

그린 데이터센터를 위한 랙전원 솔루션

Rack Power Solutions for Green Data Centers

클라우드 컴퓨팅 특집

권원옥 (W.O. Kwon) 서버플랫폼연구팀 선임연구원
김성운 (S.W. Kim) 서버플랫폼연구팀 팀장

목 차

-
- I. 서론
 - II. 블룸서버 전력 문제점
 - III. RPSU 시스템 특징
 - IV. RPSU 시스템 성능
 - V. 결론

기존의 AC 전력전달 기반의 데이터센터를 고효율의 DC 데이터센터로 변경에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 그 중 랙 준위 DC 전원공급장치는 기존 데이터센터의 전력구조 변화 없이 랙 레벨에서 DC 전원을 서버에 공급하는 방식으로 기존 AC 데이터센터에 적용 가능한 최적의 기술이다. 본 논문은 ETRI가 개발한 데이터센터의 랙 준위 DC 전원공급장치 특징에 관한 내용을 담고 있다. 본 장치는 부하에 따라 효율을 최적으로 제어하는 지능적 제어 기법을 사용하며, 랙 준위 N+1 전력 이중화로 높은 안정성을 제공하고 있다. 또한 랙 준위 전력 및 랙 주위 온/습도정보의 실시간 웹 모니터링 기능을 제공하고 있다.

I. 서론

2000년 이후 구글과 같은 대형 데이터센터 등장으로 저가의 x86 기반의 다수의 서버가 대량으로 검색서버로 사용되고 있다. 볼륨서버 중에서도 6000달러 이하의 저가 서버가 출하량의 88%를 차지하고 있으며, 이러한 볼륨서버가 데이터센터의 68% 전기를 소모하고 있다[1]. 저가형 볼륨서버의 특징상 로컬 PSU의 효율은 낮으며, 여분전력(power redundant)을 제공하지 않고 있다. 따라서 전력손실이 크며 전력 안정성이 떨어지는 단점이 있었다.

컴퓨터 업체들은 2006년 그린그리드 같은 단체를 결성하여 데이터센터의 전력효율 향상을 위해 노력중이다[2]. 구글은 ATX 규격의 PSU를 사용하지 않으며 12V DC 서버를 사용중이다[3]. 산업계는 전력전달 손실을 줄이기 위해 고전압 DC(HVDC) 전력전달 방법을 연구중에 있다. 2006년 HVDC 데이터센터 실험의 경우 10% 전력효율 개선이 있었다. 그러나 HVDC 데이터센터는 기존의 데이터센터에 적용이 불가능하고 새로 지어지는 대형 데이터센터에만 적용 가능하며, 전력 장비와 케이블 등이 규격화되지 않은 단점이 있다.

그리하여 기존의 데이터센터 전력구조의 변화 없이 DC 전력을 사용하는 랙 마운트형 정류기 방법이 제안되었으며, Rackable System사에서 2003년부터 제품으로 생산하고 있다. 랙에 인입되는 AC 전력은 정류기를 거쳐 DC 전원으로 변환되며 이 DC는 랙에 장착된 busbar를 통하여 각 서버에 전달된다. 각 서버는 기존의 PSY 대신 단일 DC 입력을 ATX 전력으로 변환시키는 전력변환 장치가 필요하다. 이러한 정류기형 랙 전원 공급방식은 각 서버의 저효율의 로컬 PSU를 제거하고 고효율의 랙 정류기를 사용하므로 효율 향상과 이에 따른 발열 감소를 가져다 준다. 하지만 DC 서버의 표준화 미흡으로 서버호환성이 떨어지며, 랙 내부의 DC 전력전달을 위해 busbar가 설치된 특수 랙이 필요하여 랙 호환성 또한 떨어진다. 랙에 장착된 정류기의 파워모듈은 부하에 관계없이 동작하여 낮은 부하에서는 효율이 떨어지는 단점이

존재한다. 또한 전력 제어 및 전력 모니터링 등이 불가능하여 데이터센터 전력 모니터링 기능을 제공하지 못하고 있다.

