

데이터 센터를 위한 고효율 AC 대 DC 배전의 계량적 비교

Neil Rasmussen 글

James Spitaels

백서 #127



Access to interactive
APC TradeOff Tool™



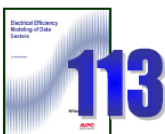
개요

본 논문은 배전 효율성이 냉각 전력 요구량과 총 전력 소비량에 미치는 효과를 분석하고 AC와 DC 배전 방식의 효율이 최대일 때 두 배전 방식의 계량적 효율을 세부적으로 비교하고 있다. 최신 고효율 AC와 DC 배전 구조는 실질적으로 서로 동일한 효율을 지닌 것으로 보이므로 DC 배전 구조로의 전환이 보다 나은 효율을 보장하지는 않는다.

본 논문은 다음 APC 백서의 내용에 근거하고 있다.



데이터 센터
AC vs. DC 배전



데이터 센터를 위한
전력 효율 모델링

머리말

데이터 센터의 효율 향상에 대한 탐구는 데이터 센터의 전력 및 냉각 기술 혁신의 분위기를 고취시켜왔다. 에너지 효율성과 관련하여 데이터 센터의 전력 구조를 기존의 AC 방식에서 DC 방식으로 전환해야 한다는 것은 광범위하게 논의되어 온 제안 중의 하나이다. 대중지와 전문지를 보면 DC 배전의 장점을 뒷받침하는 상당수의 논문들이 있으며, Intel, APC, Sun Microsystems 와 같은 회사들은 기술 시범 프로젝트들에 참여해왔다.

현실적으로 데이터 센터에서 사용될 수 있는 배전 방식은 AC 배전 방식 두 종류와 DC 배전 방식 세 종류로 기본적으로 총 다섯 종류이다. 이 다섯 가지 방식에 대한 설명과 분석은 관련 백서 제63권(에 수록된) '데이터 센터를 위한 AC vs. DC 배전'에서 볼 수 있다. 이 출간 문헌에 수록된 논문에서 일반적으로 지지되는 주요 연구결과는 다섯 가지 배전 방식들 중 두 가지, 즉 AC 방식 하나와 DC 방식에서 최대 전력 효율성을 보인다는 것이다. 데이터 센터에서 전력기술에 큰 변화는 없겠지만, 이 두 가지 방식 중의 하나가 향후 데이터 센터의 배전 관련 업무를 위해 선택될 가능성이 매우 높다. 이 논문에 기술된 AC 배전 장치의 성능 효율 값은 오늘날 구입할 수 있는 실제 장비에 비추어보면 즉시 구현 가능한 수치이다.

오늘날 사용 가능한 상업적 DC 배전 장치가 없기 때문에 DC 배전 장치의 효율값은 가장 최근의 샘플 데이터, 예상값, 계산을 토대로 한다. 이 논문에 사용된 모든 효율값에 대한 인용문과 참고자료는 연구결과를 독립적인 실험하여 검증하도록 제시된다.

배전 효율의 변화는 데이터 센터의 전체 전력 소비에 영향을 미치지만, 그 영향은 두 가지 요소로 인해 수학적인 복잡성을 갖는다.

1. 배전 효율의 변화는 난방 부하에 영향을 주어 결과적으로 냉난방 전력소비량에 영향을 미친다.
2. 연구에 따르면 데이터 센터의 상당량의 전력부하는 전력배선장치를 통해 전력을 공급받지 않는다.

이 논문은 이러한 효과를 상세하게 설명하고, 어떻게 하여 전력 배선 효율성의 개선이 계량적 측면에서 총 전력소비량의 감소를 야기하는지를 보여준다.

배경

오늘날 데이터 센터의 시설은 열악한 설계와 구식 배전 기술로 인해 매우 비효율적으로 운영되고 있다. APC 는 냉각 장치를 제외한 데이터 센터의 운영에 있어 전력 장치의 효율성이 30 % 이하까지 감소하는 것을 확인했다. 이것은 비효율적 운영이 불가피하다는 이유로 전력에너지가 엄청나게 낭비되고 있다는 것을 잘 보여준다. 주로 다음 요인들로 인해 비효율성이 발생하는 것으로 확인된다.

- 비효율적 IT 장비의 파워 서플라이
- 비효율적 변압기 기반의 배전장치(PDU)
- 비효율적 UPS 시스템
- 위의 모든 손실을 배가하는 장치 설계 등급에 훨씬 못 미치는 부하에서의 운영

지난 3년 동안 IT 장비의 전원공급장치와 UPS 장치의 효율성은 크게 개선되었다. 이것은 오늘날 설치된 AC 배전장치가 5년 전에 설치된 것보다 대체로 훨씬 더 효율적임을 의미한다. 또한 확장 모듈형 UPS 장치는 부하에 적절한 UPS의 용량을 설정하고 간편하게 용량을 조절할 수 있게 해주어 예전에 전체 시스템을 적절히 활용하지 못해서 발생했던 비효율성을 개선하여 효율성을 높여준다. 변압기 기반의 PDU는 북미의 많은 시설에서 여전히 상당한 자원 손실을 보이지만 북미 이외의 지역에서는 그렇지 않다. 본 문서에서 분석한 AC 배전 방식은 유럽의 표준인 400/230 V 배전을 토대로 하고 있다. 미국 데이터 센터의 415/240 V AC 배전 사용에 대한 자세한 내용은 APC 백서 #128, [개선된 고밀도 배전의 사용을 통한 데이터 센터 효율성 개선 참고](#)

DC 배전 방식은 다음 세 가지 전제에 근거하여 더 높은 효율성을 달성하기 위한 하나의 방안으로 제안되어왔다.

1. AC UPS 장치보다 고효율인 DC UPS 장치를 설치하는 게 가능할 수 있다.
2. 배전장치(PDU)에서 변압기를 제거함으로써 전력손실을 감소시킬 수 있다.
3. AC 입력 설계의 효율을 향상 시킬 뿐만 아니라, IT 장비 파워 서플라이 자체의 효율도 증가시킬 수 있다.

본 논문은 이러한 모든 개념들을 검토하고 계량화함으로써 다음 사항을 밝힐 것이다.

- 최신 AC UPS 장치는 이전 AC UPS 장치와 비교하여 에너지 손실에 있어 5분의 1밖에 되지 않으며, 효율성이 보다 높은 DC UPS 장치의 개발 가능성은 희박하다.
- PDU의 변압기는 비효율성에 크게 기여하지만 북미 이외의 지역에서는 사용되지 않으며 새로운 고효율 AC 배전 구조에는 사용되지 않는다.
- IT 장비의 파워 서플라이에 DC 전원을 인가함으로써 효율이 향상된다고 하는 것은 처음 추정 했을 때 보다 실제 적용 시 더 낮은 것으로 증명되고 있다.

출간된 많은 논문들이 AC 방식에서 DC 방식으로 전환한다면 효율이 10%에서 30%까지 향상될 것이라고 주장 하고 있다. 그러나 새로운 서버 기술 성능을 10년 전에 개발된 서버의 성능과 비교하지 않는 것처럼, 이론적인 DC 배전 효율성을 구형 AC 배전 장치의 효율성과 비교하는 것은 부적절하다. 과거와 미래의 대안들을 서로 비교하는 것보다 현재와 미래의 대안들을 서로 비교하는 게 중요하다.

본 논문의 자료는 오늘날 최적의 AC 배전 장치를 통해 얻을 수 있는 효율성이 이론적인 미래의 DC 배전 장치를 통해 얻는 것과 본질적으로 같다는 것과 대중지에 인용된 대부분의 효율성은 잘못된 것이며, 부정확하다는 것을 증명하고 있다. 실질적으로 이 주제에 관한 기타 기사들과 논문들과는 달리, 본 논문은 모든 계량적 데이터와 관련된 인용문과 참고자료를 명시하고 있다.

두 가지 고효율 배전 방식

서문에서는 두 가지 선택적 배전 장치들이 미래의 고효율 데이터 센터를 건설하기 위한 대안으로 제시되었다. 한 가지는 북미와 일본 이외의 지역의 실질적인 모든 데이터 센터에 현재 사용되고 있는 400/230 V AC 배전 장치를 토대로 한다. 다른 한 가지는 DC 전원을 수용하기 위해 조정된 IT 장치에 전력을 제공하는 개념적 380 V DC 배전 장치를 기본으로 한다. 이 장치들은 **그림 1**과 **그림 2**에서 볼 수 있다.

그림 1- 북미 이외의 지역에서 일반적으로 사용되고 있는 고효율 AC 배전

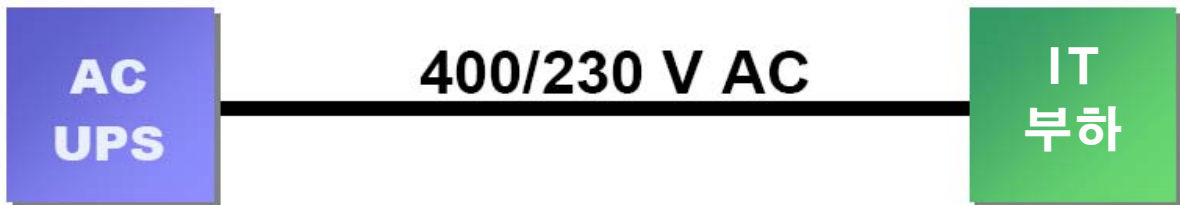


그림 1은 첫 번째 대안을 보여준다. 이것은 북미와 일본 이외의 지역에서 사용되는 일반적인 AC 배전 장치이다. 오늘날 북미의 표준 배전 장치에는 UPS 전압으로 480 V AC 가 사용되며, 그림에서처럼 480 V 에서 280/120 V AC 배전 방식으로 전환하기 위한 PDU 변압기와 같은 추가 블록이 있을 수 있다는 것에 유의해야 한다. 이 그림에서 UPS 출력 전압을 230 V 에서 IT 부하에 공급하기 때문에 전압을 낮출 필요가 없고 이로 인해서 PDU 변압기와 같은 손실은 제거된다.

