

그린 데이터센터의 전력절감 기술

우영춘 · 김대원 · 김재열 · 김홍연

한국전자통신연구원 인터넷플랫폼연구부

목 차

- I. 서론
- II. 그린 데이터센터 하드웨어 플랫폼
- III. 그린 운영체제
- IV. 그린 스토리지
- V. 가상화
- VI. 결론

I. 서론

인터넷 비즈니스 환경은 클라우드 컴퓨팅과 같은 새로운 IT 서비스 시장의 태동으로 데이터센터의 양적인 팽창을 가져오고 있다. 에너지 비용은 데이터센터의 전체 운영 비용의 약 40%를 차지하고, 향후 4년간 50% 이상 증가할 것으로 예상된다. 한 때는 고성능 데이터센터 인프라 제공이 비즈니스의 한 분야로 자리 잡았지만, 앞으로는 서버의 폭발적인 증가에 대비한 에너지 절감형 데이터센터가 각광 받을 것이다.

컴퓨팅 서버와 스토리지 분야의 경우 서버 활용률은 5~20%, 스토리지 활용률은 45%, 전력 손실률은 33%로 분석되어 하드웨어 및 시스템 기술의 전력 절감 기술의 취약으로 고효율화 및 저전력화에 대한 기술적 대응이 미약한 편이다.

이미 HP, IBM, 구글 등 선진 기업은 고효율 및 저전력화를 통한 데이터센터 경쟁력 강화에 집중하고 있다. 최근에는 컴퓨팅 하드웨어적인 측면에서 벗어나 소프트웨어적인 측면에서 그린 IT 해법을 찾으려는 노력을 기울이고 있고 관련 기술 개발을 추진하고 있다. 데이터센터는 IT 서비스 환경에서 에너지를 많이 소비하는 분야이다. 그린 운영 소프트웨어는 하드웨어의 소비 에너지 관리 뿐만 아니라 유지보수 비용의 절감 면에서 데이터센터의 효율적 운영에 크게 기여할 것으로 예측된다.

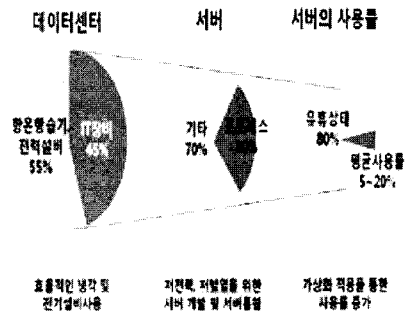


그림 1-1. 데이터센터 장비 활용의 비효율성(출처: US, Department of Energy)

컴퓨팅 환경에서 소비 전력을 줄이는 방안으로 첫째, 컴퓨터 시스템 대수를 줄여서 컴퓨터 시스템 자원의 활용도를 높이는 방법이 있고, 둘째, 컴퓨터 하드웨어가 사용하는 전력량을 줄여서 저전력화, 전력 효율화를 높이는 방법이 있다. 이런 관점에서 제 2장에서는 그린 데이터센터 하드웨어 플랫폼에서의 소비 전력 절감에 대하여 설명하고, 제 3장에서는 단일 운영체제 환경에서 전력 절감 요소 기술, 제 4장에서는 스토리지에서의 냉각 전력 절감과 자체 소비전력 절감에 대한 기술 동향을 설명한다. 제 5장에서는 가상화 엔진 자체보다는 데이터센터 서버 관리를 위한 가상화 기술에 대하여 설명하고, 제 6장에서 향후 기술의 발전 방향으로 결론을 맺는다.

II. 그린 데이터센터 하드웨어 플랫폼

그린 서버 플랫폼의 최대 이슈는 전력 관리(PM: Power Management)이다. 다른 환경적인 이슈 보다 그린 데이터센터에 대한 노력은 단순히 서버 차원이 아닌 그 이상 즉 서버 및 시스템에 대한 내용으로 직결된다. 그리고 단일 서버의 전력 관리뿐만 아니라 데이터센터 전체 레벨에 대한 전력 관리가 그린 서버 플랫폼의 최대 이슈이다. 본 장에서는 그린 데이터센터에 대한 하드웨어에 관한 내용을 정리 하도록 한다. 먼저 전력 관리 대상은 다음과 같이 범위를 구분할 수 있다.

① Single System Level: 하나의 시스템 즉 서버나 컴퓨터를 관리 대상으로 하는 전력 관리를 뜻한다. 이는 하나의 서버에 부착 되어 있는 많은 하드웨어 저전력 기법을 사용한 전력 관리를 대상으로 한다.

② Multi System Level: 사용자의 요구에 따라 특수 목적으로 그룹핑된 여러 대의 시스템의 전력 관리를 뜻한다. 이는 다음에 사용되는 Rack Level 보다 더욱 큰 수준이 될 수도 있고 혹은 더 작은 수준이 될 수도 있다.

③ Rack Level: Rack Level의 데이터 관리자로서 Rack 과 함께 전력 관리를 수행하게 되며 Multi System Level 과는 하드웨어적인 관점에서 전력 관리에 필요한 요소들을 수반하게 되는 경우가 많다.

④ Data Center Level: 데이터센터 레벨 전체에 관한 전력 관리를 말하는 것으로 보다 대규모의 전력 관리 기법이 적용되며 서버나 컴퓨터에 국한되는 것이 아니라 배전, 향온, 향습 등 데이터 센터 레벨과 관련된 모든 전력 관리 대상을 포함하는 것이다.

전력 관리 기능에 있어서 모니터링 기능은 현재 많은 하드웨어 센서나 표준 방법 등을 통하여 많이 제공되고 있고, 제어 기능 역시 각 디바이스 별로 제공되는 기능을 통하여 충분한 역할이 수행될 수 있다. 예측 기능은 다양한 방법 등이 연구되고 있는데 실제 예측 기능은 실제 시스템과의 유사도에 따라 어느 정도 적용 기간이 필요하게 되고 과거의 데이터나 분석 등을 통하여 실제 시스템을 예측할 수 있도록 하는 것이 일반적인 구현 사례이다. IBM은 Tivoli Power Management[1]를 2008년 5월에 출시하였고, Google[2]의 경우 자체 저전력 데이터 센터를 위한 분석 자료를 2007년 6월에 발표하였다. 그리고 Sun

은 OpenSolaris 기반의 서버부터 데이터센터 레벨까지 적용 가능한 전력 관리 기술을 Tesla Project[3]라는 공개 프로젝트로 진행 중에 있고 Intel의 경우 자신의 하드웨어와 결합된 Intel DCM(Data Center Manager)[4]를 2009년 5월에 발표하는 등 많은 업체들이 현재 데이터센터 레벨의 전력 관리 기능을 가진 제품들을 출시하고 있다. 이런 제품들이 나오는데 업체들마다 다양한 이슈들이 제기되고 있으나 업체들의 분석은 다음과 같이 요약할 수 있다.

