

대용량 MCFC 발전시스템의 비상부하 전력 공급 장치 설계 및 제어 기법

김동희*, 김종수*, 이병국*, 곽철훈**, 차인호**
 성균관대학교 정보통신공학부*, 와이피피**

Design and Control Method for Critical Load Supply Equipment of MCFC Electricity Generation Systems

Dong-Hee Kim*, Jong-Soo Kim*, Byoung-Kuk Lee*, Cheol-Hun Kwak**, In-Ho Cha**
 School of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University*, YPP**

ABSTRACT

본 논문에서는 동특성이 매우 느린 용융탄산염 연료전지(Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC) 스택이 계통 사고 시 추가적인 UPS(Uninterruptible Power Supply) 없이 비상부하로 전력 공급이 가능하고, 사고 제거 후 즉시 정격전력 발전하여 계통으로 주입할 수 있는 비상부하 추종형 백업 시스템을 제안한다. 제안된 MCFC 발전 시스템용 비상부하 추종형 백업 시스템은 3상 인버터로 구성된 PCS(Power Conditioning System) 출력단에 3상 PWM 컨버터를 연결한 구조이고, 비상부하 추종 및 부하량 조절이 가능한 추가적인 제어 알고리즘으로 PWM 컨버터를 제어한다. 제안된 비상부하 추종형 백업 시스템의 회로와 제어 알고리즘의 타당성을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 검증한다.

서론

최근 화석에너지 고갈과 유가 상승과 맞물려 전력수요가 급격히 증가함에 따라 새로운 대체 에너지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있고, 또한 환경오염에 대한 인식도 증가하여 친환경적인 대체 에너지에 대한 관심이 매우 높다. 이 중 여러 가지 장점으로 인해, 연료전지는 화석연료의 고갈로 인한 탄소경제 체제에서 수소경제 체제가 도래하고 있는 지금의 시점에서 가장 전망 좋은 대체에너지라 볼 수 있다^[1]. 연료전지 발전 시스템 중 MCFC는 고온형 연료전지 중 하나로 고효율로 동작할 수 있고 고온이기 때문에 열원으로 사용하여 열병합 발전 형태로도 사용할 수 있다. 하지만 계통과 연계된 형태로 운전하는 경우, 계통에 사고가 발생하게 되면 단독운전방지운전이 동작되고, MCFC는 출력을 내보내지 않는다. MCFC의 예열 온도 상승률은 20°C/h-30°C/h로, 전원이 오프 되면 MCFC의 동작이 멈추게 되어 온도가 떨어지게 되므로 계통이 정상이 되면 다시 동작 온도까지 예열 시간이 필요하고, 또한 시스템 출력을 내보내지 않았기 때문에 고온형 연료전지의 특성상 느린 전력 상승률로 인해 시스템 정격 출력까지 가동하는데 총 1-2일의 시간이 소요된다. 이에 따라서 짧은 시간의 정전사고로 인해 1-2일 동안 발전을 못하기 때문에 큰 손실이 발생한다^[2]. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 대안으로 연료전지를 분산 전원으로 이용해 상시 발전 시스템으로 사용하고 계통에 사고가 발생할 경우 계통과 차단되어 비상부하로 전력을 공급한다면, 분산전원으로서의 역할과 계통 이상 시 비상부하로 지속적인 전

력을 공급할 수 있는 UPS 기능까지 수행할 수 있다. 또한 상시로 동작을 하기 때문에 정상 동작 유무의 체크도 가능하여 정전에 대한 신뢰성도 만족할 수 있다. 하지만 고온형 연료전지는 부하 추종능력이 상당히 떨어지는 단점이 있다^[3]. 그러므로 계통사고 시 연료전지가 비상 부하에 전력을 공급할 경우, 비상 부하가 변동할 경우 연료전지 발전의 느린 동특성 때문에 부하 추종을 할 수 없고, 이에 따라 발전량이 남게 되는 경우가 생긴다. 위와 같은 이유로, 연료전지 시스템을 상시 발전을 하고 계통사고 시 비상부하로 전력을 공급하는 UPS 기능까지 수행하려면, 이를 백업할 수 있는 전력 변환장치가 반드시 필요하다.

