

초고전압 투과전자현미경의 원격제어 및 데이터 획득 시스템

안영헌, 강지선, 정현준², 김형석², 정형수², 한 혁², 정종만,
구중억¹, 이상동³, 이지수³, 조금원³, 김윤중, 엄헌영², 권희석*

한국기초과학지원연구원 전자현미경연구부,

¹한국기초과학지원연구원 연구장비정보정책부,

²서울대학교 분산처리 연구실,

³한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨팅센터

Remote Access and Data Acquisition System for High Voltage Electron Microscopy

Young-Heon Ahn, Ji-Seoun Kang, Hyun-Joon Jung², Hyeong-Seog Kim²,
Hyung-Soo Jung², Hyuck Han², Jong-man Jeong, Jung-Eok Gu
Sang-Dong Lee³, Jysoo Lee³, Kum Won Cho³, Youn-Joong Kim,
Heon-Young Yeom² and Hee-Seok Kweon*

Division of Electron Microscopic Research, Korea Basic Science Institute

¹Division of Equipment Information & Policy, Korea Basic Science Institute,
Daejeon, 305-333, Korea

²Distributed Computing Systems Laboratory, Seoul University, Seoul, 151-742, Korea

³Supercomputing Center, Korea Institute of Science and Technology Information,
Daejeon, 305-600, Korea

(Received December 16, 2005; Accepted January 26, 2006)

ABSTRACT

A new remote access system for a 1.3 MV high voltage electron microscope has been developed. Almost all essential functions for HVEM operation, such as stage control, specimen tilting, TV camera selection and image recording, are successfully embedded into this prototype of the remote system. Particularly, this system permits perfect and precise operation of the goniometer and also controls the high resolution digital camera via simple Web browsers. Transmission of control signals and communication with the microscope is accomplished via the global ring network for advanced applications development (GLORIAD). This fact makes it possible to realize virtual laboratory to carry out practical national and international HVEM collaboration by using the present system

Key words : e-Science, GRID, HVEM, Remote control, Telesystem, Telemicroscope

이 연구는 한국과학기술정보연구원의 국가 e-Science 구축 사업비의 지원으로 이루어졌음(과제번호 : RF0-2005-000-00001-4).

* Correspondence should be addressed to Dr. Hee-Seok Kweon, Electron Microscopy Team, Korea Basic Science Institute, 52 Yeoeun-Dong, Yusung-Ku, Daejeon, 305-333, Korea. Ph.: (042) 865-3685, FAX: (042) 865-3939, E-mail: hskweon@kbsi.re.kr

서 론

국가적 첨단 공동 활용 장비로서 한국기초과학지원연구원 대전 본원에 설치된 초고전압 투과전자현미경(JEM-ARM1300S, JEOL Japan; 이하 HVEM)은 원자 분해능(점 분해능 1.2Å 이하)의 구현과 고경사각 tilting 기능($\pm 60^\circ$)에 의해 시편의 원자배열구조를 3차원적으로 이미지 처리할 수 있는 고성능 투과전자현미경이다. 일반 저전압 및 중전압 TEM으로는 관찰하기 어려운 비교적 두꺼운 시료도 1,250 kV라는 가속 전압에 의해 얻어지는 고 투과력으로 생물 시료로서는 약 3~5 μm 두께의 시료까지 관찰 가능하게 한다. 다양한 시편 홀더들의 보유로 액체 헬륨 온도에서 최고 1,500도까지 시편의 온도를 조절할 수 있기 때문에 in-situ 실험도 가능하다. 이에 더하여 FasTEM 이라는 원격 운영 시스템이 갖추어져 있어서 장비의 직접 운영에 따른 여러 제약을 극복할 수 있게 한다. 작업자의 직접 운영에 따른 환경 요인들의 배제로 분해능 저하를 막을 수 있고 장소의 제약을 극복한 역동적인 연구가 가능해지므로 실시간 연구결과의 처리 및 전송과 쌍방향 원거리 토의 및 분석이 용이해 진

다. 본원이 보유한 HVEM에 장착된 FasTEM의 경우 원격 제어가 가능하나, 초고전압을 사용하는데 있어서 발생하는 X-ray radiation으로부터 오퍼레이터를 보호하기 위해서 개발되어 그 범위가 인터넷의 한계를 벗어나지 못하고 있다.

HVEM은 차세대 나노반도체를 포함한 신물질의 원자단위 구조분석, 생체의 3차원적 구조분석, 소재의 역동적 구조 및 물성 변화 연구, 전자빔 및 이온빔을 이용한 극 미세 소재의 개발 등 21세기의 국가적인 과학기술 발전에 기여하는 초정밀분석 장비 및 기술을 과학 기술자들에게 제공하여 국내의 연구 생산성 및 국제 연구 경쟁력을 제고하기 위한 국가적인 공동 연구 장비이다. 따라서 국가적 공동 연구 장비인 HVEM의 활용도를 제고하고 연구 역량 강화 및 발전을 위해서는 IT 기술과 접목시켜 수평적 구조 하에서 동시·협업 연구가 가능하도록 체계적인 연구 환경을 만들어 주어야 하며, 이러한 가상 협업 환경에서 지역적으로 분산된 원격지의 전문 응용연구자들은 자신들의 과학 기술 연구 개발 능력을 획기적으로 향상시킬 수 있다.

