

# 인터넷 데이터 센터의 교류, 직류급전시스템 비교 분석

김두환<sup>1</sup>, 김효성<sup>†</sup>

## Comparative Study on AC and DC Feed System for Internet Data Center

Du-Hwan Kim<sup>1</sup>, and Hyo-Sung Kim<sup>†</sup>

**Abstract** - Internet Data Centers (IDC), as essential facilities for modern IT industry, typically have scores of MW of concentrated electric loads. Uninterruptible Power Supplies (UPS) are necessary for the power feed system of IDCs because of stable power requirement. Thus, conventional AC power feed systems of IDCs have three cascaded power conversion stages such as (AC-DC), (DC-AC), and (AC-DC), which results in very low conversion efficiency. On the contrary, DC power feed systems need just a single power conversion stage (AC-DC) supplying AC mains power to DC server loads, which gives comparatively high conversion efficiency and reliability. This paper compares the efficiencies between 220V AC power feed system and 300V DC power feed system on equal load conditions which were established in Mok-Dong IDC of Korea Telecom company (KT). Experimental results show that the total operation efficiency of the 300V DC power feed system is around 15% higher than that of the 220V AC power feed system.

**Keywords** : Internet Data Center, Uninterruptible Power Supply, DC feed system, Efficiency

### 1. 서 론

현재 인류문명은 산업사회로부터 정보사회로 전환단계에 거치고 있다. 정보사회의 하드웨어적인 요소는 컴퓨터로 대표되는 디지털기기이며 웹2.0시대를 맞이하면서 디지털빅뱅의 시대를 예고하고 있다.

미국 EPRI에서는 전세계의 디지털부하가 2000년도에는 10%밖에 되지 않았으나 2020년도에 이르러서는 50%로 급격히 증가할 것으로 예상하고 있다.<sup>[1]</sup>

따라서 IT통신 분야는 녹색성장에 있어서 에너지 흐름의 효율성을 추진해야할 주요한 개발대상으로 주목받고 있다.

2010년 KT의 예측에 의하면, 한국 내 전체 데이터센터에서 소비되는 전력량은 약 12.6억 kWh로써 이는 울산광역시(인구 111만)에서 일 년간 사용하는 전력소비량과 맞먹는다.<sup>[2]</sup>

미국 내 데이터센터의 전력 소모량을 분석한 보고서

에 따르면 시스템 구동을 위해 쓰이는 전기는 전체 전력 소모량의 34%에 불과하고, 나머지 66%는 시스템의 열기를 식히는데 사용된다. 쿨링시스템의 효율을 50%로 가정한다면, 데이터 센터의 전력시스템효율은 약 50%이하로서 매우 저조함을 알 수 있다.<sup>[3]</sup>

따라서 IDC내에 발생하는 열기를 효율적으로 냉각할 수 있도록 서버를 재배치하거나 집중발열을 해결하는 모듈러 쿨링 방식을 개발하는 노력이 요구 된다. 그러나 이보다 더 중요한 것은 근본적으로 전력공급시스템의 변환 효율을 10%개선하면 IDC내에 열 발생이 10%줄어들어 50%효율의 쿨링시스템의 용량이 20%줄어드는 효과가 수반된다.

그림 1은 배전방식에 따른 전형적인 UPS 구조의 비교 모습이다. 현재 교류전원에서 전원사고가 발생할 경우, 주요한 디지털부하를 보호하기 위한 유일한 대책으로는 전력저장장치의 에너지를 사용하여 보조전원(UPS)으로 백업하는 것이다. 배터리를 포함한 대부분의 전력저장장치는 직류형태로 되어 있으므로, 보조전원은 평상시 정류기를 사용하여 전력저장장치에 직류에너지를 축적하고 교류전원에 고장이 발생하면 즉각 적으로 직류형태로 저장되어 있던 배터리의 저장에너지를 사용하여 인버터로 교류형태로 바꾸어 백업운전을 하여야 한다. 이러한 2단계의 전력변환과정에서 통상적으로 약 30%의

Paper number : TKPE-2012-17-1-5

<sup>†</sup> Corresponding Author : hyoskim@kongju.ac.kr, Div. of Electrical, Electronic and Control Eng., Konju University