그림 2 – 이론적인 고효율 DC 배전

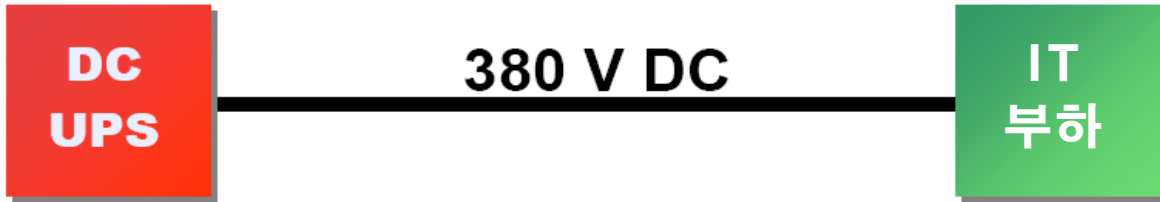


그림 2는 두 번째 대안을 보여준다. 이것은 380 V DC 를 공급하게 되는 하나의 이론적인 방식이다. 380 V DC 전압으로 작동되도록 고안된 IT 장비가 이러한 방식이 가능하게 하기 위해 사용될 필요가 있다. 백서에서 300, 380, 400, 575 V 와 같은 다양한 다른 DC 공급 전압을 사용하는 이 장치가 제시되어왔다. 그러나 백서에서 제안된 공통된 의견은 약 380 V 를 선호 표준으로 밝히고 있으며, 본 논문에서의 분석은 이 380 V DC 배선 장치를 토대로 한다. 380 V DC 와 400 V DC 는 본질적으로 같은 장치를 의미하는 두 개의 다른 이름임을 유의해야 한다.

분석 사전 검토

이어지는 섹션에서 모델의 일반 구조와 이 모델을 지지하기 위해 계량화될 데이터에 대한 지식이 있으면 도움이 된다.

세 가지 전력 경로 세그먼트

그림 3은 고효율 배전 방식을 사용할 때 일반 데이터 센터의 기본적인 전력 경로를 보여준다. 주제가 되고 있는 두 가지 배전 방식에는 필요하지 않은 PDU는 사용되지 않았다는 점에 유의해야 한다. 전력 경로는 3개 세그먼트로 구분된다.

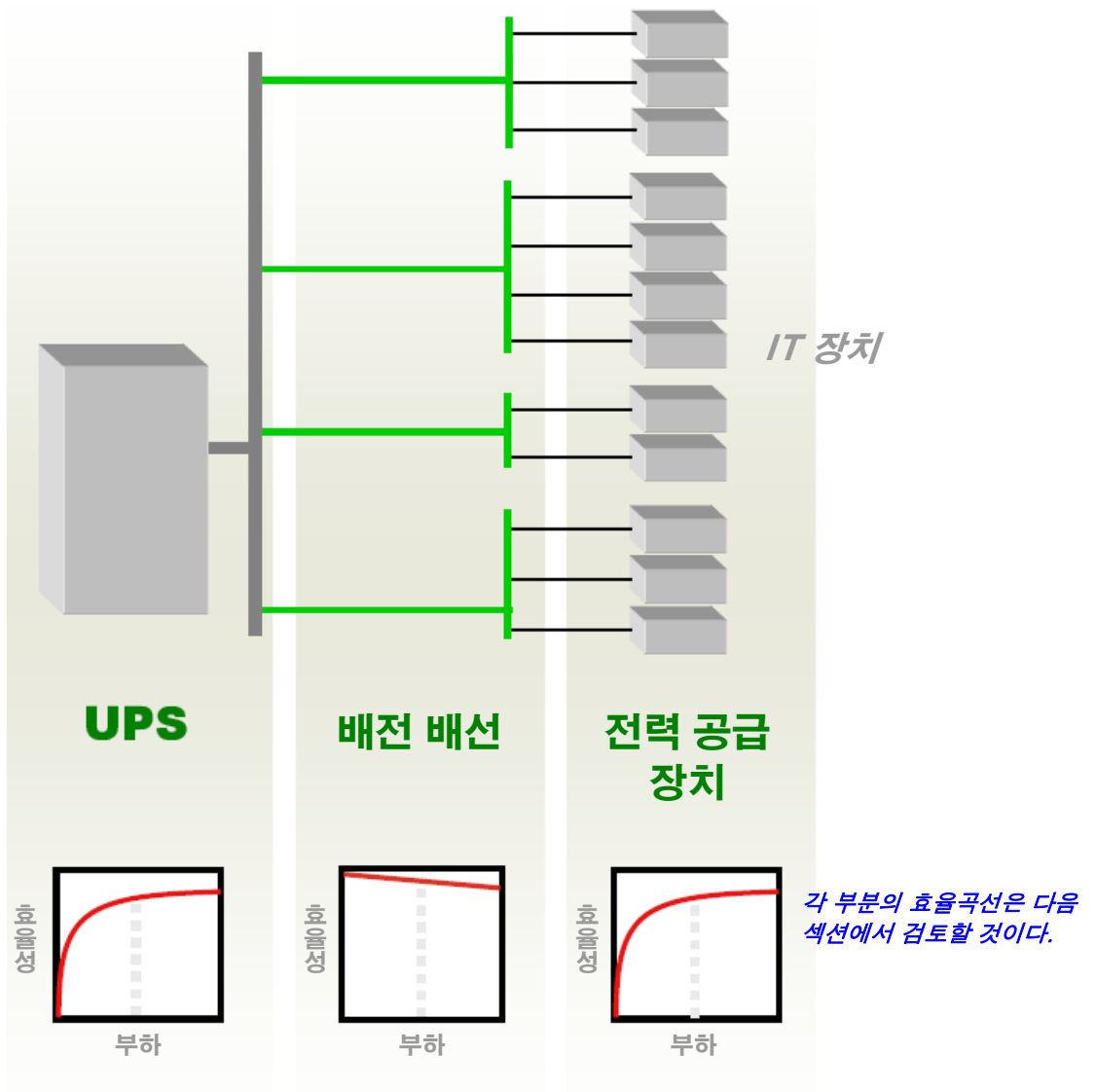
- UPS
- 배전 배선
- IT 장치의 전력 공급기 (PSU)

모델 관련 효율성 데이터

본 논문의 다음 섹션에서는 이 세 가지 전력 경로의 각 부분을 위한 효율성 데이터를 검토하고 계량할 것이다. 아래의 그림 3에 있는 각각의 부하의 효율 그래프의 결과에 의한 함수로써 효율 데이터를 측정하는 것을 목적으로 한다. 이 효율 데이터의 함수는 기존 전력 배열(환경)과 이론적인 전력 배열의 효율성을 비교하기 위해 사용될 수 있다.

이 모델의 기준 케이스는 50 % 부하에서의 효율값을 사용할 것이기 때문에 50 %의 부하점이 효율 곡선에 표시된다.

그림 3 – 데이터 센터 전력 경로: 세 가지 부분, 세 가지 효율 곡선



부하율 50% 일 때

데이터는 배전 시스템내에서의 장치들의 효율이 고정되어 있지 않고 부하에 따라 변화한다는 것을 분명하게 보여주고 있으며 이는 하나의 효율 값으로 나타내기 보다는 효율 곡선으로 보여지는 것이 정확하다는 것을 알 수 있다. 따라서 배전 시스템 내에서의 효율에 대한 어떠한 계산도 전력 경로의 각 부분에 작용하는 실제 작동 부하를 고려하지 않는다면 불완전하다.

배전 효율성이라는 주제에 대한 대부분의 이전 연구들은 굉장히 중요한 부분인 부하의 변화가 효율의 변화에 미치는 효과에 관련된 정보를 제공하지 않고 있다. 본 논문에서 일반적인 시설을 대표할 수 있는 하나의 부하 기준선을 선택하여 어떻게 효율성이 부하에 따라 변화하는지를 설명할 것이다. 기준 작동 부하를 정하면 AC 와 DC를 비교하는 평가기준이 제시됨으로써 초기의 논의가 단순화되지만, 효율값이 부하에 따라 변화하는 하나의 곡선임을 보여주는 실제 모델에 제약을 두지는 않는다.

실제 시설에서 운전 부하(용량의 일부)는 전력 경로의 세 가지 각 부분에서 다를 것이며, 상호작용 모델에서는 역동적으로 변화할 수도 있을 것이다. (그림 9 참조)

다음 AC 와 DC 배전 방식의 설명 및 비교에서는 부하율 기준을 50 %로 설정할 것이다. 이것은 데이터 센터의 세 가지 모든 부분에서 작용하는 한계범위 내이다. (위의 그림 3) 여기서는 어떻게 50 %의 부하가 데이터 센터의 각 세 부분에 영향을 미치는지를 살펴볼 것이다.

- **UPS**

이중이 아닌(Non-redundant (1N)) 시스템에서 50 %는 일반적인 부하 작용점이다. 이중(Redundant (2N)) 시스템에서 50 %는 최대 부하 작용점을 나타낸다. (즉, 최대 부하를 2UPS에서 분담)

- **배전 배선**

UPS 부하에서와 비슷하게, 50 %는 이중이 아닌(1N) 배선에서는 현실적인 작동 부하이다. 이중화 전원 공급 (2N) 시스템에서는 50%의 부하율이 최고 높은 부하율이다. (실제 미국 전기 규약에서는 부하율을 80%로 제한하고 있으며, 이는 이중 전원 입력일 경우 부하율이 40%로 제한됨을 의미한다.) 여하튼, 배선에서의 운전부하는 전체적인 운전 시스템에서 차지하는 비율이 매우 낮음에 주의를 기울여야 한다. 왜냐하면 배선 효율은 99~100% 사이의 매우 높은 효율을 가지고 있기 때문이다.

- **IT 전력 공급**

IT 장비는 하나 혹은 두 개의 내장 전력 공급 장치를 가지고 있다. 하나의 전원 공급기를 가지고 있는 IT 장치에서의 50% 운전 부하율은 전체 범위에서 중간지점이다. (일반적으로 이상적인 부하율, 서버 가동 시간의 많은 부분이 이 지점내에서 소모) 그리고 이중 전원 공급기를 가지고 있는 서버에서의 전원 공급기의 최대 운전 부하율은 50%이다. (풀 부하 시 2개의 전원 공급기가 나누어 전원을 공급)

이 세 부분에 대한 실제 효율 곡선으로 인해 차후에 드러나듯이 50% 부하 근방에서는 작용부하 효율성의 차이는 그렇게 크지 않기 때문에 이 지점의 정확한 위치는 그렇게 중요하지 않다.

UPS 효율성

AC 배전 구조에는 우선 AC 배전 버스를 생성하는 UPS가 있으며, DC 구조에서는 때로는 DC 장치 혹은 정류기로 불리는 DC UPS가 DC 배전 버스를 생성한다.

AC UPS의 경우, 성능을 검증 받은 제품들이 - 효율성 관련 설명서를 포함하고 있든 혹은 그 제품들의 성능이 측정 가능하든 간에 - 현재 시장에 출시되어 있다. 불행하게도 APC는 출간된 많은 설명서들이 부정확하고 실제 성능을 잘 나타내고 있지 않다는 것을 알게 되었다. 우리는 이 분석의 목적을 위해 독립된 실험실에서 측정되어 검증된 효율성 평가를 받은 UPS만을 사용하여 얻은 효율성 데이터를 사용할 것이다.

