

에뮬레이션 기반 테스트베드 활용 사례 연구

이민선¹, 유관중^{2*}

¹충남대학교 컴퓨터공학과 박사과정, ²교수

A Case study on the Utilization of Emulation Based Network Testbeds

Minsun Lee¹, Kwan-Jong Yoo^{2*}

¹Ph.D. Student, ²Professor

Department of Computer Science and Engineering, Chungnam National University

요 약 에뮬랩 소프트웨어는 미국 유타주립대학교에서 개발되어 전 세계 십여 개 사이트에 설치 구축되었다. 우리나라 국가과학기술연구회에서 구축한 KREONET-에뮬랩은 네트워크 프로토콜, TCP성능 테스트 등 네트워크 기술 연구는 물론 분산시스템, 보안 및 융합연구 분야의 연구자들에게 맞춤형 네트워크 토폴로지와 시스템 노드를 제공하고 있다. 테스트베드는 실험연구에 있어 가장 중요한 역할을 하며, 실제로 연구자들은 테스트베드에서 지원 가능한 실험만을 수행할 수 있다. 본 논문에서는 지난 10년간 유타-에뮬랩을 활용한 프로젝트 목록을 토대로, 테스트베드를 활용한 연구 형태를 확인하고 연구자의 분포를 분석하여, 우리나라 KREONET-에뮬랩의 활용 동향과 비교하였다. 또한 서비스화된 테스트베드(Testbed-As-a-Service)를 통한 차세대 테스트베드의 융합 연구 커뮤니티 서비스방안을 제시하였다.

주제어 : 융합, 에뮬랩, 네트워크 테스트베드, 가상화, 연구망, 클라우드 컴퓨팅

Abstract Emulab software was developed by the team of University of Utah and it has been replicated at dozens of other sites in the world. Although KREONET Emulab, which established by the Korea Institute of Science and Technology Information, has only a modest number of compute nodes it has been provided an ideal playground to conduct various research for network protocols, cyber security and convergence research. A testbed is a critical enabler of experimental research and researchers only carry out the experiments that are supported by the testbed. This paper outlines the Utah Emulab's status and use types among the last 10 years of operation results and compares them with the ones with the KREONET Emulab. In addition, Testbed-as-a-Service(TaaS) is discussed to upgrade the testbed for the convergence research community services.

Key Words : Convergence, Emulab, Network Testbed, Virtualization, R&E network, Cloud computing

1. 서론

2000년대에 들어서면서 연구개발의 진행은 거대과학, 대규모 시뮬레이션 그리고 그 결과로 얻은 대용량 데이터를 통해 과학적 발견을 이루어가고 있다. 그 기반에는 1990년대 중반부터 시작된 분산컴퓨팅 혹은 그리드 컴퓨팅 기술과 함께 네트워크 통신기술의 발전이 있다[1]. 첨단 과학 및 공학연구에 필요한 컴퓨팅자원의 부족과 컴

퓨팅 성능 저하 문제를 클러스터링 기술로 해결하려 하였으나, 작업의 복잡함이나 비용의 문제가 대두되었다. 이후 분산된 컴퓨팅 자원을 네트워크로 연결하는 유틸리티 컴퓨팅이 대두되었지만, 지리적으로 떨어진 곳의 데이터를 사용하면서 발생하는 지연(latency)을 간과할 수 없었다.

효율적인 자원의 활용을 위한 가상화 기술의 도입은 서버뿐 아니라 네트워크에도 적용되며[2-4], 가상화 기술

*Corresponding Author : Kwan-Jong Yoo (kjyoo@cnu.ac.kr)

Received July 10, 2018

Accepted September 20, 2018

Revised August 9, 2018

Published September 28, 2018

이 도입된 에뮬레이션기반의 테스트베드는 실제 하드웨어를 사용하여 사용자가 제어 가능한 또 재연 가능한 실험을 지원한다. 테스트베드는 실제 환경을 반영하여 실험을 할 수 있는 장점을 제공하지만, 테스트베드가 가진 노드의 수가 제한적이다. 이러한 한계를 극복하기 위해, 독립적으로 운영이 되는 테스트베드는 대규모 실험과 다양한 환경을 제공하기 위해 다른 조직의 테스트베드와의 연동을 시도하고 있다. 각각의 테스트베드는 자체 자율성과 고유한 장점을 유지하고 있지만, 연동된 모든 테스트베드는 공통된 프레임워크 안에서 자원을 공동으로 활용할 수 있는 방안을 제시하고 있다[5].

