

교류배전시스템과 직류배전시스템이 적용된 IDC 전력효율 비교연구

(A Comparative Study on the Electric Power Efficiency of IDCs with AC and DC Distribution Systems)

손성용* · 목형수 · 박경석 · 홍준희

(Sung-Yong Son · Hyung-Soo Mok · Kyung-Seok Park · Jun-Hee Hong)

요 약

급격한 IT 산업 발전의 산물인 인터넷데이터센터(IDC)는 서버 시스템이 집적된 고밀도 디지털 부하로 구성되는 특징을 가지고 있다. IDC의 디지털 부하 특성을 고려하여 직류배전시스템을 도입하는 경우 전력 변환 체계의 단순화로 효율 향상의 가능성이 일부 제기되어 왔으나, 국내 IDC 환경에서의 효율성이 검증된 사례는 없었다. 본 논문에서는 교류배전방식을 적용한 KT 분당 IDC와 직류배전방식을 적용한 KT 남수원 IDC의 전력 효율을 비교 분석함으로써 국내 IDC 배전체계의 직류화에 따른 효율 개선 효과를 제시하였다. DC 48[V]를 배전하였을 때 직류배전 방식의 효율이 13.2[%] 높은 것으로 도출되었으며, DC 380[V]의 공급을 가정하였을 때에는 25[%] 이상의 효율 향상을 기대할 수 있었다.

Abstract

Internet Data Centers (IDCs), which are resulted by the rapid progress of Information Technology industry, consist of high-density digital loads with internet server systems. Introduction of DC distribution system may simplify the conventional electric power conversion system, and may result in the improvement of electric power efficiency. However, this conjecture has never been tested under Korean IDC environment. In this study, electric power efficiency of DC distribution system from KT Namsuwon IDC is contrasted with that of conventional AC distribution system from KT Bundang IDC. DC 48[V] based distribution system showed 13.2[%] higher efficiency than the conventional AC based distribution system. The further analysis with the assumption of DC 380[V] suggests efficiency improvement over 25[%] can be achieved.

Key Words : IDC System, AC Distribution System, DC distribution System, Electric Power Efficiency

* 주저자 : 경원대학교 정보통신공학과
Tel : 031-750-5347, Fax : 031-750-8571
E-mail : xtra@kyungwon.ac.kr
접수일자 : 2008년 4월 17일
1차심사 : 2008년 4월 21일
심사완료 : 2008년 6월 16일

1. 서 론

IT 산업의 총아중 하나인 인터넷데이터센터(IDC)는 집적된 서버 장비의 운영을 통하여 안정적 인터

넷 서비스를 공급하는 것을 주목적으로 한다. 고밀도로 집적된 부하에 안정성과 신뢰성을 확보하기 위하여 2중 전원시설, 냉각장비, 항온·항습을 위한 건조 등을 24시간 가동하는 등 다양한 노력을 하고 있다. 그림 1은 신뢰성을 확보하기 위하여 다중으로 구성된 IDC의 전력 구성도의 예를 보여주고 있다.

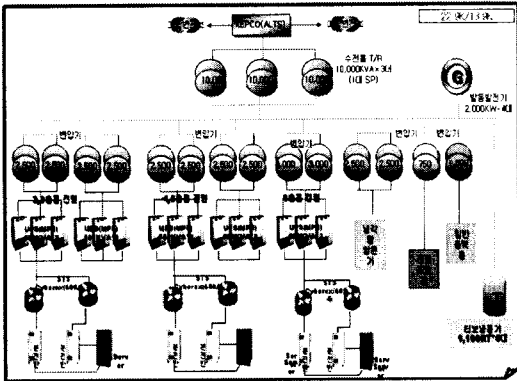


그림 1. IDC의 전력 구성도
Fig. 1. Configuration of IDC power system

국내 IDC는 서울 서초동 하나로 IDC의 경우 2만 대, KT의 목동 IDC는 3만대, LG 데이콤의 논현동 IDC는 3만대 가량의 서버를 유치하고 있다. 이런 IDC들이 국내에 40여 곳이 있으며 대기업이나 은행, 대학, 정부기관들은 자체 IDC를 구축하고 있다. IDC의 전력 소비량은 서버 2만대를 기준으로 하는 경우 연간 약 7,340만[kWh], 3만대를 기준으로 약 8,480만 [kWh]에 달한다. 즉, 40만대의 서버를 운용하는 경우 인구 20만의 도시와 같은 규모의 전력량을 소비하게 된다. 국내에서는 2006년에 총 11만대의 서버가 판매된 것으로 집계되었으며, 연 평균 6.6%씩 증가하고 있다. 이런 추세라면 IDC만으로도 2011년까지 하나의 도시에서 소비하는 전력량 이상을 추가로 소비하게 된다[1].