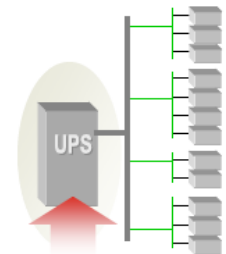
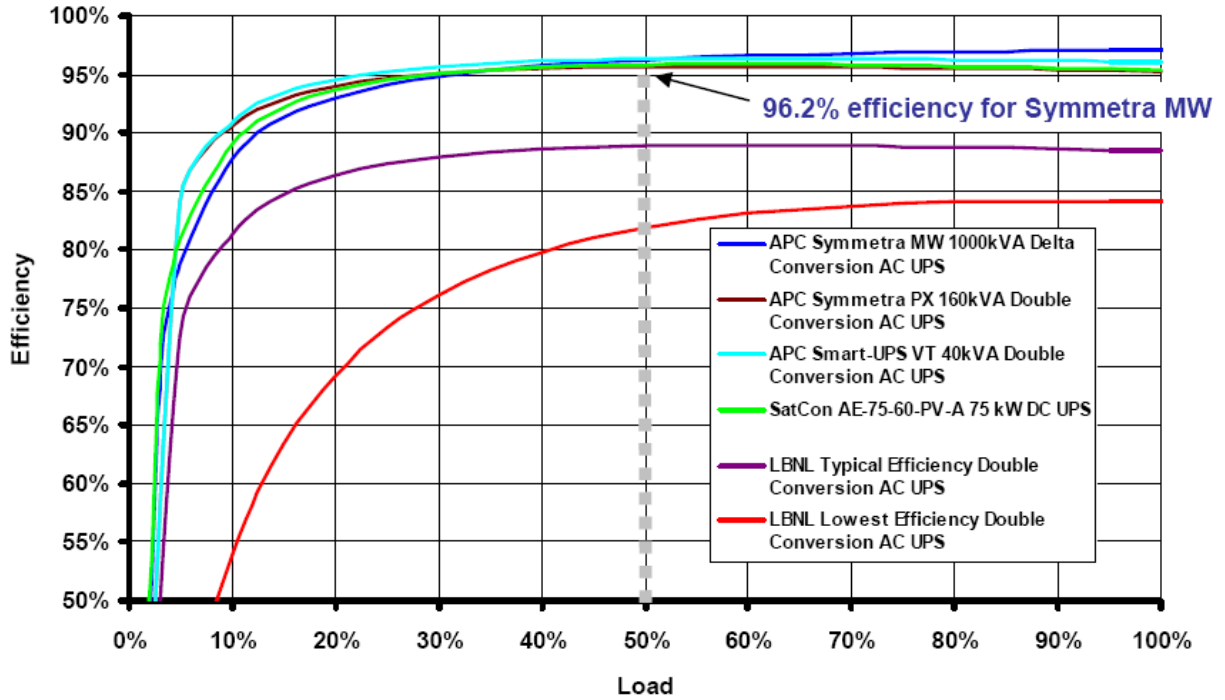


그림 4는 시중에서 구입할 수 있는 다양한 AC 와 DC UPS 시스템의 효율성을 보여준다.

그림 4 - 여러 상업적 AC 와 DC UPS 시스템의 효율성

AC 와 DC UPS 효율성 비교



편의를 위해, 위의 그래프를 도표 1로 요약하였다.

도표 1 - 그림 4의 UPS 효율성 데이터 요약

| UPS | Load | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|
| | 25% | 50% | 75% | 100% |
| APC Symmetra MW (Delta conversion AC) | 94.1% | 96.2% | 96.9% | 97.0% |
| APC Symmetra PX (Double conversion AC) | 94.7% | 95.7% | 95.6% | 95.3% |
| APC Smart-UPS VT (Double conversion AC) | 95.3% | 96.3% | 96.3% | 96.0% |
| SatCon AE-75-60-PV-A (DC) | 94.5% | 95.8% | 95.6% | 95.4% |
| LBNL Typical Efficiency (Double conversion AC) | 87.3% | 88.8% | 88.8% | 88.4% |
| LBNL Lowest Efficiency (Double conversion AC) | 73.3% | 81.9% | 84.0% | 84.1% |

효율 모델을 위한 AC UPS 효율값

1,000kVA APC Symmetra MW Delta Conversion UPS는 50% 부하에서 96.2%의 정격 효율성을 가지며, 160kVA Symmetra PX Double Conversion UPS는 50% 부하에서 95.7%의 정격 효율성을 가지며, 40kVA APC Smart UPS VT Double Conversion UPS는 50% 부하에서 96.3%의 정격 효율성을 지닌다. 모두 TÜV 실험실에서 검증되었다.¹ 이들 등급은 경제적 혹은 바이패스 모드에서가 아니라 온라인 출력 변압기에 의해 재생되고 컨디셔닝된 출력으로 완전히 입출력 분리 상태에서 얻은 것이다. 이 분석은 50% 부하에서 96.2%의 AC 효율성으로 Symmetra MW를 사용하여 행할 것이다.

75kW SatCon 변압기는 캘리포니아 에너지국에 의해 입증된 것으로 95.8%의 정격 효율성을 보인다.² (이것을 포함한 많은 인버터들은 정류기와 같은 동작을 할 수 있으며 작동 중에는 동일한 효율을 가지기 때문에 이것은 또한 DC UPS 로도 간주될 수 있다.)

나머지 두 곡선은 2005 LBLN 연구에서 측정된 것으로 전통적인 Double Conversion 방식 UPS의 효율을 보여준다.³

효율 모델을 위한 DC UPS 효율값

DC UPS의 경우 배터리 백업 기능이 있는 380 V DC 배전 시스템의 요구를 충족시키는 어떠한 상업적 제품도 찾아볼 수 없다. 완벽하게 해결되지 않는 하나의 중요한 기술적 문제는 380V 로 조정된 배선에 단자 전압이 변화하는 배터리를 어떻게 연결하느냐는 것이다. 그러나 Intel은 수 많은 DC 전력공급자와 함께 연구하여 97%라는 예상 효율값을 제시하며 설계 제안을 발간하였다.⁴ Netpower Labs는 350 V DC UPS를 개발하여 이의 효율값을 96%로 발표했다.⁵ LBNL은 원형 DC UPS를 개발하여 이의 효율값을 94%로 발표했다.⁶ 이 세 가지 보고된 효율성, 즉 94%, 96%, 97% 중에서 우리는 분석을 위해 중간값을 선택할 것이다. 자료가 부하 백분율을 구체적으로 나타내고 있지 않기 때문에 Netpower Labs의 DC UPS가 보이는 96% 효율성은 가장 좋은 사례에서 계산된 값일 가능성이 있다는 것에 유의해야 한다. 50% 부하에서는 효율이 96%보다 낮을 가능성이 크다.

| 분석 결과 | 모델을 위한 기준값 | |
|-------|--------------|-------|
| | 50% 부하에서의 효율 | |
| | AC UPS | 96.2% |
| | DC UPS | 96.0% |

배전 배선 효율성

AC 혹은 DC UPS와 IT 부하 간의 배선은 전력손실을 가져온다. 이 손실은 작용 전류, 배선 규모, 배선 길이에 따라 달라진다. 한 데이터 센터는 수백, 심지어는 수천 개의 다른 배선을 사용하기 때문에 각 배선에서 발생하는 전력손실은 전체 전력손실을 계산하는 데 추가되어야 한다.

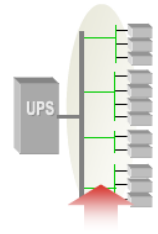
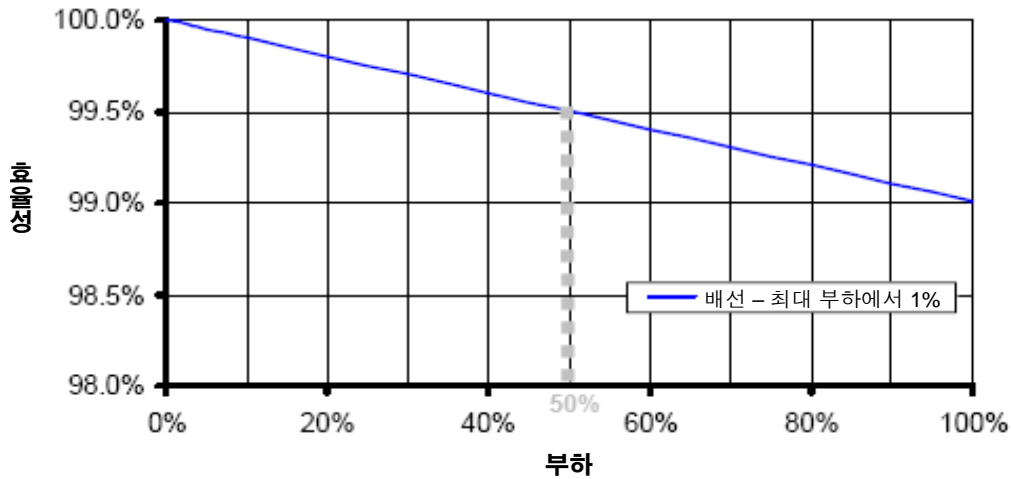


그림 5 - 배전 배선을 위한 효율 곡선

배전 배선 효율



일반적인 시설에 대한 배선 전력 손실을 측정하는 것은 가능하다. 배선 크기는 회로용량평가에 의해 영향을 받으며 평균 배선 길이는 대체적으로 잘 알려져 있다. 배선 전력손실에 대한 일반 설계값은 최대 부하인 상태에서 1%의 부하전력이다. 배선에 있어 전력손실은 부하의 제공에 비례하여 변한다. 부하값이 반으로 줄 때마다, 배선 전력손실은 4분의 1쯤 줄어든다. 50% 부하 데이터 센터에서는 배선 효율이 99.5%가 된다. 이러한 이유 때문에 배선 전력손실은 대부분의 데이터 센터에서 무시된다.

배선 전력손실이 DC와 AC 시설에서는 서로 동일하다는 것을 유의해야 한다. 구리의 사용량에 미세한 차이가 있을 수는 있지만, 효율성은 동일하다. 배선 전력손실은 AC와 DC 시스템의 효율성에 있어 어떠한 차이도 초래하지 않는다.