실험환경을 온디맨드(on-demand)로 제공하는 클라우드 서비스는 사용량에 따라 요금이 부과 되는 서비스패키지(As-a-Service)를 통해 연구자에 접근하고 있다. 특히 확장성이나 자원 활용의 높은 효율성으로 인해, 최근 클라우드 데이터센터는 기하급수적으로 증가하고 있으며, 오픈소스 하드웨어와 공용 클라우드를 활용한 다양한 서비스 형태의 플랫폼이 구축되고 있다[6-9]. 최근 여러 테스트베드는 대규모의 복잡한 실험을 지원하면서, 연구자에게 테스트베드 사용의 편의성과 워크플로우를 관리하는 도구의 역할을 제공한다.

수년 전부터 미국과학재단은 미래투자 방향으로 융합 연구를 제시하고 지원하고 있다. 분야 간의 통합 혹은 공통된 연구 과제를 위한 새로운 프레임워크 및 패러다임은 여러 연구커뮤니티간의 상호작용의 결과로 만들어진 것이다. 본 논문에서는 가장 규모가 크고 많은 사용자를 가지고 있는 미국 유타-에뮬랩의 프로젝트 목록을 중심으로 테스트베드를 활용한 사례를 분석하고, 이와 함께 우리나라에 구축된 KREONET 에뮬랩의 활용 현황을 비교 분석하고자 한다. 본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2장은 유타-에뮬랩과 KREONET-에뮬랩의 소개로 시작한다. 3장에서는 에뮬랩을 활용하는 연구 분야를 분석하고, 4장은 연구에서 얻은 결론과 향후 연구방향을 제시한다.

2. 에뮬레이션기반 테스트베드 소개

2.1 에뮬랩 소프트웨어 특징

에뮬랩은 테스트 노드와 노드 제어용 서버 및 파일 서버 그리고 이를 연결하는 고성능 스위치 및 파워 컨트롤러로 구성되어 있으며, 다음의 특징을 가지고 있다.

첫째, 사용자는 간단한 교육으로 쉽게 테스트베드에 접근하여 실험에 필요한 시스템을 구성할 수 있다. 사용자가 노드를 선점하기 위해, 웹사이트에서 제공하는 GUI로 네트워크 토폴로지를 만들면, 네트워크 시뮬레이터(NS-2)의 스크립트가 자동으로 생성된다. VLAN 스위치 기술을 통해 일대일 맵핑이 가능한 베어메탈방식으로 실제 물리적 장비에 자동 맵핑이 가능하며, 이는 평균 3~4시간 소요되는 작업이지만 모든 사용자가 2~3분 만에 세팅할 수 있게 해준다. 사용자는 웹 인터페이스를 통해 노드의 속성을 구성하거나 실험을 시작 혹은 종료할 수 있다[10-12].

둘째, 테스트베드는 제한된 자원의 효율적인 활용을 위해 강제로 Swap-in/out을 사용한다. 로컬 노드에서 CPU사용량 혹은 콘솔 작업 상태 등을 확인하여 유휴상태(idle)인지 확인하여, swap-out을 시키고, 다른 실험이 가능한 노드로 변경을 한다. 사용자가 수정된 로컬 디스크를 저장하려면 디스크 이미지를 데이터베이스에 저장해야한다.

셋째, 각 노드에 루트권한으로 접근이 가능하다. 테스트베드에서 로우소켓접근이나 커널 변경을 필요로 하는 실험도 지원하며, 네트워크 링크의 지연(latency), 대역폭이나 손실률과 같은 특성을 동적으로 변경할 수 있다.

2.2 에뮬랩 테스트베드

유타-에뮬랩은 미국 유타주립대학의 플릭스연구실에서 처음 개발된 에뮬레이션 기반의 네트워크 테스트베드이다. 실제로 수행하기 어려운 실험을 테스트할 수 있는 시스템과 네트워크 환경을 제공하며, 이는 응용, 프로토콜, 운영체제 및 네트워크를 통합한 실험환경이라 할 수 있다. 모든 연구자들에게 무료로 제공되는 시설로 지난 2000년에 처음 구축된 이래, 전 세계 수백 개 기관으로부터 수천 명의 연구자가 활용하고 있다[13].