IDC는 매출 원가중 전기에너지 비용이 약 20~30%를 차지할 정도로 에너지 집약적 특성을 갖는다. 서비스의 안정성이 확보된 최근의 IDC 환경을 고려할 때 전력소비의 절감은 IDC의 경쟁력 향상과 직결된다. IDC의 에너지 효율성을 높이기 위하여 기존 장비의 효율적 이용, 신규 저전력 장비의 도입, 전

력설비 및 냉각 시스템 개선 등의 방법이 사용된다. 또한, 전용 전력선 매설, 신형 항온·항습기 도입 등의 방법이 사용되기도 한다.

IDC의 중요한 이슈중 하나는 단위면적당 많은 수의 고성능 서버를 유치하여 수익을 증가시키는 것이다. 멀티코어 프로세서, 블레이드 서버 등 고성능 컴퓨팅의 발전은 단위면적당 컴퓨팅 성능을 기하급수적으로 높였지만, 이와 비례하여 전력소비량도 급격히 증가하였다. 이러한 추세에도 불구하고 IDC 인프라의 준비 지연으로 인하여 전력 공급용량 부족 상황이 발생하여 해당 수용 서버 대수를 제한하는 경우도 등장하고 있다. 한정된 인프라에서 더 많은 서버의 유치를 위해서는 역시 전력 효율 향상이 필요한 실정이다.

직류에 의해 동작하는 디지털부하가 증가하는 현대사회에서 교류/직류 변환의 단계를 줄이고 분산된 저효율 교류/직류 변환체계를 집중식 고효율 교류/직류 변환체계를 도입함으로써 전체 시스템의 효율을 개선할 수 있는 방안이 제시되어 왔다[2]. 본 연구에서는 고밀도 디지털 부하의 대표적인 IDC에 직류 배전시스템을 도입함으로써 교류/직류 변환체계의 효율화를 통한 IDC의 효율개선 가능성을 실증을 통하여 검증하였다. 비교 검증을 위하여 교류배전방식을 활용하고 있는 KT 분당 IDC와 직류배전방식을 사용하고 있는 KT 남수원 IDC가 사용되었다.

2. IDC 일반 현황

2.1 기존의 IDC 효율 개선 노력

2.1.1 항온·항습기 교체

IDC의 전력소모 가운데 온도와 습도를 유지하기 위해 들어가는 전력은 서버 자체 전력소모의 80~90%에 이른다. 항온·항습기의 전력 공급 문제로 전체 시스템 운용이 중단되는 일이 발생하기도 할 정도로 전력 소모에서 큰 비중을 차지한다. 호스트웨이 IDC는 증축한 IDC에 과거 총 당 4개씩 쓰던 대형 사이즈의 항온·항습기 대신 작은 항온·항습기 30개를 도입했다. 회사 측은 서버 수용 정도에 따라 그 수를 늘려 초기 투자비용을 절감하는 한편 운용 비용도 낮출 수 있었다고 발표했다.

2.1.2 전력 전용선 매설

일반 전력선으로는 IDC의 수요에 대한 공급량이 부족하자 2만[kW]의 전력 전용선을 매설하는 IDC들이 증가하고 있다. KT는 신축 중인 목동 IDC에 4만[kW]를 수용하는 전용선을 구축하였으며, 분당 IDC도 전용선을 매설하였다.

컴퓨팅 하드웨어 설비는 점점 더 소량, 경량화 하는 반면 전력소비는 더욱 늘어나 IDC 공간에 필요한 전력 공급이 기존 일반 전력선으로는 부족하다. 그러나 전용선 매설에는 많은 비용이 소요되므로 중소규모 IDC들은 검토만 할 뿐 실제 매설은 엄두를 내지 못하고 있는 형편이다.

