

연료전지 백업시스템을 위한 부하조절 및 고조파 보상장치

박태준*, 김태원*, 김승구*, 권병기**, 김재철***
 포항산업과학연구원(RIST)*, 포스콘(POSCON)**, 포스코파워***

Load leveler and harmonic compensator for fuelcell backup power system

Tae-Joon Park, Tae-Won Kim, Seung-Gu Kim, Byung-Gi Kwon, Jae-Chul Kim
 Research Institute of Industrial Science & Technology, POSCON, Posco Power

ABSTRACT

본 논문은 연료전지 발전출력을 이용해서 정전 시에도 연속적으로 부하에 전력을 공급하기 위한 백업 시스템을 구성하는데 있어 필요한 보상장치를 제안한다. 보상장치는 삼상 PWM 정류기와 Load Bank로 구성되어 있으며 다음과 같은 기능을 수행한다. 첫째, 보상전력에 해당하는 유효전력을 소비하는 역할을 한다. 둘째, 부하에서 발생하는 무효전력을 보상해서 역률을 개선하는 기능을 수행한다. 셋째, 삼상부하에서 언밸런스가 발생할 때 역상분 유효 또는 무효전력에 해당하는 성분을 보상하는 역할을 수행한다. 넷째, 비선형 부하에서 발생하는 고조파를 보상하는 역할을 수행한다. 상기 기능을 수행하기 위한 제어알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안한 보상장치의 우수성을 시뮬레이션을 통해 검증하였다

1. 서론

최근에 지구온난화와 석유에너지원의 고갈문제로 인해 대체 에너지 개발에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있고, 그 중 효율이 높고 시간과 주변환경 조건에 영향을 받지 않는 연료전지 시스템이 각광받고 있다. 대용량의 발전용 연료전지 시스템으로 현재 MCFC가 상용화 되어서 사용되고 있다. 상기 연료전지 시스템은 일반적으로 계통연계형이고 정전시에는 계통과 분리되어야 하며 독립적으로 운전할 수 있는 기능이 없다. 비상부하에 대해서 전력을 연속적으로 공급하기 위해서는 별도의 UPS설비가 필요하다. 제철소와 같은 장치산업에서는 정전시 비상부하에 전력을 공급할 수 있는 설비가 반드시 필요하다. MCFC 발전출력은 전기화학적 반응의 결과이기 때문에 부하중증 능력이 상당히 떨어지는 단점이 있다. 높은 연료이용률로 운전할때는 발전출력이 10초간 2.5%증가속도를 나타내고, 낮은 연료이용률로 운전할때는 4%증가속도를 나타낸다고 한다.^[1] 즉, 초당 1%미만의 출력전력 추종능력을 가진다. 따라서, 정전 발생시 계통의 버퍼가 없어지게 되면 발전용 연료전지시스템만으로 독립운전을 시키기 어렵다. 만약, 연료전지의 발전출력을 일정하게 유지하면서 부하변동에 따른 변동분의 전력을 보상할 수 있는 장치가 있다면 연료전지 시스템을 백업시스템으로 사용할 수 있게 된다. 아울러, 부하에서 발생하는 각종 고조파 성분을 억제할 수 있고, 삼상 불평형 문제를 해결할 수 있다면 이상적인 백업시스템을 구축할 수 있게 된다. 본 논문에서는 발전용 연료전지 시스템을 백업시스템으로 사용할 수 있게 하

는 보상장치에 대해 제안한다. 상기 보상장치는 삼상 불평형을 보상하는 기능과 무효전력을 감소시키는 역률보정 기능과 비선형 부하에서 발생하는 고조파 성분을 감소시키는 APF(Active Power Filter)기능을 추가로 가지고 있다. 본 논문에서 제안하는 보상알고리즘의 검증을 위해서 PSIM을 이용하며 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 제안된 보상장치

2.1 전체시스템 구성

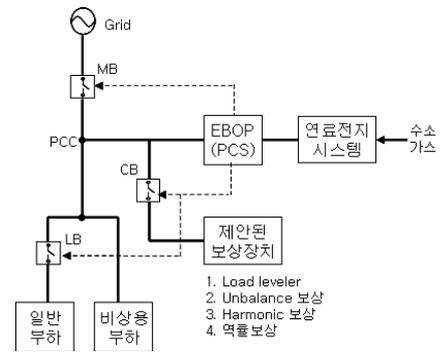


그림 1 연료전지 백업시스템 구성도
 Fig.1 Fuelcell backup system configuration

그림1은 연료전지 백업시스템의 구성도를 나타낸 것이다. EBOP는 정전유무를 감지하여 정전 발생시 MB, LB 차단기를 OFF시키고, CB 차단기를 ON시키는 접점신호를 발생시킨다. 동시에 독립운전을 위해 전압출력모드로 전환된다. 그림2는 연료전지 시스템의 운전패턴을 나타낸 것이다.