<sup>1</sup> Dept. of Electrical, Electronic and Control Eng., Konju University

Manuscript received Sep. 9, 2011; revised Dec. 2, 2011

— 본 논문은 2011년 전력전자학술대회 우수추천논문임

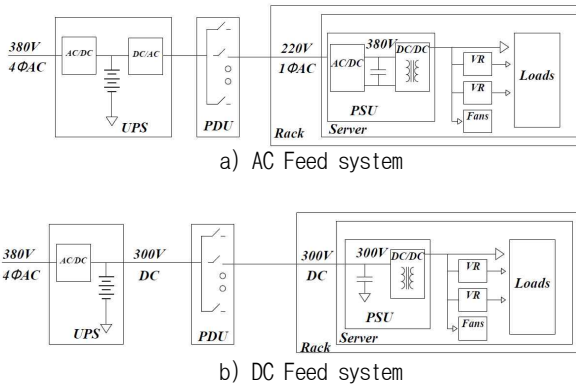


그림 1 배전방식에 따른 전형적인 UPS 구조의 비교  
Fig. 1 Comparison to output feeding voltage type according to output feeding voltage type



그림 2 IDC test bed의 외관  
Fig. 2 Photo of IDC test bed

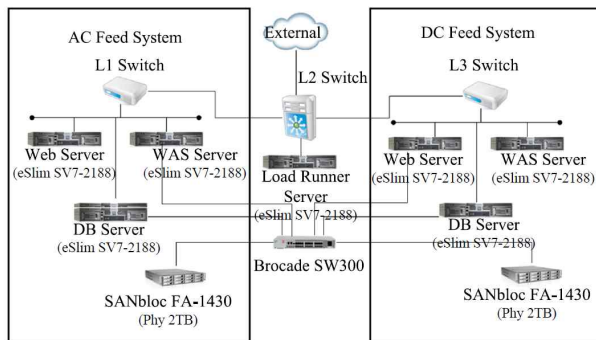


그림 3 IDC test bed의 서버 부하 배치 개념도  
Fig. 3 Concept of server load deployment in IDC test bed

에너지 손실이 발생하게 되며, 전력변환기 자체의 신뢰성이 추가적인 문제로 남는다.<sup>[4]</sup>

직류전원의 경우 전압사고가 발생할 경우 회로의 절체 동작이나 전력을 변환하는 어떤 과정도 거치지 않고, 전원과 동일한 직류형태로 저장되어있는 배터리 등의 전력저장장치만을 사용하여 전력을 연속적으로 공급할 수 있다.<sup>[5]</sup> 따라서 2단계의 전력변환과정이 생략됨으로써 전원계통의 효율과 신뢰성이 크게 개선된다고 할 수 있다.<sup>[6][7]</sup>

표 1 AC Power Supply의 사양

Table 1 Electrical specification of the DC Power source

항목		규격
입력	정격 전압	3상 4선 380VAC
	변동 범위	정격 전압±10%
	주파수 변동 범위	60Hz ±5% 이내
직류출력	정격 전압	단상 220Vac <sub>rms</sub>
	정격 전류	45A
	과전류 제한	90% 이상
	출력 전압 안정도	±3% 이내
	전압 변동 범위	200 ~ 220 V
최대 효율		89%

표 2 DC Power Supply의 사양

Table 2 Electrical specification of the DC Power Source

항목		규격
입력	정격 전압	3상 4선 380VAC
	변동 범위	정격 전압±10%
	주파수 변동 범위	60Hz ±5% 이내
직류출력	정격 전압	+300Vdc
	정격 전류	33.3A
	과전류 제한	100%~110%
	출력 전압 안정도	±1% 이내
	전압 변동 범위	266 ~ 302 V
최대 효율		95% 이상

본 논문에서는 데이터센터 내에 소규모의 직류배전시스템과 교류배전시스템을 구축하고 실제로 양쪽 배전시스템에서 동일한 운전 조건의 서버를 구동하는 조건에서 소모전력과 공급전력을 비교함으로써 실제적인 운전 효율을 비교 분석하였다.

