유량변화에 따른 200W급 PEMFC 운전특성 연구

선경철, 박세준, 최정식, 차인수
동신대학교 수소에너지학과

A study on 200W PEMFC Operating Characteristics by Flux Change

Kyung-Chul Sun, Se-Joon Park, Jeong-Sik Choi, In-Su Cha
Hydrogen & Fuel Cell Tech., Dongshin Univ.

Abstract - 본 논문에서는 유량변화에 따른 200W급 PEMFC 운전특성을 연구하였다.

연료공급은 수소탱크와 공기공급용 컴프레서를 이용하였고 유량은 MFC를 이용하여 제어하였다. 연료의 가습은 Bubbling type을 사용하였고 유량변화에 대한 반응차이를 크게 보기 위해 Back pressure 레귤레이터를 제거함으로써 확연한 차이를 얻을 수 있었다.

1. 서 론

지속적인 경제성장을 위해 필요한 화석에너지의 고갈과 국가 정세에 따른 에너지공급의 불안정성을 극복하기 위하여 장기적인 에너지 수급정책의 수립과 신재생에너지 개발이 절실히 필요하다. 이미 유럽이나 미국 등 선진국과 브라질, 중국 등 후발개도국들이 고유가 시대 및 기후변화 협약에 대비하고자 다양한 친환경적 대체연료 개발에 박차를 가하고 있어 화석에너지의 수입 의존도가 97% 이상을 상회하고 선진국 대비 4배 이상의 에너지소비증가율을 보이는 우리나라에서는 그 필요성이 더욱 절실하다고 할 수 있다.

이에 따라 정부는 2009년 1월 6일 재정사업을 근간으로 한 녹색 뉴딜사업을 발표하였고, 13일 우리 경제의 새로운 성장 비전으로 신성장동력 비전과 발전전략을 제29회 국가과학기술위원회와 제3회 미래기획위원회 합동회의에서 발표하면서 3대 분야 17개 신성장동력을 확정하였다. 3대 분야중 하나인 녹색기술산업의 6개 신성장동력중의 4개인 신재생에너지, 탄소저감 에너지, 그린수송시스템, 첨단 그린도시 첨단융합산업에 수소에너지가 공통적으로 들어감으로써 가까운 미래에 수소경제사회가 도래하는 것이 확실시 되는 것에 의심의 여지가 없어 보인다.

이러한 배경으로 본 논문에서는 수소와 산소를 연료로 사용하는 200W급 PEMFC 운전시 수소 유량변화에 있어 운전 데이터를 자료화 하여 분석하였다. 본 연구로부터 도출된 자료는 앞으로 탄소저감에너지 등으로 새롭게 보급될 PEMFC에 유용한 정보를 제공함과 동시에 시스템 구축시 고려해야 하는 항목들을 제공함에 그 목적을 둔다.

2. 본 론

2.1 200W급 PEMFC 운전시스템의 구성

시스템의 구성은 그림 1과 같이 수소탱크와 공기공급용 컴프레셔 및 퍼지를 위한 질소탱크, 공급 가스의 압력조절을 위한 각각의 레귤레이터와 수분 및 유분을 걸러주는 필터, 3-way 솔레노이드 밸브, 가스유량컨트롤러인 MFC, 연료의 역류를 방지함으로써 MFC를 보호하는 체크밸브, 가습장치, Stack, 가스 배출구의 압력 조절을 위한 Back pressure 레귤레이터, 온도를 재기위한 TC, 전자 DC 부하기, 부하의 조절과 MFC를 제어함과 동시에 발전현황과 온도 등을 모니터링 할 수 있는 모니터링 설비 등으로 구성하지만, 유량변화에 대한 일정한 차이를 보기 위하여 Back pressure 레귤레이터를 제거하였다.

