

3[kW]급 가정용 직류/교류 Hybrid 급전시스템

이영진, 한동화, 최중묵, 김동현*, 김동진*, 최규하
건국대학교, 선광 LTI*

3[kW] DC/AC Hybrid Power Supply System in Domestic

Young-Jin Lee, D H Han, J M Choe, D H Kim*, D J Kim*, Gyu-Ha Choe
Konkuk University, Sun Gwang LTI*

ABSTRACT

Hybrid 급전시스템은 신재생에너지와 상용전원에서 전원을 공급받아 사용자에게 DC 및 AC 전력을 공급해주는 시스템으로 상용전원의 효율을 향상시키고 신재생에너지의 사용 편의성을 올리며 가정에 AC와 DC를 동시에 공급하는데 주목적이 있다. 본 논문을 통해 DC 및 AC 동시 배전을 위해 가정용 부하의 특성을 분석하고 시스템의 동작특성을 해석한다.

1. 서론

최근 디지털 제품의 이용량이 증가하는 가운데 DC배전 방식의 연구가 대두되고 있다. 기존의 AC 전원 공급 시스템은 각 기기에 AC로 전력을 공급해, 기기마다 장착한 AC 어댑터 등의 AC-DC 컨버터를 이용하여 DC로 변환하고 있다. 대부분의 경우 그 변환 효율은 80[%] 정도밖에 되지 않는데, 이것은 투입한 전력의 20[%]를 열로 낭비하기 때문이다. DC 전원 공급 방식은 디지털 제품의 AC-DC 변환 회수를 줄여줄 뿐만 아니라 고효율 변환을 통해 소비 전력도 절감할 수 있게 해준다. 지구 온난화에 대한 대응이 시급한 지금, DC 전원 공급 방식은 매우 효과적인 대책이 될 수 있다. 2009년부터 데이터센터에서 300~400[V]의 고전압 DC 전원 공급 방식을 도입하는 것을 시작으로, 2010년경부터는 태양전지의 보급과 함께 가정에서도 60[V] 이하로 도입이 진행될 것으로 예상된다. 본 논문에서 제시하는 Hybrid 급전시스템은 신재생에너지와 상용전원에서 전원을 공급받아 수용가에 전원을 공급해주는 시스템으로 상용전원의 효율을 향상시키고 신재생에너지의 사용편의성을 증가시키며 가정에 AC와 DC를 동시에 공급 가능한 시스템이다. 본 논문을 통해 AC/DC 하이브리드 배전 방식의 특성을 해석하고자 한다.

2. Hybrid 급전시스템의 특성

2.1 대기전력 손실저감

가정에서 텔레비전이나 전자레인지, 혹은 휴대전화 충전기, 컴퓨터 등을 전원만 연결해 놓아도 대기전력으로 전력이 소비된다. 하루 평균 20분 사용하는 비디오 경우, 전체 전력소비 중 80%를 대기전력 차지하는 것으로 추정된다. TV, VCR, 오디오, DVD플레이어, 셋톱박스, 컴퓨터, 프린터, 식기세척기, 어댑터

(직류전원장치· 교류 어댑터·휴대전화 충전기·전기 충전기) 등도 기기 본연의 역할을 수행하는 시간보다 전원에는 연결되어 있되 기능을 수행하지 않는 대기시간에 흘러보내는 전력이 더 많다. 보통 가정에서 사용하는 오디오 기기의 대기전력이 평균 9.1W로 조사됐으며 비디오, TV도 각각 5.5W와 4.3W로 나타났다. 프린터, 외장형 모뎀, 스피커 등을 모두 갖춘 컴퓨터 시스템에서 평균 12.8W의 대기전력이 소모된다. 이러한 대기 전력 손실을 DC전원 공급시 저감이 가능하다.

2.2 역률로 인한 손실감소

AC로 전력을 공급할 경우 역률에 따라 배전선에서 열로 소비되는 손실량이 변하며 같은 부하전력 전송시 동일한 피크치 DC전압일 때 DC배전 전류의 크기가 단상 AC배전전류의 크기보다 항상 작으며, 손실발생량 또한 역률에 무관하게 DC로 배전할 때 더 작다. 식(2)와 같이 DC 배전시 역률로 배전이 가능하기 때문에 배전선의 이용률을 높일 수 있을 뿐만 아니라 배전선에 발생하는 손실을 식 (3)과 같이 저감 할 수 있다.

