

# 국제간 고대역 데이터 전송을 위한 새로운 실험 환경

석우진\*, 권윤주\*, 이민선\*

## A New Experimental Environment for International High Bandwidth Data Transfer

Woojin Seok\*, Yoonjoo Kwon\*, Minsun Lee\*

### 요 약

본 논문에서는, 운영체제를 선택할 수 있고, 파워제어가 가능하며, 루트권한으로 사용할 수 있는 시스템으로 구성된, 원격지에서 사용할 수 있는 실험환경을 제안하고자 한다. 고대역 네트워크를 기반으로 하는 국제간 실험 환경을 제공하는 것을 목적으로 한다. 이렇게 하기 위해서, 성능적으로는, 백본 네트워크에 직접 연동되어 고대역의 전송 성능이 가능하여야 하고, 사용자 측면으로는, 운영체제 및 실험 어플리케이션들의 자유로운 설정이 가능하여야 하며, 또한 공유 시스템 환경에서, 사용자의 시스템 환경을 연속적으로 지속할 수 있어야 한다. 실험환경에 대한 사용자 편의성과 시스템을 구성하는 시간에 걸리는 반응성을 관점으로, 제안하는 실험환경이 사용자들에게 얼마나 유용한지 보여주하고자 한다. 제안하는 방안은, 국제간 과학기술 협업 실험의 연구들을 하는 많은 연구자들에게 새로운 실험 환경을 제공하게 될 것이다.

**Key Words** : Experiment, High Bandwidth, Data Transfer, Network, GLORIAD

### ABSTRACT

In this paper, we propose an experimental environment which can be accessed by remote users, where they can select their preferred operating system, and they can use the Power Controllable systems with full permission to access them. The goal of the proposed systems is to provide an experimental environment for the users to join the international experiment that needs high bandwidth network. In order to do that, we provide high performance systems that is directly connected to back-bone network, and we also provide the ability of users to install any application on various operating system. In addition, we provide the ability to keep continuing the system environment of users in shared system environment. We will show how the proposed systems are useful for the users in terms of the user-efficiency to utilize the environment and the response time for the set-up time. This new proposed environments will provide a new experimental method for the scientists who works for international collaborative experimental researches.

### I. 서 론

최근 들어 국제간 백본 네트워크의 고속화로, 많은 연구자들이 네트워크를 통한 국제간 과학기술 연구를

많이 하게 되었다. 국제간 과학기술 연구는 대용량 데이터 전송을 요구하는데, 이는 고속화된 국제간 네트워크를 바탕으로 수행된다. 글로리아드는 이러한 대용량의 데이터 전송을 위한 10기가급의 환경 국제

• 주저자 : 한국과학기술정보연구원, 첨단연구망센터, wjseok@kisti.re.kr, 정희원

\* 한국과학기술정보연구원, 첨단연구망센터, yulli@kisti.re.kr, 정희원, mleeoh@kisti.re.kr

논문번호 : KICS2012-06-281, 접수일자 : 2012년 6월 18일, 최종논문접수일자 : 2013년 1월 7일

간 연구망이다<sup>[1]</sup>. 글로리아드를 통해서 한국, 미국, 유럽, 중국 등의 국제간 대용량의 데이터의 실시간 고품질 전송이 가능해졌다. 대용량의 물리데이터 전송, 전파망원경 데이터의 실시간 전송, 의과학분야의 영상이미지 전송, 분산/병렬 컴퓨팅 및 그리드 컴퓨팅, 원격 협업 연구<sup>[2]</sup> 등에서 국제간 과학기술 실험을 증가시키는 계기가 되었다.

이러한 과학기술 분야 연구는, 전송대상 데이터의 대용량화, 데이터의 비손실 전송 및 원거리 전송의 특성을 가진다. 원거리 상에서의 대용량 데이터를 손실 없이 전송하기 위해서는, 백본 네트워크와 에지 네트워크의 대역 및 주변 트래픽 상황, 전송 프로토콜의 성능, 그리고 전송 서버의 성능 등이 복합적으로 작용한다. 글로리아드와 같은 고대역의 백본 네트워크에서의 국제간 전송에서는 - 백본 네트워크 성능이 좋아졌음으로 인하여 - 종단 간 전송에 대한 성능 장애요인은 오히려 전송 서버와 에지 네트워크에 있게 된다<sup>[3]</sup>.



그림 1. 원격협업연구  
Fig. 1. Remote Collaborative Research

그래서 글로리아드를 통한 국제간 과학기술 연구에서 수행되는 데이터 전송을 위해서, 에지 네트워크 성능 향상과 전송서버의 성능향상이 요구된다. 하지만 국제간 과학기술의 최종 사용자 시스템이 존재하는 에지 네트워크는 글로리아드처럼 고대역이 아니며, 또한 주변 트래픽의 양도 상당하며, QoS(Quality of Service) 서비스 적용도 쉽지 않은 상황이다. 이러한 요인들이 글로리아드를 통한 국제간 대용량 전송 실험의 장애요인으로 존재한다.

본 논문에서는 국제간 과학기술 연구에서 수행되는 이러한 장애요인을 해결하기 위하여, 그림 2와 같이 고성능의 전송서버를 글로리아드 백본에 직접 연결하고, 연구자들이 공유하는 방식을 제안한다.

