

# 클로즈드 소스 기반 가상 머신의 성능 비교

이혁준\*, 김성기\*\*, 최재영\*, 민병준\*  
\*인천대학교 컴퓨터공학과  
\*\*선문대학교 IT교육학부  
e-mail:hjlee@incheon.ac.kr

## Performance Comparison of Closed Source-Based Virtual Machines

Hyuk-Jun Lee\*, Sung-Ki Kim\*\*, Jae-Yeong Choi\*, Byoung-Joon Min\*  
\*Dept of Computer Engineering, In-Cheon University  
\*\*Dept of IT Education, Sun-Moon University

### 요 약

가상화 기술은 물리적인 컴퓨팅 자원을 논리적으로 분할하여 여러 사용자에게 제공함으로써 자원 효율성 및 관리 측면에서 큰 이점을 갖고 있을 뿐만 아니라 클라우드 기술의 핵심으로 그 중요성이 나날이 높아지고 있다. 이에 맞춰 가상 머신의 성능 측정 방법 및 성능 비교 역시 활발하게 진행되어야 하나, 실제로는 서버 가상화 위주의 벤더 종속적인 성능 비교가 진행되어 왔다. 본 논문에서는 기존의 가상 머신 성능 측정 방법에 대해 연구하고 운영체제에서 제공하는 유틸리티를 이용하여 성능 측정 방법을 제안한다. 전가상화(Full Virtualization)방식의 클로즈드 소스 기반(Closed Source Based)의 가상화 솔루션들을 선정하여 윈도우즈와 리눅스 운영체제 상에서 각각 성능 측정 방법 및 요소를 정의하고 성능 측정 후 비교하였다. 그 결과로 각 가상화 솔루션의 성능 비교 지표를 통하여 가상 머신의 실행과 가상 머신상의 응용 프로그램이 호스트 운영체제에 미치는 부하를 분석하였다.

### 1. 서론

가상화 기술은 비용 및 자원 절감 그리고 중앙화된 관리를 통한 쉬운 유지보수의 이점을 갖는다. 이에 따라 오늘날 많은 기업들이 가상화 기술의 이용 및 보급을 확대하여 가상화 기술은 나날이 발전하고 있다. 특히 가상화 기술은 하나의 물리적 기계에서 다수의 운영체제를 동시에 실행시킬 수 있는 기능으로 기업 뿐 아니라 가정이나 학교 등에서도 사용이 늘어나고 있는 추세이다. 현재 가상 머신의 성능 비교나 측정 방법론에 대한 연구는 주로 서버 가상화를 중심으로 SPEC(The Standard Performance Evaluation Corporation)[1], vConsolidate[2], VMmark[3] 등을 통하여 이루어져 왔다. 그러나 이러한 도구들은 무료로 지원되지 않거나 벤더와 종속적 관계를 갖는다. 본 논문에서는 신뢰성 있는 가상 머신의 성능 비교를 위하여 2장에서는 관련 연구들을 조사하고 3장에서는 데스크탑 가상화 솔루션의 성능 측정 방법을 제안하였으며, 4장에서는 각 가상화 솔루션의 성능 비교 결과를 지표를 통하여 분석하였고 마지막 5장에서 결론을 맺는다.

### 2. 관련 연구

#### 2.1 벤치마크 프로그램

벤치마크 프로그램들을 통해 시스템의 각 요소들을 모니터링 하여 가상 머신에 대한 여러 요소들의 성능을 측정하고 평가할 수 있다. SPEC은 비영리 단체로 여러 컴

퓨터 및 마이크로프로세서 공급자들이 벤치마크 테스트의 표준을 만들기 위해 설립되었다. 지원하는 벤치마크로는 중앙처리장치, 그래픽카드, 네트워크 파일 시스템, 가상화 등이 있으며 SPECvirt\_sc2010은 SPEC이 가상화 서버 통합을 사용한 데이터 센터 서버의 성능 평가를 처음으로 진행하기도 하였다[1]. Intel사에서 개발한 vConsolidate는 규격화된 가상화 시스템의 성능 평가에 대한 사용자들의 요구를 수용하였고 가상 머신의 성능을 의미를 가진 가중치 값을 통하여 하나의 성능 지표로 나타내는 방법으로 성능을 평가한다[2]. VMware사에서도 가상 플랫폼 벤치마크에 대한 요구로 가상 머신 벤치마크 소프트웨어인 VMmark를 무료로 제공하고 있다.