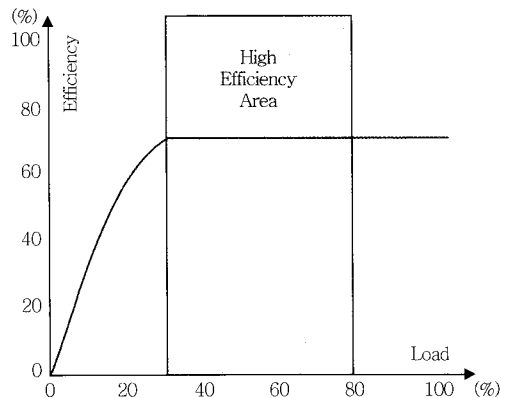
본 논문은 이러한 단점을 개선한 랙 마운트형 DC 정류기 제품인 RPSU의 특징에 대해서 기술하고 있다. RPSU는 단순한 전력공급, 전력변환기 이상의 지능적인 역할을 수행한다. RPSU 내부에는 전력센서가 내장되어 전력 부하를 실시간으로 모니터링 할 수 있다. 부하에 연동하여 최적의 효율로 시스템이 동작하여 기존 PSU에 비해서 10% 이상의 전력효율이 향상된다. 랙 준위 N+1 전력 이중화를 통하여 전력 안정성을 높였다. 또한 랙 주위 온/습도정보까지 네트워크로 모니터링 가능한 시스템을 제공하고 있다.

II. 볼륨서버 전력 문제점

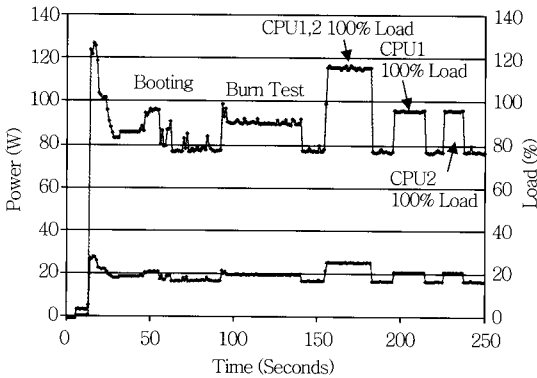
현재 시장에 사용되는 1U 볼륨서버들은 대부분 AC 단일 PSU를 사용하며, PSU 이중화를 제공하지 않고 있다. PSU의 효율은 평균 65~75%의 저효율 제품이 대부분을 차지하고 있다.

일반적으로 PSU 부하-효율곡선은 (그림 1)과 같이 30~80% 부하에서 최적의 효율을 나타낸다. 30% 이하의 부하에서는 효율이 감소하며, 80% 이상의 부하에서는 효율은 좋으나 과부하의 문제점이 있다.

(그림 2)는 Intel Xeon 기반의 1Way 서버에 대



(그림 1) 일반적인 PSU 부하-효율곡선



(그림 2) Intel Xeon 기반의 1Way 서버 소모전력 및 PSU 부하 그래프(ETRI 실측자료)

한 시간-전력, 부하 곡선을 나타내고 있다. 서버 부팅 초기 전력은 127W까지 상승하다가 부팅 종료 이후 약 78W idle 전력을 소모하고 있다. 이후 Burn Test, CPU Burn Test 등을 수행하였다. 아무리 큰 부하가 걸려도 120W 이상 전력을 소모하지 않는 모습이다. 이때 PSU의 부하는 18~25% 정도 밖에 되지 않는다. 450W PSU 용량에 비해 부하는 턱없이 작은 수준이기 때문이다. (그림 1)에서 보듯이 PSU 부하-효율 곡선에서 효율이 나쁜 영역에서 시스템이 운행되고 있다.

전력효율뿐 아니라, 전력 안전성도 크게 떨어진다. 대부분 1개의 PSU가 장착되어 전력 이중화가 제공되지 않으며, PSU 장애시 시스템이 정지된다.

또한, 전원 이중화 서버의 경우 대부분 1+1 전원 이중화 구조를 채택하여 전력효율이 50~60% 밖에 되지 않는다.

전력모니터링 면에서도 기존의 전력공급방식으로 전력 소모량 및 전력 fail의 모니터링이 거의 불가능한 실정이다. 블레이드 서버 혹은 일부 고가의 전력 모니터링 장비가 부착된 서버 외에는 이러한 전력 모니터링 기능은 제공되지 않고 있다.

현재 서버시장의 80% 이상을 차지하는 저가형 불륨서버의 3대 문제점, 즉 전력효율 문제점, 전력 안정성 문제점, 전력 모니터링 문제점을 해결할 수 있는 데이터센터 전원 시스템을 개발하는 것이 본 논문의 핵심이다.