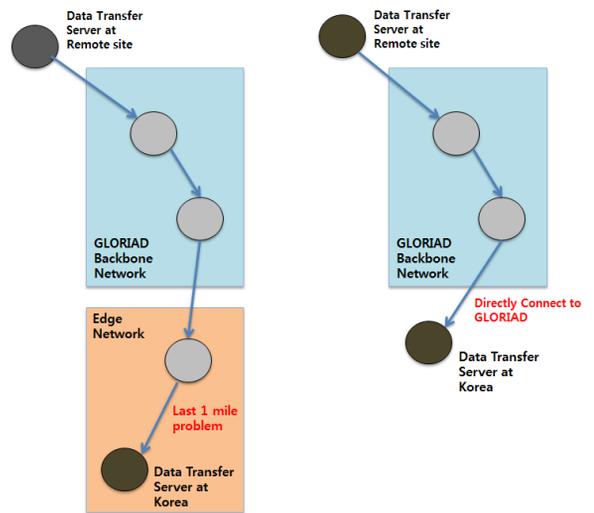


그림 2. (좌) 일반적인 국제간 실험 구성도  
(우) 제안하는 국제간 실험 구성도  
Fig. 2. (Left) Normal International Experiment Topology  
(Right) Proposed International Experiment Topology

전송 서버는 네트워크 성능에 최적화된 고성능 서버이며, 에지 네트워크의 성능 저하 요인을 제거하기 위하여, 글로리아드 백본 네트워크에 직접 연동시켰다. 하지만 과학기술 연구자들이 공유하여 각자의 해당 국제간 연구를 수행하기 위해서는, 전송 서버의 사용에 있어서, 다음의 추가적인 환경이 요구된다.

- 1) 사용자는 다양한 운영체제를 요구한다.
- 2) 사용자는 루트 권한을 요구한다.
- 3) 사용자는 파워제어 등을 포함한 하드웨어 관리를 요구한다.

국제간 과학연구를 수행하는 연구자들은 각 연구 분야별로 전문적인 어플리케이션을 구동시키는 경향이 있다. 예를 들면, 데이터 전송을 위하여 GridFTP가 필요한 분야가 있고, SCP가 필요한 분야가 있다. 이러한 어플리케이션과 더불어 각 연구 분야의 어플리케이션 동작에 종속적인 운영체제가 설치되어야 하며 또한 루트 권한을 동시에 부여되어야 한다. 이는 국제간 실험 시, 필요한 다양한 연구자들의 시스템 사용이 루트 권한이 요구되는 작업이 많기 때문이다. 예를 들면, 데이터 전송을 위한 시스템 버퍼 설정 등이 여기에 해당한다. 또한 국제간 실험 도중에 시스템 등의 오동작 및 구동 정지 등이 발생할 수 있기 때문에 전원 제어도 같이 제공되면 편리할 것이다.

본 논문에서는 국제간 대용량 데이터에 대한 연구 환경을 제안하고자 한다. 제안하는 연구 환경은, 다

양한 운영체제, 루트권한, 파워제어가 가능한 고성능 대용량 서버를 백본에 직접 연동한 시스템으로 구성될 것이다. 제안되는 방식에서, 사용자들의 개인의 연구실에서 수행되는 국제간 실험들이 글로리아드 백본 네트워크에 직접 연동된 환경에서 수행되게 될 것이다. 전송 성능이 향상되는 이점이 있지만, 다양한 사용자들의 다양한 연구 형태나 환경을 시스템적으로 구현해 주어야 하는 기술적인 어려움을 해결해야 한다.

본 논문에서는 또한, 글로리아드에 직접 연동된 서버로 이루어진 환경에서 다양한 사용자들의 다양한 연구 형태나 환경을 구현해 주는 기술적인 방법으로 운영체제 이미지 관리 기술을 사용하고자 한다. 본 논문에서, 운영체제 이미지 관리 기술이라 함은 사용자가 선호하는 운영체제와 어플리케이션이 설치되어 있는 시스템 환경을 통째로 저장해 놓았다가 이후 재사용하는 방식을 의미한다. 기술적으로, 운영체제 및 루트 파일 시스템의 이미지를 스냅샷하는 기술을 사용한다. 사용자의 편의에 맞게 구성된 시스템의 현재 상태를 스냅샷 기술을 사용하여 그대로 보존하는 것이다. 사용자들이 자신의 연구 형태에 맞는 시스템 설정을 사용하고 저장하여 재사용하는 방식을 가지는 연구 환경을 글로리아드 백본에 직접 연동되어 제공하고자 한다.

이러한 방식의 접근은 네트워크 테스트베드 관점에서 유타대학교의 Emulab<sup>[4]</sup>에서 제공되는 기술이기도 하다. 하지만 Emulab에서는 폐쇄된 클러스터형 시스템에서 사용자에게 할당된 실험 노드에 사용자들이 설치한 어플리케이션들이 설치되어 있는 운영체제 이미지를 재사용하는 방식을 취하고 있다. 제안하는 방식은, 글로리아드 같이 항상 운영되는 네트워크를 기반으로 하는 개방된 시스템 간에 이러한 운영체제 이미지를 관리하는 방법으로 사용자들에게 각자의 맞춤형 연구 환경을 제공하자는 것이다.

