

그린 운영체제 동향

Trends in Green Operating System

클라우드 컴퓨팅 특집

김재열 (C.Y. Kim)	시스템SW연구팀 선임연구원
차규일 (G.I. Cha)	시스템SW연구팀 선임연구원
김영호 (Y.H. Kim)	시스템SW연구팀 선임연구원
강동재 (D.J. Kang)	시스템SW연구팀 선임연구원
임은지 (Y.J. Lim)	시스템SW연구팀 선임연구원
정성인 (S.I. Jung)	시스템SW연구팀 팀장

목 차

-
- I . 그린 IT의 등장배경
 - II . 가상화 기술
 - III . 운영체제 전력절감 기술
 - IV . 결론

최근의 경제난과 에너지 가격의 급격한 변동은 세계 각국의 에너지 정책이 지속 가능한 미래 에너지의 개발에 관심을 가지게 만들었다. 또한 나날이 심각해지는 지구온난화 현상은 이러한 세계 각국의 위기감을 실제적인 행동으로 이끌어 내고 있다. 이러한 행동의 하나로 태양력과 수력 등의 청정에너지 개발과 에너지 사용량을 줄이기 위한 노력과 기술개발을 들 수 있다. 기존의 서버 컴퓨팅 시스템의 화두는 단연 성능과 안정성이었다. 즉 가격대비 성능과 안정성이 높기만 하면 전력사용량은 별 문제가 되지 않았다. 또한 절력절감 기술은 전력을 항상 공급받지 못하는 랩톱과 같은 이동형 컴퓨팅 장치에만 적용되었다. 하지만 최근의 경향은 모바일에만 적용되던 전력절감 기술을 서버 컴퓨팅 분야에도 적용하여 전체 시스템의 전력사용량을 낮추는 것을 목표로 한다. 그린 운영체제란 운영체제 수준에서 시스템의 전력사용량을 낮추는 모든 기술을 포괄한다고 볼 수 있다.

I. 그린 IT의 등장배경

최근 IT의 화두는 단연 그린 IT와 클라우드 컴퓨팅을 꼽을 수 있을 것이다. 클라우드 컴퓨팅이 활성화 된다면 이제 집과 사무실마다 존재하던 PC들과 서버들이 클라우드 컴퓨팅 환경에 접속할 수 있는 단말들로 바뀌게 될 것이며, 이는 클라우드 서버들의 효율적인 운용이 바탕이 된다면 전체 시스템 전력을 크게 감소시킬 수 있을 것이다. 이러한 모습은 클라우드 컴퓨팅을 그린 IT의 한 부분으로 해석할 수 있다. 이렇게 본다면 현재 IT 업계의 유일한 화두는 그린 IT일 것이다.

그렇다면 전세계의 IT 업계가 그린이라는 단어에 집착하는 이유는 무엇일까? 이것을 단지 새로운 제품과 기술을 팔기 위한 IT 업계의 기만적인 마케팅 구호로 폄하할 것인지, 아니면 “지속 가능한 성장”이라는 문구로 대표되는 IT 업계의 새로운 패러다임 변화로 볼 것인지는 아직 선불리 판단할 수 없을 것이다.

이번 장에서는 최근의 그린 IT에 대한 관심이 시작된 원인이 되는 환경파괴, 지구온난화에 대한 문제와 이와 관련된 IT의 영향 및 에너지 관점에서의 IT 산업의 문제에 대해서 기술한다.

이러한 정보가 그린 IT의 의미와 필요성을 판단하는 데 도움이 될 것이다.

1. 지구 온난화 문제

1992년 6월 브라질 리우데자네이루에서는 지구 온난화를 줄이기 위한 국제협약인 UN의 “기후 변화에 관한 국제 연합 기본 협약”이 체결되었다. 그러나 지구온난화에 대한 우려가 국제적인 동의를 얻은 지 10년이 훨씬 지났음에도 미국과 중국 등의 주요 이산화탄소 배출국들은 자신들의 경제적, 정치적 이유에 따라 이산화탄소 의무 감축을 명문화한 “교토 의정서”에 동의하지 않고 있는 실정이다. 이러한 가운데 지구 온난화의 결과로 전세계에서 발생하고 있는 환경문제들은 몇몇 환경전문가의 우려가 아닌

전세계인의 생존의 문제로 점차 인식되고 있다.

지구 온난화의 대표적 피해로는 남극과 북극의 빙하가 녹음으로 인해 발생하는 전세계 해수면 상승을 들 수 있다. 이렇게 해수면이 상승하게 되면 대표적으로는 육지가 줄어들어 해안가 주민들의 터전이 사라질 수 있다. 또한 바닷물이 수시로 육지로 밀려들어 식수로 사용하는 물에 소금기가 스며들어 물부족 현상을 겪게 된다. 이러한 물부족 문제는 식수뿐만 아니라 이 물을 농업용수로 이용하던 곳에서는 농사를 지을 수 없으므로 인해 식량난의 원인이 된다.

방글라데시의 경우 최근 30년간 주변 해수면이 3m 상승했으며 기후 변화로 인한 폭풍과 사이클론, 홍수, 가뭄이 빈번해졌다. 지금의 추세를 감안하면 2030년에는 1700만 명의 방글라데시 주민이 삶의 터전을 잃어 버릴 것으로 예상된다(환경뉴스 “방글라데시가 가라앉고 있다. 환경의 역습” 참조).

이는 전쟁난민이 아닌 기후에 의해 삶의 터전을 잃어버린 기후 난민이 발생할 가능성을 배제할 수 없다.

2. IT와 환경 문제

IT는 현대인의 생활과 뗄래야 뗄 수 없는 관계를 가지게 되었다. 이제는 도시인의 생활에 IT가 관여하지 않는 곳은 전무하다고도 말할 수 있을 것이다. 금융거래, 통신, 교통 등 우리 일상의 대부분에 IT가 관계하고 있다. 이러한 간접적인 관계 외에도 현대인의 필수품이 된 휴대전화, PC, MP3 플레이어 등 다수의 IT 제품은 생산, 사용, 폐기단계에 이르기까지 모두가 환경에 영향을 미치고 있다.

먼저 생산 단계를 예로 들어보면 컴퓨터를 제조하기 위해서는 다수의 플라스틱 및 유독 물질이 필요하다. 또한 제품 생산을 위해서는 석유나 전기 에너지를 사용해야 한다. 이는 이산화탄소를 배출하게 돼 온실가스를 생산하게 된다.