## 2. 데이터센터 테스트 베드 실험

### 2.1 테스트 베드의 구성

그림 2는 본 연구에서 구축한 그린 IDC 테스트 베드의 외관이다. 그림 3은 양쪽 급전 시스템에 대한 비교연구를 수행하기 위하여 구축된 데이터센터 테스트 베드의 서버 부하 배치 개념도이다. 양쪽 급전 시스템에 3대의 서버가 각각 WEB server, WAS server 및 Storage server의 기능을 분담하여 수행하며 1대의 기억장치가 배치된다. 서버는 eSlim사의 SV7-2188 모델을 사용하였다.

서버의 실제 최대소비전력은 약 300W이다. 서버에 전력을 공급하는 PSU(Power Supply Unit)의 전력용량은 AC급전의 경우 600W이고 DC급전의 경우 400W이다. 기억장치는 SANbloc FA-1430을 사용하였다.

로드런너는 양쪽 급전시스템에 설치되어 있는 각각의 서버들에게 동일한 작업을 부과시켜서 1일의 작업을 수행함으로써, IDC의 실제 운전상황에서 양쪽 급전시스템에서의 전력소비를 분석할 수 있도록 한다.

표 1은 교류전원의 전기적 사양을 보인다. 교류전원은 220Vrms의 공칭전압을 갖는 교류전압을 출력하며 전력용량은 직류전원과 동일하게 10kW이다. 교류전원의 최대 효율은 89%이다.

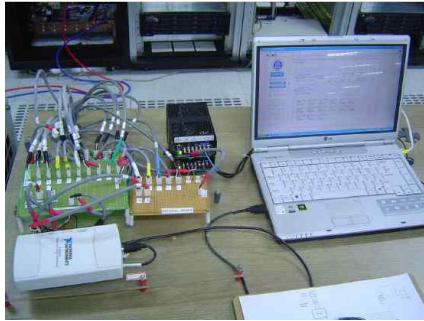


그림 4 LabVIEW를 이용하여 구축한 자료 처리 시스템의 외관  
Fig. 4 Photo of data acquisition and processing system by LabVIEW

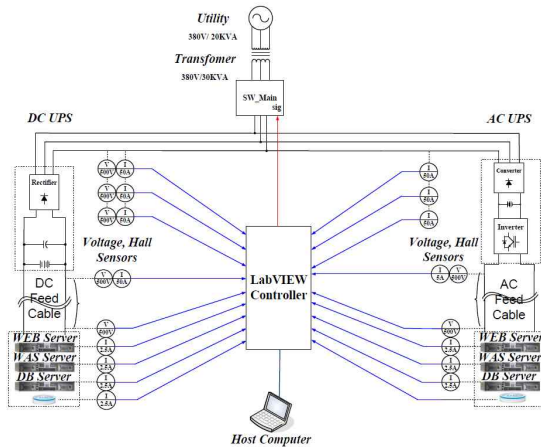


그림 5 LabVIEW를 사용하여 구축한 자료처리시스템의 구성도  
Fig. 5 Diagram of data acquisition and processing system by LabVIEW

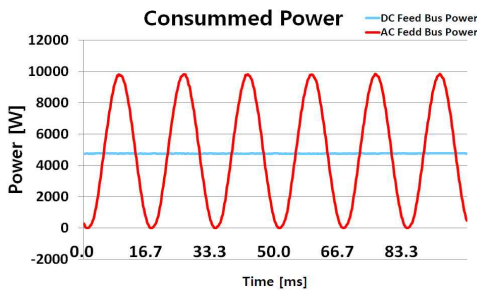
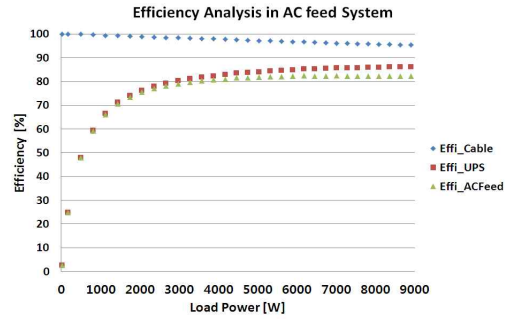