일반적으로 사용되는 고압저장용기로부터 수소를 연료전지 스택에 공급하는 가장 간단한 방법은 수소측(anode) 출구를 dead-end시키는 것이다. 이 경우에는 공급압력조절을 위한 압력조절기만 설치하면 구성이 완료된다. 그러나 오랜 시간 dead-end상태로 운전하기 위해서는 100% 순수소소를 연료로 사용해야하는데 이론상으로는 가능하나 실질적으로 사용하기 어렵고 일단 불순물이 연료전지내로 유입되면 배출되지 않고 축적된다. 또한 전기영동(electroosmosis)보다 역확산(back diffusion)이 큰 경우 공기측(cathode)에서 넘어온 물이 축적되는 문제점도 있다. 결과적으로 효과가 떨어지게 되고, 이러한 문제를 해결하기 위해 일정시간 운전 후 수소측(anode)을 퍼징(purging)하는 방법이 사용되기도 하며, 재순환장치를 이용하여 과급된 수소는 재사용 하고 물은 기액 분리기에서 배출하여 효율을 높이기도 한다.

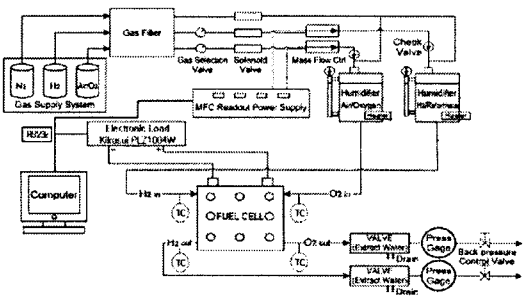

그림 1. PEMFC 시스템 구성도

2.2 수소/산소PEMFC의 전극반응

연료전지는 전기화학적 에너지 변환 장치이다. 이 장치에서는 표 1과 같이 수소측(anode)과 공기측(cathode)에서 동시에 전기화학 반응이 진행된다.

표 .1 각 전극에서의 화학반응

Electrode	Chemical equation
Anode	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$
Cathode	$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$

보다 정확하게 말하자면, 이러한 반응은 이온 전도성 전해질과 전기전도성 전극 사이의 계면에서 일어난다. 연료전지 전기화학 반응의 반응물은 기체이므로, 전극을 다공질로 만들어야 기체가 반응 부위에 도달하는 동시에 생성된 수분이 반응 부위에서 떠날 수 있다. 한편 위에 나타낸 반응들은 총괄 반응이며, 두 반응 모두 몇 단계의 중간 직렬 반응과 병렬 반응이 일어난다.

2.3 이론적인 산소와 공기의 사용량

2.3.1 이론적인 산소사용량

$$O_2\text{사용량} = \frac{32\times10^{-3}\times P_e}{4\times V_c\times F}[kg/s] \quad (1)$$
$$= 8.29\times10^{-8}\times\frac{P_e}{V_c}$$

2.3.2 이론적인 수소사용량

$$H_2\text{사용량} = \frac{2.02\times10^{-3}\times P_e}{2\times V_c\times F}[kg/s] \quad (2)$$
$$= 1.05\times10^{-8}\times\frac{P_e}{V_c}$$

그러나 만약 이 식대로 수소를 사용한다면 수소측(anode)출구 에서는 수소가 완전히 없어지게 되는데 이는 비현실적이므로, 손실의 경우와 불순물을 고려하여 수소의 반응을 높이기 위해 보통 1.2~1.5배를 사용한다.

2.3.3 이론적인 공기사용량

$$Air\text{사용량} = \frac{28.97\times10^{-3}\times P_e}{0.21\times4\times V_c\times F}[kg/s] \quad (3)$$
$$= 3.57\times10^{-7}\times\frac{P_e}{V_c}$$

그러나 만약 이 식대로 공기를 사용한다면 공기측(cathode)출구에서는 산소가 완전히 없어지게 되는데 이는 비현실적이므로, 산소의 반응을 높이고 전지의 열을 낮추며 공기측(cathode)의 물을 막힘없이 배출하기 위해서 보통 2~5배를 사용한다.