① 소유총비용(TCO: Total Cost of Ownership) 중 전력/냉각 비용의 증가를 무시하지 못함

② 서버 및 데이터 센터의 유용성이 매우 낮음 (평균 20%)

③ Idle 상태의 전력 소비가 심함 (Working Server의 70~90% 정도 소모 시스템에 따라 차이는 있음)

④ Over-allocation of Power: 실제 시스템의 전력 할당량은 실제 소모량과 큰 차이를 보인다. 이는 최악의 상황에 맞추어 항상 설정되어 있기 때문이다

⑤ Under-Population of rack space: rack 공간에는 실제로 많은 여유 공간이 존재하나 서비스의 증가에 따라 요구되는 컴퓨팅 능력에 따른 시설 증가는 불가피한 실정이다.

⑥ 플랫폼의 전력 소비는 플랫폼의 성능과 선형 관계에 있으므로 정책이나 부하에 따른 전력 소비를 유동적으로 제어하는 방법이 필요하다. 이에 따라 전력 및 냉각 시스템에 관한 제어 기술도 필요하게 된다.

⑦ 랙 당 서버 밀도가 높아짐에 따라 전원의 밀집도가 커지게 되었고 주어진 공간에서 냉각 및 전원의 새로운 요구사항이 생기기 시작하고 이는 랙 단위의 전력 및 냉각 모니터링이 필요하게 되었고 이를 동적으로 관리하는 시스템도 요구된다.

⑧ 데이터센터 및 많은 Modular 데이터센터의 출현은 더욱 많은 전력 공급이 필요하게 되고 이는 더욱 많은 냉각 시스템으로 새로운 데이터센터 레벨의 전력 및 냉각 시스템이 필요하다.

⑨ 에너지 전력에 관한 정부 규제 및 Green Data center 규제에 관한 획기적인 방법이 필요하다.

전력 관리를 위한 하드웨어는 하드웨어 자체 전력에 관한 기본 기능을 가지고 있어야 한다. 현재 많은 장치(CPU, Memory, HDD, Power Supply etc)에서 저전력 기법을 이용하여 고안된 제품들이 많이 나오고 있다. 다음 표 1은 각 장치별 저전력 기능에 해당되는 하드웨어들을 나타내고 있다.

표 2-1. 장치별 제어 기능

장치	제어 기능
CPU	DVFS(Dynamic Voltage & Frequency Scaling), Power Gating etc
RAM	ZettaRAM, Multi-Voltage 기능
HDD	Idle State 기능, Multi Spin-Speed 기능, Spin Down 기능
Power Supply	원격 on-off 기능, 전원 전력 센싱 기능

하드웨어 입장에서 보면 자체적으로 전력을 작게 쓰는 기능 방법들이 하드웨어 구현 차원에서 많이 연구되고 있고 이를 통하여 저전력 구현이 자체적으로 많이 진행되고 있다. 그러나 시스템 차원에서 보면 이를 제어하는 방법에 대한 문제로 귀착된다. 자체 저전력 기능도 중요하지만 시스템에서 이들을 제어하는 방법에 따라 전력 소모량은 유동적이게 된다. 표 2-1에서 보듯이 컴퓨터에 있어 기본적으로 사용되는 장치들이며 이들 장치를 전력 관리 차원에서 제어 가능한 기능을 살펴보면 그리 다양한 편은 아니다. CPU의 경우 DVS 혹은 DVFS라 불리는 동적 전압 관리 혹은 동적 전압/주파수 관리가 거의 모든 CPU 상(Intel, AMD, VIA, ARM etc)에서 구현되어 있고, 메모리의 경우는 이렇다 할 제어 방법은 없다. 삼성에서 개발한 다중 전압(1.2~1.5V)지원 방식이 있지만 대중화되어 있는 기능은 아니다. 그리고 하드 디스크의 경우 Seagate, Hitachi등이 디스크의 회전 속도를 조절하는 Multi-spin speed 기능을 제공하고 Idle State 시 전력 소모를 줄이는 방법 등을 고안하고 있다. 그러므로 하드웨어 자체를 통하여 하나하나 전력 관리를 위한 보편적인 기능을 도출하기는 쉽지 않다. 그중 위의 업체를 통하여 살펴 본 결과 가장 많이 구현된 전력 관리 기술은 다음과 같다.

1. DVFS: CPU의 업체들이 대부분 모두 지원하여 기능상 구현의 문제가 없다. 현재 가장 많이 쓰이는 방법이다.
2. Power Capping: 서버, 랙, 데이터 센터 레벨의 모두 적용가능하며 하드웨어 보호 차원에서 Capping하기도 하나 성능 대 전력 효율이 가장 좋은 포인트를 설정하는 방법이다.
3. DPM(Dynamic Power Management)기능을 주로 많이 사용하고, 단일 서버 및 데이터 센터 레벨까지 서비스 특성 및 부하 특성을 고려하여 정책 중심의 전력 관리 기술을 채택한다.
4. 직류 전원의 사용은 전원 공급 장치 기능에 추가되어 전원 모니터링 및 제어 방법 등과 함께 채택되고 있다.

현재 진행중인 ETRI GLORY프로젝트에서는 랙 단위의 전원 공급 장치 및 DPM 기반의 전력 관리 툴을 개발하였고, 현재 기능 추가 단계에 있다.

III. 그린 운영체제

컴퓨팅 시스템의 전력소비에 관심을 가지게 된 것은 휴대용 컴퓨터, 즉 노트북이 사용되면서 부터이다. 노트북 컴퓨터는 전원으로 배터리를 사용하는 경우가 많기 때문에 노트북 사용자들은 노트북 사용 시간 연장에 많은 관심을 가졌고, 또한 노트북 개발사들은 이를 위한 전원 관리에 많은 노력을 기울여 왔다. 하지만 최근 이슈가 되고 있는 지구 온난화 현상과 석유자원의 불안정한 가격변동으로 인한 세계적 에너지 위기로 인해 다수의 서버 시스템과 데스크탑 시스템의 소비전력 절감에도 관심을 기울이기 시작했다. 또한, 다수의 컴퓨팅 서버가 모여 있는 IDC의 전력 사용량이 상당한 것으로 알려지면서 그 간 관심을 받지 못했던 IDC 센터의 소비전력 감소에도 많은 관심이 집중되고 있다. 본 장에서는 이러한 다양한 환경에서 소비전력 감소를 위한 관심과 연구가 진행되고 있으며, 이 중에서 가상화나 클러스터 환경이 아닌 단일 운영체제 환경에서 사용할 수 있는 운영체제 수준의 전력절감 기술들을 살펴 볼 것이다.

