

직류승압 방식의 발전용 연료전지 PCS 개발

김영우, 박준성, 최세완, 김태희*, 조진상*
 서울산업대학교, *(주)두산중공업

Development of Fuel Cell PCS with DC-DC Converter

Youngwoo Kim, Junsung Park, Sewan Choi, Taehee Kim*, Jinsang Jo*

Seoul National University of Technology, *Doosan Heavy Industries & Construction Corporation

ABSTRACT

기존의 발전용 연료전지 PCS에서는 DC-DC 컨버터가 없이 인버터만 있는 방식이거나 3상 부스트 DC-DC 컨버터에 인버터를 사용하는 방식이었다. 본 논문에서는 6상 부스트 DC-DC 컨버터와 인버터의 구성을 갖는 발전용 연료전지 PCS를 제안한다. 또한 PCS의 운전제어를 위해 제어기간에 CAN통신을 이용하였고 비상상황 발생 시 보호기능을 갖는다. 제안하는 발전용 연료전지 PCS는 시작품을 제작하여 기능과 성능을 검증하였다.

1. 서론

최근 MCFC 등 고온형 연료전지를 이용한 분산 발전시스템의 실용화가 진행됨에 따라 수백 kW급 이상의 대용량 PCS의 개발이 시급히 요구되고 있다. 발전용 연료전지 시스템은 주로 300kW급 연료전지 단위스택을 1대(단일스택 방식) 또는 2대(센터탭 방식) 연결하여 기본구성으로 하는데 센터탭 방식이 보다 높은 효율과 간단한 PCS 구성을 가능케 할 수 있는 장점이 있지만 두 대의 스택 중 한 대 고장시 전체 시스템이 정지되고 장시간 운전시 스택의 단자와 샤프트의 단락 가능성이 있어 이러한 점이 해결되기 전까지는 단일스택 방식이 채택되고 있다^[1].

또한 연료전지의 낮은 전압을 DC-DC 컨버터로 승압하는 직류승압 방식과 60Hz 변압기로 승압하는 교류승압 방식이 있는데 직류승압의 경우 별도의 DC-DC 컨버터 사용에 따른 소자수, 손실 및 부피가 증가되지만 인버터에 높고 안정된 전압을 공급하므로 인버터 및 이하 필터부의 부피감소와 및 효율증가가 가능한데 실제 주어진 사양에 대하여 교류승압과 직류승압을 각각 적용하여 설계한 후 예상되는 효율과 부피를 비교한 연구 결과^[2]에 의하면 교류승압 방식의 경우 큰 전류로 인하여 인버터 및 LCL 필터의 부피가 커서 전체 PCS의 부피는 오히려 직류승압 방식이 더 작은 것을 볼 수 있다. 더욱이 직류승압 방식은 360Hz 리플전류를 제거하기 위한 커패시터 용량이 감소되고 예기치 못한 역전류에 의한 연료전지의 손상을 DC-DC 컨버터가 구조적으로 막아줄 수 있는 장점도 있다.

본 논문에서는 단일스택을 기본구성으로 하는 직류승압 방식의 발전용 연료전지 시스템의 PCS 구성과 제어기법을 제안한다. 제안하는 PCS의 DC-DC 부스트컨버터는 다상의 인터리빙 기법을 적용하였으며 주어진 사양에서 최적의 상수와 그에따른 부스트컨버터의 병렬운전 제어기법을 선정하였다. 또한 인버터와 컨버터가 각각의 제어를 가지며 CAN 통신을 이용하여 별도의 상위제어를 거치지 않고 PCS의 운전제어를 하고 비상

상황 발생 시 각각의 프로세서가 비상상황을 검출하고 보호기능을 갖는다. 3kW 시작품으로 제안한 PCS 시스템의 기능과 성능을 검증하였다.

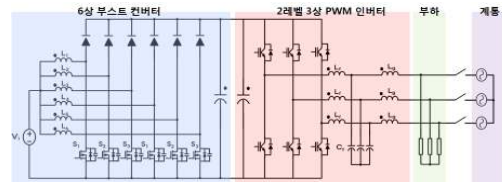


그림 1 제안하는 발전용 연료전지 PCS의 구성도

2. 본론

대용량 응용에서 단상 DC-DC컨버터를 적용 할 경우 소자의 큰 전류 스트레스로 인해 손실 및 부피가 커지 때문에 다상(Multi-phase)기법을 적용하는것이 유리하지만 응용분야와 출력 용량에 따라 최적 상수를 선정하는것이 중요하다.^[2]그림 1과 같이 6상 부스트 DC-DC 컨버터부와 3상 전압원 DC-AC 인버터를 각각 선정하였다.