그림 6 저항부하조건에서 feed Bus측 순시전력 파형  
Fig. 6 Instantaneous power at feed bus in resistive load condition

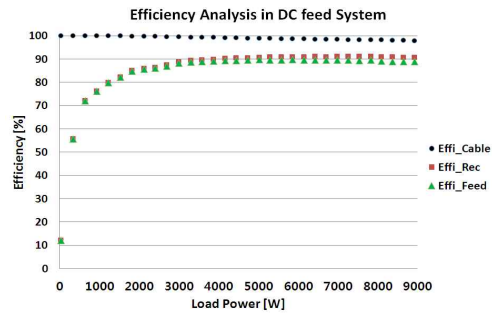
표 2는 직류전원의 전기적 사양을 보인다. 직류전원은 300Vdc의 공칭전압을 갖는 직류전압을 출력하며 전력용량은 10kW이다. 적용된 직류전원 제품의 제조사 측정에 의한 DC 전원의 최대효율은 95%이다.

## 2.2 전원 효율 측정

전체 급전시스템의 효율을 산출하기 위하여 교류전원 및 직류전원의 개별적인 효율을 측정하였다. 측정 시험방법은 저항부하기를 교류전원 및 직류전원에 각각



a) AC Feed system



b) DC Feed system

그림 7 feed Bus측 소비전력에 따른 효율 분석  
Fig. 7 Efficiency at feed bus in resistive load condition

접속하여 각각의 전원에서 입력되는 유효전력과 소비되는 전력을 비교하였다.

그림 4는 LabVIEW를 사용하여 구축한 자료처리 시스템의 외관을 보인다. 그림 5는 LabVIEW를 사용하여 구축한 자료처리시스템의 개념도를 보인다.

LabVIEW계측장비는 1초에 6,000번의 샘플링을 통하여, 교류 한 사이클 중 100개의 데이터를 샘플 한다. 이러한 방식으로 전압과 전류를 실시간으로 샘플 하여 순시전력을 구하고 시간평균법에 의해 유효전력을 계산한다. 이렇게 취득한 데이터를 가지고 양쪽 급전시스템의 전원출력전력을 1초마다 호스트 컴퓨터에 송출하여 자동 저장하도록 한다. 저장된 데이터는 추후에 엑셀프로그램으로 분석할 수 있도록 텍스트 파일로 되어있다.

그림 6은 저항부하기를 연결하였을 때, 부하에서 소비되는 순시전력의 파형을 보인다. 직류급전시스템의 순시전력은 깨끗한 직류파형이지만 교류급전시스템의 순시전력은 평균전력을 중심으로 120Hz로 진동하는 교류파형인 것을 볼 수 있다. 양쪽 급전시스템의 순시전력의 평균값인 유효전력이 같다고 한다면, 교류급전시스템의 경우 동일한 유효전력을 공급하기 위해서는 직류급전시스템에 비하여 2배의 순시전력 공급 능력이 확보되어야 함을 알 수 있다. 이는 교류급전시스템의 전원설비용량이 그만큼 증가됨을 의미한다.

그림 7은 저항부하기의 소비전력에 따른 각 급전시스템의 전원과 100m 급전케이블을 합한 전체 급전시스템의 효율곡선을 분석한 그래프이다. 본 논문에서는 케이블에서의

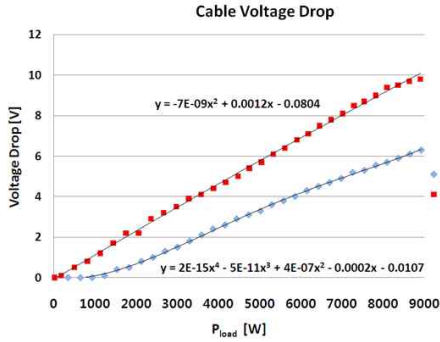


그림 8 feed Bus측 소비전력에 따른 feed cable의 전압강하  
Fig. 8 Voltage drop on feed cable in resistive load condition