AC 단상 2선식 선로발생 손실:

$$I_{ac} = \frac{P}{E \times \cos\phi}, \quad \Delta P_{ac} = 2rL I_{ac}^2 = 2 \frac{rL}{\cos^2\phi} \frac{P^2}{E^2} \quad (1)$$

여기서 P : 부하소비전력 I_{ac} : 부하전류
 $\cos\phi$: 역률 E : 상전압 실효치

DC 2선식 선로발생 손실:

$$I_{dc} = \frac{P}{U_{dc}}, \quad U_{dc} = \sqrt{2} E, \quad \Delta P_{dc} = 2rL \frac{P^2}{U_{dc}^2} \quad (2)$$

DC/AC 전류 비 및 손실 비 :

$$\frac{I_{dc}}{I_{ac}} = \frac{P}{U_{dc}} \cos\phi = \frac{\cos\phi}{\sqrt{2}}, \quad \frac{\Delta P_{dc}}{\Delta P_{ac}} = \frac{I_{dc}^2}{I_{ac}^2} = \frac{\cos^2\phi}{2} \quad (3)$$

2.3 전력변환장치에 의한 악영향 감소

기존의 AC 전원 공급 시스템은 기기마다 장착한 AC 어댑터 등의 AC-DC 컨버터를 이용하여 DC로 변환하고 있다. 대부분의 경우 그 변환 효율은 80% 정도밖에 되지 않으며, 또한 다이오드 정류과정에 발생하는 입력 측의 고조파 전류로 인해 다른 제품에 고조파 전압을 발생할 우려가 있으며, 이러한 고조파 전류로 인해 배전 전력의 역률을 좋지 않게 하여 부가적인

손실을 발생시킨다. 그림 1과 같은 Hybrid 배전방식은 DC전원으로 구동 가능한 디지털제품에 PWM 정류기와 재생에너지에서 발전된 전원을 공급 하므로 계통전류의 고조파를 감소시키며, 입력단의 정류기를 제거하여 소비 전력을 절감할 수 있다.

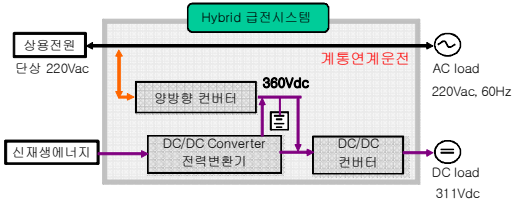


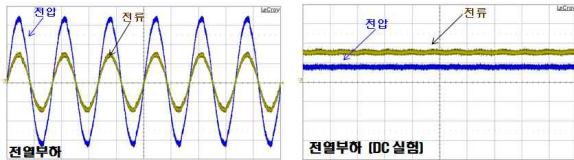
그림 1. 하이브리드 시스템 전체개요

3. 가정용 부하의 특성

DC/AC 하이브리드 배전시스템의 배전의 타당성을 검토하기 위해서 일반가정에서 사용되는 부하의 입력 전압 전류의 파형을 통해 부하의 특성을 조사하고 DC배전가능 한 부하 및 적당한 배전전압을 실험을 통해 확인하였다.

3.1 전열부하

전열부하는 가정에서 사용되는 다리미, 전기히터, 커피포트 등 순수 저항성 부하를 총칭하며, 그림2(a)를 통해 부하의 특성을 확인할 수 있다. 내부 전류제어를 바이메탈로 구성된 온도센서를 이용하기 때문에 DC 배전시 AC220[V]와 동일한 RMS 전압 DC220[V]를 인가해야 하며, DC 220[V] 공급시 정상동작이 가능하다.

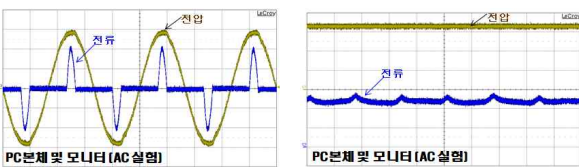


(a) AC 220[V] 입력 (b) DC 220[V]입력

그림 2. 전열부하 특성

3.2 디지털 부하

디지털 부하는 입력부에 AC-DC 컨버터를 이용하여 정류후 DC 전압을 강압하여 시스템을 구동하기 때문에 그림3(a)과 같이 입력측의 전류에 고조파가 발생한다. AC220[V]의 피크전압 311[V]와 동일한 DC전압을 인가하여도 시스템은 정상동작하며, 그림 3(b)와 같은 입력 전압 전류를 갖으며 동작한다. DC 전압 공급시 디지털 부하 입력단의 정류기를 제거 할 수 있어 시스템의 소비전력이 감소하며, 계통으로 발생하는 고조파 및 역률 저하 등의 악영향을 줄일 수 있다.

