

## 고분자 연료전지시스템의 기동 및 정지특성에 관한 연구

\*이 정운, 서 원석, 김 영규

### A Study on the Start-up and Shut-down Characteristics for PEMFC System

\*Jungwoon Lee, Wonseok Seo, Younggyu Kim

**Key words** : Fuel Cell(연료전지), PEMFC(고분자 전해질막 연료전지), Performance Test(성능테스트), Safety(안전), Hydrogen(수소), Start-up(기동), Shut-down(정지)

**Abstract** : Testing was conducted to determine the performance of a residential fuel cell system when subjected to DSS and WSS operation, especially for start-up and shut-down characteristics. In terms of start-up time, it took about 70min to start output power generation and stably to reach 1kW at cold start. Measurement of the characteristics of heat and power generation were carried out at start-up and shut-down time. Fuel gas is used for heating both reformer and stack from start-up to the beginning of power generation. In terms of start-up and shut-down characteristics, it was important to control the reformer temperature precisely. The average output water temperature during the rated output operation(960W) was 63.2°C constantly. The results of the investigation are being used to develop a new test protocols for residential fuel cell system.

#### subscrip

PEMFC : polymer electrolyte membrane fuel cell  
DSS : Daily start-up and shut-down  
WSS : Weekly start-up and shut-down  
BOP : Balance of plant  
GDL : Gas diffusion layer

### 1. 서 론

석유는 현재의 생산과 소비 추세에서 보면 2050년까지는 핵심 에너지 자원으로 사회경제적 수요 충족을 지속할 것으로 예측된다. 그러나 국제유가의 급등추세 속에서 안정적 에너지 공급 대책 강구, 탄산가스 방출 억제에 대한 국제 규제 정책의 준수, 석유 의존도 축소를 위한 산업 구조 개편 등이 각국 정부의 중요 에너지 정책으로 추진되고 있기 때문에 미래 에너지 시장에서 수소와 연료전지 기술은 중대한 역할을 할 수 있을 것이 확실시 된다.<sup>1)</sup>

수소와 연료전지에 관한 기술경쟁은 세계적으로 심화되어 가고 있다. 또한 기술적으로 대단히 광범위한 분야에 걸쳐 있어서 기술적인 파급 효과도 크다. 그 중의 특수한 분야에서 원천 기술을 타국에 비하여 먼저 획득한다면 상당히 국제적인 우선권과 경제적인 이득을 가져 올 수 있

다.

특히, 가정용 연료전지의 경우 국내에 천연가스 공급망이 잘 발달되어 있고, 주택 및 인구 밀집도가 높아 미국 등의 선진국가 보다는 상당히 유리한 입지조건 및 인프라를 가지고 있어 경제적으로 전망성이 좋고 현시점에서 수송용, 휴대용 연료전지 시스템에 비해 상업화 시기가 먼저 도래할 것이라고 예측하고 있다. 아직까지 1kW급 가정용 연료전지의 경우 상용화하기 위해서는 현재 시스템 가격이 고가이지만, 저가 보급을 위한 대량생산 시설 및 대량 보급을 위한 시장기반이 확보되고, 이와 더불어 내구성과 성능 및 안전성이 확보된다면 수소에너지를 활용하는 수소 경제 실현에 가장 근접한 시스템이라 하겠다.

연료전지 시스템의 신뢰성을 확보하고 국민적 수용성을 증가시키기 위해서, 시스템의 성능 및

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

안전성 확보를 위한 성능평가는 중요한 요소중의 하나이다. 일반적으로 연료전지 성능 평가장치는 막(membrane), 촉매(catalyst), 가스확산층(GDL) 등과 같은 스택 구성요소의 성능을 온도, 전류밀도, 가스 이용률, 압력 등의 파라미터들의 변화에 의해 평가하거나, 연료전지 구성요소인 개질기, 스택, 인버터 등의 성능을 단편적으로 평가하는 장치가 주를 이룬다.<sup>2-5)</sup>

본 연구에서는 고분자 연료전지 시스템의 운전중에 전체 시스템의 성능 및 안전성을 평가하고자 한다. 고분자 연료전지시스템의 성능을 평가하고 시스템의 안전성을 검증하기 위한 실험의 일환으로 시스템의 기동 및 정지시의 특성을 알아보고자 한다.