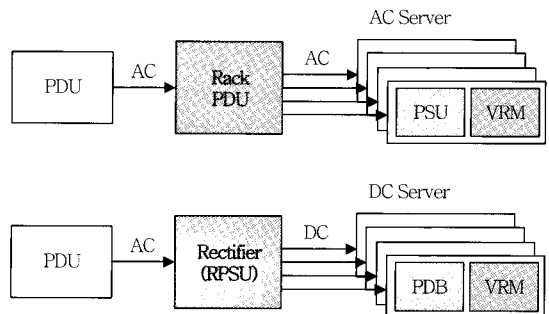
Ⅲ. RPSU 시스템 특징

1. 랙 준위 DC 공급장치 특징

(그림 3)은 데이터센터 내부의 전원공급방식을 비교한 그림이다. 일반적인 데이터센터의 전원공급 방식은 랙 PDU 장치에서 각 서버에 AC 전원이 공급되며, 각 서버는 PSU 장치에서 AC to DC 전환이 이루어진다. PSU 출력 DC 전압은 대부분 ATX 전력 규격을 만족하며, 메인보드 VRM을 통해 최종 CPU 등이 사용하는 전압을 생성한다.

반면 랙 준위 DC 전원공급장치의 경우 랙 준위의 정류기가 장착되어 AC 전력을 DC 전력으로 변환시킨다. 이후 DC 전력은 각 서버에 전달된다. 따라서 서버는 AC 서버가 아니라 DC 전원을 공급받는 DC 서버를 사용하게 된다. DC 서버 내부에는 PSU 대신 DC to DC 전환 장치인 PDB가 장착된다. PDB는 랙 정류기에서 공급되는 DC 전압을 ATX 규격 DC 전압으로 변환시키는 장치이다.

일반적으로 랙 준위 DC 공급방식은 최대 효율의 한계성을 가지고 있다. (그림 3)에서 랙 준위 시스템의 효율은 RPSU 효율과 PDB 효율의 곱으로 계산된다. PSU의 효율은 65~75% 정도이며, 고효율 제품은 80%에 이른다. 랙 준위 DC 공급방식은 80~85% 정도이다. 즉 랙 준위 DC 공급방식은 현재 일반적인 PSU 보다 약 10% 정도 효율 향상효과가 있다. 서버 전력의 10% 절감은 냉각 비용의 절감으로



(그림 3) 기존의 AC 전원공급방식(위), 랙 준위 DC 전원공급방식(아래)

이어질 수 있다. 전력절감 외 랙 준위 DC 공급장치는 다음과 같은 장점이 존재한다.

랙 준위 N+1 전원 이중화를 제공한다. 개별 PSU 장치를 사용할 경우 2개의 PSU를 사용하여 1+1 전원 이중화를 제공한다. 이때 비용 상승은 물론 효율 역시 70%대에서 50%대로 급격하게 감소하게 된다. 랙 준위 DC 공급장치의 경우 랙 준위 정류기 모듈의 개수를 늘려 N+1 전력 이중화를 제공할 수 있다. 따라서 비용 대비 안정성을 크게 늘릴 수 있는 방법을 제공한다.

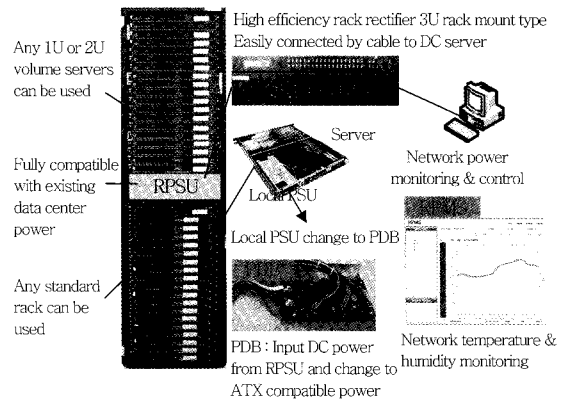
랙 준위 전력 모니터링을 제공한다. 이는 랙 준위 DC 공급장치에 전력센싱, 전력제어, 데이터전송 기능이 있어야 한다. 이를 위해서는 랙 준위 DC 공급장치는 임베디드 시스템이 내장되며 전력센싱, 전력제어를 관리하게 된다. 또한 네트워크를 통해서 여러 전력정보를 관리자에게 제공하게 된다. 전력 모니터링 외에도 데이터센터에서 중요한 정보인 온/습도, 환경정보까지도 전력정보와 유사한 방법으로 모니터링이 가능하게 된다.

