

휴대용 DMFC 연료전지 시스템 개발

The development of portable DMFC fuel cell system

손동기, 최경환, 김영재, 강상균, 조혜정, 장혁

Fuel Cell Program Team

삼성종합기술원

1. 서 론

휴대용 연료전지는 연료전지 분야에 있어서 사업성이 높은 분야중의 하나로서 많은 주목을 받고 있다. 본 연구 그룹에서도 다년간 연료전지에 대한 연구를 진행해 왔으며 특히 휴대용 연료전지에 그 주 관심을 두고 있다. 연료전지 분야에서도 시스템 개발 분야는 연료전지가 사업화에 관심을 두지 않았을 때에는 SOFC나 PEMFC와 같이 시스템이 중요한 부분을 차지하는 분야에서 주도적으로 이루어 졌지만 최근 휴대용 DMFC와 같은 분야에서도 시장 진입을 위한 개발이 이루어 지면서 시스템에 대한 중요성이 커지고 있다. 그러나 휴대용 DMFC와 같은 경우 소형화가 매우 큰 비중을 차지하는 상황에서 전용 부품의 개발 없이 상용 부품만으로 시스템 개발이 어려우며, 부품 개발사측에서도 최근에 들어서야 연료전지에 관심을 가지고 이를 위한 부품을 개발하기 시작하였기 때문에 많은 어려움을 겪고 있는 것이 현실이다. 여기에서는 일반적인 휴대용 DMFC 연료전지 시스템의 구성과 각 부분의 설계 관점에 대하여 알아보고, 삼성종합기술원의 연구 성과를 소개하기로 하겠다.

2. 시스템 구성

일반적인 휴대용 DMFC 시스템의 구성을 Fig. 1에 나타내었다. 전반적으로 시스템은 유체의 흐름으로 보았을 때 액체연료 순환부와 공기 유동부의 두 개의 loop으로 나눌 수 있으며, 기능적으로는 스택, 공기 공급부, 액체 연료 공급 및 회수부와 전원/제어부의 4개 부분으로 나누어질 수 있다. 각 부품의 연결순서는 설계자의 의도에 따라서 바뀌지만 소요되는 부품의 종류에는 큰 차이는 없다. 그러나 점선으로 표시된 부분은 시스템 제어 방법과 구성에 따라서 생략되기도 한다. Stack을 제외한 각 부분에 대하여 자세히 알아보도록 하겠다.

2.1 공기 공급부

공기를 공급하기 위한 공급원으로 블로워 또는 압축기를 사용하게 된다. 일반적인 단일 또는 다중 serpentine 유로구조의 stack에서는 압력손실이 크며, 생성되는 물의 배

출을 용이하게 하기 위하여 일정 이상의 유속을 유지하여야 한다. 휴대용 연료전지에서는 초소형 압축기를 사용하며 이와 같은 조건을 만족시키는 형식에는 diaphragm 형이나 rotary vane 형이 많이 사용되고 있다. 시스템의 형상에 따라서 단일 압축기를 사용하기 어려운 경우가 발생하며 이러한 경우에는 여러 개의 압축기를 직렬 또는 병렬 연결을 하게 되는데 diaphragm 압축기의 경우에는 buffer 공간 없이 직결할 수 없으며 맥동에 의한 소음, 진동이 다소 큰 편이다. 또한 휴대용의 경우에는 압축기 소음을 줄이는 것이 매우 중요하다. 두 가지 형태의 압축기 모두 소음 수준이 높은 편으로 대체로 50dB ~ 70dB에 이른다. 실용적으로 사용되기 위하여 소음기를 필수적으로 장착하여야 하는데 이 때문에 공기 공급원의 부피가 시스템 전체에서 차지하는 부피가 매우 커지게 된다. 이러한 이유로 인하여 출력이 매우 작은 연료전지에서는 자연 배기 형태로 하여 압축기를 배제하는 passive 시스템으로 설계를 하는 경우도 있다.

Cathode 출구에서는 반응으로 생성된 물과 cross over된 물이 공기와 혼합되어 배출되는데 사용자의 사용 편의를 위해서 배출구에서 응축되는 물의 양을 최소한으로 해주어야 하며 사용자의 피부가 고온의 배기 공기에 노출되지 않도록 배기 온도를 적절한 온도 이하로 유지해 주어야 하며 이러한 목적으로 condenser를 설치하게 된다. 또한 연료전지에서 Stack으로 공급되는 연료의 농도는 0.5 ~ 3 mole/liter 이며 연료탱크에는 동일 체적에서 운전시간을 최대로 하기 위하여 고농도의 연료를 저장하게 되며, stack에 저농도의 연료를 공급하기 위해서는 추가의 물로 희석시켜 주어야 한다. 여기에 필요한 추가의 물은 condenser 에서 응축되어 회수된 물을 재사용하게 된다. 이 때, condenser에서

