

직접 메탄을 연료전지의 운전 및 제어기술

정 두 환

(에너지기술연구원 분산발전연료전지센터장)

직접메탄을 연료전지는 액체 메탄을 저장의 이점을 가지고 있어 군사용 통신 전원이나 노트북용 전원과 같은 휴대용과 소형 이동용 전원으로 사용하기 위해서 개발되기 시작하였으나 현재에는 레저 스포츠용, 전동자전거나 스쿠터와 같이 수십에서 수kW의 용량들이 개발되고 있다.

일반적으로 연료전지는 연료공급부분과 발전을 일으키는 스택부분 및 시스템 제어 부분으로 크게 구성되어 있다. 본 논문에서는 직접메탄을 연료전지를 운전하기 위해 구성되는 시스템성분들을 부분적으로 알아보고, 연료전지에서 생성된 전기를 부하에 공급하여 사용할 수 있게 하는 제어기술에 대한 내용을 살펴보고자 한다.

1. 서론

직접메탄을 연료전지의 연료공급부는 공기공급과 연료메탄의 공급을 담당한다. 이를 위해서는 공기를 공급하는 송풍장치와 연료메탄을 공급하기위한 액체펌프와 메탄올센서가 필요하다. 시스템의 열적밸런스를 맞추기 위해서는 열교환기가 필요하며, 초기시동 및 피크 전력을 담당하기 위해서는 배터리, 배터리 충방전기가 필요하며 이를 제어하기위한 프로세서가 필요하다.

운전초기에 배터리를 이용하여 연료공급부분의 BOP (Balance of plant)를 가동시키면 연료전지가 활성화되어서 화학에너지를 전기에너지로 변환시켜 전력을 생산하기 시작

한다. 연료전지에서 전기가 생산되면 배터리가 담당하던 운전장치와 부하에 공급하는 전력을 연료전지가 공급하게 된다. 그리고 초기상태와 침두부하시에는 배터리가 공급을 하기 때문에 연료전지의 느린 응답특성을 보완해준다.

요구되는 부하의 형태에 따라 DC/DC 컨버터와 인버터가 구성되기도 한다.

2. 직접메탄을 연료전지의 원리

직접 메탄을 연료전지의 원리는 전해질을 사이에 두고 양전극에서 각각 메탄을 산화반응과 산소의 환원반응이 일어나며, 반응 결과 생성되는 수소이온이 고분자 전해질을 통하여 Anode에서 Cathode 쪽으로 이동하고, 전자는 촉매를 거쳐 외부전기회로로 이동하게 된다. 전기회로로 이동하는 전자는 저항을 지나면서 일을 하게 되는데, 이것이 연료전지의 기본 개념이자 직접메탄을 연료전지의 원리이다. 그림 1은 직접메탄을 연료전지의 원리를 나타내었다.

직접메탄을 연료전지의 이론적인 전위차는 1.18V이다. 하지만 실제 개회로전압은 0.8V 안팎에 불과하다. 이것은 전극 반응의 과전압이 매우 크다는 것을 뜻하며, 고분자 전해질 연료전지의 개회로전압이 1V 가까이 된다는 점을 고려해 보면 더욱 그렇다. 이런 현상은 Anode 반응물인 메탄올이 Cathode로 이동하는 현상 때문에 나타나는데, 환원반응이 일어나야 하는 전극에서 메탄올이 산화반응을 일으켜 혼합전위

