기술 등의 미세한 분야에 이룰수록 이들 연구를 지원할 수 있는 장비는 장비의 수용 시설만 수 층짜리 건물을 필요로 하는 경우에서처럼 오히려 대형화되고 가격 또한 만만치 않다. 또한, 전통적으로 대형화된 장비와 실험 시설을 필요로 하는 토목, 건축 등의 과학기술 분야 역시 유사한 상황이다. 사실, 과학계에서도 규모의 경제가 적용되는 것으로 생각할 수 있다. 몇몇 분야의 과학기술 연구개발을 위한 연구 시설들은 개인 혹은 소규모의 연구 조직에서 감당할 수 있는 수준이 아니며, 따라서 이들을 위한 공동 연구 환경의 조성은 국가 과학기술 발전의 중요한 요소라고 볼 수 있다. 이미 미국, 유럽, 일본을 비롯한 선진국에서는 유사한 과학기술 분야의 연구 성과를 극대화하기 위해 Tele-Science 라는 이름으로 공동 연구 환경 조성을 위한 기반 구축에 많은 관심을 쏟고 있다.

Tele-Science 는 물리적으로 떨어져 있는 과학자들에게 가상적인 실험 환경을 제공하는 원격 지원 기술을 통하여 고가의 실험 장비를 공유하고, 실험 결과에 대한 유사 분야의 연구자들과 의견 교류 도구를 제공하여 연구 개발의 성과를 극대화하려는 공동 연구 환경을 뜻한다. 이와 같은 환경이 구축되기 위해서는 분산된 자원을 효율적이고 안정적으로 공유할 수 있는 기반 기술과 고속화된 네트워크 등이 뒷받침되어야 한다. 다행히도, 정보통신 기술 분야의 발달은 사이버 공간 상의 가상 실험 환경 구축의 현실화에 커다란 역할을 할 수 있을 것으로 보이며, 여기서는 이를 위한 다양한 Tele-Science 핵심 기술들과 구축 사례를 소개한다.

## 2. Tele-Science 환경 구축의 효과

Tele-Science 환경 하에서는 과학자들의 연구 활동에 커다란 변화가 발생한다. 기존의 연구 활동은 그림

1의 위쪽에서처럼 과학 연구의 주체들과 대상, 성과물들이 단절된 형태로 이루어져 있었기에 데이터의 흐름에 연구자가 직접 개입해야 했다. 그러나 Tele-Science 환경 하에서는 아래쪽 그림과 같이 과학기술 연구의 자원들이 유기적인 연계를 통해 데이터의 흐름을 자동화시키고 이를 통해 연구 효과를 극대화 시킬 수 있다.

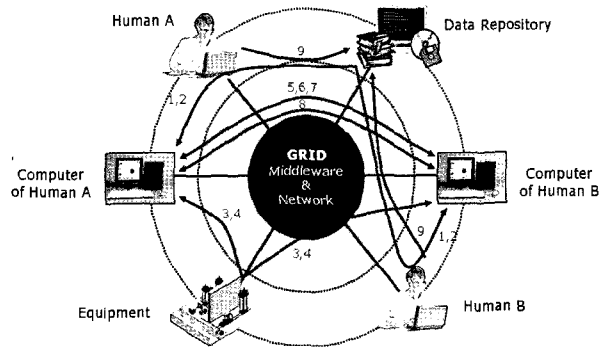
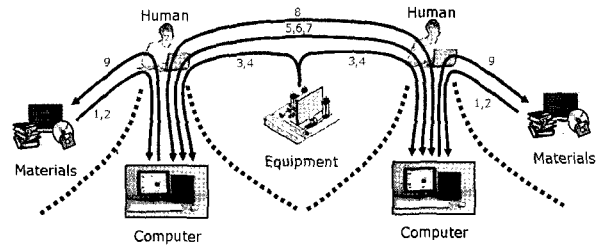


그림 1 Tele-Science를 통한 데이터 흐름의 변화

Tele-Science 환경 구축에 따른 효과는 크게 세 가지 측면에서 볼 수 있다. 첫째가 공유(sharing)에 의한 효과로, 연구비용 절감 효과와 연구 결과물의 질적 향상 효과를 들 수 있다. 대규모 실험 장비의 공유, 유휴 연구 장비(컴퓨터 CPU 등)의 공유 활용, 실험 데이터 공유를 통한 반복 실험의 최소화 등은 연구비용을 절감시킨다. 또한, 동일/유사 연구의 최소화, 결과물에 대한 상호 비판과 토론의 활성화, 결과물 공유에 대비한 연구자들의 자제적인 질관리 노력 등은 연구 결과물의 질을 향상시키게 될 수 있다.

