

# 연료전지의 최대 효율점 추적 제어

장민호, 이재문, 김종훈, 백종복, 조보형  
서울대학교 전력전자 시스템 연구실

## Maximum Efficiency Point Tracking (MEPT) Control of Fuel Cell

Min-ho Jang, Jae-moon Lee, Jong-hoon Kim, Jong-Bok Baek, Bo-hyung Cho  
Seoul National University / Power electronics system laboratory

### ABSTRACT

연료전지가 동작할 때에는 공기공급을 위한 압축기가 동작하게 되는데 공기의 유량에 따라 연료전지의 출력전력이 달라진다. 또한 공기의 유량에 따라 압축기에서 소비하는 전력이 달라지기 때문에 공기 유량에 따른 연료전지의 최대 효율점이 존재하게 된다. 본 논문에서는 연료전지의 출력전력에서 압축기의 손실전력을 제외한 순수 파워를 최대로 낼 수 있는 유량을 추적 제어하는 알고리즘을 제안한다.

### 1. 서론

연료전지는 수소와 산소를 에너지원으로 사용하는데 이것들은 지구상에 풍부하게 있고 환경 오염의 문제가 없다는 점에서 기존의 화석 연료를 사용하는 내연기관을 대체하는 에너지원으로 주목받고 있다.<sup>[1-2]</sup> 연료전지 시스템을 간편하게 구성하기 위해 수소의 공급은 일정한 압력으로 유지하여 항상 반응에 필요한 충분한 수소양이 공급되도록 구성할 수 있다. 이때 연료전지 시스템은 그림1과 같이 전류와 공기 유량의 값에 따라 출력전압이 결정되는 시스템으로 나타낼 수 있다.

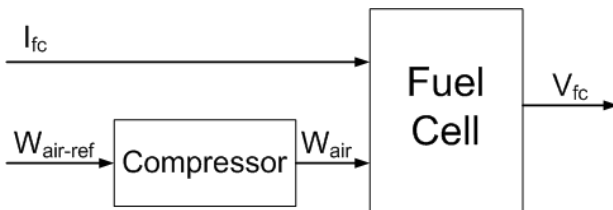


그림 1 연료전지 시스템

연료전지 시스템에서 공기의 유량을 증가시키면 연료전지 음극의 압력이 증가하여 연료전지의 출력전압이 상승하게 되고 이는 곧 연료전지의 출력전력의 증가로 이어진다. 하지만 공급되는 공기의 유량을 증가시키는 경우 압축기에서 사용되는 손실전력이 증가하게 된다. 결국 연료전지의 출력전력에서 공기 공급기에서 손실되는 전력을 제외한 순수전력이 최대가 될 수 있도록 적절한 유량을 공급해주어야 한다.

기존의 연료전지 유량제어는 실험적 결과에 의해 반응하는 산소양의 2배의 산소가 공급되도록 공기의 유량을 제어한다.<sup>[3]</sup> 이러한 제어방법은 연료전지 출력전류의 변화나 연료전지 동작

환경(온도, 습도 등)의 변화, 연료전지의 노화정도에 따라 연료전지의 순수전력이 최대가 되는 공기공급량이 바뀌었을 때 최대의 순수전력을 내지 못하게 된다. 또한 연료전지의 스택이나 공기공급을 위한 압축기가 바뀌었을 때 기존의 제어방법은 잘못지 않는다는 것을 확인할 수 있다. 본 논문에서는 연료전지가 항상 최대의 순수전력을 낼 수 있는 유량을 추적제어하는 알고리즘을 제안한다.