#### 2.2 가상 머신 성능 평가 방법

기존의 벤치마크 도구를 이용하여 가상화 시스템의 성능을 평가하는 많은 연구가 있었다. 그러나 이러한 방법은 가상화 기술의 적용으로 인한 오버헤드의 발생이나 전체 성능의 저하 등은 반영하지 못한다[4]. Steve G. Langer의 논문에서 제안한 가상 머신 성능 벤치마크는 물리적 플랫폼과 가상 플랫폼 모두에서 성능을 측정하였다[5]. 즉, 가상 머신 환경을 bare metal, thin hypervisor, thick hypervisor일 경우로 나누어 성능을 측정하여 평가하였는데 측정 방법으로는 리눅스에서 공식적으로 지원하는 "dd" 명령어와 Dhrystone, Whetstone을 사용하였고 게스트 운영체제를 리눅스로 정하여 가상 머신 환경과 호스트

운영체제에 따라 성능을 측정하였다. 그러나 이 방식은 게스트 운영체제를 리눅스로 한정하였고 호스트 운영체제의 부하 측정이나 게스트 운영체제의 다양성을 보이지 못하고 있다.

### 3. 성능 측정 방법 제안

가상 머신의 성능 평가 시 호스트 운영체제와 게스트 운영체제를 선정하여 각각의 가상 머신 환경과 게스트 운영체제의 종류에 따른 호스트 운영체제의 부하를 측정한다. 가상 머신이 동작할 때와 가상 머신 상에서 애플리케이션이 동작할 때의 상황을 구현하여 각각 부하를 측정한다. 측정 방법으로는 호스트 운영체제가 지원하는 유틸리티를 사용하여 측정함으로써 값을 정량화한다.

#### 3.1 성능 측정 도구

##### (1) 윈도우즈 성능 모니터

윈도우즈 성능 모니터(Windows Performance Deamon)는 성능 데이터를 실시간으로 또는 로그 파일을 통해 확인할 수 있도록 해주는 데몬으로써 Windows 7에서 지원한다. 데이터 수집기 집합을 만들어 성능 카운터, 이벤트 추적 및 구성 데이터 수집을 구성 및 예약하여 결과를 분석하고 보고서를 볼 수 있다.

##### (2) top

시스템 자원 사용률을 확인할 수 있는 리눅스 명령어로 계속해서 갱신되는 정보들을 통해 시스템의 현재 사용 현황에 대하여 모니터링 할 수 있다. top명령어에는 여러 옵션 들이 존재하며, 이를 통해 정보가 갱신되는 시간 간격이나 모니터링 측정 횟수 등을 조절 할 수도 있다.

#### 3.2 성능 측정 값

##### (1) Windows7

호스트 운영체제에서 윈도우즈 성능 모니터를 사용하여 성능을 측정한다. 모니터링 항목은 Processor Time(프로세서가 작업 중인 스레드를 실행하는 데 걸리는 시간의 백분율), Available KBytes(컴퓨터에서 실행되는 프로세스에 할당하거나 시스템에서 사용할 수 있는 실제 메모리의 양)이며 샘플링 간격은 1초, 재생 시간을 60초로 설정하여 측정값의 평균값을 구한다. 호스트 운영체제에서 가상 머신을 구동시켰을 때와 가상 머신에서 Gretech사의 동영상 재생기인 곰플레이어로 720p해상도의 X264 코덱을 가진 동영상을 실행시켰을 때의 성능을 측정한다.