두 번째는 협업(collaboration)에 의한 효과로, 연구 효율성 향상 효과와 연구 패러다임의 변화를 들 수 있다. 가상 협업 환경을 통한 시/공간적 제약 극복을 통해 협업이 활성화되고 그에 따라 연구에 소요되는 시간이 절약될 수 있고, 협업 환경에서 다양한 자료에 대한 실시간 공유가 가능해짐에 따라 협업의 효율성이 증대되고, 협업 과정을 정보화하여 후속 연구의 자료로 활용함으로써 후속 연구의 소요시간을 절감시키는 등 전체적으로 연구 효율성 향상을 기대할 수 있게 된다. 또한, 개별적 연구 활동에 비해 협업을 통한 공동 연구 활동의 효율성이 높아지게 되어, 연구 활동의 패러다임이 소규모 개별적 연구 위주에서 중/대규모 공동 연구 위주로 바뀌게 되어 그에 따른 연구 결과의 파급성도 커지는 연구 활동의 패러다임 변화가 일어날 것으로 기대된다.

세 번째는 연계(Interconnection)에 의한 효과로, 연구 수준 향상 및 연구 범위 확대의 효과가 있다. 복수의 실험 장비에 대한 연계를 통해 고급 실험이 가능해지고, 고급 실험은 고차원적 연구를 가능하게 하여 연구 수준 향상과 연구 범위 확대에 이르게 된다.

### 3. Tele-Science 구현을 위한 핵심 기술

기존의 연구 환경에서 연구자들은 실험 장비를 사용하기 위해서 장비와 직접 연결된 로컬 컴퓨터 앞에서 제어 소프트웨어를 실행한다. 이 소프트웨어를 통해 장비 제어와 데이터 수집이 이루어지고 실험이 끝나면 수집된 데이터를 휴대용 저장장치에 저장하여 연구자의 개인 연구실로 이동한 후 데이터를 분석하는 통상의 실험 과정이 이루어진다.

Tele-Science 환경 하에서도 연구자는 이와 같은 연구 활동을 원격지에서 수행할 수 있어야 한다. 그러나 일반적인 장비 제어 소프트웨어는 네트워크를 통한 원격 사용을 지원하지 않는다. 따라서 Tele-Science의 구현을 위해서는 다음과 같은 기술의 개발이 필요하다: ① 기존의 제어 소프트웨어가 제공하는 인터페이스를 대체하는 네트워크를 통한 원격 사용이 가능한 새로운 사용자 인터페이스, ② 원격지의 장비를 로컬에서 제어하기 위한 제어 프로토콜, ③ 실험이 수행되는 모습과 실험 과정에서 생성되는 데이터를 원격지에서 실시간으로 관찰할 수 있게 하는 원격 관측 시스템, ④ 실험 과정을 미리 프로그래밍하여 자동으로 모든 실험이 수행되어야 하는 실험의 경우, 원격지에서도 자동화된 실험이 가능하도록 지원하는 소프트웨어, ⑤ 물리적으로 떨어져 있는 복수의 공동연구자들이 실시간으로 정보를 교환하고 데이터를 분석할 수 있는 도구.

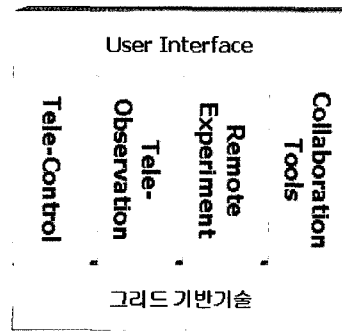


그림 2 Tele-Science의 관련 기술

위에서 열거한 기술들 외에 보안, 정보 서비스, 데이터 관리 등의 그리드 기반 기술도 필요하고, 이 모든 필요 기술들을 그림으로 도시하면 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

#### 3.1 그리드 및 웹서비스 기술

그리드 기술[1]은 Tele-Science 시스템을 구축하기 위한 기반기술이라고 볼 수 있다. 초고가 장비를 실시간 공동 활용한다는 Tele-Science의 정의에 비추어 보았을 때, Tele-Science는 이질적인 공간에 물리적으로 떨어져 있는 다양한 형태의 자원 - 계산 자원, 저장 자원 등 - 을 효율적으로 공유하여 마치 하나의 자원처럼 가상화 시키는 것을 목적으로 삼는 그리드 기술과 본질적으로 유사한 면을 지니고 있다.

그리드 소프트웨어는 사실상(de facto) 표준인 Globus에 의해서 주도되고 있으며, 그리드 소프트웨어에서 해결하고자 하는 문제들은 다음과 같이 정의할 수 있다.

##### 3.1.1 보안

Globus의 보안은 GSI(Grid Security Infrastructure) [2]라는 이름으로 널리 알려져 있다. GSI는 두 가지 레벨의 보안을 지원한다. 하나는 메시지 레벨(Message Level)의 보안이고, 하나는 전송 레벨(Transport Level)의 보안이다. 두 방식 모두 공통적으로 X.509의 인증서 기반의 인증을 지원하며 권한관리도 동일하게 SAML과 grid-mapfile을 통해 이루어진다.

