

# 전력시스템의 안정도 향상을 위해 계통에 연계된 연료전지 발전시스템의 제어기에 관한연구

노 경 수  
동국대학교 전기공학과

## A Controller of a Grid-Connected Fuel Cell Power Plant for Power System Stability Enhancement

Kyoung-Soo Ro

Electrical Engineering, Dongkook University

### 1. 서론

지난 30년 동안 기술적발전과 인간생활에 많은 공헌을 해왔던 화석연료는 인간의 삶과 자연에 위협한 요소로 인식되어 지고 있다. 비록 세계인구의 증가가 분명히 보다 많은 전기 에너지를 요구하고 있지만 사용량의 증가와 화석연료의 보존량 감소로 앞으로의 기술개발을 중단시키거나 지연시킬 수도 있을 것이다. 한때 무한한 에너지 자원으로 생각되었던 원자력 발전은 지금은 쉽게 받아들여지지 않는 기술이 되어 버렸다. 대체에너지원은 경제성이 낮고 비현실적이다. 그래서 에너지문제는 전 세계적으로 그 해결책을 찾아야 하는 어려움에 봉착하여 있다. 에너지 문제를 해결하기 위한 연구들은 i)화석연료의 보다 효율적인 이용, ii)원자력 에너지의 안전성 향상 iii)태양광 발전, 풍력, 조력, 그리고 연료전지 발전 등을 포함한 대체에너지원의 이용을 위한 새로운 기술의 개발 등을 포함한다.

연료전지는 충전배터리와 유사한 구조를 가지는 것으로 전해질 내에서 수소와 산소의 화학반응을 유도하여 수소가 가지고 있는 화학에너지를 바로 전기에너지로 변환하는 장치로서 높은 에너지 변환효율을 가지고 있으며 부하에 대한 빠른

응답과 모듈화의 가능으로 용량의 변화가 용이하고 연료의 유연성으로 인해 분산형 발전시스템과 자동차에 폭넓게 적용되고 있다.

전력시스템에 적용하기 위한 연료전지 발전기술의 연구동향을 살펴보면 태양광발전과 연계된 연료전지 시스템의 실행가능성은 계통접속(grid-connected)의 응용에서 성공적으로 수행되었다[1,2]. 연료전지의 빠른 추종성 덕분에 연료전지 시스템은 태양광 전지의 본질적 문제였던 간헐적 발전을 보상해 줄 수 있다. Yamaguchi 등은 1-MW 인산형 연료전지 발전소의 모의와 부하추종 그리고 영구폐쇄(shut-down) 특성 모의 결과를 공정과 제어시험 결과와 비교해서 검증 받았다[3]. 튜브형의 고체산화물 연료전지(Tubular Solid Oxide Fuel Cell)의 과도동작 모의 컴퓨터 모델이 제안되기도 하였다[4]. 이 연구에서 과도모델은 만들어진 출력에 영향을 끼치는 셀 동작의 전기화학 및 열 적인 면을 포함한다. 이것은 두 부분으로 나누어 심도 있게 수행되었다. Lucas 등은 내부개질 고체산화물 연료전지의 제어 응용 부분에 대한 비선형 수학적 모델을 발표했다[5]. 이 모델은 부하의 변화, 과도제한과 제어요구사항을 결정하기 위해서 셀의 응답을 평가하는데 사용될

수 있다. 또 한가지의 연료전지 모델링의 접근 방법은 연료전지 발전 시스템의 등가회로를 시스템제어에 대해 자세히 설명된 것이며 이 시스템은 퍼지 컨트롤러를 이용하여 시험된다[6].

본 연구는 연료전지발전 시스템의 응용에 있어서 전력시스템제어에 초점을 맞추었다. 전력시스템에서 연료전지 발전시스템의 이용이 증가함에 따라 연료전지 시스템의 효율적인 제어에 대한 전략이 요구되어진다. 또한 전체 전력시스템의 안정도를 강화시키기 위해서 연료전지 시스템에 대한 제어를 제안했다. 안정도는 연료전지의 빠른 응답특성을 이용함에 따라 가능하다. 이것은 적절한 스위칭을 인버터에 가해줘서 유효전력과 무효전력을 조절함에 따라 이루어진다. 그리고 컴퓨터에 의한 모의는 연료전지와 제어기에 관한 모델의 효과를 증명하였다.

## 2. 본 론

계통에 연계된 연료전지 발전시스템의 모델과 피드백 제어기의 컴퓨터 모델은 다음과 같다. 변압기와 계통사이의 직렬 리액터는 변압기 출력을 계통으로 공급한다. 유도임피던스는 유효, 무효전력 제어에 요구되고, 또한 계통선로의 장애에 의한 인버터전류의 증가비율을 제한하는 역할을 한다.