2. RPSU 시스템 구성도

(그림 4)는 ETRI가 개발한 데이터센터용 랙전원 공급장치(RPSU)를 나타내고 있다. RPSU 시스템은 랙 준위 DC 공급장치로 다음과 같은 세 개의 제품으로 구성되어 있다.

- Rack Power Supply Unit(RPSU): 고효율의 랙 장착형 스마트 정류기
- Power Distribution Board(PDB): RPSU부터 공급받은 DC 전력을 각 서버에 ATX 호환 전력으로 분배하는 장치
- Rack Power Management Software(RPMS): 웹 기반 RPSU 원격 모니터링 소프트웨어

본 시스템의 가장 큰 특징은 호환성이다. 랙 준위 DC 공급방식은 기존 데이터센터의 전력구조 변화 없이 DC 전원을 서버에 공급하는 기술이다. 따라서 HVDC 같이 모든 전력장치를 DC 바꾸지 않고도 편



(그림 4) RPSU 시스템 구성도

리하게 사용할 수 있는 기술이다.

뿐만 아니라 기존의 표준 랙과 100% 호환되는 기술이다. 일반적으로 DC 전력을 사용하기 위해서는 랙에 busbar란 전력전달 장치가 내장되어 있어야 한다. Busbar를 내장하기 위해서는 특수한 랙을 사용할 수밖에 없으며, 호환성이 떨어지게 된다. 그러나 본 시스템은 DC를 케이블 방식으로 전달하기 때문에 랙 내부에 busbar가 불필요하다.

랙 뿐 아니라 기존의 서버와 100% 호환되는 기술이다. PDB란 전력변환 장치를 통하여 기존 AC 서버를 DC 전원을 사용할 수 있는 DC 서버로 전환이 가능하다.

RPSU, PDB, RPMS 시스템을 통틀어 ETRI Rack Power Solutions이라 부르며, 호환성 외 다음과 같은 장점이 있다.

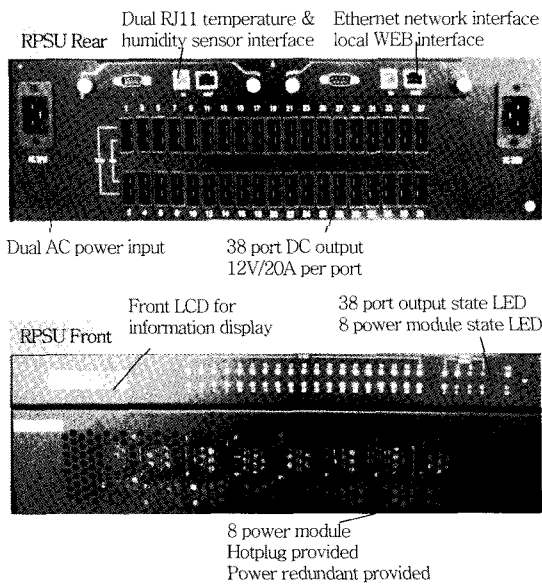
첫째, 고효율의 DC 전원을 사용하므로 기존 AC 전원공급장치를 사용할 때보다 10~20%의 전력절감 효과가 있으며 이에 따른 IDC 냉각비용 절감 효과를 볼 수 있다.

둘째, 저가형 볼륨서버에서도 power redundant를 제공하여 보다 신뢰성 있는 전원공급이 가능하다.

셋째, RPSU는 네트워크를 통하여 RPSU 관리 소프트웨어에 랙의 실시간 전력정보를 전달하며, IDC 관리자는 웹을 통하여 전체 데이터센터의 전력 소모현황 및 전력제어, 랙 주변 온/습도 정보까지 파악할 수 있다.

3. RPSU 특징

(그림 5)는 RPSU의 전, 후면 사진을 보여주고 있다. 19인치 랙 마운트형으로 제작되었으며 3U 높이를 가지고 있다. 전면에는 8개의 hotplug 가능한 파워모듈이 장착되어 있으며, 각 파워모듈은 800W 전력을 공급하고 최대 6.4kW DC 전력을 랙에 공급하고 있다. 후면에는 DC 출력 38 포트가 있으며, 포트당 DC + 12V/20A 최대 전력을 공급하고 있다. 또한 2개의 RJ11 포트를 통해서 랙 전, 후면 온/습도 정보를 센싱할 수가 있으며, RJ45 포트를 통해서 RPMS(모니터링 서버)와 통신할 수 있다. AC 이중화를 제공하고 있다.