Fig. 1에서 보듯이 이미 미국의 경우 캘리포니아 대학교 샌디에이고캠퍼스(University of California at San Diego, UCSD)의 NCMIR (National Center for Micro-

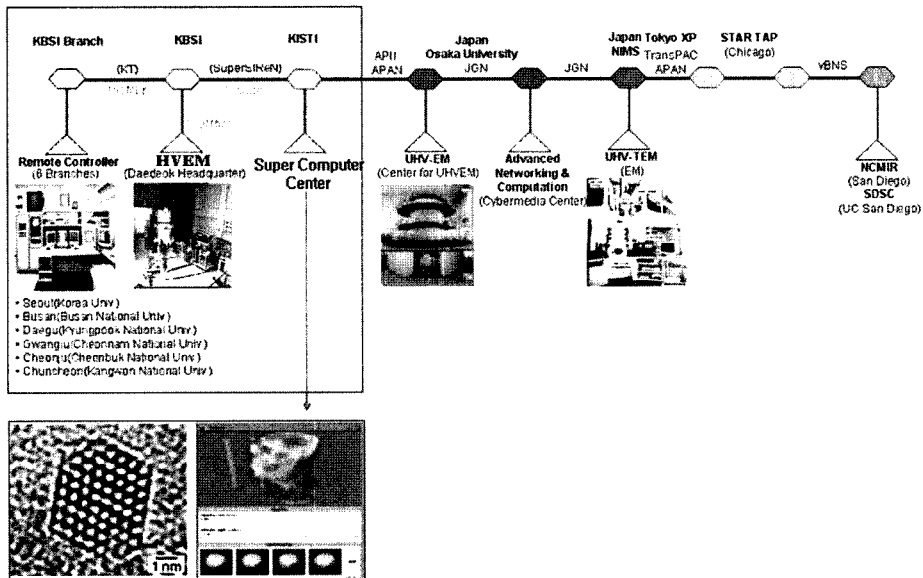


Fig. 1. HVEM remote access control using international network.

scopy and Imaging Research)와 SDSC (San Diego Supercomputer Center)주도로 대만의 NCHC (National Center for High Performance Computing), 일본 오사카 대학의 초고압 전자현미경 (UHVEM) 센터와 사이버 미디어 센터가 Telescience 프로젝트에 참가하고 있다.

본원도 그리드 사업 (2003~2004)을 통해 HVEM에 대한 공동 활용 기반 구축사업에 참여하게 되었고, 국내 뿐만 아니라 UCSD NCMIR의 telescience 기반 환경에 참여하여 일본 오사카 대학 NIMS (National Institute for Materials Science)의 초고전압 투과전자현미경 시스템과 하나의 네트워크를 통해 공동 연구기반을 구축하는 사업을 시행하였다. 현재는 e-Science 사업 (2005~)을 통해 바이오 관련 시료를 컴퓨터 인프라를 이용하여 초고전압 투과전자현미경을 원격 제어 하고 3차원 재구조 및 해석을 위한 프로젝트를 시행하고 있다.

본 논문에서는 HVEM 원격 제어에 따른 기능 요구 사항에 대해 정의하고 실제로 원격지에서 네트워크를 통한 전자현미경 제어 및 관찰을 하여 보았다. 이러한 일련의 과정을 인터넷을 이용하여 실현함으로써 연구 수행에 있어서 시공간적 제약을 극복할 수 있는 환경을 구축하고자 하였다.

FasTEM 원격 제어 시스템

Fig. 2는 JEOL사에서 제안된 HVEM 원격제어 시스템이다. 시스템 구성은 FasTEM Server, FasTEM Client로 구성되어 있다.

1. FasTEM Server

FasTEM Server 시스템은 HVEM을 제어하는 중추적인 역할을 한다. FasTEM 서버는 HVEM의 전압, 배율 및 aperture 등의 HVEM 중추 기능을 제어하는 FasTEM 서버 프로그램과 goniometer 제어를 담당하는 소프트웨어가 설치되어 있다. 그리고 전자현미경의 영상을 관찰할 수 있는 40만화소의 카메라 및 이 카메라의 영상을 전송할 수 있는 Video Server가 설치되어 있다. Video Server는 HVEM의 영상 및 오퍼레이터와 원격 유저 간 헤드셋을 통하여 커뮤니케이션을 제공하기 위한 소프트웨어로 MicroSoft사 (USA)의 NetMeeting 기술을 이용하여 제작되었다.

2. FasTEM Client

FasTEM Client는 FasTEM Server가 실행된 후 오퍼

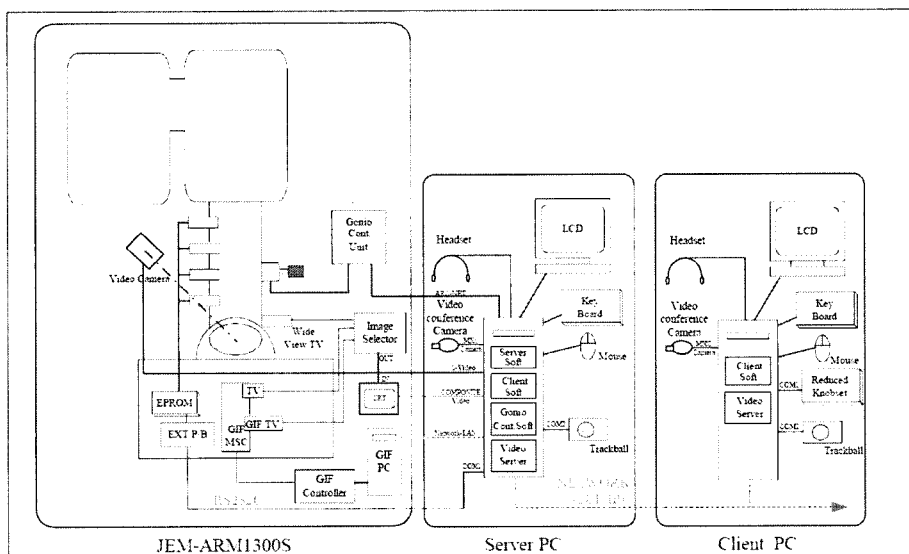


Fig. 2. Proposed HVEM FasTEM remote access control system by JEOL.

