

## 대용량 연료전지 시스템의 병렬운전을 위한 전력변환기 제어 알고리즘 개발

이 진희<sup>1)</sup>, 백 승택<sup>1)</sup>, 최 준영<sup>1)</sup>, 서 인영<sup>1)</sup>, 김 도형<sup>2)</sup>, 임 희천<sup>2)</sup>

### Development of Power Conditioning System Control Algorithm for the Parallel Operation of High-Power Fuel Cell System

Jinhee Lee, Seungtaek Baek, Joonyoung Choi, Inyoung Suh, Dohyung Kim, Heechun Lim

**Key words** : Power Conditioning System (전력변환기), High-power Fuel Cell System (대용량 연료전지 시스템), Parallel Operation (병렬운전), Control Algorithm (제어 알고리즘)

**Abstract** : This paper proposes the parallel operation control algorithm of a power conditioning system (PCS) for a distributed Fuel Cell power generation system. A proposed control algorithm is made good a drawback of the conventional control algorithm. The controller must also supervise the total PCS operation while communicating with the fuel cell system controller. Simulation results are presented to performance of a proposed control algorithm for the PCS.

#### subscrip

PCS : Power Conditioning System  
PBC : Power Balanced Control  
PAS : Power Available Signal

#### 1. 서론

연료전지는 천연가스, 납사, 메탄올과 같은 탄화수소 계열 연료가 갖는 화학에너지를 기계계의 변환없이 전기에너지로 직접 변환시키는 높은 발전효율의 기술임과 동시에 공해요인이 매우 적기 때문에 전력수요자 부근에 설치할 수 있고, 따라서 송전설비와 손실이 경감되는 장점을 갖고 있다. 또한, 폐열의 회수이용도 가능하여 급탕, 냉난방 등에 이용함으로써 높은 종합에너지 효율을 기대할 수 있는 차세대의 주요발전기술중 하나이며 이미 많은 응용분야에서 실용화 단계에 진입하고 있는 기술이다.<sup>1)</sup>

이러한 연료전지 발전시스템은 전력수요지 근처에 설치하거나, 전력수요가 밀집한 지역에 분산 설치할 수 있고, 필요에 따라 대용량 발전설비로도 이용할 수 있다. 현재 응용 탄산염형 연료전지(Molten Carbonate Fuel Cell, 이하 MCFC)는 전력계통에 분산 배치되어 발전전력 사업용으

로 50kW~1MW급이 개발되었고, 실용화 진행중이다.

본 연구는 수용가와 가까운곳에 설치되는 분산전원용 대용량 연료전지 발전시스템의 병렬구성시 단일 PCS로 연료전지 전력제어를 수행할 수 있는 제어알고리즘을 제안한다.

#### 2. 본론

본 장에서는 대용량 연료전지 시스템을 병렬로 구성하고 하나의 전력변환기 (Power Conditioning System, 이하 PCS)로 구성할 경우 문제점과 이를 위한 PCS의 운전제어 알고리즘을 제안한다.

##### 2.1 연료전지 발전시스템 구성

그림 1은 대용량 MCFC 발전시스템 구성도를 나타낸다. 연료전지 스택은 수십~수백kW, n개로 병렬구성되어 있고, 전력변환기의 입력으로 인가된다. PCS 출력측은 3상 인버터로 계통연계운전 및 독립운전 모두 가능하도록 구성되어있다.

1) (주)효성 중공업연구소  
E-mail : jinhee@hyosung.com  
Tel : (031)596-1744 Fax : (031)596-1698

그림1과 같이 구성된 연료전지 발전시스템은 DC-DC 컨버터에서 낮은 전압을 출력하는 연료전지 스택을 승압하여 출력하고, 출력은 병렬연결되어 DC-AC 인버터의 입력으로 인가된다.

연료전지의 출력특성이 이상적으로는 동등하나 실제 제작시 여러 가지 변수들과 상당시간동안 운전후에는 각 스택의 특성이 틀러지게 된다. 이러한 경우 연료전지 스택 특성변화로 출력전압은 다르게 나타나고 출력전력 또한 틀러지므로 각 DC-DC 컨버터에서는 스택 전류를 균등하게 제어하는 알고리즘을 적용하는 제어 블록도를 그림 2에 나타냈다.

그림 2는 각 연료전지 스택 전류를 센싱으로 지령치 전류를 만들고, 각각의 컨버터 스택에서 보상하고 출력전압 제어를 동시에 수행하도록 한다. 2)

그림 2는 기존의 제어 알고리즘 제어 블록도는 나타내고 있다. 연료전지 출력전류 중 가장 큰 전류에 균형이 맞춰지도록 컨버터의 제어가 각각의 스위칭 동작을 통해서 제어가 되도록 하는 방식이고, 이는 가장 간단하게 구현이 가능하고, 빠른 응답 특성을 나타내고 있다.

