

단일 컨버터 및 인버터를 사용한 연료전지-태양광 복합발전시스템의 새로운 전력제어 알고리즘 개발

김종수*, 최규영*, 고정민*, 이병국*, 이태원**
 성균관대학교 정보통신공학부*, 삼성전기 파워사업팀**

Development of Novel Power Control Algorithm Using Single DC-DC Converter and Inverter for Fuel Cell-Photovoltaic Hybrid System

Jong-Soo Kim*, Gyu-Yeong, Choe*, Jung-Min Ko*, Byoung-Kuk Lee*, and Tae-Won, Lee
 *School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University
 **Power Advanced Development Group, SAMSUNG Electro-Mechanics Co., Ltd

Abstract - 본 논문에서는 특성이 다른 두 에너지원인 연료전지와 태양광을 최적의 조건으로 복합발전할 수 있도록 새로운 단일 컨버터 및 단일 인버터 구조 및 전력제어 알고리즘을 제안한다. 제안된 회로 및 알고리즘의 타당성을 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통해 검증한다.

1. 서 론

에너지 및 환경문제에 대한 대안으로 관심을 받고 있는 다양한 신재생에너지원 중 태양광 (Photovoltaic, PV) 발전시스템은: 1) 무한/청정 재생에너지원을 이용하고, 2) 발전과정 중 공해물질 배출이 없으며, 3) 구조가 간단하여 상용발전용 뿐 아니라 휴대용기기 등 다양한 응용분야에 폭넓게 사용되고 있다. 그러나 이러한 PV 발전시스템은: 1) 발전효율이 상대적으로 낮고, 2) 환경조건에 제약이 매우 큰 간헐발전원이며, 3) 설치환경에도 제약을 받는 등의 단점을 가진다.

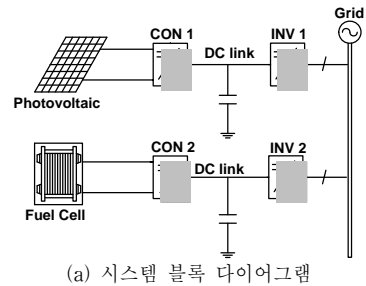
이러한 단점을 보완하기 위해서 최근 연료전지, 풍력, 디젤발전 등의 타 에너지원과 연계된 복합발전시스템 (Hybrid Power Generation System)에 대한 연구가 수행되고 있다 [1]-[3]. 이 중 도심이나 주거지역의 분산전원용으로 주목받고 있는 연료전지 (Fuel Cell, FC) 발전시스템은: 1) 발전효율이 40% 정도로 매우 높고 (열병합발전의 경우 약 80%), 2) 환경조건 변화에 자유로운 상시발전원이며, 3) 풍력이나 디젤 발전에 비해 소음이 매우 적어 설치환경에 대한 제약도 상대적으로 적은 장점을 가진다. 따라서 향후 가정이나 상업용 건물에 두 발전원이 복합으로 사용될 경우, 환경변화에 강한 발전시스템이 구현가능하고, 발전효율을 극대화시킬 수 있으며, 발전단가 저감이 가능한 등 상호보완적 발전이 가능해진다. 그러나 저전압 대전류 특성 및 고유의 비선형 동특성을 갖는 FC와 고전압 소전류 특성 및 최대전력추종 (Maximum Power Point Tracking, MPPT) 알고리즘이 요구되는 PV 발전장치의 전원 특성차이로 인해 전력변환기 (Power Conditioning System, PCS) 측면에서는 각 전원을 위한 독립적인 PCS가 필요하게 되어 실질적인 하이브리드 시스템 구현에 많은 어려움이 존재한다. 때문에 일반적으로 각 전원용 PCS를 독립적으로 사용해야 하는데, 이럴 경우 시스템 부피가 증가하고 시스템 이용률이 낮아지는 등의 단점을 가지게 된다. 반면 단일 PCS로 전력변환 할 경우 두 전원의 특성차로 인해 일반적인 제어 알고리즘으로 구현이 불가능하다.

따라서 본 논문에서는, 특성이 다른 두 발전원의 복합발전시스템 구성 시 단일 컨버터와 단일 인버터만을 사용하여 PCS를 구현하고, 이를 최대한 효율적으로 사용이 가능하게한 새로운 전력제어 알고리즘을 제안한다. 하이브리드 운영을 위한 일반적인 시스템 구조 및 제어방법과, 단일 인버터만 사용하고 DC-DC 컨버터는 병렬제어의 구조를 갖는 시스템 구조 및 제어방법, 그리고 논문에서 제안한 단일 컨버터와 단일 인버터의 구조 및 제어 알고리즘을 비교 분석하였다. 또한 제안된 회로 및 알고리즘을 더 정확히 평가하기 위하여 FC와 PV의 전원특성을 모델링하여 시뮬레이션 모델의 입력조건으로 사용하였다. 제안된 FC-PV 하이브리드 발전시스템의 구조 및 새로운 전력제어 알고리즘의 타당성을 컴퓨터 시뮬레이션과 실험으로 검증하였다.