본 논문에서는, 다수의 연구자들이 공유할 수 있는 이러한 연구 환경의 구성과 기능을 소개하며, 또한 제안하는 연구 환경이 사용자들의 연구 형태에 적합한지에 대한 편리성을 토의하며, 제안하는 연구 환경이 사용자들에게 제공되기까지의 준비시간(혹은 반응시간)-원하는 운영체제 등의 환경이 설치되는 과정에 소요되는 시간-이 어느 정도 걸리는지를 측정하고 그 결과치가 합리적인지를 토의하고자 한다.

본 논문에서 제안하는 새로운 실험환경은, 국제간 네트워크를 통해서 과학기술 실험을 하는 많은 연구자들에게 새롭고 효율적인 환경을 제공하게 될 것이다.

## II. 관련 연구들

연구 및 기술 개발을 위한 연구 환경에 대한 연구는 미국을 중심으로 2000년 초부터 활발히 진행되어 왔다. 유타대학교를 중심으로 하는 Emulab-유타대학교에서 제공하는 테스트베드의 이름-은 네트워크 및 시스템에 관련된 실험 및 테스트를 위한 에뮬레이션 기반의 테스트베드 환경을 제공한다<sup>[4]</sup>. Emulab은 큰 규모의 테스트베드로써, 여러 가지 토폴로지의 가상의 네트워크 링크 연결 구조를 가지는 환경을 설정할 수 있다. 또한 여러 가지 무선 네트워크 환경 등과 같은 다양한 하부 인프라의 실험 환경을 제공하고 있다. Emulab은 서버에 구현된 소프트웨어를 중심으로 수백의 실험노드를 제어할 수 있으며 이를 통해서 사용자들에게 수개에서 수백의 노드를 여러 가지의 연결 구조를 가지는 실험 환경을 제공하고 있다. 현재 전 세계에 10여 사이트에서 구축되어 사용자들에게 네트워크 연구에 관련된 연구 환경을 제공하고 있다. 또한 전 세계에 흩어져 구축된 이러한 사이트들을 연동시키는 ProtoGENI 플랫폼을 개발하고 있으며, 이를 통해 전 세계의 여러 Emulab 사이트들을 연동하여 해당 실험 노드들을 공유하고자 한다<sup>[5]</sup>.

프린스턴대학을 중심으로 한 PlanetLab-프린스턴대학을 중심으로 하는 연합체에서 제공하는 테스트베드 이름-은 분산된 실험노드로 전 세계로 흩어져 구성된 대규모의 테스트베드이다<sup>[6]</sup>. 분산된 실험노드는 클러스터형으로 구성된 Emulab과는 달리 전 세계에 흩어져 있으며 독립적으로 운영되고 있다. 모든 실험노드는 공통의 소프트웨어가 구동되고 있으며, PLC(PlanetLab Central)에 의해서 운영되고 있다. 유럽과 일본에 이러한 PLC의 인스턴스가 운영되고 있다. PlanetLab에서는 이러한 인스턴스간의 연동이 밀접하고 직접적으로 되어 있어, 상호신뢰 등의 인증을 파티션하지 않는 정책을 사용하고 있다.

Emulab과 PlanetLab과 더불어, ORBIT-렛거스 대학에서 제공하는 무선네트워크 테스트베드의 이름-과 StarBed-일본 NICT에서 제공하는 클러스터형 테스트베드의 이름-역시 연구자들을 위한 실험환경을 제공하는데, 중앙 집중식에 의한 사용, 정책, 관리를 구현하고 있다<sup>[7,8]</sup>. 특히 ORBIT은 무선망을 기반으로 하는 실험노드를 제공하고 있으며, 무선 전달 신호의 특성상 동시에 여러 사용자들이 공유하지 못하는 특성을 지닌다. 또한 StarBed는 가상화를 중심으로 수천의 실험노드를 생성할 수 있는 실험환경을

제공하는 특성을 가지고 있다.

이렇게 제안된 여러 가지 방법들은, 각 제안된 테스트베드내의 실험 도메인내의 테스트 및 실험이 수행된다. Emulab의 경우는 클러스터형 시스템으로 구성된 도메인 내에서 수행되고, PlanetLab의 경우는 원거리 상의 여러 노드로 구성된 도메인 내에서 수행된다. 요청되는 테스트 및 실험을 위해서, 가능한 테스트베드 노드를 할당하고, 사용자들에게 사용권한을 부여한다. 사용권한을 부여받은 실험노드 간에 다양한 테스트와 실험을 수행하게 되며, 여기에서 발생하는 네트워크 트래픽은 해당 실험 도메인 내에 존재하게 된다.

하지만, 본 논문에서 제안하는 실험환경은, 트래픽이 실험 도메인에 한정되는 것이 아니라, 외부의 실험 상대 노드와의 실험을 수행하게 된다. 즉 실험 도메인이 한정되어 있지 않고 개방되어 있으며, 또한 외부 노드와의 테스트 및 실험이 가능하게 된다.

또한, Emulab의 경우는 사용자의 편의성을 증대하기 위해서 사용자들이 사용하고 있는 운영체제 이미지를 그대로 저장하는 방식을 취하고 있다. 저장된 운영체제 이미지는 테스트베드 관리서버에 저장되어 추후 사용자의 요청에 의해서 재사용된다. 본 논문에서 제안하는 실험환경 역시 이러한 운영체제 이미지를 사용자의 요구에 의해서 저장하여 관리하는 방식으로 사용자의 편의성을 높였으며, 특히 본 논문에서 제안하는 방식은 폐쇄된 네트워크가 아닌 개방된 고성능 네트워크에서 실험노드를 할당하는 방식을 사용하였다.