### 2. 본론

#### 2.1 연료전지의 특성

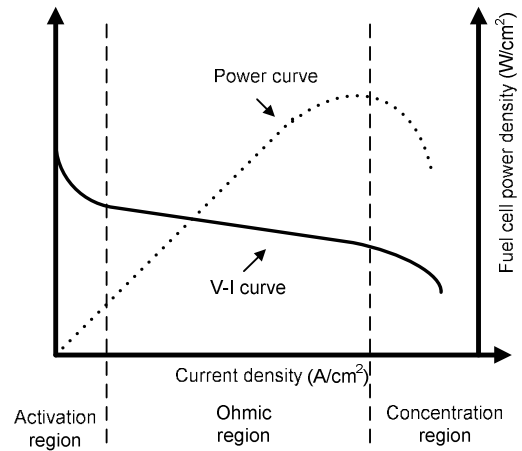


그림 2 연료전지 특성곡선

연료전지는 그림2의 특성 곡선에서 나타나는 것과 같이 출력 전류의 증가에 따라 출력 전압이 감소하고 출력 전력이 증가하는 특성을 가지고 있다. 연료전지의 손실은 크게 3가지로 나타낼 수 있는데, 먼저 전기화학적 반응으로 인한 손실이 있는 활성화 전압 손실(activation loss), 이온과 전자의 전도에 의한 손실이 있는 저항 전압 손실(ohmic loss), 마지막으로 반응물의 과잉으로 인한 손실이 있는 농도분극 전압 손실(concentration loss)로 구분된다.

이러한 연료전지의 특성을 연료전지 주변장치의 동특성을 포함하여 등가회로모델로 표현하여 식으로 정리하면 식(1)과 같고 그림3은 이를 이용한 연료전지 모델이다. 또한 연료전지의 수소사용량은 식(2)와 같이 연료전지의 출력전류에 따라 결

정된다.<sup>[4]</sup>

$$\begin{aligned}
 v_{fc} &= E - v_{act} - v_{ohm} - v_{conc} \\
 &\approx V_{OC} + V_{an,H_2} + V_{ca,O_2} \\
 &= V_{OC} + \log(p_{H_2}) \times K_{p_{H_2}} \times (T_{fc} - 298.15) \\
 &\quad + \log(p_{O_2}) \times K_{p_{O_2}} \times (T_{fc} - 298.15) \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$H_2 \text{ 사용량} = 1.05 \times n_{FC} \times I_{FC} \quad (kg \cdot s^{-1}) \quad (2)$$

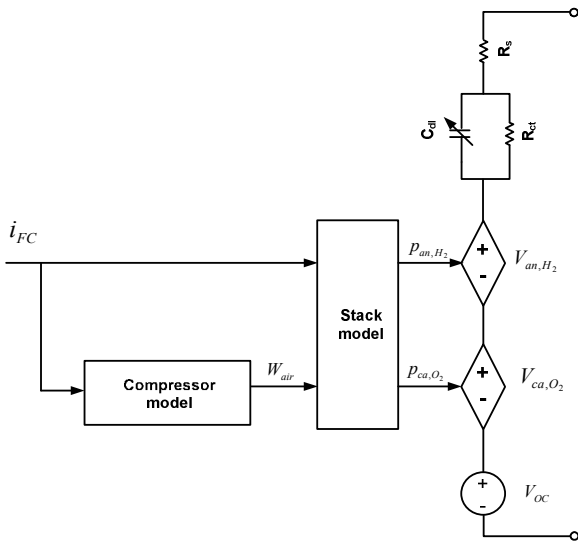


그림3 연료전지 등가회로 모델

### 2.2 연료전지의 최대효율점

그림1과 같이 연료전지 시스템을 구성할 때 연료전지의 공기공급량을 증가시켜 연료전지 음극의 압력이 증가하게 되면 식(1)의 연료전지의 전압이 커지게 된다. 이는 연료전지의 손실 부분이 작아지는 것을 의미하므로 연료전지의 전류가 고정되었을 때 연료전지는 같은 수소를 사용하면서 보다 큰 출력전력을 내는 것을 의미한다. 하지만 연료전지의 음극에 공기를 공급하기 위해서는 압축기를 동작시켜야 하는데 연료전지의 공기공급량을 늘리게 되면 압축기에서 손실되는 전력이 커지게 된다. 결과적으로 연료전지의 출력전력에서 압축기의 손실전력을 제외한 순수전력은 연료전지의 공기공급량에 따라 최대점이 존재하게 된다. 연료전지의 출력전류가 고정되어 있으면 식(2)에 따라 수소사용량 또한 고정되게 되므로 일정한 수소를 사용할 때 가장 큰 순수 파워를 낼 수 있는 최대의 효율점이 존재한다는 것이다. 그림3의 연료전지 모델을 이용하여 공기공급량에 따른 순수 파워를 그래프로 나타내면 그림4와 같다.