(그림 5) RPSU 외부모양

RPSU는 다음과 같은 스마트한 전력 제어, 모니터링 기능을 제공하고 있다.

- 전력 센싱 기능

RPSU 시스템은 AC 입력전력, DC 출력전력을 실시간 센싱 가능하다. 센싱된 전력은 여러 가지 전력 보정 알고리즘에 의해서 전력 계측기와 거의 유사한 값을 출력한다.

- 전력모듈 자동제어 기능

RPSU에는 8개의 고효율 800W 파워모듈이 장착되어 있으며, 다중 파워모듈 최적제어 알고리즘에 의해 부하에 관계없이 고효율 동작이 가능하다. 다중 파워모듈 최적제어는 부하에 따라 가장 최적 수의 파워모듈만 on되며 동시에 랙 레벨 N+1 power redundant 기능을 제공하는 알고리즘이다.

- 전력모듈 자동 Failover 기능

RPSU 시스템은 예기치 못한 전력모듈의 fail에 자동으로 여분의 전력 모듈로 failover 기능을 동작한다. 이중화된 AC까지도 failover가 지원된다.

- Node 제어(Power-up Sequence)

RPSU의 DC 38 포트 출력 on/off는 제어 가능하며, 시스템 초기화시 과전류 방지를 위한 power-up sequence 기능과 네트워크를 통한 38 포트 DC 출력 on/off 제어가 가능하다.

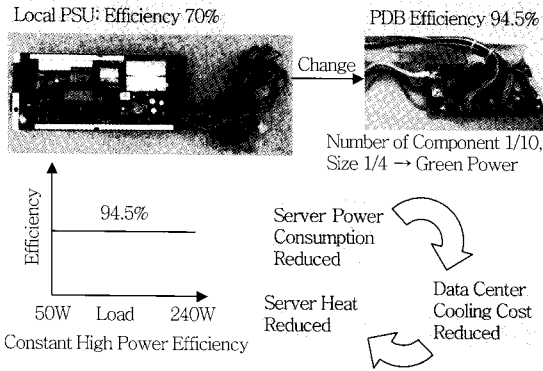
- 네트워크 전력, 환경 모니터링

네트워크를 통해 실시간 전력, 환경 모니터링이 가능하며, 파워모듈 이상, 시스템 이상이 발견되면 관리자에게 즉시 알려진다.

4. PDB 특징

전원분배보드(PDB)는 기존 서버의 구조변화 없이 로컬 PSU를 대체하므로 모든 볼륨서버를 DC 서버로 변경 가능하다. PDB는 RPSU로부터 12V DC 전원을 인가 받아 ATX 호환 전원 및 신호를 생성한다. PDB는 최대 240W까지 지원하여 대부분의 볼륨서버에 장착 가능하다. 또한 PDB의 효율은 평균 94.5%로 고효율 전력변환이 이루어져 열 손실이 거의 없는 장점이 있다.

(그림 6)은 로컬 PSU와 PDB 사진이 있다. PDB는 PSU에 비해 사이즈는 1/4, 부품 수는 1/10로 줄어든다. PDB 효율은 50W 이상의 부하에서는 94.5%를 지원하고 있다. 따라서 PSU에 비해 전력소모가 줄어들며 열 손실 또한 줄어들어 데이터센터 냉각 비용 절감 효과를 얻게 된다.



(그림 6) PDB 교체방법, 효율

RPMS 서버는 데이터센터 내부 특정 노드에 설치되며, RPSU와 RPMS는 TCP/IP 통신을 통하여 서로의 데이터를 송수신한다. 관리자는 데이터센터 내, 외부에서 웹을 통하여 RPMS 접근하여 모니터링 정보를 수집할 수 있다.

IV. RPSU 시스템 성능

1. RPSU 시스템 전력효율

RPSU 시스템은 800W급 8개의 파워모듈을 사용하여 랙 준위 N+1 power redundant를 제공하고 있다. 다중 모듈을 부하에 따라 최적으로 제어할 경우 낮은 부하에서도 높은 전력효율을 얻을 수 있는 장점이 있다.