분석 결과

모델을 위한 기본값

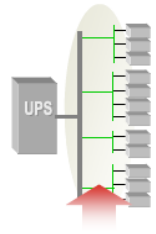
50%의 부하에서 효율성

AC 배전 배선 99.5%

DC 배전 배선 99.5%

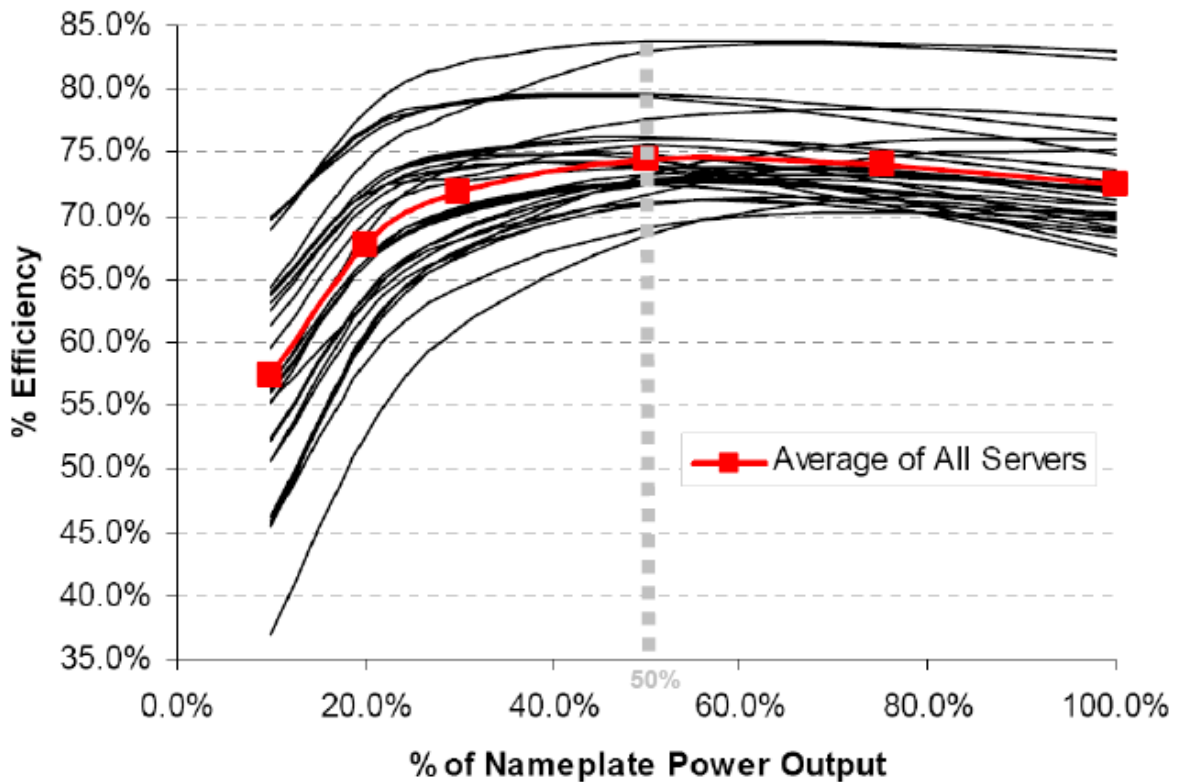
IT 장치의 파워서플라이 효율성

현대의 IT 장치는 하나 또는 그 이상의 내부 파워 서플라이가 있으며 이 파워 서플라이는 AC 전원을 12V dc 전원으로 변환하는 역할을 하며, 변환되어진 전원은 IT 장비 내부에 있는 Card 및 전자 장치에 전원을 공급하게 된다.* 이러한 PSU(파워서플라이)는 전체적인 배전 시스템의 효율을 향상시키기 위한 방안으로 생각되어진다.



과거의 서버에서는 PSU의 효율성이 50% 부하에서 약 75%였다. (그림 6 참조) 하지만 가장 최근의 설계는 넓은 운전 부하의 범위에 걸쳐 Sun Microsystem (그림 7)과 Hewlett-Packard (그림 8)가 발표한 전력 공급 효율 데이터에 따르면 현재 일정하게 90% 이상의 효율성을 보이고 있다.

그림 6 - 로렌스 버클리 국립연구소(Lawrence Berkeley National Laboratory)의 과거 서버 PSU의 효율성⁷



* IT 장치내의 배전 시스템에서는 각각의 모드에 전원을 공급하기 위하여 파워서플라이의 12V DC 출력을 개별 보드의 전원 카드나 하위의 전원장치들에 공급하여 보드들이 사용하는 1.1V, 3.3V, 5V 와 같은 전원을 보드에 공급하게 된다.

그림 7 – Sun Microsystems 서버에 장착되어 있는 파워 서플라이의 입력 부하에 따른 효율 변화와 다양한 입력 전압에 따른 효율 변화 그래프⁸

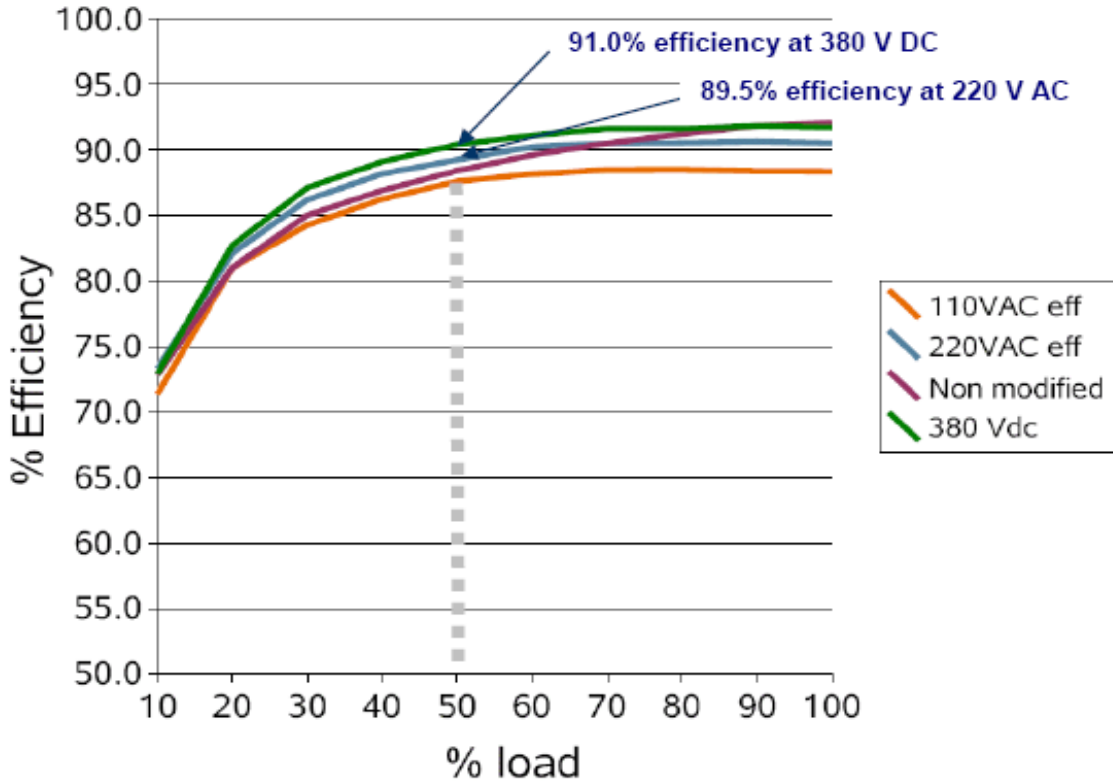
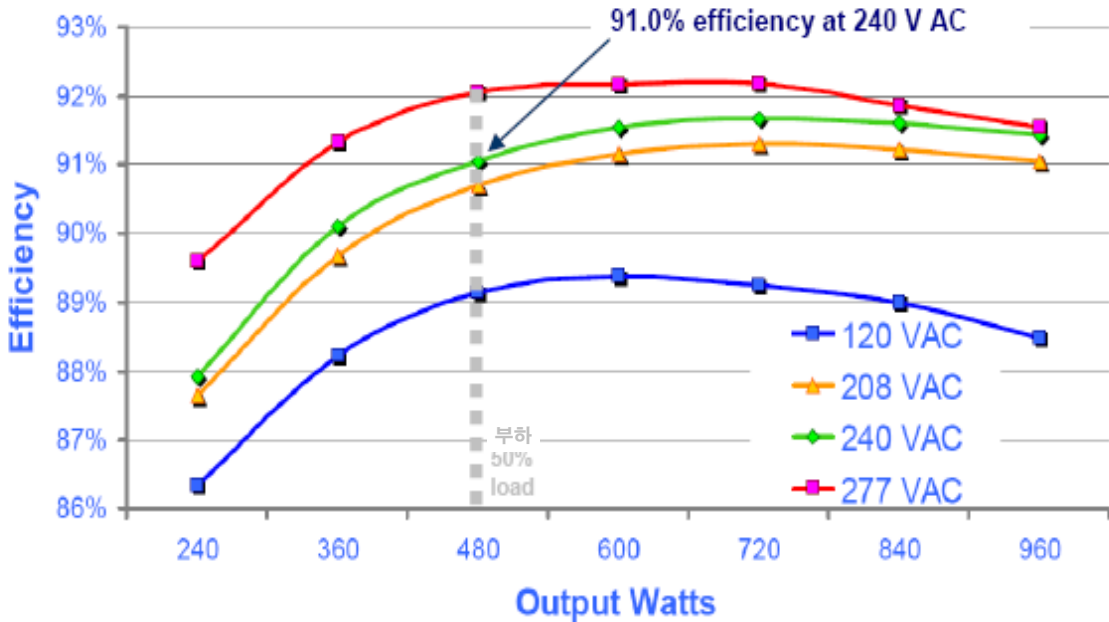
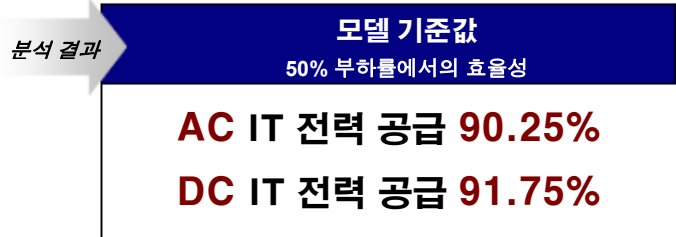


그림 8 – Hewlett-Packard 서버에 장착되어 있는 파워서플라이의 입력 부하에 따른 효율 변화와 다양한 입력 전압에 따른 효율 변화 그래프⁹



Sun Microsystems의 예에서는 50% 부하율에서 AC 배전방식(IT 장치의 파워서플라이)의 효율성이 89.5%이며 Hewlett-Packard의 예에서는 같은 조건에서 91%가 된다. 400/230V AC 전원을 공급받아 230V 서버를 동작시키게 되는 향후 대부분의 서버들이 이러한 파워서플라이를 지니고 있다면 아마 두 샘플의 평균이 90.25% 정도의 효율이 될 것이며 이를 AC 파워서플라이 효율의 기준으로 사용될 것이다.

Sun Microsystems의 파워서플라이의 효율성을 보여주는 그림 7은 380V DC에 대한 효율곡선도 함께 보여준다. 이 곡선은 약 50% 부하율에서 220V AC 효율곡선보다 약 1.5% 정도 향상되었음을 보여준다. 이 1.5%의 효율 향상은 많은 연구에서 언급되어왔으며 AC 효율 기준 값인 90.25%의 효율에 더해져서 DC 파워서플라이의 효율을 91.75%로 산출해서 계산할 것이다. 본 논문의 후반부에서 보다 상세하게 분석될 것이다.