레이터와 커뮤니케이션을 통한 후 실행한다. FasTEM Client는 FasTEM Server에 접속한 이후에 HVEM을 제어한다. 웹 카메라를 이용하여 HVEM의 View Chamber에 카메라를 이동하여서 시편을 관찰하게 된다.

위의 원격제어의 경우 JEOL사에 의해 제안되었기 때문에 HVEM의 모든 기능을 원격을 통해 제어할 수 있으나 몇 가지 단점이 있다.

첫째, 이미지 저장 및 관찰을 담당하는 GIF 시스템 및 사이드 카메라 시스템의 경우 연동할 수 없다. 이는 두 시스템이 다른 회사에서 개발된 것으로 전자현미경 제어와 관찰 및 두 시스템 간의 연동에는 근본적인 한계가 있다.

둘째, 특정한 장소에서만 FasTEM 원격제어가 가능하다. 이는 소프트웨어가 유료인 관계로 설치 및 배포할 수 있는 장소가 한정되어 있다는데 기인한다.

마지막으로 가장 큰 문제점은 고화질 이미지 관찰 및 획득이 불가능하다. 위에서 보듯이 FasTEM의 영상은 View Chamber를 이용한 40만화소급 카메라로부터 획득한다. 오프라인 작업에서 사용하는 사이드 카메라를 통한 이미지 관찰 및 획득은 기존의 시스템에서는 불가능하다. HVEM의 경우 이미지 획득을 위해서는 Gatan의 DigitalMicrography 프로그램을 통하여

획득한다. Gatan 프로그램은 원격 제어를 지원하고 있지 않기 때문에 현재의 원격 제어 시스템을 통한 이미지 획득이 불가능하다.

따라서 원격지에서도 HVEM 실험실에서 관찰하는 것과 동일한 효과를 거둘 수 있도록 상기한 문제를 극복하는 것이 중요하다.

생물 시료 관찰을 위한 HVEM 제어 절차 및 요구 사항

HVEM에서 시료를 관찰하기 위해서는 HVEM 가동, 정렬, 시편 이미지 관찰, 시편 이미지 촬영이라는 네 단계를 거치게 된다. 전자현미경 원격 제어에서도 마찬가지이다. Table 1은 HVEM을 원격 제어 하기 위한 절차이다.

생물 시료 관찰의 경우 별도의 이미지 필터 처리가 없다. 대신 3D 재복원을 위해서 보다 선명한 영상을 제공해야 하고, 이미지 Tilt를 하면서 관찰하기 때문에 이에 대한 제어가 반드시 필요하다.

첫번째 단계는 HVEM 가동 준비 및 원격제어 프로그램을 구동하는 단계이다. 이 단계에서 HVEM의 장비 성능과 관계되는 중요한 기능을 수행하기 때문에

Table 1. HVEM remote access control procedures and access function

Operation	Description of Step	Info using computer control
1. Prepare for remote access (only EM operator)	<ul style="list-style-type: none"> • Setting HVEM • Computer processing <ul style="list-style-type: none"> - Starting JEOL FasTEM system - Setting remote system 	<ul style="list-style-type: none"> • V1/V2 switch control • Beam current meter info • EMISSION info • Filament on switch • Filament ready info • Voltage setting control
2. Find beam	<ul style="list-style-type: none"> • Beam finding and aligning to remote access • Aligning SP100W camera 	<ul style="list-style-type: none"> • Aperture control • DEF select control • Spot size control • Brightness control • Shift X, Y knob control • DEF X, Y control • Focus Screen control • DIFF Focus control • Selector (Mag.) Control
3. Image observation	<ul style="list-style-type: none"> • Image observation using goniometer • SP100 W video streaming technology 	<ul style="list-style-type: none"> • TV1 control
4. Image acquisition	<ul style="list-style-type: none"> • Image acquisition • Goniometer control using remote access 	<ul style="list-style-type: none"> • exposure time setting • Image acquisition

숙련된 오퍼레이터들만 제어가 가능하도록 해야 한다.

두번째 단계는 HVEM에서 시료를 관찰하기 위한 빔 정렬 단계이다. 이 단계에서 View Chamber를 통해 빔의 최적 조건을 조절하여 시료를 관찰시 최상의 이미지를 얻을 수 있도록 셋팅하는 단계이다.

세번째 단계에서는 실제 이미지를 관찰한다. 원격지에서 이미지를 관찰하는 방법은 크게 2가지가 있다. 첫째, View Chamber의 이미지를 직접 네트워크를 통해 전송하는 방식과 사이드 카메라인 SP100W를 통해 나오는 동영상을 전달하는 방식이 있다.

