

연료전지용 컨버터 제어기에 관한 연구

강주성*, 고감훈, 최광주, 홍두성, 이현우
경남대학교

A Study on controller of converter for fuel cell

Ju Sung Kang*, Kang Hoon Koh, Kwang Ju Choi, Doo Sung Hong, Hyun Woo Lee
Division of Electrical Engineering, Kyungnam University

Abstract - This paper is aimed at presenting a computational model of a proton exchange membrane (PEM) fuel cell stack. The proposed simulation model is simple and at the same time includes all the important characteristics of a fuel cell stack. Close agreement between the simulation, manufacturer and experimental results confirm the validity and usefulness of the proposed FC model.

Also, we propose the variable PI control method which has the best of follow efficiency than the PI control method. we confirm a reduced ripple and improved follow efficiencies when the system is applied the DC-DC converter, by simulation using PSIM.

1. 서 론

화석연료의 고갈과 대기오염의 문제점을 극복하기 위하여 대체 에너지 개발에 대한 관심이 고조되고 있는 가운데, 수소 연료는 현재의 화석 연료를 대체할 에너지원으로 미국, 일본, 독일 등 선진국을 중심으로 수소 연료에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.

특히 연료전지 시스템은 높은 변환효율 및 수소 연료의 이용 측면에 있어서 많은 장점을 가지고 있기 때문에 빠른 진전을 이루고 있다.

연료전지의 발전특성은 부하가 변동되면 전류가 급변하게 되고 따라서 전압이 급격히 감소 또는 증가하게 된다. 이러한 전압변동에 의해 인버터에 고조파 및 노이즈를 유입시키게 되는 원인이 된다.

그러므로, 인버터가 일정한 범의 내에서 안정된 운전을 할 수 있도록 일정전압 유지하도록 하기 위해 별도의 DC-DC컨버터가 필요하게 된다. 또한 제어기법으로는 고전적인 PI제어기법이 적용되었으나 강인성제어 측면에 부족한 단점을 가지고 있기 때문에 이것을 개선하기 위하여 뱅뱅(Bang-Bang)제어기법을 사용하였다.^{[1][3]} 그러나 이 또한 만족한 결과를 얻을 수 없었기에 다양한 디지털 제어(뉴턴 네트워크, 퍼지 제어, 카오스 이론, 각종 관측기)기법이 연구되고 있다.

이들 제어 시스템은 고가의 프로세서를 사용하여 제어하기 때문에 범용의 시스템 제작은 용이하지 못하다는 단점을 가지고 있다.

따라서, 본 논문에서는 기존의 토폴로지의 단점들을 해결하고 넓은 부하 변화 및 출력 전압의 범위에서 동작이 가능한 가변 PI 제어기법을 적용함으로써 빠른 출력응답특성 및 시스템의 간소화가 가능하다. 아울러 설계한 제어기법은 저가의 범용 프로세서(PIC16F877)의 프로그램이 용이하다는 것을 PSIM을 통하여 시뮬레이션한 결과로 그 타당성을 확인 할 수 있었다.

2. 본 론

2. 연료전지 발전시스템

2.1 연료전지 모델링

전기적인 관점에서, 가장 간단한 연료전지 모델 방법은 연료전지 특성을 완전한 선형으로 가정하는 것이다. 이때 연료전지는 연료전지 V-I곡선의 중간 영역의 기울기, 직렬 저항 비례와 함께 이상적인 전압원으로 해석한 것이다. 그림 2.1은 선형 연료전지의 모델을 나타낸 것이다. 비선형 모델은 전류 피드백으로서 출력전압을 결정하는 조건 수식이 요구된다.^[4] 그림 2.2는 측정결과 얻어진 연료전지의 전압/전류 특성곡선을 이용하여 얻어진 시뮬레이션 모델을 나타낸 것이다. PEM 연료전지의 V-I특성 데이터를 분석하여 Visual C++에서 만든 Dynamic-Link Library(DLL)을 링크시켜 모델한 것이다. 전류피드백과 출력전압을 결정하기 위한 조건 방정식을 사용하여 실제(Nexa 310-0027) 연료전지 출력특성을 이용하여 모델링 하였다. 이 모델에서 온도와 수하레벨과 같은 다른 파라미터들도 필요 하다면 포함 할 수 있다. 그러나 컨버터를 시뮬레이션 하기위한 전원으로 사용하는 것은 큰 문제점이 없다고 사료된다.

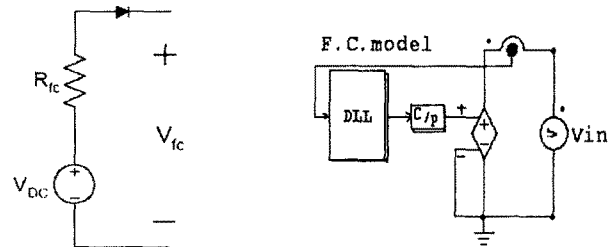
그림 2.3은 Ballard사에서 PEM연료전지 전력 모듈의 사진을 나타낸 것으로서 연료 공급 장치를 내장하고 있는 1.2[KW] 고분자 전해질형 연료전지 스택과 주변회로 및 DC부하를 나타내고 있다.

