

출력 리플전류 주파수에 따른 연료전지 수명 연구

김중훈*, 장민호**, 최준석***, 김도영***, 탁용석***, 조보형*
서울대학교*, 현대중공업**, 인하대학교***

The Life Analysis for the Influence of Output Ripple Current by Frequency applied in a PEMFC

J. H. Kim*, M. H. Jang**, J. S. Choi***, D. Y. Kim***, Y. S. Tak*** and B. H. Cho*
Seoul National University*, Hyundai Heavy Industries**, Inha University***

ABSTRACT

본 논문에서는 연료전지에 연결되는 부하가 어떠한 주파수 특성을 갖는 것이 바람직한지 알아보기 위해 출력 리플전류 주파수에 따른 연료전지 수명의 영향을 알아보았다. 전자부하를 통해 일정한 크기의 리플전류를 주파수대역을 바꿔가며 단위 셀에 인가하여 장시간 운전한 뒤 연료전지의 전압-전류곡선을 측정하였다. 측정된 전압-전류곡선을 통해 연료전지의 성능을 비교함으로써 어떠한 출력 리플전류 주파수가 연료전지 수명에 더 큰 영향을 주는지 확인하였다.

1. 서 론

세계 각국에서 환경오염에 관한 문제가 증가하면서 내연기관을 대체할 신재생 에너지로 연료전지에 관한 관심이 증가하고 있다. 연료전지는 수소와 산소가 반응하여 전기를 발생하는 장치로서 저렴한 연료비로 전기를 발생할 수 있기 때문에 가정용 또는 산업용 발전기로 계통과 연계해 사용된다.

연료전지를 계통에 연계해서 발전기로 사용할 경우 시스템의 특성에 따라 연료전지에 흐르는 전류의 주파수 특성이 달라진다. 연료전지의 출력을 50~60Hz의 상용전원으로 변환해 주기 위해서는 DC/AC 인버터를 사용해야 하는데 발전시스템에 따라 연료전지에 인버터를 바로 연결하는 구조(그림 1)와 DC/DC 컨버터를 거친 후 인버터에 연결하는 구조(그림 2)로 나눌 수 있다. 인버터를 연료전지에 바로 연결할 경우 상용전원의 특성에 따라 100~120Hz의 저주파 리플전류가 연료전지에 흐르게 된다. 반면에 연료전지와 인버터의 사이에 컨버터가 추가된 시스템의 경우 컨버터의 설계기준에 따라 수kHz에서 수십kHz까지 다양한 고주파의 리플전류가 연료전지에 흐르게 된다.

시스템의 구성에 따라 저주파에서 고주파까지 다양하게 변화하는 리플전류의 주파수는 연료전지의 성능과 수명에도 영향을 미칠 것으로 예상된다. 실제로 많은 연구 결과들이 저주파 리플전류가 연료전지로 유입될 때, 불필요한 연료소모가 증가하여 연료전지의 전반적인 효율 저하를 가져온다는 것을 보여 주고 있다[1]. 하지만 리플전류의 주파수가 연료전지의 수명에 어떠한 영향을 미치는지 연구되지 않았기 때문에 리플전류의 주파수가 연료전지의 효율에 미치는 영향만 가지고 어떠한 주파수의 리플전류를 인가하는 것이 바람직하다고 이야기할 수는 없다. 때문에 본 논문에서는 연료전지에 어떠한 주파수의 리플전류를 인가하는 것이 바람직한지 알아보기 위해 리플전류의

주파수가 연료전지의 수명에 어떠한 영향을 주는지 살펴보았다.

연료전지는 전기화학적 반응을 통해 전기를 발생하는 것이므로 연료전지의 수명에 관한 연구가 진행되기 위해서는 기존의 전기적 관점만으로는 불가능하고 화학적인 관점에서도 분석이 이루어져야 한다. 따라서 본 논문에서는 연료전지의 수명 연구를 위해서 연료전지 발전시스템에 따른 리플전류의 주파수를 고려한 전기적 실험을 진행하고 이에 대한 화학적 분석이 이루어졌다. 실험은 동일한 온도와 습도 환경에서 연료전지에 연결되는 리플전류의 리플의 크기와 평균전류를 동일하게 유지하고 주파수 특성만을 달리 적용하여 진행되었다. 전자부하를 이용하여 일정한 크기의 리플전류(10~30A, 20A 평균)를 3개의 주파수대역(100Hz, 1kHz, 10kHz)을 바꿔가며 단위 셀에 인가하여 장시간 운전(24h, 46h, 69h)한 후 연료전지의 전압-전류곡선을 측정하였다. 측정된 전압-전류곡선을 통해 연료전지의 성능을 비교함으로써 어떠한 출력 리플전류 주파수가 연료전지 수명에 더 큰 영향을 주는지 확인하였다.