마지막 단계인 Image Acquisition에서는 SP100W에서 나오는 이미지를 원격지에서 획득한다.

현재 HVEM은 고도로 숙련된 전문 오퍼레이터들에 의해 운영되고 있다. 고가이면서도 첨단 제품이기 때문에 장비의 원활한 운영을 위한 조치가기도 하다. HVEM을 네트워크상에서 원격 제어를 할 경우에는 원격지 컴퓨터를 이용하여 HVEM을 직접 제어하기 때문에 오퍼레이터의 장비 숙련도 혹은 경험에 따라 직접 제어할 수 있는 기능에 차별을 두어야 할 것이다. 1단계의 경우 전자현미경의 주 조정 단계로 전압 및 빔에 대한 조절 등 정밀한 조정이 요구되어 잘못된 운영을 할 경우 장비 고장의 원인이 될 수 있어 HVEM의 특성을 정확하게 아는 유저만 제어할 수 있는 장비보안 기술이 필요하다. 일반적인 유저의 경우 3, 4 단계의 제어만을 통해서도 관찰하고자 하는 자료를 충분히 획득할 수 있도록 하였다. 따라서 본 논문에서는 3, 4 단계 제어가 가능하도록 하여 일반 유저가 원격지에서 시편의 이미지를 실시간으로 관찰하고 고화질의 사진을 획득할 수 있는 소프트웨어를 개발하였고 이에 대한 실험을 하였다.

사이드 카메라 SP100W

2005년 1월 본원은 보다 더 좋은 시편의 영상을 관찰하기 위해 기존 카메라를 디지털 카메라로 변경하였다.

기존 카메라의 경우 영상 획득을 필름을 이용하였으며 이는 뛰어난 해상도의 영상이 보장되는 반면, 아래와 같은 몇가지 문제점이 있다.

첫째, 이미지 획득에 상당한 시간을 소비한다. 오퍼

레이터가 필름으로 촬영한 이후에 별도의 현상, 인화 과정을 거쳐야 하기 때문에 실험자의 입장에서는 원하는 데이터를 얻는데 상당한 시간이 걸린다.

둘째, 필름을 현상하기 때문에 동일 Tilt 시리즈에 대해 다른 명암비를 보여준다. 생물 시료를 Tilt한 이후에 3-D 재구성을 하는데 필름 현상 사진의 경우 현상 작업에 따른 오차가 많기 때문에 동일 시편의 Tilt된 이미지들이 서로 다른 밝기를 보여준다.

셋째, 필름상의 데이터를 디지털화하기 위하여 스캔을 거쳐야 하는 번거로움과 스캐너 작업의 환경에 따라 영상의 질이 크게 차이가 나게 되므로 특히 3-D Tomography 작업을 위하여 불편하다.

마지막으로 데이터의 저장에 불편하다. 시편의 사진 데이터를 저장하기 위해서 필름으로 저장해야 하는데, 현상 과정에서 손상의 위험이 발생할 수 있고, 보관 조건에 따라 필름이 변할 수도 있다. 만약에 디지털 촬영으로 저장되었다면 사진 이미지를 컴퓨터의 외장 저장 장치에 저장할 수 있기 때문에 위와 같은 문제점을 해결할 수 있다.

따라서 위와 같은 문제점으로 인해 이번에 교체된 디지털카메라(SP100W, Gatan)는 실험자들이 보다 좋은 연구를 할 수 있도록 많은 도움을 줄 수 있으며, 기존의 HVEM에 장착된 TV 카메라보다 넓은 시야 및 높은 해상도를 제공하기 때문에 생물 시료를 관찰하는데 많은 도움을 준다.

무엇보다도 컴퓨터 소프트웨어에 의한 제어가 가능하며, 오퍼레이터가 사진 자료를 얻는데 시간이 단축될 수 있고, 실험 과정에 대한 동영상 저장이 가능하다.

SP100W 카메라의 성능은 Table 2와 같다. 1,600*1,200의 고화질의 사진 이미지를 제공한다. 동영상의 경우 720*480의 NTSC방식으로 초당 24프레임을 제공한다. 1,600*1,200의 사진이미지는 시편 촬영 시 최

Table 2. SP100W performance-Gatan

Model	SP100W HV	etc
Pixel	1600*1200	Pixel*Pixel
Streaming	720*480	NTSC
PixelSize	7.4*7.4	μm
Active area	11.8*8.9	mm
Frame	24	frames/sec
Color range	12	bit

대 가로 11.8 mm, 세로 8.9 mm를 관찰할 수 있다.

SP100W는 Gatan에서 제공하는 Digital Micrography 전용 프로그램을 통해서만 제어가 된다. 이 소프트웨어를 통해서 오퍼레이터는 실시간으로 이미지를 관찰할 수 있고, 원하는 시편의 사진을 획득할 수 있다.

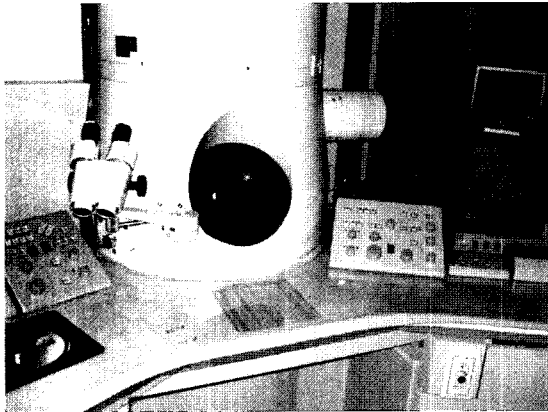


Fig. 3. SP100W install.