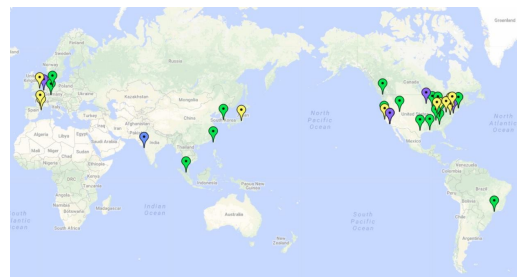


Fig. 1. Emulab Testbeds

에뮬랩은 실험장비와 그 장비를 관리하는 소프트웨어로 구성되어있으며, Fig. 1에서 보논바와 같이 전 세계 30여 곳에 유타-에뮬랩을 복제한 테스트베드가 설치 운영되고 있다. 미국 내에만 20개의 테스트베드가 운영되고 있으며, 유럽, 남미, 그리고 아시아에 걸쳐 10개의 테스트베드가 구축 운영되고 있다. 작게는 약 50개의 PC로 이루어진 규모에서 약600여개의 PC로 구성된 테스트베드까지 다양하다. 각국의 테스트베드는 연구 교육용으로 일반에게 개방되어 자유롭게 활용할 수 있는 정책을 사용하고 있으나, 일부 테스트베드는 특정 프로젝트를 위해 구축 운영되고 있다.

미국 국방부의 사이버보안 연구프로젝트인 DETER는 에뮬랩 소프트웨어를 설치하여 구축한 테스트베드로 사이버 보안 기술 개발을 위해 활용하고 있다[14]. 400여개의 노드로 구성된 비교적 큰 규모의 테스트베드이고, 미국 남주대학에서 운영하고 있으며, DETER 프로젝트의 취지에 맞는 역할을 담당 할 수 있도록 보안 연구 분야에 적합한 기술을 보강하였다[15]. 특히 에뮬랩 소프트웨어에 연구자간의 정보 탈취와 같은 내부 문제와 외부의 해커 침입 혹은 거꾸로 테스트베드 내, 실험용 악성코드가 외부로 유출되는 각종 위협을 대비한 기술이 적용되었다[16]. DETER 테스트베드 역시 기본적으로 모든 연구자에게 개방되어있으나, 사이버 보안과 관련된 연구만 승인이 되므로 사이버 보안 연구 커뮤니티용 테스트베드라 할 수 있다.

미국 내 테스트베드 중 14개는 대학에 설치되어 있으며, 5개는 비영리연구기관에 구축되었다. 일반 기업 연구부서에서 설치한 테스트베드는 내부 개발용으로 운영하고 있다. 특히 대학에 설치된 6개의 테스트베드는 DETER, GENI(미래인터넷 시험 인프라)와 ProbE(대규모 실험 클러스터)등의 대규모 미국 연구개발프로젝트에서 구축 운영되고 있다. 유타-에뮬랩은 GENI 및 PlanetLab 테스트베드와 연동되어있어, 다른 사이트에서 프로그램을 실행하고 제어할 수 있는 환경을 제공하고 있다[17].

유럽과 아시아는 미국의 경우와 같이 약 60%가 대학에 설치되어 운영되고 있으며, 우리나라와 대만의 경우 국가연구기관에서 구축 운영을 하고 있다.

2.3 KREONET-에뮬랩

우리나라는 대전에 위치한 한국과학기술정보연구원

의 국가연구망센터에서 지난 2012년 KREONET-에뮬랩을 구축하였다[18]. Fig. 2의 KREONET-에뮬랩 웹사이트를 통해 어카운트 요청, 프로젝트 승인 요청 및 로그인 등 실험을 시작할 수 있다. KREONET-에뮬랩은 42개의 테스트 노드와 노드제어용 서버 및 고성능 스위치 3대의 하드웨어로 구성되어있다 (Table 1 및 Fig. 3 참조).



Fig. 2. KREONET Emulab Web-site

Table 1. Hardware overview

Type	Content
Test Node	Dell R710
Server	Dell R710 (users, file, web, OPS)
Switch/Router	시스코 4507, 2950, 7200
Power Controller	Baytech RPC-27
Operating System	CentOS, Ubuntu, FreeBSD, Windows

독립적으로 운영되던 전통적인 테스트베드, KREONET-에뮬랩도 유타-에뮬랩처럼 다른 나라의 여러 테스트베드와 연동을 통해 하나의 시설로 연구자에게 제공하고자 하며, 특히 다양한 장치와 네트워크 기술을 통합하여 더 큰 규모의 실험을 수행하고자 하는 연구자를 위해 유럽의 Fed4FIRE, Smart4FIRE 및 미국의 GENI 테스트베드와 연동체계를 구축하고 있다.