두번째 사용단계의 문제점은 IT 제품의 에너지 사용 때문이다. 이 에너지로는 대부분 전기에너지를 사용하며, 전기에너지는 대부분 석유나 가스과 같은

화석연료를 태워서 생산되기 때문이다. 최근의 청정 에너지 개발에 따라서 일부 전기 에너지가 수력이나 풍력, 태양력을 이용해 만들어지고 있으나, 아직까지 전체 에너지량에 비해서는 미미한 실정이다.

세번째로 폐기단계에서의 문제점을 들 수 있다. 특히 다른 일상 제품과 달리 IT 제품의 수명은 매우 짧다. PC의 경우 일상적인 수명은 2~3년 정도이며, 폐기된 부품들은 대부분 육지에 매립된다. 폐기물에 포함된 유독물질은 토양과 수질을 오염시키게 된다.

이상의 IT가 환경에 미치는 영향을 고려하면, 지금의 IT 산업이 현재와 같은 방식의 방향과 경쟁을 지속하면 환경파괴라는 딱지를 절대로 뗄 수 없을 것임을 알 수 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서 IT에서 친환경이라는 수식어를 더 이상 낮선 단어로 볼 수는 없을 것이다.

3. IDC의 전력 문제

최근의 폭발적인 네트워크의 확산과 인터넷 서비스의 증가에 따라 인터넷 서비스를 제공하는 서버의 숫자와 성능이 급격히 증가함으로 인해 서버를 운영하는 데이터센터(IDC)의 전력사용량이 기하급수적으로 증가하였고, 이에 대한 우려가 심각한 수준이다. 시장조사 업체인 Frost & Sullivan에 따르면, 2007년 총 220만 대였던 미국 데이터센터 내 서버가 2010년경에는 680만 대로 3배 이상 늘어날 것으로 예상된다. 또한 인텔의 보고서에 따르면 2000년 서버 한 대 당 50 와트의 전기를 사용했으나 현재 2009년에는 한 대 당 250 와트의 전기를 소모하고 있다고 한다. 미국 EPA의 보고서에 따르면, 2006년 한해 동안 미국 내 데이터센터에서 소모한 전력량은 610억 kWh로 금액으로 환산하면 45억 달러에 달하는 것으로 밝혀졌다. 2000년 이후 5년간 데이터센터 전력소모량은 2배로 증가한 것으로 나타났다. 이러한 데이터센터의 전력문제는 단순히 인터넷 서비스의 증가 때문만은 아니며, 각종 업무가 전산화 되면서 서버들의 사용량이 지속적으로 늘

고 있기 때문이다. 따라서 지금과 같은 서버의 증가는 불가피할 것으로 예상된다. EPA는 이러한 데이터센터의 에너지 소비 억제를 위하여 데이터센터의 효율성 측정을 위한 벤치마크 지수 개발 등 미국내 데이터센터들의 에너지 효율성을 높이기 위한 다양한 노력을 시도하고 있다.

이러한 노력의 일환으로 2006년 4월 AMD, HP, Sun, IBM이 데이터센터의 저전력, 저발열을 통한 에너지문제 개선을 위한 Green Grid[1] 단체를 조직했다. Green Grid는 데이터센터의 구축과 운영, 설계와 관련된 최선의 방법론을 규명하고 제안하여 데이터센터를 포함한 IT 관련 시설들의 에너지 소비를 절감시키는 방안을 모색하는 것을 목적으로 한다. Green Grid는 비영리 독립 협회로서 데이터센터 관리자 및 서버 벤더들을 포함한 전세계 IT 업계 전문가에게 개방되어 있다. 현재는 AMD, HP, Sun, IBM 외에 Intel, MS, Dell 등의 IT 공룡업체들이 보드회원으로 소속되어 있다.

IBM은 2007년 5월 데이터센터 내 IBM 제품의 전력절감 기술을 극대화 시키기 위해 매년 10억 달러를 투자해 데이터센터의 에너지 사용량을 절반 가까이 줄이기 위한 "Project Big Green[2]"을 출범시켰으며, 2007년 8월 Novell, Linux Foundation[3]과 함께 Big Green Linux 구상을 발표하였다. "Project Big Green"에서 IBM이 제시하고 있는 다섯 단계의 데이터센터 전력절감 방안은 IBM의 그린 방향성을 알려준다는 점에서 매우 중요할 것으로 보인다. 이들 다섯 단계는 아래와 같다.

- ① 분석: 현재 상황을 판단(IDC의 에너지 소비 및 온도를 분석)
- ② 구축: 효율적인 IDC 계획 수립 및 구축
- ③ 가상화: IT 자원을 가상화
- ④ 관리: 전력관리 소프트웨어를 이용한 IDC 관리
- ⑤ 냉방: IDC 내, 외부의 효율적 온도관리 시스템 구축

위의 글로벌 IT 업체들의 그린 IDC 계획에 비하면 국내 IT 업체들의 그린 IDC 분야 연구개발은 매

우 미미하다고 할 수 있다. 하지만 현실적으로 우리나라의 경우에도 2000년 초반에 지어진 데이터센터들이 전력문제에 봉착한 곳이 많다(아이뉴스, “위기의 인터넷 산실, IDC-현 전력 시설로는 설 곳 없다” 참조). 이러한 국내 데이터센터의 전력문제를 통해서도 알 수 있지만, 전세계적인 그린 IT 흐름에서 우리나라도 예외가 될 수 없다는 점은 자명하고 이에 따르는 관련 분야에 대한 연구와 개발 확산에 많은 노력과 투자가 필요할 것이다.

4. 그린 IT

그린 IT는 환경을 생각하는 IT를 의미한다. 즉 제품을 생산하는 과정에서도 환경에 나쁜 영향을 덜 미치는 재료와 과정을 선호하며, 제품의 에너지 효율이 높도록 설계해 온실가스 배출을 줄이며, 폐기 시에도 재활용률을 높이거나 환경에 무해한 재료를 선호하는 등의 노력과 연구, 개발을 그린 IT라 정의할 수 있다. 여기서 하나 더 생각해 봐야 할 것은 이러한 환경을 고려한 제품개발이 기업에게 또 하나의 규제나 제한으로만 작용할 것인가 하는 점이다. 그린 IT는 이를 규제로만 생각하는 기업에는 족쇄가 될 수도 있겠지만, 이를 통한 새로운 부가가치를 창출하는 기업에게는 새로운 기회가 될 수도 있을 것이다. 지금 세계 각국은 환경문제의 심각성을 해결하는 노력으로 친환경적인 제품에 대한 규제나 그린 IT 제품에 대한 혜택을 고려한 정책을 입안하려는 노력이 이루어지고 있다.