Tele-Science에서 중요한 요소로 고려해야 할 사항은 보안이다. Tele-Science에서 사용되는 고가 장비의 특성상, 인가되지 않은 사용자는 접근을 막아야 하며, 인가된 사용자라 하더라도, 사용자의 레벨에 따라서 권한을 관리해주어야 한다. GSI는 이러한 기능을 기본적으로 제공하고 있으며 이를 통해 안정적인 보안 메커니즘을 구현할 수 있다.

##### 3.1.2 데이터 관리

Globus에서 제공하는 데이터 관리 방식은 데이터 이동(Data Movement), 데이터 복제(Data Replication),

그리고 이들을 이용한 고차원의 데이터 서비스로 이루어져 있다. GridFTP와 GridFTP 기반의 RFT (Reliable File Transfer) 서비스는 데이터를 안정적이고 신속하게 전송하기 위한 도구이다. RLS(Replica Location Service)는 데이터 복제를 할 경우, 이들 데이터의 위치를 효율적으로 추출해내는 서비스이다.

Tele-Science 를 통해 공동연구를 활성화하는 데 있어서 이들 데이터 관리 서비스는 중요한 역할을 담당한다. 수많은 장비로부터 산출되는 영상데이터, 수치데이터 등의 양이 산출되는 데이터의 크기와 양이 방대하기 때문에 이를 효율적으로 관리하고 전송할 수 있는 도구로서의 역할을 이들이 담당할 수 있다.

### 3.1.3 실행 관리

실행 관리는 계산 자원들을 효과적으로 활용하기 위한 서비스의 모음이다. 과학, 공학 분야의 프로그램들은 계산량이 상당히 많기 때문에 그리드 환경에서 효율적으로 실행, 관리, 취소할 수 있는 도구들이 필요하다. Globus에서는 GRAM(Grid Resource Allocation and Management)이라는 인터페이스를 통해 작업 수행, 관리, 스케줄링 등을 지원한다.

Tele-Science에서 실행 관리가 필요한 이유는 시뮬레이션을 사용한 실험이 필요한 경우에 이를 효율적으로 수행해 줄 수 있기 때문이다. 특히, 고성능 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션과 실험 장치를 이용한 물리적 실험이 서로 연계되어 하나의 대규모 실험을 이루는 하이브리드 실험을 위해서는, 계산 작업과 실험 및 관측 등이 하나의 시스템 안에 유기적으로 연결되어 수행되는 통합된 시스템이 필요하다.

## 3.2 원격 제어

Tele-Science에서 대상으로 하는 고가의 장비들은 사용 목적 및 해당 연구 분야에 맞게 서로 다른 형태와 환경에서 쓰인다. 실제로, 분산공유형 건설연구인프라 구축사업(KOCED)에서 Tele-Science 환경을 제공하고자 하는 실험 장비들은 토목/건설용 실험 장비라는 점에서 동일하지만, 장비의 종류에 따라서 제어 시스템이 동일하지 않기 때문에 원격제어가 용이하지 않다. 이 외에도 현재 KISTI에서 추진 중인 eScience 프로젝트 중 한 분야인 한국 기초과학 지원 연구소(KBSi)의 초고압 투과 전자 현미경(HVEM)은 제조업체에서 개발한 자체적인 제어 시스템과 소프트웨어를 사용하기 때문에 원격제어를 구현하는 것이 용이하지 않다. 따라서 다양한 과학 분야의 장비에 대한 원격제어를 위해서는 우선적으로 장비 제어 시스템에 대한 높은 이해가 요구된다.

### 3.2.1 원격 제어 프로토콜

일반적으로 실험 장비들의 제어점(Control Point)은 한정되어 있다. 예를 들자면, HVEM의 제어점은 현미경의 관측 위치(각도 혹은 변위)를 들 수 있을 것이고, 풍동 실험 장비라면 풍속(속도), 대상물체의 위치(각도) 등을 들 수 있다. 그런데, 제어점은 실험 장비에 따라 다르게 표현되므로 원격 제어를 위한 장치 독립적 프로토콜을 개발하기 위해서는 제어점에 대한 일반적인 표현 방법이 필요하다. 또한, 원격제어를 수행할 때는 사용자가 실험장비 앞에서 명령을 수행하는 것이 아니기 때문에, 해당 명령이 실제 장비에 도달하여 수행된다는 것을 사용자에게 보장해야 한다. 이는 분산 환경에서 필수적으로 해결해야 하는 문제이며, 이를 위해 원격지의 제어용 소프트웨어와 장비 간에 적절한 통신 규약이 존재해야 한다.

여기서는 Globus에서 GT4[3]를 발표하면서 새로이 채택한 원격 제어 프로토콜 서비스인 GTCP(Globus Tele Control Protocol)에 대하여 설명한다.

GTCP는 openSession, closeSession, propose, execute, cancel 등의 명령어를 지원한다. 이들 명령어는 GTCP 내부에서 하나의 트랜잭션으로 기록된다. 사용자로부터 실험장비에 이르는 명령의 전달이 신뢰성을 가질 수 있도록 개개의 명령은 트랜잭션으로 기록되어 관리된다.