공기는 대기에서 공급받으며, 청정하고 건조한 수소는 용량 47[l,

순도 99.99[%]의 탱크에서 청정하고 건조한 수소를 공급받는다. 47개의 셀이 직렬로 연결되어 있으며 0에서 50[A]까지 일정한 전류를 발전 할 수 있다.

그림 2.4는 무부하 45[A]의 정격 전류에서의 출력 전압과 전류의 분극(polarization) 특성을 제조사에서 제공한 데이터와 실제 측정된 그래프를 비교하며 나타낸 것이다. 개방회로와 무부하 상태에서 가장 높은 출력 전압에 도달하며 전압이 떨어지면서 증가하는 전류를 확인 할 수 있다. 분극 곡선 특성은 전류의 함수에 의한 전압이다.

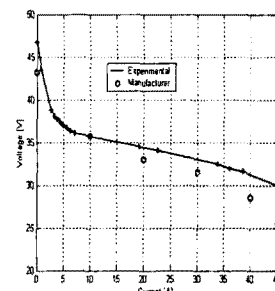
요구하는 전기적인 전력을 획득하기 위해 각각의 연료전지를 연료전지 스택의 형태로 결합한다. 셀의 전류증가는 셀의 표면 범위의 증가에 관하여, 스택의 전압 증가는 셀 수의 증가와 관계한다. 그림 2.5는 스택 출력전류의 함수로서 순수 출력 전력을 나타내었다. 순수 출력 전력은 사용하지 않는 무부하 또는 사용하지 않는 시스템, 즉 0에서부터 정격 전력인 약 1.2[kW]까지 변화시켜 얻은 곡선이다.



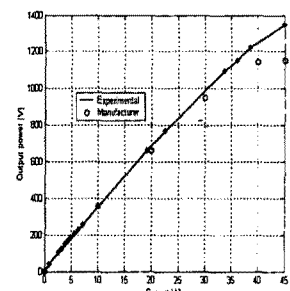
<그림 2.1> 선형 연료전지의 모델 <그림 2.2> 비선형성 연료전지의 모델



<그림 2.3> Ballard사의 Nexa PEM 연료전지 파워 모듈



<그림 2.4> PEM 연료전지의 V-I특성

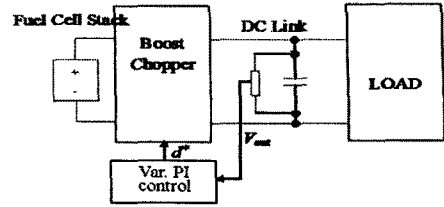


<그림 2.5> 정격전력에서 무부하시 순수 출력 전력

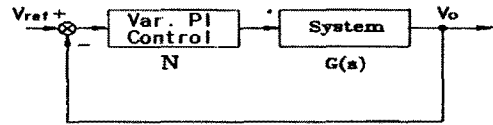
2.2 제안하는 PI제어기

그림 2.6은 제안하는 알고리즘을 적용한 컨버터 시스템을 나타낸 것이다. 기존 전압값과 출력전압값을 비교하여 얻어진 에러값을 PI 제어기에 입력하여 제어하는 방식은 기존의 PI 제어기와 동일하나 본 논문에서 제안하는 가변 PI 제어 기법은 얻어진 에러값을 제한된 값과 비교하여 제한값 보다 큰 경우 적분계인 K_{i0} 값을 입력하여 천천히 적분 계인을 증가시킨다. 반대로 제한값보다 작은 경우 적분계인 K_{id} 를 입력하여 적분 계인을 감소시킨다. 이것을 블록다이어그램으로 나타내면 그림 2.7과 같다. 그러므로 제한치 이내로 제어가 가능하며 부하 변동시 적분 계인값을 변화시켜 제어 하므로 기존의 PI 제어기에 비하여 빠른 제어 응답성을 기대 할 수 있다.

그러나 단점으로는 선형성이나 경부하의 경우 응답특성이 기존의 PI보다 다소 느리며 리플성분이 존재한다. 이러한 단점은 연료전지의 출력 전압이 제어가 속도에 비하여 급변하지 않으며 또한 리플은 출력측 필터로서 제거되기 때문에 시스템에 큰 영향을 미치지 않는다.



〈그림 2.6〉 제안한 알고리즘을 적용한 컨버터 시스템



〈그림 2.7〉 가변 PI 제어 시스템의 간단한 블록 다이어그램

3. 시뮬레이션 결과 및 분석

3.1 일반적인 PI제어기

연료전지를 연결하여 부스터 컨버터를 일반적인 PI제어기를 이용하여 시뮬레이션 분석하였다. 그림 3.1은 일반적인 PI 제어회로도 및 부하가변시 출력전압-전류파형을 나타낸 것이다. PI제어결과 부하가 증가 될수록 전압의 리플 증가 및 리플의 주파수가 크다는 것을 알 수 있다.