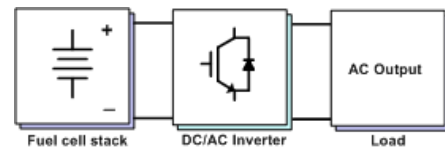


그림 1 인버터가 바로 연결된 연료전지 발전 시스템 구조

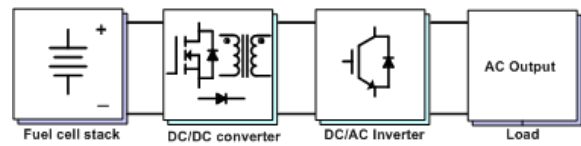


그림 2 컨버터가 연결된 연료전지 발전 시스템 구조

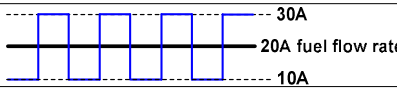
2. 저주파 리플 관련 연료전지 수명 분석

2.1 실험조건

동일한 출력 리플전류의 주파수에 따른 연료전지 특성을 알아보기 위한 실험 조건으로 출력전류의 평균은 리플전류가 모두 Ohmic region에 포함되도록 20A로 설정하였다. 연료전지에는 평균전류인 20A에 해당하는 수소와 산소유량만 공급한다. 보통 연료전지의 효율을 위해 반응에 필요한 수소량의 1.5배, 반응에 필요한 산소량의 2배를 입력하기 때문에 20A의 전류를 내기 위한 연료량을 공급할 경우 이 전류의 1.5배에 해당하는 30A까지 연료부족현상이 나타나지 않는다. 산소의 경우 수소에 비해 확산이 느리기 때문에 반응에 필요한 산소량의 1.2배에

해당하는 공급량 이하에서 부족현상을 일으키기 때문에 33.3A 까지 연료부족현상이 나타나지 않는다. 리플전류의 주파수에 따른 연료전지의 수명 특성을 알아보기 위해서는 연료부족현상이 일어나지 않아야 하고 실험시간을 단축하기 위해 연료부족 현상이 일어나지 않는 전류의 최대값인 30A까지의 전류를 리플전류로 설정하여 10A~30A의 전류를 전자부하를 통해 인가하였다. 이러한 전류리플 조건에서 연료전지에 인버터를 바로 연결하였을 경우와 컨버터를 연결하였을 경우를 가정한 세 주파수 조건 (100Hz, 1kHz, 10kHz)으로 연료전지에 리플전류를 흐르게 하여 장시간 운전 (24h, 46h, 69h)한 뒤 연료전지의 전압-전류 곡선 (Polarization curve)을 각각 측정하고 이를 비교하였다. 온도와 습도와 같은 환경적 요인에 따라 연료전지의 특성이 변할 수 있으므로 70°C, 100% 가습인 조건으로 고정하였다. 이러한 실험조건을 간단히 정리하면 표1과 같다.

표 1 실험조건

Fuel flow rate	20A 유량 (H ₂ 209ppm, O ₂ 668ppm)
Frequency	100Hz, 1kHz, 10kHz
Current	
Humidity	100% 가습 (70°C)
Operating time	24h, 46h, 69h

2. 2 실험결과

일반적으로, 연료전지의 전압-전류 곡선을 측정할 때, 동일한 전류에 따른 출력전압이 작은 경우 연료전지의 손상 및 노화를 의미한다. 동일한 출력 리플전류가 주어질 때 주파수에 따른 전압-전류 곡선을 측정하여 그림으로 나타내었다.