### III. 새로운 실험환경 제안

본 장에서는 국제간 과학기술 연구를 위하여 제안하는 새로운 실험환경의 시스템 구성과 각 요소의 기능에 대해서 살펴보고자 한다. 사용자들에게 제공될 시스템은 다음과 같은 요구사항을 만족시키도록 구성되었다.

- Last 1 Mile 문제 해결  
병목현상이 발생하는 에지 네트워크의 성능향상을 위하여, 전송서버를 글로리아드 백본 네트워크에 직접 연결하여 제공함.
- 루트 권한 제공 및 다양한 운영체제 제공  
사용자가 국제간 실험을 자유롭게 하기 위해서는, 제공되는 전송 서버에 대해서 루트 권한과 다양한 운영체제를 제공함.

- 파워제어를 포함한 하드웨어 제어 제공  
원격지 시스템을 사용하는 과정에서 발생하는 시스템 장애 등을 해결하기 위해서 시스템의 전원을 제어할 수 있는 기능을 제공함.
- 운영체제 이미지 재사용 기능 제공  
사용자가 실험노드에서 설정된 운영체제 및 어플리케이션들의 이미지를 저장하여 재사용할 수 있게 하여, 실험의 연속성 및 편의성 제공함.

제안하는 실험환경은 위와 같은 요구사항을 만족시키도록 설계되었다. 사용자에게 다양한 운영체제를 제공하기 위해서 다양한 운영체제의 이미지를 저장소에 저장해 두었다가 사용자의 요청에 의해서 설치되도록 하였다. 또한 이때 제공되는 계정은 루트 권한의 계정으로 제공되어 사용자가 여러 가지 어플리케이션 등을 설치하는데 어려움이 없도록 제공하였다. 파워제어를 위해서 파워제어 하드웨어를 추가로 구축하여 전송서버에 연동하도록 하였다. 이후 사용자의 마지막 사용 상태에서의 운영체제 이미지를 저장하여 사용자의 실험의 연속성을 보장하였으며, 이러한 사용으로 글로리아드 백본에 연동된 시스템에서의 연구 환경이 마치 개인의 연구실에서 수행되는 것과 같은 편의성을 제공하였다.

#### 3.1. 시스템 전체 구성

시스템은 전체적으로 WC(Web and Control), SS(Site Server), FS(Front Server), PC(Power Controller)로 구성된다. 그림 3은 제안된 시스템의 전체 구성을 보여주고 있다. 사용자의 요청으로 사용자에게 할당되는 시스템은 FS이며, 이러한 요청을 받아들이는 WC와 FS의 대용량 홈디렉토리 기능을 수행하는 SS로 구성되어 있다.

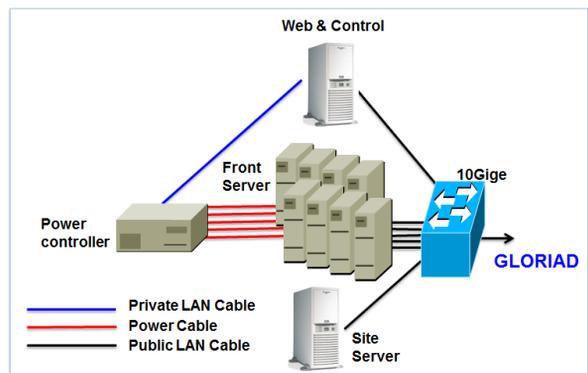


그림 3. 전체 시스템 구성  
Fig. 3. The Overall Layout of System

WC는 사용자 인터페이스의 역할을 수행하는 웹 페이지 기능, 여러 가지 운영체제 이미지가 저장되는 저장소 기능 및 PXE(Pre-eXecution Environment) 부팅 참여 기능을 수행한다. 또한 WC는 PC를 제어할 수 있는 사설 네트워크로 연결되어 있다. PC를 통해서 FS의 전원을 ON, OFF, CYCLE 할 수 있게 3가지 동작의 전원 제어기능을 제공한다.

SS는 사용자의 홈디렉토리를 구성하는 서버로써, 사용자의 요청으로 할당되는 FS와 네트워크 파일 시스템으로 연결된다. SS에서의 사용자의 권한은 사용자 권한이나, FS는 루트 권한으로 제공되어야 한다.

FS는 사용자가 실험에 사용하게 될 시스템으로, SS와 파일시스템으로 연동되어 있다. FS의 전원은 PC에 의해서 제어되도록 되어 있다. FS에서 부팅되는 운영체제는 사용자의 요청으로 WC를 통해서 선택되고 FS로 이미지가 로딩되어 부팅된다.

FS와 SS 는 10기가 스위치로 연동되어 있다. 이는 네트워크 파일 시스템으로 연결되어 실험을 수행할 때 성능저하가 발생하지 않도록 하기 위해서이다. 또한 운영체제가 빠르게 FS로 로딩되고 부팅될 수 있게 WC 역시 10기가 스위치로 연결되어 있다.