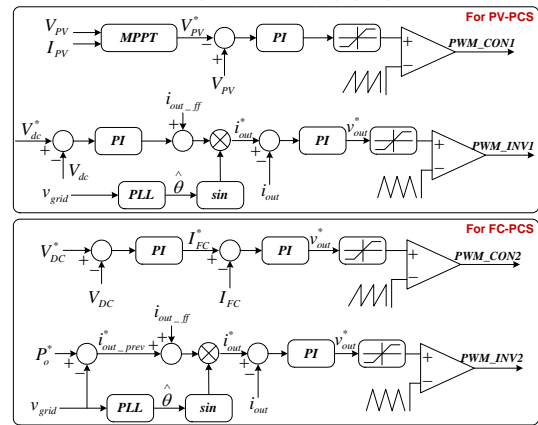
2. 본 론

2.1 일반적인 FC-PV 복합발전시스템: 2CON-2INV

그림 1(a)는 FC-PV 복합발전시스템 구성 시 두 대의 DC-DC 컨버터와 인버터로 구성된 일반적인 PCS 구조를 나타내고, (b)는 제어 블록 다이어그램을 나타낸다. 제어 블록다이어그램과 같이 이러한 구조의 시스템에서 DC-DC 컨버터는 일반적인 승압, 정전압제어 및 MPPT (PV의 경우) 제어를 수행하고, 인버터는 계통에 연계하기 위한 전류제어를 수행한다. 각 전원을 독립적인 PCS로 제어하기 때문에 제어 알고리즘이 매우 간단하고 제어의 문제도 없지만 실질적인 하이브리드 시스템이라고 볼 수 없으며, 시스템의 단가 및 부피를 저감할 수 있는 새로운 구조 및 제어 알고리즘이 요구된다.



(a) 시스템 블록 다이어그램



(b) 제어 블록 다이어그램

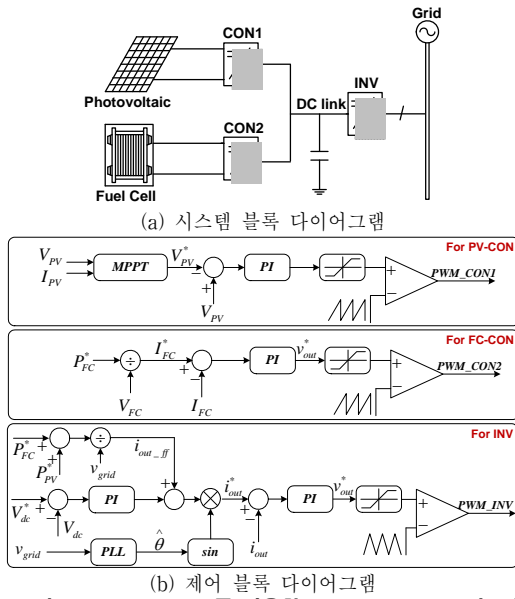
<그림 1> 2CON-2INV를 사용한 FC-PV Hybrid 시스템

2.2 단일 인버터를 사용한 FC-PV 복합발전시스템: 2CON-1INV

그림 2(a)는 위와 같은 문제를 해결하기 위하여 FC와 PV가 DC 링크를 공유하고 단일 인버터를 사용하여 계통에 연계하는 하이브리드 시스템을 나타내고, (b)는 이에 대한 제어 알고리즘을 나타낸다. 이 시스템의 장점은 인버터의 수를 줄이는데 있다. 또한 두 DC-DC 컨버터는 FC와 PV 각 전원 특성에 맞는 제어를 수행하기 때문에 일반적인 병렬운전과는 차별된다. 이러한 시스템의 경우, DC-DC 컨버터는 FC 및 PV의 전원특성을 고려하여 각각 정출력제어와 MPPT 제어를 수행하고 인버터는 정전압제어 및 계통연계를 위한 출력전류제어를 수행한다. 만약 PV용 DC-DC 컨버터가 정전압 제어를 수행할 경우 인버터에서 MPPT와 출력전류제어를 수행하는 것 또한 가능하다. 그러나 PV 시스템의 최근 추세는 셀의 직렬개수를 늘려 승압용 DC-DC 컨버터가 필요 없는 Converterless 타입이 사용되기 때문에, 단일 컨버터 및 인버터 구조에 대한 새로운 전력제어 알고리즘이 요구된다.