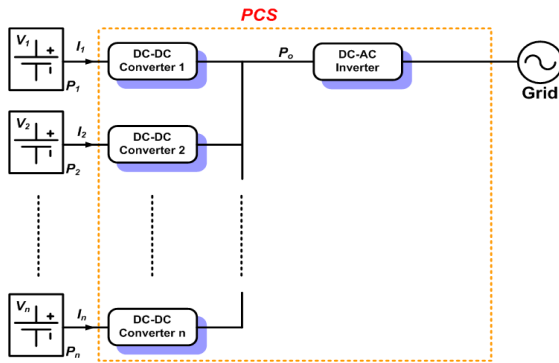


그림 1. 병렬연결된 대용량 연료전지 발전시스템 구성도

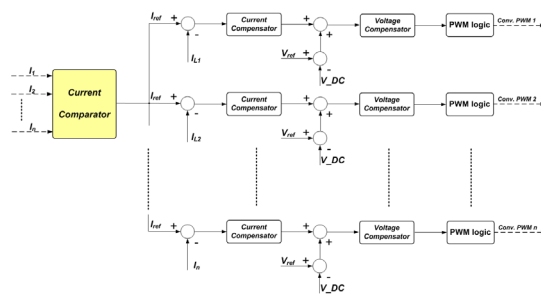


그림 2. 병렬운전 제어를 위한 DC-DC 컨버터 제어 알고리즘

## 2.2 기존 제어 알고리즘의 문제점

그림 2와 같이 구성된 제어 알고리즘은 스택간의 전류가 균등하도록 제어한다. 그러나, 어느 하나의 연료전지 스택의 손상으로 연료전지 스택간의 출력전압 편차가 커졌을 경우, 전류 균등 제어만 구현 했을 때의 문제점을 시뮬레이션 결과로 살펴본다.

그림 3은 150kW급 MCFC 연료전지의 전기등가 모델을 통해서 두 개의 스택을 병렬연결한 DC-DC 컨버터 시뮬레이션 모델이다. 그림 4와 그림 5의 시뮬레이션 조건은 표 2과 같이 나타냈다.

그림 4는 연료전지 스택의 전압편차가 3.2%정도 일 경우의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 정격 운전시 연료전지 출력전압은 약 140V 정도에서 유지되며, 출력전류는 약 3%이내의 오차범위로 균등하게 제어됨을 보인다.

그림 5는 기존 제어 알고리즘을 적용했을 경우의 문제점을 나타낸다. 연료전지 스택 1, 2의 출력전압이 장시간 사용과 스택 특성이 변화를 가정하고 전압편차를 24V정도 주었을 경우에 시뮬레이션을 수행한 결과이고, 출력전압 지령치는 330V이고 연료전지는 2대를 구성한 시뮬레이션 결과 파형을 나타내고 있다.

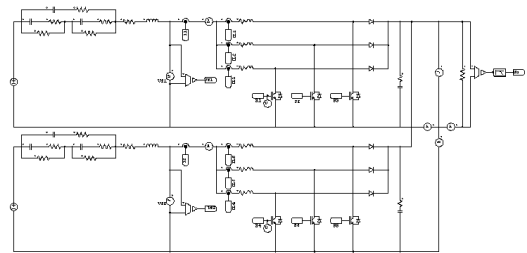


그림 3. 2병렬 연료전지 시스템의 시뮬레이션 모델

표 1. DC-DC 컨버터 시뮬레이션 입·출력 사양설정

항목	사양
연료전지 정격용량	150kW / stack
입력전압범위	100~195V <sub>DC</sub> , 125V <sub>DC,nominal</sub>
정격입력전류	1500A <sub>max</sub> / stack
출력전압	300V <sub>DC</sub>
스위칭 주파수	2kHz
스위칭 방식	Interleaved-switching
V <sub>o</sub>	DC-DC 컨버터 출력전압
I <sub>1</sub> , I <sub>2</sub>	연료전지 스택 1, 2 출력전류
V <sub>f1</sub> , V <sub>f2</sub>	연료전지 스택 1, 2 출력전압

표 2. 시뮬레이션 조건표

항목	조건 1	조건 2
그림번호	그림 4	그림 5
$V_{F1}$	190V	150V
$V_{F2}$	184V	114V
스택전압편차	3.2%	24%
$V_o$	330V <sub>DC</sub>	
$f_s$	2kHz	
Load	260kW	