(그림 8)은 모듈의 개수에 따른 부하-효율 곡선 그래프를 나타내고 있다. 1개의 파워모듈을 사용할 경우, 즉 여분전력모듈이 없는 경우(NRD)는 a 곡선을 그린다. 이때 여분 전력 모듈을 1개 추가하면 (1PM with RD) b 곡선과 같이 효율이 낮아진다. 특히 낮은 부하에서 효율이 크게 나빠진다. 이를 보완하기 위해 모듈의 숫자를 계속해서 늘일 경우 낮은 부하에서도 고효율을 유지할 수 있다. RPSU 시스템의 경우 7개의 파워모듈과 1개의 여분모듈로 이루어진 c 그래프의 부하-효율 그래프를 얻을 수 있다.

(그림 9)는 RPSU 시스템과 다른 시스템과 부하-효율곡선의 비교모습을 나타내고 있다. AC 서버의 경우 서버 대수(x 축)가 증가해도 효율은 거의 변화가 없이 72%를 유지한다. 일반 랙 정류기의 경우 다중모듈 제어 기법을 사용하지 않기 때문에 서버 대수가 11대를 넘어야만 AC 서버보다 효율이 좋아진다. 그러나 RPSU 시스템은 3대 이상의 서버만 동작해도 AC 서버보다 효율이 좋으며, 5대 이상의 부하에서는 80% 이상의 고효율을 보이고 최고 83% 전력 효율을 제공한다.

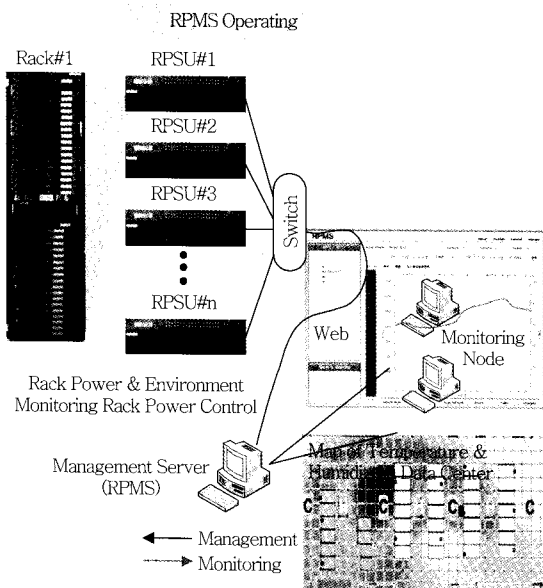
(그림 10)은 38대의 AC 서버와 RPSU를 사용한 38대의 DC 서버 전력 사용량 실측치를 나타내고 있다.

5. RPMS 특징

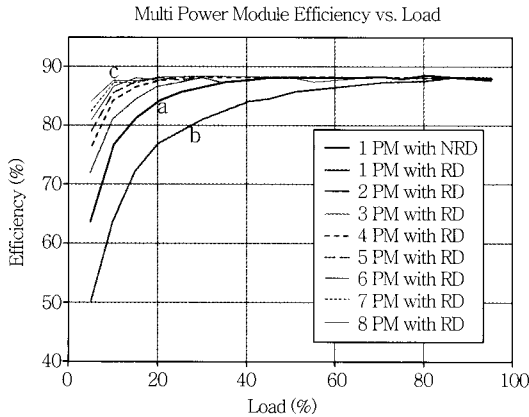
랙 전력관리 소프트웨어(RPMS)는 다수의 RPSU 전력을 네트워크로 모니터링, 분석, 제어하는 웹 기반 소프트웨어이다.

RPMS를 통해 다수의 RPSU 전력소모량을 모니터링 분석할 수 있으며, 랙 주변의 온/습도 정보와 랙의 물리적 위치 정보와 함께 표시가 가능하다. RPMS를 통해 데이터센터의 전력관리 및 온/습도 관리가 보다 효율적으로 이루어져 전력절감은 물론 전력정책의 효율성이 높아지게 된다.

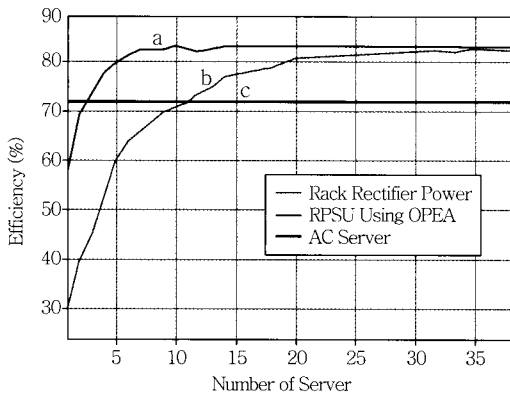
(그림 7)은 RPMS의 동작흐름을 나타내고 있다.