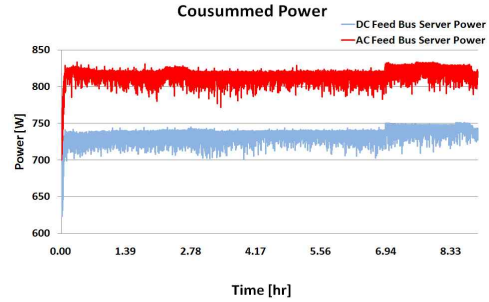


그림 11 로드러너 제어에 의한 테스트베드의 운전시 feed bus입력단 유효전력 프로파일

Fig. 11 Acitive power profile at feed bus in server operation by Load Runner

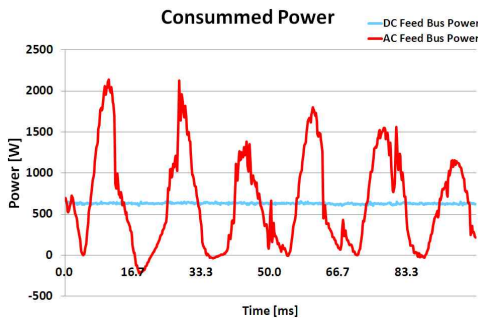


그림 9 feed Bus측 무부하시의 순시전력 파형  
Fig. 9 Instantaneous power at feed bus in no-operation server load condition

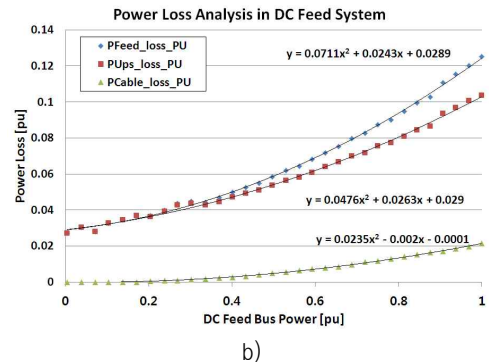
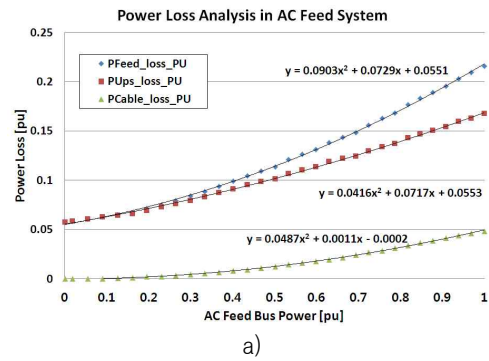


그림 12 feed bus power을 기준으로 한 퍼유닛 손실전력 곡선

Fig. 12 Per Unit loss function against dissipated power

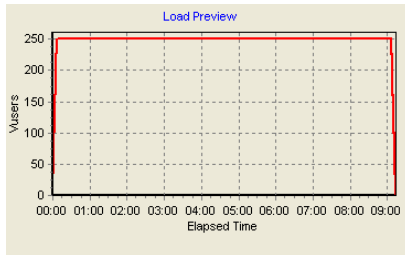


그림 10 로드러너의 가상사용자 프로파일  
Fig. 10 Artificial user profile commanded by Load Runner

전력소모 및 전압강하현상을 분석하기 위하여, 의도적으로 전원출력단으로 부터 부하까지 100m길이의 급전케이블을 추가적으로 포설하였다. 직류급전시스템의 전체효율은 90%정도이고, 교류급전시스템의 전체효율은 최대 86%정도로 측정 되었다.

그림 8은 저항부하기의 소비전력에 따른 각 케이블에서의 전압 강하량을 분석한 그래프이다. 같은 굵기의 케이블에 대하여 교류급전시스템에서의 전압강하가 직류급전시스템의 비하여 약 1.5배 높다. 이는 같은 부하소비전력에 대하여 교류급전시스템에서의 전류가 직류급전시스템의 경우 보다 크고, 교류의 경우 도체에서의 스킨효과도 영향을 주어서 전압강하를 증대시키기 때문인 것으로 분석된다.