## 2. 시험방법

### 2.1 시험장치의 구성

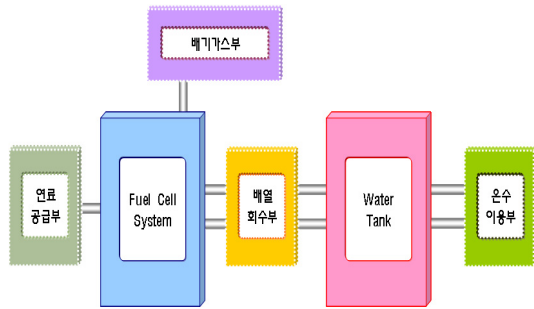


Fig. 1. Schematic of performance test equipment for fuel cell.

본 장치는 5kW급 이하의 소형 고체고분자형 연료전지의 평가에 적용할 수 있도록 구성하였고, 패키지에 들어있는 정치용 및 이동용 연료전지 시스템(단, 마이크로 연료전지는 제외)에 대한 운전 특성 및 안전성 확인을 위한 성능시험 평가장치이다. 완제품 상태의 연료전지 시스템에 적용함으로써 연료전지의 운전상태를 실시간으로 측정하여 데이터를 얻는 방식이다. 본 연구에서는 연료전지의 성능평가 및 운전특성에 따른 다양한 위험요소를 분석하기 위하여 연료전지 평가장치를 Fig. 1과 같이 구성하였다.<sup>6)</sup>

장치구성은 연료공급, 배열회수, 배가스 및 온수이용부에 유량계, 온도센서, 압력계 등을 설치하고, 연료전지 입출력 부분에 전력품질(왜형율, 역률 등)을 분석하는 전력분석기를 설치하여, 측정된 데이터를 데이터수집장치(DAQ)와 LabVIEW 프로그램으로 실시간의 온도, 압력, 가스량, 물량 및 전기량 등의 기본 물성을 이용하여 전기 및 열효율과 전력품질을 측정하고자 하였다.

이때의 출력 전기에너지는 전력 분석기를 통하여 전류, 전압, 전력 이외에 전력품질까지 측정되고, 배열회수부의 온도차는 스택의 입출구에 한 쌍의 백금열전대를 이용하여 측정된다.

### 2.2 실험 방법

본 연구는 국내 A사의 1kW급 가정용 고분자 연료전지 시스템에 성능평가장치를 연결하여 Fig. 1과 같이 각 부분의 온도, 압력, 유량, 전력량 등의 기본적인 값을 이용하여 데이터를 얻는 방법이다. 배기가스부에서는 환경적인 영향을 평가하기위해 배기가스의 농도, 온도, 압력이 측정되어진다. 또한 다양한 연료전지 시스템의 평가를 위해서 성능 평가장치의 연결을 쉽게 할 수 있도록 설계하였다.

연료라인 및 물 라인의 개폐여부를 확인하고 연료전지의 톨콘 스위치를 작동시키면, 기동 순간부터 1kW의 정격운전구간 및 정지 구간에 이르기까지의 모든 측정값들이 계측 및 계산되어 Fig. 2와 같이 나타나게 된다. 이 모든 데이터는 원하는 저장간격(초 단위)으로 excel 파일에 실시간으로 자동 저장되고, 효율관련 데이터는 정해진 수식에 의해 계산되어 저장된다.



Fig. 2. Display for data evaluation of PEMFC system under operation.

## 3. 실험 결과

고분자 연료전지시스템을 성능평가 장치에 의해 실시간으로 측정하여 기동 및 정지 시의 운전 데이터의 분석을 통한 시스템의 운전특성을 파악하여 시스템의 운전특성에 대한 안전성을 확립하고자 한다.

### 3.1 운전 특성

기본적인 운전특성을 알아보기 위해 DSS와 WSS를 반복적으로 수행하여 데이터의 신뢰성을 얻고자 하였다. 운전시간에 따른 입출력 전력 변화 특성, 배열회수 온도 변화 특성, 입출력 전력과 연료가스 유량 및 시스템 온도 특성 등의 다양한 분석을 통하여 기동 및 정지 시의 운전특성을 분석을 수행하였다.

