

2컨버터-1인버터 형태의 복합발전시스템 전력제어 알고리즘 비교분석

최규영*, 김종수*, 문희성*, 이병국*, 김태훈**
 성균관대학교*, 삼성전기**

Comparative Study of Power Sharing Algorithm for Fuel Cell and Photovoltaic Hybrid Generation System of 2CON-1IN Type

Gyu-Yeong Choe*, Jong-Soo Kim*, Hee-Sung Moon*, Byoung-Kuk Lee*, Tae-Hoon Kim**
 Sungkyunkwan University*, Samsung Electro-Mechanics**

Abstract - 본 논문에서는 연료전지 태양광 복합발전시스템의 2가지 전력제어 알고리즘을 제안하고 각각의 성능을 비교 분석하였다. 태양광의 MPPT제어 위치에 따라 2가지 전력제어 알고리즘이 적용되었으며 각 알고리즘에 따른 MPPT성능, DC link 안정성과 출력전력 특성이 비교 분석되었으며 시뮬레이션 및 실험을 통해 타당성을 검증하였다.

전원인 태양광의 출력은 전기적 모델을 통해 식(1)의 특성을 갖는 전원으로 표현된다.

$$I_o = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (1)$$

1. 서 론

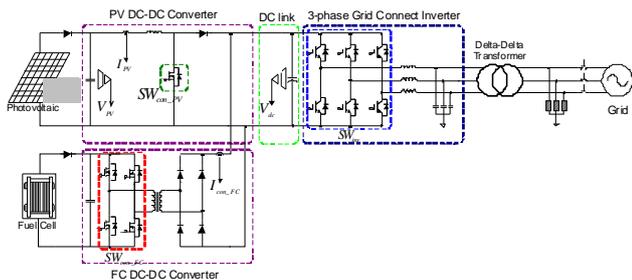
최근 화석연료의 고갈, 지구 온난화와 전력수요의 증가로 인해 신재생 에너지에 대한 관심이 집중되고 있다. 이러한 신재생에너지원 중 태양광은 단가절감 및 기술력 향상으로 인해 전 세계적으로 수요가 급증하고 있다[1]. 하지만 태양광은 흐리거나 밤에는 낮과 달리 전력을 발전하지 못하는 단점을 가지고 있다. 또한 효율이 10%~15% 정도로 낮은 단점이 있다. 그러므로 이러한 단점을 보완하기 위해서 가정용 태양광 발전시스템인 경우 복합발전시스템에 대한 필요성이 꾸준히 제시되고 있다. 특히 연료전지 시스템은 외부의 날씨 등의 환경적인 제약 없이 연료인 수소만 있다면 항상 일정량의 발전을 할 수 있으므로, 태양광 발전 단점을 상호 보완하여 연료전지 태양광 복합발전 시스템으로 많은 연구가 진행되고 있다[2],[3]. 이러한 복합발전시스템에 대한 연구는 주로 섬, 오지, 낙도, 산간지역과 같은 곳에 전력을 공급할 수 있도록 단독운전태도로 진행되었다. 하지만 배전망의 확대로 인해 대부분의 지역에 계통 전력이 공급되고 있다. 그러므로 계통연계형 복합발전시스템 필요성이 대두되었을 뿐만 아니라 신재생에너지의 활용성 향상, 안정적인 전력공급, 침투부하 삭감, 수요제어 등 전력회사의 수용관리 측면에도 큰 장점이 있다[4]. 계통연계형 연료전지 태양광 복합발전시스템의 형태는 주로 3가지 형태로 나눌 수 있다. 첫째로 각각 컨버터와 인버터를 가지고 독립적으로 계통연계 하여 전력을 생산하는 2CON-2INV 형태이다. 이것은 계통을 통해 복합발전을 하고 있지만 진정한 복합발전은 아니다. 두 번째로 인버터를 공통으로 하는 2CON-1INV 형태이다. 세 번째로 태양광을 DC link에 병렬로 연결하는 1CON-1INV의 복합발전 형태이다. 이러한 복합발전 형태 중 2CON-1INV는 여러 전원을 병렬로 연결할 수 있고, 컨버터 모듈형태로써 유지 보수가 간편하며, 용량증대가 용이해 연료전지 태양광 복합발전시스템에 적절한 형태이므로 주로 적용되고 있다.

그러므로 본 논문에서는 2CON-1INV 형태의 연료전지 태양광 복합발전시스템의 적용 가능한 전력제어 알고리즘을 제안하였다. 또한 알고리즘 성능분석을 위해 MPPT성능, DC link 안정성, 출력전력 특성을 비교 분석 하였으며 시뮬레이션 및 실험을 통해 타당성을 검증하였다.

2. 본 론

2.1 연료전지 태양광 복합발전시스템

그림 1은 본 논문에서 적용한 연료전지 태양광 계통연계형 복합발전시스템의 구성도이다. 2개의 신재생에너지원을 갖는 복합발전 시스템으로 컨버터 2개와 인버터는 공통으로 구성된다.