2.3 단일 컨버터 및 단일 인버터를 사용한 FC-PV 복합발전시스템: 1CON-1INV

Converterless PV 시스템과 FC 시스템이 하이브리드화 될 경우 특성이 다른 두 개의 독립전원이 인가됨에도 불구하고 PCS는 단일 컨버터와 단일 인버터만으로 구성된다. 즉 특성이 다른 두 전원을 단일 PCS로 운전해야 하는 결과가 되며 이를 실현하기 위해서는 새로운 전력제어 알고리즘이 반드시 필요하다. 그림 3(a)는 제안된 1CON-1INV FC-PV 하이브리드 시스템의 구조를 나타내고, (b)는 제안된 새로운 전력제어 알고리즘을 나타낸다. 일반적으로 가정용 FC의 출력전압은 수 십V 정도 매우 낮고, 건물용 FC이라 하더라도 100~200V 출력이 일반적이다. 따라서 FC용 DC-DC 컨버터는 승압용으로 사용된다. PV의 경우 최저 출력전압이 계통연계에 필요한 최저 전압 이상 (일반적으로 350V)이 되도록



〈그림 2〉 2CON-1INV를 사용한 FC-PV Hybrid 시스템

셀의 직렬개수를 선정 후 PV 출력을 PCS의 DC 링크에 직결한다. PV가 발전하고 있을 경우, DC 링크 전압은 PV 출력전압에 의해 결정되며 이 때 FC용 DC-DC 컨버터는 DC 링크 전압제어를 할 수 없고 정출력 전력제어를 수행해야 한다. 이와 동시에 인버터는 FC와 PV에서 발생된 전력이 계통으로 모두 전달될 수 있도록 에너지 밸런싱 개념의 전류제어를 수행한다. 먼저 PV를 위한 MPPT제어를 수행하고 이 제어기의 출력과 PV 전압의 오차를 제어하여 전류지령을 생성한다. 생성된 지령에 FC와 PV 전력의 합을 계통전압으로 나누어 계통에 공급될 전류정보를 전향보상한다. 전류지령과 전향보상 항의 합에 계통의 추정위상을 곱하여 최종 전류지령을 생성하고, 측정된 인버터 출력전류와의 오차를 제어하여 PWM 지령신호를 출력한다. 이러한 전력제어 알고리즘을 적용하면 단일 컨버터와 단일 인버터만으로도 정출력 운전을 통한 FC의 장수명을 기대할 수 있고, 인버터 제어기에 의해 PV의 MPPT 운전이 가능하며, 동시에 두 에너지 원에 의해 발전된 전력을 계통으로 안정적으로 전달할 수 있다. 단, 일몰 및 환경에 따라 PV 출력이 불가능할 경우, DC-DC 컨버터는 DC 링크 전압 제어모드로 전환되어야 하고 인버터는 계통연계를 통한 전류제어를 수행해야 한다.

2.4 시뮬레이션 결과

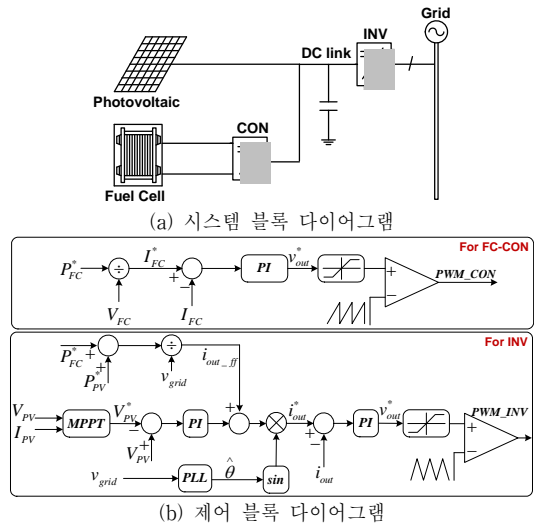
각각의 전원 특성을 고려하여 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 FC 및 PV 전원특성 모델링을 수행하여 제안된 단일 컨버터 및 인버터의 입력으로 사용하였다. 가정용의 경우 일반적으로 단상 인버터를 통해 상용계통에 연계하지만 약 10kW 이상의 상업용의 경우는 3상 계통에 연계되므로 본 시뮬레이션에서는 3상 계통연계로 개념을 확장하여 시뮬레이션을 수행하였고, 상세한 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다.