### 3.2. 실험의 생성과 종료

실험이란, 제한한 실험환경에서 FS 시스템을 할당받기 위하여 생성된 작업단위이며, 생성된 실험을 통하여 사용자가 글로리아드를 통하여 국제간 데이터 전송 등의 작업을 수행하게 된다. 이러한 실험의 생성은 해당 사용자에게 의해서 웹을 통해서 생성되며, 실험명과 실험내용요약을 작성하며, 또한 FS 대수 및 OS 종류를 선택하게 된다.

실험생성 명령은 결국 다음 3가지 순차적인 수행을 유도하게 된다, (1) 해당 FS의 전원을 ON 시키고 (2) FS의 PXE 부팅과 운영체제 이미지 로딩 및 부팅 (3) FS와 SS 의 네트워크 파일 시스템 설정.

생성된 실험에 참여하고 싶은 사용자는 Join 방식에 의해 참여한다. Join 방식은 웹에서 제공되며, Join 하게 될 실험 명을 적게 된다. Join 에 대해서는 실험 최초 생성자의 허락을 통해서 Join 참여를 허락받게 된다. Join 방식으로 해당 실험에 참여함으로써 실험 환경 및 결과 등을 공유할 수 있으므로 여러 사람의 공동 실험에 사용될 예정이다.

실험의 종료는 세 가지, 즉 ‘Swap out’, ‘Expired out’, ‘Terminate’에 의해서 수행된다. 사용자는 웹에서 ‘Terminate’ 혹은 ‘Swapout’을 선택함으로써 수행되며, 또한 일정시간이 경과하여 자동으로 실험이 종

료(‘Expired out’)된다. 그래서 실험은, 사용자의 FS 시스템 요구, FS 시스템 할당, FS 시스템 사용이라는 일련의 과정을 거쳐서 실험이 수행되게 된다.

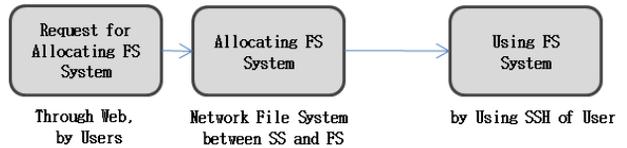


그림 4. FS 시스템 신청과정  
Fig. 4. The Process to Request System

### 3.3. 구성 요소의 상세 역할

WC는, 웹 서버, DHCP 서버, TFTP 서버, 이미지 저장소, 제어 서버 역할을 수행한다. 웹 서버로써, 웹을 통해서 실험 생성을 처리하게 된다. 또한 실험의 ‘Swap out’과 ‘Terminate’를 처리하게 된다. FS 시스템에 해당 운영체제를 로딩 및 부팅하기 위해서, DHCP 서버와 TFTP 서버의 역할을 수행하게 된다. 제어 서버로써, 전원 제어를 위한 PC(Power Controller) 제어 역할을 수행한다.

SS는 파일서버의 기능을 수행한다. 사용자의 홈디렉토리는 SS에 생성된다. SS의 홈디렉토리와 FS 시스템은 네트워크 파일시스템으로 연동된다. 이렇게 구성하는 이유는, 대용량을 처리하는 실험에서 대용량의 데이터를 저장하기 위해서 파일서버를 별도로 설치하고, 사용자의 홈디렉토리로 사용하도록 한 것이다. 또한 이러한 홈디렉토리를 실험 생성으로부터 할당된 FS 시스템에 연동되어 사용되어야 하므로 네트워크 파일 시스템으로 SS 시스템과 FS 시스템을 연동하도록 하였다. 특히 이렇게 네트워크 파일 시스템으로 연동된 SS 시스템과 FS 시스템에서, 사용자의 디렉토리 액세스 권한의 차이를 두었다. 즉, 사용자는 SS 시스템의 홈디렉토리를 사용 시 SS시스템에 대해서는 사용자 권한이지만, FS 시스템에 대해서는 루트 권한으로 수행된다. SS시스템과 FS시스템은 전송상의 성능을 고려하여, 10기가 스위치로 연결하였다.

FS 시스템은, PXE 부팅 클라이언트의 역할을 수행하여 부팅이 이루어진다. PC에 의해서 전원이 ON된 FS 시스템은 PXE 부팅을 요청하게 되고, 운영체제 로딩 및 부팅의 일련의 절차를 거치게 된다. FS의 초기 상태는 전원 OFF 상태이다. 이는 에너지 절약 차원이기도 하며, 사용자의 사용형태를 고려한 것이다. 본 시스템은 사용자들의 국제간 대용량 전송 실험 등을 지원하는 것으로, 짧은 시간에 많은 실험

요청이 있는 서비스 유형이라기보다는, 하나의 실험에 대해서 FS 할당되면, 1주일 정도에서 수주일의 장기간 사용의 유형을 가지는 서비스이기 때문이다. 그림 5에서, 이상의 설명에 대한 FS 시스템의 상태 전이도를 보여주고 있다.