2.2 IDC의 전력소모 패턴

그림 2는 데이터센터, IT 장비, 시스템 컴포넌트별 소모 전력을 보여주고 있다. 데이터센터에서 소모되는 전력의 41[%]가 IT장비에 사용되며, 28[%]는 전력전달, 31[%]는 냉각장치에 사용된다. IT 장비에서 서버가 소모하는 전력비중은 63[%], 그 외 스토리지 장치가 22[%], 네트워크 및 기타장비가 15[%]를 차지하고 있다.

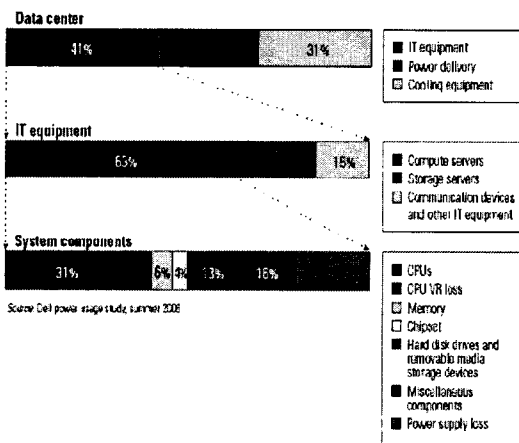


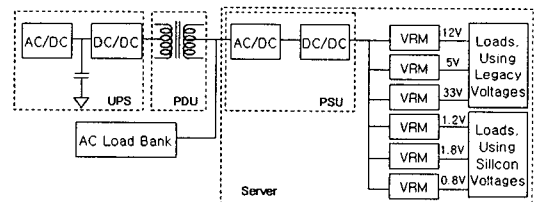
그림 2. 데이터센터, IT 장비, 시스템 컴포넌트별소모 전력 (Dell 2006)
 Fig. 2. Power usage of data center, IT equipment and system components in IDC (Dell 2006)

서버 내부 컴포넌트별 전력 소모량을 분석하면, CPU가 31[%], CPU VRM손실이 8[%], 메모리가 6[%], 칩셋이4[%], 디스크 드라이브 장치가 13[%], 그 외 컴포넌트들이 16[%], PSU손실이 20[%]를 차지하고 있다. 결과적으로 데이터센터에 소모되는 전력의 37[%]만이 IT 장비에 사용되고 있다[3].

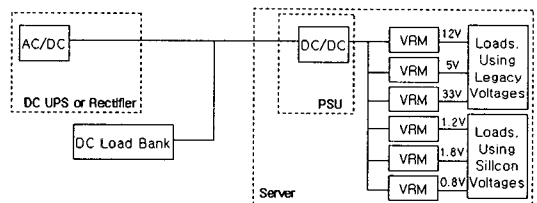
3. IDC 배전시스템

3.1 IDC 배전시스템의 구조

그림 3의 (a)는 기존 IDC의 전형적인 교류배전 시스템 체계를 보여준다. AC를 DC로 변환하여 충전시키는 UPS와 DC를 다시 AC로 변환시키는 PDU, AC를 DC로 변환시켜 각 서버 시스템에 공급하는 PSU와 각 서버의 제어보드에 전원을 공급하기 위한 VRM 등으로 구성되어 있다. 이러한 교류배전 시스템은 여러 단계의 전력변환 단계를 거치므로 효율이 감소하게 된다.



(a) 480(V_{ac}) Bulk Power Supply



(b) 300(V_{ac}) Bulk Power Supply

그림 3. IDC 배전시스템의 구조
 Fig. 3. The structure of power distribution system in IDC

직류배전 시스템은 낮은 DC로 변환시켜 각 서버 시스템에 공급하는 PSU와 각 서버의 제어보드에 전원을 공급하기 위한 VRM 등으로 구성되어 있다[4].

