

이상조건하에서 가정용 연료전지 시스템의 성능 및 안전성 평가에 관한 연구

*이 정운, 서 원석, 김 영규

A Study on the Performance and Safety Evaluation for Residential Fuel Cell System under the Abnormal Condition

*Jungwoon Lee, Wonseok Seo, Younggyu Kim

Key words : Fuel Cell(연료전지), PEMFC(고분자 전해질막 연료전지), Performance Test(성능테스트), Safety(안전), Abnormal Condition(이상조건), Voltage Sag(전압강하), Fuel Cut(연료공급중단)

Abstract : Fuel cell systems have witnessed remarkable development in recent years as they offer a clean and efficient alternative for power generation. Testing was conducted to determine the safety performance of a residential fuel cell system when subjected to abnormal operation condition, especially for voltage sag and fuel cut. In case of voltage sag to 198V, its arriving time at rated power had shown a slight lag but there wasn't any noticeable change when operating it between rated voltage(220V) and 10% voltage sag(198V). In case of fuel cut, it also showed stable shut-down characteristics. The test results are being used to develop a new safety evaluation for residential fuel cell system.

1. 서 론

최근 유럽연합(EU) 회원국들은 2020년 에너지 소비량을 20% 감축하고, 온실가스 배출을 1990년대에 대비하여 30%까지 감축하는 것을 목표로 새로운 에너지 정책에 합의 하였다. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 기존 에너지의 효율을 개선하거나 여러 가지 청정에너지 기술 개발을 확대하여 에너지 수입원을 다양화하기 위한 정책들을 추진 중에 있다. 이러한 유럽연합의 신재생에너지 개발에 대한 앞선 움직임에 대해 파악하고 앞으로 있을 에너지 자원고갈에 대비할 필요가 있다¹⁾.

이에 따라 전세계 에너지 정책의 목표를 결정하는데 있어서 세계 기후변화와 에너지 공급의 안정성이 급속하게 중요한 결정요인으로 대두되어지고 있다. 유럽 위원회 녹색(green paper)에 나타난 에너지 정책의 목표는 에너지의 지속성, 경쟁력 및 공급의 안정성이다. 따라서 지구온난화 가스의 감소, 신재생에너지의 공급과 에너지 보존과 같은 에너지의 지속성에 관한 정책들이 분산발전과 신재생에너지 공급 시스템을 발전시키는 방향으로 추진되어지고 있는 실정이다²⁻³⁾.

여러 신재생에너지 공급 시스템 중 가장 유망한 분산전원 발전 공급 시스템 중의 하나인 연료전지는 기존의 화력발전에서의 에너지생산과는 다른 방식으로 높은 효율과 친환경적이면서 저소음을 갖고 있는 장점이 있다⁴⁻⁵⁾. 연료전지시스템의 주 구성요소로는 연료처리장치, 스택과 전력변환기로 이루어져 있다. 연료처리장치는 프로판, 메탄, 메탄올 등과 같은 탄화수소수의 화학반응을 이용하여 스택에 수소를 공급해주는 장치이고, 스택에 수소와 공기를 공급하여 전기화학적 공정을 통하여 DC 전기와 물을 발생시킨다. 다음 단계로 가정 또는 전력망에 전기를 공급하기 위하여, 전력변환기가 사용되어진다.

-
- 1) 한국가스안전공사 가스안전연구원 수소·DME연구팀
E-mail : wooni@kgs.or.kr
Tel : (031)310-1435 Fax : (031)315-4363
 - 2) 한국가스안전공사 가스안전연구원 수소·DME연구팀
E-mail : wsseo@kgs.or.kr
Tel : (031)310-1433 Fax : (031)315-4363
 - 3) 한국가스안전공사 가스안전연구원 수소·DME연구팀
E-mail : ygkim@kgs.or.kr
Tel : (031)310-1430 Fax : (031)315-4363

여러 형태의 연료전지시스템 중에서 고분자연료전지시스템은 낮은 운전온도와, 빠른 기동시간을 가지고 있어 가정용 및 상업용에 가장 적합한 시스템으로 여겨지고 있다. 가정용 연료전지시스템의 경우 다른 발전시스템에 비하여 매우 안전하지만, 시스템자체의 문제가 아니라 외부의 외란에 대한 연료전지시스템의 안전성을 확인하는 것은 매우 중요한 일이다.