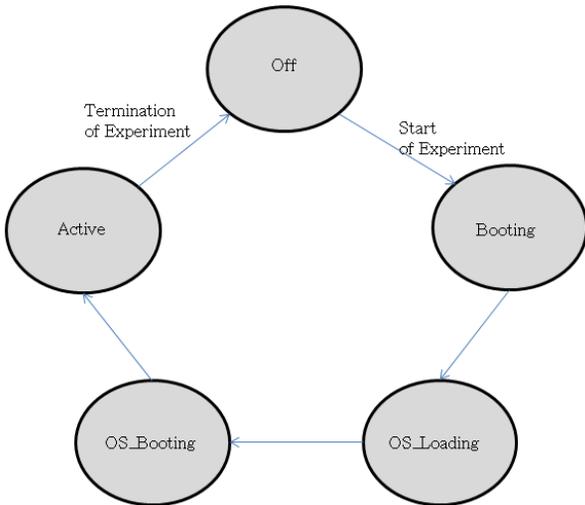


그림 5. 실험 시스템 상태 전이도  
Fig. 5. State Diagram of Experiment System

각 구성요소들은, DHCP, TFTP, NFS를 이용한 파일서버, 원격 부팅 등을 포함하는 여러 가지 기능들을 수행하고 있다. 또한 운영체제의 이미지를 스냅샷하여 제공함으로써, 사용자들은 본인의 실험 환경을 저장하여 사용할 수 있는 환경을 가질 수 있다. 또한 실험환경을 공유하는 물리적 환경에서 사용자의 고유의 환경을 연속적으로 사용할 수 있도록 유지할 수 있는 것이다. 이러한 형태의 연구 환경을 고성능 네트워크 백본에 위치시킴으로써, 사용자의 해당 실험실까지 고성능 네트워크를 구현시켜야 하는 문제점을 해결하기 위한 방법으로 제안하는 바이다.

#### IV. 실험환경 성능 토의

본 논문에서 제안하는 실험환경은 사용자의 편의를 위해서 다양한 OS와 복수개의 실험노드를 제공하며 그 노드들이 글로리아드 백본에 직접 연결되어 있다. 사용자는 SSH를 통하여 할당된 실험노드에 접속하게 되고, 실험노드의 사용을 마치면 실험 종료 를 통해서 할당된 노드를 반환한다.

제안하는 실험 환경에서 갖추어야 할 사항으로, 본 실험 환경이 제공할 수 있는 (1)편의성과 (2)반응성에 대해서 논하고자 한다. 편의성은 캠퍼스 네트워

크를 통한 시스템으로 실험을 하는 기존방식과 제안하는 방식에서의 편의성을 비교하는 것이며, 반응성은 시스템을 사용자가 원하는 OS와 실험노드 대수를 구성하여 준비시키는 데 걸리는 시간이다.

##### 4.1. 편의성

기존의 방식과 제안하는 방식에 대한 비교를 아래 표 1에서 하고 있다. 기존의 방식에서 발생하는 ‘last 1 mile problem’은 사용자 시스템이 캠퍼스 네트워크에서 존재하는 구조적인 문제점으로 발생한다. 이는 실험의 국제간 전송 성능에 심각한 저하를 발생시킨다. 이에 비해, 제안된 방식은 글로리아드 백본에 직접 연동된 실험노드를 할당 받아 사용하게 되므로, ‘last 1 mile problem’으로 인한 성능 저하는 발생하지 않는다. 백본에 직접 연동된 실험노드들은 10기가 이더넷 네트워크를 통해서 10기가 스위치에 직접 연동되어 있으며 이는 글로리아드에 직접 연동되어 있다.

기존방식은 사용자의 전용시스템을 사용하므로, 사용자가 원하는 OS가 설치되어 사용되고 있다. 하지만 제안하는 실험 방식에서는, 공용의 실험노드들을 다수의 사용자가 공유하는 방식이다. 이에 본 실험 환경에서는 사용자의 원하는 OS를 선택하면 미리 준비되어진 OS 이미지를 해당 실험 노드에 설치 및 부팅되는 과정을 거치게 된다. 이러한 방식을 통하여 공유하는 실험노드이지만, 사용자의 입장에서는 전용의 시스템을 사용하는 것과 환경의 차이를 느끼지 못한다.

기존 방식은 사용자의 원하는 어플리케이션을 설치하고 그러한 환경에서 지속적으로 사용하고 있다. 제안하는 방식은 공유된 시스템을 사용하지만, 할당 받은 시스템에 대해서 루트의 권한을 부여받기 때문에 원하는 어플리케이션을 자유로이 설치할 수 있다. 또한 할당 노드의 사용 후, 해당 노드의 마지막 상태를 그대로 저장하고 후에 재사용할 수 있기 때문에 전용의 시스템에서 어플리케이션을 자유로이 설치되고 지속적으로 사용하는 것과 같은 환경을 제공한다.

표 1. 제안한 방식과 기존의 방식의 차이

Table 1. The Differences of The Proposed and The Conventional Method

	conventional method	proposed method
Network Performance	last 1 mile problem	The servers can connect directly to GLORIAD backbone network
Operating System	Using Dedicated System	Users can use the preferred OS and can keep continuing users customized the system environment by storing the last system image based the OS
Application		Users can store the whole system environment including the applications after installing applications and they can install the applications with root permission
Data		User data is stored in file system belonging to the account of the user, and the file system is configured NFS, and this makes users be able to access them without opening or creating a experiment.

