

## 클라우드 컴퓨팅 환경을 위한 WAN 스토리지 이주 기법 성능평가

창준협\*, 이원주\*\*, 전창호\*\*\*

### Performance Evaluation of WAN Storage Migration Scheme for Cloud Computing Environment

Jun Hyub Chang\*, Won Joo Lee \*\*, Chang Ho Jeon \*\*\*

#### 요약

본 논문에서는 클라우드 컴퓨팅 환경에서 WAN 스토리지 복제 모델의 성능평가를 위한 시뮬레이터를 설계하고 구현한다. 이 시뮬레이터의 각 클라우드는 가상머신의 역할을 수행하는 가상머신 에뮬레이터와 스토리지의 역할을 수행하는 스토리지 에뮬레이터로 구성된다. 가상머신 에뮬레이터는 R/W 작업비율 설정모듈, R/W 순서 조합모듈, R/W 요청모듈로 구성된다. 스토리지 에뮬레이터는 스토리지 관리모듈, 데이터 전송모듈, R/W 수행모듈, 오버헤드 처리모듈로 구성된다. 이 시뮬레이터를 이용하여 스토리지에 대한 R/W 비율, 네트워크 지연, 네트워크 대역폭 등의 변화에 따른 두 이주 방법의 성능을 평가한다. 그 결과 read 작업이 증가 할수록 선 복제 모델의 평균이주시간은 감소 하지만 후 복제 모델의 평균이주시간은 증가한다. 또한, 네트워크 지연이 증가할수록 후 복제 모델의 평균이주시간은 증가 하였지만, 선 복제 모델의 평균이주시간은 일정함을 보인다. 따라서 네트워크의 지연이 증가하는 경우 후 복제 모델보다 선 복제 모델의 성능이 우수함을 알 수 있었다. 네트워크 대역폭의 변화에 따른 평균이주시간은 두 모델이 유사하였기 때문에 스토리지 복제 모델을 선정함에 있어 네트워크 대역폭은 중요한 요소가 아님을 알 수 있었다.

▶ Keyword : 클라우드 컴퓨팅, 스토리지 이주, 선 복제, 후 복제

#### Abstract

In this paper, we design and implement the simulator for WAN storage replication model performance evaluation in cloud computing environment. Each cloud of simulator is composed of virtual machine emulator and storage emulator. The virtual machine emulator is composed of read/write ratio module, the read/write sequence combination module, and the read/write request

• 제1저자 : 창준협 교신저자 : 이원주

• 접수일 : 2011. 12. 25, 심사일 : 2012. 01. 11, 게재확정일 : 2012. 02. 09.

\* 한양대 컴퓨터공학과(Dept. of Computer Science & Engineering, Hanyang University)

\*\* 인하공업전문대학 컴퓨터정보과(Dept. of Computer Science, Inha Technical College)

\*\*\* 한양대 ERICA 캠퍼스 컴퓨터공학과(Dept. of Computer Science & Engineering, Hanyang University ERICA Campus)

module. The storage emulator is composed of storage management module, data transfer module, read/write operations module, and overhead processing module. Using the simulator, we evaluate performance of migration scheme, pre-copy and the post-copy, considering about read/write ratio, network delay, and network bandwidth. Through simulation, we have confirmed that the average migration time of pre-copy was decreased proportional to the read operation. However, average migration time of post-copy was on the increase. Also, the average migration time of post-copy was increased proportional to the network delay. However, average migration time of pre-copy was shown uniformly. Therefore, we show that pre-copy model more effective to reduce the average migration time than the post-copy model. The average migration time of pre-copy and post-copy were not affected by the change of network bandwidth. Therefore, these results show that selects the storage replication model to be, the network bandwidth know not being the important element.

▶ Keyword : Cloud Computing, Storage Migration, Pre-copy, Post-copy

## 1. 서론

최근 아마존 Elastic Compute Cloud[1], Google App Engine[2], 마이크로소프트 Azure[3], KT ucloud[4] 등의 다양한 클라우드 컴퓨팅 서비스가 사용자에게 제공되고 있다. 이러한 클라우드 컴퓨팅의 개념은 그림 1과 같다[5].



