

디스크 I/O 성능에 따른 가상 서버 통합에 대한 고찰

한성근*, 신영호, 김규석, 김종백, 김주영

*한국과학기술정보연구원

e-mail:{sghan,shinyh,gskim,opr3,jyghim}@kisti.re.kr

A Study on Virtual Machine Consolidation According to DISK I/O Performance

Sung-Geun Han*, Young-Ho Shin, Gyu-Seok Kim, Joong-Baek Kim, Joo-Yeong Kim

*Korea Institute of Science and Technology Information

요 약

스마트폰이나 태블릿PC와 같은 모바일기기 보급의 확산으로 모바일 클라우드 컴퓨팅이 발전하고 있다. 이와 같은 클라우드 컴퓨팅의 핵심 기술은 가상화 기술이며 서버 가상화가 근간을 이룬다. 가상 서버는 물리 서버의 성능 이상을 추구하고 있으며 디스크 I/O에 따라 성능이 크게 좌우된다. 본 논문에서는 가상 서버 상에서 NAS, Local SAS, PCI-SSD와 같은 다양한 디스크에 대한 I/O 성능을 테스트하였고, 이를 근거로 디스크 I/O 성능에 따른 가상 서버 통합에 대해 고찰하였다.

1. 서론

최근 국내 스마트폰 가입자는 3천만 명을 넘어섰으며, 스마트폰, 태블릿PC, 스마트TV 등의 보급으로 누구나 어디서든 인터넷을 이용하여 스마트 콘텐츠를 이용하고 정보를 검색하는 시대가 열리게 되었다. 또한, 모바일 기기를 통해 영화, 사진, 음악 등 미디어 파일이나 문서, 주소록 등과 같은 사용자의 콘텐츠를 서버에 저장해 두고 언제 어디서나 실시간으로 다운로드하여 활용할 수 있으며, 이러한 사용자 요구사항을 지원하기 위해 다양한 IT 자원을 사용할 수 있는 모바일 클라우드 컴퓨팅이 업계의 화두로 부상되고 있다. 이제 더 이상 하드웨어 장비는 보유하는 것이 아니라 수도와 전기처럼 빌려서 사용하는 개념으로 바뀌어 가고 있다.[1]

클라우드 컴퓨팅(Cloud Computing)은 인터넷이 접속되어 있는 곳에서는 시간과 장소 제약 없이 IT 서비스를 이용할 수 있도록 함으로써, 업무 수행 공간을 유·무선 네트워크 공간으로 확대시켜 스마트워크 실현에 도움을 주며, 더 나아가 재택근무 및 이동근무 등을 통한 사회간접비용의 절감 효과까지도 얻을 수 있도록 한다.[2] 클라우드 컴퓨팅 환경에서는 가상화 기술(Virtualization Technology)이 그 핵심을 이루고 있으며, 이를 통해 시스템에 발생하는 유휴자원을 활용하여 시스템을 통합하고 자원의 효율성을 높여서 최적화된 시스템을 관리 및 서비스 할 수 있다. 가상화 기술은 서버 및 스토리지, 하드웨어 등을 분리된 시스템이 아닌 하나의 자원 영역(Resource Pool)으로 간주하여 자원을 필요에 따라 할당할 수 있게 해준다.[3] 따라서, 통합된 자원의 활용을 극대

화하고, 운영비용 절감 및 공간절약의 효과를 얻을 수 있게 된다.