전력절감의 첫 번째 화두는 “무엇을 대상으로 전력

을 절감할 것인가?” 이다. 컴퓨터 시스템에서 전력을 사용하고 있는 것은 하드웨어이므로 컴퓨터 시스템의 전력절감을 위해서는 반드시 하드웨어를 조정할 수 있어야 한다. 이를 위한 것으로 현재 사용되는 ACPI (Advanced Configuration and Power Interface)를 들 수 있다.

ACPI[5]는 1996년에 인텔과 마이크로 소프트사등이 공동으로 제정한 전력관리용 API로 기존의 APM (Advanced Power Management)을 대체하기 위해서 개발되었다. 기존의 APM은 바이오스와 운영체제 사이의 인터페이스만을 규정한 것으로 전력제어는 기본적으로 바이오스가 담당하였다. 이에 반하여 ACPI는 운영체제가 중심이 되어 각 장치의 동작 상태를 동적으로 파악하고 이를 통해 전력을 제어하는, 통합적인 전력제어를 가능하게 만들어 준다. ACPI는 윈도우즈 98과 윈도우즈NT에 채용되었으며 리눅스에서는 1999년부터 지원하고 있다. 특히 ACPI는 배터리를 사용하는 노트북에서 효과적인 전력 관리 수단으로 사용되고 있다.

ACPI를 통하여 제어할 수 있는 하드웨어 중 가장 전력소모가 많으면서 중요한 것이 바로 CPU이다. 일반적으로 컴퓨팅 시스템에서 가장 전력을 많이 소모하는 곳이 CPU, 메모리, 비디오카드, 네트워크 카드 순으로 알려져 있다. 따라서 CPU의 전력소모를 줄이는 것이 전체 시스템의 전력을 줄이는 가장 쉬운 방법이다. 이렇게 CPU의 전력을 줄이는 방법으로는 크게 두 가지를 들 수 있다.

첫 번째는 CPU가 동작할 때의 클럭 주파수를 변동함으로써 CPU의 전력 소모를 줄일 수 있다. 일반적으로 CPU가 높은 클럭 주파수로 동작하면 더 좋은 성능을 보일 수 있다. 물론 물리적인 CPU의 한계로 무작정 클럭을 올릴 수는 없다. 이렇게 클럭이 높은 경우에는 CPU는 동일한 시간에 더 많은 일을 할 수 있으나 그만큼 더 많은 전력을 소모하게 된다. CPU가 작업부하가 필요로 하는 이상의 성능을 보이면서 전력을 소모하는 경우에, 클럭 주파수를 낮추어 전력 소모를 줄이는 방법을 주파수 변조(Frequency Modulation)라고 부른다. 이러한 주파수 변조 기능은 많은 프로세서 벤더들이 제공하고 있다. 아래 표3-1은 주파수 변조 기능을 각 프로세서 벤더들이 부르는 명칭과 지원하는 프로세서들을 보여준다.

표 3-1. 주파수 변조를 지원하는 CPU 아키텍처

Architecture	CPUs
x86/x86_64	Intel SpeedStep AMD PowerNow Transmeta Crusoe Natsemi Geode/Cyrix MediaGX VIA Longhaul
ARM	Integrator SA1100 SA1110
PowerPC	Various G3s & G3s
Sparc64	UltraSPARC IIe & III
SuperH	SH-3, SH-4

첫 번째 방법은 CPU가 동작하는 경우에 적용하는 방법이다. 이와 반대로 두 번째 방법은 현재 주어진 작업이 없는 경우에 적용하는 방법이다. CPU는 해야 할 작업이 없는 경우에 동작 상태가 아닌 유휴상태(Idle)가 되는데, 이때 유휴 상태의 정도에 따라서 전력소모가 달라진다. ACPI의 정의에 따르면 이러한 CPU의 유휴상태를 C0, C1, C2, ... Cn등의 다양한 상태로 정의할 수 있다. 이러한 상태는 CPU의 종류에 따라서 서로 다른 범위의 상태를 지원한다. 즉 A라는 CPU는 C0, C1만 지원하는 반면, B라는 CPU는 C0, C1, C2, C3의 4단계를 지원할 수 있다. 이중 C0가 전력소모가 높으면서 가장 빨리 깨어날 수 있는 상태이며, Cn이 가장 전력소모가 적으나 깨어나는 시간이 많이 걸리는 상태를 나타낸다. 이제까지는 일반적으로 노트북과 같은 휴대용장치에 탑재되는 CPU의 경우에만 다양한 C 상태를 지원하고 서버용 CPU인 경우에는 C1 정도만을 지원했었다. 이는 앞서 언급한대로 전력소모가 민감한 휴대용 기기용에서만 이러한 기능을 요구했기 때문이다. CPU에서 제공하는 다양한 유휴상태를 CPU가 아닌 다른 장치에서도 제공하려고 하고 있다. 하지만, 이는 하드웨어 장치와 이 장치를 지원하기 위해 운영체제 마다 존재해야 하는 디바이스 드라이버가 모두 지원해 주어야만 하는 기능이기 때문에 아직까지 제대로 지원하고 있지는 않은 상태이다.

다수의 장치에서 지원하는 유휴상태 기능을 이용하여 ACPI에서는 시스템 전체의 상태를 정의하고 있다. 그 상태는 아래의 표3-2에서 보여주는 다섯 가지로 나

누어진다.

표 3-2. 시스템의 전력 상태

Common Name	ACPI Name
Fully On	S0
Standby	S1
Unused	S2
Suspend-to-Ram	S3
Suspend-to-Disk	S4

S0는 시스템이 정상적으로 동작하고 있는 상태이며, S1은 CPU와 메모리에는 낮지만 전력이 공급되고 전력 공급이 필요 없는 장치에는 전력을 공급하지 않는 상태로 사용자의 입력이나 작업이 들어오면 바로 깨어나 S0로 바뀔 수 있는 상태이다. S2는 시스템전체가 꺼지진 않으나 CPU에 전원공급이 중단된 상태로 일반적인 CPU에서 지원하지는 않고 있다. S3은 동작 상태를 RAM에 저장하고 잠든 상태이며, S4는 동작상태를 디스크에 저장하고 잠든 상태이다. S3가 S4보다 정상적인 상태로 돌아오는게 빠르나 RAM을 유지하기 위해서 전력을 소모하게 된다.