Fig. 3. KREONET Emulab Hardware

3. 활용 사례 분석

3.1 유타-에물랩

미국의 유타-에물랩에는 44개국에서 신청한 약1,300여개의 프로젝트가 실험 중에 있다. 유럽의 21개국, 아시아 12개국, 아프리카, 아메리카대륙까지 다양하게 분포되어 있으며, 전체 프로젝트의 85%가 미국 내 대학 및 연구기관에서 수행하고 있다. 그 뒤로 이탈리아, 프랑스, 독일 등 유럽 국가가 전체 8.1% 사용률을 보인다. 우리나라의 연구자들도 약 0.6% 사용을 하고 있다.

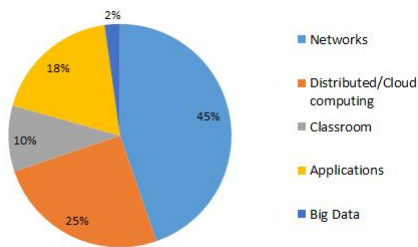


Fig. 4. Use types of UTAH Emulab

Fig. 4는 진행 중인 프로젝트의 연구 분야를 보여주고 있다. 네트워크 프로토콜, TCP 성능연구 및 소프트웨어 정의네트워크 등 네트워크 관련 기술 연구가 전체 45%를 차지하고 있으며, 대학의 실험 실습에 활용되는 경우가 10%로 확인되었다. 또한 테스트베드의 연동 기술과 클라우드 연구가 전체 14%를 차지한다. 최근 많은 관심을 받고 있는 기계학습이나 가상현실, 3D 영상 전송 혹은 대용량 데이터를 다루는 물리연구 분야까지 다양한 사용자가 확인되었다. 초기 네트워크와 분산시스템 연구자에게 제공되었던 네트워크 테스트베드는 현재 에물레이션을 통한 실험을 요구하는 다양한 분야 융합 연구자들에게 확대되어 전체의 약 20%가 융합연구에 활용되고 있는 것으로 확인되었다.

Table 2는 지금 현재 실험중이거나, 가장 최근에 swap-out된 실험 110개의 네트워크 토폴로지를 분석한 결과이다. 10개미만의 노드를 활용한 실험이 약 73%이고, 30개 이상의 노드를 사용한 실험은 불과 3.6% 정도였다. 실험 노드 1개만 사용한 경우도 5.5%나 되었다.

Table 2. Experiments in Utah & KREONET-Emulab

No. of Nodes Used	No. of Projects (Percents)	
	Utah	Emulab
1	6	18
2 - 4	46	55
5 - 9	28	27
10 - 29	26	10
over 30	4	0

3.2 KREONET-에물랩

KREONET-에물랩에는 약 80개의 프로젝트가 진행 중이다. Fig. 5는 네트워크 활용이 가장 높을 것이라는 예상과 다르게, 가장 많은 사용자는 실험, 실습 및 튜토리얼 등 강의에 활용하는 대학에 있었고, 네트워크 기술 연구는 전체 약 33% 입을 보여준다. 또한 국내 사용자는 네트워킹이외에 분산시스템, 클라우드, 병렬컴퓨팅과 사이버 보안 연구 등에 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다.

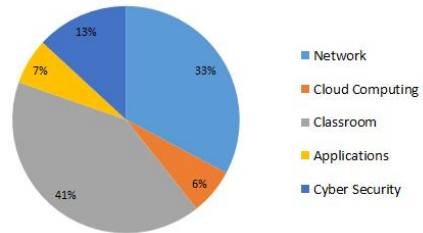


Fig. 5. Use types of KREONET Emulab

KREONET-에물랩의 사용자는 대부분 학교에 소속된 연구자로, 실제 미국의 유타-에물랩을 사용한 한국의 사용자 60%는 KREONET-에물랩을 동시에 사용하고 있었다. 대학의 연구자들은 리눅스기초, 분산시스템, 네트워크 프로그래밍 및 시스템 프로그래밍 과목의 실습 시간에 주로 활용하였다. 주목할 것은 현재 프로젝트를 수행중인 일반 기업의 연구는 사이버 보안연구 분야의 악성코드탐지 실험이다. KREONET-에물랩은 실제로 상용 네트워크에서 수행하기 어려운 도전적인 실험이 가능한 환경을 제공한다. Fig. 6는 전파속도가 빠른 Flash Worm을 구현하고 얼마나 빨리 전파되는지에 관한 실험을 보여준다. KREONET-에물랩의 프로젝트 중 대다수(90%)가 10개미만의 노드만을 사용하고 있고(Table 2), 20개 이상의 노드를 필요로 하는 프로젝트는 사이버 보안연구 및 병렬컴퓨팅 분야이다(Fig. 6의 경우 총 33개의

실험 노드가 사용되었다).