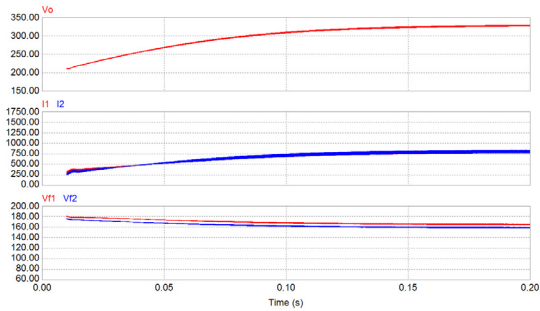


그림 4. 기존 제어 알고리즘 적용시 파형 (스택전압편차 : 3.2%, 시뮬레이션 파형)

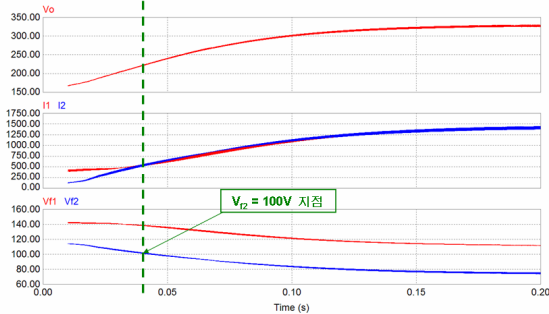


그림 5. 조건 2 적용시 문제점 (스택전압편차 : 24%, 시뮬레이션 파형)

연료전지 스택 1, 2의 출력 최저전압을 100V로 한 경우 연료전지 스택 간의 출력전류는 균형을 맞춰 나타나지만, 연료전지 스택 2의 출력전압은 최저전압인 100V 이하로 떨어지는 문제점이 나타나게 된다. 이는 연료전지 스택의 손상과 수명저하, 신뢰성 및 효율 저하를 가져오는 문제점을 가지고 있다.

### 2.3 제안하는 제어 알고리즘

그림 6은 병렬 구성된 연료전지 발전시스템의 시퀀스 구성도를 나타낸다. 각 연료전지 스택의 제어기와 PCS 제어기와 통신으로 연료전지 스택에서 출력 가능한 전력(Power Available Signal) 정보를 받아 현재 연료전지 운전상태 정보를 PCS

는 모니터링 한다.

그림 7은 그림 5와 같이 구성된 제어 알고리즘에 추가로 임의의 연료전지 스택의 특성이 저하되었을 경우를 보상하기 위한 제어알고리즘 순서도를 나타낸다.

연료전지 스택의 출력전압 편차가 크지 않을 경우는 기존의 제어 알고리즘으로 연료전지 출력전류가 균등하도록 제어한다. 그러나, 어느 하나의 연료전지 스택의 손상이나 특성변화로 인해 출력 전압이 크게 저하 되었을 경우, 전압, 전류 센싱 값이 정상적일 때와 다르게 출력되고, PAS 정보가 틀리므로 이에 따라 운전 모드를 변경하는 알고리즘이다.

여기서, 순서도의 용어는 다음과 같다.

$$V_{\min}, \dots, V_{n,\min} : 100V_{DC} < V_{f1}, \dots, V_{fn} < 105V_{DC}$$

$$V_{\text{LLT}}, \dots, V_{n,\text{LLT}} : V_{f1}, \dots, V_{fn} \leq 100V_{DC}$$

그림 8은 연료전지 스택 중 최저전압 범위에 들어올 경우의 동작모드 II의 순서도를 나타내고 있다. 센싱정보와 PAS 정보비교를 통해서 현재 상태를 판별 후 조건에 부합되는 연료전지 스택은 각 운전모드에서 따로 분리된 제어 알고리즘을 수행한다.