〈그림 1〉 연료전지 태양광 복합발전시스템 구성도

여기서, I_o 는 출력전류, I_{ph} 는 광전류, I_d 는 다이오드 전류, I_{sh} 는 병렬저항에 흐르는 전류이다. 다른 한 전원인 연료전지 출력특성은 식(2)와 같이 표현된다.

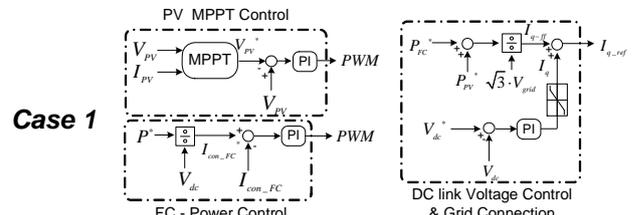
$$V = E - V_{ohmic} - V_{act} - V_{con} \quad (2)$$

여기서, V 는 출력전압, E 는 평형전지전압, V_{ohmic} 는 오믹분극, V_{act} 는 활성화 분극, V_{con} 는 농도분극이다.

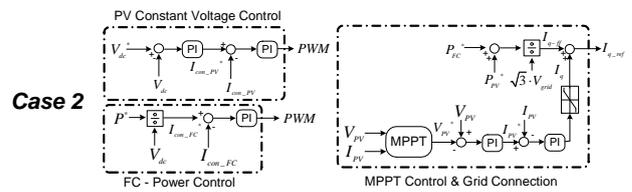
연료전지 컨버터는 전원의 특성상 저전압 대전류이므로 DC link 확보를 위해 풀브리지 컨버터 형태를 사용하였다. 태양광발전의 컨버터는 전원의 특성상 고전압이므로 부스트컨버터를 사용하였으며 부스트 컨버터에서는 주로 최대전력을 출력하여야 하므로 MPPT 제어를 수행한다. 위의 두 전원은 후후 용량이 점점 증가할 것으로 예상되므로 인버터는 단상이 아닌 3상으로 가정되었다.

2.2 복합발전시스템 전력제어 알고리즘

연료전지 태양광 복합발전시스템은 2CON-1INV 형태이다. 이때 태양광은 전원의 특성상 MPPT 제어가 수행되어야 하며 인버터는 DC link가 일정해야 출력전류가 정출력이 가능하다. 또한 연료전지는 정출력 제어가 필요하다. 그러므로 2CON-1INV 형태에서는 복합발전 전력제어 알고리즘은 2가지 경우로 제안될 수 있다. 첫째 연료전지 컨버터는 상시 발전용으로 항상 일정량의 전력을 발전할 수 있도록 전력 지령치와 DC link 전압을 통해 전력제어가 수행된다. 태양광 컨버터인 부스트 컨버터는 태양광의 최대전력을 얻어야 하므로 MPPT 제어를 수행한다. 본 논문에서는 MPPT 방법에서 가장 일반적인 P&O 방법을 적용하였다. 연료전지와 태양광의 전력을 받은 인버터에서는 DC link 정보로부터 계통에 출력할 전류 지령을 생성하며 또한 Feed-Forward 턴로 연료전지와 태양광의 전력을 최종 출력전류 지령치에 추가한다. 그러므로 인버터는 DC link 전압제어와 동시에 계통연계를 수행 하게 된다. 그림 2는 첫 번째 복합발전시스템 전력제어 알고리즘 제어블록이다.

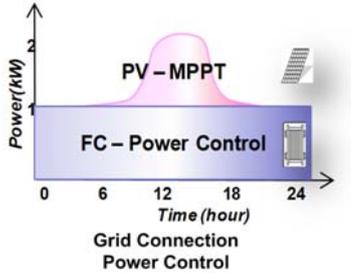


〈그림 2〉 복합발전시스템 전력제어알고리즘 case1



〈그림 3〉 복합발전시스템 전력제어알고리즘 case2

두 번째는 동일한 시스템에서 첫 번째 알고리즘과 같이 연료전지 컨버터는 전력제어를 수행한다. 태양광 컨버터는 MPPT제어 대신 DC link 정전압제어를 수행한다. 인버터는 태양광의 MPPT제어(P&O)를 수행하고 이를 통해 계통 전류지령을 생성한다. 또한 연료전지와 태양광의 전류지령 Feed-Forward 톱을 합산하여 최종 계통전류 지령치를 생성한다. 그림 3은 두 번째 복합발전시스템 전력제어 알고리즘 제어블록이다. 이와 같이 생성된 전력은 계통으로 보내어 질 때 연료전지는 항상 정출력을 내고 태양광은 일사량에 따라 변하므로 전력량은 그림 4와 같이 출력된다.

