내부 가습형 연료전지 스택의 출력전압 왜곡 보상 기법

구근완, 우동균, 주동명, 이병국*
성균관대학교 정보통신대학

Compensation for Output Voltage Distortion in Fuel Cell Stack with Internal Humidifier

Keun Wan Koo, Dong Gyun Woo, Dong Myoung Joo, and Byoung Kuk Lee*
College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문은 일부 내부 가습형 연료전지 스택에서 가습시 발생되는 출력전압의 단락현상을 해결하기 위한 다양한 방법들을 제시한다. 가습구간동안 배터리로부터의 전력을 활용하는 제어 알고리즘 적용 방법, 출력전압의 허용 범위를 만족시키기 위해 하드웨어적으로 보상하는 방법들을 제안하고 실험을 통해 그 효과를 검증한다.

1. 서 론

연료전지 시스템에 사용되는 연료전지 스택들 중 일부 저가형 내부 가습형 스택들은 가습을 위해 연료전지의 출력단을 단락시키는 동작을 한다. 이러한 단락현상이 발생하게 되면 연료전지 스택은 부하측으로 전원을 공급할 수 없게 되므로 이 구간동안 출력전압이 떨어지는 현상이 발생하게 된다. 이러한 현상이 주기적으로 반복되면 부하에 악영향을 미칠 수 있다[1,2].

따라서 본 논문에서는 내부 가습형 연료전지가 가습하는 구간동안 연료전지 시스템의 출력 전압이 순간적으로 낮아지는 현상을 보완하기 위한 보상기법들을 제안하고 실험을 통해 제안한 기법들의 타당성을 검증한다.

2. 본 론

2.1 내부 가습형 연료전지 시스템

휴대용 연료전지 시스템은 작은 부피 및 무게가 요구된다. 이를 위해 휴대용 시스템의 연료전지 스택은 별도의 가습기를 설치하지 않아도 되는 내부 가습형으로 선택하는 것이 일반적이다. 이러한 내부 가습형 연료전지 스택들 중, 일부 저가형 모델들은 가습 시 출력전압이 단락되는 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 그림 1의 연료전지 시스템에 적용되는 저가형 내부 가습형 연료전지 스택에 대해 고려한다. 이때 연료전지 스택의 사양은 표 1과 같다. 이 스택은 그림 2(a)와 같이 10[sec] 주기로 가습을 위해 스택의 출력단을 단락시킨다. 그 단락 구간은 50[msec]이고, 단락 구간동안 연료전지의 출력전압은 순간적으로 낮아지게 된다. 이러한 단락 구간의 시간과 단락 주기는 연료전지 스택의 효율이 최대가 되도록 세팅한 값이다. 그림 2(b)는 표 1의 연료전지 스택이 그림 1의 시스템에 적용되었을 때의 실험 파형이다. 연료전지 출력단의 단락현상에 의해 시스템 출력전압이 크게 맥동하는 것을 확인할 수 있다.

표 1 스택의 사양
Table 1 specification of stack

연료전지 종류	PEM
내장 cell	48개
정격 출력	200[W]
정격 전압 및 전류	28[V]@7.2[A]
출력 전압 범위	26[V]~46[V]
가습	내부 가습형
정격 H2 소비	분당 2 8 [L]
시스템 효율	최대 파워 시 40% @ 28[V]

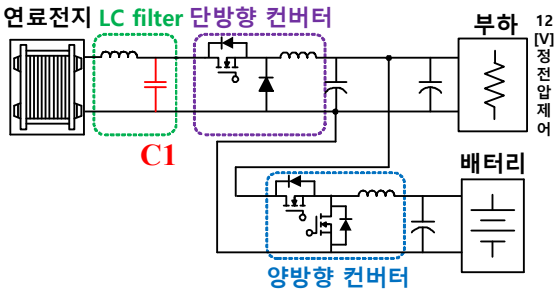
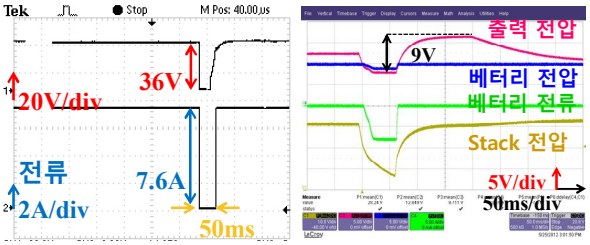


그림 1 연료전지 시스템
Fig. 1 연료전지 시스템



(a) 연료전지 출력파형 (b) 보상제어 전파형

그림 2 연료전지 스택 출력 파형
Fig. 2 Fuel cell stack waveform

2.2 연료전지 출력 전압 보상 기법

앞서 설명한 연료전지 출력 전압의 왜곡 현상을 보상하기 위한 방법으로는 하드웨어를 통해서 보상하는 방법과 제어적인 측면을 통해 보상하는 방법이 있다.