이러한 사회적 환경을 배경으로 IT 기업은 그린 IT를 통해 기업의 사회적 책임, 성능 개선, 경제성 달성 등의 목표를 가져야 한다.

본 글에서는 그린 IT의 여러 분야 중 IT 서비스를 제공하는 컴퓨팅 분야의 에너지 절감 방안 중 운영체제 수준의 기술만을 다룰 것이다. 여기에는 다수의 서버를 하나의 서버로 통합함으로써 에너지 효율을 높일 수 있는 가상화 기술과 단일 운영체제 내에서의 에너지 효율 향상을 위한 그린 운영체제 기술이 있다.

II. 가상화 기술

서버 컴퓨팅분야에서 최근 가장 주목을 받고 있는 기술 분야라면 단연 가상화를 들 수 있을 것이다.

사전적 의미에서 가상화는 크게 두 가지로 나눌 수 있다.

첫번째는 물리적으로 나누어진 다수의 시스템을 논리적으로 하나의 시스템으로 보이게 하여, 다수 개의 저사양의 서버를 이용해 고성능의 시스템을 만드는 것이다. 예를 들면 클러스터 시스템이 이 경우에 해당된다고 할 수 있다.

두번째는 첫번째 방법과 반대로 물리적으로 하나의 시스템을 논리적으로 다수 개의 시스템으로 분할하여 사용하는 것을 말한다. VMware와 같이 하나의 시스템에 두 개 이상의 가상시스템을 운영할 수 있는 가상화 기술이 여기에 속한다고 볼 수 있다.

이 중에서 최근의 이슈가 되고 있는 가상화 기술은 두번째의 가상화 기술을 의미하며, 본 글의 가상화는 후자만을 말한다.

가상화를 통해서 취할 수 있는 여러 가지 특징 중 다수의 물리적 서버를 하나의 물리적 서버로 통합하는 서버 통합(server consolidation)은 가상화를 그린 운영체제 기술로 분류할 수 있는 이유를 가장 잘 대표할 것이다.

서버 통합이 가능한 이유로는 현재 사용되고 있는 대부분의 서버들이 극히 낮은 시스템 사용률을 보이고 있다는 점이다. 많은 서버들이 부하가 최대로 걸리는 특수한 상황을 기준으로 운용됨으로써 일반적인 상황에서는 많은 전력과 자원을 낭비하게 되는 단점을 가지게 되었다. 그래서 이러한 단점을 가상화 기술을 통해서 보완하여 상대적으로 적은 수의 서버시스템으로 동일한 서비스를 지원할 수 있게 되어 전체 시스템의 전력소비를 줄일 수 있으며 이는 또한 데이터센터의 공간을 줄임으로써 데이터센터 유지에 사용되는 전력소비 또한 줄일 수 있다.

이러한 이유로 가상화를 그린 IT의 한 부분으로 볼 수 있다.

가상화 소프트웨어 시장은 최근 큰 폭의 성장률

을 나타내고 있다. 시장조사업체인 IDC에 따르면 2006년 전세계 가상화 소프트웨어의 시장 규모는 2005년 5억 6천만 달러 대비 46% 성장한 8억 1천만 달러이며, 2009년에는 18억 달러에 이를 것으로 전망하고 있다. 이는 가상화 기술에 대한 인식과 중요성이 실제 시장 저변에도 빠르게 영향력을 넓혀가고 있음을 보여준다.

아래에서는 가상화의 유래와 가상화의 장점, 그리고 시장에서 두각을 나타내는 최근의 가상화 제품들과 그들의 특징에 대해서 살펴볼 것이다.

1. 가상화의 유래

가상화는 1960년 초에 대규모 메인프레임 하드웨어를 분할하여 사용하기 위한 개념으로 IBM 7044에서 최초로 구현되었다. IBM 7044는 메인프레임에 다수 개의 가상 이미지를 생성해, 다수의 유저가 가상 이미지를 통해 메모리, CPU와 같은 자원을 동시에 사용할 수 있도록 하였다. 그러나 이때까지의 가상화 시스템은 현재의 시간 분할 다중 사용자 지원 구조와 비슷한 것으로 오늘날의 가상화와 동일하다고 볼 수는 없을 것이다. 1960년대 후반, 1970년대 초에 IBM의 System/370의 가상화 지원 도구인 VM/370이 개발되었다. VM/370은 실제 하드웨어를 제어하는 VMM과 각 하드웨어를 가상화한 다수 개의 가상세션을 제공하는 기술로 IBM 7044의 가상화 기술에서 진일보하여 현재의 가상화와 유사한 모습을 갖추게 되었다.

1980년대와 1990년대에 저비용의 서버와 스토리지 하드웨어가 시장의 관심을 받는 가운데 가상화 기술의 필요성이 소멸하였으며, 그 관심은 분산 시스템과 클라이언트/서버 시스템으로 이동하였다. 그리하여 많은 서버 업체들은 고성능의 메인프레임이 아닌 저비용의 x86 기반 시스템을 채용하기 시작했다.

1990년대의 이러한 흐름에도 불구하고 몇몇 업체들은 총 소유비용(TCO)의 관점에서 가상화 기술의 장점을 인식하고 연구 개발을 진행해 왔다. 이러

한 업체로는 대표적인 VMware와 VirtualBox, Xen을 들 수 있다.

2. 가상화의 장점

가상화를 통한 구체적인 장점들을 아래와 같이 정리할 수 있다.

첫째, 가상화를 통한 시스템 구축은 물리적인 서버 단위로 나누어진 시스템을 구축하는 것보다 쉽다. 간단한 예로 VMware를 통하여 Windows 시스템에 리눅스를 설치할 경우, 기존에 만들어진 리눅스 이미지를 사용하면 애플리케이션을 설치하는 것만큼이나 간단한 과정을 통해 리눅스 시스템을 설치할 수 있다. 이를 서버환경에 적용할 때 동일한 장점을 가상화를 통해서 얻을 수 있다. 즉 가상화를 통해서 설치와 관리 부하를 줄일 수 있다.

둘째, 가상화의 시스템 마이그레이션 기능을 이용하면 비교적 쉽게 전체 서비스의 가용성을 높일 수 있다. 다시 말하면 서버의 업그레이드와 같은 유지 보수를 하는 경우 마이그레이션을 이용해 시스템 다운시간을 최소화할 수 있다. 동일한 이유로 시스템의 확장성도 쉽게 보장할 수 있다.