현재까지 리눅스를 포함한 운영체제에서 지원하는 전력절감 기능은 이상의 ACPI를 이용한 시스템 전력 상태 관리가 대부분이었다.

이상의 ACPI를 이용한 전력관리는 시스템을 크게 동작 상태와 유휴상태로 구분하고 유휴상태일 때 전원을 어떻게 절약할 것인가에 초점이 맞추어져 있다면 다음의 기법들은 이와는 달리 소프트웨어적인 기술로 시스템의 유휴시간을 늘리거나 시스템의 부하를 감소시켜 전력을 절감하는 방법들을 제시한다.

첫 번째 기술로는 전력소모를 고려한 CPU 스케줄링 기법이 있다. 최근 CPU의 개발 경향은 복수 개의 명령어를 동시에 처리할 수 있는 다수의 코어를 하나의 칩셋 패키지에 포함하는 것이다. 이런 환경에서 전력소모를 고려하지 않는 일반적인 스케줄러는 다수의 코어를 가능한 동시에 많이 사용하여 최대의 성능을 내도록 설계되어 있다. 그러나 이러한 경우에 작업 부하가 크지 않음에도 불구하고 다수의 코어를 동시에 사용함으로써 전력을 낭비할 수 있다. 이러한 단점을

해결하기 위해서 전력절감을 고려한 스케줄러는 작업 부하의 정도에 따라서 다수의 코어를 사용하는 태스크를 하나의 코어로 모아 동작상태의 코어를 줄여 유휴상태의 코어를 늘임으로써 전체 전력소비를 줄일 수 있다.

두 번째 기술은 운영체제가 언제 얼마만큼의 전력을 줄일지를 결정할 수 있는 정보를 운영체제와 응용프로그램이 상호 전달할 수 있도록 하는 전력인식 API(Power-aware API)[6]를 지원하는 방법이다. 이 API를 통해서 응용프로그램은 자신이 원하는 성능을 운영체제에 전달하고 운영체제는 다시 응용프로그램에게 예측되는 완료시간과 같은 성능정보를 제공할 수 있게 된다. 이를 통해서 운영체제는 시스템 전력 절감을 능동적으로 할 수 있게 된다.

세 번째로는 시스템에서 주기적으로 발생시키는 타이머 인터럽트인 시스템 tick을 시스템이 유휴상태인 경우에는 주기적으로 발생하지 않도록 하여 전력소비를 절감하는 기술로 일반적으로 tickless kernel[7] 기술이라고 불린다. 이러한 tickless kernel기술이 효과를 보기 위해서는 시스템 전체에서 주기적으로 요구하는 타이머의 수가 적어야 하며 이를 위해서 deferrable 타이머를 지원한다. deferrable 타이머는 기존의 타이머와는 달리 지정한 타이머 시간에 깨어나지 않아도 되는 타이머들을 위한 것이다. 이렇게 되면 시스템에서 타이머로 인하여 깨어나는 횟수가 줄고 깨어나는 시기가 하나로 모일 수 있어 시스템이 유휴상태에 들어갈 수 있는 시간이 길어지게 되는 것이다.

이외에도 일반적으로 시스템에서 자주 사용되는 디스크나 네트워크의 사용을 한 시점으로 모아서 한 번에 다수 개의 요구를 처리하여 전력을 절감하는 기법 등이 있다.

이상에서 살펴본 다양한 방법들이 그런 운영체제를 만들기 위해서 현재까지 진행되어온 연구와 기술 들이다. 물론 지면상의 문제로 인하여 여기에서 언급하지 못한 기술들도 많이 있다.

운영체제는 하드웨어와 응용프로그램의 사이에 위치하며 직접적으로 하드웨어를 제어할 수 있는 기능을 가지고 있어 컴퓨팅 시스템의 전력을 제어하기에 최적의 위치라는 것은 명확하다. 그러나 전력소모를 줄이기 위해서는 반드시 컴퓨팅 성능을 희생해야 하는 부분이 발생하며, 이러한 상황이 운영체제 상위에 위치

한 응용프로그램이나 서비스가 용인할 만한 수준인지 아닌지를 판단하는 것이 매우 중요하다. 따라서 시스템의 전력절감을 위해서는 응용프로그램은 운영체제에게 얼마만큼의 성능이면 충분한지를 알릴 수 있어야 하며, 운영체제는 이를 바탕으로 언제 전력을 절약하면 되는지를 판단해야 할 것이다. 즉 완전한 저전력 운영체제를 만드는 것은 응용프로그램과 운영체제 사이의 전력과 성능에 관한 대화를 가능하게 할 것인가 하는 문제로 귀결된다고 볼 수 있고, 그린 운영체제를 위한 많은 부분의 연구가 이러한 문제를 해결하고 표준화를 진행하는 방향으로 이루어 질 것으로 예측된다

IV. 그린 스토리지

스토리지 도입에 있어 가장 최우선으로 고려하는 사항은 스토리지 도입 비용, 데이터 증가율, 데이터센터 내의 상면 비용 등이다. 그러나 최근에는 이에 더하여 스토리지의 전력 및 냉각 비용 등과 같은 그린 이슈 역시 스토리지 도입을 위한 주요 고려사항 중 하나로 부상하고 있다. 그림 4-1은 ESG가 최근에 조사한 스토리지 도입에 있어서의 주요 고려 사항으로, 스토리지의 전력 및 냉각 이슈가 전통적인 이슈와 함께 주요 고려 사항으로 부각 되었으며, 이는 3년전 조사에 비해 68% 정도의 증가임을 지적하였다.[8]

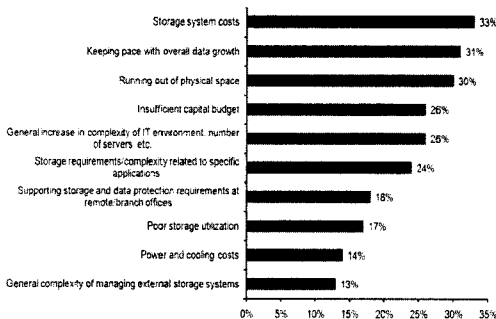


그림 4-1. 스토리지 도입 주요 고려사항 (출처: ESG '08)

또한, 가트너 조사에 따르면 125개 응답 기업 중에서 68%가 데이터센터 내의 가장 큰 문제로 비효율적인

전력 및 냉각을 꼽았다고 하며, 특히 전기 먹는 하마로 불리는 스토리지 하드웨어는 데이터센터가 사용하는 전력의 약 25%를 소모하는 것으로 추산되었다. 그 중 디스크 장치의 높은 열이 데이터센터 온도 상승의 주범이 되고 있다고 지적하였다.