그러나, 가상화 기술이 모든 분야에 걸쳐 쓰이고 있지는 않다. 검색이나 데이터베이스와 같은 대용량 데이터 처리가 필요한 부분의 경우 여전히 물리적인 고성능 컴퓨터 장비가 요구된다. 특히, 가상 서버(Virtual Machine)를 통합함에 있어 디스크 I/O는 가장 큰 장애물이다. 가상 서버의 작업량(Workload)이 증가함에 따라 서버가 감당할 수 있는 용량 이상으로 메모리(RAM)가 요구된다. 가상 메모리의 스왑 파일 사용(paging out)이 증가함에 따라, 다수의 애플리케이션들이 스토리지의 데이터를 액세스함에 있어 경합이 일어나며 디스크 I/O 속도가 급격히 떨어진다. 이러한 병목 현상으로 인해 호스트 서버(Hypervisor) 당 운용할 수 있는 가상 서버의 수가 제한되며, 서버 가상화의 장점인 가상 서버 통합 효과를 떨어뜨리게 된다. 이런 식으로 서버 대수가 늘어나면 유지 및 관리 업무만을 위한 서버도 새로 늘려야 하는데, 처리속도를 높인다는 명목하에 관리 서버의 대수도 늘어나게 되는 악순환이 발생하게 된다. 서버가 증가함에 따라 발생하는 비용에는 단순히 하드웨어를 새로 구매하는 비용만 포함되는 것이 아니다. 추가 서버를 처리, 공급 및 냉각하고 전원을 공급하는 등 여러 가지 작업에 대한 비용까지 감안해야 한다. 가상 서버에서 운용할 소프트웨어나 기반이 되는 하드웨어 장치에 대한 성능 분석이 없이, 단순히 물리 서버의 수를 줄이는 것에만 초점을 맞추고 서버 가상화 작업을 수행한다면 서버 가상화를 통한 이점 보다는 성능 저하 및 고비용 발생이라는 큰 문제를 안게 될 것이다.

따라서, 본 논문에서는 가상 서버 운영이나 가상 서버 통합 비율을 계산함에 있어 디스크 I/O 성능이 큰 영향을 미치고 있음을 감안하여, 디스크 I/O 성능에 따라서 얼마나 많은 가상 서버들을 통합하여 운영할 수 있는지 테스트 해 보았으며, 가상 서버 통합 비율에 따른 이점들을 논한다.

2. 관련 연구

2.1 가상화(Virtualization)

가상화는 물리적 하드웨어와 운영체제, 애플리케이션 사이에 소프트웨어 추상화 계층을 도입하는 기술이다. 이 추상화 계층은 VMM(Virtual Machine Monitor) 또는 호스트 서버(Hypervisor)라고 불리는 운영체제로부터 컴퓨팅 시스템의 물리적 자원을 감추고 논리적 자원 풀(Resource Pool)을 제공한다. 가상화 기술을 통해 한 대의 서버에서 복수의 운영체제를 가동할 수 있도록 하여 데이터 센터 내의 수십 대의 물리적인 서버 워크로드들을 몇 대의 가상 서버로 통합 및 집적이 가능하도록 한다. 이를 통해 물리적인 상면 비용, 관리적인 측면의 비용, Green IT 측면의 전력량을 포함하여 서버 자원 활용도를 증대시킨다. 가상화는 클라우드를 구축하는데 있어 필수불가결한 요소이다.[5]

가상화 기술은 다음과 같이 분류된다.

- 애플리케이션 가상화

사용자의 PC에 개별적으로 설치되어 있는 애플리케이션을 가상화를 통해 제공하여, 사용자는 필요한 애플리케이션을 자신의 PC에 매번 설치하지 않고도 즉시 On-Demand 방식으로 사용이 가능하다. 클라우드의 SaaS 구현의 기반 기술을 제공한다.

- 데스크톱 가상화

사용자의 데스크톱 PC에서 이기종의 또 다른 데스크톱 OS를 운영 가능하도록 함으로써, 개인 작업 공간과 회사 작업 공간의 분리가 가능해진다. 클라우드의 DaaS(Desktop as a Service) 구현의 기반 기술을 제공한다.

- 서버 가상화

데이터 센터 내의 수십 대의 물리적인 서버 워크로드들을 몇 대의 가상 서버로 통합 및 집적하여 물리적인 상면 비용, 관리적인 측면의 비용, Green IT 측면의 전력량을 포함한 서버 자원 활용도를 증대시킨다. 클라우드의 IaaS 구현의 기반 기술을 제공한다.