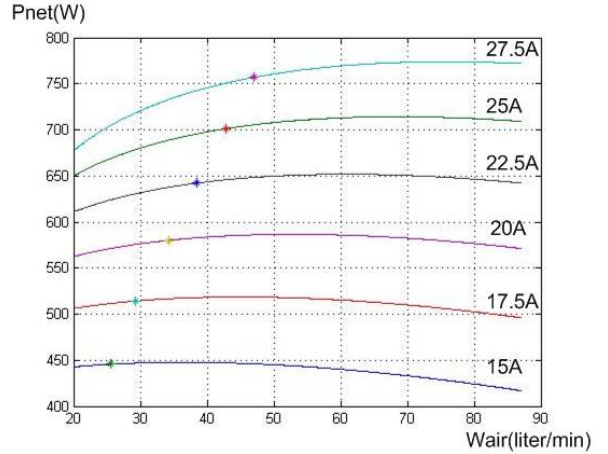


그림4 공기공급량에 따른 순수전력 그래프

### 2.3 최대 효율점 추적 제어 알고리즘

그림4에서 볼 수 있듯이 연료전지의 출력전류에 따라 연료전지의 최대효율점이 각각 존재하므로 연료전지의 최대 효율점에 해당하는 유량을 공급해주는 알고리즘이 필요하다. 하지만 이런 최대 효율점은 연료전지가 동작하는 환경(온도, 습도 등)과 연료전지의 노화 정도에 따라 달라질 수 있으므로 이를 추적하여 제어하는 알고리즘이 필요하다. 연료전지의 최대 효율점을 추적하여 제어하는 알고리즘은 공기공급량의 변화에 따른 순수전력의 변화를 보고 공기공급량의 변화를 결정하여 최대의 순수전력을 내는 지점을 찾아가는 방법을 사용하였다.

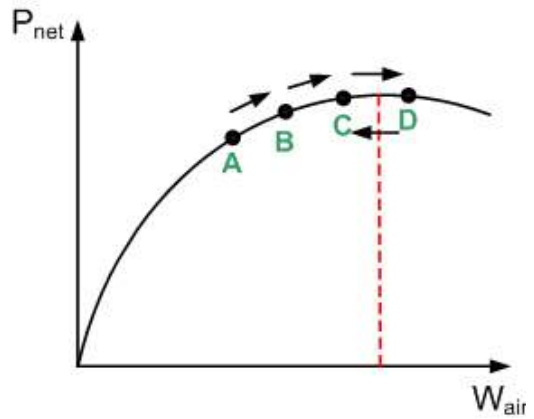


그림5 최대 효율점 추적 제어 알고리즘 원리

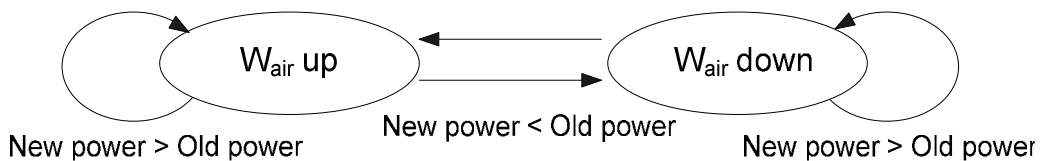
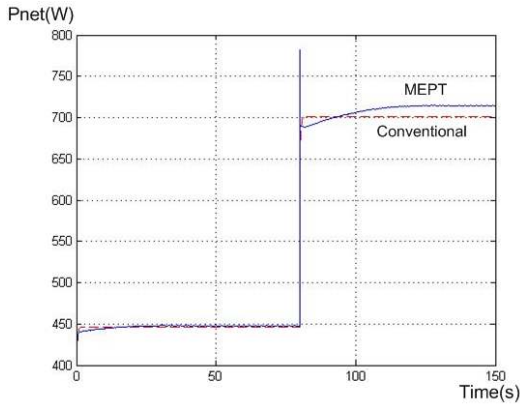