IDC 역시 스토리지가 사용하는 전력 소비량은 2000년 이후 매 5년마다 두 배로 증가하고 있으며, 이런 추세는 디지털 컨버전스와 인터넷 비즈니스 환경의 확대로 인해 지속될 것으로 예측하였다.

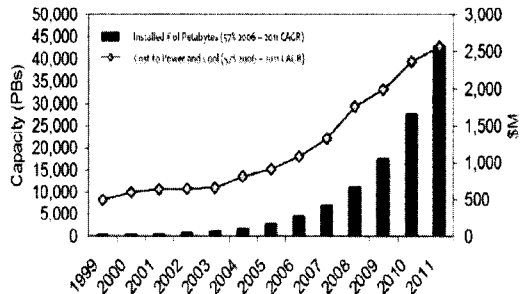


그림 4-2. 전세계 외장 스토리지 규모 및 전력 비용 (IDC '08)

다행스럽게도 데이터센터의 전력 사용 현황을 분석한 자료에 의하면 현재의 기술로써도 전력 사용량의 반 정도를 줄이는 것이 가능하다고 한다. 특히, 플랫폼에 따라 차이는 있겠지만 스토리지의 평균 활용률이 20%를 넘지 않다는 것은 에너지 사용량을 줄일 수 있는 상당한 여지가 있다는 것을 시사하고 있다.

소비전력과 냉각 문제를 해결하기 위해 스토리지 업체들은 냉각 전력을 줄이거나 스토리지 자체의 소모 전력을 줄이는 다양한 기술과 제품을 선보이고 있으며, 일부는 에너지 효율화를 위한 종합적인 데이터센터 설계 서비스를 제공하고 있다. 본 고에서는 이와 같은 그린 스토리지의 최근 기술 동향을 다루도록 한다.

그림 4-3에 따르면, 가장 일반적인 스토리지 장치인 하드디스크가 데이터 입출력이 없는 상황(idle)에서도 80% 이상의 전력을 소모한다. 따라서 이러한 누수 전력을 최소화 시켜주는 기술이 그린 스토리지의 핵심 기술이다.

이를 위한 방안은 크게 스토리지 활용률을 향상 시켜 전체 스토리지 양을 줄이는 방안과 스토리지 자체가 소

모하는 전력을 최소화 하는 기술로 구성된다.[9]

스토리지 활용률 향상을 위한 기술들은 압축(compression), 아카이빙(archiving), 중복 제거(de-duplication)와 같은 데이터 양 자체를 줄이는 기술과, 스토리지 가상화(storage virtualization), 썬 프로비저닝(thin provisioning)과 같이 유휴 스토리지를 최소화 하는 기술 들이 활용 된다.

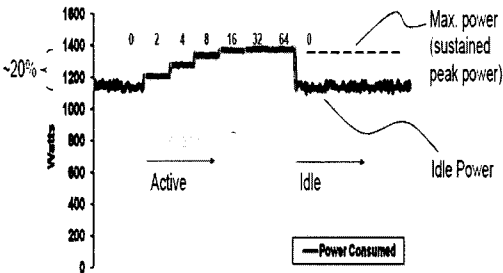


그림 4-3. 유휴 및 활용 스토리지의 전력 소모량

특히, 스토리지 가상화와 썬프로비저닝은 그린 스토리지를 위한 가장 효과적인 기술이다. 가상화는 이기종 스토리지 시스템을 통합해 단일의 풀에서 관리하여 사용되지 않는 공간을 다른 업무 등에 자유롭게 재배치 할 수 있어 이미 구축되어 있는 스토리지의 활용률을 높이는 효과를 가지며, 썬 프로비저닝 기술은 당장 사용되지 않을 스토리지를 미리 도입하는 대신 점진적으로 도입 할 수 있도록 하여 스토리지 과다 구축을 방지할 수 있는 효과를 가진다.

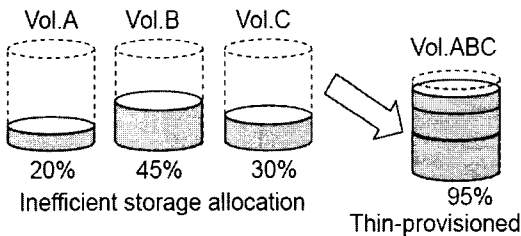


그림 4-4. 썬프로비저닝 개념

이와 같은 스토리지 활용률 향상 기술을 그린 스토리지에 적용함에 있어 고무적인 상황은 이미 관련 기술이 성숙되어 적용 가능한 제품이 시장에 충분히 출시되어 있다는 점이다. 현재 관련 제품의 실제 도입률과는 별개

로 이런 기술은 저전력 이슈 이전부터 친숙한 기술이며, 최근에 동일한 기술이 저전력 문제의 솔루션으로 재포장되어 시장 확산을 기다리고 있는 상황이다.

그린 스토리지를 위한 또 다른 방안은 스토리지 자체의 하드웨어적인 전력 소모를 줄이는 것이다. 이러한 용도로 활용할 수 있는 가장 기초적인 대안으로 노트북 컴퓨터의 대기모드와 같은 APM(advanced power management) 기능을 활용하는 방안과 함께, 부가적으로 기존의 HDD를 SSD, 저속 HDD, Green-HDD 등 저전력 저장 장치로 상황에 맞게 대체하는 방안을 고려할 수 있다.