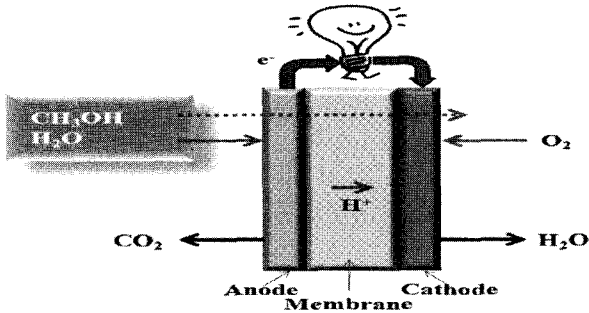


그림 1 직접메탄올 연료전지의 원리

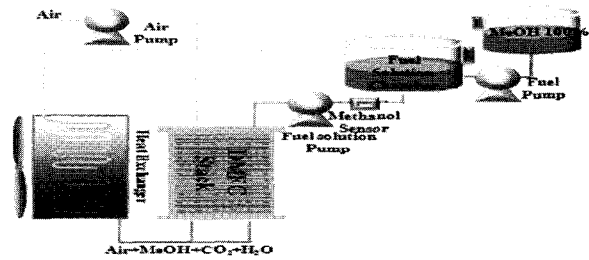


그림 3 직접메탄올연료전지의 운전장치

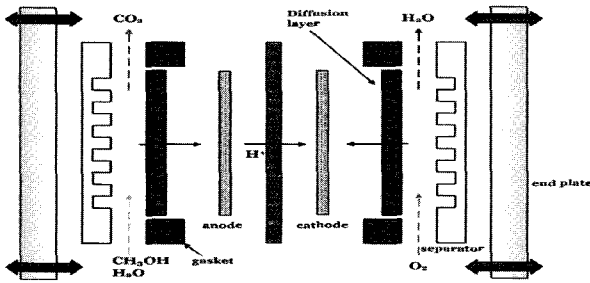
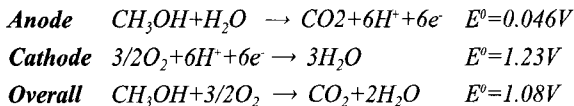


그림 2 직접메탄올 연료전지의 구조

를 형성하여 Cathode의 전위를 낮추기 때문이다.



다음은 직접메탄올 연료전지의 반응식과 전위를 나타내고 있고, 이는 연료전지 스택에서 발생하는 전압을 나타낸다.

직접메탄올 연료전지의 주요 구성요소는 고분자 전해질과 전극으로 이루어진 전해질-전극 접합체와 스택을 구성하기 위한 분리판으로 되어있다. 연료전지 스택은 단위전지를 수십, 수백개 씩 적층함으로써 구성되는데, 스택의 성능은 전해질-전극 접합체의 조성과 성능에 의해 일차적으로 좌우되며, 구성요소간의 접촉저항, 반응물 및 생성물의 관리, 냉각수를 비롯한 물 관리 등의 스택기술에 의해서도 많은 영향을 받는다. 그림 2에서는 직접메탄올 연료전지의 구조를 나타내었다.

3. 직접메탄올 연료전지의 운전 및 제어기술

3.1 BOP 구성 및 운전

서론에서 언급한바와 같이 직접메탄올 연료전지의 운전 및 제어는 주로 연료공급부분의 열적밸런스에 치중되어 있다. 연료공급부분은 메탄올을 공급하기위한 장치와 공기를 공급

하기위한 장치의 제어가 주된 부분이며, 열적밸런스는 열교환기의 설계 및 운전, 기수 분리가 주된 부분이다. 또한 생성되는 전기의 질적 안정성과 효율 향상을 위해서 DC/DC 컨버터의 설계 및 운전이 중요한 기술이라 할 것이다. 그리고 연료전지의 상태를 확인하기 위해서 운전/제어 시스템을 구성하여 연료전지의 전압, 전류, 그리고 온도를 실시간으로 측정하고, 연료탱크의 수위를 확인하는 것이 중요하다. 그림 3은 직접메탄올연료전지의 운전장치를 나타내고 있다.

여기서는 메탄올 공급장치와 공기 공급장치의 구성 및 운전 특성을 중심으로 기술한다.