그림 3은 GTCP의 구성요소를 그린 것이다. GTCP는 그림에서 보이는 것처럼 그리드 서비스 형태를 가지고 있는 GTCP Service, 각 로컬 제어 시스템에 따라 달라지는 GTCP Plugin, 그리고 로컬 제어 시스템에서 실제 장비를 제어하는 제어 프로그램으로 구성된다. GTCP Service는 장비에 독립적으로 존재하는 상위 계층의 추상적인 서비스로, 사용자로부터 해당 장비에 입력되는 명령을 받아들인다. GTCP Service는 GT4(Globus Toolkit 4) 서비스이기 때문에 보안 모듈인 GSI를 통해 사용자 인증과 권한 관리가 가능하며 사용자가 제공하는 입력 값의 적합성을 검사하는 역할을 맡는다. 그러나 GTCP Service는 상위 계층의 규약을 담당하고 있는 부분이므로, GTCP Service만으로는 장비를 제어할 수 없다. GTCP Service는 사용자와 장비 간에 신뢰할 수 있는 원격제어의 기반을 확립하는 것에 목적이 있고, 다양한 장비의 실질적인 제어는 각 장비의 로컬 제어 시스템이 담당한다. 즉, GTCP Service는 최대한 장비의 제어를 추상화시켜놓은 계층이고, 이를 로컬 제어 시스템과 연결시켜 주는 것이 GTCP Plugin이다. GTCP Plugin은 하부의 로컬 제어 시스템과 연동하는 부분이기 때문에 사용하려

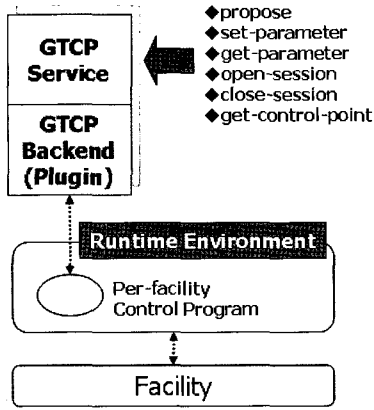


그림 3 GTCP 구성요소

는 장비에 따라 달라진다. 장비의 제어 시스템이 LabVIEW나 Matlab등과 같은 런타임 환경이라면 배포되고 있는 LabVIEW Plugin, Matlab Plugin을 사용하면 원격제어를 구현함에 있어 GTCP 서비스는 수정할 필요가 없어진다. 하지만 로컬 제어 시스템이 고유한 소프트웨어인 경우에는 이에 따라서 Plugin을 구현하여 GTCP Service와 로컬 제어 시스템의 교차 역할을 하여야 한다.

### 3.2.2 로컬 제어 시스템

고가의 장비들은 대개 고유의 로컬 제어 시스템을 가지게 마련이다. National Instrument 사의 LabVIEW 나 Matlab이 될 수도 있고, 혹은 그 외에 독립적인 장비 제조업체나 Third-party의 소프트웨어를 사용할 수도 있다. LabVIEW나 Matlab은 각기 고유한 런타임 환경을 제공한다. LabVIEW에서는 C언어에서 할 수 있는 모든 환경을 제공하여 프로그래밍할 수 있기 때문에 원격제어에 유리한 점을 지니고 있다. Matlab 또한 Java 클래스를 그대로 로딩하는 등의 런타임 환경을 제공하기 때문에 원격제어에 용이하다. 그러나 장비를 제어함에 있어 고유한 소프트웨어를 사용할 경우에는 문제가 복잡해진다. 예를 들어 HVEM의 경우, 현미경의 모든 제어는 제조업체에서 제공하는 프로그램을 통해서야 한다. 현지에서 실험을 할 때에는 사용자가 해당 제어 프로그램에 대한 모든 접근 및 사용 권한을 가지고 있으므로 문제가 되지 않지만, 원격실험을 하기 위해서는 해당 제어 프로그램에서 제공하는 제한적인 API 만을 사용할 수밖에 없다. 만약 해당 소프트웨어 제공 업체에서 기본적인 API 마저도 제공하지 않는 경우라면, 원격제어는 불가능하다고 보아도 무방하다. 이처럼 Backend의 장비를 제어하는 방법은 상황에 따라 달라지기 때문에 로컬 장비 제어에 대한 깊은 이해가 필요하며, 이를 위한 적절한 GTCP 플러그인을 구현하여야 한다.