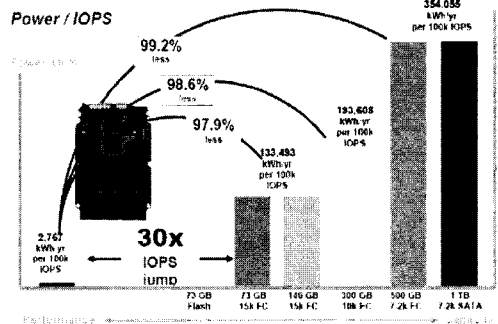


그림 4-5. 동일 성능 대비 전력 소모율

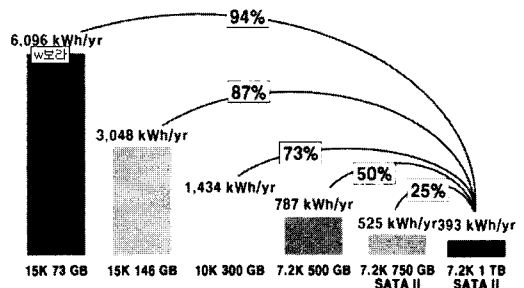


그림 4-6. 동일 용량 대비 전력 소모율

SSD 및 저속 HDD를 응용의 워크로드 특성을 고려하여 적절히 활용할 경우 성능 저하없이 전력 사용량을 획기적으로 줄일 수 있다. 그림 4-5와 그림 4-6과 같이 서로 다른 저장 장치별로 성능 대비 전력 소모 특성과 용량 대비 전력 소모 특성에 큰 차이가 발생하므로, 고속 접근이 중요한 일부 데이터를 소량의 SSD 및 15,000RPM FC HDD에 저장하고, 접근 빈도가 낮은 데이터를 7,200RPM SATA HDD에 배치하는 등의 관리 정책으로

전력 절감에 큰 효과를 기대할 수 있다.

상기와 같은 장치별 전력 절감 정책은 계층적 스토리지 관리(hierarchical storage management) 기능으로 효과적으로 구현될 수 있다. 그림 4-7과 같이 서로 다른 전력 소비 특성을 가지는 여러 계층으로 스토리지를 구성하고 데이터 접근 워크로드에 따라 배치하는 것으로 전력 소모를 줄일 수 있으며 EMC, NetApp 등 스토리지 업체에서 다양한 제품을 출시하고 있다.

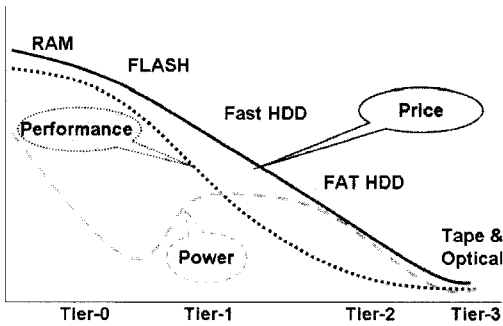


그림 4-7. 스토리지 계층별 전력 소모

더 나아가 최근의 HDD에서 지원하는 APM과 같은 적극적인 전력 관리 기능을 스토리지 시스템에 적용하여 추가적인 전력 절감 효과를 기대할 수 있다. 전원 관리 시 수초~십여초에 달하는 복귀 시간에 따른 성능 저하 문제, 많은 HDD를 일시에 기동시킬 경우 순간적 전력 용량 초과 문제, 그리고 잦은 전력 제어로 인한 수명 단축 가능성 등 몇 가지 기술적인 문제를 해결한 제품들이 시장에 선보이고 있다.

최근에는 단순한 2단계(Active, Standby)의 전력 관리로 인한 응답 시간 지연 문제를 개선하고, 보다 저전력으로 동작하는 본격적인 그린 HDD도 출시되고 있다. 이들은 그림 11과 같이 전력 제어를 보다 세분화하여 대기 모드에서 복귀 시간을 줄일 수 있어 성능 저하 문제를 개선할 수 있도록 한다. 즉, Normal 및 Standby 모드는 기존의 2단계 전력 관리 모드와 동일하지만, Unload 및 low-rpm 모드가 추가 되었다. Unload 모드는 스핀들 모터는 계속 회전하는 가운데 헤드 구동 모터로의 전원만을 차단하여 전원 복귀 시간을 최소화 하는 모드이며, low-rpm 모드는 스핀들 모터 회전수를 7,200 rpm에서 54,000 rpm 이하로 줄여 전력을 더 절감하는 모드이다. 다만 그림 4-8에서 볼 수 있듯이 높은 전력 절감 모드는

상대적으로 Normal 모드로의 복귀에 수초에서 십수초 가량의 지연이 발생한다. 이러한 지연 특성은 워크로드의 특성을 고려하여 적절하게 활용하여 부작용을 최소화 할 수 있다.

MAID(massive array of idle disks)는 바로 그린 HDD의 다단계 전력 절감 기술에 계층적 스토리지 관리 기술을 결합한 효과적인 스토리지 전력 관리 방법이다. MAID는 다단계 전력 관리 기능을 지원하는 HDD로 구성된 디스크 어레이를 계층적으로 구성하고, 워크로드 특성에 따라 데이터를 각 계층에 적절히 배치하여, 전력 절감 효과를 극대화 하면서도 지연 특성을 최소화 하는 스토리지 전력 관리 기술이다. 현재 MAID 2.0 규격이 발표되어 있으며 일부 업체에서 제품화되어 있다.[10]

(출처: Hitachi GST)

Power Mode	Power Savings (%)	Recovery Time (sec)	Application Examples
Normal	0	0	Online
Unload	24	0.7	Nearline
Low RPM	51	7.0	Archiving
Standby	89	15.0	RAID sparing

그림 4-8. 그린 HDD의 전력 제어 단계 및 복귀 시간

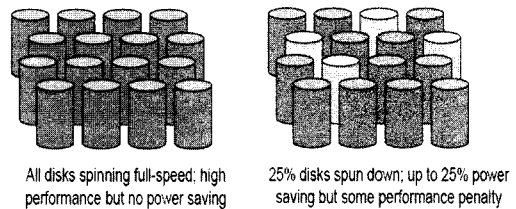


그림 4-9. MAID 개념

V. 가상화

IT 서비스가 다양화되고 이를 지원하는 서버가 폭발적으로 증가함에 따라 데이터센터에서 물리 서버를 통합하기 위하여 가상 머신 소프트웨어 사용을 중요하게 고려하고 있다[11].

가상화는 단일 컴퓨터 자원을 물리적 환경에 구매 없이 유연하게 분할하거나 통합하는 기술이다. 본 장에서 설명하는 가상화는 그리드에서 말하는 다양

한 IT 컴포넌트 환경에서 복수의 자원을 하나의 자원처럼 통합하는 개념과 달리 하나의 물리적 자원을 필요한 량에 따라 복수의 자원처럼 통합하는 기술이다.

그린 데이터센터의 궁극적 목표는 전력 절감이다. 전체 운용하는 서버 대수를 유연하게 조정하여 서버 전력을 줄이면 된다. 데이터센터에서 평균 15%의 낮은 활용률을 개선하기 위하여 컴퓨팅 자원의 활용도를 높이는 기술이 필요한데 가상화 기술이 그 역할을 할 수 있다.