2.4 실험 및 결과

수소유량변화에 따른 운전특성을 분석하기 위하여 다양한 유량 조건의 순수수소와 공기를 활성화 작업을 거친 연료전지에 주입하여 비교하였다. 이론적으로는 2.3 (1)~(3)의 수식을 이용하여 2.5L/min가량의 수소와 6L/min가량의 공기를 공급하면 최대 출력점을 구할 수 있지만, 반응의 일정한 차이를 쉽게 보기 위하여 Back pressure를 제거 하였기에 보다 많은 양을 넣어주었다.

그림 2는 1L/min의 수소와 8L/min의 공기를 MFC를 이용하여 연료전지에 주입하면서 동작특성을 측정하는 화면이다. 약70W의 출력을 보였다. 4A의 부하를 걸었을 때 전압과 출력이 점차 불안정해지면서 5A부터는 급격하게 떨어짐을 확인 하였다.

그림 3은 2L/min의 수소와 8L/min의 공기를 MFC를 이용하여 연료전지에 주입하면서 동작특성을 측정하는 화면이다. 약140W의 출력을 보였다. 8A의 부하를 걸었을 때 전압과 출력이 점차 불안정해지면서 9A부터는 급격하게 떨어짐을 확인 하였다.

그림 4는 3L/min의 수소와 8L/min의 공기를 MFC를 이용하여 연료전지에 주입하면서 동작특성을 측정하는 화면이다. 약165W 출력을 보였다. 10A의 부하를 걸었을 때 전압과 출력이 점차 불안정해지면서 11A부터는 급격하게 떨어짐을 확인 하였다.

그림 5는 4L/min의 수소와 8L/min의 공기를 MFC를 이용하여 연료전지에 주입하면서 동작특성을 측정하는 화면이다. 약170W의 출력을 보였다. 10A의 부하를 걸었을 때 전압과 출력이 점차 불안정해지면서 11A부터는 급격하게 떨어짐을 확인 하였다.

그림 6는 5L/min의 수소와 8L/min의 공기를 MFC를 이용하여 연료전지에 주입하면서 동작특성을 측정하는 화면이다. 약175W의 출력을 보였다. 10A의 부하를 걸었을 때 전압과 출력이 점차 불안정해지면서 11A부터는 급격하게 떨어짐을 확인 하였다.

그림 7는 8L/min의 수소와 8L/min의 공기를 MFC를 이용하여 연료전지에 주입하면서 동작특성을 측정하는 화면이다. 약190W의 출력을 보였다. 10A의 부하를 걸었을 때 전압과 출력이 점차 불안정해지면서 11A부터는 급격하게 떨어짐을 확인 하였다.

그림 8는 8L/min의 수소와 28L/min의 공기를 MFC를 이용하여 연료전지에 주입하면서 동작특성을 측정하는 화면이다. 약220W의 출력을 보였다. 11A의 부하를 걸었을 때 전압과 출력이 점차 불안정해지면서 급격하게 떨어짐을 확인 하였다. 공기를 전보다 3배 이상 많이 넣어줌으로써 30W 출력상승을 볼 수 있었다. 이는 공기를 많이 넣어주었을 때 산소와 반응하지 못하고 버려졌던 수소분자들이 반응하면서 최대출력이 높아지는 것으로 볼 수 있다.