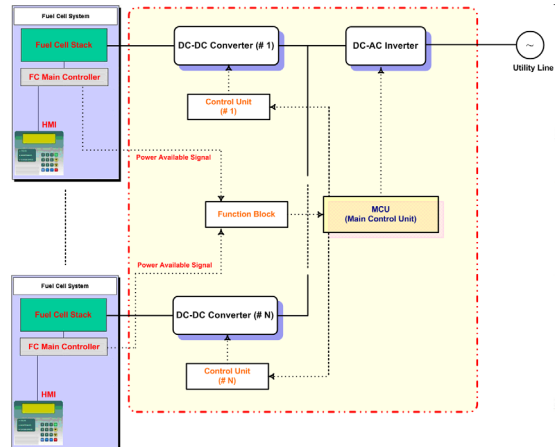


그림 6. 병렬구성된 연료전지 시스템 시퀀스 블록도

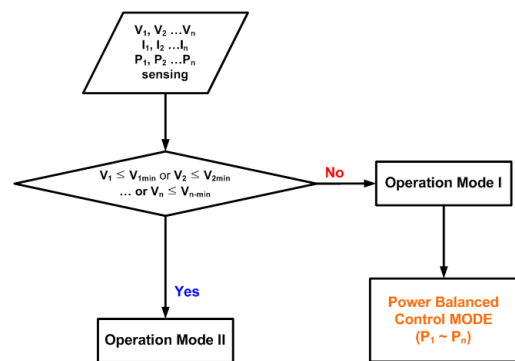


그림 7. 제안하는 제어 알고리즘 순서도

예를 들어 스택 1번의 특성변화나 문제발생으로 인해 출력전압 저하가 발생할 경우 최저 전압치에 도달 했을 경우에는 전력을 설정된 제한 알고리즘으로 단독 수행되고 나머지 부분들이 부하 요구 전력을 나눠 수행한다.

또는 스택 1번이 최저전압 범위에서 운전이 이뤄질 경우는 개발자 혹은 연료전지 시스템 측의 사양에 맞는 일정한 전력만 운전 되도록 구현한다.

그림 9는 표 2의 조건 2와 동일한 상태에서 시뮬레이션 한 결과파형을 나타낸다. 연료전지 스택 2의 최저 전압을  $100V_{DC}$ 가 될 경우 스택 2의 출력은 현재상태에서 유지되고, 부족한 부하 요구 전력은 스택 1에서 출력되는 것을 알 수 있다. 스택 2의  $V_{2LIT}$  되는 순간에 제어응답성도 다른 스택 1의 제어기와 간섭없이 제어되므로 각 컨버터의 안정된 동작을 확인 할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구는 수용가측에 분산전원으로 상용화가 높은 대용량 연료전지 발전시스템의 병렬구성시 전력변환기의 제어 알고리즘에 대해서 제안했다. 기존의 제어 알고리즘의 문제점을 확인하였고, 연료전지 출력전력 저하시 운전모드 변경을 통해서 안정된 제어가 수행됨을 나타냈다.

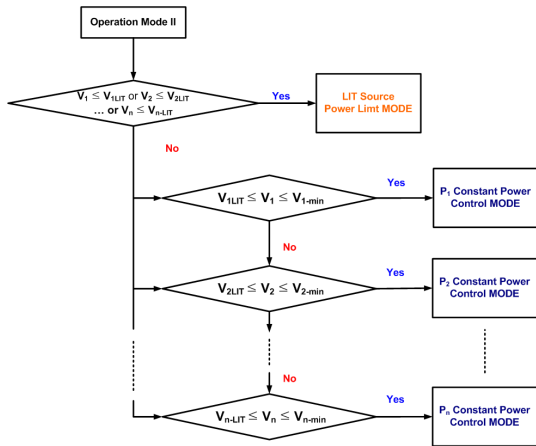


그림 8. Operation Mode II 알고리즘 순서도

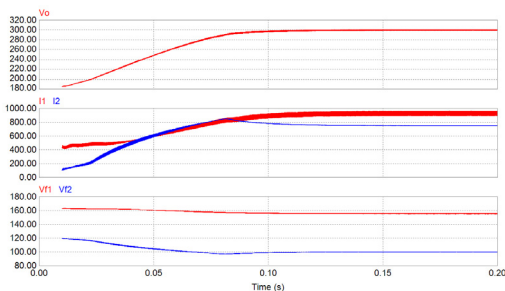


그림 9. 제안한 제어 알고리즘 시뮬레이션 파형

향후, 대용량 발전용 분산전원 운용시스템 개발과 대용량 전력변환기의 용량 증설시 본 제어 알고리즘 적용을 통해서 연료전지 스택의 수명과 신뢰성을 높이고, 전력변환기의 안정적인 운용기술을 확보 할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 후 기

본 연구는 ‘250KW 급 열병합 용융탄산염 연료전지(MCFC) Proto-Type 개발 및 평가기술개발’ 일환으로 수행되었습니다.

#### References

- [1] 한수빈, 정봉만, 최수현, "특집, 연료전지 시스템과 부하관리 응용", 전력전자학회지 제2권 제2호, pp. 21-25, 1997.
- [2] 이진희, 백승택, 정홍주, 강호현, 정준모, 서인영, "대용량 연료전지 발전시스템용 전력변환기 개발" 전력전자 하계학술대회 논문집, pp. 530-532, 2007