그림 1. 클라우드 컴퓨터 개요  
Fig. 1. Overview of Cloud computing.

사용자는 네트워크 접속 기능을 가진 단말기만 있으면 시간과 공간의 제약에서 비교적 자유롭게 클라우드 서비스를 이용할 수 있다. 이러한 서비스를 이용하면 어플리케이션을 구매하지 않고 일정한 사용료를 지불하면 클라우드에서 제공하는 어플리케이션을 사용할 수 있다. 또한 소프트웨어 개발 플

랫폼을 구축하지 않고 클라우드에 구축된 플랫폼을 이용하여 소프트웨어를 개발할 수 있다. 특히, 다양한 클라우드 서비스 중 DaaS(Data Storage as a Service)라고 불리는 스토리지 서비스[6]는 최근 들어 동영상이나 음성파일 같은 대용량 데이터파일의 사용이 증가함에 따라 그 필요성과 중요성이 부각되고 있다. 클라우드의 가상머신을 사용하는 사용자에게도 같은 이유로 스토리지 서비스는 중요한 서비스가 되었다. 가상머신 내부의 스토리지는 한정되어 있고, 이를 해결하기 위해 가상머신을 추가하는 것 보다 스토리지만 추가해서 가상머신과 연동하는 편이 더 적은 비용이 들기 때문이다. 이와 같은 필요성에 의해 대다수의 클라우드 컴퓨팅 서비스 제공업체들은 스토리지 서비스를 출시하여 서비스 하고 있다. 대표적인 서비스로 아마존의 S3(Simple Storage Service)가 있으며, 국내에서도 KT ucloud[4]와 NHN nDrive[7]등이 스토리지 서비스를 제공하고 있다. 클라우드 내부에 가상머신과 연동하는 스토리지를 추가하여 저장공간 부족에 대한 문제는 해결할 수 있지만, 가상머신만을 운용하는 것 보다 더 복잡한 구조를 가지게 되었다. 이러한 이유로 인해 클라우드 내부의 구조에 대한 많은 연구들이 진행되고 있으며, 특히 자원 이주 분야에서도 여러 자원들을 효율적으로 이주하는 방법에 대한 연구가 진행되고 있다[8].

본 논문에서는 WAN 환경에서의 가상머신과 스토리지 이주기법의 성능 측정과 그 평가를 위해 이주과정을 수행하는 시뮬레이터를 설계하고 구현 하였다. 다양한 환경에서의 이주 기법성능을 평가하기 위해 스토리지에 대한 가상머신의 R/W 비율, 네트워크 지연과 네트워크 대역폭 변화에 따른 성능을 측정하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 Live Migration,

WAN 환경의 이주와 스토리지 복제 모델에 대해 설명한다. 3장에서는 성능 평가를 위한 시뮬레이터를 설계와 구현에 대해 설명한다. 4장에서는 구현된 시뮬레이터를 이용하여 두 이주 기법의 성능을 평가하며 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

### 2.1 Live Migration

Live Migration은 실행중인 서비스를 중지하지 않고 운영체제가 수행하는 인스턴스를 이주하는 것으로 데이터 센터나 클러스터를 운영하는 관리자에게 매우 유용한 이주기법이다[9]. 기존의 이주기법은 수행중인 인스턴스를 중지한 다음 목적으로 인스턴스를 복제하는 방법으로 이주하는 동안에는 인스턴스를 중지하기 때문에 사용자에게 서비스를 제공할 수 없는 단점이 있다. 특히, 기존의 이주기법은 가상머신 중지로 인해 이주하는 동안에는 클라우드 사용자에게 서비스를 제공하지 못하기 때문에 클라우드 환경에 적합하지 않다. 하지만 서비스를 중지하지 않고 이주를 할 수 있는 Live Migration은 클라우드 환경에 적합한 이주기법이다.