### 3.3 원격 관측

Tele-Science 하에서는 과학자들이 장비와 물리적인 거리를 두고 실험을 하기 때문에 장비의 상태와 데이터들에 대한 실시간 원격 모니터링이 필요하다. 흔히 생각할 수 있는 데이터로는 장비의 상태를 시각화하여 보여줄 수 있는 비디오 데이터나 각 센서 등에서 읽어들이는 측정값을 들 수 있다. Tele-Science 환경에서의 원격 관측은 데이터 스트리밍 서비스의 한 종류라고 볼 수 있다. Tele-Science의 주요 활용방법이 원격 제어를 담당하는 실험자와, 이를 관측하는(실험자를 포함한) 다수의 관찰자로 이루어지기 때문에 원격관측 서비스는 스트리밍 서비스처럼 다수의 사용자에게 끊임 없는 데이터를 전송해야 한다. 또한 네트워크를 통해 데이터가 전송되는 과정에서 발생하는 지연을 무시한다면(4) 원격 관측에서 중요한 요소는 비디오 데이터와 측정 데이터를 사용자에게 시간적으로 동기화(synchronization)시켜서 가시화해주는 것이다. 미국의 NEESgrid(Network for Earthquake Engineering Simulation Grid)[5]에서는 이 역할을 RBNB(Ring Buffer Network Bus) Data Turbine이라는 Third-Party 소프트웨어를 사용한다.

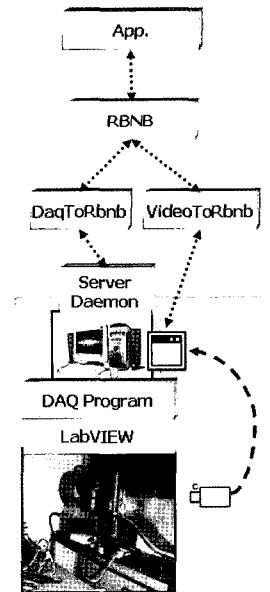


그림 4 RBNB를 이용한 예제

#### 3.3.1 RBNB Data Turbine(6)

RBNB는 데이터 스트리밍을 위한 일종의 분산 네트워크 파일 시스템이다. RBNB는 데이터를 생성하는 모든 장치 - 예를 들어, 디지털 동영상/스틸 카메라, DAQ(Data Acquisition Machine) 등 - 로부터 생성된 데이터를 포맷과 종류에 상관없이 받아들이며, 이를 다시 목적지로 재전송한다. 이 때, 모든 데이터는

Timestamp가 첨가되어 재전송되기 때문에, 최종적으로 데이터를 받는 쪽에서는 모든 종류의 데이터를 시간적으로 동기화시켜서 재생할 수 있다. 따라서 원격지의 연구자는 실험 장치의 동작 모습을 보여주는 동영상과 실험 과정에서 생성되는 측정 데이터를 동기화시켜서 관찰함으로써 현장에서 직접 목격하는 것과 같은 효과를 거둘 수 있게 된다.

그림 4는 RBNB를 활용하는 사례를 그린 것이다. 이 환경에서는 LabVIEW를 통해 DAQ 장비에서 센서 데이터를 받아들이고 이를 RBNB에 전송할 수 있도록 변환해주는 DaqToRbnb를 사용하여 RBNB에 수치 데이터를 전송한다. 또한, 실험 상황을 원격에서 관찰할 수 있도록 카메라를 설치하여 이를 VideoToRbnb라는 프로그램을 사용하여 RBNB로 전송한다. RBNB는 센서데이터와 동영상 데이터에 timestamp를 추가하여 원격지 사용자의 응용프로그램에 전송하고, 이 데이터를 받아들이는 원격지의 응용 프로그램은 이를 동기화시켜 가시화해주는 역할을 담당한다.

### 3.3.2 flexTPS

실험지를 전체적으로 조망하는데 있어서 RBNB를 사용하기에는 적합하지 않다. RBNB는 데이터 서버로서의 역할을 하여 데이터를 중간에서 계속 저장하기 때문에, 1년 365일 상시로 실험지를 관측하기 위해서라면 RBNB같이 중간에서 데이터를 저장할 필요는 없다. 또한 RBNB는 내부적인 통신 방법으로 TCP (Transport Control Protocol)를 사용하기 때문에 UDP (User Datagram Protocol)를 사용하는 대부분의 스트리밍 서버보다는 효율이 떨어진다. 또한, 비디오와 수치 데이터가 동기화를 필요로 하지 않는다면 굳이 RBNB를 쓰지 않아도 된다. flexTPS(flexible TelePresence System)은 이와 같은 점을 극복하고 실험지의 원격 관측과 카메라의 제어를 위해 NEESgrid에서 개발한 소프트웨어 시스템이다. flexTPS에서 주로 대상으로 삼는 카메라는 PTZ (Pan-Tilt-Zoom) 카메라이며, 원격에서 웹브라우저만으로 제어가 가능하다. flexTPS에서는 스트리밍을 위한 전용 소프트웨어를 사용하지 않고, Video Server라는 하드웨어 장비를 사용한다. Video Server는 연결된 카메라들에 대한 스트리밍 URL을 외부적으로 드러내고, flexTPS는 이에 대한 연결을 매개해주는 역할을 담당한다.

flexTPS는 사용자가 실험지에 있는 것과 같은 가상 환경을 제공하기 위한 도구이다. 대형 편의점에서 곳곳에 CCTV를 설치하여 두는 것처럼, 원격의 사용자에게 실험지에 대한 전체적인 시야를 가지게 하여 실험실과 떨어져 있어도 마치 실험지에 있는 듯한 환

경을 구성하여 준다.