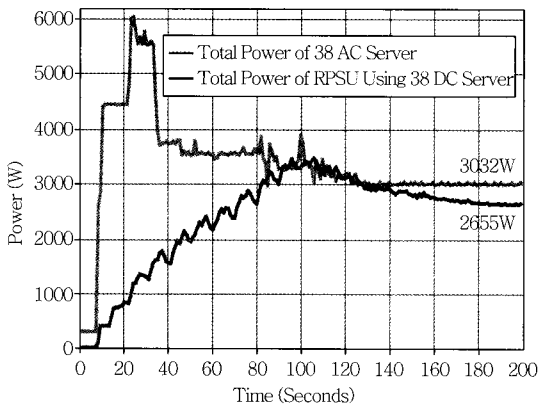
(그림 7) RPMS 동작도



(그림 8) 모듈 개수에 따른 부하-효율 곡선



(그림 9) RPSU 시스템(a), 랙정류기(b), AC 서버(c)의 부하(서버대수)-효율 곡선



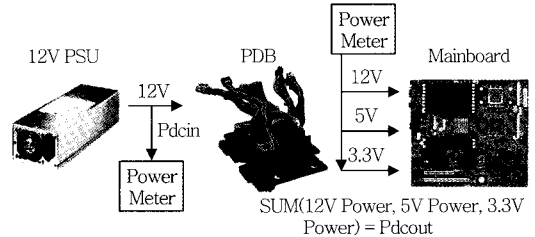
(그림 10) 38대 AC 서버 전력사용량 VS. RPSU와 38대의 DC 서버 전력사용량

38대의 AC 서버의 경우 부팅이 이루어지면 최대 6kW 피크 전력이 소비되며 모든 서버가 idle 상태

에 돌입하면 약 3kW의 전력을 소비한다. 반면에 RPSU 시스템을 사용할 경우에는 초기 power-up sequence가 동작하여 서서히 전력이 증가하며 피크 전력은 3.4kW에 불과하다. Idle 상태에서는 2.65kW를 소비하여 기존대비 12% 이상의 전력 효율 향상이 있음을 확인할 수 있다.

2. PDB 전력효율

PDB 효율을 실험하기 위해 Intel Xeon 기반의 1Way 서버에 (그림 11)과 같이 실험 지그를 장착한다. PDB 인입단과 출력단에 전력미터를 각각 부착하여 전력소모를 구한다. PDB의 효율은 인입전력(Pdcin)을 출력전력(Pdcout)으로 나누어 계산할 수 있다. 실험결과는 <표 1>과 같으며, Pdcin은 65.84W를, Pdcout은 62.20W를 소모한다. 따라서 PDB 효율은 약 94.5%의 효율을 나타낸다.

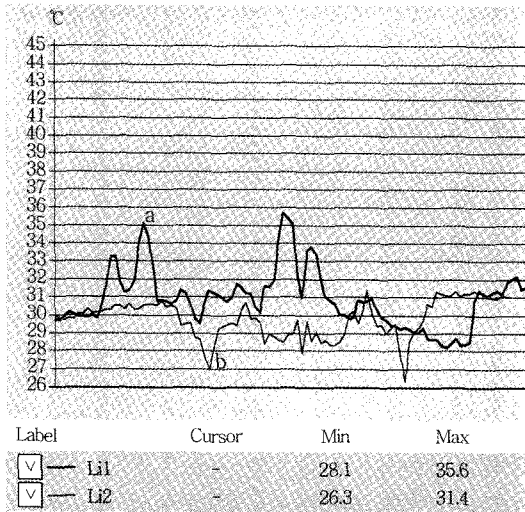
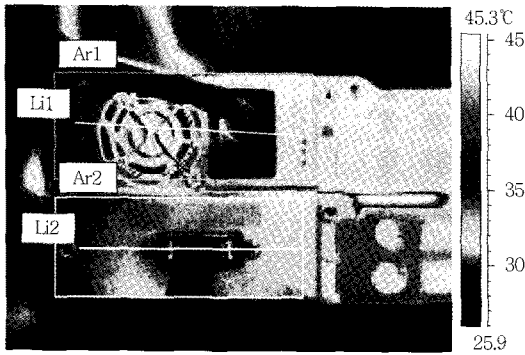