3.1.1 메탄올 공급장치

직접메탄올 연료전지는 메탄올을 연료로 사용하지만 100%의 메탄올을 바로 공급하지 않고 0.5-3M의 농도로 희석해서 사용한다. 따라서 메탄올을 공급하기 위해서는 메탄올을 적정 농도로 희석하는 것이 가장중요하다. 그림 3은 메탄올 공급장치의 구성을 나타내고 있다. 그림 4.(a)는 단위전지나 스택을 실험할 경우에 메탄올을 1M로 만들어서 1M농도의 메탄올을 공급하는 형태인데 이러한 구조는 용기에 있는 연료가 떨어질 때마다 농도를 맞춰서 일정한 양을 만들어야한다. 메탄올은 휘발성이 뛰어나기 때문에 많은 양의 1M메탄올을 만들면 농도가 낮아져서 연료전지의 출력 및 효율이 떨어지는 현상이 발생한다.

메탄올 공급장치는 메탄올의 농도를 조절하기 위해서 일반적으로 PI제어를 많이 사용한다.

그림 4.(b)는 센서를 이용해 혼합탱크의 농도를 1M로 유지하는 구조를 나타내고 있다. 연료전지에 연료를 공급하는 방식으로써는 그림 4.(a)에 비해 효율적이며 더 긴 시간동안 연료전지를 구동할 수 있으며, 연료가 일정하게 공급되기 때문에 연료전지가 안정적으로 구동할 수 있는 조건을 갖추게 된다.

메탄올 공급장치는 직접메탄올 연료전지의 용량이 증가함에 따라 중요도가 높아지고 있으며, 연료전지에 의해 발생하는 생성물과의 혼합, 그리고 연료전지와 반응을 하면서 발생하는 열을 조절하는 것이 연료전지에 연료를 공급할 때 고려

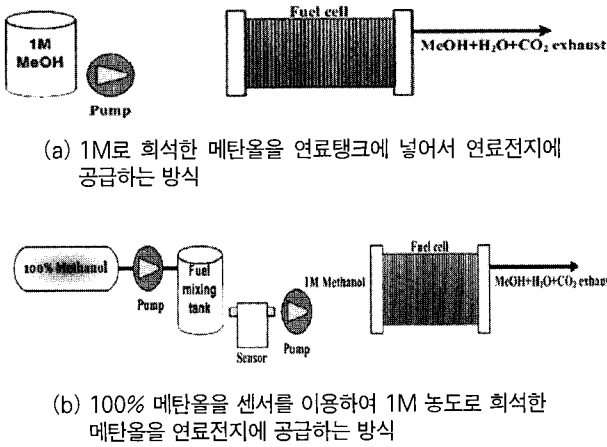


그림 4 메탄올 공급장치

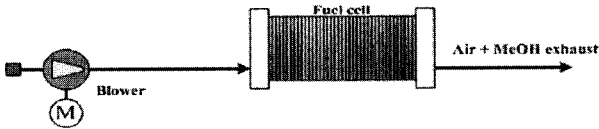


그림 5 Active 공기공급장치

되어져야한다.

3.1.2 공기 공급장치

직접메탄올 연료전지의 전기화학반응에 필요한 산소는 대기로부터 공급받는다. 그러나 대기 중의 산소는 체적비로 20.95%를 차지하기 때문에 공급 양을 고려할 때 5배를 넣어 준다. 공기공급장치는 Active방식과 Passive방식 두 가지가 있는데 Active방식의 공급장치는 팬이나 블로워에 의해 공급하는 방식이고, Passive방식은 팬, 블로워를 사용하지 않고 농도구배에 의한 확산 및 자연대류를 통해 산소를 공급하는 방식이다.

Active방식은 그림 5에 나타난 것과 같으며, 공기를 공급하기 위해서 연료전지 스택에 넣어주게 되는 유량과 압력을 측정하여 이에 맞는 팬이나 블로워를 선정한다.

3.1.3 농도센서

연료전지의 용량이 증가함에 따라 연료의 공급을 쉽고 원활하게 하기 위해서 희석된 메탄올을 연료로 공급하는 것에 비해서 100%의 메탄올을 연료로 공급하는 것이 연료를 사용하게 되는 시간 및 효율을 더 높게 될 것이다. 메탄올은 휘발성이 높기 때문에 희석을 하여 사용하게 될 경우 농도의 변화가 발생하여 연료전지의 성능을 저하시키게 된다. 또한 사전에 희석을 해서 공급하게 되면 공간적으로 더 넓은 용기가 필요할 것이다.