<표 1> 성능 측정 방법(Windows 7 Ultimate K 64-bit)

Processor Time(단위 : %)	Available Memory(단위 : Kbyte)
$PT = VPT_n - HPT$	$AM = HAM - VAM_n$
$APT = HAPT - VAPT_n$	$AAM = HAAM - VAAM_n$
$PT$ : Processor Time	$AM$ : Available Memory

$HPT$  : 호스트 운영체제의 성능 측정값

$HAPT$  : 호스트 운영체제 상에서 App 실행 후 성능 측정값

$VPT_n$  : n개의 가상 머신 실행 후 성능 측정값

$VAPT_n$  : n개의 가상 머신 상에서 App 실행 후 성능 측정값

##### (2) Linux

리눅스에서 공식적으로 제공하는 top명령어를 사용하여 자원을 측정한다. CPU와 Memory 사용률을 성능 측정 항목으로 정하고 60초 동안 5초를 주기로 하여 사용률을 측정하여 평균을 구한다. 호스트 운영체제에서 가상 머신을 구동시켰을 때와 Gretech사의 동영상 재생기인 곰플레이어로 720p해상도의 X264 코덱을 가진 동영상을 실행시켰을 때의 성능을 측정한다. 호스트 운영체제에서의 성능 측정을 위한 top 명령어는 다음과 같이 옵션을 사용하였다. 'top -d 5 -n 12 | grep -E CpuMem'

<표 2> 성능 측정 방법(Ubuntu 12.04 LTS x86\_x64)

Usage CPU(단위 : %)	Usage Memory(단위 : Kbyte)
$PT = VPT_n - HPT$	$AM = VAM_n - HAM$
$APT = VAPT_n - HPT$	$AAM = VAAM_n - HAAM$

### 4. 성능 측정 결과

본 논문에서 제안한 성능 측정 방법을 통해 각 가상 머신이 호스트 운영체제의 자원을 어느 정도 소모하는지 확하기 위하여 호스트 운영체제의 성능을 측정 하였다. 호스트 운영체제를 윈도우와 리눅스로 각각 구성하여 측정값을 비교할 수 있도록 하였고, 각 가상 머신의 애플리케이션에 의한 호스트 운영체제의 부하를 확인하였다.

#### 4.1 윈도우 환경에서의 성능 측정

<표 3>은 호스트 운영체제에서 성능 모니터로 단순 실행 상태와 동영상 실행 상태의 시스템 자원을 측정한 값이다. <표 4>는 가상 머신을 실행시킨 후 호스트 운영체제에서 성능 모니터로 시스템 자원을 측정한 값에 <표 3>의 값을 감한 값을 나타낸다. 그러므로 표에서 적은 값을 나타내는 것이 호스트 운영체제의 적은 자원 소모를 의미한다. <표 5>는 가상 머신을 실행시킨 후 동영상 재생 상태에서 호스트 운영체제의 자원을 측정한 것으로 애플리케이션의 실행이 얼마만큼의 호스트 운영체제의 자원을 소모하는 지 알아보려고 하였다.

- Host Spec(Measurement hardware)
- \* OS : Windows 7 Ultimate K 64-bit
- \* CPU : Intel(R) Core(TM) i5-2400 CPU @ 3.10GHz
- \* RAM : 4.00GB
- Guest Spec(XP)
- \* OS : Windows XP SP3, RAM : 512MB
- Guest Spec(Windows 7 x86/x64)
- \* OS : Windows 7 Ultimate K, RAM : 1GB

- Virtual Machine Environment

- \* VMware Workstation 7.1.2 Build0301548
- \* Virtual Box 4.1.8
- \* Parallels Workstation 6.0.13950

<표 3> 호스트 운영체제 부팅 후 시스템 자원 상태(Windows 7 Ultimate K 64-bit)