그림 4는 일사량 변화 시 FC와 PV가 1CON-1INV를 통해 계통에 전력을 공급할 경우 각 부 파형을 나타낸다. FC는 1kW 정출력하고, PV는 일사량이 600→800W/m²로 변화될 경우 출력이 1kW→1.5kW로 증가된다. DC 링크전압은 일사량 변화에 따른 PV 출력전압에 의해 결정되고, 인버터 출력전력은 FC와 PV 전력의 합이 되어 2kW→2.5kW로 증가된다. 제안된 알고리즘을 적용하면 인버터 전류제어의 지령이 FC 및 PV의 전력정보를 가지고 있기 때문에 DC 링크 전압의 증가나 입출력전력의 불평형이 나타나지 않는 것을 확인할 수 있다.

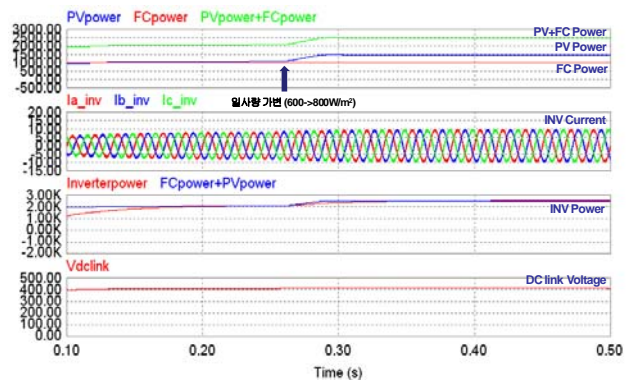
그림 5는 이 경우 MPPT 성능과 3상 인버터의 q축 전류지령 및 실제 전류값을 나타낸다. 좌측의 I-V와 P-V 곡선을 통해 MPPT가 잘 수행되는 것을 확인할 수 있고, 이 때 PV 출력전압 및 전류는 우측 파형과 같다. 인버터는 역률 1제어를 위해 d축 전류는 0으로 제어하였고, 아래 파형은 q축 전류지령 및 피드백 값을 나타내며 FC-PV 발전전력을 계통으로 원활히 출력해주는 것을 확인할 수 있다.

〈표 1〉 시뮬레이션 파라미터

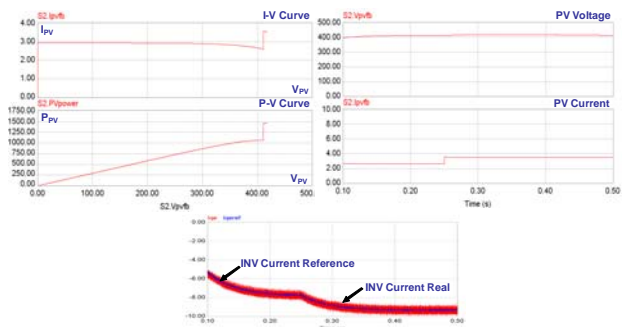
	연료전지	태양광
사용된 컨버터	전압형 풀브리지	-
사용된 인버터	3상 계통연계 인버터	
정격전력	1.2kW	3kW
정격전압	26V	350-700V
MPPT	-	P&O



〈그림 3〉 1CON-1INV를 사용한 FC-PV Hybrid 시스템



〈그림 4〉 FC-PV 발전전력 변화 시 1CON-1INV 출력응답



〈그림 5〉 일사량 변화 시 MPPT 특성 및 인버터 출력전류 제어특성

3. 결 론

제안된 단일 컨버터 및 단일 인버터 구조와 전력제어 알고리즘을 적용하면 기존 경우대비 컨버터와 인버터의 수를 반으로 줄일 수 있어 약 40%의 시스템 부피 및 단가를 저감할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 향후 연료전지-태양광 하이브리드 뿐 아니라 다양한 발전원과 PCS 측면에서 실질적인 하이브리드 시스템 구축이 가능해지며, 최근 연구되고 있는 DC Grid 실현에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[참고 문헌]

- [1] 김승기, 전진홍, 조창희, 안종보, "계통연계형 풍력, 태양광 및 축전기 하이브리드 시스템의 출력제어 및 동특성 해석," 전기학회논문지, 56권 2호, pp. 317-324, 2007
- [2] D. Lee, L. Wang, "Small-signal stability analysis of autonomous hybrid renewable energy power generation/energy storage system," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 23, no. 1, pp. 311-320, 2008
- [3] K. Reddy, V. Agarwal, "Utility-interactive hybrid distributed generation scheme with compensation feature," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 22, no. 3, pp. 666-673, 2007