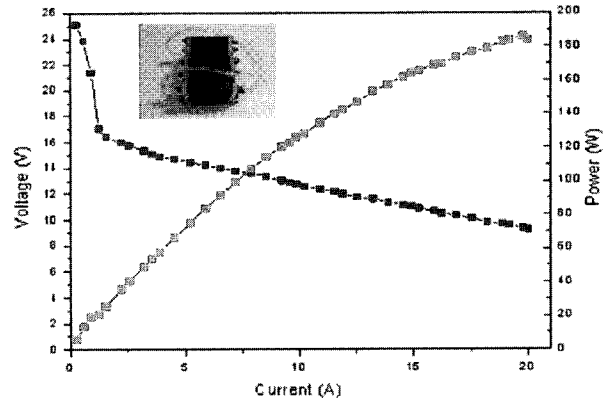


그림 6 직접메탄올 연료전지스택과 I-V곡선

연료전지의 공간을 줄이면서 사용시간을 늘리고, 효율을 높이기 위해서 메탄올을 일정한 농도로 유지시켜줄 수 있는 제어와 농도센서가 사용하게 된다.

농도센서는 넓은 측정범위(메탄올 0~3M정도)를 갖고 높은 정확도를 갖으며 실시간 측정이 되어야 하며, 온도보상특징을 갖고 용액온도와 순환온도의 변화에 반응을 하지 않아야 하고, 연료에서 다른 부산물의 영향을 적게 받을 수 있어야 한다.

3.1.4 연료전지의 운전특성

그림 6은 본연구팀에서 개발한 200W 급(30cell) 직접메탄올 연료전지 스택의 운전 특성이다. 연료전지는 일반적인 배터리와는 달리 저전압에서 고전류를 나타내는 특성이 있으며 특히 직접 메탄올 연료전지에서는 셀 간 0.4V 이상에서 운전하여야 셀의 안정적인 수명이 확보되는 특성을 가지고 있다. 그림에서 보면 셀의 평균 개회로 전압은 0.83V이며, 각 셀 0.4V의 평균전압(12V)에서는 150W의 특성을 나타내고 있다.

그림 6에서와 같이 연료전지는 저전압, 고전류 특성을 나타낸다. 이러한 전기특성을 양질의 전기로 변환하기 위해서 DC/DC 컨버터와 같은 전력변환장치의 효율과 특성을 높여야 할 것이다.

3.2 제어기술

3.2.1 DMFC/battery 하이브리드 시스템 제어

연료전지와 배터리의 하이브리드 시스템은 부하에 전력을 공급할 수 있는 배터리관리부분과 에너지관리부분으로 구분한다. 운전장치는 연료전지가 안정적으로 동작하는 것을 감시 및 관리를 하는 부분이고, 배터리관리부분은 연료전지와 하이브리드로 구동할 때 응답특성이 느린 연료전지의 부족한 부분을 보완해주는 역할과 연료전지가 초기구동을 할 수 있

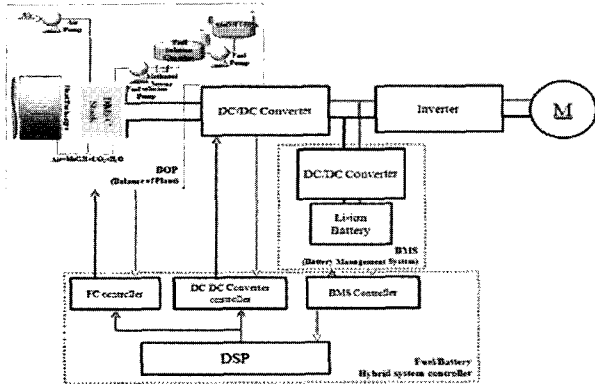


그림 7 연료전지/배터리 하이브리드 시스템

는 조건을 만들어주기 위한 운전장치에 전력을 공급해 주는 역할을 한다. 그리고 에너지관리부분은 DC/DC컨버터와 인버터로 부하에 전력을 원활히 공급하는 역할을 한다.