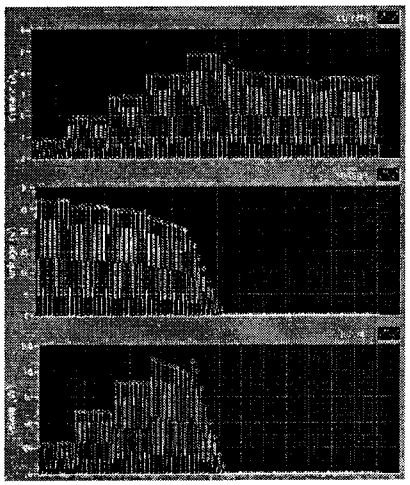

그림 2. 수소1L/공기8L 조건의 동작특성

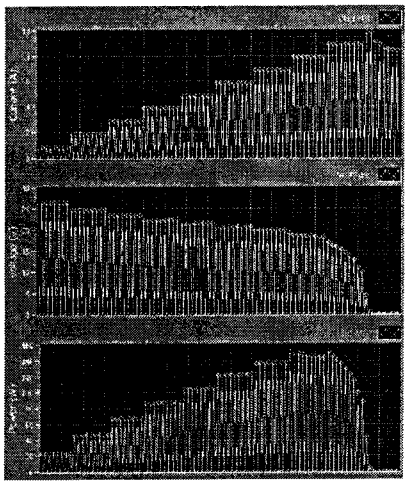

그림 3. 수소2L/공기8L 조건의 동작특성

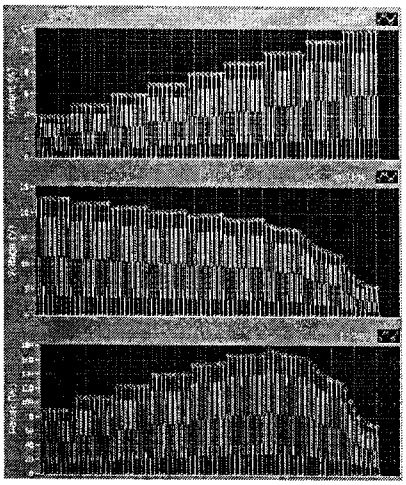

그림 4. 수소3L/공기8L 조건의 동작특성

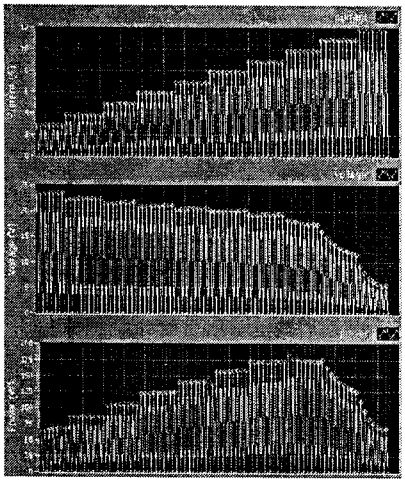

그림 5. 수소4L/공기8L 조건의 동작특성

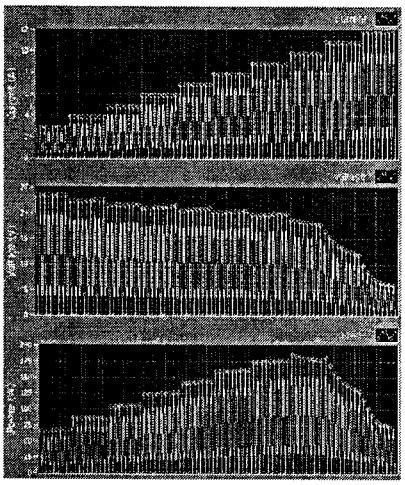

그림 6. 수소5L/공기8L 조건의 최대 동작특성

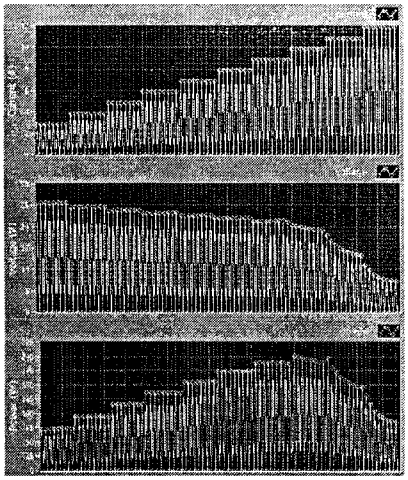

그림 7. 수소8L/공기8L 조건의 최대 동작특성

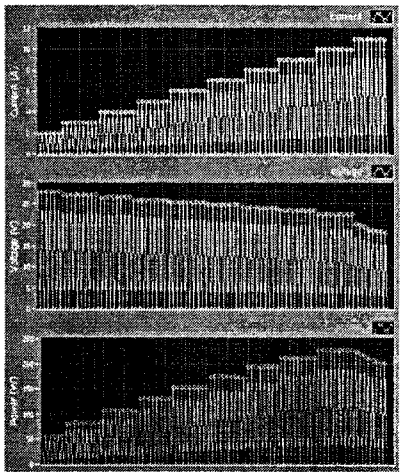

그림 8. 수소8L/공기28L 조건의 동작특성

3. 결 론

결과 값을 다시 정리하자면 표2와 같다.

표 2. 수소주입량 변화에 따른 최대출력변화

구분	수소 주입량	공기 주입량	최대출력
1	1L/min	8L/min	약 70W
2	2L/min		약 140W
3	3L/min		약 165W
4	4L/min		약 170W
5	5L/min		약 175W
6	8L/min		약 190W
7	8L/min	28L/min	약 220W