2008년 초에 94%에 이르는 훨씬 더 고효율의 파워서플라이가 사용될 것으로 예상된다. 이 파워서플라이에 관한 데이터는 아직 일반에게 보급되지 않아 본 연구에서 언급할 수 없다. 이 파워서플라이에 380V DC의 전력을 공급함으로써 효율 향상률이 약 1%까지 감소될 것으로 예상된다.

전체 전력 경로의 효율성 비교

전력경로의 전체 효율성은 위에서 언급한 UPS, 배선, IT 파워서플라이의 효율에 좌우된다. 도표 2와 같이 이것은 단순한 산술이다.

도표 2 - 고효율 AC와 360V DC 배선방식을 비교하여 50% 부하율에서 전체 배전 효율 계산

| | UPS | | 배전 배선 | | IT 전력 공급 | | 전체 효율성 |
|-----------|--------|---|--------|---|----------|---|----------------|
| DC | 96.0 % | X | 99.5 % | X | 91.75 % | = | 87.64 % |
| AC | 96.2 % | X | 99.5 % | X | 90.25 % | = | 86.39 % |

따라서 고효율 DC 시스템은 고효율 AC 시스템보다 배전 효율에 있어 1.25% 더 높다. 이 분석은 모든 전력경로부분에서 50%의 작용부하가 발생한다는 전제를 두고 있다. 50% 부하율에서 상대적으로 평평한 형태의 효율곡선을 얻을 수 있듯이 약 50%의 부하범위에서 효율의 변화는 그다지 크지 않다.

이 효율의 차이는 배전 시스템에 한한 것이며, 데이터 센터의 전체 전력 소비량에 미치는 효과는 더 심도있는 분석을 요구하기 때문에 다음 섹션에서 설명하겠다.

데이터 센터의 전체 소비량에 미치는 영향

배전 시스템의 백분율로 환산된 어떠한 효율성 증가도 데이터 센터의 백분율로 환산된 전체 절약 전력량의 동일한 증가로는 직접 산출되지 않는다. 배전 시스템에서 발생하는 손실을 줄이게 되면 전체적인 데이터 센터에서의 열 발생도 부분적으로 줄어들게 되므로 이로 인해서 냉각에 들어가는 에너지도 감소하게 된다. 따라서 배전에서 절약된 전력량(watt)은 전체 데이터 센터에서의 전력량을 줄이는데 있어서 배전 절감이상으로 전체 시스템에서 실질적으로 절약될 것이다. 그러나 1%의 배전 효율 증가는 데이터 센터의 전체 효율 1%로 산출되지 않는다. 실제로 1%의 배전 효율 증가는 실제로 1%보다 작은 전체 효율 증가로 나타난다.

배전방식 변화로 인한 전력 소비량의 감소에 대한 실제 계산

$$\Delta P = P - P'$$

$$\Delta P = 1 - [(1 - \Delta \eta_{PD}) \times (IT_P + PD_P + ACP_P) + L_P + ACF_P]$$

P는 AC 시스템의 1로 나타낼 수 있는 기본 전력 소비량이며, P'는 배전 효율 변화 이후의 전력 소비량이다. 위의 수식에서 기타 다른 값들은 도표 3에서 일반 값들과 함께 정의된다.

도표 3 - 전력부하감소 계산을 위해 사용한 변수들

| 변수 | 설명 | 일반적 값 |
|--------------------|---|-------|
| $\Delta \eta_{PD}$ | 배전 효율 변화 | 입력 변수 |
| IT_P | 백분율로 나타낸, IT 부하로 인해 소비되는 데이터 센터의 전체 소비전력(%) | 45% |
| PD_P | 기준 배전으로 인해 소비되는 데이터 센터의 총 전력(%) | 5% |
| ACP_P | 부하에 따라 변화하는 냉난방기의 전력손실로 인해 소비되는 데이터 센터의 총 전력(%) | 25% |
| L_P | 조명부하로 인해 소비되는 데이터 센터의 총 전력(%) | 2% |
| ACF_P | 냉난방기의 고정 전력 손실로 인해 소비되는 데이터 센터의 총 전력(%) | 23% |

이 값들이 위의 데이터 센터의 총 전력감소 방정식에 대입될 때, 배전 효율 변화로부터 총 소비전력량의 변화 결과는 0.75에서 1이 된다. 즉, 1%의 배전 효율 변화는 0.75%의 전체 전력감소를 야기한다. 데이터 센터에서 소비전력의 총 변화는 배전 효율의 변화보다 작다.

이 연구결과는 데이터 센터의 전력 소비량의 상당 부분이 (특히 냉각 시스템) 배전 시스템을 통과하지 않는다는 것을 이해한다면, 배전 전력 손실을 감소시키는 것이 냉각 전력 손실의 고정 요소에 영향을 주는 것이 아니라 단지 냉각 전력 손실(냉각 부하에 따라 변화하는 손실)의 비례적 구성요소에 영향을 줄 뿐이라는 것을 이해한다면 그리 놀라운 것이 아니다.

이 계산이 이전 섹션에서 설명한 AC와 DC 배전 효율 결과에 적용될 때, AC 방식으로부터 DC 방식으로 변환함으로써 얻은 1.25%의 배전 효율 향상이 전체 전력소비량에 있어 0.94%의 감소를 초래한다는 것이 밝혀진다.

이 연구결과는 다른 연구에서 사용된 정보와 직접적으로 모순된다는 것을 유의해야 한다. 많은 피상적 분석들이 380 V DC로의 변환에 의해 절약되는 전력량(watt)이 데이터 센터의 총 전력량에 대해 “두 배 혹은 네 배의 절감효과”를 낳는다는 의견을 제시하고 있다. 실제로 배전과 관계없이 절약되는 유일한 전력량은 비례 손실, 즉 부하에 따라 변화하는 냉각 손실 전력의 일부분이다. 효과적으로 설계된 현대 데이터 센터에서는 배전에서 절약되는 전력량 1 watt는 단지 데이터 센터의 총 전력량에서 1.2watt만을 절약하게 된다.

AC 대 DC 효율 계산기

그림 9에서 APC TradeOff Tool은 다른 조건에서의 전력경로의 효율 백분율과 전체 입력 전력 감소율 백분율을 결정한다. 전력경로효율과 전체 입력 전력 손실 감소에 다양한 전력경로요소의 효율성을 변화시킴으로써 나타나는 영향은 이 도구를 사용하여 탐구할 수 있다.

전통적인 AC 전원의 데이터 센터는 일반적인 효율값을 가지는 AC UPS, PDU 그리고 208V AC IT 파워 서플라이를 사용하는 전통적인 데이터 센터를 보여준다.. 가장 좋은 예인 AC의 경우는 최신 고효율 AC UPS, PDU, IT 전력공급장치를 갖춘 신 데이터 센터를 잘 보여준다. 400 V AC의 경우 가장 좋은 예인 AC와 동일한 현대적인 구성요소를 사용하지만, PDU와 관련 변압기 손실이 없으며 208 V AC보다 0.5%(그림 8에서 보이는 초록색과 노란색 곡선 사이의 차이)의 효율 이점이 있는 230 V AC에서 작동하는 IT 전력공급장치를 전제로 한다. 380 V DC의 경우는 PDU를 사용하지 않으며, 그림 7에서 볼 수 있듯이 208 V AC보다 1.5%의 효율혜택을 지닌 이상적 DC UPS와 IT 전력공급장치를 사용한다. 모든 경우에 동일한 배전 효율성이 가정된다.

이 효율성 측정 계산표에서 효율에 영향을 미치는 모든 주요한 변수들은 슬라이더를 끌어 조정 가능하다. 이 도구는 본 논문에서 기술한 것처럼 50% 부하율을 토대로 한 모든 변수들에 대한 기본값에서 시작할 수 있다.

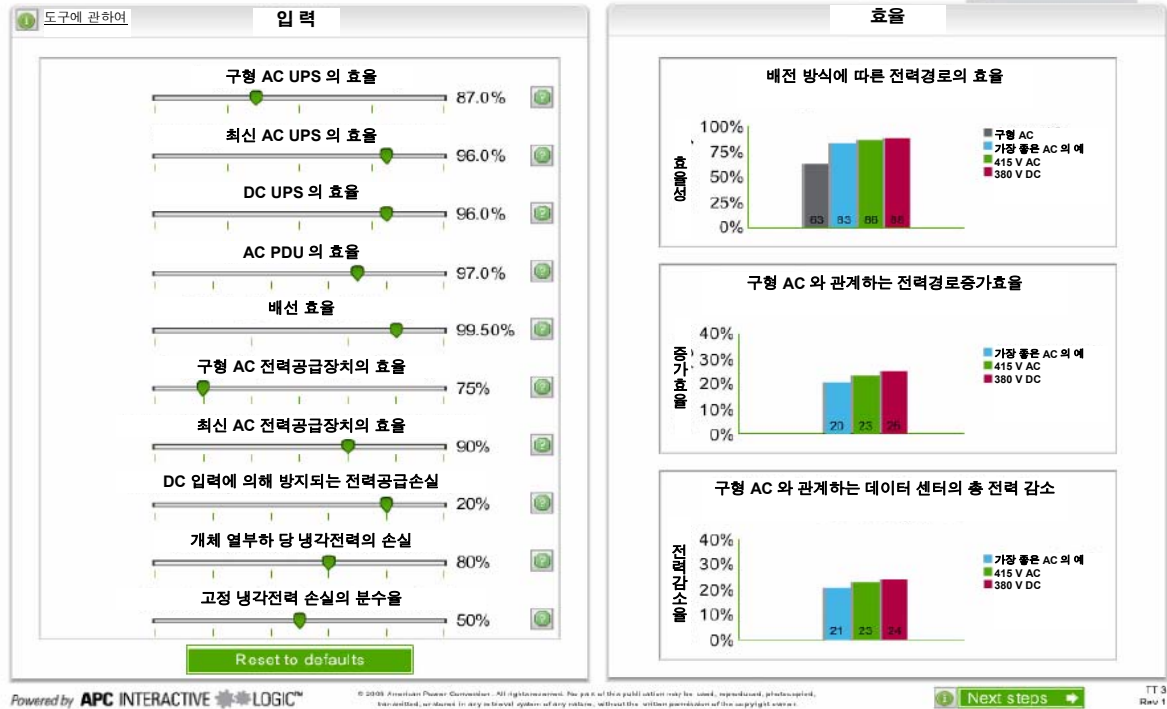
계산기 도구에서 제시되는 “개체 열 부하 당 냉각 손실” 기본값은 일반적인 50% IT 부하에 대한 값이다. 100%에 가까운 IT 부하에서 작용부하를 모델링할 때 사용자는 매뉴얼에 따라 “단위 열 부하 당 냉각전력의 손실”을 하향 조정하여 완전부하에서의 냉각 효율 증가를 반영해야 한다.