셋째, 소프트웨어는 개발과 함께 꾸준한 기능 향상 및 버그 수정이 중요하다. 가상화를 활용하면 소프트웨어 개발 환경에 아주 많은 도움을 받을 수 있다. 예를 들어 소프트웨어 개발 중 운영체제를 재부팅해야 하는 경우가 빈번한 경우 가상화를 이용하면 실제 시스템을 재부팅하지 않고도 가상시스템을 통해 빠르게 재부팅 할 수 있다. 소프트웨어 개발시 가상화를 통해 시스템 다운시간을 줄일 수 있으며 편리한 환경을 제공할 수 있다.

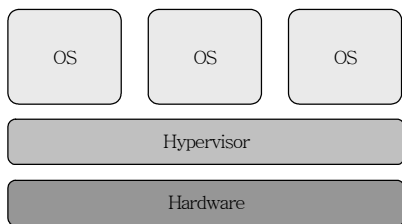
넷째, 다수의 서버를 하나의 서버로 통합하는 서버통합을 통해 전력절감 및 서버가 차지하는 공간을 줄일 수 있다. 우리 나라의 경우 많은 IDC 센터가 수도권에 몰려 있으며 이로 인해 IDC 센터 내의 서버 공간이 부족한 현상이 발생하고 있다. 서버통합을 이용하면 이러한 문제를 획기적으로 줄일 수 있다.

3. 가상화 기술 및 시장 현황

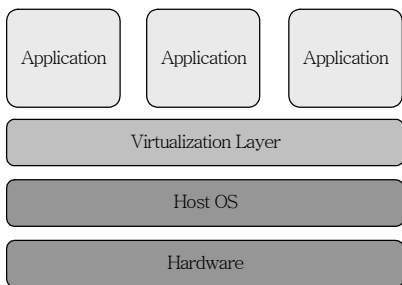
시맨틱 자료에 따르면 우리나라를 포함한 아태지역의 데이터센터 내 가상화 도입 비율은 29% 정도로 글로벌 도입 비율보다 10% 정도 낮은 것을 알 수 있다. 하지만 2008년을 기점으로 마이크로 소프트의 윈도 서버 2008이 가상화 솔루션인 Virtual Server와 hyper-V를 포함해서 시장에 출시되면서 가상화 기술 업체들의 경쟁이 한층 치열해지고 있다. 국내 가상화 소프트웨어 시장은 VMware의 주도 속에 XenSource를 인수한 Citrix와 MS, Redhat 등의 업체가 혼전 양상을 띠고 있다.

운영체제와 관련된 가상화는 크게 가상화가 구현된 수준에 따라서 서버 가상화, 운영체제 가상화, 애플리케이션 가상화로 나눌 수 있다.

서버 가상화는 시스템의 하드웨어를 가상화시켜 하나의 하드웨어 상에 다수 개의 운영체제를 실행할 수 있는 환경을 제공한다. 이 때 하드웨어를 가상화시켜 운영체제 하부에서 다수의 논리적 하드웨어 환경을 제공하는 역할을 하는 부분을 hypervisor 혹은 VMM이라 부른다. (그림 1)과 같이 서버 가상화에서는 하드웨어와 운영체제 사이에 hypervisor가 위치해 하드웨어 가상화 기능을 운영체제에 제공한다.



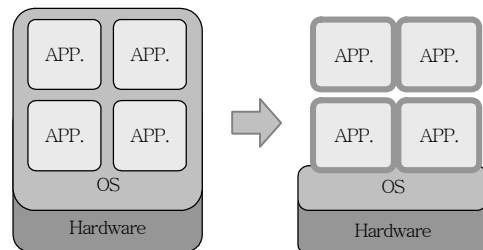
(그림 1) 서버 가상화



(그림 2) 운영체제 가상화

운영체제 가상화는 앞서 말한 서버 가상화에서 가상화하는 대상을 하드웨어에서 운영체제로 한 단계 올린 것으로 생각할 수 있다. 실제로 시스템에 제공되는 운영체제는 하나밖에 없지만, 그 운영체제를 위해서 실행되는 애플리케이션은 각각 독립적인 운영체제에서 수행되는 것처럼 보이는 것이다. 운영체제 가상화를 하면 각 애플리케이션은 각각의 파일시스템, 네임스페이스, 네트워크 환경 등을 가질 수 있다. (그림 2)와 같이 운영체제 가상화는 운영체제와 응용프로그램 사이에 가상화 계층이 존재해 상위의 응용프로그램에 독립적인 실행환경을 제공한다.

마지막 애플리케이션 가상화는 응용프로그램의 구성 계층을 OS에서 분리시켜 응용프로그램의 설치 없이도 클라이언트에서 응용프로그램을 독립적으로 수행할 수 있는 기능을 제공한다. 예를 들면 하나의 응용프로그램이 동작하기 위해서는 응용프로그램 자체 코드뿐만 아니라 동적라이브러리(DLL), 레지스트리 등 각 응용프로그램을 구성하는 다양한 리소스가 필요하다. 애플리케이션 가상화는 이러한 공유 자원들을 응용프로그램별로 각각의 복사본을 떠놓는 방식으로 문제를 해결한다. (그림 3)은 애플리케이션 가상화를 설명한다. (그림 3)의 좌측처럼 일반적인 응용프로그램은 운영체제에 직접 설치되어 각 응용프로그램간에 충돌이 발생하기도 한다. 하지만 애플리케이션 가상화를 적용하면 (그림 3)의 우측처럼 운영체제 독립적이면서도 각 응용프로그램마다 저마다의 보호된 런타임 환경을 가질 수 있다.



(그림 3) 애플리케이션 가상화

가. VMware

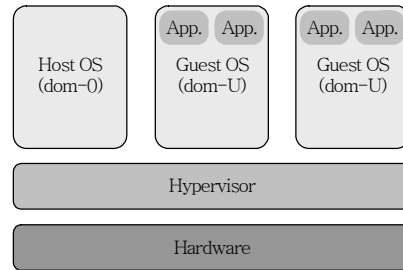
VMware는 1998년 Diane Greene과 Mendel

Rosenblum에 의해 건립되었으며 현재는 EMC의 자회사이다. VMware는 최근의 가상화가 이슈가 되기 전 10여 년 동안 꾸준히 데스크톱과 서버분야의 가상화 솔루션을 개발해 왔다. VMware는 운영체제를 전혀 수정 없이 가상화 할 수 있는 전가상화(full virtualization) 기능을 제공한다. 전가상화는 운영체제를 수정하지 않아도 되는 장점이 있는 반면 성능이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 만회하기 위해서 발표한 것이 VMware ESX 서버이다. ESX 서버는 기존의 VMware 제품들이 특정 호스트 운영체제 위에서 하나의 프로그램인 하드웨어 에뮬레이터 형태로 돌아가던 것을 직접 하드웨어 상위에서 동작하는 hypervisor 형태로 제공하였다. 이를 통해 ESX 서버는 호스트 운영체제를 거침으로써 발생하는 부하를 제거함으로써 성능향상을 이룰 수 있게 되었다. VMware는 2007년 10월 Virtual Infrastructure 3.5를 발표하였다. 여기에 포함된 DPM은 서버의 하드웨어 동작을 감시해 능동적인 가상머신 마이그레이션을 통해 불필요한 서버를 정지시켜 전력을 절감할 수 있는 기능을 제공한다. Virtual Infrastructure의 hypervisor는 ESX 서버를 기반으로 반가상화(para-virtualization)를 제공하며 메모리 접근을 고속화하여 스토리지와 네트워크 성능을 향상시키는 nested page table 기능이 포함되었다. 2009년에는 Virtual Infrastructure의 개선된 버전인 vSphere4를 발표하였다.