### 2.3 부하 실 운전에 따른 전원 효율 측정

데이터센터 테스트베드에 설치되어 있는 전원은 10kW출력용량이며, 서버부하는 최대 1.2kW이므로 전원의 입장에서는 10%정도의 부하밖에 걸리지 못한다. 따라서 전 부하 운전영역에서 전체 급전시스템의 효율을 측정하기 위해서 전원의 손실과 서버부하의 소비전력을 퍼유닛 단위로 표현하여 계산한다.<sup>[8]</sup>

그림 9는 무부하시의 소비되는 순시전력 파형이다. 직류급전시스템의 경우는 약 610W 정도의 일정한 크기의 순시전력이 소비되는 반면 교류급전시스템의 경우는 최대값이 약 2,000W로 맥동하는 형태의 순시전력이 소비된다.

그림 10는 본 연구에서 적용된 로드러너의 가상사용

자 프로파일이다. 프로파일은 데이터센터에서 실제로 운영되는 서버부하를 모사하는 기능을 갖는다.

로드런너의 가상사용자는 실제 사용자가 데이터센터의 서버부하와 같은 운전조건을 만들어준다.

그림 11는 로드런너 제어에 의한 테스트베드 서버의 운전시 서버 및 스토리지에서 소비되는 유효전력 프로파일이다. 같은 작업을 수행하는 부하조건임에도 불구하고 교류급전시스템에서의 소비전력이 직류급전시스템에 비하여 전반적으로 크다는 것을 볼 수 있다.

그림 12는 급전전원의 부하에 따른 손실전력을 퍼유닛 단위로 구성한 곡선이다. 퍼유닛 손실곡선은 2차 다항식의 함수로 표현함으로써 임의의 서버 측 소비전력에 따른 급전전원의 손실전력을 산술적으로 산출할 수 있다. 실제로 케이블의 길이는 시스템 구성에 따라 다를 수 있으므로, 퍼유닛 손실함수를 사용하면 임의의 다양한 케이블 길이를 갖는 조건에서 효율을 구할 수 있다.

각 급전시스템에서 손실전력의 퍼유닛 산출식은 다음과 같다.

AC UPS의 100m케이블의 손실전력:

$$puLoss=0.0487 \times (puLoad)^2 - 0.0011 \times (puLoad) + 0.0002 \quad (1)$$

AC UPS에서의 손실전력:

$$puLoss=0.0416 \times (puLoad)^2 - 0.0717 \times (puLoad) + 0.0553 \quad (2)$$

AC UPS와 100m케이블에서의 손실전력:

$$puLoss=0.0903 \times (puLoad)^2 - 0.0729 \times (puLoad) + 0.0551 \quad (3)$$

DC UPS의 100m케이블의 손실전력:

$$puLoss=0.0235 \times (puLoad)^2 - 0.002 \times (puLoad) + 0.0001 \quad (4)$$

DC UPS에서의 손실전력:

$$puLoss=0.0476 \times (puLoad)^2 - 0.0263 \times (puLoad) + 0.029 \quad (5)$$

DC UPS와 100m케이블에서의 손실전력:

$$puLoss=0.0711 \times (puLoad)^2 - 0.0243 \times (puLoad) + 0.0289 \quad (6)$$

표 3은 각 급전시스템에서의 손실전력의 퍼유닛 산출식을 토대로 구한 전원운전효율 분석결과이다.

### 2.4 Power Supply Unit(PSU) 효율측정

표 4는 데이터센터 테스트 베드에 설치되어 있는 서버에 내장되어 있는 PSU의 사양을 나타낸다.

PSU의 효율 측정을 위해서는 그림 13에 보이는 것처럼 측정용 PSU의 출력단자에 각각 센서를 장착하여 기존 PSU와 교체 투입하여 서버를 운전한다.

그림 14는 로드런너 제어에 의한 서버의 9시간 운전시 WAS서버 내에 장착된 PSU의 입력 및 출력 유효전력 프로파일 이다. 로드런너에 의하여 같은 작업을 수행하는 조건임에도 불구하고 AC급전시스템에서의 PSU

표 3 feed bus입력단에서 본 전원운전효율  
Table 3 Efficiency comparison between two feed systems

		AC Feed System	DC Feed System
1.5kW base	Short Cable(1m)	83.16%	90.19%
	Long Cable(100m)	81.74%	89.44%