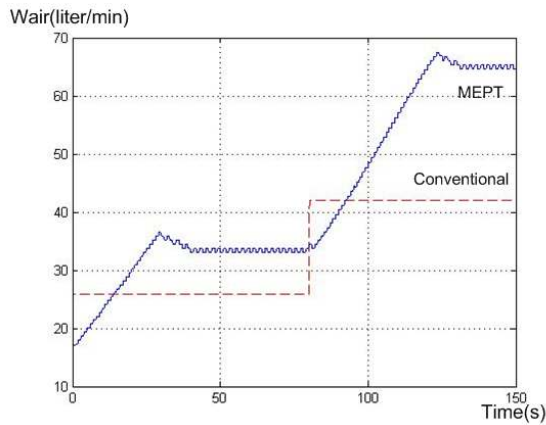
그림6 최대 효율점 추적 제어 알고리즘 상태도

## 2.4 시뮬레이션 결과

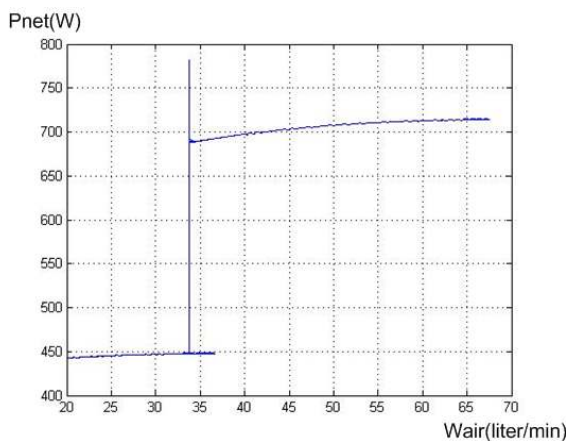
본 논문에서 제안한 연료전지의 최대 효율점 추적 제어 알고리즘을 시뮬레이션을 통하여 살펴보았다.



(가) 시간에 따른 순수전력의 변화



(나) 시간에 따른 공기 유량의 변화



(다) 연료전지 최대 효율점 추적 제어

그림7 시뮬레이션 결과(15A→25A)

그림7의 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이 연료전지는 순수전력이 최대가 되는 점에서 동작하도록 연료전지의 유량이 제어되는 것을 확인할 수 있다.

## 3. 결론

본 논문에서는 연료전지에 공급되는 공기의 유량에 따라 공기공급을 위한 압축기에서 손실되는 전력을 제외한 순수전력이 최대가 되는 점이 있음을 지적하고 보다 효율적인 연료전지의 운전을 위해 최대 효율점을 추적 제어하는 알고리즘을 제안하였다. 이를 통해 연료전지는 기존의 유량 제어방법에 의한 연료전지 운전과 동일한 수소를 사용하면서 더 큰 순수전력을 얻을 수 있게 되었다.

### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the ERC program of MOST/KOSEF (Grant NO. R11-2002-102-00000-0) and by New & Renewable Energy R&D program (2005-NFC12-P-01) under the Korea Ministry of Commerce, Industry and Energy (MOCIE).

### 참고 문헌

- [1] Y. Kishinevsky and S. Zelingher, "Coming clean with fuel cells", IEEE Power & Energy Magazine, vol.1, Issue:6, Nov.-Dec. 2003, pp20-25.
- [2] M.W. Ellis, M.R. Von Spakovsky and D.J. Nelson, "Fuel Cell Systems: Efficient, Flexible Energy Conversion for the 21<sup>st</sup>Century", Proceedings of the IEEE, vol.89, Issue:12, Dec.2001, pp.1808-1818.
- [3] Jay T. Pukrushapan, "Modeling and Control of Fuel Cell Systems and Fuel Processors", Ph. D. Dissertation, Mechanical Engineering, University of Michigan, 2003.
- [4] Jae Moon Lee, "Design and Analysis of Electrical Power System Structure for Fuel Cell HEV Using Supercapacitor", Ph. D. Dissertation, Department of Electrical Engineering, Seoul National University, 2008.