### 3.4 원격 실험

이 장에서 언급하고 있는 원격 실험은 원격제어와 비슷하지만 더 넓은 개념을 의미한다. 앞에서 기술한 원격제어는 하나의 제어점에 대한 제어를 다루었고, 여기서는 연속적인 제어를 통해 원격에서 실험하는 방법에 대해서 기술한다.

원격실험은 하나 혹은 그 이상의 제어점에 대한 원격제어를 기반으로 하여 수행되는 실험을 의미한다. 하나 이상의 실험장비와 시뮬레이션 프로그램을 갖춘 고성능 컴퓨터를 연동하여 실험을 수행하는 하이브리드 실험을 예로 들면, 실험 장비에서 한번의 원격제어를 수행할 때마다 생성되는 측정 데이터를 시뮬레이션 프로그램의 입력 값으로 넣어 계산하고, 그 결과를 다시 장비의 제어점에 입력 값으로 넣어주는 형태가 반복된다. 여기서 중요한 요소는 원격실험의 내용을 기술하는 방법과 이를 해석하여 해당 장비에 GTCP를 통해 주어진 일련의 순서에 맞게 제어를 수행하는 서비스이다. 원격실험의 내용을 기술하기 위해서는(명령어가 수행되어야 할 시각, 장비 이름, 제어점, 입력 값) 형식으로 된 원격제어 명령이 원격 실험의 절차에 맞게 나열되어야 한다. 또한 이 명령어를 해당 시각에 맞추어 해당 장비로 전송해주는 서비스가 필요하다. 이는 그리드에서의 Workflow 개념과 유사하다. 즉, 실험의 수행 과정은 주어진 절차에 의해 진행되어야 하고, 실험이 끝나면 해당 데이터를 저장소에 저장하고 메타데이터를 생성해주는 부분까지 필요하다.

### 3.5 사용자 인터페이스 및 협업 도구

Tele-Science를 위한 사용자 인터페이스는 다양한 형태로 구현이 가능하다. 간단하게는 접근이 매우 용이한 웹 포털 형태에서부터 나아가 Tele-Science를 위한 하나의 독립된 응용 프로그램의 형태로 개발될 수 있다. 현재 그리드 기반의 포털 프레임워크로 많이 사용되고 있는 것 중 하나가 Gridsphere[7]이다. Gridsphere는 계산 그리드에서 필요한 보안, 실행 관리, 데이터 관리 등의 다양한 기능들을 Portlet 형태로 제공한다. Portlet은 포털에서 사용자에게 제공되는 가장 기본적인 서비스의 단위이다. Portlet은 현재 Java Community에 의해서 JSR-168 스펙 표준이 제안되어 Gridsphere 뿐만 아니라 다양한 포털에서 적용되고 있으므로, 하나의 Portlet이 서로 다른 포털 프레임워크에서 문제없이 동작할 수 있는 환경이 제공되고 있다.

일반적으로 연구자들이 가장 쉽게 이용할 수 있는

방법이 웹을 통한 접근이고, 포털은 이와 같은 상황에서 가장 적합한 솔루션이다. 별도의 프로그램 설치가 필요 없으며 채팅, 화상회의, 계산 작업 수행 등이 하나의 포털에서 쉽게 이루어진다. 그러나 Portlet은 원격제어나 원격 관측과 같이 복잡하고 동적인 사용자와의 상호작용을 필요로 상황에서는 웹 기반 환경에 따른 제한점을 가지고 있다. 이와 같은 제한점은 독립형 응용 프로그램을 통해 극복할 수 있다.

#### 4. 국내/외 Tele-Science 구축 및 활용 현황

##### 4.1 국내 동향

국내에서는 한국기초과학지원연구원(KBSI)의 초고전압투과전자현미경(HVEM: High Voltage Electron Microscope, 그림 5)을 활용하여 지난해에 열린 'Super-computing Conference 2005'에서 Tele-Science를 시연하였다. 이는 시애틀에 있는 연구자가 국내 KBSI의 HVEM을 실시간으로 원격 조정하여 250nm의 뇌신경세포를 관찰하고, 이를 통해 산출된 10 Gbps의 데이터를 한국과학기술정보연구원(KISTI)의 슈퍼컴퓨터에 저장하여 분석한 후에 이를 다시 활용함을 보였다.