표 1 실험 구성도
Table 1. Experimental Configurations

	UPS를 이용한 AC 전원 공급 시스템(분당 IDC)	DC 전원 공급 시스템(남수원IDC)
전체 시스템	<p>요율측정대상 AC 380V 3상 4선식 UPS(500KVA) BUS DUCT (3PM 300A) STS(AC-DC) (600A×4E) AC 220V S₁ S₂</p>	<p>요율측정대상 AC 380V 3상 4선식 AC/DC 정류기 PDR PDU DC SERVER 측정시점명 A(정류기) B(PDR) C(PDU) D(SERVER)</p>
A	<p>UPS</p> <p>AC 380V 3상 4선식 UPS#1 (500KVA) UPS#2 (500KVA) UPS#3 (500KVA) AC/DC DC/AC Battery TO STS (Static Transfer Switch)</p> <p>● 전역 측정 지점</p>	<p>정류기</p> <p>AC 380V 3상 4선식 AC/DC DC 48V TO PDR</p> <p>● 전역 측정 지점</p>
B	<p>STS : Static Transfer Switch</p> <p>AC Line From LPS To PDU</p> <p>● 효율 측정 지점</p>	<p>PDR : Power Distribution Rack</p> <p>From AC/DC 정류기 To PDU #1 To PDU #N PDR 효율 100%</p>
C	<p>PDU : Power Distribution Unit</p> <p>From STS A From STS B To Server #1 To Server #N PDU Unit 효율 100%</p>	<p>PDU : Power Distribution Unit</p> <p>From PDR To Server #1 To Server #N PDU Unit 효율 100%</p>
D	<p>AC Server용 Power Supply</p> <p>AC 220V AC/DC DC/DC DC 12V DC 5V DC 3.3V ● 효율 측정 지점</p>	<p>DC Server용 Power Supply</p> <p>DC 48V DC/DC DC 12V DC 5V DC 3.3V ● 효율 측정 지점</p>

교류배전시스템과 직류배전시스템이 적용된 IDC 전력효율 비교연구

그림 3의 (b)와 같이 AC를 DC로 변환하여 충전시키는 UPS와 DC 공급 체계를 결합한 직류배전 시스템은 적은 변환단수를 가지므로 효율적인 측면에서 유리하다.

3.2 직류배전 시스템과 교류배전 시스템의 전력효율 예측

디지털부하에 있어서 전형적인 직류배전시스템과 교류배전시스템의 형태는 그림 4와 같다. 교류배전시스템이 일반적으로 직류배전시스템 보다 변환단수가 많아서 효율적인 측면에서 불리하다.

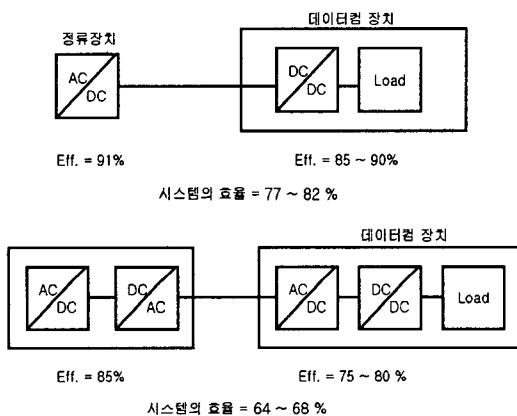


그림 4. DC배전시스템과 AC배전시스템의 효율예측
Fig. 4. Efficiency prediction for DC and AC distribution systems

AC에서 AC로 변환하는 UPS의 변환효율은 83[%]로 예측되며, 데이터컴 장치 안에서는 AC에서 IC 등에 필요로 하는 DC 3.3[V], 5[V]로 변환되며 이때 변환효율은 75~80[%]로 예측된다. 교류배전 시스템에서는 변환단수가 4단으로 전체효율은 64~68[%]가 될 것으로 예상된다.

직류배전시스템은 교류배전시스템에 비해 상대적으로 변환단수가 적기 때문에 효율이 좋다. 또한 UPS가 필수인 IDC 시스템에서는 UPS의 변환단수도 줄일 수 있어 계통연계에 매우 유리하다.

교류에서 DC 48[V]로 정류하는 정류장치의 변환

효율은 91[%] 정도이며, 데이터컴 장치 안에서는 DC 48[V]에서 IC 등에 필요로 하는 DC 3.3[V], 5[V]로 변환하며 변환효율은 85~90[%]이다. 직류배전 시스템에서는 변환장치의 수가 2단이며 전체효율은 77~82[%]가 될 것으로 예상된다.