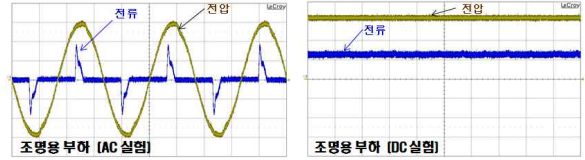


(a) AC 220[V] 입력 (b) DC 311[V]입력

그림 3. 디지털부하 특성

3.3 전등 부하

현재 상용화되고 있는 LED등의 전등부하는 AC-DC컨버터를 통해 계통 전압이 정류된 후 고주파수 AC전압으로 시스템이 구동된다. 전등 부하 역시 상용전원과 피크 값이 동일한 DC 311[V] 전압에서 구동되며 디지털 부하와 같은 구동을 갖는다.

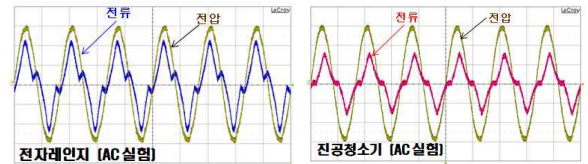


(a) AC 220[V] 입력 (b) DC 311[V]입력

그림 3. 전등부하 특성

3.4 전동기 부하

현재 상용화되고 있는 에어컨 및 냉장고는 컴프레서의 전동기 구동을 위해 AC전원을 바로 사용하기 때문에 그림4(a)와 같이 입력전류에 유도성의 전류 파형이 나타되며 전자레인지 역시 고전압 구동을 위해 AC전원을 변압기를 통해 승압하므로 그림4(b)와 같이 전류에 고조파가 발생한다. 전동기부하 및 변압기가 부착되어있는 부하는 DC전원을 인가할 수 없다.



(a) AC 220[V] 입력 (b) DC 311[V]입력

그림 4. 전동기부하 특성

3.5. DC 배전 전압

현재 상용화 되어 있는 제품을 구동하기 위한 적절한 DC전압은 기존 AC배전 전선의 규격과 전선에서 발생하는 손실을 고려해야 한다. 또한 배전 전압에 따른 가정용 부하의 소모전력 또한 고려되어야 할 사항이다. 일반가정의 실내 배전규격(AC 배전선 1.5mm², 20m) 에 맞게 설치 후 부하에 1[kW]전력을 공급할 때 DC 전압에 따라 배전선에서 발생하는 손실과 전압에 따른 디지털 부하 (노트북) 에서 발생하는 소모 전력을 고려하면, 그림5 에서 DC 110V 배전시 배전선에서 발생하는 손실이 약 68[W]이며 311[V] 배전시 손실이 약 10[W]로 58[W] 차이가 발생하지만, 그림6 에서 DC 입력전압에 따른 소비전력은 약 3~5[W] 차이로 별반 차이가 없다. 배전전압 선정시 최적 효율을 고려하여 본 연구에서는 DC 배전전압을 실험적인 방법을 통해 AC220[V]의 피크값에 해당하는 311[V]로 정하였다.

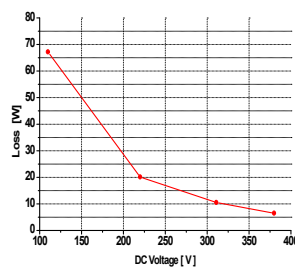


그림5. 전압에 따른 동손

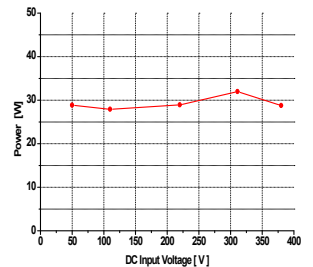


그림6.전압에 따른 부하손실

4. Hybrid 급전시스템 해석 및 시뮬레이션

급전시스템의 구성은 1[kW]급 연료전지용 컨버터(푸시풀컨버터)와 3[kW]급 양방향 인버터 그리고 DC 부하에 적정 전압(DC 311V)을 배전하기 위한 강압 컨버터로 구성되었다. 시스템은 DC부하의 전력에 따라 다음과 같이 3개의 전력흐름도로 나타낼 수 있으며, 시뮬레이션을 통해 전력의 흐름을 확인한다.

4.1 경부하시(잉여전력 발생시)

경부하시 또는 잉여전력 발생 시 시스템의 전력흐름은 그림7과 같이 DC부하의 소비전력이 연료전지의 출력전력으로 모두 충당이 되고 남은 발전전력은 인버터를 통해 AC 부하로 공급되고 남은 에너지는 계통으로 회생한다.