Fig. 3은 운전시간에 따른 입출력 전력 변화와 water tank에서 시스템으로 입·출입되는 물 온도에 대한 특성을 나타내고 있다. 고분자 연료전지 시스템의 운전특성구간은 기동구간, 정격운전구간, 정지구간으로 나누어진다. 기동한지 72분이 지나면 정격운전구간에 도달하게 되는데, 정격운

전구간에서는 출력전력이 960W로 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있고, output water의 온도도 63°C 부근에서 일정하게 유지되는 시스템의 안전성을 확인할 수 있었다(average output water temperature = 63.2°C).

정격운전이 시작될 때 output water 온도가 18°C에서 63°C로 급격하게 증가함을 볼 수 있는데, 기동구간에서는 배열 회수량이 극히 소량을 유지하다가 정격운전시 급격하게 증가함에 기인한다. 또한 운전기간중 input water 온도가 지속적인 증가를 보임은 온수이용을 하지 않고 시스템과 water tank간의 지속적인 순환이 이루어지기 때문이다.

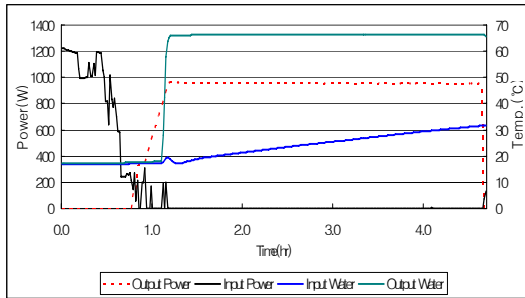


Fig. 3. Characteristics of PEMFC system with performance.

### 3.2 기동 특성

처음 기동시에 필요한 수전전력은 대부분 개질기의 예열을 위한 전기히터의 작동으로 대부분 소모되며, 약 10% 정도는 AC/DC 컨버터에 의해 전환된 DC 전류가 제어장치에 의해서 기동에 필요한 여러 BOP에 소모되어 되어진다. 본 1kW급 가정용 고분자 연료전지 시스템은 기동 후 48분이 지나면 발전이 시작되어 출력전력이 발생하고 72분경부터 안전한 정격출력 상태인 960W를 유지하게 된다. Fig. 3에서 보면 발전전력이 시작되는 구간에 수전전력의 불안정한 피크들의 Oscillation을 볼 수 있는데, 이는 개질기 온도가 정상상태의 온도에 이르지 못하여 빨리 정상상태로 도달시키려는 개질기 히터의 작동에 기인하여 나타나는 현상에 기인한다. Qi 등<sup>7)</sup>은 기동과 정지 사이클시 운전 특성을 시간에 따라 셀 전압이 저하한다고 보고하였다.

또한 Fig. 4는 기동에서 정격운전까지의 연료가스 소모량과 발전전력을 비교한 그래프이다. 연료가스는 정격운전구간에서 4.6LPM의 흐름으로 일정하게 유지됨을 볼 수 있다. 그러나, 기동구간에서 연료가스의 변화가 20분과 45분 영역에서 연료가스 유량의 조그마한 감소 피크를 볼 수 있다. 이는 개질기 버너의 온도가 안정적으로 일정하게 상승할 수 있도록 제어장치에 의해 연료가스 유량이 부분적인 감소되어 나타난 현상이다.

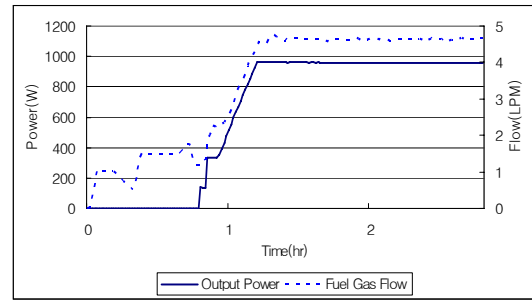


Fig. 4. Characteristics of PEMFC system start-up.

### 3.3 정지 특성

일반적으로 완전한 정지를 위해서는 1시간 30분 정도의 정지시간이 필요하다. 기동시와 동일하게 정지시에도 개질기의 온도를 안전하게 내리는 것이 중요하다. 연료전지 스택은 정지시 1-2분안에 멈추게 되어 순간적으로 출력이 0으로 떨어지게 되어, 개질기 온도를 내리고 퍼지를 하는 시간들이 중요한 정지 특성이 된다. 이러한 정지 특성은 시스템의 초기화를 위한 필수조건이고 연료전지의 안전성에 있어서 무척 중요한 요인이다. 초기 연료전지 시스템에서의 시스템 퍼지는 질소를 이용하여 퍼지를 하였으나, 시스템의 사이즈를 최소화하기 위해 질소 퍼지 대신 수증기나 천연가스를 공기에 희석시켜 개질기 온도를 내리고 퍼지 하는 방식을 취하고 있다.