본 연구에서는 고분자 연료전지시스템을 성능평가 장치에 의해 실시간으로 측정하여 이상조건하에서의 운전데이터의 분석을 통한 시스템의 운전특성을 파악하여 시스템의 운전특성에 대한 안전성을 확립하고자 한다. 이상조건상태인 수전전압의 불안정시 나타나는 전기점화성능 특성 및 연료공급 중단에 따른 시스템의 안정적 정지특성을 알아보하고자 한다.

2. 시험방법

연료전지 성능평가장치를 국내 A사의 1kW급 가정용 고분자연료전지 시스템에 연결하여 각 부분의 온도, 압력, 유량, 전력량 등의 기본적인 값을 이용하여 얻은 데이터를 비교 분석하였다⁶⁾. 이상조건상태인 수전전압의 계통전압 강하시의 연료전지시스템의 성능 및 안전성을 평가하고자 AC Power Source/Analyzer(300Vrms, 1750VA, Agilent 6813B)를 이용하여 수전전압을 전기점화성능의 시험조건인 정격주파수에서 정격전압의 90% 전압(198V)으로 고정하여 시험을 수행하였다. 또한 정격전압(220V)과 정격전압의 95% 전압(209V)에서도 정압강하 비교시험을 수행하였다.

또한 연료공급 중단에 따른 시스템의 안정적 정지특성을 알아보하고자 시스템 가동 후 연료공급 밸브를 순간적으로 off시킨 후 시스템의 정지특성을 알아보았다.

이상조건하에서의 안전성평가를 수행하기 위하여 연료전지시스템 초기 기동시 연료라인 및 물 라인의 개폐여부를 확인하고 연료전지의 톨콘 스위치를 작동시키면, 기동 순간부터 1kW의 정격 운전구간 및 정지 구간에 이르기까지의 모든 측정값들이 측정 및 계산되어 진다. 이 모든 데이터는 원하는 저장간격(초 단위)으로 excel 파일에 실시간으로 자동 저장되고, 각종 데이터는 정해진 수식에 의해 계산되어 저장된다.

3. 실험 결과

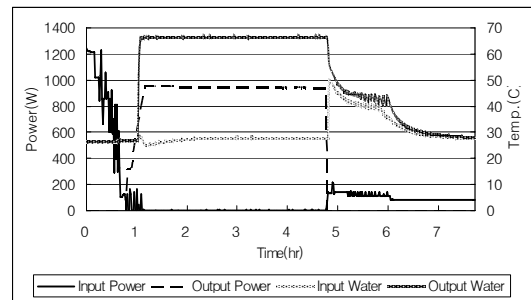
수전 전압의 변동, 가혹한 바람, 연료의 차단 등 여러 이상 조건하에서 연료전지 시스템의 안

전성을 평가하는 것은 기본적으로 연료전지 시스템 설계에서 필수적이다. 이상 조건하에서 시스템이 정상운전에 방해를 받지 않거나, 순간적으로 안전한 정지가 되어야 위험요소를 줄일 수 있다.

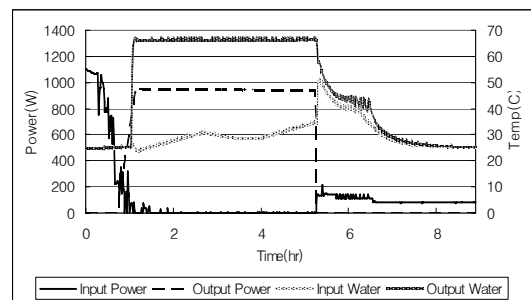
3.1 수전전력 전압강하

교류전원을 사용하는 시스템의 외부영향에 대한 안전성 검증방법 중의 하나인 점화성능 평가 방법은 정격주파수에서 정격전압의 90%전압에서 시스템의 점화여부를 평가하는 것이다. 3회 평가시 모두 정격운전으로 안전하게 도달하하는 결과를 얻었다. 점화성능시험의 사항인 연소상태, 불옴김, 소화까지 쉽게 평가할 수 있도록 연료전지의 버너부도 보일러의 경우처럼 불꽃상태를 육안으로 확인할 수 있는 장치가 마련된다면 좀 더 정확한 점화성능시험이 될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 수전전압의 점화성능에 대한 영향을 고찰하기위하여 수전전압의 220V(정상상태), 209V(5%저하), 198V(10%저하) 하에서 각각의 운전특성을 알아보았다.