### 2.2 WAN 환경의 이주

기존의 이주에 관한 연구는 LAN 환경에 제한되어 진행되고 있다. LAN 환경에서 여러 자원들의 배치를 변경하면서 최적의 성능을 끌어내거나 부족한 물리적 자원에 위치한 가상 자원을 여유로운 물리적 자원으로 이동하는 연구가 주로 진행되었다. 하지만, 클러스터 간 또는 클라우드 간의 가상머신이나 스토리지 이주와 같은 WAN 환경에서 자원들의 이주에 대한 필요성이 제기됨에 따라 관련 연구가 진행되어 왔다[10].

그림 2는 사용자의 지리적 위치가 먼 클라우드에 접근하여 가상머신을 사용하는 상황을 나타낸 것이다. 그림 2에서 클라우드는 가상머신, 스토리지, 게이트웨이로 이루어져 있다. 사용자는 지리적 위치가 먼 클라우드를 사용하기 때문에 필연적으로 WAN 지연이 발생할 수밖에 없다. 이와 같은 상태로 사용자에게 서비스를 제공하게 되면 WAN 지연으로 인해 성능 저하가 발생한다. 이러한 문제는 사용자와 지리적으로 가까운 클라우드를 사용할 수 있게 가상머신을 이주하면 해결 될 것이다. 그림 2에서 사용자와 근거리에 있는 우측의 클라우드로 가상머신을 이주하면 성능 저하를 막을 수 있다.

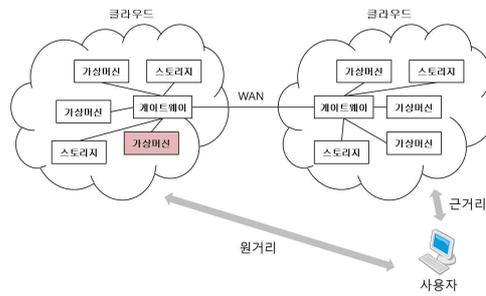


그림 2 WAN 환경의 이주  
Fig. 2. Migration of WAN environment.

### 2.3 스토리지 이주

최근 인터넷 상에서도 동영상 파일과 같은 대용량의 데이터 파일이 자주 사용되면서 많은 양의 저장공간이 필요하게 되었다. 클라우드 컴퓨팅 서비스 제공자는 DaaS를 통해 이러한 필요성에 대응하고 있으며, 서비스 사용자는 클라우드 컴퓨팅을 이용해서 적은 비용으로 저장공간에 대한 문제를 해결할 수 있다. 그림 3은 스토리지 이주의 필요성을 보여준다.

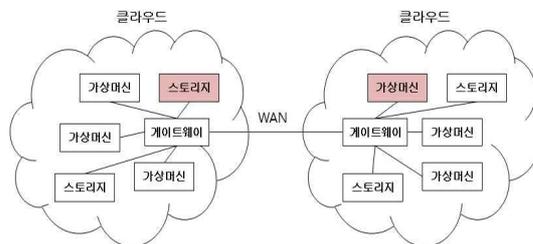


그림 3 스토리지 이주  
Fig. 3. Storage migration.

그림 3은 연동하는 가상머신과 스토리지가 각각 다른 클라우드에 포함되어 동작하는 것을 나타냈다. 일반적으로 WAN 지연에 의한 성능 저하를 막기 위해서 그림 3과 같은 형태로 가상머신과 스토리지를 연동하여 사용하지 않는다. 가상머신과 스토리지를 같은 클라우드에 위치시켜 서로간의 통신에서 발생하는 지연을 최대한 억제하고 LAN의 큰 대역폭을 이용해 데이터를 빠르게 전송하기 위해 연동하는 자원들을 단일 클라우드로 위치시키는 것이 일반적이다. 하지만 WAN 환경에서 성능 저하를 방지하기 위해 가상머신이 이주한다면 그림 3과 같은 형태가 나타나게 된다.