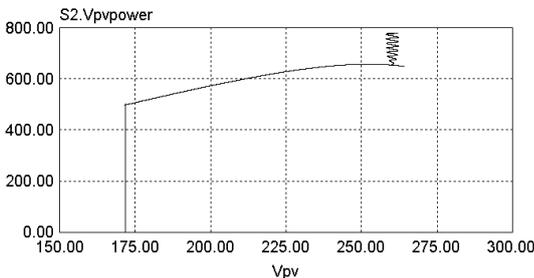


〈그림 4〉 복합발전시스템 전력개념도

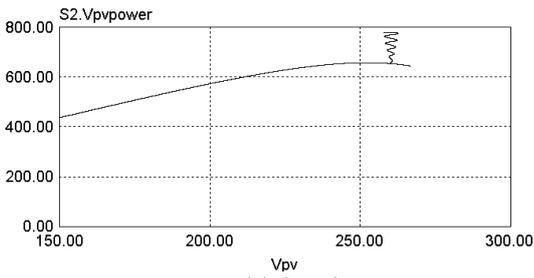
2.3 시뮬레이션

제안된 복합발전시스템 전력제어 알고리즘은 각 경우별로 시뮬레이션 되었으며 연료전지 태양광 전원 또한 모델링이 수행되었다. 시뮬레이션 툴은 PSIM 6.0사용하였으며 시뮬레이션을 통해 알고리즘 성능을 비교 분석하였다.

그림 5는 각 경우에 따른 MPPT 성능을 보여준다. MPPT 성능을 보기 위해 일사량은 $600[W/m^2]$ 에서 $700[W/m^2]$ 으로 변화를 주었다. Case1은 $600[W/m^2]$ 에서 MPP점 찾고 일사량 변화시 약간의 자러진동이 있지만 추종이 되는 것을 확인하였다. Case2는 $600[W/m^2]$ 에서 MPP점 찾고 일사량 변화시 자러진동이 있지만 추종이 되는 것을 확인하였다. 두 경우를 비교 하였을 때 알고리즘에 따른 MPPT 성능은 거의 동일한 것을 나타냈다.



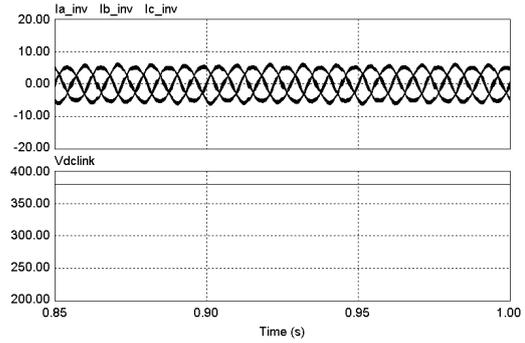
(a) Case 1



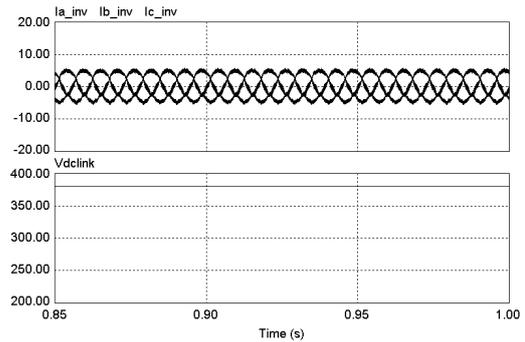
(b) Case 2

〈그림 5〉 MPPT 성능비교

그림 6은 출력전류와 DC link 성능비교를 나타낸다. Case1, 2의 알고리즘 차이에도 DC link 전압은 일사량이 변화 시($600[W/m^2] \rightarrow 700[W/m^2]$ 변화) 전압 흔들림 없이 380V 정전압 제어되고 있는 것을 알 수 있다. 또한 계통연계시 출력전류는 3상이 동일한 크기와 위상이므로 계통연계가 잘 수행되고 있으며 각 Case1, 2 비교하여 볼 때 성능은 거의 동일함을 확인 할 수 있다.



(a) Case 1



(b) Case2

〈그림 6〉 DC link 및 출력전류 성능비교

3. 결 론

본 논문에서는 연료전지 태양광 복합발전시스템 중 2CON-1INV 형태에 적용 가능한 전력제어 알고리즘을 제안하였다. 이에 따라 MPPT 성능 및 DC link 안정성 과 출력 전력 특성을 비교 분석하였고 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 이 결과는 연료전지 태양광 복합발전 시스템 전력제어 알고리즘에 적용 가능 할 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. P. Benner, L. Kazmerski, "Photovoltaics gaining greater visibility," *IEEE Spectrum*, 1999.
- [2] K. N. Reddy, V. Agarwal, "Utility-interactive hybrid distributed generation scheme with compensation feature," *IEEE Trans. Energy Conversion*, Vol. 22, Issue 3, pp. 666-673, Sep., 2007.
- [3] K. Seita, I. Takano, H. Nishikawa, Y. Sawada, "A study of operation characteristics of UPFC type dispersed power supply system with FC, PV and EDLC by improved EMAP model," *IEEE PSCE*, Vol. 1, pp. 289-294, Oct., 2004.
- [4] 김슬기, 전진홍, 조창희, 안중보, "계통연계형 풍력, 태양광 및 축전지 하이브리드 시스템의 출력제어 및 동특성 해석," *전기학회 논문지*, 56권 2호, pp. 317-324, 2007.