DC-DC 컨버터 : 컨버터의 인덕터 설계방법에 따라 CCM(Continuous Conduction Mode)방식과 DCM(Discontinuous Conduction Mode)방식으로 나눌 수 있다. DCM방식은 ZVS가 가능해 스위칭 손실이 감소하는 장점이 있지만 인덕터 전류 리플 증가로 스위치 도통손실 및 전류 정격이 증가하는 단점이 있다. 연료전지 응용의 대전류 입력에서는 도통손실 비중이 크므로 인덕터 전류 리플을 감소하여 스위치 도통 손실을 감소시킬 수 있는 CCM 방식을 선정하였다. 또한 최대부하 효율을 고려하여 컨버터 상수는 6상으로 결정하였다.

다상 부스트컨버터 병렬운전시 각 상의 전류 불균형은 소자 스트레스 및 소자 정격을 낮아지게 만든다. 그림 2와 같이 Current sharing Bus(I_{cs_bus})를 이용하여 노이즈에 강하고 전압 레귤레이션과 과도응답이 좋은 Outer Loop Regulation 방법을 이용하였다.^[3] 그리고 Fault tolerance를 고려하여 각 상 전류를 비교해 가장 높은 전류를 I_{cs_bus} 로 선정하는 방법을 선정하였다.

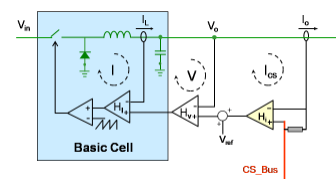


그림 2 6상 부스트컨버터 병렬 제어방법(Outer loop regulation)

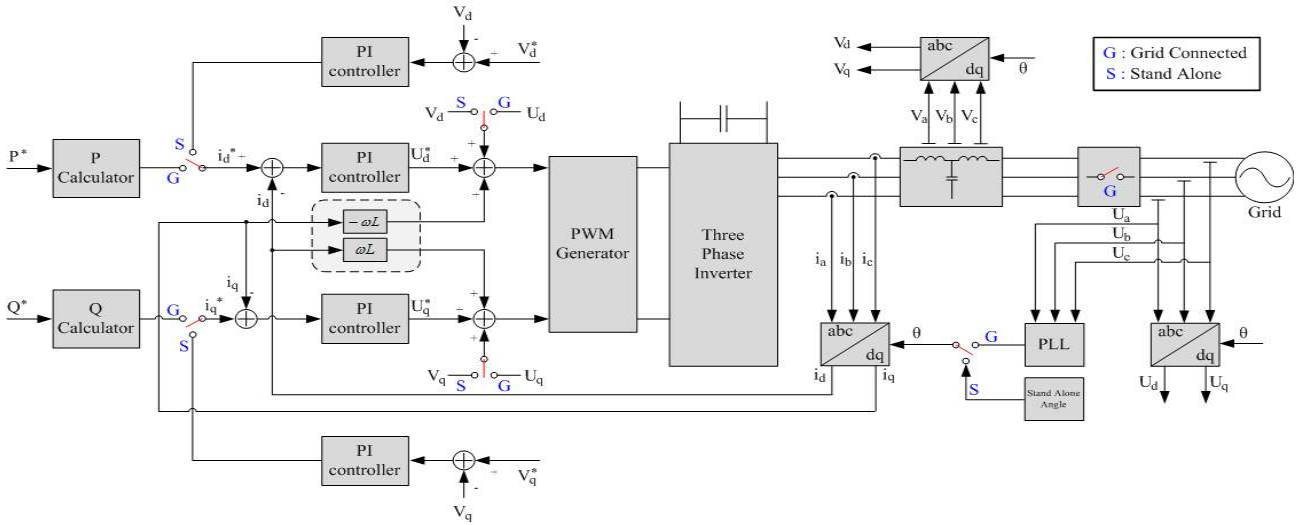


그림 3 3상 전압원 DC-AC 인버터 제어 블럭도

DC-AC 인버터 : 연료전지 응용에서 인버터는 독립부하 및 자체부하인 M-BOP에 전압과 전류를 제어하는 독립운전 모드와 계통에 주입하는 전류를 제어는 계통연계운전 모드 나뉜다. 각 모드에 따른 전압 및 전류 제어는 동기좌표계를 이용한 PI 제어기^[4]와 SVPWM을 사용하였다. 그림 3은 각 운전모드에 따른 제어 블럭도를 나타낸다.