그림 3과 같은 형태로 가상머신과 스토리지가 구성되더라도 사용자에게 서비스는 제공해 줄 수 있다. 하지만 WAN은 LAN보다 지연이 크고 대역폭이 작기 때문에 그림 3과 같은 형태는 단일 클라우드에 가상머신과 스토리지가 연동하는 것보다 성능이 떨어지게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 가상머신을 이주하는 상황이 생길 경우 연동하는 스토리지를 같은 클라우드로 이주한다. 즉 가상머신의 이주가 발생하면 스토리지 또한 이주함으로써 성능 저하를 방지할 수 있다.

### 2.4 스토리지 복제 모델

클라우드 컴퓨팅 환경에서 가상머신과 스토리지를 이주하는 복제 모델은 가상머신과 스토리지의 복제 순서에 따라 선 복제(pre-copy)와 후 복제(post-copy)로 분류한다.

선 복제 모델[11]은 가상머신의 이주에 앞서 스토리지를 먼저 목적지 클라우드로 이주한다. 서비스를 유지하기 위해 가상머신과 스토리지는 원본 클라우드에서 계속해서 동작하면서 클라우드 사용자에게 서비스를 제공한다. 원본 클라우드에서는 가상머신과 스토리지가 계속해서 동작하기 때문에 원본 스토리지의 write 작업은 계속 수행된다. 또한, 스토리지 이주과정에서도 원본 스토리지에 대한 write 작업이 계속 수행되기 때문에 목적지 클라우드에는 원본 스토리지와 다른 데이터를 가진 스토리지가 복제된다. 이때 원본 스토리지에 write 작업이 발생한 블록을 더티 블록(dirty block)이라한다. 선 복제 모델은 두 스토리지 동기화를 위해 스토리지 복제 후 더티 블록을 재전송하는 과정이 필요하다. 더티 블록을 재전송하는 과정에서도 또 다른 더티 블록이 발생할 수 있다. 따라서 더티 블록의 재전송은 원본과 복제본 스토리지가 동일해 지거나 더티 블록의 수가 일정 수 이하일 때까지 반복된 후 가상머신 동작을 정지하고 남은 더티 블록을 재전송 한다. 더티 블록의 재전송이 완료되어 원본과 복제본 스토리지 동기화가 종료되면 가상머신을 목적지로 이주한다. read 작업은 원본 스토리지에서 바로 읽어올 수 있기 때문에 가상머신의 성능에는 영향을 주지 않는다. 선 복제 모델은 write 작업과정에서 더티 블록의 재전송으로 인해 write 작업 요청이 증가할수록 이주 완료시간도 증가하는 문제점이 있다. 따라서 선 복제 모델은 write 작업의 양이 이주시간에 영향을 미친다.

후 복제 모델[12]은 스토리지보다 가상머신을 먼저 이주한다. 가상머신 이주가 완료되면 목적지 클라우드의 가상머신에서 클라우드 사용자에게 서비스를 제공하기 시작하며 그와 동시에 스토리지의 이주를 시작한다. 가상머신이 스토리지보다 먼저 목적지에 이주되어 서비스를 제공하기 때문에 가상머신이 이주된 직후의 목적지 클라우드에는 데이터가 없는 스토리지가 가상머신과 연동된다. 따라서 가상머신은 스토리지에 존재하지 않는 데이터에 대해 read 작업을 요청할 수 있다. 존재하지 않는 데이터의 요청에 의한 read 작업을 리모트 리드(remote read)라고 하며, 이러한 리모트 리드가 없는 상

태에서 스토리지 복제가 이루어진다. 가상머신은 원본 클라우드의 원본 스토리지에 필요한 데이터가 있는 블록의 복제를 요청하여 목적지 클라우드의 스토리지에 복제하고 복제 데이터 들을 가상머신이 읽게 된다. write 작업 요청의 경우 원본 클라우드에는 write 작업을 수행할 필요가 없기 때문에 바로 목적지의 클라우드에서 처리한다. 후 복제 모델은 read 작업 과정에서 리모트 리드에 의한 지연이 발생하기 때문에 read 작업 요청이 증가 할수록 이주 완료시간도 증가한다. 후 복제 모델은 read 작업의 양이 이주시간에 영향을 미친다.