그림 7은 연료전지/배터리 하이브리드 시스템의 제어 개요를 나타내고 있다.

연료전지/배터리 하이브리드 시스템을 구축하기 위해서 세 부분으로 나누었지만 시스템을 구동하기 위해서는 세부분을 하나처럼 유기적으로 운전할 수 있게 동작시킬 수 있는 제어가 필요하다.

3.2.2 제어 토폴로지

앞서 논한바와 같이 연료전지/배터리 하이브리드 시스템은 크게 운전장치, 배터리관리부분, 에너지관리부분으로 구분지어서 제어를 해야 할 뿐만 아니라 전체시스템을 고려하면 세부분이 유기적으로 동작을 할 수 있는 제어를 선택해야한다. 각 부분마다 다른 제어방법으로 제어를 하고 그것을 하나로 통합해서 제어를 해야 하는데, 이것은 다중입력과 다중출력을 원활하게 제어를 하는 방법이기 때문에 퍼지제어를 가장 많이 선호한다.

따라서 직접메탄을 연료전지/배터리 하이브리드 시스템을 제어할 수 있는 토폴로지는 다른 연료전지 하이브리드 시스템과 비슷하게 퍼지제어가 가장 적합할 것이며, 많은 연구가 진행되어야 한다.

4. 결론

지금까지 간략하게 직접메탄을 연료전지의 구동에 필수적인 운전장치의 주요 요소기기에 대해서 알아보았다. 운전장치는 스택과 함께 연료전지 시스템의 성능을 결정하는 가장 중요한 요소로 요소기기의 통합기술이 실현되어야 한다. 또

한 여기서 생산된 전력을 고품질의 전기로 변환할 수 있는 전력전자의 연구개발이 많이 이루어져야 할 것으로 보이며, 향후 이 분야를 많은 관심과 참여를 기대한다.

참고 문헌

- (1) 김서영외, "PEM 연료전지의 운전장치(BOP)", 대한설비공학회, 제34권 제11호, pp.49~54, 2005.
- (2) Kwi-Seong Jeong, Won-Yong Lee, Chang-Soo Kim, "Energy management strategies of a fuel cell/battery hybrid system using fuzzy logics", Journal of power sources, pp. 319~326, 2005.
- (3) Doerner S, Schultz T, Schneider T, Sundmacher K, Hauptmann P, "Capacitive sensor for methanol concentration measurement in direct methanol fuel cells (DMFC)", IEEE, 2004.
- (4) Zhenhua Jiang, Roger A. Dougal, "Real-time strategy for active power sharing in a fuel cell powered battery charger", Journal of power sources, 19 December 2004.
- (5) Zhen Guo, Amir Faghri, "Miniature DMFCs with passive thermal-fluids management system", Journal of power sources, 3 March 2006.
- (6) Min-Joong Kim, Huei Peng, "Combined Control/Plant Optimization of Fuel Cell Hybrid Vehicles", IEEE, 2006.
- (7) Hyoung Yeon Cho, Wenzhong Gao, and Herbert L. Ginn, "A New Power Control Strategy for Hybrid Fuel Cell Vehicles", IEEE, 2004.
- (8) M. TEKIN, D. HISSEL, M.C. PERA, J.M. KAUFFMANN, "Energy Management Strategy for Embedded Fuel Cell System using Fuzzy Logic", IEEE, 2004.

< 저 자 소 개 >



정두환(鄭斗煥)

1958년 11월 28일생. 1990년 충남대 화학공학과 졸업(공학). 1995년 큐수대 물질공학과 Post Dr. 1986년~현재 에너지기술연구원 책임연구원. 분산발전연료전지연구센터장.