측정 자원	단순 실행	동영상 실행
Processor time(단위 : %)	0.237	10.266
Memory Available(단위 : Kbytes)	2,952,972	2,832,874

<표 4> 가상화 솔루션 실행 시 Host OS의 자원 소모 측정(Windows 7 Ultimate K 64-bit)

Guest OS	VM 개수	VM Environment	Processor time	Available Memory
Win XP	1	Virtual Box	<b>0.435</b>	574,518
		VM Ware	3.174	<b>373,704</b>
		Parallels	0.777	519,970
	2	Virtual Box	<b>0.539</b>	1,147,732
		VM Ware	5.184	1,035,680
		Parallels	1.696	<b>867,579</b>
3	Virtual Box	<b>0.578</b>	1,756,314	
	VM Ware	5.99	1,684,681	
	Parallels	1.849	<b>1,129,681</b>	
Win7 x86	1	Virtual Box	<b>0.734</b>	1,035,048
		VM Ware	3.441	<b>988,683</b>
		Parallels	2.829	1,333,871
	2	Virtual Box	<b>0.871</b>	<b>2,180,175</b>
		VM Ware	3.594	2,241,128
		Parallels	4.75	2,477,437
3	Virtual Box	<b>4.129</b>	2,935,744	
	VM Ware	7.654	<b>2,270,426</b>	
	Parallels	5.904	2,855,288	
Win7 x64	1	Virtual Box	3.407	<b>720,843</b>
		VM Ware	4.094	778,381
		Parallels	<b>2.118</b>	1,381,059
	2	Virtual Box	5.198	<b>1,903,336</b>
		VM Ware	5.424	2,060,986
		Parallels	<b>2.522</b>	1,906,982
	3	Virtual Box	10.065	2,838,950
		VM Ware	7.556	2,827,083
		Parallels	<b>6.153</b>	<b>2,802,493</b>

<표 5> 가상화 솔루션 실행 후 동영상 실행상태에서 Host OS의 자원 소모 측정(Windows 7 Ultimate K 64-bit)

Guest OS	VM 개수	VM Environment	Processor time	Available Memory
Win XP	1	Virtual Box	<b>2.562</b>	546,746
		VM Ware	7.688	453,505
		Parallels	5.729	<b>314,149</b>
	2	Virtual Box	<b>8.745</b>	1,107,652
		VM Ware	20.643	1,178,948
		Parallels	21.407	<b>938,517</b>
3	Virtual Box	<b>16.935</b>	1,714,430	
	VM Ware	21.884	1,872,837	
	Parallels	42.632	<b>1,404,457</b>	
Win7 x86	1	Virtual Box	<b>2.354</b>	926,074
		VM Ware	20.281	650,435
		Parallels	8.41	<b>543,793</b>
	2	Virtual Box	<b>9.834</b>	2,077,762
		VM Ware	44.724	<b>1,695,068</b>
		Parallels	17.515	1,729,738
3	Virtual Box	<b>28.852</b>	2,676,640	
	VM Ware	69.299	<b>2,671,137</b>	

Win7 x64	1	Parallels	41.683	2,792,457
		Virtual Box	<b>4.183</b>	634,436
		VM Ware	21.009	<b>595,065</b>
	2	Parallels	5.669	1,042,247
		Virtual Box	<b>13.276</b>	1,769,876
		VM Ware	38.184	1,690,273
	3	Parallels	25.761	<b>1,645,106</b>
		Virtual Box	<b>28.875</b>	<b>2,720,504</b>
		VM Ware	76.884	2,807,050
		Parallels	42.49	2,769,237

4.2 리눅스 환경에서의 성능 측정

호스트 운영체제를 리눅스 환경으로 구성하여 가상 머신 환경에 따른 호스트 운영체제의 부하를 측정하였다. 호스트 운영체제로는 'Ubuntu 12.04 LTS x86\_x64'을 사용하였고 하드웨어의 사양은 윈도우 환경의 실험과 동일하게 진행하였다.