## III. 이주 기법 성능평가를 위한 시뮬레이터 설계

본 논문에서는 두 복제 모델을 이용한 이주 기법의 성능을 평가하기 위해 시뮬레이터를 설계하고 구현한다. 시뮬레이터 구조는 그림 4와 같다.

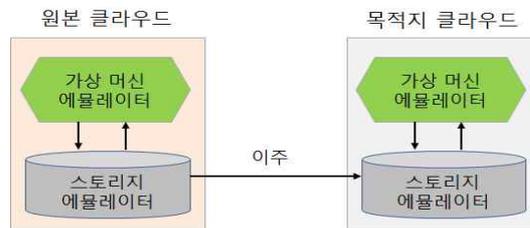


그림 4. 스토리지 복제 모델 시뮬레이터 개요  
Fig. 4. A overview of Storage copy model Simulator.

그림 4의 각 클라우드는 가상머신의 역할을 수행하는 가상머신 에뮬레이터와 스토리지의 역할을 수행하는 스토리지 에뮬레이터로 구성한다. WAN 환경의 네트워크 지연시간과 네트워크 대역폭을 임의로 조절하기 위해 리눅스의 netem을 사용하여 구현한다.

### 3.1 가상머신 에뮬레이터

가상머신 에뮬레이터는 R/W 작업비율 설정모듈, R/W 순서 조합모듈, R/W 요청모듈로 구성된다. 가상머신 에뮬레이터는 그림 5와 같다.

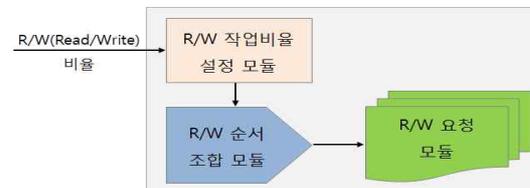


그림 5. 가상머신 에뮬레이터  
Fig. 5. Virtual Machine Emulator.

R/W 작업비율 설정모듈은 스토리지에 대한 R/W 작업의 비율을 입력받는다. 입력된 R/W 비율은 R/W 순서 조합모듈로 전송된다. R/W 조합모듈은 전송받은 R/W 비율에 따라 R/W 작업순서를 조합한다. 스토리지의 R/W 패턴을 예측할 수 없기 때문에 R/W 작업 발생순서는 무작위로 설정한다. 하지만 전체적인 R/W 비율은 작업비율 설정모듈에 전달된 비율에 맞추어 조합한다. R/W 요청모듈은 R/W 패턴을 기반으로 스토리지 에뮬레이터에 R/W 작업을 요청한다.

### 3.2 스토리지 에뮬레이터

스토리지 에뮬레이터는 스토리지 관리모듈, 데이터 전송모듈, R/W 수행모듈, 오버헤드 처리모듈로 구성된다. 스토리지 에뮬레이터는 그림 6과 같다.

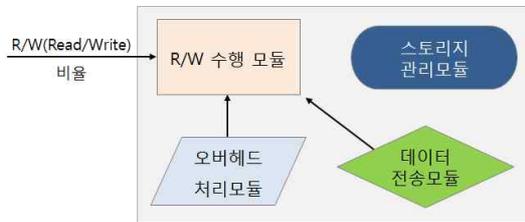


그림 6. 스토리지 에뮬레이터  
Fig. 6. Storage Emulator.

스토리지 관리모듈은 스토리지의 생성, 삭제 기능을 제공한다. 최초 생성 시 스토리지는 널(null) 데이터로 초기화한다. 데이터 전송모듈은 목적지 클라우드로 원본 데이터를 복제하는 기능을 제공한다. R/W 수행 모듈은 가상스토리지의 데이터를 읽어오거나 가상 스토리지에 데이터를 기록하는 기능을 제공한다. 오버헤드 처리모듈은 선 복제 모델의 더티 블록 처리와 후 복제 모델의 리모트 리드를 처리한다. 더티 블록이 발생한 블록을 기록하기 위한 로그를 생성하며 생성된 로그를 관리하는 기능을 제공한다. 리모트 리드의 요청이 있는 경우 수행중인 스토리지 복제를 중지하고 리모트 리드가 요청된 블록을 전송하는 기능을 제공한다.