- 스토리지 가상화

필요로 하는 스토리지 공간 대신 Thin-Provisioning이라는 기술을 통해 초기에 필요한 최소의 디스크 공간을 가상으로 할당하여 제공하며, 이기종의 스토리지 시스템을 통합할 수 있는 환경을 제공한다. 클라우드의 IaaS 구현의 기반 기술을 제공한다.

- 네트워크 가상화

L2, L3, L7 스위치, 네트워크 방화벽, 보안 장비들을 가상 서버로 구현하고, 네트워크 자원들이 하나의 공유된

물리적인 환경에서도 내부적으로는 가상화를 통해 분리되어 동작하도록 한다. Multi-Tenancy를 갖춘 IaaS 구현 기반 기술을 제공한다.

2.2 클라우드 컴퓨팅(Cloud Computing)

클라우드 컴퓨팅이란 인터넷 기술을 활용하여 가상화된 IT 자원을 서비스로 제공하는 컴퓨팅으로, 사용자는 소프트웨어, 저장 장치, 서버, 네트워크 등의 IT 자원을 필요한 만큼 빌려서 사용하고, 사용한 만큼 비용을 지불하는 체계를 말한다.[4][5] 클라우드 컴퓨팅 기술은 모든 디지털화된 자원(소프트웨어, 하드웨어, 네트워크 등)을 가상화하여 사용자가 On-Demand 방식으로 언제, 어떤 단말로 접속하더라도 동적으로 자원을 공급해주며 실제로 사용한 양만큼의 과금(Pay-as-You-Go)이 이루어지도록 하는 소비자 중심의 총체적 기술이다.

클라우드는 배치 유형(Deployment Type)에 따라 프라이빗 클라우드(Private Cloud), 퍼블릭 클라우드(Public Cloud), 하이브리드 클라우드(Hybrid Cloud)로 나눌 수 있다. 프라이빗 클라우드는 기업 내부와 같이 폐쇄된 환경에서 특정 사용자만 사용하는 클라우드를 말하며, 공용 클라우드는 일반 대중 및 다수의 기업을 대상으로 서비스를 제공하는 클라우드다. 하이브리드 클라우드는 프라이빗 클라우드와 퍼블릭 클라우드를 조합하여 구성되는 클라우드를 말한다.

클라우드 컴퓨팅에서 제공하는 서비스는 제공되는 형태에 따라 IaaS, PaaS, SaaS 로 나눌 수 있다.

- IaaS (Infrastructure as a Service)

프로세싱 파워(CPU, Memory), 스토리지, 네트워크, DB 등의 컴퓨팅 인프라 자원을 제공하는 서비스이다. 대표적인 예로 아마존 웹 서비스(AWS)의 EC2&S3, GoGrid, RackSpace, CohesiveFT, Elastra, AT&T 등이 있다.[6]

- PaaS (Platform as a Service)

프로그램 개발 언어, 웹 서비스 제작 툴, DB 인터페이스, 사용자 관리 모듈 등의 개발 자원을 제공함으로써 새로운 애플리케이션 개발을 지원하는 서비스이다. 대표적인 예로 구글의 AppEngine, MS Azure, force.com, NexR iCube Cloud 등이 있다.[7][8]

- SaaS (Software as a Service)

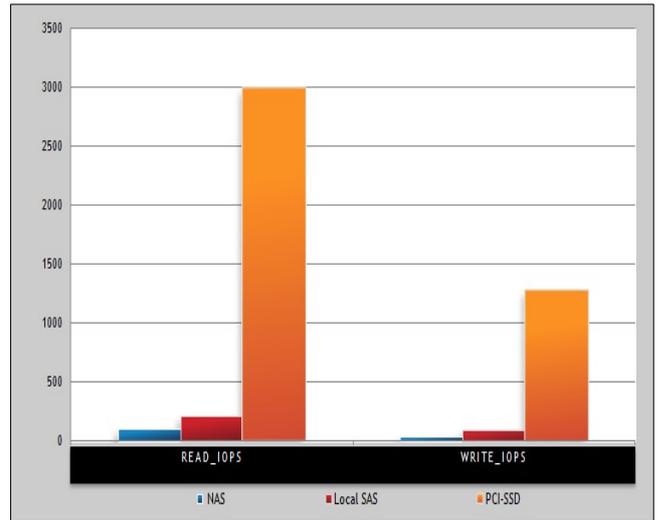
클라우드 인프라 상에서 실행되는 애플리케이션을 제공하는 것으로, E-Mail, ERP, CRM 솔루션과 같은 소프트웨어를 On-Demand 형태로 서비스한다. 대표적인 예로, Salesforce.com CRM, Google App, Apple MobileMe, NetSuite 등이 있다.[9]