표 4 AC 및 DC PSU의 외관 및 사양  
Table 4 Specification of AC and DC PSU

	AC Sever PSU	DC Sever PSU
제조사	DELTA	아이디코리아
모델명	TDPS-600CB B	IDSDC400L-A1 B
입출력 사양	AC 90~264V / 600W	DC 230~330V / 400W
특성	- Active PFC - Pull-Bridge Converter with Synchronous Rect - Cooling Fan × 2 EA	- No PFC Circuit - NOVEL Two Switch Active clamp Forward with Diode Rect - Cooling Fan × 2 EA

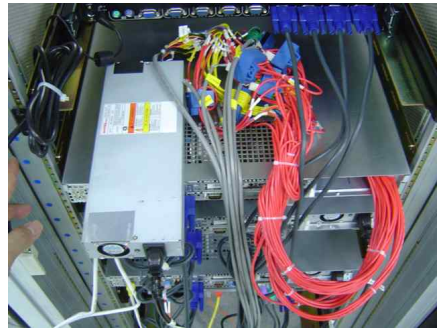


그림 13 측정용 Power supply unit(PSU)을 설치한 모양  
Fig. 13 Outside view of the specially modified PSU

입력측 유효전력이 DC급전시스템의 경우에 비하여 크다는 것을 알 수 있다.

서버의 PSU효율은 다음 식으로 정의 하였다.

$$\eta_{PSU} = \frac{\sum_{i=1}^3 E_{PSU}^{i, Totaloutput}}{\sum_{i=1}^3 E_{PSU}^{i, input}} \times 100 [\%] \quad (7)$$

표 5는 로드런너 제어에 의한 운전시의 교류급전시스템과 직류급전시스템에서의 서버 PSU의 평균효율이다. 직류급전시스템에서 서버의 PSU 평균효율은 약 83%정도인 것에 반하여, 교류급전시스템에서 서버의 PSU 평균효율은 약 72%정도로서 약 11%높은 것으로 측정되었다.

### 2.5 전체 급전시스템의 효율

전체 급전시스템의 효율을 구하기 위해 표 3에서 구

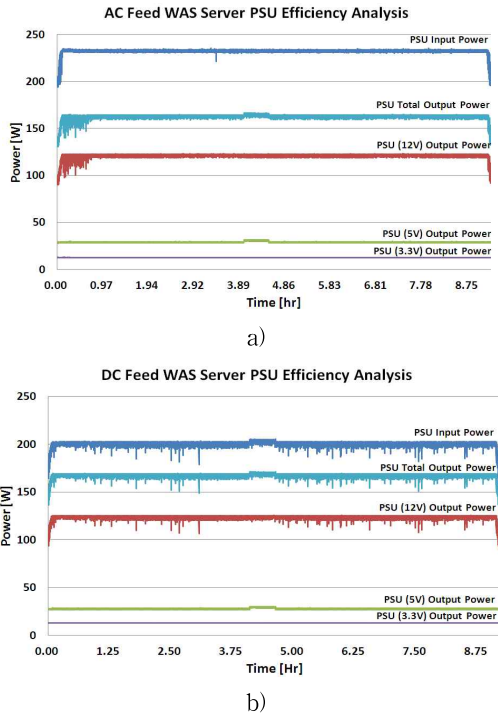


그림 14 로드런너 제어에 의한 WAS 서버의 운전시 PSU 입출력단 유효전력 프로파일 손실전력 분석  
 Fig. 14 Power analysis in PSU against server loads during 9 hours-operation

표 5 AC Sever 및 DC Sever PSU의 효율 측정 결과  
 Table 5 PSU Efficiency for the AC Sever and the DC Sever

	AC Feed System		DC Feed system	
	P <sub>input</sub> [Wh]	P <sub>Output</sub> [Wh]	P <sub>input</sub> [Wh]	P <sub>Output</sub> [Wh]
WEB Sever PSU	2,144.83	1,471.78	1,738.92	1,430.47
WAS Sever PSU	2,146.59	1,517.06	1,859.95	1,551.70
DB Sever PSU	2,144.92	1,645.34	1,954.43	1,635.37
Total	6,436.34	4,634.18	5,553.30	4,617.54
PSU Efficiency[%]	72.00		83.15	

표 6 전체 효율 측정 결과  
 Table 6 Efficiency comparison between two feed systems

		AC Feed system	DC Feed system
Sever PSU Efficiency[%]		72.00	83.15
Power Supply Efficiency[%]	100m Cable	83.61	90.19
	1m Cable	81.74	89.44
System Efficiency[%]	100m Cable	60.2	75.0
	1m Cable	58.9	74.4

한 값을 적용하며, 서버 PSU효율은 표 5에서 측정된 결과를 적용한다.