## IV. 이주 기법 성능평가

### 4.1 시뮬레이션 환경

클라우드 컴퓨팅 환경 구축을 위한 시뮬레이션 환경은 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 환경  
Table 1. Simulation environment.

노드 수	가상머신 노드 : 2개
	스토리지 노드 : 2개
노드 성능	CPU : Intel 2.53 GHz
	Memory : 768 MB
운영체제	Linux Kernel 2.6.32(Ubuntu server)
네트워크 지연	100 ~ 300 ms
네트워크 대역폭	1~2 Mbps

표 1의 각 노드는 동일한 성능을 가진 PC를 이용한다. 또한 외부 트래픽을 억제하기 위해 노드들은 독립된 LAN상의 동일 스위치에 연결한다. 각 노드의 운영체제는 리눅스(Linux kernel 2.6.32 Ubuntu server)를 사용하고, 네트워크 지연과 대역폭을 임의로 변경할 수 있는 리눅스의 netem을 사용한다. 네트워크 지연과 대역폭은 참고문헌[13]과 동일한 WAN환경의 네트워크 지연과 대역폭의 범위를 사용한다. 네트워크 지연은 100~300ms 범위로 조사되었고, 네트워크 대역폭은 1~2Mbps 정도가 많이 사용된다.

### 4.2 시뮬레이션 결과 분석

본 논문에서는 클라우드 시뮬레이터를 이용하여 스토리지에 대한 R/W 비율, 네트워크 지연, 네트워크 대역폭 등의 변화에 따른 두 이주기법의 성능을 평가한다. R/W 작업의 발생과 순서는 실제 클라우드 컴퓨팅 환경과 유사하게 무작위로 설정한다.

Read 비율 변화에 따른 두 복제 모델의 평균이주시간을 측정한 결과는 그림 7과 같다.

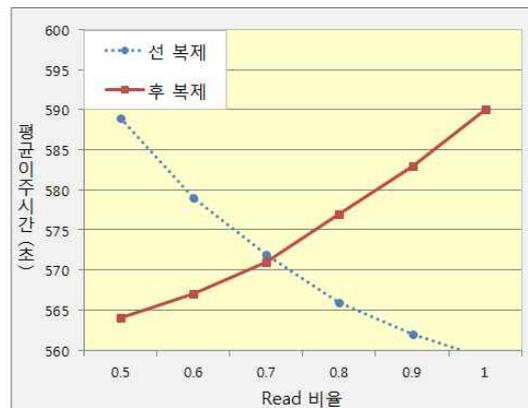


그림 7. Read 작업 비율에 따른 평균이주시간  
Fig. 7. The ratio of read operation vs. Average migration time.

그림 7을 살펴보면 선 복제 모델은 read 작업이 증가 할수록 평균이주시간이 감소한다. 하지만 후 복제 모델은 read 작업이 증가 할수록 평균이주시간이 증가한다. 또한, 두 이주기법의 평균이주시간은 read 작업 비율 0.7 정도에서 교점이 발생한다. 따라서 read 작업 비율 0.7 이하에서는 후 복제 모델을 사용하고, read 작업 비율 0.7 이상에서는 선 복제 모델을 사용한다면 클라우드 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다.

네트워크 지연에 따른 두 복제 모델의 평균이주시간을 측정한 결과는 그림 8과 같다.