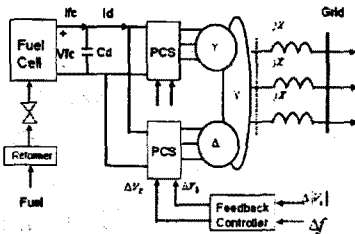


그림1. 계통에 연계된 연료전지 발전시스템의 모델

이러한 DC-AC 변환장치는 UPS, PWM컨버터, 무효전력 보상장치 등에 널리 이용되는 전파브리

지 인버터를 주로 사용하며 전압 및 주파수 조정 기능을 갖고 있으며 전체 시스템의 효율에 큰 영향을 끼치므로 인버터의 스위칭 및 도통 손실을 최소화시킴과 동시에 인버터 출력단에 연결된 필터용량을 최소화시켜 무효전력에 의한 손실을 최소화 시켰다. 피드백(feedback) 제어기는 모션 전압의 크기와 주파수의 변화값을 입력으로 받아들이어 인버터의 스위칭을 제어하는 출력을 내보낸다. 각 제어기를 통한 유효전력 출력의 변화는 인버터 전압의 상차각의 제어기를 위한 인버터의 스위칭 신호를 만들어낸다. 인버터 교류전압과 계통모션 전압사이의 상차각을 조절하는 것은 유효전력제어를 실행한다. 인버터의 전압크기의 제어를 위한 인버터의 스위칭 신호는 상제어기를 통해 만들어진다. 모션전압에 상대적인 인버터 출력전압의 크기는 무효전력조류를 제어하는데 사용된다. 그 제어기는 유효전력은 물론 무효전력을 효과적으로 제어할 수 있으며 무효전력은 송전손실과 전압안정도와 밀접한 관계가 있기 때문에 무효전력의 효과적인 제어도 중요하게 된다. 여기서 우리는 연료전지의 여러 장점 중에서 부하응답이 매우 빠른 특성과 부하값에 상관없이 매우 높은 에너지 변환효율을 보이는 특성을 이용하여 배전계통에 연계 운용함으로써 전력 시스템의 안정도 향상에 미치는 영향을 검토하고 이를 위한 제어기를 설계하였다. 사례연구는 회전자각의 변화와 재래식 발전기의 회전자 속도를 보여주고, 제안된 제어기의 효과를 검증하였다. 부하모션에서 20MW와 10MVAR의 갑작스러운 부하수요의 증가는 열발전기의 회전자 각(즉 유효전력)의 진동을 야기한다. 제어기가 동작하지 않을 경우에 부하증가는 2초 이상 진동 후에 회전자각이 하락한다. 이러한 현상은 재래식 발전기가 주파수 제어능력이 없기 때문에 일어난다. 이 경우에 연료전지시스템의 출력은 변하지 않는다. 제어기가 동작하는 경우에 제어기는 부하증가에 따라 연료전지출력을 조절하도록 반응한

다. 이 제어동작은 연료전지시스템의 적절한 제동을 발전기 진동 역학에 제공함으로써 상당히 회전자 각과 회전자 속도 진동을 감소시킨다. 따라서, 연료전지시스템의 제어기는 재래식 발전기의 동적 작용에 있어 시스템 안정도 향상에 기여한다.

### 3. 결론

이 연구는 배전망에 연결된 연료전지의 효과적인 제어의 필요에 대해 이야기하고 있다. 제어의 개요는 연료전지의 빠른 응답특성을 이용하여 재래식 발전기의 진동을 없애는 것이다. 연구의 중요 기여는 연료전지 시스템의 제어기 설계와 컴퓨터 모델의 개선이라고 할 수 있다. 시뮬레이션 결과로부터 볼 수 있는 만족스러운 동적 응답은 개선된 제어기의 효율을 검증한다.

부하의 변동에 따른 발전기의 출력의 동요를 연료전지 발전시스템의 전력계통 연계운용을 통하여 배전계통의 전력공급 신뢰도를 높임으로써 현대사회의 고품질 전력에 대한 요구증가를 해결할 수 있고 큰 전력시스템의 안정도를 개선하는데 적용될 수 있다. 이 제어 시스템은 향상된 시스템 신뢰도에 의해 높은 질의 전력을 제공한다고 볼 수 있다.

앞으로 연료 전지 기술은 환경 친화적 청정에너지 기술로써 많은 관심과 발전이 기대되는 만큼 전력계통과의 연계운용 및 제어분야 또한 많은 발전이 있으리라 본다.

### 4. 참고문헌

- [1] S. Rahman and K. Tam, A Feasibility Study of Photovoltaic-Fuel Cell Hybrid Energy System, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 3, No. 1, March 1988, pp. 50-55.
- [2] K. Ro and S. Rahman, "Two-Loop Controller for Maximizing Performance of a Grid- Connected Photovoltaic-Fuel Cell Hybrid Power Plant", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 13, No. 3, September 1998, pp. 276-281.
- [3] M. Yamaguchi et al., Analysis of Control Characteristics using Fuel Cell Plant Simulator, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 37, No. 5, October 1990, pp. 378-386.
- [4] D.J. Hall and R.G. Cloclaser, Transient Modeling and Simulation of a Tubular Solid Oxide Fuel Cell, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 14, No. 3, September 1999, pp. 749-753.
- [5] M.D. Lukas et al., Development of a Stack Simulation Model for Control Study on Direct Reforming Molten Carbonate Fuel Cell Power Plant, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 14, No. 4, December 1999, pp. 1651-1657.
- [6] Y.H. Kim and S.S. Kim, An Electrical Modeling and Fuzzy Logic Control of a Fuel Cell Generation System, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 14, No. 2, June 1999, pp. 239-244.
- [7] L.J. Blomen and M.N. Mugerwa, *Fuel Cell Systems*, Plenum Press, New York, 1993
- [8] K.C. Kalaitzakis and G.J. Vachtsevanos, On the Control and Stability of Grid Connected Photovoltaic Sources, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 2, No. 4, December 1987, pp. 556-562.
- [9] A.R. Bergen and V. Vittal, *Power System Analysis*, Prentice Hall, 2000.
- [10] H. Saadat, *Power System Analysis*, McGraw-Hill, 1999.