따라서 본 논문에서는 연료전지를 분산 전원으로 사용하는 시스템에서 계통사고 시 이를 백업할 수 있는 시스템을 제안하고, 백업 시스템이 계통의 사고에 따른 전체 시스템을 충분히 담당할 수 있음을 컴퓨터 시뮬레이션 통해 타당성을 검증하였다.

비상 부하 백업 시스템

1.1 백업시스템 구성 및 동작

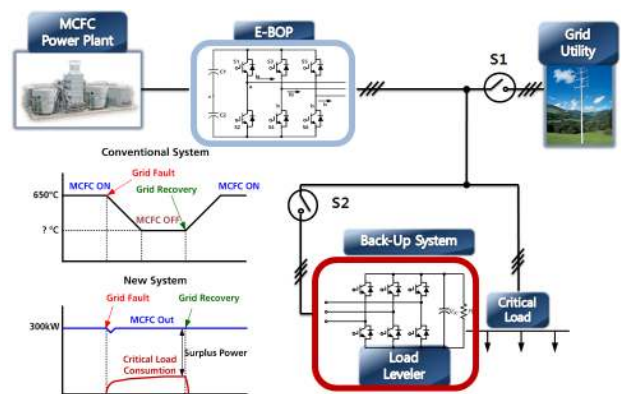


그림 1 제안한 시스템 구성도
 Fig. 1 Suggested system block diagram

MCFC의 발전시스템은 동적특성이 매우 떨어지기 때문에 계통사고 시 발전 전력과 비상부하의 전력 차이만큼의 잉여 전력을 담당할 수 있는 'Load-Leveler'를 이용한 백업시스템을 추가하여 전체 시스템을 구성하였다. 그림 1은 MCFC 발전 백

업시스템 구성도로 DC 출력을 내는 MCFC Power Plant와 출력된 DC 전력을 AC로 변환할 수 있는 E-BOP와 Load Leveler 및 2개의 스택 스위치로 구성되어있다. 계통이 정상일 경우 스위치 S1은 계통과 연결 되어 있고, Load Leveler에 연결된 스위치 S2는 오프 되어 전체 시스템에서 분리 되어있다. 이때 E-BOP는 계통의 전압에 동상인 전류를 계통으로 보낸다. 계통이 이상이 있을 경우 S1이 오프 되어 계통과 차단되고 E-BOP는 출력을 전류에서 전압으로 전환하고, S2를 온 시키고 Load Leveler가 동작된다. 이에 따라서 MCFC 발전 시스템은 계통에 사고가 발생해도 상시로 발전가능하고 UPS 기능까지 담당 할 수 있다. Load Leveler는 교류 입력을 받아 직류 출력값을 변화 시킬 수 있는 3상 PWM 컨버터로 선정 하였다.

1.2 Load Leveler 구성 및 제어

PWM 컨버터는 입력 교류 전압과 전류를 같은 위상으로 제어 가능하고, 교류 입력전압을 원하는 크기의 직류 출력 전압 V_o 로 출력 가능하므로 출력 저항 R_o 의 크기와 직류 출력 전압에 의해 시스템에 맞는 전력을 소모 할 수 있다. 출력 저항 R_o 의 크기는 제어 하려는 V_{dc} 의 최대값 $V_{o,max}$ 와 Load Leveler에서 소비하려는 전력 $P_{L/L}$ 값으로 정할 수 있다. 이때 $V_{dc,max}$ 값은 교류 입력 전압이 정류되는 값보다 커야하며, 값이 커지게 되면 시스템 전압 스트레스가 증가하므로 적절한 값을 선정해야한다. 이를 식으로 나타내면 식 (1)과 같다.

$$V_o = \frac{V_{dc,max}^2}{P_{L/L}} \quad (1)$$

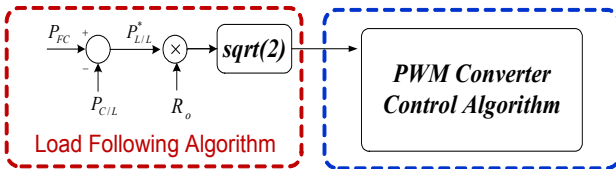


그림 2 PWM 컨버터 부하 추종 알고리즘
Fig. 2 Load following algorithm of PWM converter

그림 2는 MCFC의 출력전력과 비상부하의 소비전력의 차이를 담당할 수 있는 부하추종형 Load-Leveler 알고리즘이다. MCFC의 출력전력 P_{FC} 와 비상부하의 소비전력 $P_{C/L}$ 의 차이로 Load Leveler의 전력 지령치 $P_{L/L}^*$ 를 만들고, 출력 부하 R_o 와 곱한 뒤 제곱근을 취하면 Load Leveler의 전압 지령치가 만들어지며 식 (2), (3) 과 같이 표현 할 수 있다.