<표 6> 호스트 운영체제 부팅 후 시스템 자원 상태(Ubuntu 12.04 LTS x86\_x64)

측정 자원	단순 실행 상태
Usage CPU(단위 : %)	0.075
Usage Memory(단위 : Kbytes)	1,135,168

<표 7> 가상화 솔루션 실행 후 Host OS의 자원 소모 측정(Ubuntu 12.04 LTS x86\_x64)

Guest OS	VM 개수	VM Environment	CPU Usage	Memory Usage
Win XP	1	Virtual Box	0.525	1,429,627
		VM Ware	<b>0.35</b>	<b>1,192,886</b>
		Parallels	0.5	1,404,900
	2	Virtual Box	<b>0.491667</b>	2,511,559
		VM Ware	0.491667	<b>2,316,652</b>
		Parallels	0.75	2,717,519
3	Virtual Box	0.75	<b>2,713,562</b>	
	VM Ware	<b>0.65</b>	2,716,816	
	Parallels	1.066667	2,728,613	
Win7x86	1	Virtual Box	0.616667	2,730,841
		VM Ware	<b>0.383333</b>	<b>2,708,286</b>
		Parallels	1.091667	2,712,659
	2	Virtual Box	1.041667	2,711,962
		VM Ware	0.433333	2,707,958
		Parallels	<b>0.4</b>	<b>2,494,234</b>
3	Virtual Box	1.058333	2,749,648	
	VM Ware	<b>0.716667</b>	<b>2,737,826</b>	
	Parallels	-	-	
Win7x64	1	Virtual Box	0.908333	<b>1,674,271</b>
		VM Ware	<b>0.416667</b>	2,477,297
		Parallels	0.775	2,731,314
	2	Virtual Box	1.35	2,727,848
		VM Ware	0.8	2,717,501
		Parallels	<b>0.583333</b>	<b>2,695,920</b>
	3	Virtual Box	0.983333	2,750,722
		VM Ware	<b>0.941667</b>	<b>2,735,079</b>
		Parallels	-	-

\* VM3개 실행 시 자원 부족으로 Parallels 실행 불가.

<표 8> 가상화 솔루션 실행 후 동영상 실행상태에서 Host OS의 자원 소모 측정(Ubuntu 12.04 LTS x86\_x64)

Guest OS	VM 개수	VM Environment	CPU Usage	Memory Usage
Win XP	1	Virtual Box	3.24167	1,540,906

		VM Ware	<b>2.416667</b>	<b>1,435,294</b>
		Parallels	16.75	2,047,310
		Virtual Box	5.25833	2,710,846
	2	VM Ware	<b>3.208333</b>	<b>2,699,236</b>
		Parallels	18.77833	2,720,338
		Virtual Box	7.675	2,736,378
3	VM Ware	<b>4.108333</b>	<b>2,729,278</b>	
	Parallels	20.458333	<b>2,723,040</b>	
	Virtual Box	3.508333	<b>2,455,495</b>	
Win7 x86	1	VM Ware	<b>2.975</b>	2,719,348
		Parallels	14.6	2,720,754
		Virtual Box	6.366667	2,716,156
	2	VM Ware	4.258333	2,439,173
		Parallels	<b>3.125</b>	<b>2,366,471</b>
		Virtual Box	9.366667	<b>2,737,647</b>
	3	VM Ware	<b>5.758333</b>	2,738,343
		Parallels	-	-
		Virtual Box	3.2	<b>1,396,105</b>
Win7 x64	1	VM Ware	<b>2.258333</b>	2,734,254
		Parallels	3.808333	2,719,804
		Virtual Box	6.50833	2,721,752
	2	VM Ware	<b>3.35</b>	2,728,121
		Parallels	11.76667	<b>2,704,982</b>
		Virtual Box	9.083333	<b>2,748,867</b>
	3	VM Ware	<b>4.466667</b>	2,752,745
		Parallels	-	-
		Virtual Box	-	-