전체 급전시스템효율은 다음 식으로 정의 한다.

$$\text{전체급전시스템효율} = \text{전원효율} \times \text{서버PSU효율} \quad (8)$$

표 6은 전체급전시스템의 효율이다. 300V직류급전시스템의 효율이 220V교류급전시스템의 효율에 비하여 약 14.8~15.5%정도 향상되는 것을 알 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 전기 먹는 하마로 일컬어지는 데이터센터의 에너지효율을 높이기 위한 방법으로 기존 220V 교류급전계통에 대해서 300V직류급전계통을 제안하였다. 테스트베드를 구축하여 서버부하의 실 운전 조건에서의 모의실험을 통하여 각 급전시스템의 효율을 비교 분석하였다. 실험결과 300V직류급전계통은 220V교류급전계통에 비하여 운전효율이 약 15%정도 개선되며, 같은 케이블을 사용하는 경우 케이블에서의 전압강하는 50%정도 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 동일한 부하에 대한 순시전력의 분석결과 교류급전계통에 비하여 직류급전계통의 전원설비용량이 2배~3배 정도 줄어들 수 있음을 보였다.

이 논문은 2011년 교육과학기술부로부터 지원 받아 수행된 연구임(지역거점연구단육성사업/에너지 자립형 그린빌리지핵심기술사업단)  
 이 논문은 차세대 IDC 테스트 베드 연구 No.1003524 지원에 의하여 수행 되었음

### 참 고 문 헌

- [1] C.W.Gellings, M.Samotyj, "Electric Infrastructure to Power a Digital Society", *IEEE Power Engineering Review*, pp. 15-17, 2002, January.
- [2] 그린인프라와 그린웨어 기반의 차세대 IDC 테스트베드 구축, 2010년 지식경제부 그린/클라우드 컴퓨팅 R&D 성과 발표회, 2010년 11월.
- [3] Pratt, A, Kumar, P, Aldridge, T.V., "Evaluation of 400V DC distribution in telco and data centers to improve energy efficiency", *INTELEC 2007*, pp. 32-39, 2007, Oct. 4.
- [4] Giovanna Postiglione, DC Distribution System for Home and Office, Master thesis on Department of Electric Power Engineering, Gothenburg, Sweden, 2001.
- [5] 김효성, "직류(DC)배전과 회로차단기술", 전력전자학회 학회지, 제15권, 제5호, pp. 40-46, 2010.
- [6] John Humphreys, Jessica Yang, "Server Innovations: Examining DC Power as an Alternative for Increasing Data Center Efficiency and Reliability," IDC White Paper, pp. 1-7, 2004, IDC
- [7] 김만고, "[특집:통신용 전원기술] 통신용 직류전원 시스템", 전력전자학회 학회지, 제4권, 제5호, pp. 9-16, 1999.
- [8] N.Rasmussen, "Electrical Efficiency Modeling of Data Centers," APC White Paper #113, Revision 1, [http://www.apcmedia.com/salestools/NRAN-66CK3D\\_R1-EN.pdf](http://www.apcmedia.com/salestools/NRAN-66CK3D_R1-EN.pdf).



**김두환(金斗煥)**

1985년 2월 28일생. 2010년 공주대 전기전자 제어공학부 졸업. 2010년~현재 동 대학원 전기전자제어공학과 석사과정.



**김효성(金孝城)**

1958년 10월 20일생. 1981년 서울대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 충북대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1996년~1997년 일본 오카야마 대학 방문교수. 2000년~2001년 덴마크 Aalborg대학 방문교수. 2003년 12월~2004년 3월 독일 아헨대학 방문교수. 1987년~현재 공주대 전기전자제어공학부 교수.