그림 8을 살펴보면 두 복제 모델 모두 선형적인 형태를 보이고, 네트워크 지연이 약 140ms일 때 교점이 발생한다. 후 복제 모델은 네트워크 지연에 비례해서 평균이주시간이 증가한다. 하지만, 선 복제 모델은 네트워크 지연과 관계없이 일정한 평균이주시간을 보인다. 따라서 네트워크의 지연이 증가하면 선 복제 모델의 성능이 우수하고, 네트워크 지연 140ms 이하에서는 후 복제 모델의 성능이 우수하다. 특히, 선 복제 모델은 오버헤드를 처리하는 과정에서 가상머신 간에 아주 적은 수의 메시지를 주고받기 때문에 네트워크 지연이 증가하더라도 평균이주시간에 큰 영향을 주지 않는다. 하지만, 후 복제 모델은 단 1 바이트의 데이터 전송에도 가상머신 간의 메시지 교환이 필요하다. 또한 원격 read 과정에서 계속되는 복제 때문에 평균이주시간이 증가한다. 따라서 네트워크 지연이 증가할수록 원격 read에 소요되는 시간도 증가한다.

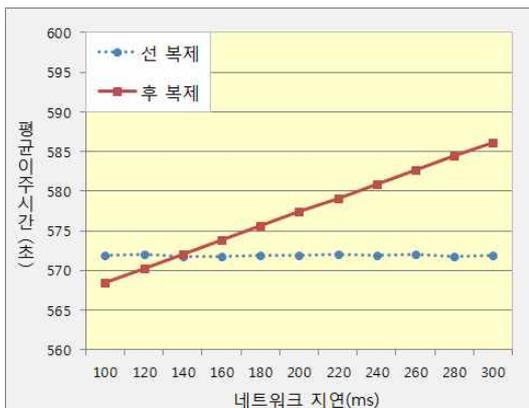


그림 8. 네트워크 지연에 따른 평균이주시간  
Fig. 8. The network delay vs. Average migration time.

네트워크 대역폭에 따른 두 복제 모델의 평균이주시간을 측정한 결과는 그림 9와 같다.

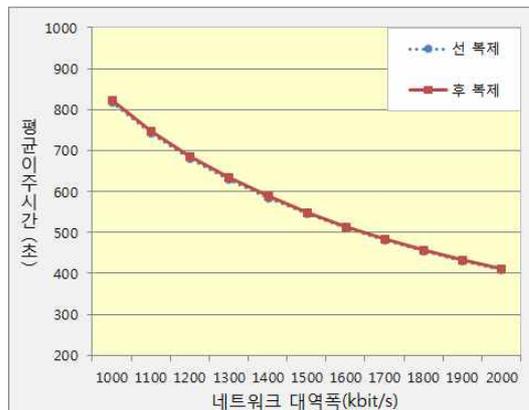


그림 9. 네트워크 대역폭에 따른 평균이주시간  
Fig. 9. The network bandwidth vs. Average migration time.

그림 9를 살펴보면 네트워크 대역폭의 변화에 따른 평균이주시간은 두 모델 모두 유사함을 볼 수 있다. 네트워크 대역폭이 증가할수록 두 모델의 평균이주시간이 감소한다. 이것은 이주시간 동안 발생하는 오버헤드가 감소하기 때문이다. 따라서 네트워크 대역폭은 스토리지 복제 모델을 선정함에 있어 중요한 요소가 아님을 알 수 있다. 따라서 스토리지 복제 모델을 선정할 때는 네트워크 대역폭보다는 R/W 작업의 비율, 네트워크 지연을 더 고려해야 한다.

### V. 결론

클라우드 컴퓨팅 환경에서 이주 방법의 성능을 평가하기 위해 본 논문에서는 시뮬레이터를 설계하고 구현하였다. 이 시뮬레이터를 이용하여 스토리지에 대한 R/W 비율, 네트워크 지연, 네트워크 대역폭 등의 변화에 따른 두 이주 방법의 성능을 평가한다.

선 복제 모델은 read 작업이 증가 할수록 평균이주시간이 감소 하지만 후 복제 모델은 read 작업이 증가 할수록 평균이주시간이 증가하였다. 또한, read 작업 비율 0.7 이하에서는 후 복제 모델을 사용하고, read 작업 비율 0.7 이상에서는 후 복제 모델을 사용한다면 클라우드 시스템의 성능을 향상시킬 수 있음을 알았다. 또한, 후 복제 모델은 네트워크 지연에 비례해서 평균이주시간이 증가 하지만, 선 복제 모델은 네트워크 지연과 관계없이 일정한 평균이주시간을 보인다. 따라서 네트워크의 지연이 증가하면 선 복제 모델의 성능이 우수하고, 네트워크 지연 140ms이하에서는 후 복제 모델의 성능이 우수하다.