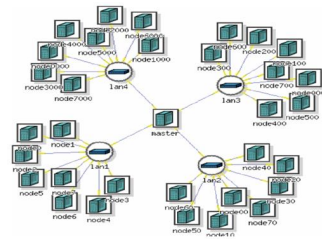


Fig. 6. Worm Propagation Test

4. 분석 결과

KREONET-에플랩의 사용자는 유타의 경우보다, 실험 및 실습에 좀 더 많이 활용하고 있다(Fig. 7). 대학의 컴퓨터 관련 수업이나 튜토리얼의 실습환경에 테스트베드가 활용되는 것은 자연스러운 현상이라 할 수 있다. 다양한 소프트웨어가 나오고, 이를 지속적으로 관리하는 것이 어려운 일이며, 시스템의 보안 사항이나 장애 복구 팀을 별도로 운영하는 것 역시 단위 학교가 운영하는 것은 더욱 어렵기 때문이다. 테스트베드는 라이선스가 있는 (혹은 오픈 소스) 시스템 소프트웨어 관리의 융통성을 제공해준다. 뿐만 아니라, 실습에 참여하는 개별 학생들은 루트권한을 가지고 각각의 개별시스템에 독립적으로 접근 할 수 있기 때문에, 결과적으로 테스트베드 활용은 급속하게 변화하는 컴퓨터관련 교육 환경의 요구사항을 만족시킬 수 있는 한 방안이라 할 수 있다.

KREONET-에플랩은 융합연구 활용의 비율이 7%로 미국의 유타-에플랩보다 더 낮다. 테스트베드와 같은 공용의 실험환경에서 다양한 실험을 수행할 때, 연구자들에게 재연(reproducible)가능성은 중요한 요건이다. 하지만 테스트베드 사용을 처음으로 시작하는 사용자들(특히 컴퓨터 관련 연구자가 아닌 융합연구자들)에게 실험환경을 효과적으로 사용할 수 있는 지식이 충분하지 않다. 그렇기 때문에 대부분의 초기 연구자들은 비슷한 문제에 당면하게 되고, 본연의 연구보다는 실험환경 세팅에 많은 시간을 할애하기도 한다. 테스트베드를 활용하는 모든 초기 연구자는 다른 연구자도 고민했던 같은 문제를 해결하기 위해 힘들이지 않고, 이전 연구자가 이미 해결해 놓은 실험 환경을 가져다 그 위에서 새로운 연구를 시작할 수 있는 환경이 필요하다.

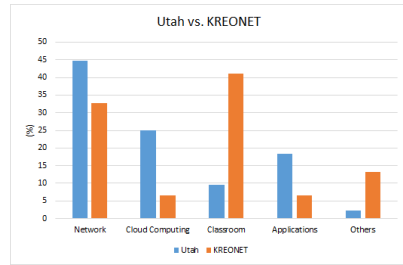


Fig. 7. Percentages of Use types

두 테스트베드는 에플랩 소프트웨어가 제공하는 이미지 저장기능을 활용하여 실험 환경을 디스크 이미지로 만들고, 이를 데이터베이스에 저장하여 다른 연구자를 위한 학습 환경으로 제공하고 있다. 유타-에플랩은 565개, KREONET-에플랩은 31개의 이미지가 사용자들 위해 저장되어있다. 이미지 데이터베이스는 융합연구 분야에 특화된 도구로 제공될 수도 있으며, 이러한 지원이 좀 더 다양하고, 의미 있는 실험결과로 연결되기 때문에 더욱 중요한 요소가 될 수 있다.