표 2. 제안된 방식의 장점과 단점

Table 2. Pros and Cons of The Proposed Method

Pros.	Cons.
High Performance Backbone Network	Fixed Network Route Path
Optimized System for Data Transfer	
High Capacity File System	The Possibility of System Allocating Failure
unnecessariness for System Management	

표 3. 실험 시스템 사양

Table 3. The Specification of The Experiment System

System	Dell R710
Storage	4 Tera bytes Swap type
Redundancy for Data Backup	RAID 0
OS	Centos 5.5

기존 방식은 사용자의 시스템에 데이터가 항상 저장 및 관리되나, 제안하는 방식은 그 데이터의 관리를 파일서버를 통해서 저장 및 관리가 이루어진다. 이 파일 시스템은 실험이 수행될 때 실험노드와 네트워크 파일 시스템을 통해서 실험에 관여되는 데이터의 읽기 및 쓰기에 관여되며, 실험 후에도 지속적으로 존재하게 된다. 또한 실험의 수행과는 관계없이 사용자의 접근이 허용이 된다.

제안된 방식은, 고성능의 네트워크를 위해서 글로리아드 백본에 직접 연동된 시스템으로 고사양의 파일시스템과 실험시스템으로 구성되어 있다. 하지만 시스템을 공유하는 방식으로 여러 사용자가 제한된 대수의 실험 시스템을 공유하여 사용하게 된다.

이러한 이유로, 제안된 방식에서는 고속의 백본 네트워크를 사용하게 되어 네트워크 전송에 대해서 기존의 방식에 비해서 네트워크 속도가 훨씬 더 높게 된다. 즉 'last 1 mile problem'이 생기지 않게 된다. 또한 제공되는 시스템이 네트워크 전송 효율에 최적화하여 시스템을 제공하게 되어, 네트워크 전송

시 발생하는 시스템에서의 병목현상이 발생하지 않는다. 여기에는 TCP(Transmission Control Protocol) 버퍼크기, MTU(Maximum Transfer Unit) 크기 등이 해당된다. 데이터 전송에 최적화되지 않은 많은 시스템들이 전송에 참여하는 경우도 많기 때문에, 사용자의 입장에서는 고성능 전송에 최적화된 시스템이 제공되는 것이 사용상에 더욱 효과적일 것이다. 또한 대용량의 파일 시스템을 제공하므로 기존의 시스템에서는 감당하기 힘들었던 용량의 데이터에 대해서도 전송 실험이 가능하게 되었다. 또한 사용자는 더 이상 시스템의 관리를 할 필요가 없게 되었다.

반면에, 제안하는 방식에서 제공되는 시스템이 글로리아드 백본 네트워크에 고정적으로 연동되어 있으므로, 경로가 항상 고정이라는 점에서, 여러 경로의 경우가 필요한 특정 실험에 대해서는 제약이 따른다는 단점이 있다. 또한 제한된 개수의 실험 시스템을 제공하므로, 간혹 시스템이 사용자에게 배정하지 못하는 단점도 있다.

#### 4.2. 반응성

반응성은, 실험 시스템이 생성되어 사용자에게 할당되어 전까지 소요되는 시간이며, 시스템이 부팅되고 해당 OS가 로딩되고 부팅되는 시간을 모두 합한 시간이다. 본 논문에서는 Dell R710 시스템으로 RAID 0로 구성하였다. 제공되는 운영체제는 CENTOS 5.5로 하였다.

먼저, Centos 5.5 운영체제에 대한 이미지는 Dell R710 시스템에서 imagezip 명령으로 이미지를 백업 받은 것을 사용하였다. 이렇게 백업 받게 된 이미지는 WC에 저장되게 된다. 실험노드의 시스템이 할당되게 되면, 해당 실험노드에게 저장된 운영체제 이미지가 WC로부터 FS로 전송된다. 전송이 이후, FS는 전송되어 설치된 CENTOS 운영체제를 통해서 부팅하게 된다. 이러한 일련의 과정을 통해서 실험노드인 FS가 사용자에게 할당되어 사용이 준비되게 된다. 여기에 소요된 총 사용시간을 본 논문에서는 반응시간이라 한다. 그래서 반응시간은 FS 시스템이 부팅하는 시간과 WC에 저장된 운영체제 이미지가 전송되는 시간, 그리고 전송되어 로딩된 운영체제가 부팅되는 시간으로 나뉘질 수 있다.

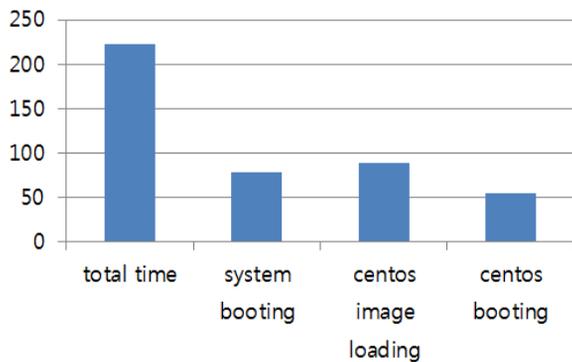


그림 6. 반응성 시간 측정 (Y축: 초)  
Fig. 6. Measurement of Response Time (Y axis:second)

본 논문에서는 해당 서버 2대, 즉 WC와 FS 사이에 발생하는 시간을 초단위로 측정하였다. 측정된 시간으로써 반응시간을 분석하고자 한다. FS시스템 부팅에 소요되는 시간은 약 75초, 운영체제가 시스템에 로딩되는 시간은 약 95초, 로딩된 운영체제가 부팅되는 시간은 약 55초 정도 소요되었다. 그래서 총 225초 정도 소요되었다.