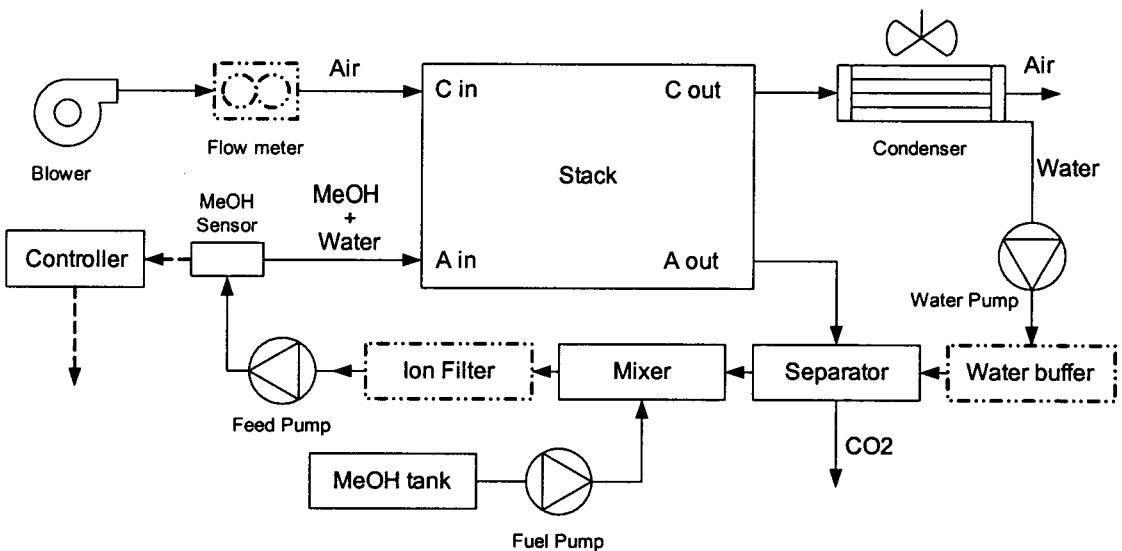


Fig. 1 System Flow Diagram

물을 회수하는 효율에 따라서 연료저장탱크에 저장되는 연료의 농도가 결정된다.

2.2 액체연료 순환부

Anode쪽에 형성되는 순환부를 말하는 것으로 앞에서 언급되었듯이 회석된 연료 stack으로 공급되고 사용되고 남은 연료가 회수되며, anode 쪽에서 발생된 CO₂를 제거하고 여기에 고농도의 저장 연료를 섞어주는 부분으로 구성된다. 액체연료 순환부는 유로의 구경과 유량이 매우 작아서 전반적으로 층류 유동에 해당한다. 따라서 고농도 연료를 주 순환부에 주입했을 때 별도의 혼합기 없이는 잘 섞이지 않으므로 혼합기를 설치하게 된다. 그러나 고농도 연료 주입을 펌프 앞에서 할 경우에는 별도의 혼합기를 필요로 하지 않는다. Anode 유로에는 carbon, membrane, catalyst 등의 입자가 섞여 있기 쉬우므로 효율적으로 제거하기 위하여 filter를 설치하는 경우가 많다.

액체 순환 펌프는 일반적으로 소음이 크지 않으며 압력도 쉽게 상승시킬 수 있다. 따라서 선택에 있어서 자유도가 크며 추가의 장치가 필요 없는 경우가 대부분이다. 상용 제품 중에서는 diaphragm pump나 internal gear pump를 많이 사용한다. 공기 압축기의 경우에서와 마찬가지로 diaphragm pump의 경우 본질적인 맥동이 문제를 유발시키기도 하지만 저렴하고 구하기 쉬워서 많이 사용하고 있다. 연료전지가 작동할 때 anode의 유로에는 CO₂가 발생하며 이에 따라서 유동 특성이 2상유동의 다양한 형태를 띄게 되며 정상 작동시에는 plug flow를 넘어서 film flow 형상을 띄게 된다¹. 이러한 이유로 전체 압력 변동이 매우 크며 이를 고려하여 pump를 선정해야 하고 특히 배압의 변동에 따라서 유량이 많이 변하는 것은 피하도록 하여야 한다.

개발자 별로 가장 큰 차이점을 보이는 부분이 separator 부분이라고 할 수 있다. Separator의 설계에서 주요 설계인자가 되는 것은 작은 크기에서 CO₂를 적절히 배출하고 액체만 순환시키도록 하는 것이다². 휴대용의 경우 다양한 각도에서의 작동 또는 휴대를 보장할 수 있어야 하지만 separator는 액체 순환부에서 외부에 개방되어 있는 부분으로 누설을 막는 것이 어려우며 이것을 해결하는 것이 설계의 핵심이 된다. 또한 연료전지가 정상 작동시에는 anode channel의 대부분을 CO₂가 채우고 있으며 작동을 멈추면 다시 연료로 가득 차기 때문에 separator의 수위 변동이 매우 크며 이에 대한 제어를 해주어야 separator가 말라서 공기가 액체 순환부에 유입되거나 separator에서 연료가 넘치는 것을 막을 수 있다.