3. 디스크 I/O 성능 비교 및 서버 통합 방안

본 논문에서는 디스크 I/O에 따른 가상 서버의 성능과 물리 서버의 가상 서버로의 통합 비율을 알아보기 위해 실험-1에서는 한 대의 가상 서버에, 그리고 실험-2에서는 각 디스크마다 다섯 대씩 총 열 다섯 대의 가상 서버

에 NAS, Local SAS, PCI-SSD 디스크 장치들을 연결하여 각 디스크에 대한 I/O 성능을 측정하였다. 테스트 환경은 다음과 같다.

- 호스트 서버 (Hypervisor)
 - HP DL360G7 (3.46GHz 6core*2CPU, 128 GB Memory)
 - VMWare vSphere 5.0 구동
- 테스트 디스크
 - Local SAS (15K RPM) : 호스트 서버에 직접 연결된 로컬 하드디스크
 - NAS : NFSv3로 연결된 스토리지 (NetApp FAS 6030A)
 - PCI-SSD : 호스트 서버의 PCI 슬롯에 장착되어 구동되는 디스크(PCIe Fusion-io Drive 320GB MLC)[10]
- I/O 측정 방법
 - 소프트웨어 : ioMeter (Version 2006.07.27)
 - 데이터 크기 : 4KB, 16KB, 32KB
 - 수행 작업 : Read 70%, Write 30%



(그림 1) 1-VM 상에서의 디스크별 IOPS

3.1 실험-1

실험-1에서는 한 대의 호스트 서버 위에 한 대의 가상 서버를 구동한 상태에서 성능을 테스트하였다. 가상 서버에는 OS로 Linux RHEL 5.4를 설치하였다. 가상 서버의 CPU는 4코어(cores)를 할당하였다. ioMeter 부하 프로그램을 통해 8개의 쓰레드를 생성한 후, 데이터 블록 크기를 4KB, 8KB, 16KB로 설정하고, Read 70%, Write 30% 비율로 각 디스크 장치에 Random I/O를 발생시켜 성능을 측정하였다. <표 1>은 한 대의 가상 서버 구동 시에 테스트한 디스크 I/O 성능에 대한 결과를 나타내며, (그림 1)은 디스크별 IOPS(Input/Output Operations Per Second) 성능을 나타낸다.

<표 1> 1-VM 상에서의 I/O 성능

Disk	Read IOPS	Write IOPS	Average Read Response Time(ms)	Average Write Response Time(ms)
NAS	100.9	42.6	58.03	50.26
SAS	211.1	90.6	27.85	23.37
PCI-SSD	2993.9	1275	1.89	1.81