2.2.1 하드웨어를 통한 출력전압 보상

하드웨어를 통해 연료전지 가습 구간 동안의 단락 현상을

보상하기 위해서는 커패시터 C1에 저장된 에너지가 부하에서 요구하는 에너지보다 높아야 한다. 150[W]급 부하가 동작하고 있는 조건에서 단락 구간 50[msec]동안 부하의 손실을 고려한 필요 에너지를 J_{eff}라 하고 컨버터의 효율을 90[%]라고 가정하면, J_eff는 식 (1)과 같이 구해진다.

$$J_{eff} = W \times t/\eta = 150 \times 0.05/0.9 = 8.5[J] \quad (1)$$

시스템 출력 전압의 사양이 12V인 경우, 정전압 유지를 위해 입력측에서 공급해 주어야 하는 에너지를 J_{outV}라고 하면, 이는 식 (2)와 같이 구해진다.

$$J_{outV} = 0.5 \times C \times 12^2 \quad (2)$$

따라서 단락 구간 동안 시스템 출력전압을 유지하기 위해 요구되는 전체 에너지 J_{total}은 식 (3)와 같다.

$$J \quad (3)$$

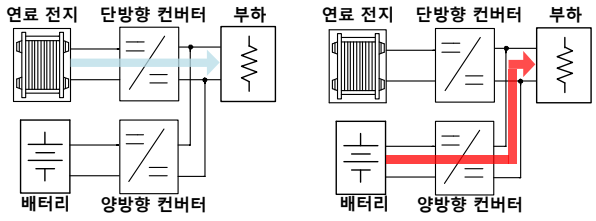
연료전지의 입력전압을 30[V]로 가정하여 커패시터의 용량을 산정하면, 단락 현상을 보상하기 위한 커패시턴스는 식 (4)와 같이 구해진다.

$$C = \frac{8.5 \times 2}{(30^2 - 12^2)} = 22.48[mF] \quad (4)$$

이러한 커패시턴스를 충족시키기 위해 전해커패시터를 사용할 경우 시스템의 부피가 커지고, 슈퍼커패시터를 사용할 경우 시스템 전체의 가격이 올라가는 단점을 가진다.

2.2.2 제어기법을 통한 출력전압 보상

배터리와 양방향 컨버터를 이용하여 제어적으로 출력 전압을 보상하게 되면, 시스템 입력측의 커패시터 부피를 줄일 수 있다. 시스템의 입력전압을 센싱 받아 단락구간에서 입력전압이 일정치 이하가 되면, 양방향 컨버터를 제어해 출력 전압을 보상하도록 하였다. 연료전지가 정상상태에 있을 때는 그림 3(a)와 같은 모드 1로 동작시키고, 연료전지의 가습 구간 동안에는 그림 3(b)와 같은 모드 2로 제어하여 시스템 출력 전압을 12[V]로 유지시켜 준다.



(a) 모드 1 (b) 모드 2

그림 3 시스템 운전 모드
Fig. 3 Operating mode

2.3 실험 결과

실험을 위해 그림 4와 같은 세트를 제작하였다. 세트는 연료전지의 출력을 부하로 전달하기 위한 단방향 벅컨버터, 배터리에 전력을 충·방전하기 위한 양방향 벅/부스트 컨버터, 두 컨버터를 제어하기 위한 컨트롤러, 스위치를 동작시키기 위한 게이트 드라이버, 단락 구간을 보상하기 위한 커패시터로 구성되어 있다.

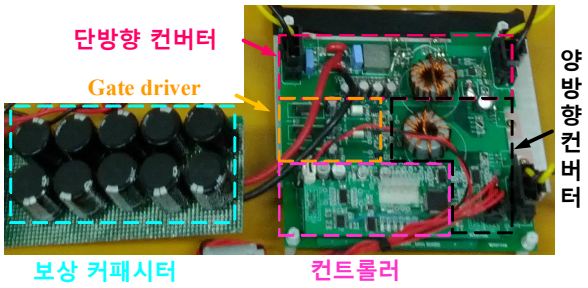
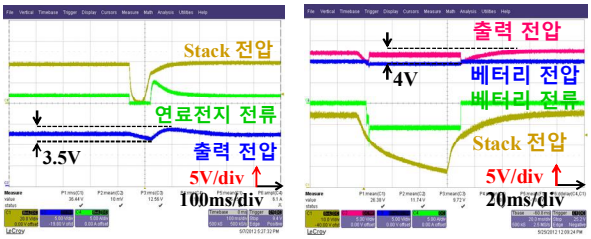


그림 4 실험 세트
Fig. 4 experiment set



(a) 커패시터 보상파형 (b) 제어기법 적용 보상파형

그림 5 실험파형 (60W 부하 조건)
Fig. 5 experiment waveform (60W load condition)

그림 5(a)는 커패시터를 이용한 보상기법을 적용하였을 때의 실험파형이다. 단락구간동안 출력전압이 서서히 감소하기는 하지만, 출력 전압의 맥동이 3.5[V]로 비교적 안정적인 전압 공급이 가능했다. 그림 5(b)는 제어기법을 통해 보상할 때의 실험파형이다. 단락현상을 감지하기까지 시스템 출력전압이 감소하지만 양방향 컨버터가 동작하는 시점부터는 단락구간에서 12V의 정전압 출력을 얻을 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 일부 내부 가습형 연료전지 스택 중 가습을 위해 출력단을 단락시키는 연료전지의 출력전압을 보상하기 위한 방법들을 제시한다. 제시된 방법 중 하드웨어를 통한 출력전압 보상기법의 경우 전체 리플을 3.5[V]까지 줄일 수 있으나 부피가 증가하는 단점을 가지고 있다. 반면에 제어기법을 통한 보상의 경우, 단락구간을 센싱하는 방법에 어려움이 있지만 단락구간동안 시스템 출력 전압을 정전압으로 제어 할 수 있다는 장점이 있다.

이 논문은 지식경제부 지원 하에 수행된 신재생에너지융합원천기술개발사업 (No. 20113010030020)의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

[1] 최홍기, "순간 전압강하 시 Voltage sag protector에 의한 전원회로 개선에 관한 연구", 충주대학교 석사학위 논문, 2008.

[2] N. G. Hingorari, "High voltage DC transmission : a power electronics workhors", IEEE Spectrum, vol, 33, no. 4, April 1996, pp. 63 72.