VMware는 사용의 편리함과 오랜 기간 동안의 안정성을 바탕으로 2008년 현재 가상화 시장의 70% 이상을 점유하고 있는 것으로 알려져 있다. 하지만 2008년 이후 MS가 가상화 시장에 참여함으로써 심화된 경쟁이 예상된다.

나. Xen[4]

Xen은 캠브리지 대학의 Ian Pratt에 의해서 시작된 연구 과제였다. 이후 Xen을 상용화하기 위해 만들어진 Xensource를 통해서 공개 소프트웨어로 개발되다가 2007년 10월 Citrix Systems에 인수되었



(그림 4) Xen의 구조

다. Xen은 Xen 위에서 동작하는 운영체제가 수정되어야만 실행되는 반가상화를 지원한다. 반가상화는 전가상화에 비해 뛰어난 성능을 발휘하는 것으로 알려져 있으며, Xen의 경우 VMware에 비해 좋은 성능을 보여주는 결과가 나와 있다. 현재 Xen은 IBM, HP, Intel, AMD, MS 등 여러 하드웨어, 소프트웨어 벤더들의 지원을 받고 있다.

Xen의 구조는 (그림 4)에서 보는 것과 같이 hypervisor와 호스트 OS와 게스트 OS로 이루어져 있다.

Hypervisor는 하드웨어 상위에서 CPU와 메모리 등의 자원을 상위의 가상머신에 할당해주는 역할을 한다. Hypervisor는 상위의 가상머신이 가상화 환경에서 사용할 수 있는 API를 지원해 준다. 이를 시스템 콜과 유사한 하이퍼 콜이라고 부른다. 하이퍼 콜은 새로운 도메인의 생성, 주소 매핑 생성, 도메인간 버퍼 전송, CPU 인터럽트 전송 등의 기능을 가지고 있다.

호스트 OS는 도메인-0이라고도 불린다. CPU와 메모리의 기본적인 자원 외에 게스트 OS가 디바이스를 접근하기 위해서는 반드시 도메인-0을 거쳐야 한다. 이러한 이유로 도메인-0을 드라이버 도메인이라고 부르기도 한다.

게스트 OS는 Xen 가상화 환경의 최종 목적인 가상 머신을 의미한다.

Xen은 최근 Intel-VT나 AMD-V 등의 최근 하드웨어 벤더들이 지원하는 가상화 기능을 이용해 운영체제의 수정 없이 실행할 수 있는 전가상화를 지원한다.

Xen은 전통적으로 Linux에 초점을 맞추어 왔

며 MS의 Windows의 경우 Qemu를 통해 가상화를 지원한다.

다. KVM[5]

KVM은 Intel-VT, AMD-V와 같은 가상화 기능을 제공하는 x86 아키텍처에서 전가상화를 제공하는 가상화 도구이다. KVM의 가장 큰 특징은 hypervisor 기능을 리눅스 커널에 동적 적재가능 모듈로 만들었다는 것이다. KVM은 수정된 Qemu를 이용해서 동작한다. 이와 같은 구조를 통해서 KVM은 hypervisor의 부하를 줄여 성능을 향상시키고, 커널과 일원화 됨으로써 관리의 편의성을 높일 수 있다. 2007년 2월 Linus Torvalds는 리눅스 커널 2.6.20에 KVM 패치를 받아들여 메인라인에 반영하였다. 이는 KVM이 Xen을 제치고 리눅스의 대표적 가상화 도구가 되었다는 것을 의미한다. KVM은 Xen에 비해 상대적으로 커널 수정을 최소화하고 메모리 및 프로세스 등의 데이터 구조체를 최대한 그대로 가져와 하드웨어의 가상화 지원 기능을 이용한다. 또한 Fedora에서도 최근 기본 가상화 도구로 Xen이 아닌 KVM을 선택해 향후 KVM의 시장에서의 행보가 관심의 대상이 되고 있다.

KVM은 Avi Kivity에 의해서 관리되고 있으며 이를 위한 비용은 Qumranet사에서 주로 감당하고 있다. Qumranet사는 현재 Redhat이 소유하고 있다.

라. Virtual Server

2007년 6월 MS는 Windows 운영체제 상에서 가상화를 지원해 주는 Virtual Server 2005를 발표하였다. Virtual Server의 가상화 기술은 원래 Con-

nnectix사에 의해서 개발된 것이지만, MS사에 의해 인수되었다. 2007년 말 MS는 Windows Server 2008에 번들로 제공될 예정이던 Virtual Server 2008을 별도로도 판매할 것이라고 밝혔다. 또한 MS는 Virtual Server에 리눅스에 대한 지원을 추가하였다. 이러한 정책은 시장의 선도주자인 VMware를 견제하기 위한 것으로 보인다.

Virtual Server는 인텔과 AMD가 제공하는 가상화 기능 위에서 동작하며 전가상화를 지원한다.

이상에서 논의된 가상화 기술을 <표 1>과 같이 정리할 수 있다.

VMware의 발표에 따르면 VMware 도입으로 인한 에너지 절감 효과가 80%에 달한다고 한다. 대표적인 예로는 뉴욕 성 빈센트 카톨릭 병원 사례를 소개했다. 뉴욕 성 빈센트 카톨릭 병원은 VMware의 가상 인프라스트럭처를 통해 85%의 IT 자원을 가상화 시켰으며, 90일 동안 185대의 서버를 줄였다고 한다. 국내사례를 예로 들면, 2007년부터 서버 가상화를 시작한 홈플러스는 2008년 한해 동안 전기료로 4000만 원 정도를 절감할 수 있었다고 한다 [6]. 비단 이상의 실례를 들지 않더라도 가상화는 클라우드 컴퓨팅 구현과 그린 IT 실현을 위한 가장 손쉬운 수단임을 알 수 있다.