Fig. 3은 HVEM에 SP100W가 설치된 모습이다. 기존의 TV 카메라를 제거하고, 그 위치에 SP100W를 설치하였다.

HVEM 원격제어 시스템

Fig. 4는 HVEM 원격제어 시스템 구성도이다. Fig. 2와의 차이점은 다음과 같다.

첫째, View Chamber 및 SP100W를 동시에 지원한다. 기존의 원격 제어 시스템의 경우 전자현미경과 카메라 간 시스템을 연동할 수 없기 때문에 부득이하게 View Chamber 영상만을 제공할 수 밖에 없었다. 그러나 새롭게 제안된 시스템의 경우 View Chamber와 함께 Gatan의 SP100W 실시간 이미지도 지원할 수 있다. 따라서 두개의 카메라를 통해서 동시에 시편의 이미지를 관찰할 수 있다.

둘째, SP100W의 영상을 획득할 수 있다. 기존의 시스템의 경우 View Chamber 카메라를 통해서 원격지

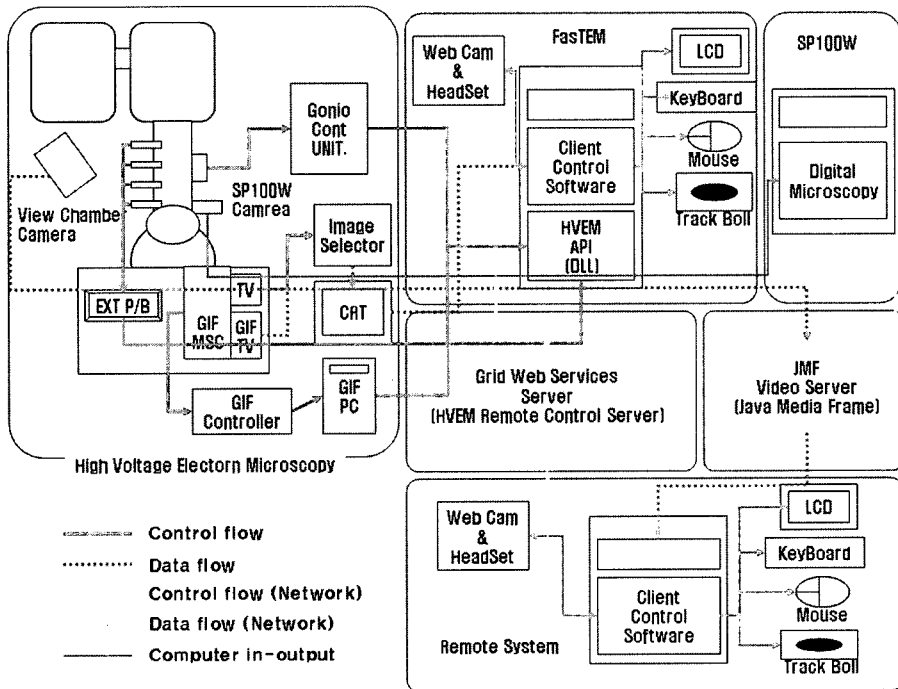


Fig. 4. HVEM remote access control system architecture.

에서 이미지를 관찰하고, 이미지를 획득하기 위해서는 오퍼레이터에게 이미지를 촬영하도록 인터넷 메신저 서비스나 전화 등을 통해서 요청을 했어야 했다. 그러나 새로운 원격제어 소프트웨어의 경우 SP100W 제어 프로그램인 DigitalMicrography 소프트웨어를 제어한다. 따라서 시편의 사진데이터를 획득하기 위해서 기존의 원격제어 시스템과는 다르게 오퍼레이터가 상주할 필요없이 원격 유저는 독립적으로 원하는 데이터를 획득할 수 있다.

이번에 개발된 HVEM 원격 제어 시스템은 Table 1에서 제시된 3, 4단계를 충실히 구현하여 원격 유저가 시편의 이미지를 Goniometer를 통해 제어하고 이미지를 실시간으로 관찰하며, 사진 데이터를 획득할 수 있

는 기능을 제공하였다.

Goniometer 원격 제어는 제작사인 JEOL로부터 Goniometer 제어를 위한 SDK를 제공받아서 구현하였다.

Fig. 5는 Gonio Subsystem Access를 통해 Goniometer를 제어하는 방식을 보여준다. Gonio Subsystem은 Goniometer를 제어하는 물리적 기계 장치를 말하며, Gonio Server는 Gonio Subsystem 제어를 하여 Goniometer를 제어한다. 원격지에서 Goniometer를 제어하기 위해서는 반드시 Gonio Server 접속을 통한 제어를 요청해야 한다. 신규 개발의 경우 Gonio Server를 원격지에서 제어할 수 있도록 Fig. 5와 같이 Grid Web Services Server를 두었다.

Goniometer 원격 제어와 함께 SP100W를 이용한 실시간 동영상 및 사진 데이터의 획득과 온라인 전송을 구현하였다. 원격 유저가 원격지에서 컴퓨터를 이용하여 데이터 획득을 할 경우 Goniometer 제어와 더불어 시편의 이미지를 관찰하고 획득해야 하기 때문에 이에 대한 구현이 필요하다. SP100W는 DigitalMicroscopy라는 프로그램을 통해서 모든 제어를 수행하기 때문에 본 원격 제어 프로그램도 이 소프트웨어 제어를 통해서 데이터를 획득한다.