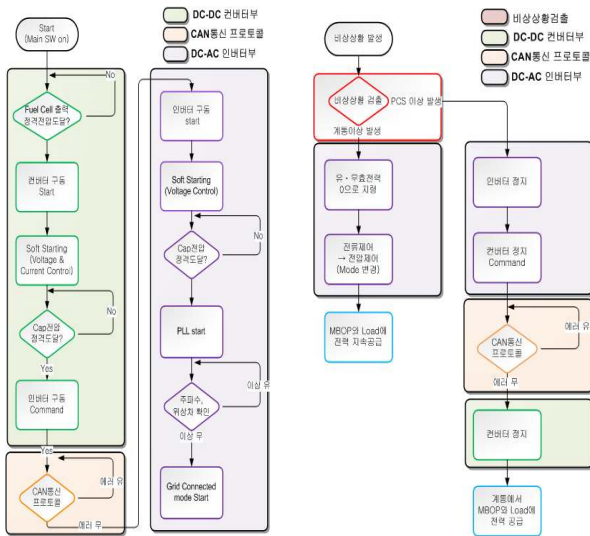
PCS 운전제어 시퀀스 : 제안하는 발전용 연료전지 PCS의 제어의 복잡성 및 제어를 구성하는 프로세서의 성능을 고려하여 인버터와 컨버터에 각각의 프로세서를 사용하였다. 전체 PCS의 운전제어를 위해 제어기간의 통신이 필요하다. 비동기 통신에서의 버스형 멀티포인트 방식으로는 RS-485와 CAN(Controller Area Network)있으며, CAN의 경우 RS-485 비해 전송속도와 전송거리가 다소 떨어지지만 하드웨어적으로 에러처리를 할 수 있는 장점 있어 CAN방식을 선정하였다. 그림 4는 CAN통신을 이용한 PCS 운전제어 시퀀스로 기동 시퀀스와 비상상황 발생에 따른 정지 시퀀스로 나뉜다.

보호기능 : 내부고장으로 인한 외부과급방지, 외부이상의 제거 및 연료전지시스템 자체의 보호를 위해 PCS가 안전하게 정지하는 기능은 필수적이다.^[5] 하지만 발전용 연료전지 PCS에 대한 성능인증기준이 마련되지 않은 상황이기 때문에 보호기능은 중대형 태양광 인버터 기술기준을 참고하여 만들었으며 연료전지에 대한 보호기능이 없기 때문에 KGS-A410를 참고하여 입력과전압 및 부족전압, 입력돌입전류, 출력과전류, 과온도상승에 대한 보호기능을 추가하였다.

3. 실험 결과

제안하는 발전용 연료전지 PCS 시스템의 성능과 검증을 위해 제작한 3kW 시작품은 그림 5와 같다. 설계사양은 다음과 같다.

- P = 3kW
- Vin = 200V
- Vdc = 450V
- VLL = 110V
- fs = 10kHz
- Lc = 15mH
- L = 1mH
- C = 7uF
- Lg = 0.5mH