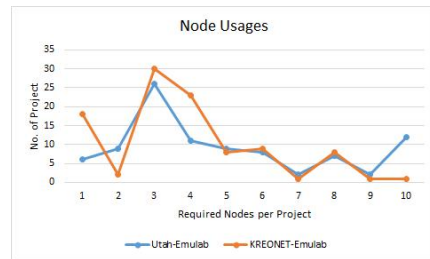


Fig. 8. Node Usages of Projects

Fig. 8은 두 테스트베드에서 수행되는 실험 중 10개미만의 노드를 사용하는 프로젝트의 수를 보여준다. 3개의 노드를 사용하는 실험이 가장 많이 있으며, 네트워크 기술연구에 필요한 실험환경은 노드의 규모에 큰 영향을 받지 않는 것으로 분석되었다. 하지만 응용분야 연구나 기타 분야 연구의 분포가 적은 것은 제한된 물리적 환경으로 인해, 연구자 스스로 소규모의 테스트만을 운영하는 것이라 분석된다. 사이버 공격, 탐지 및 대응과 같은 보안 및 융합 연구에 에플랩을 최적의 환경으로 활용하려면 노드에 대한 제약은 주지 않아야하기 때문이다.

또한 병렬시스템이나 고에너지물리연구와 같이 과학적 선도가 필요한 특정 응용 연구 분야의 연구자들은 이미 대규모 실험 연구를 사설 혹은 공용 클라우드에서 수

행하고 있기 때문이다. 특히, 아마존웹서비스(AWS)는 뛰어난 확장성을 가진 데이터 저장 서비스(Simple Storage Service, S3)와 컴퓨팅 노드 서비스(Elastic Compute Cloud, EC2)를 제공하면서, 별도의 하드웨어나 소프트웨어 구매 없이 몇 분 만에 가상서버를 설치하고 사용할 수 있는 편리성 또한 융합 연구자들에게 제공한다[19]. 에뮬레이션 기반의 테스트베드 역시 물리적 실험 환경의 확장성과 함께 사용자가 버튼클릭과 같은 간단한 조작으로 쉽게 활용될 수 있는 인터페이스가 필요하다.

마지막으로 테스트베드를 원하는 사용자들은 가상시스템에서는 수행할 수 없는 성능 실험을 위해 베어메탈 프로비저닝(provisioning)서비스를 요구한다. 이러한 연구자를 지원하기 위해, 현재 유타-에뮬랩에서는 오픈스택[20]과 같은 인프라서비스(IaaS) 프레임워크를 제공하고 있으며, 이는 테스트베드가 통합된 서비스(Testbed-as-a-Service)의 형태로 진화하고 있음을 보여주는 사례라 할 수 있다.

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 에뮬레이션 기반 테스트베드 활용의 동향을 분석하고자, 미국의 유타-에뮬랩과 우리나라의 KREONET-에뮬랩의 사례를 조사하여 다음의 결론을 얻었다. 에뮬레이션 기반의 테스트베드는 첫째, 빠르게 변하는 컴퓨터 관련 기술 교육에 효과적으로 활용 된다. 둘째, 테스트베드가 과학적 발견을 위한 도구로서의 역할을 충분히 수행하기 위해, 융합 연구용 실험 환경 이미지의 아카이빙은 반드시 필요하다. 셋째, 실험 환경의 확장성 및 편리성을 제공할 수 있는 서비스로서의 테스트베드(TaaS)가 필요하다. 이것은 테스트베드의 기술적인 발전과 더불어 테스트베드 사용자 커뮤니티를 확대하는 노력과도 연결되어 있다. 향후, 이를 위해 이기종 테스트베드 간 자원 연동 서비스 확대에 대한 연구를 진행할 예정이다.