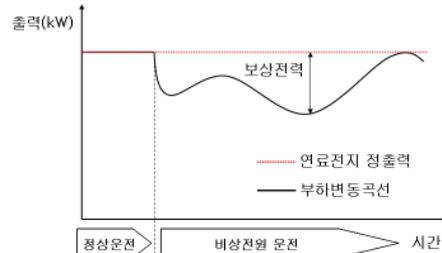


그림 2 연료전지시스템 운전패턴
 Fig.2 Operation pattern of fuelcell system

정상운전중에는 계통과 연계되어 있으므로 출력전력을 일정하게 유지하는 운전(CP모드)을 하다가 정전발생이 되면 전압 모드(CV모드)로 전환되기 때문에 부하변동에 따른 전력변동분을 연료전지 시스템이 감당해야 한다. 서론에서 언급했듯이 부하중능력이 없기 때문에 변동분의 보상전력을 소모하는 장치가 필요하다. 제안하는 보상장치는 변동분의 보상전력을 조절하는 Load leveler기능과 삼상 불평형을 보상하는 기능, 고조파 보상기능, 역률보정기능을 가지고 있는 다목적 보상장치이다.

2.2 제어알고리즘

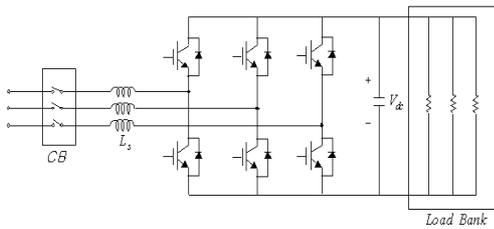


그림 3 제안된 보상장치 회로구성도

Fig.3 Circuit diagram of the proposed converter system

그림3은 제안된 보상장치의 회로구성도를 나타낸 것이다. 일반적인 삼상 PWM 정류기의 기본구조에 Load Bank를 추가한 회로이다. Load Bank 저항값은 아래식과 같이 구할 수 있다.

$$R_{bank} = \frac{V_{dc,max}^2}{P_{L,max}} \quad \text{식}$$

(1)

여기서 $V_{dc,max}$ 는 DC 전압의 최대값을 나타내고, $P_{L,max}$ 는 부하전력의 peak값을 나타낸다. 다시말해 $V_{dc,max}$ 을 넘지 않는 범위에서 Converter 출력전력을 $P_{L,max}$ 까지 제어할 수 있다는 의미이다. 그림4는 제안하는 알고리즘 블록도를 나타낸 것이다. 전력 레퍼런스 P_S^* 는 백업시스템으로 동작하기 위해서 부하전력의 peak값인 $P_{L,max}$ 보다 높은 전력이어야 하고 이는 EBOP와의 통신을 통해 지령치로 전달받게 된다. 보상장치는 부하변동에 관계없이 소스측에서의 본 전력 P_S^* 를 일정하게 유지하도록 즉 Constant 부하로 보이도록 제어하는 것이 목적이다. 상기 P_S^* 로부터 레퍼런스 전류성분은 아래식과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} I_{ar} &= I_S^* \cos \omega t \\ I_{br} &= I_S^* \cos(\omega t - 2\pi/3) \\ I_{cr} &= I_S^* \cos(\omega t + 2\pi/3) \end{aligned} \quad \text{식}(2)$$

여기서 $I_S^* = \frac{2}{3} P_S^* / V_{peak}$ 이고, V_{peak} 는 상전압 peak값이고 I_{ar}, I_{br}, I_{cr} 은 각각 상전류 레퍼런스를 나타낸다. 이상적인 정현파와 레퍼런스 전류에 불평형 또는 고조파 성분이 포함된 부하전류를 빼면 Converter에서 보상해야 하는 보상전류를 얻을 수 있고, 이를 dq변환해서 동기좌표계상의 벡터로 구하면 d축 전류 기준치 I_d^* , q축 전류 기준치 I_q^* 를 구할 수 있다. 복잡한 알고리즘을 거치지 않고서도 제안된 알고리즘만으로도 무효전력 보상 및 삼상 불평형 성분에 대한 보상 기준치와 고조파 성분에 대한 보상 기준치 모두를 얻을 수가 있다. 마지막으로 d축, q축 전류 기준치를 정확하게 추종하게 하는 전류 제어를 만든다면 원하는 기능을 모두 만족시키게 된다. 본 논문의 제어