이 모델은 입력 전력 감소 계산에 있어 2%의 조명부하를 전제로 한다. 네트워크 작동 센터와 같은 추가적 고정 부하가 존재할 경우 입력 전력 손실 감소 백분율은 어떠한 조건에서도 낮아질 것이다.

그림 9 – 배전구조의 비교를 위한 AC vs. DC 계산기 도구

데이터 센터의 AC vs. DC 계산기

데이터 센터의 다양한 AC와 DC 배전 구조의 효율에 미치는 효과



북미에 대한 특별 고찰

일반적으로 북미 데이터 센터의 배전 효율은 변압기 기반의 배전 장치를 계속 사용함으로써 다른 지역 데이터 센터의 효율보다 더 낮다. 북미에서는 UPS 전력이 IT 부하로의 배전을 위해 전압을 3단계 208/120 V AC까지 PDU 변압기로 낮추는 3단계 480/277 V AC에서 일반적으로 작동한다. 대조적으로 북미 이외 대부분의 지역에서는 어떠한 전압 감소 변압기도 사용하지 않고 부하에 직접 제공되는 3단계 400/230 V UPS 전력을 사용한다. 전압 감소 변압기는 특히 설치된 전압 감소 변압기의 평가 등급이 UPS의 평가 등급보다 일반적으로 훨씬 더 크므로 대부분의 설계에서 상당한 전력 손실이 발생한다는 것을 잘 보여준다. 이것은 변압기가 충분히 활용되고 있지 않다는 것을 의미한다. 게다가 고밀도 데이터 센터에서는 변압기가 상당한 바닥 면적을 차지하며 상당한 바닥 하중 부하를 일으키는 큰 요인이기도 하다. 이 문제에 대한 자세한 논의 및 북미에서의 415/240 V AC 배전 시스템 사용에 대한 자세한 내용은 APC 백서 #128, [개선된 고밀도 배전의 사용을 통한 데이터 센터 효율성 개선](#) 참고.

북미의 몇몇 시설에서 기존의 480/277 V 전력을 400/230 V 표준 전력으로 조정하기 위해서는 자동 변압기의 설치가 반드시 필요할 수 있다. 여기서 자동 변압기를 사용한다는 것은 변압기의 kVA 평가 등급이 17%를 넘지 않는 고효율의 변압기를 의미한다. 자동 변압기가 필요한 북미의 시스템에 관한 한, 배전 시스템의 효율은 자동 변압기의 전력 손실로 인해 감소될 것이다. 이로 인해 북미의 몇몇 AC 배전 시스템의 효율은 약 1%쯤 감소될 것이다. 그러나 OEM 제조업체들 사이에는 북미의 480/277 V 시스템에 이미 존재하는 전력공급장치의 입력범위를 확장하여 277 V AC를 포함시키자는 논의가 있다. 이것이 성공한다면 자동 변압기의 필요성이 없어질 뿐만 아니라 그림 8의 전력공급효율곡선에 나타나 있듯이 (빨간 곡선과 노란 곡선 사이의 차이) 즉 전력 공급효율의 상당한 증가로 인해 AC 배전 시스템은 380 V DC 시스템과 거의 동일하거나 그것보다 약간 더 높은 전반적인 효율을 지닐 수도 있다.

IT 부하 변화가 효율에 미치는 효과

본 논문에서 전력경로의 효율 비교는 50%의 IT 부하에 대해 산출되었다. 배전 시스템의 효율은(전체 데이터 센터의 효율은) IT 부하 함수에 따라 변화한다. 효율성과 IT 부하의 관계는 APC 백서 #113, [데이터 센터에 대한 전기 효율성 모델링](#)에 나온대로 정확하게 모델링될 수 있다.

본 논문에서 효율 비교는 IT 장비 내의 파워서플라이의 효율을 포함하고 있다. 총 IT 부하가 실제 데이터 센터에서 변화하는 이유는 주로 기존의 IT 장비에 가해지는 부하의 변화보다도 IT 장비의 변화량 때문이다. 그 결과, 데이터 센터에서 총 IT 부하의 변화는 UPS에 가해지는 부하에 반영되지만 일반적으로 독립 파워서플라이의 작용 부하와는 관계가 없다. 전력이 UPS로부터 나와 배선을 거쳐 IT 전력공급장치를 통해 IT 부하까지 흐르는 하지만, 이것이 모든 IT 장비들이 동일한 백분율 평가 등급, 즉 동일한 작용 부하에서 작동하고 있다는 것을 의미하지는 않는다. 총 전력은 일반적으로 수천 개의 IT 장비들 속으로 흘러 들어간다.

5% 전력용량에서 작동하는 데이터 센터를 고찰해보자. UPS가 5%의 작용 부하, 즉 5%의 전력 용량에서 작동한다는 것을 타당하게 여길 수 있다. 하지만 이것은 개별 하류 IT PSU에 가해지는 작용 부하에 대해서 어떠한 설명도 하지 못한다. UPS에 가해지는 5%의 작용 부하는 다음과 같은 요인으로 인해 발생할 수 있다.

- 100%의 정격 입력 전력에서 작동하는 소수의 IT 장비들
- 5%의 정격 입력 전력에서 작동하는 IT 장비(20배의 개수)
- 1%의 정격 전력에서 작동하는 IT 장비(100배의 개수)

UPS에 가해지는 5%의 작용 부하는 그것이 공급하는 모든 IT 장비들의 총 작용 부하와 긴밀하게 연관되어 있지만, IT 장비의 개별 작용 부하는 서로 상관하지 않으며, UPS에 가해지는 5%의 작용 부하와도 역시 관계하지 않는다.

이것은 부하와 상관없이 배선이 효율에 거의 영향을 미치지 않기 때문에 데이터 센터의 전력 경로의 세 부분 중에서 IT 부하가 변함에 따라 데이터 센터의 총 효율 변화에 가장 큰 영향을 미치는 것은 바로 AC 혹은 DC에서의 부하에 따른 UPS 효율 변화이다.

위와 같은 이유로 인해 IT 부하 변화가 효율에 미치는 영향은 미미하며, AC 혹은 DC가 변화하는 IT의 작용 부하에서 조금이라도 더 효율적라고 할 수 있는 근거도 없다.

따라서 IT 부하가 본 논문의 분석과 결과에 미치는 영향은 그렇게 중요하지 않다.

연구 결과의 신빙성

DC와 AC의 배전 시스템의 효율을 측정하기 위해 사용된 수학적 계산식은 논란의 여지가 없다. 또한 어떠한 배전 장비도 100%의 효율을 지닐 수 없다는 사실도 분명하다. 이것은 이론적으로 가능한 DC 구조의 효율 이득은 출판물에서 통용되어온 숫자들에 훨씬 못 미친다는 것을 분명히 보여준다.

본 논문은 다음 효율 분석에 상당한 영향을 미치는 세 가지 주요 값들을 제시한다.

1. AC UPS 시스템 효율
2. DC UPS 시스템 효율
3. IT 전력 공급 장치(PSU, 파워서플라이)를 DC 운영으로 변환시킴으로 가능한 효율성 향상

이 세 가지 값들의 불확실성은 효율 비교 결과에 영향을 미친다. 따라서 이 값들이 크게 변화할 가능성이 있는지를 심화된 연구 혹은 새로운 기술을 통해 얻을 수 있는 결과로 간주하는 일은 가치가 있다.

AC UPS 효율

AC UPS 효율과 관련하여 본 논문에서 사용된 값은 제3자에 의해 검증된 효율 성능을 지닌 오늘날 사용되는 실제 제품을 토대로 한다. APC에서 곧 시장에 출시될, 동일한 혹은 조금이라도 더 나은 효율 성능을 얻을 수 있게 해주는 다른 제품들을 알고 있다. 분명히 훨씬 효율이 떨어지는 많은 구형 AC UPS 제품들이 아직도 판매되고 있기 때문에 고효율 데이터 센터를 구축하려면 고효율 UPS의 사용을 보증해야 한다. 이때 향후 몇 년 동안은 최상급의 AC UPS 효율에 있어 극적인 향상을 기대하지는 않는다.

DC UPS 효율

DC UPS 효율과 관련하여 본 논문에서 사용된 값들은 제조자의 주장을 토대로 하였지만, 데이터 센터의 고효율 배전을 위한 어떠한 DC UPS도 제시하지 않았다. DC UPS가 AC에서 DC 방식으로 변환시킨다는 것, DC UPS가 조정된 출력을 제공한다는 것, 그리고 DC UPS가 전력 인자로 인해 수정된 입력을 주요 시설에 제시한다는 것은 틀림없다. 이러한 제한 하에 96% 보다 더 높은 효율을 얻게 해주는 DC UPS 시스템을 구축할 수 있다는 생각을 할 수는 있지만, 증명된 것은 아무것도 없다. 현재, DC UPS와 유사한 실제 상업적 장비의 가장 좋은 예는 광전지 유틸리티 상호 인버터(photovoltaic utility-interactive inverter)이며, 이것은 효율성이 최적화되었으며 기술적으로는 역전류(reverse power flow)로 작동하는 DC UPS 장치이다. 캘리포니아 에너지국에서 인용하고 있는 데이터를 검토해 보면 최상의 성능인 96%일 때 50% 부하에서 94% 정도의 효율을 보인다는 것을 알 수 있다. 이것은 DC UPS 모델의 추정 효율인 96%가 타당함을 확실히 확인시켜준다.

그럼에도 불구하고 APC에서의 연구는 DC UPS 시스템의 효율을 96% 이상까지 향상시킬 수 있다는 것을 보여준다. 그 결과 최적화된 DC UPS는 거의 상용화 되어 있는 AC UPS 만큼의 큰 효율을 제공할 수 있다고 생각할 수 있다. 이러한 최적화가 가능하다면 최상의 DC와 AC의 배전 시스템은 DC로의 변환에서 야기되는 IT 전력공급 상에서의 효율 이득(efficiency gain)이 유일한 차이점이지는 않지만 본질적으로 동일한 효율을 지니게 된다.

IT 전력 공급을 DC 방식으로 변환하여 얻을 수 있는 효율 향상

IT 전력 공급(PSU, 파워서플라이) 시스템을 380 V DC 입력으로 변환하면 효율이 증가한다는 것에는 일반적으로 이의가 없다. 본 논문은 새로운 AC 전력 공급 장치들이 넓은 부하 범위에 걸쳐 90% 이상의 효율값을 얻을 수 있다는 것을 보여준다. 실제로 2008년에 출시될 것으로 예상된 몇몇 모델들은 이미 94%라는 최고의 효율값을 얻는 데 성공하고 있다. 이것은 DC 전력 공급 장치가 100% 효율을 보인다고 할지라도 DC 전력 공급 장치들에 있어 최대 이론적 효율 증가는 겨우 6% ($100\% - 94\% = 6\%$) 밖에 되지 않는다는 것을 의미한다.