### 4.3 결과 분석

성능 측정 결과 값은 호스트 운영체제에 n개의 가상 머신을 k개의 게스트 운영체제에서 실행 한 성능측정값의 평균값이다. CPU의 자원 사용을 측정 한 값(CP, CPU Performance)과 Memory의 자원을 측정 한 값(MP, Memory Performance), 그리고 애플리케이션을 실행 했을 때 가상 머신의 호스트 CPU사용량 증가 비율 측정값(AP, Application Performance)의 결과를 아래와 같이 정리하였다.

$$CP = \sum_{k=1}^3 \sum_{n=1}^3 (VPT_{kn} - HPT) / 9$$

$$MP = \sum_{k=1}^3 \sum_{n=1}^3 (HAV - VAV_{kn}) / 9$$

$$AP = \sum_{k=1}^3 \sum_{n=1}^3 (VAPT_{kn} / HPT) / 9$$

윈도우 환경에서의 성능 측정 결과

CPU 최고 성능 : Virtual Box (2.884%)

CPU 최저 성능 : VMware (5.123%)

Memory 최고 성능 : Parallels (1,697,151Kbyte)

Memory 최저 성능 : VMware (1,584,528Kbyte)

애플리케이션 최고 성능 : Virtual Box(8.84배)

애플리케이션 최저 성능 : VMware(35.62배)

리눅스 환경에서의 성능 측정 결과

CPU 최고 성능 : VMware(0.58%)

CPU 최저 성능 : Virtual Box(0.858%)

Memory 최고 성능 : Virtual Box(2,444,449Kbyte)

Memory 최저 성능 : Parallels(2,497,880Kbyte)

애플리케이션 최고 성능 : VMware(6.62배)

애플리케이션 최저 성능 : Parallels(17.71배)

실험결과 호스트 운영체제가 윈도우일 때에는 Virtual Box가 상대적으로 더 뛰어난 성능을 보였다. 호스트 운영체제가 Ubuntu 일 때는 VMWare가 높은 성능을 보여 주었다. 특히 CPU 점유율에서는 다른 제품들에 비하여 상당히 뛰어난 성능을 보였으며 가상 머신을 여러 개 실행시켰을 경우 현저하게 느려지는 Parallels와는 달리 VMWare은 가장 좋은 성능을 보여주었고 Virtual Box도 VMWare에 근소한 결과 값을 보였다.

### 5. 결론

본 논문에서는 현재 사용되고 있는 가상 머신 벤치마크 프로그램과 가상 머신 성능 측정 방법에 대해 연구하였고, 새로운 가상 머신 성능 측정 방법을 제안하였다. 또한 서비스에 따라 가상 머신의 중요 자원이 달라질 수 있기 때문에 가상 머신의 성능 측정 요소를 CPU와 Memory로 정하여 각기 다른 환경에서 성능 비교 실험을 진행하였다. 연구 결과를 바탕으로 가상 머신 제품 선정 시 고려해야 할 요소 등을 결정할 때와 서비스 특성에 맞는 가상 머신 도입 시 중요 지표로 사용될 것으로 예상된다.

### 참고문헌

- [1] SPEC(Standard Performance Evaluation Corporation). <http://www.spec.org>
- [2] J.P. Casazza, M. Greenfield, and K. Shi. "Redefining Server Performance Characterization for Virtualization Benchmarking" 2006. Intel Technology Journal
- [3] V. Makhija et al, "VMmark: A Scalable Benchmark for Virtualized Systems" 2006. Technical Report. VMware
- [4] Jiyong Jang, Saeyoung Han, Jinseok Kim, Sungyong Park, "Performance Evaluation Methodology in Virtual Environments" 2008. Korea Information Processing Society
- [5] Steve G. Langer. Todd French "Virtual Machine Performance Benchmarking" 2011. Springer