가상화를 통한 에너지 절감은 가상화를 통해 서버의 개수를 줄이고 서버 효율성을 높이는 방법을 통해서만 이루어졌다. 하지만 다음 단계로는 가상화 내부의 자원관리 시에도 에너지 절감을 고려한 기술들이 개발되어야 할 것이다. 다시 말하면 다음 III장

<표 1> 주요 가상화 기술 현황

업체 명	제품 명	가상화 방식	오픈 소스	지원 OS
VMware	VMware	Full	No	Linux, Windows, Solaris, etc.
Citrix	Xen	Para, Full with CPU Support	Yes	Linux, Windows, Solaris BSD etc.
KVM	KVM	Full with CPU Support	Yes	Linux, Windows
MS	Virtual Server	Full	No	Linux, Windows

● 용어해설 ●

Qemu: Qemu는 CPU 에뮬레이터 가운데 하나이며 full system 에뮬레이션 혹은 완전 가상화를 제공한다. Fabrice Bellard가 만들었으며 ARM과 x86과 같은 이종시스템 간의 완전 가상화를 제공한다. 즉 x86에서 OS를 포함한 ARM용 소프트웨어 스택 전체를 가상머신 위에서 실행할 수 있다.

에서 기술할 운영체제상에 개발된 전력절감 기술들을 가상화 환경에 맞추어 적용함으로써 더욱 더 효과적인 에너지 절감 컴퓨팅 환경을 구축할 수 있을 것이다.

III. 운영체제 전력절감 기술

이번 장에서는 가상화나 클러스터 환경이 아닌 단일 운영체제 수준에서 지원하는 전력절감 기술을 공개소프트웨어인 리눅스를 중심으로 살펴본다.

컴퓨팅 시스템의 전력소비에 관심을 가지게 된 것은 휴대용 컴퓨팅 장치인 노트북이나 PDA 등을 사용하면서, 장치들의 사용시간이 중요한 문제로 인식되었기 때문이다. 하지만 최근의 환경문제와 에너지 위기를 겪으면서 사용시간의 문제가 아닌 에너지 절감 차원의 전력절감 기술에 대한 관심이 데스크톱과 서버를 포함한 일반 컴퓨팅 분야로 확산되었다. 또한 I장에서 기술한 바와 같이 데이터센터에서 사용되는 전력량이 기하급수적으로 증가하면서 서버의 전력 절감이 현실적으로 요구되는 상황이 되었다.

운영체제 수준의 전력절감 기술은 크게 하드웨어의 전력사용을 운영체제나 응용프로그램이 제어할 수 있는 기능 지원이 있어야 하며, 이렇게 제공된 하드웨어 기능을 소프트웨어가 효과적으로 사용하여 전력을 절감하는 방법, 마지막으로 특별히 하드웨어에서 지원하는 기능이 없는 경우에도 소프트웨어를 효율적으로 구동하여 전력을 절감하는 방법으로 크게 구분할 수 있다.

다음에 기술하는 내용은 위에서 언급한 세 가지 범위 안에 해당되는 내용을 차례대로 설명할 것이다.

1. ACPI

ACPI[7]는 1996년에 Intel, HP, MS, 피닉스, 도시바가 공동으로 제정한 표준으로 하드웨어 감지, 메인보드 및 장치 구성, 전원관리를 담당하는 인터페이스로서 기존의 APM을 대체하기 위하여 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 전력 제어를 가능하게 만들어 준다. ACPI는 Windows98과 NT에 채용되었으며, 리눅스에서는 1999년부터 지원하고 있다. 현재까지 ACPI는 배터리를 사용하는 노트북에서 효과적인 전력관리 수단으로 사용되었다.

ACPI는 몇 가지 시스템 및 장치의 상태를 정의하고 있다. 예로 몇 가지만 들어보면, 전체 시스템의 상태는 G0, G1~G3으로 정의되어 있다. 여기서 G는 Global을 의미한다. G0는 작업중인 시스템의 상태이며, G1은 대기모드를, G2는 소프트웨어적인 종료, G3는 하드웨어적인 종료를 의미한다. ACPI에는 이 외에도 CPU와 기타 장치에 대한 상태를 따로 정의하고 있다.

2. DVFS

ACPI를 통하여 제어할 수 있는 하드웨어 중 가장 전력 소모가 많으면서 중요한 것이 바로 CPU이다. 일반적으로 컴퓨터 시스템에서 전력을 가장 많이 소비하는 장치가 CPU, 메모리, 비디오 카드, 네트워크 카드, 하드디스크 등으로 알려져 있다. 전체 시스템의 전력을 줄이기 위해 첫번째로 고려해야 하는 장치는 CPU이다. 이러한 CPU의 전력을 줄이는 방법으로는 크게 두 가지를 들 수 있다. 이 중 첫번째가 DVFS이다. DVFS는 CPU의 전압과 주파수를 변경함으로써 CPU의 전력사용을 제어할 수 있다는 점을 이용한다.

CPU를 높은 클럭 주파수나 전압 하에서 동작시키면 CPU의 성능을 높일 수 있다. 물론 물리적인 CPU의 한계로 무작정 클럭을 높일 수는 없지만, 특정 범위 안에서는 인위적으로 CPU가 동작하는 클럭 주파수와 전압을 조정할 수 있다. DVFS는 동일한 작업을 하는 데 있어 CPU의 전압과 클럭 주파수를 제어하여 전력을 최소한으로 사용하도록 하는 기

〈표 2〉 주파수 변조를 지원하는 CPU

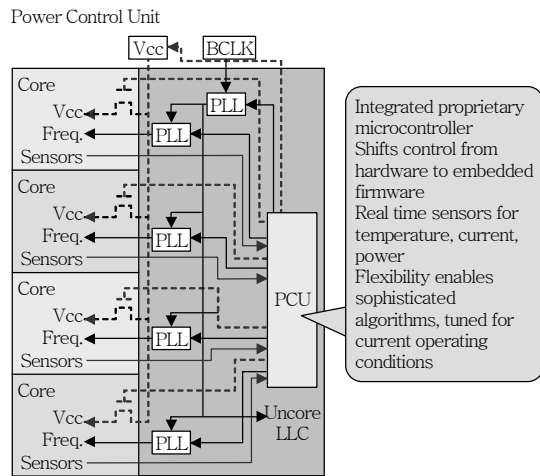
Architecture	CPUs
x86/x86_64	Intel SpeedStep
	AMD PowerNow
	Transmeta Crusoe
	Natsemi Geode/Cyrix MediaGX
	VIA Longhaul
ARM	Integrator SA1100
	SA1110
PowerPC	Various G3s
Sparc64	UltraSPARC IIe & III

〈자료〉: The State of Linux Power Management 2006

법이다. CPU가 주어진 작업부하가 필요로 하는 이상의 성능을 보이는 경우에는 클럭 주파수를 낮추어 전력 소모를 줄인다. 〈표 2〉는 이러한 주파수 변조 기능을 제공하는 프로세서들을 나열하고 있다.