$$P_{L/L}^* = P_{FC} - P_{C/L} \quad (2)$$

$$V_{dc}^* = \sqrt{P_{L/L}^* \times R_o} \quad (3)$$

시뮬레이션

본 논문에서는 PSIM 6.0 시뮬레이션 툴을 이용하여 비상부하 백업시스템 알고리즘을 검증 하였다. 시뮬레이션에 사용된 파라메타는 표 1과 같고 계통이 사고가 나서 E-BOP가 비상부하에 전력을 공급하고, Load Leveler에서 이를 백업하는 경우를 모의 하였다.

표 1 시스템 파라메타
Table 1 System parameter

Parameters	값 [단위]
연료전지 출력 정격	5 [kW], 220 [Vrms]
Load Leveler 출력 저항	72 [Ω]
출력 전압 가변 범위	501 - 600 [V]
스위칭 주파수	10 [kHz]
비상부하 운전 범위	0 - 1.5 [kW]

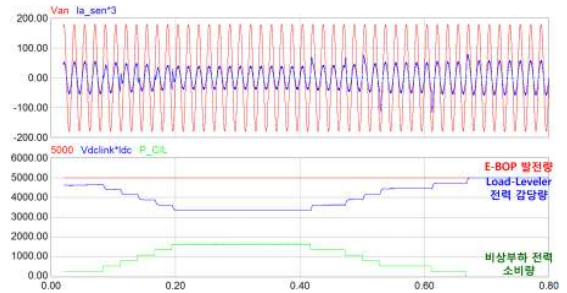


그림 3 비상 부하가 스텝으로 변할 경우
Fig. 3 The case of critical load step variation

그림 3은 비상부하가 스텝으로 1.5kW에서 0W까지 변함에 따라 Load Leveler에서 잉여전력을 담당하는 것을 확인 할 수 있다. 첫 번째 파형은 입력전류가 사인파로 입력 상전압과 동상으로 제어됨을 확인 할 수 있고, 두 번째 파형은 E-BOP 발전 전력이 비상 부하에 소비되고, 나머지 전력이 Load Leveler에 의해 소모됨을 알 수 있다. 즉, E-BOP 발전량은 Load-Leveler 전력 감당량과 비상부하 전력소비량의 합과 같음을 알 수 있다. 따라서 계통에 사고가 발생하여도 MCFC는 오프되지 않고 지속적으로 발전을 하며 비상부하로 전력을 공급하여 UPS기능도 할 수 있음을 알 수 있다.

결론

본 논문에서는 계통 이상 시 MCFC 발전시스템이 지속적으로 발전을 할 수 있도록 위한 백업시스템을 소개하였고 시스템의 제어 알고리즘과 이를 검증하기 위한 시뮬레이션 모델을 제시 하였다. 이에 따라 계통에 사고가 발생하여도 MCFC는 지속적인 발전을 가능하게 하여 UPS기능과 계통 복전 시 재가동을 위한 시간도 줄일 수 있어, 정전에 대한 전력품질과 발전의 효율을 증대 시킬 수 있다. 따라서 대용량의 MCFC 발전시스템에 제한한 시스템을 적용한다면 큰 장점을 가질 수 있다고 예상된다.

참고 문헌

- [1] 박수억, 이덕기, 최상진, “신재생 에너지기술 시장평가 (태양광, 연료전지, 풍력중심으로)”, 한국 신재생 에너지 학회 춘계 학술대회, pp.557-584, 2005
- [2] Wei He, “Operating Characteristics of a Molten Carbonate Fuel-Cell Power-Generation System”, Int J,Energy, pp.1331-1344, 1999 April.
- [3] James Larminie, Andrew Dicks, Fuel Cell Systems Explained: Second Edition, Wiley.