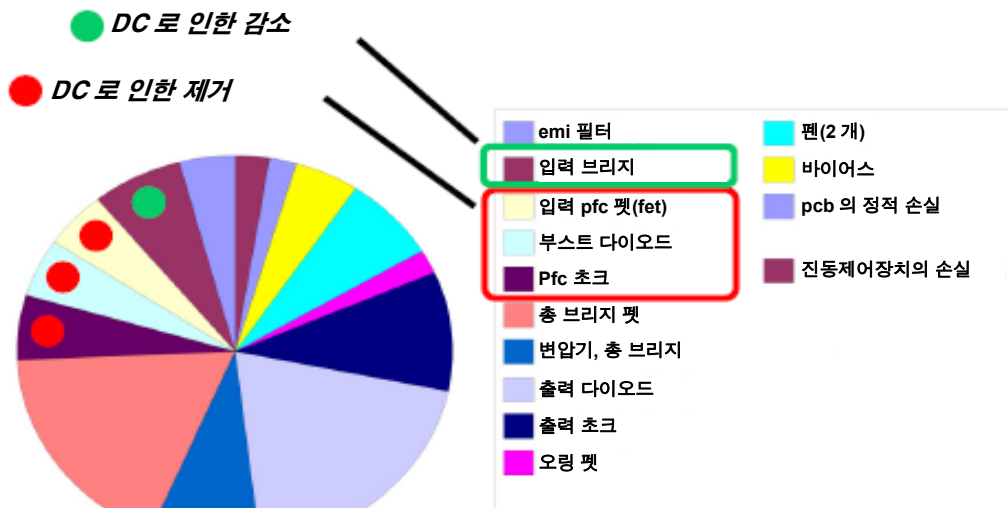
본 논문에서 이러한 분석의 목적을 위해 1.5%의 향상율이 Sun Microsystems의 연구결과에 근거하여 사용되었다. 이러한 향상율이 얻어졌다는 사실이 1.5%의 효율 증가를 기대할 수 있는지 혹은 어떤 가능한 향상율이 얻어질 수 있는지와 같은 물음에 답을 줄 수는 없다. 다음 논의에서는 이론적 근거를 제공하여 전력 공급 장치가 DC 작동 방식으로 변환되었을 때의 효율 증가율을 결정할 것이다.

PSU는 다음 두 가지 주요 기능을 한다.

- 연산회로를 유입되는 전력 공급으로부터 안전하게 분리시키는 기능
- 유입 AC 전력을 조정된 12 V DC로 변환시키는 기능

DC 배전을 사용한다고 해도 안전하게 절연시킬 필요성과 조정된 12 V DC를 제공해야 하는 필요성은 여전히 남아 있다. 그러나 AC에서 DC로 변환하는 PSU의 몇몇 회로들은 DC 배전이 사용될 때 필요하지 않을 수 있다. Sun Microsystems에 의한 최근 출간물은 PSU를 AC로부터 DC 입력 작동 방식으로 전환하였을 때 잠재적 효율 증가를 얻을 수 있다는 계량적 통찰을 보여준다. 그림 10에서 PSU 서버 내에서의 전력 활용에 대한 상세한 분석을 볼 수 있다. “DC로 인한 제거(Eliminated with DC)”이라고 쓰여 있는 항목들은 PSU를 DC로 변환한다면 분명히 나타나지 않을 손실들이다. “DC로 인한 감소(Reduced with DC)”라고 쓰여 있는 항목은 백피드 방지에 대한 필요성으로 인해 감당하지 않을 수 없는 손실이다. 그러나 이 손실은 PSU를 DC 방식으로 변환한다면 최대 약 50%쯤 감소될 수 있다.

그림 10 – DC 입력으로 변환함으로써 제거 또는 감소가 가능한 손실을 보여주는 서버 전력 공급 장치(PSU) 내에서의 손실 분석¹²



출처: Sun Microsystems

그림 10에서 PSU의 약 20%의 손실이 DC로의 변환에 의해 사라질 수 있다는 것을 알 수 있다. 이 감소된 손실이 전력 공급의 효율을 얼마나 증가시키는지 결정하기 위해 다음 계산식이 사용된다.

$$\begin{aligned}
\Delta\eta &= \eta' - \eta \\
&= (1 - \text{loss}') - \eta \\
&= (1 - (1 - \eta) \times (1 - \text{PSLR})) - \eta \\
&= (\eta + \text{PSLR} - \eta \times \text{PSLR}) - \eta \\
&= \text{PSLR} \times (1 - \eta)
\end{aligned}$$

η 이 AC 전력 공급 효율이면, η' 은 DC 입력 방식에서의 변경 이후에 나타나는 효율이다. PSLR은 DC 변환으로 인한 전력 공급 손실 감소량이다. 전력 공급 효율이 가장 좋은 91.5%이고 DC 방식에서의 변환을 통해 전력 공급 손실의 감소가 발생한다고 가정한다면 효율 향상률은 1.58%가 된다.

효율 증가가 전력 공급의 초기 효율에 의해 크게 영향을 받음을 유의하는 것은 중요하다. 따라서 DC로의 변환으로부터 얻는 증가 효율은 보다 낮은 효율을 지닌 전력 공급 장치에서 보다 높을 가능성이 있다. 그러나 미래의 고효율 데이터 센터에서는 효율적인 전력 공급 장치들이 필수불가결하며 겨우 1.5%쯤 되는 효율 증가가 가능하다고 가정해야만 한다.

현재의 IT 장비에서 PSU의 효율성이 90% 이상이라고 가정하면 이 계산식을 통해 IT 장비로의 전력 공급을 DC 방식으로 변환시킴으로써 얻는 효율 증가는 약 1.6%쯤 될 것으로 예상된다. 이 연구결과는 “DC/DC 전력 공급은 일반적으로 AC/DC 전력 공급보다 1 – 3% 더 효율적이다”라고 주장한 Sun Microsystems에 의한 최근 발표의 결론과 일치한다. 이것은 또한 로렌스 버클리 국립연구소에 실행된 DC 전력 공급형 데이터 센터 실험 프로젝트로부터 얻은 결과인 약 2%의 향상률과 일치하기도 한다.¹⁴

신빙성 개요

AC와 DC 배전 시스템의 비교에서 사용된 수치값은 상당히 믿을 만하다. DC와 AC UPS 효율값은 사용된 효율값에서 1% 이하쯤 변화할 것으로 예상된다. 배전 손실은 극히 소량이기 때문에 중요하지 않다. 전력 공급 효율은 4% 이상 정도 향상되어 AC와 DC 시스템에 이득을 줄 것으로 예상된다. AC에서 DC로의 변환으로부터 얻는 효율 증가는 90%의 효율을 지닌 전력 공급 장치에서 약 1.6% 쯤으로 제한되고, 94%의 효율을 지닌 전력 공급 장치에서는 약 1% 쯤으로 제한된다는 것을 알 수 있다.

이 분석결과를 토대로 하면 DC 시스템이 AC 시스템에 비해 몇 퍼센트의 추가 효율을 가져올 수 있다는 것을 생각할 수 있다. 이 조건이 성립된다면, 이것은 본 연구의 기본 사례와 비교했을 때 DC 방식의 배전 이득을 약 1.5%까지 증가시키고 이에 상응하게 1.1%의 데이터 센터 총 소비 전력을 감소시킬 것이다. 그러나 북미의 AC 시설의 효율을 약 1% 쯤 향상시킬 수 있는 277 V AC라는 표준 전력 공급으로의 변환 가능 또한 존재한다. 이것이 가능하다면, 이는 AC와 DC 배전 방식을 동일한 위치에 효과적으로 위치시킬 수 있다.

다른 출판물들은 어떤 방식으로 잘못된 효율값을 얻게 되었는가?

본 연구의 결과는 출판된 많은 논문들의 주장과 극히 차이를 보인다. 효율 증가값을 언급하는 대부분의 출판 논문들은 로렌스 버클리 국립연구소에 의해 발행된 한 보고서에서 행해진 진술을 회상케 한다. 로렌스 버클리 국립연구소의 보고서는 다음과 같은 결론을 제시하고 있다.

“이러한 경우에 28%를 웃도는 향상율이 일반 데이터 센터에서 가능하다. 이것은 증명된 것처럼 DC 배전 시스템이 오늘날 데이터 센터에서 발견되는 일반 AC 시스템보다 28% 이하의 전력 에너지 사용이 가능할 것이다. 데이터 센터의 HVAC 부하가 IT 부하와 일반적으로 거의 동일하기 때문에, 이것은 배전과 변환에서 나타나는 28%의 효율 향상이 시설의 총 효율성 수준을 28%까지 향상시킨다는 것을 의미한다.”

문제는 광범위하게 인용되는 위의 진술이 독자를 잘못 인도하여 새로운 시설에서 DC 방식의 사용이 AC 방식보다 시설 효율을 총 28%쯤 향상시킨다는 것을 믿게 한다. 여기서 28%의 총 시설 효율 향상은 이 보고서보다 30 배 정도 더 높은 것이고, 분명히 잘못된 것이다. 로렌스 버클리 국립연구소의 보고서 중 탭 ES3에서 볼 수 있듯이 28% 라는 수치는 IT 장비의 전력 공급이 DC 시설에서 19%쯤 더 효과적일 것이라고 전제함으로써 얻어진다. DC 시설은 분명히 새로운 전력 공급 장치를 나타내는 경우가 아니다. 로렌스 버클리 국립연구소의 보고서의 내용 자체는 2% 이상의 새로운 전력 공급 효율 증가를 주장하지 않는다. 28%라는 수치는 또한 상용화된 AC UPS 시스템보다 11.2%가 적은 효율인 85%의 AC UPS를 전제로 한다. 게다가 위의 진술은 시설의 총 효율 수준을 감소시키는 냉각 장치에서의 고정 손실을 설명하지 못한다.

위의 부적절한 가정들로 인하여 로렌스 버클리 국립연구소의 보고서에 28%라는 수치가 나타났으며 반면 본 논문은 데이터 센터의 전력 소비에 있어 DC 이득이 겨우 0.94% 밖에 되지 않는다는 것을 밝힌다. 로렌스 버클리 국립연구소의 보고서에 인용된 계산들이 UPS와 전력 공급 효율에 대한 적절한 값에 맞추어 조정된다면 그 보고서의 결론은 본 논문과 일치할 것이다.

상충되는 결과들을 주의하십시오.