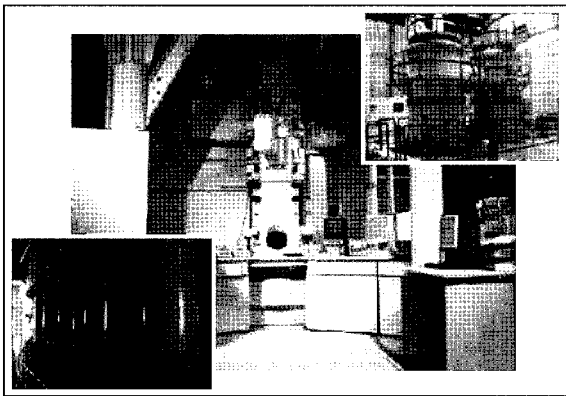


그림 5 KBSI에 설치된 초고전압 투과현미경

그림 6은 HVEM의 제어구조를 그린 것이다. HVEM의 경우 제조업체에서 제어를 위한 API를 제공하지만 지원되는 언어가 C++라는 제한점이 있다. 이를 극복하기 위해서, 그림에서와 같이 로컬 제어 시스템에 제어 API를 사용하는 웹 서비스를 구현하여 이를 Globus와 연동시킬 수 있다. 따라서 HVEM의 경우 원격제어를 위한 플러그인이 웹 서비스 클라이언트가 된다.

이 시스템의 특징은 기존 미국 샌디에고 대학의 핵심 기술에 의존하던 것에서 벗어나 KISTI에서 주도하여 개발했다는 것이다. KBSI의 산출자료에 따르면 Tele-Science 환경이 국내에서 구축되어 HVEM을

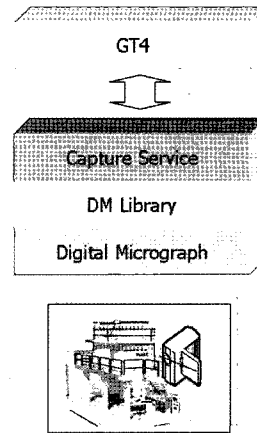


그림 6 HVEM의 제어 구조

연구자들이 공동으로 활용하게 된다면 R&D 비용을 900억 이상 감소시키고, 기술 개발 속도를 약 10배정도 향상시킬 수 있다(8).

또 다른 연구로는 국내 건설 기술 연구 환경의 취약함을 개선하여 강건한 건설 산업을 이끌기 위하여 현재 진행되고 있는 분산공유형 건설연구인프라(KOCED) 구축사업(9)이 있다. 이는 국내 6개 지역에 해양풍동 및 지진 등에 의하여 건물의 파괴영향 등을 연구할 수 있는 실험센터를 건립하고, 이들 시스템을 그리드 환경으로 통합하는 것이다. 연구자들은 원격으로 각 실험을 Tele-Science를 통해 제어하며, 그 결과로 나온 수치 및 이미지 데이터들을 공유함으로써 학교, 기업 및 연구소들이 데이터를 활용할 수 있도록 한다.

##### 4.2 일본 동향

일본에서는 오사카 대학을 중심으로 Biogrid 프로젝트를 진행하고 있다. Biogrid는 대용량의 생명과학 분야 데이터를 처리하기 위해 필요한 환경을 구축하는 프로젝트이다. 오사카 대학의 자료에 의하면 웹에는 500개 정도의 생명과학과 관련된 사이트가 있으며, 이

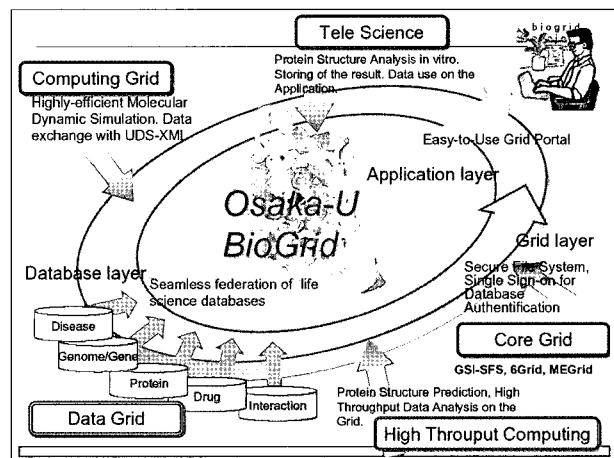


그림 7 Osaka-U BioGrid Project

들 데이터베이스들은 질병으로부터 신약을 개발하는데 연관되어 사용된다. Biogrid 프로젝트는 이들을 그리드 환경으로 통합해 Tele-Science를 이용한 원격 제어로 데이터를 분석하여 신약을 개발할 수 있도록 지원한다[10]. 그림 7은 Biogrid의 개념도이다.

### 4.3 미국 동향

미국 샌디에고 대학(UC SAN DIEGO) 산하의 국립 마이크로스코피 이미지 연구센터(NCMIR, National Center for Microscopy and Imaging Research)에서는 일본의 오사카 대학에 있는 초고전압 투과전자 현미경(UHVEM, Ultra High Voltage Electron Microscopy)을 이용한 원격리 협업연구를 1999년도에 성공하였다[11]. 이 연구를 통해 UCSD의 학생들이 Tele-Science를 이용하여 오사카에 있는 UHVEM을 원격으로 제어할 수 있는 시스템을 개발하였으며, 이를 통해 제어된 장비의 실험 결과화면 및 자료를 원격지로 전송하여 데이터를 관측할 수 있다[12,13].