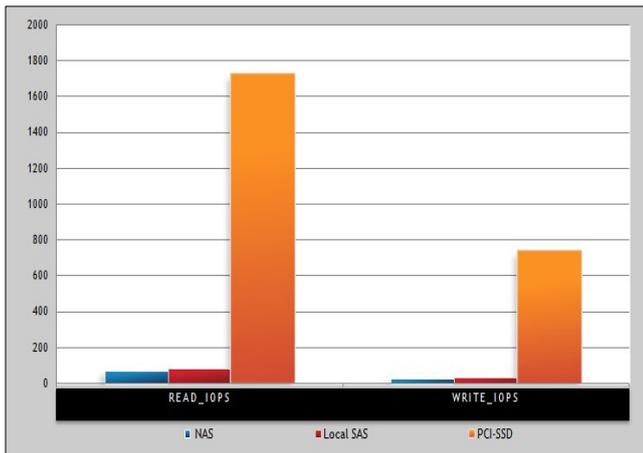
(그림 1)에서 Read IOPS에 대한 성능은 NAS(100.9), Local SAS(211.1), PCI-SSD(2993.9)로 PCI-SSD가 NAS의 약 29배, Local SAS의 약 14배로 우수하였다. Write IOPS에 대한 성능은 NAS(42.6), Local SAS(90.6), PCI-SSD(1275)로 PCI-SSD가 NAS의 약 29배, Local SAS의 약 14배로 역시 우수함을 나타냈다.

3.2 실험-2

실험-2에서는 한 대의 호스트 서버 위에 각 디스크마다 다섯 대의 가상 서버를 할당하여 총 열 다섯 대의 가상 서버를 구동한 상태에서 성능을 테스트하였다.

<표 2> 15-VM 상에서의 I/O 성능

Disk	Read IOPS	Write IOPS	Average Read Response Time(ms)	Average Write Response Time(ms)
NAS-01	72.0	31.1	80.84	69.71
NAS-02	72.9	31.1	79.92	69.62
NAS-03	72.4	31.3	80.45	69.18
NAS-04	73.4	31.2	79.69	68.59
NAS-05	73.4	31.2	79.53	68.93
SAS-01	69.2	29.9	85.23	69.97
SAS-02	81.4	35.1	72.17	60.41
SAS-03	82.5	35.7	71.22	59.43
SAS-04	81.5	35.3	72.21	59.69
SAS-05	68.7	29.0	86.10	71.50
PCI-SSD-01	1726.8	738.6	3.33	3.02
PCI-SSD-02	1749.8	752.7	3.28	2.98
PCI-SSD-03	1816.9	781.0	3.16	2.87
PCI-SSD-04	1726.5	740.2	3.33	3.03
PCI-SSD-05	1825.6	777.2	3.16	2.86



(그림 2) 15-VM 상에서의 디스크별 IOPS

디스크마다 다섯 대의 가상 서버를 할당함으로써 실제 현실 상황에서 발생할 수 있는 I/O 경합을 고려하여 테스트하였다. 각 가상 서버에는 실험-1과 마찬가지로 OS로는 Linux RHEL 5.4를 설치하였고, 가상 서버마다 2코어 (cores)씩의 CPU를 할당하였다. ioMeter 부하 프로그램을 통해 다섯 대의 가상 서버에 대해 각각 8개의 쓰레드를 생성한 후, 데이터 블록 크기를 4KB, 8KB, 16KB로 설정하고, Read 70%, Write 30% 비율로 각 디스크 장치에 Random I/O를 발생시켜 성능을 측정하였다. <표 2>는 열 다섯 대의 가상 서버 구동 시에 테스트한 디스크 I/O 성능에 대한 결과를 나타내며, (그림 2)는 열 다섯 대의 가상 서버에 대한 디스크별 평균 IOPS를 나타낸다.

(그림 2)에서 Read IOPS에 대한 평균 성능은 NAS(72.8), Local SAS(76.6), PCI-SSD(1769.1)로 PCI-SSD가 NAS의 약 24배, Local SAS의 약 23배로 우수하였다. Write IOPS에 대한 평균 성능은 NAS(31.1), Local SAS(33.0), PCI-SSD(757.9)로 PCI-SSD가 NAS의 약 24배, Local SAS의 약 23배로 역시 우수함을 나타냈다.

3.4 서버 통합 방안

물리 서버를 가상 서버로 통합할 때 성능적인 측면에서 고려해야 할 부분으로 디스크 I/O가 중요한 요소임을 앞 절에서 설명하였다. 본 절에서는 앞에서 실험한 데이터를 근거로 가상 서버로 통합 할 때 디스크 I/O 측면에서 어느 정도의 통합 비율을 이룰 수 있는가를 논한다.