기에 사용된 전류 제어알고리즘은 그림4의 하단에 나타난 응답속도가 우수한 Decoupled control 알고리즘을 적용하였다.^[2]

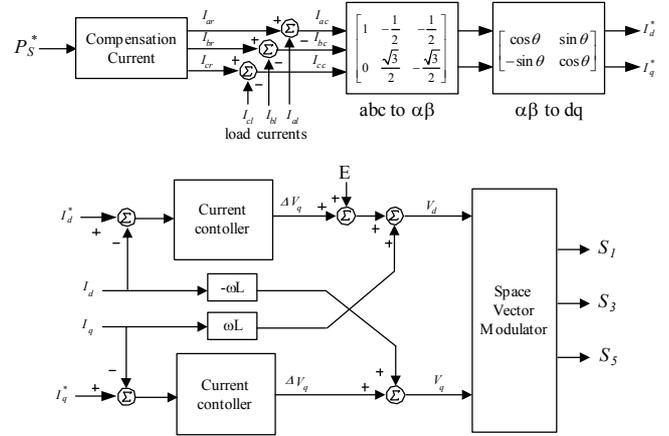


그림 4 제어 알고리즘도

Fig.4 Block diagram of the proposed control algorithm

3. 시뮬레이션 결과

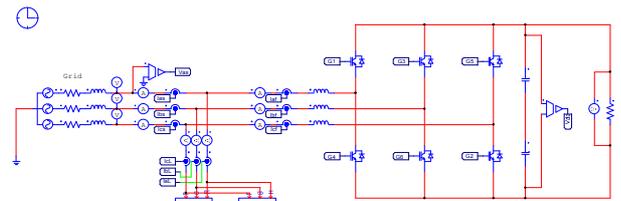


그림 5 제안된 보상시스템의 PSIM 모델

Fig.5 PSIM model of the proposed converter system

본 논문에서 제안된 보상장치 제어알고리즘의 타당성을 검증하기 위해 PSIM tool을 이용해서 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 모델은 그림5와 같은 회로에 사용된 각종 파라미터들은 아래와 같다.

- 1) Utility grid : 3 ϕ , 380V(선간전압), 60Hz
- 2) DC link capacitor : 4700uF
- 3) Converter inductor : 3mH
- 4) Switching frequency : 20kHz
- 5) Load Bank : 20 Ω , 선로 임피던스 : 10 m Ω +100uH

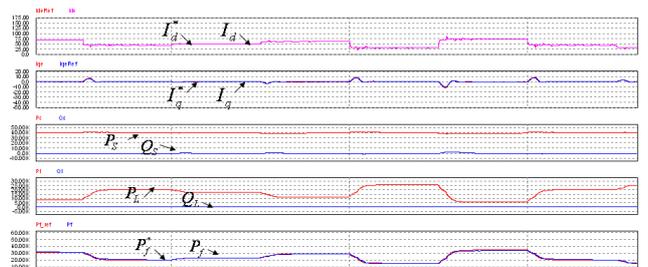


그림 6 부하변동시 Load Leveler기능 테스트 시뮬레이션 파형

부하전력 P_L 을 그림6과 같이 변동시켰을때 보상장치에서 변동분에 대한 보상전력 P_f 을 발생시켜서 소스단에서의 전력 P_S

는 항상 균일하게 제어됨을 볼 수 있다. 다시말해 백업시스템을 구성했을때 연료전지 발전출력을 일정하게 유지할 수 있다. 동시에, 역률보상기능이 동작해서 무효전력 Q_s 가 거의 0이 됨을 볼 수 있다. d축, q축 전류제어기의 지령치 I_d^* , I_q^* 와 실제값 I_d , I_q 를 각각 나타내었다. 그림7은 상기 부하변동 실험시에 각종 전류파형을 나타낸 것이다. 소스전류는 일정한 크기로 유지되고 동시에 삼상평형을 이루고 있음을 알 수 있다.