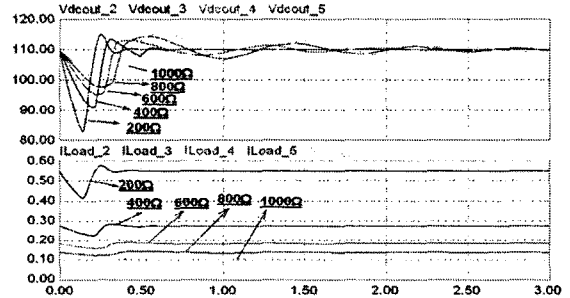
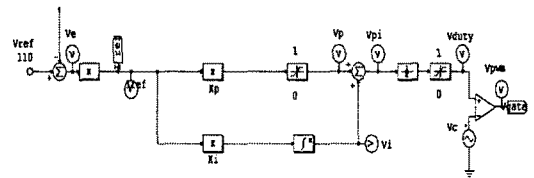
3.2 제안하는 가변 PI 제어기

그림 3.2는 부하 가변시 추종파형을 나타낸 것이다. 파형에서 볼 수 있듯이 제안한 가변 PI 제어기법은 출력 전압을 일정된 리미터 값의 리플을 가지고 동작하고 있으며, 기존의 방식보다 빠른 추종속도와 낮은 리플을 나타내고 있다.

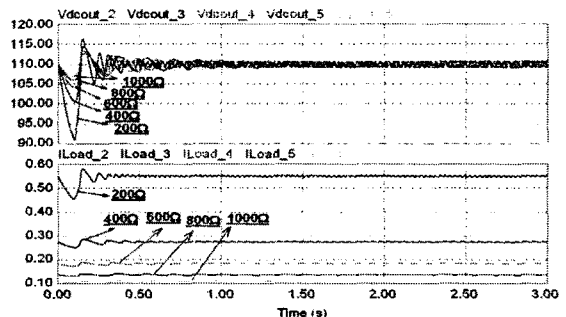
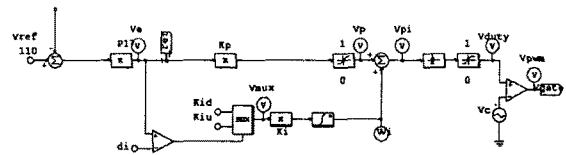
이상과 같이 기존의 연료전지용 컨버터에 적용된 PI제어기법은 부하 변동에 따른 추종 속도가 느리다. 그러나 본 논문에서 제안하는 가변 PI 제어기법은 에러값을 일정 범위 제한값 이내로 추종하도록 하여 리플 크기나 응답 추종속도가 빠르며, 기존의 고가의 DSP프로세서 대신에 저가의 PIC프로세서로 구현하기가 용이하다. 또한, 일반적인 기존의 제어시스템은 내부 루프와 외부루프의 전압과 전류 모듈을 검출하여 제어하여야 한다. 제안한 제어기법은 단순히 전압만을 센싱하여 가변 비교함으로써 센서의 수를 줄일 수 있으므로 비용을 절감 할 수 있다. 표 1은 시뮬레이션에 사용된 회로정수를 나타낸 것이다.

〈표 1〉 시뮬레이션에 사용된 회로정수

항 목	값
입력 전압(V_{in})	46[V]
스위칭 주파수(fs)	20[kHz]
인덕턴스(L)	1[mH]
평활용 커패시터(C)	2200[μ F]
출력 전압(V_{out})	110[V]
부하(R_L)	20 - 1000[Ω]



〈그림 3.1〉 일반적인 PI제어기 및 부하 가변시 추종 파형



〈그림 3.2〉 부하 가변시 추종 파형

3. 결 론

본 논문에서 Ballard사의 연료전지 Nexa 310-0027PEM을 실험결과 얻어진 V-I특성 데이터를 분석하여 실제 연료전지 시스템을 모델링하였다. 또한 기존의 PI 제어기 특성을 개선한 가변 PI 제어기법을 제안하였다. 컨버터에 적용하여 시뮬레이션 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- i. 제안하는 기법은 전압센서만을 이용, 기존의 제어기와 비교해도 손색없이 빠른 추종특성
 - ii. 부하 변동시 기존의 PI 제어기에 비하여 낮은 리플특성
- 상기와 같이 제안한 제어기법은 폭넓은 부하 변동 특성에 만족한 성능을 보였다. 향후 제안한 기법을 적용한 제어기를 제작하여 실험적인 타당성을 입증하고자 한다.

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라우축 지원 사업으로 수행된 논문입니다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] J. O. Bockris and S. Srinivasan, Fuel cells: Their electrode chemistry, McGraw-Hill, N.Y. 1969.
- [2] Kim J., Lee S-M Srinivasan S. and Chamberlin C. E., "Modeling of Proton Exchange Membrane Fuel Cell Performance with an Empirical Equation", Journal of the Electromechanical Society, Vol. 142, No. 8, pp.2747-2751, 1995.
- [3] Ballard Power Systems, "Nexa (310-0027) Power Module User's Manual", MAN5100078, June 16, 2003.
- [4] S. S. Yerramalla, A. Davari and A. Feliachi, "Dynamic Modeling and Analysis of Polymer Electrolyte Fuel cell", Proceeding of IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 1, pp. 82-86, July 2002.