실험-1에서는 PCI-SSD가 NAS의 약 29배, Local SSD의 약 14배의 좋은 성능을 나타냈다. 이 데이터를 근거로 Read IOPS 50을 보장하기 위한 가상 서버를 구축한다면 한 대의 호스트 서버 위에 NAS를 사용할 경우 2대, Local SAS를 사용할 경우 4대, PCI-SSD를 사용할 경우 59대의 가상 서버를 구동할 수 있게 된다. 만일 대용량 데이터 처리가 필요한 서버로 Write IOPS가 100이상의 사양이 요구된다면, NAS나 Local SAS 만으로는 가상 서버를 사용할 수 없으며, 고성능의 물리 서버를 사용해야 할 것이다. 즉, NAS나 Local SAS 로는 가상 서버로의 통합

이 불가능하며, 서버 가상화의 이점을 얻을 수 없게 된다.

실험-2에서는 다수의 가상 서버가 디스크 경합을 일으키는 환경을 재현하였으며 이 때 PCI-SSD가 NAS의 약 24배, Local SSD의 약 23배의 좋은 성능을 나타냈다. 이 데이터를 근거로 가상 서버를 구성할 경우에도 역시 PCI-SSD 디스크가 다른 디스크 장치보다 좋은 통합 비율을 보인다.

가상 서버의 통합 비율을 높임으로써 호스트 서버의 수를 줄일 수 있으며, 이는 데이터 센터 내의 공간 절약, 소요 전력 절약, 냉각 비용 절약 등 그 파급 효과는 크다. 더욱이 디스크 I/O 성능을 고려하여 서버 통합을 수행할 경우 전체적인 가상 서버 성능 또한 계획한 만큼 보장 받을 수 있을 것이다.

4. 결론

서버 자원의 최적화를 통해 불필요한 자원의 낭비를 제거함으로써 비용절감과 관리의 용이성, 재해 복구의 용이성 등을 약속하는 가상화 기술은 IT 시장에서 매우 중요한 테마로 부각되고 있다. 가상화 기술의 근간인 가상 서버 통합은 디스크 I/O 성능에 따라 통합 비율이 달라지며 이에 따라 관리 및 유지비용이 영향을 받는다. 본 논문에서는 가상 서버에 NAS, Local SAS, PCI-SSD와 같은 디스크 장치를 적용하여 디스크 I/O 성능을 테스트 하였다. PCI-SSD 장치는 다른 장치에 비해 그 성능이 월등히 뛰어나게 나왔으며 서버 통합 비율이 높음을 알 수 있었다. 서버 통합 비율을 높임으로써 서버 구입비용을 줄일 수 있으며, 관리 서버의 수가 줄어들므로써 Green IT에서 추구하는 전력 및 냉각 비용 등 에너지 소비를 줄일 수 있는 효과를 얻게 된다.

참고문헌

- [1] 니콜라스 카, 빅 스위치, 동아시아, 2008년 11월
- [2] 민옥기, 김학영, 남궁한, “클라우드 컴퓨팅 기술 동향”, 전자통신동향분석, 제27권, 제4호, 2009, pp.1-13
- [3] “Security Guidance for Critical Areas of Focus in Cloud Computing,” Cloud Security Alliance, April. 2009
- [4] Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing
- [5] M. Armbrust et al, “Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing,” University of California, Department of EECS Technical Report No. UCB/EECS-2009-28, Feb. 2009
- [6] “Amazon Elastic Compute Cloud(Amazon EC2),” <http://aws.amazon.com/ec2>
- [7] George Lawton, “Developing Software Online with Platform-as-a Service Technology,” Computer, June 2008
- [8] “Google Apps,” <http://www.google.com>, white paper
- [9] Salesforce.com, “Salesforce Marketing,” <http://salesforce.com>
- [10] <http://www.fusionio.com/products/iodrive-duo/>