Fig. 6은 인터넷을 이용한 실시간 동영상 전송 및 이미지 촬영 전송 단계 구성도이다. 구성도를 보면 크게 동영상 전송과 사진 이미지 획득이라는 두 가지로 구성되어 있다.

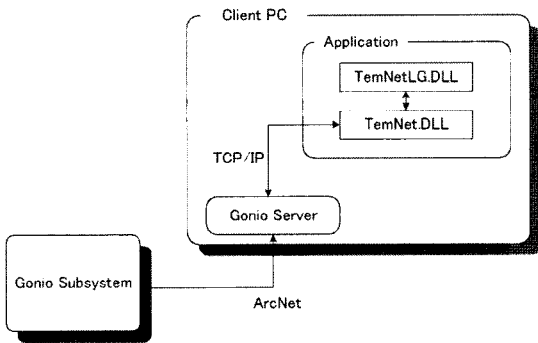


Fig. 5. HVEM goniometer access.

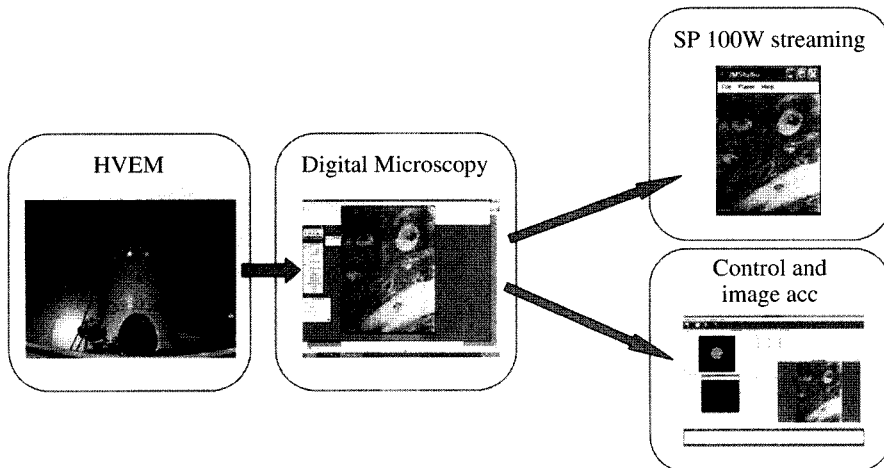


Fig. 6. Grid streaming and image data transmission using HVEM SP100W.

동영상의 경우 원격제어 소프트웨어에서는 SP100W의 동영상을 620*480의 DV (Digital Video)급으로 실시간 전송한다. 인터넷을 이용한 HVEM 시편 동영상의 경우 SP100W 영상을 제공하기 위해서 Java Media FrameWork라는 소프트웨어와 RBND를 개조하였다. Java Media Framework는 620*480 사이즈의 동영상을 컴퓨터 모니터에 보여주는 역할을 하며, RBND는 Java Media Framework에 나오는 동영상을 인터넷을 통해서 외부 컴퓨터로 전송하는 역할을 한다.

사진 이미지의 경우에는 최종 실험 데이터이기 때문에 오프라인 작업 때와 똑같은 사진의 해상도 및 이미지의 질을 제공해야 한다. 이를 위해서 원격 제어 소프트웨어는 Digital Micrography를 이용하여 시편의 사진을 획득하게 하였다. 따라서 오프라인에서와 같은 1,600*1,200 사이즈의 선명한 사진 데이터를 촬영한다. 그 후 원격지의 컴퓨터에 사진 데이터를 전송할 수 있도록 소프트웨어를 작성하여 자신이 실험한 데이터를 실험 중에 자신의 컴퓨터로 전송할 수 있다.

HVEM 원격제어 테스트 환경

실험에 있어서 필요한 네트워크 대역폭의 경우 영상 전송을 위해서는 약 15~20 M bps가 필요하다.

HVEM 원격 제어 테스트는 2005년 11월 12일, 13일 미국 시애틀 컨벤션센터에서 열린 "Super Computing 2005" 행사에서 실시하였다. 즉 KBSI와 KISTI (Korea Institute of Science and Technology Information)의 경우 KREONET으로 연결되어 있고 망의 대역폭은 10G bps로 구성되었다. KISTI와 미국 시애틀의 경우 글로리아드 (GLORIAD) 망으로 연결되어 있고 역시 10G bps 대역폭을 할당되어 있으며 마지막으로 행사장까지 1G bps로 연결되었다.

실험을 위해서 KBSI와 시애틀 간 커뮤니케이션은 인터넷 메시지를 사용하였다.

실험에 사용된 시료는 250 nm 두께의 쥐 뇌세포 절편을 사용하였다. 원격 관찰을 위한 사전 준비 작업으로 HVEM실 오퍼레이터는 가속 전압 셋팅과 함께 빔 정렬 등의 기본 조정을 한다. 시편을 장착한 후 오퍼레이터의 일은 끝나고 원격지의 유저가 원격 제어 시스템을 통해서 이미지를 관찰할 수 있도록 제어권을



Fig. 7. HVEM remote access control demo.