REFERENCES

- [1] I. Foster, C. Kesselman & S. Tuecke. (2011). The anatomy of the Grid, Enabling scalable virtual organizations, *International Journal of High performance computing applications*, 15(3), 200-222. DOI : 10.1177/109434200101500302
- [2] H. S. Kim & S. H. Lee. (2016). Multi-Path Virtual Network Resource Allocation with Shared Backup Bandwidth. *Journal of Convergence for Information Technology*, 6(4), 17-23. DOI : 10.22156/CS4SMB.2016.6.4.017
- [3] S. J. Seok & H. Jeong. (2014). A Study on OpenFlow based Virtual Network Platform for KREONET. *Journal of Digital Convergence*, 12(8), 309-319. DOI : 10.14400/JDC.2014.12.8.309
- [4] J. Y. Choi. (2016). A Study on Networking Technology for Cloud Data Centers. *Journal of Digital Convergence*, 14(2), 235-243. DOI : 10.14400/JDC.2016.14.2.235
- [5] M. Lee, W. Seok & K. Yoo. (2014). Challenges and Opportunities in the KREONET-Emulab Network Testbed. *Proceedings of the International Conference on Convergence Content*. 213-214.
- [6] B. Lee. (2014). A Study on Security of Virtualization in Cloud Computing Environment for Convergence Services. *Journal of The Korea Convergence Society*, 5(4), 93-99. DOI : 10.15207/JKCS.2014.5.4.093
- [7] S. Lee & D. Lee. (2015). A Case Study in Japanese and Prospect of Cloud Computing Service in Convergence Age. *Journal of The Korea Convergence Society*, 6(1), 17-22. DOI : 10.15207/JKCS.2015.6.1.017
- [8] W. Hong & J. Chung. (2017). Design and performance evaluation of a storage cloud service model over KREONET. *Journal of The Korea Convergence Society*, 8(7), 29-37. DOI : 10.15207/JKCS.2017.8.7.029
- [9] J. H. Ku. (2017). A Study on the Platform for Big Data Analysis of Manufacturing Process. *Journal of Convergence for Information Technology*, 7(5), 177-182. DOI : 10.22156/CS4SMB.2017.7.5.177
- [10] B. White et al. (2002). An integrated Experimental Environment for distributed systems and networks. *Proceedings of the 5th Symposium on OSDI*, 36, 255-270. DOI : 10.1145/844128.844152
- [11] S. Guruprasad, R. Ricci & J. Lepreque. (2005). Integrated Network experiment using simulation and emulation. *First International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the DEvelopment of NeTworks and COMmunities*, 204-212. DOI: 10.1109/TRIDNT.2005.21

[1] I. Foster, C. Kesselman & S. Tuecke. (2011). The anatomy of the Grid, Enabling scalable virtual organizations, *International Journal of High*

[12] F. Hermenier & R. Ricci. (2012). How to build a better testbed: lessons from a decade of network experiments on Emulab. *LNCS*, 44, 287-304.
DOI : 10.1007/978-3-642-35576-9_24

[13] University of Utah - Emulab. <https://emulab.net>

[14] The Deter project. <https://deter-project.org>

[15] T. Benzel. (2011). The DETER Project: The Science of cyber security experimentation. *Proceedings of the International Conference on Tech for Homeland Security*, 1-7.

[16] M. Lee & W. Seok. (2013). Research on the trend of utilizing Emulab as cyber security research framework. *Journal of Korea Institute of Information Security and Cryptology*, 23(6), 1169-1180.
DOI : 10.13089/JKIISC.2013.23.6.1169

[17] B. Chun, D. Culler & T. Roscoe. (2003). Planetlab: An Overlay Testbed for broad-coverage services. *Computer Communication Review*, 33(3), 3-12.
DOI : 10.1145/956993.956995

[18] KREONET Emulab. <https://emulab.kreonet.net>

[19] Amazon Web Service, *AWS Documentation*. <https://aws.amazon.com/documentation/>

[20] OpenStack Foundation, *OpenStack Software*. <https://www.openstack.org>

유 관 중(Yoo, Kwan-Jong)

[정회원]



- 1976년 2월 : 서울대학교 전산학과(이학사)
- 1978년 2월 : 서울대학교 전산학과(이학석사)
- 1985년 2월 : 서울대학교 전산학과(이학박사)
- 2011년 1월 ~ 2012년 1월 : 충남대학교 교무처장
- 1979년 6월 ~ 현재 : 충남대학교 컴퓨터공학과 교수
- 관심분야 : 멀티미디어 어플리케이션, 클러스터 시스템, 병렬처리 기술
- E-Mail : kjyoo@cnu.ac.kr

이 민 선(Lee, Minsun)

[정회원]



- 1989년 2월 : 숙명여자대학교 물리학과(이학사)
- 1997년 12월 : 미국 네브라스카 주립대학교 대학원 전기공학과(공학석사)
- 2012년 6월 ~ 2016년 6월 : 한국과학기술정보연구원 연구원
- 2012년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 컴퓨터공학과 박사과정
- 2016년 10월 ~ 현재 : 충남대학교 SW중심대학사업단 산학협력중점교수
- 관심분야 : 가상화 기술, 클라우드 컴퓨팅, 네트워크통신
- E-Mail : mleeoh@cnu.ac.kr