2004년도에는 Pacific Rim Undergraduate Experiences(PRIME) Research Projects를 통하여 Steve Geist와 Ramsin Khoshabeh는 UHVEM Center에서 카메라 제어를 위한 CCD NCMIR 웹서비스 및 그리드 서비스를 통한 원격제어 환경을 그림 8과 같이 구축하였으며 IPv6를 통해 오사카와 UCSD를 단대단 연결하였다.

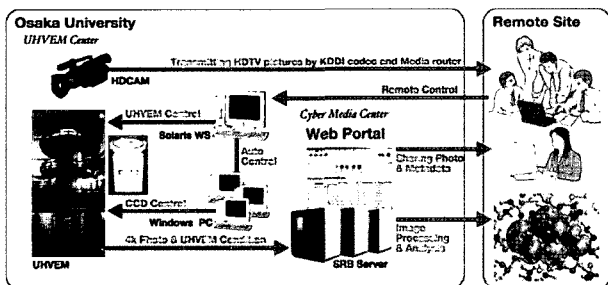


그림 8 오사카 대학의 HDTV 및 JPEG2000영상을 위한 Tele-Science System

## 5. 결 론

그리드 기반 기술을 활용하여 연구인력, 연구장비, 소프트웨어 등의 연구 자원을 하나로 통합하여 활용할 수 있게 하는 차세대 과학/기술 연구 환경으로 등장한 e-Science는 장기적으로 국가 과학/기술 역량에 큰 영향을 미치는 요소의 하나로 인식되고 있다. 미국, 유럽, 일본 등의 선진국들은 이러한 인식 하에 e-Science 환경 구축 및 응용 개발에 막대한 지원을 하고 있으며, 우리나라의 경우도 KISTI 주관 하에 정부 차원의 지

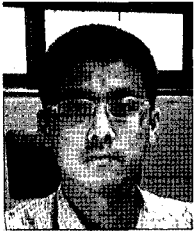
원이 이루어지고 있다. Tele-Science 는 e-Science 의 핵심 사항 중 하나로, 지리적 한계를 극복하는 공동 연구 활동과 실험 장비 및 데이터의 공유를 가능하게 하고, 그 결과 연구 효율성의 향상과 연구 패러다임의 발전적 변화 등을 기대할 수 있게 한다. 본 논문에서는 Tele-Science를 위한 정보기술 관련 요소 기술을 소개하고, 그러한 요소 기술의 필요성에 따라 국내·외에서 개발된 소프트웨어를 소개하였다. 또한, Tele-Science를 실제로 현실화한 국내·외의 사례를 소개하였다.

## 참고문헌

- [1] 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.
- [2] The Globus Security Team, "Globus Toolkit 4 Grid Security Infrastructure: A Standards Perspective", <http://globus.org/toolkit/docs/4.0/security/GT4-GSI-Overview.pdf>
- [3] Globus Alliance, "Globus Toolkit 4.0 Release Manuals", <http://www.globus.org/toolkit/docs/4.0>.
- [4] 네트워크 딜레이는 망에 의존적이므로 논의에서 제외한다.
- [5] NEES Inc, <http://www.nees.org>
- [6] Create Inc. "Ring Buffered Network Bus Technology Framework for Knowledge-Based System-of-Systems, 2001.
- [7] Michael Russell, Jason Novotny, Oliver Wehrens, "The Grid Portlets Web Application: A Grid Portal Framework", <http://www.gridisphere.org>
- [8] KBSI, <http://www.kbsi.re.kr>
- [9] KOCED, <http://www.koced.co.kr>
- [10] Biogrid, <http://www.biogrid.jp>
- [11] NCMIR, <http://www-ncmir.ucsd.edu/>
- [12] NPACI, <http://www.npaci.edu/online/v3.10/telemicroscopy.html>
- [13] UHVEM, <http://www.uhvim.osaka-u.ac.jp/>

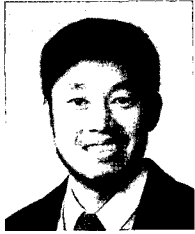
---

김 형 석



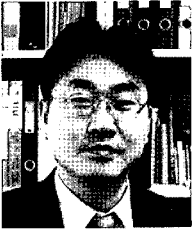
서울대학교 공과대학 컴퓨터공학부  
박사과정  
E-mail : hskim@dcslab.snu.ac.kr

염 현 영



KOCEEDpmc 부단장  
서울대학교 컴퓨터공학부 교수  
E-mail : yeom@snu.ac.kr

강 수 용



한양대학교 사범대학 컴퓨터교육과 조교수  
E-mail : sykang@hanyang.ac.kr

황 기 태



한성대학교 공과대학 컴퓨터공학과 교수  
E-mail : calafk@hansung.ac.kr

---