3. Deep Sleep

DVFS는 CPU가 동작하는 경우에 성능을 떨어뜨려 전력소모를 줄이는 방법이다. 이와 달리 CPU에 적용할 수 있는 또 하나의 기술은 CPU가 작업이 없는 경우에 동작상태가 유휴상태(idle)가 되는데, 이때 유휴 상태의 정도에 따라서 전력 소모가 다르다. ACPI의 정의에 따르면 이러한 CPU의 유휴상태를 C0, C1, C2, ..., Cn 등의 다양한 상태로 정의할 수 있다. 물론 이러한 상태는 CPU의 지원 여부에 따라 모든 CPU가 다 지원하는 것은 아니다. 즉 A라는 CPU는 C0, C1만 지원하는 반면 B라는 CPU는 C0, C1, C2, C3의 4단계를 지원할 수 있다는 의미이다. C0는 전력소모가 가장 많지만, 가장 빨리 깨어날 수 있는 상태를 의미하며, Cn은 가장 전력소모가 적으나 깨어나는 시간이 가장 오래 걸리는 상태를 나타낸다. 현재까지는 일반적으로 노트북과 같은 휴대용 장치에 탑재되는 CPU의 경우에만 다양한 C 상태를 지원하고 서버용 CPU인 경우에는 C1 정도만을 지원했다. 하지만 최근에 출시되는 서버 CPU들은 이러한 전력관련 기능을 제공하기 시작했다. Intel은 차세대 아키텍처인 Nehalem[8]에서 C6까지의 CPU 상태를 제공한다고 한다.



(그림 5) Nehalem's PCU(Intel 제공)

(그림 5)는 Nehalem 아키텍처에 포함된 PCU를 보여준다. PCU는 각 코어별로 전압과 클럭 주파수를 제어하여 전력소모를 줄일 수 있다.

CPU와 같이 다양한 유휴상태를 CPU가 아닌 다른 장치에서도 제공하려고 한다. 하지만 이는 하드웨어 장치와 해당 운영체제의 디바이스 드라이버가 모두 지원해 주어야만 하는 기능이기 때문에 아직까진 충분히 성숙되어 있지 않은 상태다.

다수의 장치에서 지원하는 유휴상태 기능을 이용해 ACPI에서는 시스템의 유휴상태를 정의하고 있다. 그 상태는 〈표 3〉에서 보여주는 다섯 가지로 나누어진다.

S0는 시스템이 정상적으로 동작하고 있는 상태를 나타내며, S1은 CPU와 메모리에는 낮지만 전력이 공급되고, 전력 공급이 필요 없는 장치에는 전력을 공급하지 않는 상태로 사용자의 입력이나 작업이 들어오면 깨어나 S0 상태로 바뀔 수 있다. S2는 시스템 전체가 꺼지진 않으나 CPU에 전원 공급이 중

〈표 3〉 System Sleep States

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

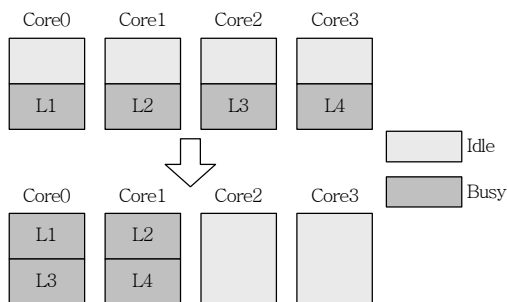
단된 상태로 일반적인 CPU에서 지원하지는 않는다. S3는 CPU의 동작상태를 RAM에 저장하고 잠든 상태이며, S4는 CPU와 메모리의 상태를 디스크에 저장하고 잠든 상태이다. S3가 S4보다 정상적인 상태로 돌아오는 게 빠르지만 RAM을 유지하기 위해 전력을 소비하게 된다. 현재까지 리눅스를 포함한 운영 체제에서 지원하는 전력절감 기능은 이상의 ACPI를 이용한 시스템 전력 상태 관리가 대부분을 차지하였다.

4. 전력절감 스케줄링

최근 출시되는 CPU는 동시에 복수 개의 명령어를 처리하기 위해 하나의 칩셋 패키지에 다수 개의 코어를 내장하고 있다. 이러한 환경에서 전력소모를 고려하지 않는 일반적인 스케줄러는 다수의 코어를 가능한 동시에 많이 사용하여 최대의 성능을 내도록 설계되어 있다. 그러나 이 경우에 작업 부하가 크지 않음에도 불구하고 다수의 코어를 동시에 사용함으로써 전력을 낭비할 수 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해 향상된 스케줄러는 작업 부하의 정도에 따라서 다수의 코어를 사용하는 태스크를 소수의 코어로 모아 동작상태의 코어를 줄여 유휴상태의 코어를 늘림으로써 전체 전력소비를 줄일 수 있다.

(그림 6)에서 각 코어 성능의 절반을 사용하고 있는 워크로드들을 Core0과 Core1로 옮김으로써 Core2와 Core3을 유휴상태로 만들 수 있음을 보여준다.

이때 태스크가 모인 코어의 성능을 일시적으로



(그림 6) Power-aware Scheduling

높여 전체 전력소모는 줄이면서도 성능이 부족한 경우를 보완할 수가 있다. 이와 같은 기능이 최신 CPU[8]에서 지원되고 있으며 리눅스를 포함한 운영체제에서는 이를 이용한 새로운 스케줄러의 구현이 요구된다. 이 기술은 가상화에서 각 가상 머신에 CPU 자원을 배분하는 hypervisor의 CPU 스케줄러로 사용될 수도 있을 것이다.

5. Power-aware API

전력절감 스케줄러에서는 다수의 부하를 하나의 코어로 모음으로 해서 성능이 떨어질 수 있다. 이런 경우 운영체제와 응용프로그램간의 전력에 관한 정보를 상호 전달할 수 있는 전력인식 API[9]를 지원해 효율적인 전력절감 스케줄링을 할 수 있다.