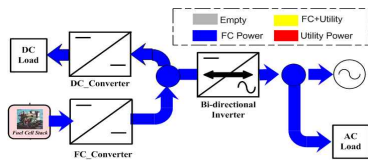


그림 7. 경부하시 전력흐름

4.2 정격부하시

정격부하시 그림 8과 같이 연료전지의 발전전력은 모두 DC부하에서 사용되고 AC부하에 필요한 전력은 계통과 연계되어 직접 공급받는다.

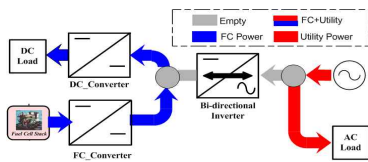


그림 8. 정격부하시 전력흐름

4.3 중부하시

DC부하에서 소비하는 전력이 연료전지에서 발전되는 전력보다 클 경우 부족한 에너지를 양방향 인버터의 정류과정을 통해 계통으로부터 공급받는다. 이때 AC부하에 필요한 에너지 또한 계통과 연계되어 바로 공급받는다.

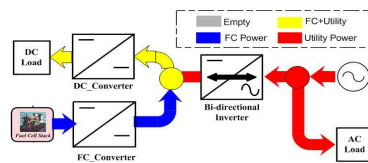
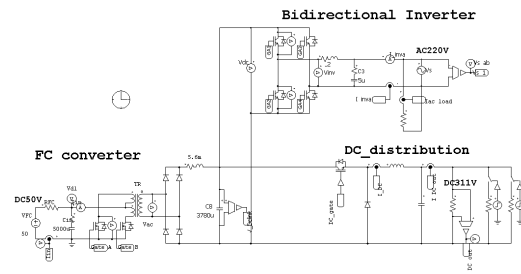


그림 9. 중부하시 전력흐름

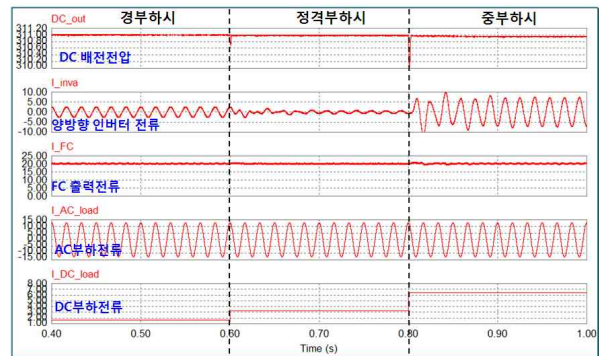
4.4 시뮬레이션

시뮬레이션은 PSIM 6.0 을 사용하였으며 DC부하의 소모 전력에 따른 DC배전전압, 인버터전류, 연료전지 출력전류, AC부하전류 그리고 DC 부하전류를 경부하, 정격부하, 중부하의 모드별로 시뮬레이션 과정을 그림 10을 통해 확인 할 수 있다. 연료전지용 컨버터에서 입력전류 제어를 통해 20[A] (1[kW])를 유지하며, DC부하의 용량에 따라 양방향 컨버터에서 인버팅

모드와 정류모드로 에너지를 AC부하와 DC부하에 공급한다. AC부하는 2[kW]로 세팅 하였다.



(a) 회로도



(b) 시뮬레이션 과정

그림 10. Hybrid 급전시스템 시뮬레이션

5. 결론

다가오는 디지털 부하시대에 DC배전은 시스템의 에너지 효율 향상 및 계통의 품질향상을 위해 도입되어야 할 과제이다. 본 논문에서는 DC/AC 하이브리드 배전을 위해 현재 상용화되고 있는 가정용 부하의 DC및 AC 전원에서 부하특성을 전열부하, 전등부하, 디지털 부하, 전동기 부하로 나누어 확인하였으며, 배전전압에 따른 배전선 손실 실험을 통해 적정 전압을 선정 한 후 시뮬레이션을 통해 전체 배전시스템의 동작을 해석하였다. DC배전을 통해 시스템의 효율 및 계통 측의 악영향 감소, 대기전력 감소, 배전선의 이용률 및 손실 감소 등의 장점을 확인할 수 있지만, 현재 DC 배전에 관한 신뢰할만한 규정이 미흡하며, 시스템의 접지, 보호, 그리고 과부하 방지 기술의 개발 및 검토가 향후 필요하다. 향후 이 부분을 보완하여 시뮬레이션 및 실험을 통해 전체시스템의 재확인이 필요하다.

이 논문은 에너지·자원 기술개발 지원 사업에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Daniel Nilsson, "Efficiency analysis of low- and medium-voltage dc distribution systems", IEEE and Ambra Sannino, Member, IEEE
- [2] K. Mizuguchi, S. Muroyama,, "A new decentralized DC power system for telecommunications systems," in Proc. IEEE International Telecommunication Conference INTELEC