넘긴다. 원격유저는 원격 제어 시스템을 통해 실제 장비 운영과 동일한 작업을 컴퓨터 모니터를 통하여 수행하게 된다. Fig. 7은 원격 유저가 HVEM 원격 제어 시스템을 통해 HVEM을 제어하고, 원하는 데이터를 획득하는 모습이다. 원격 유저는 컴퓨터를 통해서 자신이 관찰하고자 하는 이미지를 실시간 동영상을 통해서 관찰할 수 있고, 원하는 이미지를 촬영 곧바로 자신의 컴퓨터에 저장하고 직접 확인할 수 있다.

결과 및 고찰

아래의 Fig. 8은 원격제어 시스템을 통해 실시간으로 시편의 이미지를 관찰하는 모습이다. 620*480의 해상도로 실시간 동영상을 관찰하며 시편의 위치 정보 및 Tilt 정보까지도 제공한다. 실시간 동영상의 경우 사진에서 보듯이 상당한 화질을 제공하기 때문에 직접 HVEM을 관찰할 때와 비슷한 정도의 해상도를 보여 준다. 현재 개발된 원격 제어 시스템의 경우 시편을 X, Y, Z축을 통해 이동할 수 있고, Tilt 또한 가능하다. KBSI와 시애틀간 거리는 약 9,800 마일로써 원격 제어시 반응 속도 역시 중요한 요소이다. 본 환경에서 테스트 한 경우에는 이미지를 움직이면 약 1.5초 이내에 반응했다. Fig. 9는 시편의 사진 이미지를 원격지에서 촬영 관찰할 때의 모습이다. 사진 이미지의 경우 1,600*1,200의 고화질을 지원하기 때문에 Fig. 9와

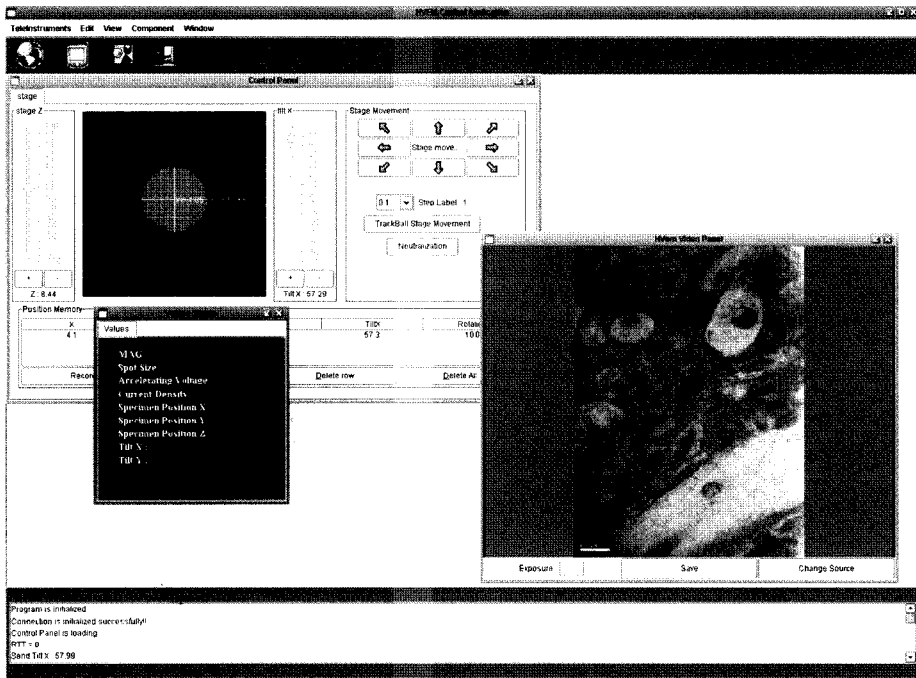


Fig. 8. HVEM remote access control system streaming data (620*480) and goniometer control.

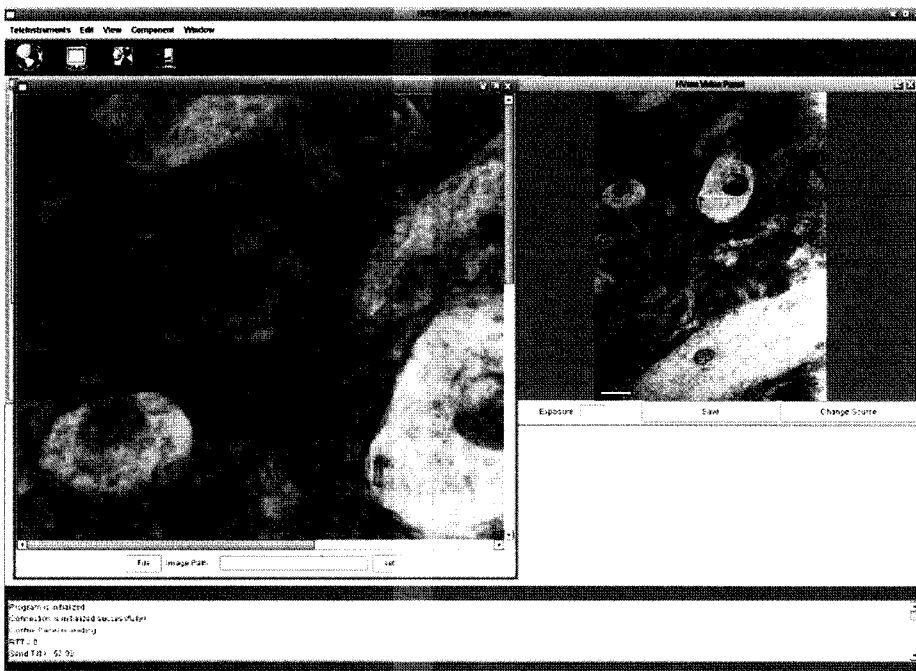


Fig. 9. HVEM remote access system image acquisition (1,600*1,200).