(그림 11) PDB 효율실험

<표 1> PDB 효율 실험결과

Pdcin	65.84W
12V, 5V, 3.3V	23.38W, 17.62W, 21.20W
Pdcout	62.20W
PDB 효율	94.47%

PDB는 PSU 비해 높은 전력효율을 가지고 있다. 따라서 발열 테스트를 통해서 확인 가능하다. (그림 12)는 일반 PSU를 사용하는 서버와 PDB를 사용하는 서버의 후면 열화상 사진을 나타내고 있다. 보다 정확한 열온도를 측정하기 위해서 AC PSU의 열단면을 Li1, PDB 열단면을 Li2로 나누어서 그 값을 추적하였다. Li1(a)의 경우 Li2(b) 보다 전반적으로 온도가 높고 최고 온도는 4도 정도 높으며, 최저온



(그림 12) 열화상 촬영결과: PSU 서버, PDB 장착서버

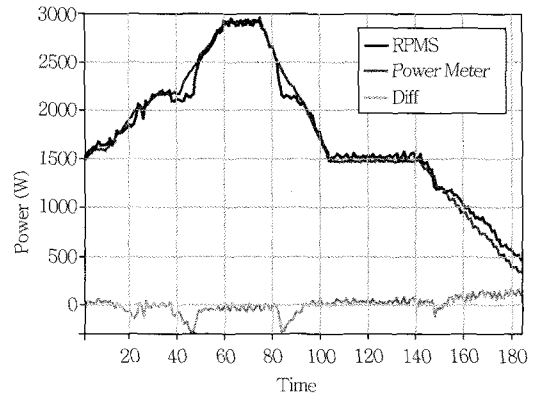
도는 2도 정도 높게 나타났다.

PSU의 전력변환 손실이 대부분 열로 전환되기 때문에 PDB에 비해 발열이 더 큰 것은 당연한 결과이다.

3. RPSU 전력센싱 정확도

(그림 13)은 RPSM 전력측정값과 전자계측기 측정값의 오차를 보여주고 있다. 1kW 이상 부하에서는 대부분 수십 W 오차 범위에서 RPSM 전력센싱이 이루어지고 있다. 단 시간이 40, 80 부근에서 전력이 급격하게 변할 경우 오차가 100~200W 정도 발생하나 센싱 오류 때문은 아니다.

1kW 이하 부하의 경우 오차가 점점 커지는 모습을 볼 수 있으며 이는 RPSU 시스템의 power fac-



(그림 13) RPSM 전력측정값과 전자계측기 측정값의 오차

tor와 관련성이 있다. 1kW 이상의 부하에서는 PF 값이 거의 1에 가까우나 1kW 이하 부하에서는 PF 값이 점차 낮아진다.

따라서 RPSU 시스템 펌웨어에서는 PF 값에 대한 계측 오류를 보상해주는 시스템이 마련되어 저부하에서도 보다 정확한 측정값을 보장해 준다.

V. 결론

ETRI가 개발한 랙 준위 DC 전원공급기는 기존의 데이터센터 전력장치의 변환 없이 랙 준위에서 DC 전원을 공급하는 장치이다. 또한 기존의 랙과 기존의 서버와 100% 호환되는 특징이 있다.

RPSU 시스템은 볼륨서버의 가장 큰 문제점이 낮은 전력효율, 전력 이중화 부재, 전력 모니터링 불가능의 문제점들을 해결한 제품으로 저전력 데이터센터의 전원공급장치로 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

● 용어해설 ●

Power Redundant: 서버 PSU 경우 PSU가 장애가 발생할 경우를 대비해서 여분의 PSU를 둘 경우가 있다. 이를 Power Redundant라 부르며, 1개의 PSU에 1개의 Power Redundant PSU 구조의 경우 1+1 Power Redundant 구조라고 부른다. 만약 N개의 PSU가 동작하고 1개의 Power Redundant PSU가 있으면 N+1 Power Redundant 구조라 부른다.

약어 정리

HVDC	High Voltage DC
PDB	Power Distribution Board
PDU	Power Distribution Unit
PSU	Power Supply Unit
RPMS	Rack Power Management Software
RPSU	Rack Power Supply Unit

참고 문헌

- [1] Worldwide and Regional Server 2007-2011 Forecast Update: Sep. 2007, IDC.
- [2] Green grid metrics: Describing datacenter power efficiency, Green Grid Technical committee white paper, Feb. 20, 2007.
- [3] High-efficiency power supplies for home computers and servers, Urs Hoelzle and Bill Weihl - Google Inc., Sep. 2006.