응용프로그램은 자신이 필요로 하는 성능을 API를 통해서 운영체제에 전달하고 운영체제는 다시 응용프로그램에게 해당 프로그램에게 예측되는 성능 정보를 제공함으로써 운영체제는 시스템의 전력을 능동적으로 줄이면서도 응용프로그램의 성능 요구 사항을 만족시킬 수 있다.

6. Tickless Kernel

기존의 멀티 태스킹 시스템에서는 시스템의 설정에 따라 1초에 100번에서 1000번까지의 고정된 타이머 인터럽터를 발생하게 되어 있었다. 이는 시스템이 바쁘게 동작중인 경우에는 문제가 없으나 유휴상태에 있는 경우에는 CPU를 유휴상태에 두지 않고 쓸데없이 깨우게 되어 필요 없는 전력소비를 유발하게 된다. 이러한 단점을 극복할 수 있는 tickless kernel[10] 기능이 리눅스 커널 2.6.21부터 들어가게 되었다. Tickless kernel은 시스템이 유휴상태에 들어가면 점차적으로 tick의 횟수를 줄여 최종적으로 '0'으로 만들고 시스템의 작업부하가 커질수록 tick 횟수를 늘이는 기법을 사용한다.

Tickless kernel 기술이 효과를 보기 위해서는 기본적으로 시스템에 설정되어 주기적으로 CPU를 깨우는 이벤트가 적어야만 효과를 볼 수 있다. 이를

위해서 지원하는 것이 deferrable 타이머[11]이다. Deferrable 타이머는 기존의 타이머와는 달리 지정된 타이머 시간에 반드시 깨어나지 않아도 되는 타이머들을 위한 것이다. 시스템의 각 부분에서 이러한 deferrable 타이머를 사용하게 되면 시스템 전체의 유휴시간을 늘려 워크 로드가 없는 경우의 시스템 전력소모를 줄일 수 있다.

일반적으로 리눅스에는 특별한 이유 없이 프로세서에 호출신호를 보내는 컴포넌트가 많다. 따라서 이러한 요소를 찾아 수정하지 않으면 tickless kernel은 효과를 볼 수 없을 것이다. Powertop[12]은 이러한 문제를 해결하기 위한 도구로 개발되었으며 유휴상태 시의 시스템 호출 컴포넌트를 찾아주는 역할을 한다. 커널 개발자는 이러한 모듈을 효율적으로 동작하도록 수정함으로써 리눅스의 전력소모를 줄일 수 있게 된다.

이상에서 살펴본 다양한 방법들이 그린 운영체제를 만들기 위해서 현재까지 진행되어 온 주요 연구와 기술들이다. 물론 이외에도 다양한 연구와 기술 개발이 진행되고 있다. 리눅스는 lesswatts[13] 프로젝트를 통해 리눅스에서 사용되는 전력절감 기술을 개발하고 있다.

IV. 결론

가상화와 더불어 그린 컴퓨팅을 실현하기 위한 운영체제 수준의 기술들이 현재 활발히 연구, 개발되고 있음을 앞에서 살펴보았다. Intel로 대표되는 컴퓨팅 하드웨어 벤더들은 앞다퉈 전력 절감 기술을 내재한 하드웨어를 발표하고 있다. 운영체제 입장에서는 시장에서 도태되지 않기 위해서 하드웨어가 제공하는 새로운 기술들을 도입하고 지원할 수 있어야만 새로운 패러다임에 맞추어 경쟁력을 갖출 수 있을 것이다.

가상화도 이제까지는 가상화 자체의 성능 향상에 많은 주안점을 두었지만, 이제는 에너지 절감 기술을 가상화에 적용할 시점이 되었다고 판단되며, 따

라서 관련 기술의 연구, 개발이 필요하다. 가상화를 고려하지 않고 개발된 운영체제 수준의 에너지 절감 기술을 가상화에 적용함으로써 보다 효율적인 그린 가상화를 이룰 수 있을 것이다.

IT 분야의 맹목적인 목표였던 성능은 이제 환경 보호, 에너지 절감이라는 화두와 함께 가야만 의미가 있는 시대가 도래하였다. 이러한 새로운 패러다임은 과거 글로벌 컴퓨팅 벤더들에 종속적일 수 밖에 없었던 국내 업체들에게 새로운 기회를 제공해 줄 수도 있을 것이다. 그리고 그것은 또한 특정 소프트웨어 업체에 종속적이지 않은 공개 소프트웨어를 통해서 도달할 때 더욱더 가치있는 모습이 될 것이다.

토발즈라는 개인의 관심으로 시작된 작은 운영체제가 IT 업계의 새로운 중심축으로 성장한 놀라운 사실을 보면서, 환경이라는 새로운 패러다임을 반영할 수 있는 참신한 IT 기술이 세계 IT 업계의 판도를 바꿀 수도 있다는 생각을 불가능한 과장이라고 단언할 수는 없을 것이다.

약어 정리

ACPI	Advanced Configuration and Power Interface
APM	Advanced Power Management
DPM	Distributed Power Management
DVFS	Dynamic Voltage Frequency Scaling
EPA	Environmental Protection Agency
IDC	Internet Data Center
KVM	Kernel-based Virtual Machine
PCU	Power Control Unit
TCO	Total Cost of Ownership
VMM	Virtual Machine Monitor

참고 문헌

- [1] <http://www.thegreengrid.org>
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/IBM_Project_Big_Green
- [3] <http://www.linuxfoundation.org/>

- [4] Paul Barham, Boris Dragovic, Keir Fraser, Steven Hand, Tim Harris, Alex Ho, Rolf Neugebauer, Ian Pratt, and Andrew Warfield, "Xen and the Art of Virtualization," *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, Vol.37, Issue 5, Dec. 2003, pp.164-177.
- [5] KVM white paper, http://www.qumranet.com/files/white_papers/KVM_Whitepaper.pdf
- [6] 전자신문 6월 15일자 기사, <http://www.etnews.co.kr/news/detail.html?id=200906110202>
- [7] HP, Intel, Microsoft, Phoenix, Toshiba, Advanced Configuration and Power Interface Specification, Revision 3.0a, Dec. 30, 2005., <http://aci.info/DOWNLOADS/ACPIspec30.pdf>
- [8] Intel and Core i7(Nehalem) Dynamic Power Management, <http://cs466.andersonje.com/public/pm.pdf>
- [9] Robert Graybill and Rami Melhem, "Power Aware Computing," Springer, 2002.
- [10] <http://www.lesswatts.org/projects/tickless>
- [11] <http://www.lesswatts.org/projects/tickless/deferrable.php>
- [12] <http://www.lesswatts.org/projects/powertop/>
- [13] <http://www.lesswatts.org/>