따라서 직류배전시스템은 교류배전시스템에 비해 전력변환장치의 변환 장치의 수가 적기 때문에 변환효율이 7~20[%]정도 고효율화 될 것으로 예측된다.

3.3 직류배전 시스템의 적용 사례

수십만대의 서버를 운용해야 하는 구글은 전기료로 한달에 20억원이 넘게 지출하면서 전력소비의 심각성을 인지하고 몇 년간 모든 PSU가 DC 12[V] 출력으로 운용되는 시스템을 운영해 왔다. 그 결과 이 전보다 20~30[%] 전력절감을 가져왔다. 최근에는 DC 12[V] 전압을 중앙에서 공급하여 서버 PSU를 설치하지 않는 저전압 직류배전 시스템을 제안하고 있는 중이다[4-5].

구글이 제안한 DC 전압 공급 IDC와 유사하게 Lawrence Berkeley National LAB Project에서 DC 380[V] 전압을 공급하는 시스템을 만들어 IDC 전력효율을 증대시키는 실험도 이루어지고 있다[5].

4. 측정 및 결과

본 연구에서는 교류배전방식을 사용하고 있는 KT 분당 IDC와 직류배전방식을 사용하고 있는 KT 남수원 IDC를 대상으로 실효율을 측정하였다. 실험 구성도는 표 1과 같으며 배전방식에 따른 시스템은 각각의 Stage를 A~D로 구분하여 Stage별로 효율을 측정하여 최종적으로 전체 효율을 측정하였다. 각 Stage별 측정 결과는 다음과 같다.

4.1 측정시험 A

Stage A는 각 시스템의 입력단으로, 교류시스템에서는 한전에서 공급된 전력을 UPS로 충전하여 다시 AC 변환하는 구간이며, 직류시스템에서는 정류기 부분이다. 그 측정결과는 표 2와 같으며 직류

배전시스템이 약 1.9[%] 정도 우수한 효율을 가지고 있다.

표 2. Stage A 측정결과
Table 2. The measurement results of stage A

	세부 측정 항목(%)			평균 효율 (%)
	#1	#2	#3	
교류배전 UPS 효율	91.43	92.24	92.05	91.91
직류배전 정류기 효율	93.8			93.8

4.2 측정시험 B

Stage B에서 사용하고 있는 STS(Static Transfer Switch)와 PDR (Power Distribution Rack)은 표 3과 같으며 직류배전 시스템이 약 0.9[%] 정도 우수한 효율을 가지고 있다.

표 3. Stage B 측정결과
Table 3. The measurement results of stage B

	세부 측정 항목 (W)				효율 (%)
	UPS 총출력	STS#1 출력	STS#2 출력	STS 총출력	
교류배전 STS 효율	754.89	374.04	374.16	748.20	99.11
직류배전 PDR 효율					100

4.3 측정시험 C

시스템에서 PDU(Power Distribution Unit)의 효율은 100[%]이다. 따라서 교류배전시스템과 직류배전시스템에서 Stage C구간에서의 효율 차이는 존재하지 않는다.

4.4 측정시험 D

Stage D는 서버에서 필요로 하는 전력을 공급하기 위한 Power Supply 구성부이다. 교류배전시스템은 AC 220[V]를 받아 정류하여 필요한 DC전압을 만들지만 직류배전시스템은 DC 48[V]를 받아 필요한 DC전압으로 변환하는 구조이다. 그 측정결과는 표 4와 같으며 직류배전시스템이 약 7.2[%] 정도 우수한 효율을 가지고 있으며 IDC 시스템 중에서 가장 큰 차이를 나타내고 있다.

표 4. Stage D 측정결과
Table 4. The measurement results of stage D

	출력구분	전압 [V]	전류 [A]	전력 [W]	효율 [%]
교류 배전	12[V]	12.1	14.9	181.4	74.0
	5[V]	5.0	16.4	81.9	
	3.3[V]	3.3	5.2	17.1	
	DC출력전력	275.2[W]			
	서버AC입력	210.5	1.83	375.0	
직류 배전	12[V]	12.1	14.4	175.3	81.2
	5[V]	5.0	15.9	79.6	
	3.3[V]	3.3	5.0	16.6	
	DC출력전력	271.5			
	서버AC입력	48.1	6.9	334.3	