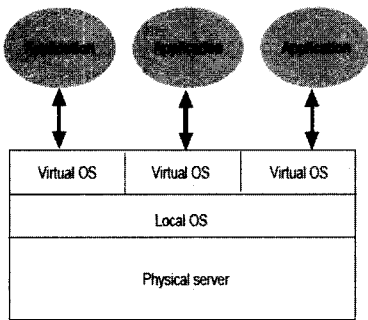


그림 5-1. 가상화와 컴퓨팅 온-디맨드 모델

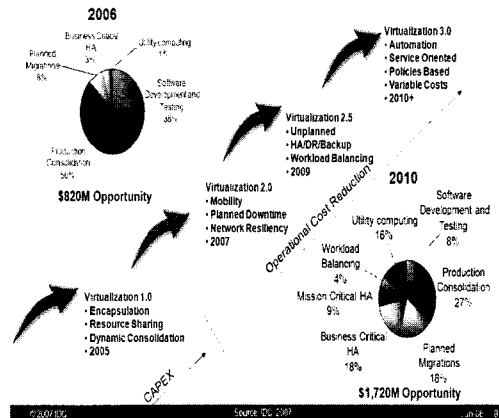
IDC는 가상화 컴퓨팅 모델을 기존 클러스터 모델과 구분하여 잘 설명하고 있다[12]. 첫째, 여러 개 물리 시스템을 통합하여 하나의 가상화를 이루는 모델이 있다. 이는 확장성을 높이고, 성능과 고가용성을 지원하는 것으로 전형적인 클러스터링 개념이다. 둘째는 앞서 설명하고 그림 5-1과 같이 자원을 분할하는 모델로 자원 최적화를 통하여 융통성(flexibility)과 민첩성(agility)을 지원한다. 넓게 해석하면 모두가 가상화 범주에 들어간다.

가상 인프라 구현을 제공하는 대표적인 제품으로 VMware, Citrix사의 XenSource, 마이크로소프트 사의 Hyper-V 등이 있다. 이들 제품은 가상화 엔진은 공개하거나 최소 비용으로 단순 가상화 모듈은 공개하면서 컴퓨팅 인프라 규모, 엔터프라이즈 워크로드 관리 규모 등에 따라 제품을 차별화하고 있다.

가상화 기술은 초창기에는 개발 환경이나 서버 통합 사용이 주된 용도였다. 점차 고가용성을 강조하는 중요 업무 인프라, 정책기반 자동 관리, 서비스 중심 가상화로 발전할 것이다(그림 5-2).

본 장에서는 가상화 엔진 자체 기술 설명보다는 데

이터센터 운용에서 전력 절감과 관련 있는 가상화 환경 관리 기술에 대하여 설명한다. 이기중 서버 인프라 환경을 지원하는 가상화 솔루션으로써 VINE(Virtual INfracture Environment) 가상화 관리 기술을 소개한다. 이는 컴퓨팅 자원을 가상 자원으로 정의하여 서비스 요구에 따라 자원을 동적으로 할당함으로써 자원 활용도를 높이는 기술이다[13].



(자료: IDC, 2007)

그림 5-2. 가상화 기술 발전 단계

VINE은 단일 시스템 자원을 여러 개 작은 규모의 가상 시스템 자원으로 분할하여 사용하는 가상화 모델인 Virtualizing-down과 다수의 서버 시스템 자원을 통합하여 단일 가상화 처럼 운용하는 가상화 모델인 Virtualizing-up의 장점을 통합 관리하는 virtualizing-up-and-down 가상화 모델을 지원한다.

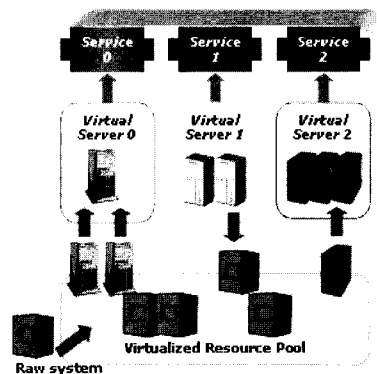


그림 5-3. VINE : 가상 인프라 환경

이와 같은 통합된 모델은 동적이고 온-디맨드 자원 프로비저닝을 지원한다. VINE 가상화 기술은 자원의 프로비저닝 과정에서 서비스 별 자원의 할당 및 회수 과정을 자동화하고, 관리자의 개입이 최소화 되도록 하여, 최적의 시스템을 구성하고 운영할 수 있도록 지원한다.(그림 5-4)

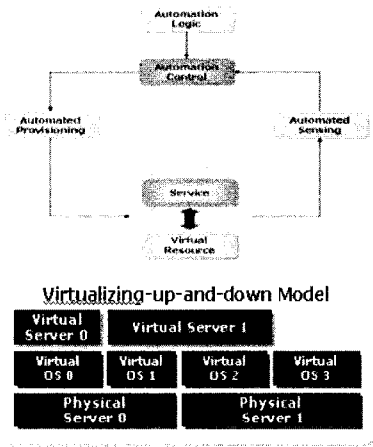


그림 5-4. virtualizaing-up-and-down 모델

VINE은 다중 서버 시스템을 대상으로 자원 풀을 구성하고 자원 단위로 클러스터링 및 자동 관리를 통하여 높은 컴퓨팅 자원 활용률을 제공할 수 있다. 그림 5-3, 5-4의 가상 인프라를 지원하는 기술에는 가상 자원을 정의하는 자원 가상화 기술, 자원을 동적으로 서비스에 요구에 따라 필요한 양만큼 할당하는 온디맨드 자원 프로비저닝 기술, 서비스 프로파일 및 서버 인프라 관리 정책 기반으로 워크로드를 자동으로 관리하는 기술을 포함한다. 가상화 관리는 DMTF (Distributed Management Task Force) 표준 요구 규격을 따른다 [14].

VINE은 다중 시스템 인프라 환경을 효율적으로 지원하므로 비즈니스 서비스에 적합하게 다중 노드의 가상 자원을 동적으로 관리할 수 있으며 시스템 오류 발생 또는 유지 보수 등을 위해 서비스 재배치가 필요할 때 안전한 물리노드로 서비스를 이전할 수 있다.

가상화에서 서버 인프라 관리의 기술이 무엇보다 중요하므로 좀 더 자세히 설명한다. 정책기반 워크로드 자동 관리 기술은 미리 정해진 정책과 현재 상황과

각각의 서비스에 필요한 시기에 필요한 만큼의 자원을 자동으로 할당 혹은 회수하여 시스템 자원을 동적으로 할당할 수 있는 서비스 중심의 인프라 자원 관리 기술이다.