본 논문과는 상당히 다른 결론에 대해 가정상의 오류, 관련된 효과, 혹은 과장된 절대 계량값을 확인해야만 한다.

주의 사항

- 96% 초과 DC UPS 효율
- 96% 미만 AC UPS 효율
- AC와 DC 작동 방식 사이에 나타나는 2% 이상의 전력 공급 효율 차이
- 변압기가 없는 400/230 V 이외의 AC 배전과 비교
- 제 3 자에 의해 검증되지 않은 효율 데이터
- 백분율로 환산된 전력 경로 상의 전력 절약율을 초과하는 데이터 센터의 총 전력 절약율이 가능하다는 주장 (몇몇의 고정 손실로 인해 백분율로 환산된 총 절약율은 항상 전력 경로의 절약율보다 적을 것이다.)
- 배선 손실에 있어 AC와 DC 간의 상당한 차이 (배선 손실은 본질적으로 양쪽 모두 동일하다.)
- AC와 DC 조건 상의 모든 각 부분에 있어 가장 잘 알려진 효율들의 통합 불가능
- DC 배전을 다른 효율 향상율 혹은 IT 부하 감소 방식과 혼합시키는 연구들
- 특히 규모가 큰 시설에서 절대값, 즉 달러, 와트, 혹은 서버에 나타나는 절약율

이 부정확한 가정과 분석적 왜곡으로 인해 잘못된 결론을 내림으로써 DC 배전의 장점을 과장할 가능성이 있다.

결론

기존 데이터 센터의 배전 시스템에 있어 상당한 손실이 존재하며, 새로운 데이터 센터에서 또한 가능하다면 기존의 데이터 센터에서 이러한 손실을 줄이는 것은 모든 데이터 센터의 운영자들의 관심사항이다.

오늘날 건설된 데이터 센터에 있어 현실적으로 AC 배전을 사용하지 않을 수 없다. 이것은 보안 규정, 배전 장치 그리고 380 V DC 입력 방식을 사용하는 IT 제품이 아직 존재하지 않기 때문이다. 대부분의 고객들은 새로운 고효율 AC 설계를 할 수 있으며 해야 한다. 그리고 오늘날 초 고효율 배전을 실현시키기 위한 솔루션이 사용 가능하다.

향후 고객들과 판매자들은 DC 방식이 AC 방식에 대한 현실적인 대안이 될 것인지를 고려해야만 한다. 올바르게 설계된 최신 고효율 AC 배전 시스템이 지닌 효율은 무엇보다도 너무 높기 때문에 대안으로 제시되는 DC 방식이 상당한 향상율을 가져올 여지는 거의 없다. 이론적인 380 V DC 구조의 결과는 가능한 최선의 데이터를 사용하여 데이터 센터의 전력 소비율을 겨우 0.94% 밖에 줄이지 못한다는 것을 알게 되었다. (도표 2 참고)

배전 시스템에서 약 1%의 향상율을 얻는 게 목적이라면, 북미에서는 이를 이루는 가장 빠른 방법은 배전 표준을 380 V DC가 아니라 277 V AC로 변환하는 것이다. 277 V AC 배전은 380 V DC와 같은 효율을 낳고, 기존 장비와 표준을 사용하며, 혼합 환경에서 사용하기가 더 용이하고, 거의 즉각적으로 설치할 수 있다.

효율 증가를 조금이라도 얻는다면 그것은 가치가 있는 일이다. 그러나 십 년에 걸쳐 1%도 되지 않는 효율 증가를 위해 IT, 공학, 시설, 그리고 전력 산업을 크게 변화시킨다는 것은 정당한 것처럼 보이지 않는다. 특히 전력 총 소비량에서 약 20%인 거의 20배나 되는 효율 증가를 데이터 센터의 냉각 시스템 개선에 집중함으로써 얻을 수 있는 가능성이 다분히 있을 때는 더욱 그러하다. 실제로 냉각 시스템 설계나 작동 환경을 아주 조금만이라도 조정한다면 데이터 센터의 전력 소비에 있어 많은 변화들을 야기할 수 있으며, 이에 비하면 데이터 센터를 AC 방식에서 DC 방식으로 변환 시킴으로써 가능한 것들을 무시할 만하다.

실제로 모든 일반 논문들은 로렌스 버클리 국립연구소의 한 보고서에서 불행히도 잘못된 진술에 의존하고 있기 때문에 DC 방식의 경우를 크게 과장하게 된다. 본 문서는 이러한 잘못된 내용들을 설명하고 정정한다.

오늘날 작동되고 있는, 심지어는 건설 중인 데이터 센터 중, 배전 총 효율이 최적화되지 않은 데이터 센터가 많이 있다는 것은 사실이며, 이것은 데이터 센터가 사용하는 총 전력의 10%의 낭비를 초래할 것이다. DC 배전 방식은 이러한 낭비 에너지를 절약하기 위해 제안되어 왔지만, 이의 구현에는 오랜 시간이 걸릴 수 있다. 다행히도 실질적으로 같은 효율 이득을 얻을 수 있으면서 지금 당장 구현할 수 있는, 보다 새로운 AC 방식이 있다. 데이터의 체계적으로 검토한 결과, DC 배전 방식이 이 문제에 대한 잘못된 해답이라는 입장을 밝힌다.

저자 소개

Neil Rasmussen는 APC의 설립자 및 최고 기술 담당 이사이다. 또한 핵심 네트워크에 대한 전력, 냉각 및 랙 인프라에 투자되는 세계 최대의 R&D 예산에 대한 기술 지침을 수립하고 있다. Neil은 현재 고효율의 모듈화된 확장 가능한 인프라 솔루션에 대한 연구를 주도하고 있으며, APC-MGE InfraStruXure 시스템의 수석 설계자이다.

Neil은 1981년에 APC를 설립하기 전에 MIT에서 Tokamak Fusion reactor에 대한 200MW 전력 공급의 분석을 연구해 전기공학 학사 및 석사 학위를 받았다. Neil은 1979년부터 1981년까지 MIT 런던 연구소에서 플라이 휠 에너지 저장 시스템 및 대양 전력 시스템에 대한 연구를 했다.

James Spitaels는 APC-MGE의 자문 엔지니어이다. 그는 Worcester Polytechnic Institute에서 전기공학 학사 및 석사 학위를 받았다. 이 회사에서 16년 동안 근무하면서 그는 UPS, 통신 제품, 아키텍처 및 프로토콜, 장비 인클로저, 그리고 배전 제품을 개발해왔으며, 복합제품개발팀을 관리해왔다. 그는 UPS와 전력 시스템에 대한 4개의 US 특허권을 가지고 있다.

관련 APC 백서

- #63 [데이터 센터를 위한 AC vs. DC 배전](#)
- #113 [데이터 센터를 위한 전력 효율 모델링](#)
- #128 [개선된 고효율 배전을 이용한 데이터 센터 효율성 향상](#)

기타 참고문헌

- ¹ Symmetra MW - TÜV Test Report Number 21113774_010, September 26, 2005. Symmetra PX - TÜV Test Report IS-EGN-MUC/ed, June 12, 2007. Smart-UPS VT - TÜV Test Report No. 21113774_008, November 11, 2005.
- ² SatCon data from California Energy Commission report.
http://www.consumerenergycenter.org/erprebate/inverter_tests/summaries/Satcon-AE-75-60-PV-A.pdf
- ³ Lawrence Berkeley National Labs report: "High Performance Buildings: Data Center – Uninterruptible Power Supplies (UPS)" December 2005, Figure 17.
http://hightech.lbl.gov/documents/UPS/Final_UPS_Report.pdf
- ⁴ A. Pratt and P. Kumar, "Evaluation of Direct Current Distribution in Data Centers to Improve Energy Efficiency" The Data Center Journal, March 2007.
- ⁵ Netpower Labs Presentation by Stefan Lidstrom, DC Data Center Stakeholders Meeting, organized by Lawrence Berkeley National Labs, July 12, 2007, composite PDF page 31 of 67, slide 8.
<http://hightech.lbl.gov/presentations/dc-powering/dc-stakeholders/1-Voltage.pdf>
- ⁶ Lawrence Berkeley National Laboratory: Page 5 of Executive Summary "DC Power for Improved Data Center Efficiency" January 2007, Table ES1.
http://hightech.lbl.gov/documents/DATA_CENTERS/DCDemoExecutiveSummary.pdf
- ⁷ Lawrence Berkeley National Laboratory: "High Performance Buildings: Data Centers – Server Power Supplies" December, 2005.
http://hightech.lbl.gov/documents/PS/Final_PS_Report.pdf
- ⁸ Sun Microsystems Presentation by Mike Bushue, DC Data Center Stakeholders Meeting, organized by Lawrence Berkeley National Labs, July 12, 2007.
<http://hightech.lbl.gov/presentations/dc-powering/dc-stakeholders/1-Voltage.pdf>
- ⁹ Hewlett-Packard Presentation by Paul Perez, Uptime Institute Symposium, March 5, 2007.
http://www.uptimeinstitute.org/jsymp/index.php?option=com_content&task=view&id=45&Itemid=61
- ¹⁰ Intel Day 2007 presentation, "Data Center Energy Efficiency Research @ Intel Day" by Guy AILee, Milan Milenkovic, and James Song, June 2007.
http://download.intel.com/pressroom/kits/research/poster_Data_Center_Energy_Efficiency.pdf
- ¹¹ Intel white paper, "Air-Cooled High-Performance Data Centers: Case Studies and Best Methods" by Doug Garday and Daniel Costello, November 2006.
<http://www.intel.com/it/pdf/air-cooled-data-centers.pdf>
- ¹² Sun Microsystems Presentation by Mike Bushue, DC Data Center Stakeholders Meeting, hosted by Lawrence Berkeley National Labs, July 12, 2007, composite PDF page 19 of 67, slide 9.
<http://hightech.lbl.gov/presentations/dc-powering/dc-stakeholders/1-Voltage.pdf>

- ¹³ Sun Microsystems Presentation by Mike Bushue, DC Data Center Stakeholders Meeting, hosted by Lawrence Berkeley National Labs, July 12, 2007, composite PDF page 19 of 67, slide 9.
<http://hightech.lbl.gov/presentations/dc-powering/dc-stakeholders/1-Voltage.pdf>
- ¹⁴ Lawrence Berkeley National Laboratory: Page 6 of Executive Summary “DC Power for Improved Data Center Efficiency” January 2007.
http://hightech.lbl.gov/documents/DATA_CENTERS/DCDemoExecutiveSummary.pdf
- ¹⁵ Lawrence Berkeley National Laboratory: Page 6 of Executive Summary “DC Power for Improved Data Center Efficiency” January 2007.
http://hightech.lbl.gov/documents/DATA_CENTERS/DCDemoExecutiveSummary.pdf