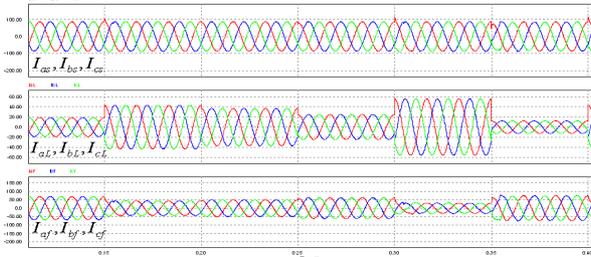


그림 7 부하변동시 소스전류, 부하전류, converter전류파형

그림8 불평형 부하발생시에 제안된 제어기가 동작할때의 d축, q축 전류제어 지령치 I_d^* , I_q^* 와 실제값 I_d , I_q 를 각각 보여주고 있고, 그림9는 실제 소스전류, 부하전류, Converter전류를 각각 나타내었다.

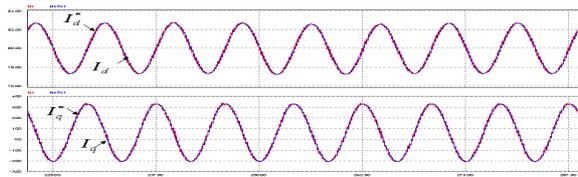


그림 8 불평형부하 보상기의 d,q축 전류지령치와 실제값

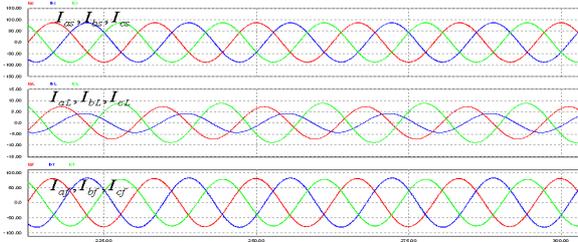


그림 9 불평형부하시 소스전류, 부하전류, converter전류파형

그림 10은 비선형부하를 인가시 발생하는 고조파 전류 나타내고 있고 Converter전류의 보상으로 소스전류가 정현파 전류가 됨을 볼 수 있다. 그림 11은 이때 부하전류와 소스전류를 FFT한 결과이다.

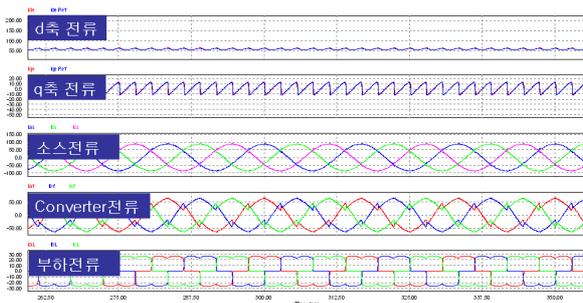


그림 10 비선형부하 인가시 소스전류, 부하전류, converter전류파형

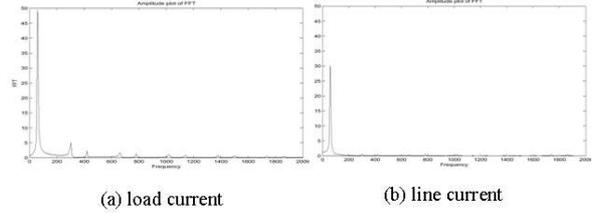


그림 11 비선형부하시 부하전류, 소스전류의 FFT파형

4. 결론

본 논문은 연료전지 발전출력을 이용해서 정전 시에도 연속적으로 부하에 전력을 공급하기 위한 백업 시스템을 구성하는데 있어 필요한 보상장치를 제안하였다. 보상장치는 삼상 PWM 정류기와 Load Bank로 구성되어 있으며 다음과 같은 기능을 수행한다. 첫째, 보상전력에 해당하는 유효전력을 소비하는 역할을 한다. 둘째, 부하에서 발생하는 무효전력을 보상해서 역률을 개선하는 기능을 수행한다. 셋째, 삼상부하에서 언밸런스가 발생할 때 역상분 유효 또는 무효전력에 해당하는 성분을 보상하는 역할을 수행한다. 넷째, 비선형 부하에서 발생하는 고조파를 보상하는 역할을 수행한다. 본 논문에서 제안한 보상장치의 우수성을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

참고 문헌

- [1] Wei He, "Operating Characteristics of a Molten Carbonate Fuel-cell Power-Generation System", Int.J.Energy, pp. 1331-1344, 1999, April.
- [2] G.Y.Jeong, T.J.Park, and B.H.Kwon, "Line Voltage Sensorless Active Power Filter for Reactive Power Compensation", IEE Proc., Vol. 147, No. 5, pp. 385-390, 2000, Sept.