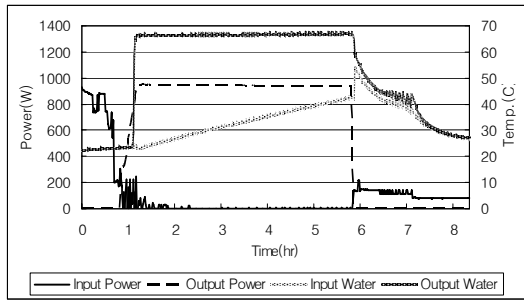
그림 1에서 나타난 바와 같이 수전전압이 정격전압(220V)에서 저전압(198V)으로 갈수록 초기 기동시의 전력의 최대치가 감소하는 경향을 보이고, 출력전력 발생 소요시간과 정격출력 발생 소요시간이 지연되는 경향을 보이고 있다. 즉 수전전압의 저하의 영향에도 양호한 점화성능을 보이고 안정한 정격운전을 볼 수 있으나 기동시간이 다소 길어지고 있음을 알 수 있다.



(a) 220V



(b) 209V

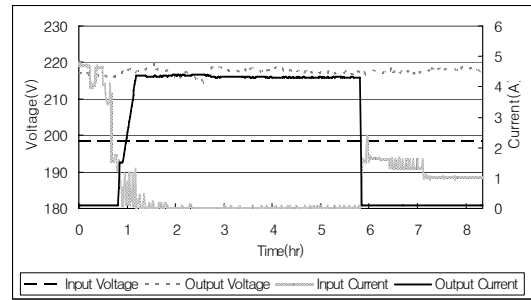


(c) 198V

그림 1. 수전전압 변화에 따른 운전특성

그림 2의 결과에 의하면 발전전압 및 발전전류의 특성이 수전 전압의 변화에 대하여 큰 영향을 미치지 못하는 것을 볼 수 있고, 수전전압의 값이 적어지면 수전전류의 값도 줄어드는 경향을 보인다. 이는 시스템의 기동에 영향을 주는 수전전력이 줄어드는 것을 의미하며, 기동시간에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 발전전력이 시작된 후에 수전전압을 적게 인가한 경우에 시스템에서 수전전력을 사용하는 양이 많아지고 수전전력사용시간이 길어지게 되는 결과를 가져온다.

이는 표 1에서 보여지듯이 수전전압 변동에 따라 연료전지 시스템의 기동특성에 미세한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 기동 후 발전전력이 시작되는 시간이 전압을 220V, 209V, 198V로 줄일수록 44분, 47분, 49분으로 늘어남을 확인할 수 있었다. 자연스럽게 정격운전에 도달하는 시간도 65분에서 71분으로 길어짐을 보인다.



(c) 198V

그림 2. 수전전압 변화에 따른 수전/발전의 전류/전압 특성

수전전압이 저하됨에 따라 기동특성의 미세한 변화는 있었으나, 연료전지의 안정적인 발전전력 및 운전특성의 차이를 발견할 수 없었다. 이는 수전전압의 변동이라는 외란에 대하여 연료전지 시스템의 안정성을 확인할 수 있는 시험 항목이 될 것이다.

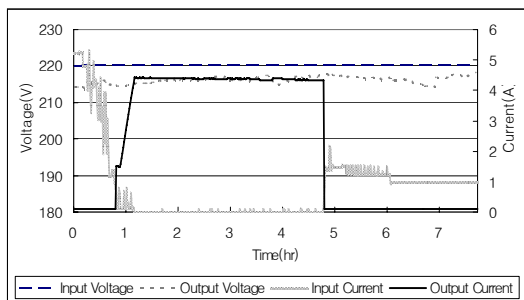
표 1. 수전전압 변동에 따른 기동특성

	IV(220V)	IV(209V)	IV(198V)
O _{Pi} (min)	44	47	49
O _{Pr} (min)	65	68	71

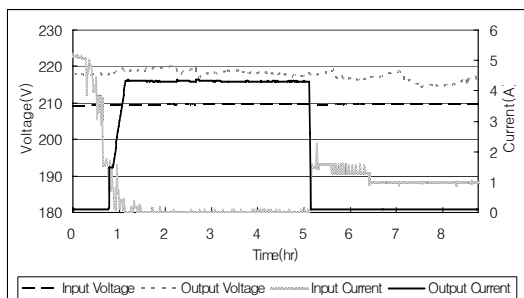
* here, IV = Input Voltage,

O_{Pi} = Time of the Initial Output Power

O_{Pr} = Time of the Rated Output Power



(a) 220V



(b) 209V

3.2 연료공급 차단

연료전지 시스템의 정상운전 시 실제 사용자의 부주의가 아니라 연료공급의 차단, 정전, 수돗물의 절수 등 갑작스런 이상 현상이 발생하더라도 연료전지 시스템은 안정하게 운전하거나, 안전하게 정지하여야 한다. 그림 3은 기동 후 곧바로 연료공급을 중단한 경우 발생하는 현상을 나타내고 있다. 이때 시스템은 순간적으로 정지 모드에 들어가 안전한 정지를 나타내고 있다. 이는 연료전지시스템 운전 중 시스템의 정지를 위해 연료전지의 룰콘 정지버튼을 누른 것과 같은 안정적인 정지특성 결과로 순간적으로 발전전력이 급강하하고, 정지를 위한 수전전력이 소모되다가 대기모드 상태로 바뀌는 안전한 정지모드 구간이 되는 것을 볼 수 있다.