네트워크 대역폭의 변화에 따른 평균이주시간은 두 모델이

유사하였다. 네트워크 대역폭이 증가하면 두 모델의 평균이주 시간이 감소하였다. 따라서 네트워크 대역폭은 스토리지 복제 모델을 선정함에 있어 중요한 요소가 아님을 알 수 있었다. 하지만 R/W 작업의 비율, 네트워크 지연은 스토리지 복제 모델을 선정함에 있어 중요한 요소임을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] Amazon Elastic Compute Cloud, <http://aws.amazon.com/what-is-aws>
- [2] Google App Engine, <http://code.google.com/intl/ko-KR/appengine/docs/whatisgoogleappengine.html>
- [3] Microsoft Azure, <http://www.microsoft.com/windowsazure/Whitepapers/introducingwindowsazureplatform>
- [4] KT ucloud, <http://home.ucloud.olleh.com/guide/guide.kt>
- [5] Tae Hoon Keum, Won Joo Lee, Chang Ho Jeon, "A Performance Analysis Based on Hadoop Application's Characteristics in Cloud Computing," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 15, No. 5, pp. 49-56, May 2010.
- [6] SNIA, "Cloud Storage Reference Model," Trial Use Draft, June 2009.
- [7] NHN nDrive, <http://ndrive.naver.com/index.nhn>
- [8] J. Zheng, T. Sing Eugene Ng, K. Sripanidkulchai, "Workload-aware live storage migration for clouds," In Proc. of ACM international conference on Virtual execution environments(VEE'11), Vol. 46, Issue. 7, pp. 133-144, July 2011.
- [9] C. Clark, K. Fraser, S. Hand, J. Gorm Hansen, E. Jul, C. Limpach, I. Pratt, A. Warfield, "Live migration of virtual machines," In Proc. of ACM conference on Symposium on Networked Systems Design & Implementation(NSDI'05), Vol. 2, 2005.
- [10] T. Hirofuchi, H. Nakada, H. Ogawa, S. Itoh, and S. Sekiguchi, "A live storage migration mechanism over wan for relocatable virtual machine services on clouds," In Proc. of the International Workshop on Cloud Computing(Cloud 2009), May 2009.
- [12] F. Ma, F. Liu, Z. Liu, "Live virtual machine migration based on improved pre-copy approach," IEEE International Conference on Software Engineering and Service Sciences(ICSESS), pp. 230-233, July 2010.
- [13] <http://www-iepm.slac.stanford.edu>

## 저 자 소 개



### 창 준 협

2010: 한양대학교 컴퓨터공학과 학사.  
2012: 한양대학교 컴퓨터공학과 공학석사.  
현 재: 한양대학교 컴퓨터공학과 석사과정.  
관심분야: 클라우드 컴퓨팅, 클러스터 파일시스템  
Email: ckdwnsguq@gmail.com



### 이 원 주

1989: 한양대학교 전자계산학과 공학사.  
1991: 한양대학교 컴퓨터공학과 공학석사.  
2004: 한양대학교 컴퓨터공학과 공학박사  
현 재: 인하공업전문대학 컴퓨터정보과 부교수  
관심분야: 병렬처리시스템 성능분석 Grid 컴퓨팅 클라우드 컴퓨팅  
Email: wonjoo2@inhac.ac.kr



### 진 창 호

1977: 한양대학교 전자공학과 학사.  
1982: Cornell University 컴퓨터공학과 석사.  
1986: Cornell University 컴퓨터공학과 박사.  
1977-1979: 전자통신연구소 연구원  
현 재: 한양대학교 전자컴퓨터공학부 교수.  
관심분야: 병렬처리시스템 성능분석 Grid 컴퓨팅 클라우드 컴퓨팅  
Email: chj5193@hanyang.ac.kr