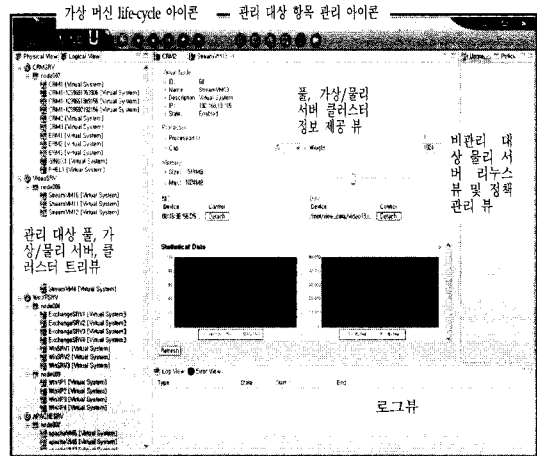


그림 5-5. VINE 사용자 인터페이스

자동화된 관리 방식은 자동으로 가상 자원을 관리하는 자동화된 관리 모듈을 통해 사용자에게 최적의 고품질 컴퓨팅 환경을 제공할 수 있다. 그림 5-5는 자동 관리 규칙 기능에 의해 정의된 정책을 기반으로 자동 측정된 정보에 의해 자동화를 제어하고 자원을 프로비저닝하여 워크로드를 관리하는 사용자 인터페이스이다. 그림 5-6은 웹 서버의 부하 변화에 따라 가상 머신의 크레딧 스케줄링으로 갯을 조정하여 주어진 응답 시간을 보장하는 자동관리 기술 효과를 보여 준다.

가상화 기술을 기반으로 서버 통합 추진시 염려하는 부분이 시스템 장애이다. 컴퓨팅 자원 활용률을 높이기 위하여 통합을 밀접하게 되면 그만큼 서버 인프라가 복잡해지고 문제 발생의 확률은 높아진다. 그래서 시스템의 연속적 운영을 위해서는 그림 5-2의 로드맵에서 보는 바와 같이 계획된 다운 타임과 계획되지 않은 다운 타임을 지원하는 고가용성 가상화 기술이 반드시 따라 한다.

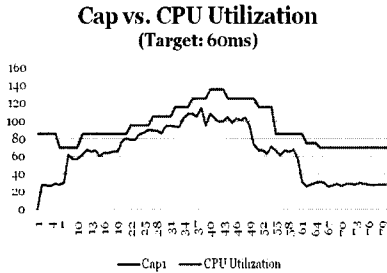


그림 5-6. 정책기반 자동관리

VI. 결 론

IT 비즈니스 환경에서 데이터센터 인프라의 중추적인 역할을 하는 하드웨어 플랫폼, 스토리지, 운영체제 면에서 에너지 절감 기술에 살펴보고 서버 통합을 가능하게 하는 가상화 소프트웨어 기술에 대하여 살펴보았다. 현재 국내 그린 IT 전략을 보유한 기업은 27%로 유럽연합의 35%에 비해 낮은 수준이다.

친환경 데이터센터는 IT 자원 활용률의 극대화를 통하여 성능 요구와 에너지 절감을 동시에 만족시켜야 한다. 이를 해결하기 위해서는 IT 인프라스트럭처를 구축하고 그린 컴퓨팅 요소 기술과 에너지 효율화 지침, 데이터센터 에너지 효율화 시나리오, 에너지 효율화 참조 시스템 구현이 따라야 한다.

기존의 IT 인프라를 에너지 절감형으로 전환함과 동시에 2012년 전체 IT의 9%, 2013년 IT 시장 성장의 30%(Insight, KIPA 2008) 정도를 차지할 것으로 전망되는 클라우드 컴퓨팅 서비스에 새로운 그린 기술을 추가하여 적용하는 그린 IT 확산 정책도 추진되어야 한다.

참고문헌

- [1] http://www.demos.ibm.com/on_demand/Download/ko/IBM_Demo_Tivoli_Monitoring_Power_Management-1-Oct07.pdf
- [2] http://research.google.com/archive/power_provisioning.pdf
- [3] <http://opensolaris.org/os/project/tesla/Work/>
- [4] <http://communities.intel.com/community/openportit/server/blog/tags/dcm>
- [5] HP, Intel, Microsoft, Phoenix, Toshiba, Advanced Configuration and Power Interface Specification, Revision 3.0a, December 30, 2005 <http://aci.info/DOWNLOADS/ACPIspec30.pdf>
- [6] Robert Graybill, Rami Melhem, Power aware computing, Springer, 2002
- [7] <http://www.lesswatts.org/projects/tickless/>
- [8] ESG Research Report, Medium-Size Business Server & Storage Priorities, June 2008
- [9] SNIA Education, Green Storage II: Metrics and Measurement
- [10] StorageIO Working Group White Paper, MAID 2.0: Energy saving without performance compromises, 2008
- [11] Christopher Mines, Software Strategists Tackle Green IT, Forrester Research, 2008.4.
- [12] Paul Mason and Dan Kusnetzky, Server Provisioning, Virtualization, and the On-demand Model of Computing: Addressing Market Confusion," IDC, June 2003
- [13] 김진미 외 7, 분산 이기종 서버 환경을 위한 인프라 가상화, 정보과학회지, 2008.10
- [14] DMTF, <http://www.dmtf.org>

저자소개

우 영 춘(Young-Choon Woo)



1988년~현재 한국전자통신연구원 시
스텝SW연구팀 책임연구원
1988년 경북대학교 전자공학과 전산
학전공 공학석사

1986년 경북대학교 전자공학과

※관심분야 : 분산처리 시스템, 가상화, 보안

김 대 원(Dae-Won Kim)



2004년~현재 한국전자통신연구원 서
버플랫폼연구팀 선임연구원
2004년 경북대학교 전자공학과 공학
박사

2000년 경북대학교 전자공학과 전산학전공 공학석사

※관심분야 : 저전력 시스템관리, 디지털 시스템 설계

김 재 열(Chei-yol Kim)



2001년~현재 한국전자통신연구원 시
스텝SW연구팀 선임연구원
2001년 경북대학교 전자공학과 공학
석사

1999년 경북대학교 전자공학과

※관심분야 : 운영체제, 네트워크, 가상화

김 흥 연(Hong-Yeon Kim)



1999년~현재 한국전자통신연구원 저
장시스템연구팀 책임연구원
1999년 인하대학교 전자계산공학과
공학박사

1994년 인하대학교 전자계산공학과 공학석사

1988년 인하대학교 통계학과

※관심분야 : 스토리지 시스템, 데이터베이스시스템