그 외 시스템에 이상 현상이 발생할 경우 안전장치가 작동하여 자동적으로 정지하는 경우를 연료전지 기술기준에 기술되어진 사항으로 나열해보면, 다음과 같다.

- 연료 계통 내 및 개질 계통내의 연료 가스의 압력 또는 온도가 현저하게 상승 했을 경우
- 개질기 버너의 불이 꺼졌을 경우
- 연료 가스의 누출을 검지했을 경우
- 제어장치에 이상이 생겼을 경우
- 제어 전원 전압이 현저하게 저하했을 경우
- 연료 전지 셀 스택에 과전류가 생겼을 경우
- 연료 전지 셀 스택의 발생 전압에 이상이 생겼을 경우
- 연료 전지 셀 스택의 온도가 현저하게 상승했을 경우
- 연료 전지 발전 유니트 내의 온도가 현저하게 상승했을 경우
- 연료 전지 발전 유니트 내의 환기장치에 이상이 생겼을 경우

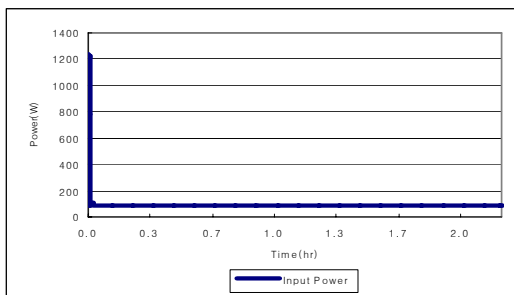


그림 3. 연료공급 차단 상태 기동 특성

4. 결론

연료전지의 성능평가 및 운전특성에 따른 다양한 위험요소를 분석하고, 완제품 상태의 연료전지 시스템에 적용함으로써 연료전지의 안정한 시스템 성능을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 연료전지 시스템 성능평가장치를 설계 및 제작하여 1kW급 가정용 고분자 연료전지에 적용하여 연료전지 운전 시 이상조건인 수전전압 강하시와 연료공급 차단시에 대한 시스템의 성능특성 및 안정성을 평가 하였다. 수전전압 전압강하시 정격출력 도달시간이 정격 전압상태에 비해 다소 지연되는 결과를 보였으나, 안정한 시스템의 운전특성을 보였다. 또한 연료공급 차단시에도 시스템의 안정한 정지특성을 보였다.

이와같이 연료전지 기술개발과 병행하여 제품의 상용화를 앞당기고, 연료전지 기술에 대한 국가의 경쟁력을 제고하기 위하여, 연료전지 시스템의 상용화 및 보급단계 이전에 연료전지의 성능 및 신뢰성에 대한 검증은 적절하게 시행하기 위한 안전가이드라인을 제시하고자 하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부 신재생에너지기술개발사업의 일환(2006-N-HY12-P-01)으로 수행되었습니다.

References

- [1] 이준현, “신재생에너지 개발에 대한 유럽연합(EU)국가들의 최신 기술동향과 평가”, 첨단기술보고서 in www.kosen21.org, 2008
- [2] European Commission, "European distributed energy resources projects", EUR 21239, 2004a
- [3] IEA, "Distributed generation in liberalised electricity markets", International Energy Agency, Paris, 2002
- [4] Bohn, D., "Decentralised energy systems: state of the art and potentials", International J. of Energy Technology and Policy, Vol. 3, pp. 1-11, 2005
- [5] Krewitt, W., Nitsch, J., Fishedick, M., Pehnt, M. and Temming, H., "Market perspectives of stationary fuel cells in a sustainable energy supply system-long term scenarios for Germany", Energy Policy, Vol. 34, pp. 793-803, 2006
- [6] 이정운, 서원석, 김영규, “고분자 연료전지시스템의 기동 및 정지특성에 관한 연구”, 한국에너지공학회 춘계학술발표회, pp. 95-100, 2008