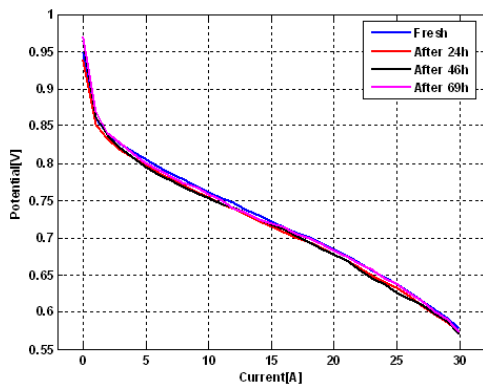


그림 3 전압-전류 곡선 그래프 (10kHz)

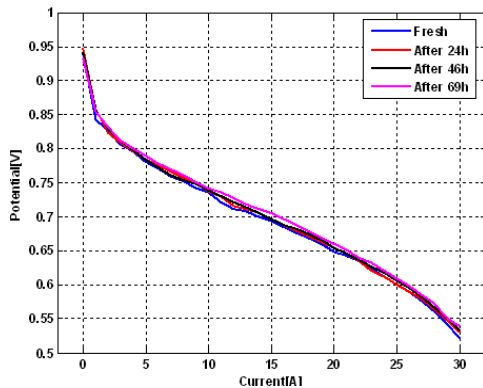


그림 4 전압-전류 곡선 그래프 (1kHz)

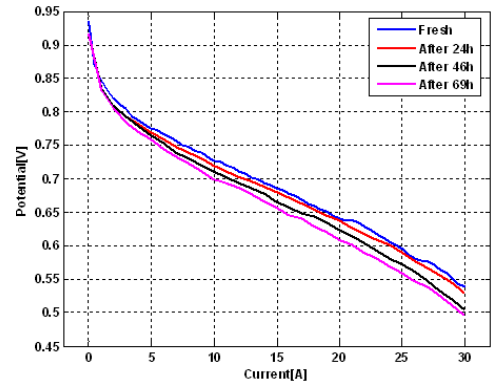


그림 5 전압-전류 곡선 그래프 (100Hz)

그림 3은 출력 리플전류가 24h, 46h, 69h를 10kHz에서 측정 한 전압-전류 곡선을 나타내고 있고 그림 4는 동일한 실험 조건으로 주파수가 1kHz에서 측정 한 전압-전류 곡선을 나타낸다. 고주파인 조건에서 장시간 운전할지라도 전압-전류 곡선에 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 반면에 그림 5는 동일한 실험 조건으로 주파수가 100Hz에서 측정 한 전압-전류 곡선을 나타낸다. 사용하지 않은 연료전지의 전압-전류 곡선과 비교할 때 장시간 운전할수록 전압-전류 곡선 그래프가 아래로 분포함을 알 수 있다. 이를 통해 저주파의 리플전류가 장시간 인가될 경우 고주파 전류리플에 비해 연료전지의 수명에 좋지 않은 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

저주파에서 연료전지가 노화되는 원인은 연료전지의 반응에 의해 생성된 물이 연료전지 밖으로 원활히 배출되지 못하여 수소 및 산소의 반응을 방해하는 flooding현상을 들 수 있다. 특히, 최근의 화학적 연구에서 저주파인 리플전류에서 이러한 flooding현상이 더 크게 나타난다는 것을 확인할 수 있다[2]. 이러한 flooding현상이 지속될 경우 물이 맺히지 않은 연료전지의 전극 표면에 전류가 집중되어 연료전지의 수명에 영향을 주는 것이라 생각할 수 있다.

3. 결 론

이 논문에서는 연료전지로 유입되는 출력 리플전류 주파수에 따른 연료전지 수명의 영향을 알아보았다. 측정 결과 저주파의 리플전류가 연료전지에 인가되는 경우 flooding 현상으로 인해 연료전지의 성능이 저하되었다. 이는 연료전지를 사용함에 있어 저주파보다 고주파의 리플전류를 이용하는 것이 연료전지의 수명에 있어 유리하다는 것을 나타낸다.

이 논문은 교육과학기술부/한국과학재단(R11-2002-102-00000-0)의 ERC 프로그램 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] Guillaume Fontes, Christophe Turpin, Stéphan Astier and Thierry A. Meynard, "Interactions Between Fuel Cells and Power Converters: Influence of Current Harmonics on a Fuel Cell Stack", *IEEE Trans. Power. Electron.*, vol. 22, no. 2, pp. 670-678, Mar. 2007.
- [2] Wajih Shireen, Rahul A. Kulkarni and M. Arefeen, "Analysis and minimization of input ripple current in PWM inverters for designing reliable fuel cell power systems", *J. Power Source*, vol. 156, no. 2, pp. 448-454, Jun. 2006.