(a) PCS 기동 시퀀스 (b) PCS 정지 시퀀스
그림 4 PCS 운전제어 시퀀스

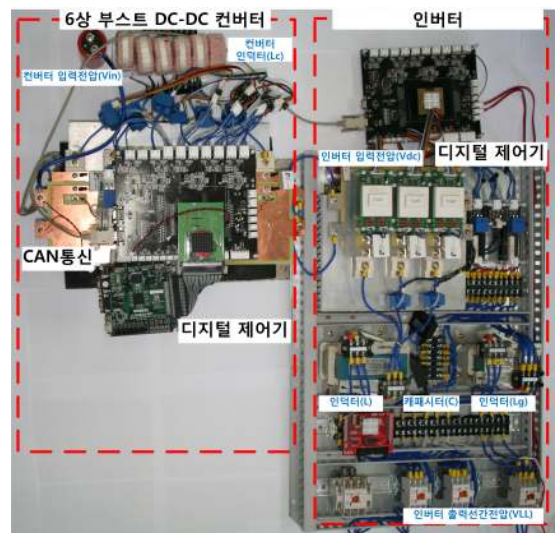


그림 5 3kW 발전용 연료전지 PCS 시작품

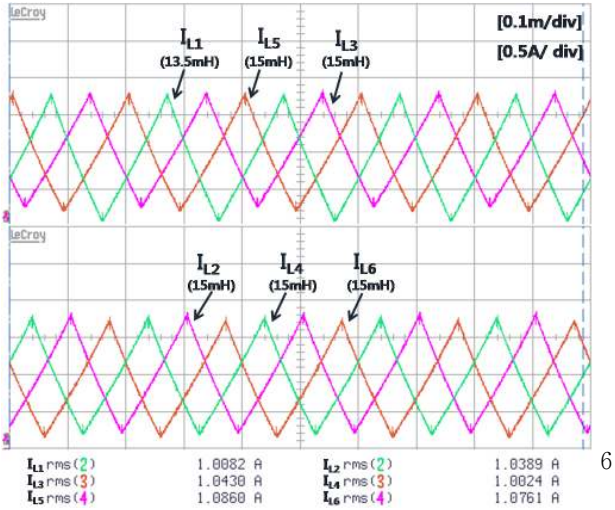


그림 6상 부스트컨버터 각 상 인덕터 전류

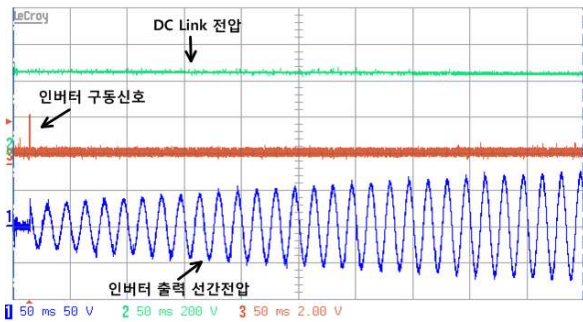


그림 7 제안하는 발전용 연료전지 PCS 초기기동 실험파형

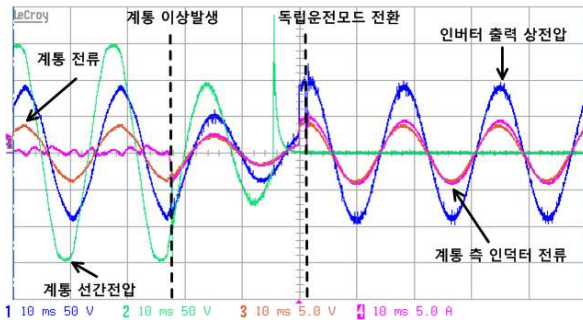


그림 8 계통 이상 발생시 운전모드 전환 실험파형

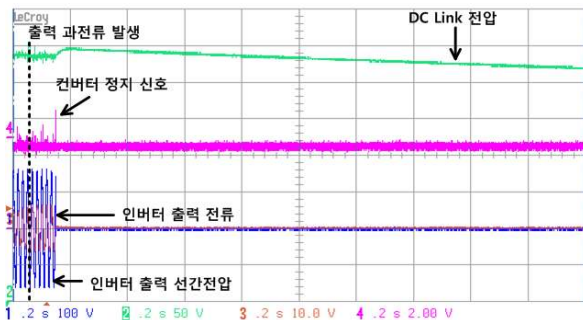


그림 9 출력과전류에 대한 보호기능 실험파형

6상 부스트 컨버터의 전류제어 확인을 위해 6개의 인덕터 중 하나의 인덕턴스만 다르게 설정된 상태이다. 각 상 전류가 8% 미만의 차이로 제어가 되는 것을 그림 6으로 확인 할 수 있다. 그림 7은 CAN통신을 이용한 PCS기동 시퀀스를 나타내고 있다. 그림 8은 PCS 정지 시퀀스 상황으로 계통에 이상이 발생 후 계통연계모드에서 독립운전모드로 전환하는 과정을 보여주고 있다. 그림 9는 보호기능으로 출력과전류가 발생한 상황에서 이를 프로세서가 검출하여 인버터는 구동정지와 함께 CAN통신을 이용해 DC-DC 컨버터 정지 신호를 보낸 후 DC-DC 컨버터 출력전압이 감소하면서 PCS의 운전이 정지하는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 6상 부스트 DC-DC 컨버터 선정 하였고 제어기간의 CAN통신을 이용하여 상위제어기를 거치지 않고 PCS의 운전제어 및 비상상황 발생 시 보호기능을 갖는 직류승압 방식의 발전용 연료전지 PCS를 제안 하였다. 시작품으로 성능과 기능을 검증하였다.

본 연구는 2007년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(No. 2007-N-FC12-P-01)

참고 문헌

- [1] 최세완, "발전용 연료전지 PCS 기술 및 개발 동향", 전력전자학회지, 제15권, 제1호, pp. 36-42, 2010년 2월
- [2] 박성식, 권준범, 최세완, 조진상, 김태희, "300kW급 발전용 연료전지 PCS의 부피저감을 위한 DC-DC 컨버터 최적 설계", 전력전자학회지 논문집, 2008. 6 pp. 329-331
- [3] J. Sun, "Dynamic Performance Analyses of Current Sharing Control for DC/DC Converters", Ph. D. Thesis, Department of Electrical Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State Univ., USA, 2007.
- [4] Frede Blaabjerg, Remus Teodorescu, Marco Liserre, Adrian V. Timbus, "Overview of Control and Grid Synchronization for Distributed Power Generation Systems", IEEE Trans. Power Electron, Vol. 53, pp. 329-331 OCT2006
- [5] 이정운, 서원석, 김영규, "가정용 연료전지시스템 계통연계형 전력변환장치의 보호기능 성능평가에 관한 연구" 한국신재생에너지학회, 춘계학술대회 2009. 6 pp. 341-344