같이 이미지가 상당히 크다. 이미지의 경우 한 장당 약 3~4메가의 고용량을 차지하기 때문에 이미지 촬영 및 획득에 걸리는 시간은 약 3~4초 정도 소비가 되었다.

결 론

국가적 첨단 장비의 공동 활용을 목적으로 수행한 e-Science 구축을 통해 자체 개발한 HVEM 원격 제어 시스템을 시험하여 보았다. 이번 시험으로 한국과 미국의 시차로 인한 근무 외 시간(야간 혹은 새벽)의 활용을 통한 장비 가동율을 더욱 증대시킬 수 있는 가능성을 확인하였다. 본 시험에서와 같이 실험 결과가 직접 장비를 사용하여 획득한 이미지와 질적 차이점이 없으므로 원격 제어 시스템은 앞으로 연구 활용도 면에서 지대한 영향을 미칠 것으로 기대한다. 이러한 원격 제어 시스템을 지속적으로 사용하기 위해서는 다음과 같은 향후 과제가 필요하다.

첫째, 원격 유저의 HVEM 운영 능력에 따른 장비의 오조작에 의한 고장 가능성을 최대한 줄여야 한다. 첨단 장비를 원격 제어하는데 있어서 가장 염려되는 사항은 고장 혹은 오작동에 대한 대응이 쉽지 않다는 것이다. 유저들이 직접 와서 관찰할 경우 숙련된 오퍼레이터들이 HVEM을 조작하기 때문에 발생하는 위험 및 문제점에 즉시 대처할 수 있으나, 원격 유저의 경우 적절한 응급 대응이 어렵다. 따라서 현재 시스템의 경우 원격 운영시 일어날 수 있는 유저 오조작에 의한 고장 가능성을 대비한 안전 시스템을 마련하여야 한다.

둘째, 실험 데이터의 보안성이다. 중요 실험데이터의 경우 보안이 우선시 되어야 한다. 보안이 취약한 인터넷을 사용하기 때문에 시스템 자체적으로 암호화하는 등 최대한 시스템을 보호할 수 있도록 하여야 한다.

마지막으로 직접 HVEM을 사용할 때와 동일한 조작성 및 기능을 제공해야 한다. 이를 위하여 JEOL사 및 Gatan사와의 업무 협조를 통해서 장비 제어를 위한 SDK를 지속적으로 확보하고, 기존의 오프라인 소프트웨어와 최대한 유사하도록 개발하여 원격 유저가 쉽고 강력한 기능을 사용하여 실험을 할 수 있도록 해야 할 것이다.

참 고 문 헌

- Kim YM, Kim JG, Kim YJ, Hur MH, Kwon KH: First Remote Operation of the High Voltage Electron Microscope Newly Installed in KBSI. Korean J Electron Microscopy 34 : 13-21, 2004. (Korean)
- Molina TE, Yang G, Lin AW, Peltier ST, Ellisman MH: A Generalized Service-Oriented Architecture for Remote Control of Scientific Imaging Instruments. Telemicroscopy Escience Paper, 2005 (in print).
- Peltier ST, Martone ME, Lamont S, Lin A, Dai D, Wong M, Mock S, Ellisman MH: The Telescience Portal for Advanced Tomography Applications. J Parallel Distributed Computing. Computational Grid: 539-550, 2002.
- Takaoka A, Toshida K, Mori H, Hayashi S, Ellisman MH: International telemicroscopy with a 3MV ultra high voltage electron microscope. Ultramicroscopy 83 : 93-101, 2000.
- Yoshida K, Takaoka A, Hayashi S, Matsui I: Development of a remote operation system for an ultrahigh voltage electron microscope. J Electron Microscopy 48 : 865-872, 1999.
- Jung IY, Han H, Jung HS, Kim HS, Cho IS, Yeom HY, Ahn YH, Kwon HS, Cho KW, Lee JS: HVEM Grid: Construction of High Voltage Electron Microscope Grid System. Abstracts, 2005 Fall Meeting of HPC Study Group, Korean Society of Informational Science, Abstracts: 139-145, 2005.

< 국문초록 >

가속전압 1.3 MV의 초고전압투과전자현미경의 원격 제어 시스템을 개발하였다. 초고전압투과전자현미경의 운영을 위한 필수적인 기능, 즉 stage 조정, 시편의 tilting, TV 카메라 선택과 영상 저장 등을 원격 운영시스템에 그대로 적용하였다. 특히 이 시스템은 간단한 웹 접속만으로 goniometer를 완벽하고 정밀하게 제어할 수 있으며 고해상도 디지털카메라를 제어할 수 있는 특징을 가지고 있다. 일체의 현미경 제어 신호 및 교신은 글로리아드 망을 통하여 이루어지도록 하였다. 이는 HVEM 원격 운영 시스템을 이용하여 국내는 물론 국제적인 공동 연구를 수행할 수 있는 가상 실험실 구축을 실현할 수 있음을 시사한다.