Fig. 5는 시스템 정지시의 특성을 나타내고는데, 정격운전 하에서 정지시 input water가 31°C에서 47°C로 급격하게 증가함을 볼 수 있다. 이는 정지순간에 water tank와 연료전지 시스템 간의 물의 흐름이 단절되면서 시스템 내의 냉각팬이 가동되고, 시스템 내 배관에서의 물의 흐름으로 바뀌면서 공랭식 열교환기가 작동되기 때문이다. 일반적으로 water out의 온도가 40°C미만이 되면 가정용 고분자 연료전지 시스템이 안전하게 정지한 시점으로 간주되어 팬의 작동도 멈추게 되며, 자연냉각에 의해 물의 온도가 상온에 가까워지게 된다.

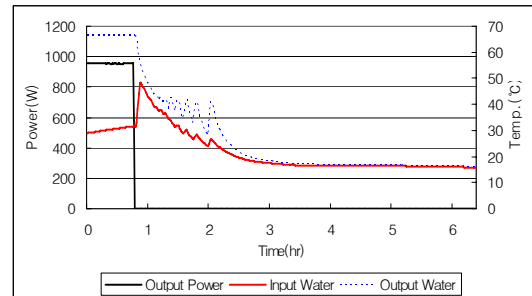


Fig. 5. Characteristics of PEMFC system shut-down.

#### 4. 결론

본 연구에서는 연료전지 시스템 성능평가장치를 설계 및 제작하여 1kW급 가정용 고분자 연료전지에 적용하여 연료전지 운전시 기동 및 정지 특성을 통해 시스템의 성능특성 및 안정성을 평가 하였다. 기동한지 72분이 경과한 후 정격운전 구간에서 일정한 출력전력(960W)과 output water 열량(63.2℃)의 안정한 데이터를 얻었다. 또한 기동 및 정지시의 공통적으로 중요한 사항인 개질기 온도의 안정적 상승 및 하강을 위하여 연료가스와 히터, 팬 등의 BOP의 안정적인 제어가 필요하다.

개질기의 온도제어 시간을 줄이는 것이 향후 연료전지의 보급화에 중요한 이슈가 될 것이다. 이를 위해 본 연구의 연료전지 성능평가 데이터에서 개선 방향을 찾고자 한다. 또한 연료전지의 안전성과 신뢰성 향상을 위해서는 내구성 테스트를 통한 성능저하 현상을 파악하는 지속적인 장기실험이 요구되어 진다.

#### 후 기

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

#### References

- [1] 양병태, “수소와 연료전지의 동향과 전망”, 한국과학기술정보연구원, 2006
- [2] Amirinejad, M., Rowshanzamir, S. and Eikani, M. H., “Effects of operating parameters on performance of a proton exchange membrane fuel cell”, J. of Power Sources, Vol. 161, pp. 872-875, 2006
- [3] Chang, W. R., Hwang, J. J., Weng, F. B. and Chan, S. H., “Effect of clamping pressure on the performance of a PEM fuel cell”, J. of Power Sources, Vol. 166, pp. 149-154, 2007
- [4] Hou, J., Yi, B., Yu, H. Hao, L., Song, W., Fu, Y. and Shao, Z., “Investigation of resided water effects on PEM fuel cell after cold start”, International J. of Hydrogen Energy, Vol. 32, pp. 4503-4509, 2007
- [5] Qi, Z., Tang, H., Guo, Q. and Du, B., “Investigation on :“saw-tooth” behavior of PEM fuel cell performance during shutdown and restart cycles”, J. of Power Sources, Vol. 161, pp. 864-871, 2006
- [6] Massie, D. D., Boettner, D. D. and Massie, C. A., “Residential experience with proton exchange membrane fuel cell systems for combined heat and power”, J. of Fuel Cell Science and Technology, Vol. 2, pp. 263-267, 2005
- [7] Qi, Z., Tang, H., Guo, Q. and Du, B., “Investigation on :“saw-tooth” behavior of PEM fuel cell performance during shutdown and restart cycles”, J. of Power Sources, Vol. 161, pp. 864-871, 2006