구분6번까지는 공기 주입량을 8L/min로 동일하게 주입하고 수소의 주입량을 다르게 주입하는 실험을 하였다. 결과 값의 비교를 그림 9에서와 같이 하였는데, 1L/min의 수소를 넣어주었을 때와 2L/min의 수소를 넣어주었을 때는 최대출력이 주입량의 비와 같은 1:2를 이루었지만, 3, 4, 5L/min의 수소를 넣어주었을 때는 기울기의 값이 이전의 것보다 작아지는 것을 확인 할 수 있었는데, 이는 연료전지의 최대 용량에 다다르면서 적층된 연료전지에 주입한 수소와, 주입한 공기의 약21%인 산소와의 반응률 'λ'값이 낮아지면서 일어나는 것으로 예

상된다.

또한 표 2의 구분7과 같이 공기를 많이 넣어주었을 때 산소와 반응하지 못하고 버려졌던 수소분자들이 반응하면서 최대출력이 높아지는 것을 확인하였다. 최대 효율을 수소의 공급에서만 찾을 것이 아니라 공기(산소)의 공급과 병행하여 찾아야 할 것이다.

결론적으로 연료전지시스템의 효율을 올리기 위해서는 연료전지 자체의 효율도 중요하지만 위와 같은 복합적인 운전 조건과 시스템 운전 최적화를 위한 주변장치와의 모델링 및 설계(BOP) 연구가 수반되어야 한다고 사료된다.

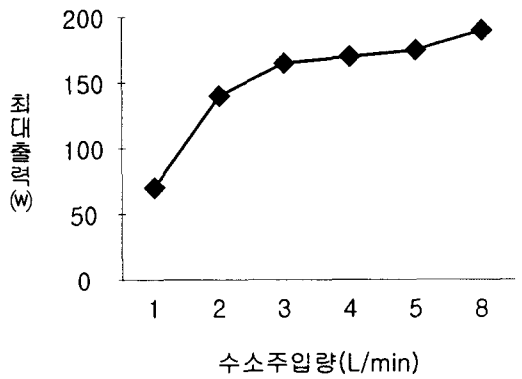

그림 9. 구분6까지의 수소주입량 변화에 따른 정격출력

후 기

본 연구는 산업자원부와 기초전력연구원의 전력산업연구개발사업으로 수행된 연구결과임
본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

[참 고 문 헌]

[1] James Larminie, Andrew Dicks, "Fuel Cell System Explained", WILEY, 2/판, p.491-494, 2003

[2] 김서영, 이대영, " PEM 연료전지의 운전장치(BOP)", 대한설비공학회 설비저널, 제34권, p.49-52, 2005