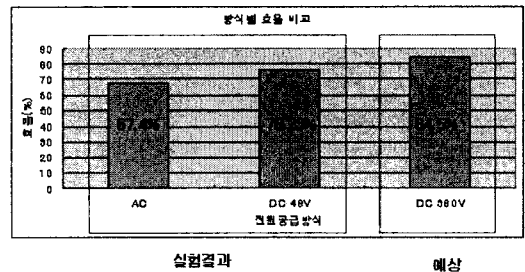


그림 5. 방식별 효율비교 실험 결과
Fig. 5. The results of efficiency comparison

5. 결 론

각각 Stage의 효율을 측정한 결과를 표 2~4에 나타냈으며, 그 결과를 바탕으로 전체 시스템의 효율

교류배전시스템과 직류배전시스템이 적용된 IDC 전력효율 비교연구

을 계산하면 교류전원공급방식(분당 IDC)과 DC 48[V] 전원공급방식(남수원 IDC)의 효율 측정 결과 그림 5와 같이 각각 67.4[%]와 76.2[%]로 나타났다. 배전선로에서의 손실이 없다고 가정했을 때 직류공급시스템의 효율이 13.2[%] 높다는 결과가 도출되었다.

현재 사용중인 DC 48[V] 기반 서버용 전원공급장치의 효율은 81.2[%]로 직류전압을 380[V], 서버용 직류 Power Supply의 효율을 90[%] 이상의 변환방식으로 교체할 경우 전체 시스템효율을 84.5[%] 이상까지 높일 수 있어 현재 교류공급시스템 보다 약 25.3[%]의 효율 향상을 이룰 수 있을 것으로 예상된다. DC 380[V] 입력의 Power Supply는 PFC기능이 필요하지 않으므로 90[%] 이상의 변환효율을 갖는 서버용 Power Supply의 개발이 용이하다. 따라서 현재의 전력변환장치 기술 수준으로 국내 업체에서도 개발이 가능하다. 그러나 직류 배전의 보급을 위해서는 Fuse, 차단기, 접속방식 등에 대한 추가적인 기반 연구가 필요하다.

이 연구는 강원대학교 지원에 의한 결과임.

References

- (1) 권원욱, 김성운, "저전력 데이터센터 기술 동향", 주간기술동향 1323호, pp.1-15, 2007.11.21.
- (2) My Ton, Brian Fortenbery, William Tschudi, DC Power for Improved Data Center Efficiency, LBNL Report, Jan 2007.
- (3) William A Hammond, Efficient Power Consumption in the modern Datacenter, Intel, March 1, 2005.
- (4) 김재한, 양승욱, 목형수, 최규하, 손성용, 홍준희, "전력IT 용 디지털 부하를 위한 저전압 직류급전시스템 연구", 전력전자학회, 전력전자학술대회논문집 pp.327-329, 2006.6.
- (5) 권원욱, 김성운, 김명준, "저전력 서버기술 동향", 주간기술동향 1306호, pp.1-10, 2007.7.25.

◇ 저자소개 ◇

손성용 (孫晟榕)

1968년 1월 28일생. 2000년 Univ. of Michigan 졸업(박사). 1992~1995년 LG 소프트웨어. 2000~2004년 포디홈네트. 2004~2005년 아이크로스테크놀로지. 2006년~현재 강원대학교 정보통신공학과 조교수.

목형수 (睦亨洙)

1963년 10월 31일생. 1986년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 졸업(석사). 1992년 동 대학원 졸업(박사). 1993~1996년 서울산업대 제어계측공학과 조교수. 1997년~현재 건국대 전기공학과 부교수.

박경석 (朴敬錫)

1958년 2월 10일생. 2000년 한국과학기술원(KIST) 통신경영학과 졸업(석사). 2006년~현재 한국 IDC 협의회장. 2008년~현재 IT인프라서비스포럼 대표위원. 2007년~현재 KT 기업고객서비스본부장.

홍준희 (洪俊熹)

1963년 3월 1일생. 1995년 서울대학교 졸업(박사). 2006년~현재 한국전산원 U-KOREA 기획위원. 2005년~현재 대한전기학회 정보화 위원. 1995년~현재 강원대학교 전기공학과 부교수.