FS시스템 부팅에 소요되는 시간은, 시스템에 전원이 들어오고 BIOS(Basic Input Output System)을 수행하고, RAID 0을 설정하는 시간과 PXE 부팅으

로 해당 운영체제를 요구하는 시간이 여기에 해당한다. 운영체제 로딩시간은 WC에 저장되어 있는 운영체제 이미지들이 FS시스템의 부팅과정에서 전송이 시작되고 종료될 때 소요되는 시간이다. 본 실험에서 사용된 운영체제는 CENTOS 5.5이며, Dell R710 머신에 부팅된 운영체제를 imagezip 명령으로 이미지로 백업받은 것을 사용하였다. 운영체제 부팅시간은, CENTOS 5.5가 로딩된 이후에, 부팅되면서 사용자 로그인 대기 상태에 이르기까지의 소요된 시간을 말한다.

제안하는 시스템을 사용하기 위해서 준비하는 시간은, 특정 실험을 하기 위해서 준비를 하는 시간의 일부로 해석 될 수 있기 때문에, 일반 운영체제의 부팅시간보다 다소 길더라도 사용자 입장에서는 큰 문제가 되지 않을 것으로 사료된다.

### V. 결 론

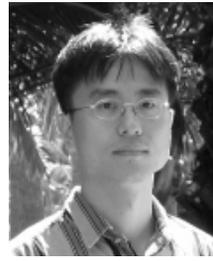
본 논문에서는 다양한 운영체제, 루트권한, 파워제어가 가능한 고성능 대용량 서버를 백본에 직접 연동한 시스템으로 국제간 대용량 데이터에 대한 연구 환경을 제공하는 방법을 제안하였다. 고성능의 전송 서버를 글로리아드 백본에 직접 연결하고 이러한 전송서버를 국제간 과학기술 연구를 수행하는 연구자들이 공유하는 방식을 제안하였다. 특히 제안하는 방식은, 다양한 운영체제를 제공할 수 있으며, 각 시스템에 대해서 사용자는 루트권한을 행사할 수 있으며, 또한 사용자는 파워제어 등을 포함한 하드웨어 관리를 직접 할 수 있는 방식의 환경을 제공하였다. 이러한 방식의 시스템은 원거리 전송에 최적화되어 있으며 에지네트워크에서 발생하는 전송 성능 저하 요인을 제거함으로써, 국제간 대용량 전송 실험 등에 유용하게 사용될 것이다.

### References

[1] <http://www.gloriad.org/gloriad/index.html>  
 [2] R. Singh, N. Schwarz, N. Taesombut, D. Lee, B. Jeong, L. Renambot, A. Lin, R. West, H. Otsuka, S. Peltier, M. Martone, K. Nozaki, J. Leigh, and M. Ellisman, "Real-time multi-scale brain data acquisition, assembly, and analysis using an end to end OptIPuter," *Future Generation Comp. Sys.*, vol. 22, no. 8, pp. 1032-1039, Oct., 2006.

- [3] W. J. Seok, Y. J. Kwon, G. J. Lee, and J. S. Kwak, "A study on end-to-end performance enhancement for remote large data transfer," *J. KICS*, vol. 32, no. 6, pp. 305-407, Jun. 2007
- [4] B. White, J. Lepreau, L. Stoller, R. Ricci, S. Guruprasad, M. Newbold, M. Hibler, C. Barb, and A. Joglekar, "An integrated experimental environment for distributed systems and networks," in *Proc. OSDI 2002*, pp. 255-270, Dec. 2002.
- [5] <http://www.protogeni.net/trac/protogeni>
- [6] K. Webb, M. Hibler, R. Ricci, A. Clements, and J. Lepreau, "Implementing the emulab-planetLab portal: experience and lessons learned," in *proc. USENIX WORLDS*, Dec. 2004.
- [7] M. Ott, I. Seskar, R. Siraccusa, and M. Singh, "ORBIT testbed software architecture: supporting experiments as a service," in *proc. IEEE Tridentcom*, pp. 136-145, Feb. 2005.
- [8] T. Miyachi, A. Basuki, S. Mikawa, S. Miwa, K. Chinen, and Y. Shinoda, "Educational environment on StarBED: case study of SOI Asia 2008 spring global E-Workshop," in *proc. ACM Asian Conf.*, pp 27-36., Nov., 2008.

석우진 (Woojin Seok)



1996년 경북대학교 컴퓨터공학과 학사  
2003년 Univ. North Carolina, Computer Science 석사  
2008년 충남대학교 컴퓨터공학과 박사  
2003년~현재 한국과학기술정보

연구원 선임연구원

<관심분야> 무선/이동 QoS, TCP 성능 분석, 네트워크 테스트베드

권윤주 (Yoonjoo Kwon)



2000년 성균관대학교 정보공학과 학사  
2002년 성균관대학교 전기전자 컴퓨터 공학부 석사  
2003년~현재 한국과학기술정보연구원 선임연구원

<관심분야> TCP 성능 분석, 클라우드 컴퓨팅

이민선 (Minsun Lee)



1989년 숙명여자대학교 물리학과 학사  
1997년 Univ. of Nebraska-Lincoln, Electrical Engineering 석사  
2012년~현재 한국과학기술정보연구원 기술원

<관심분야> 가상화 테스트베드, 병렬코드 등