2.3 전원/제어부

제어부는 크게 2부분으로 나누어질 수 있다. 첫번째 부분은 기본적으로 원하는 출력 전압을 만들어주는 DC-DC converter와, 2차 전지와 함께 복합시스템을 구현할 경우 사용되는 전지관리부로 구성되는 전원부이다. 나머지 부분은 농도제어와 separator 수위 제어를 수행하는 제어부이며 여기에는 기동 및 정지에 대한 순차제어도 포함될 수 있다.

연료전지는 부하 추종성이 2차전지에 비하여 좋지 않으며, 순간 첨두 부하를 고려하여 연료전지의 출력을 결정하는 것은 효율성이 매우 떨어지므로 2차전지와 함께 복합시스템을 구성하여 초기 기동을 가능하게 하고, 연료전지의 단점을 보완하는 것이 일반적이다.

농도제어는 메탄올 센서를 사용하는 방법과 센서 없이 출력전류, 온도 등의 신호로부터 메탄올이 사용되거나 crossover된 양을 추산하여 제어하는 방법이 있다. 센서 없이 제어하는 방법은 시스템 구성이 단순해 지는 장점은 있으나 연료전지의 작동 이력이 시스템에 저장될 수 있어야 하며 많은 실험결과를 통하여 보정되어야 한다. 메탄올 센서로는 전기화학식³, 정전용량식⁴, 광학식 등이 있다. 그러나 휴대용 연료전지에 사용가능한 소형의 센서는 아직까지는 상용화 된 것이 없이 prototype 수준의 제품만 있다. 연료전지의 작동환경이 온도범위가 매우 넓으며 메탄올 센서의 특성상 방식에 관계없이 온도에 매우 민감하여 inline상태에서 신뢰성 있는 출력을 내기가 매우 어렵다. 그러나 신뢰성 있는 센서가 확보되면 농도 제어부가 매우 단순해 질 수 있는 장점이 있다. Fig.2에 광학식 메탄올 센서를 적용한 예를 보여주고 있다. 단순한 on/off 제어이며, 주 순환부의 의 유량과 고농도 연료의 유량에 의하여 시간 지연이나 제어 정밀도가 결정된다. 센서의 반응속도가 느린 경우에는 on/off 제어로 원하는 정밀도를 얻기 어려우며 이러한 경우에는 PID 제어가 필요할 수도 있다.

Separator의 수위 제어는 달리 inventory control이라고도 말하기도 한다. 센서로는 일반적인 전기저항식 수위 센서를 많이 사용한다. 그러나 연료전지가 기울어진 상태에서 사용할 수 있도록 하기 위해서는 다중 전기저항 수위 센서를 사용하거나 전기저항식이

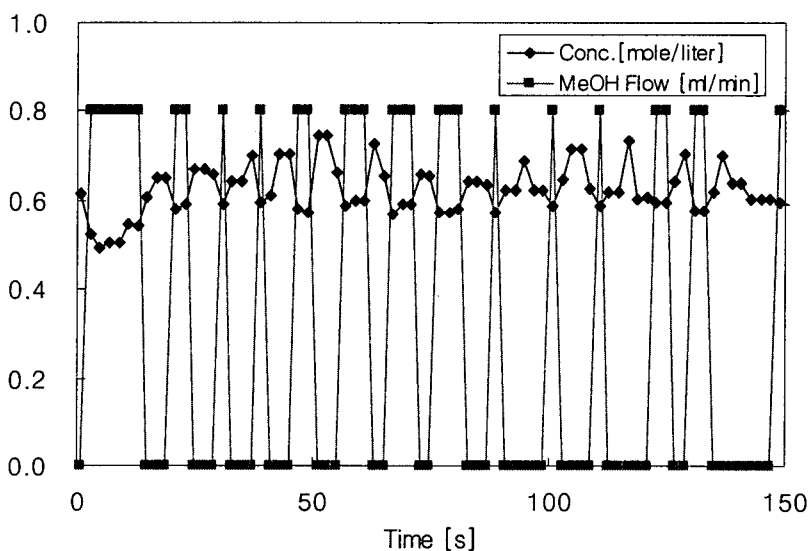


Fig.2 MeOH concentration control through optical MeOH sensor

아닌 다른 방법을 사용하여야 한다. 물이 부족할 경우 보충되는 물은 condenser에 응축된 물을 이용하게 되는데 condenser에서 물이 과도하게 응축되는 것을 막기 위하여 condenser의 응축량을 condenser fan의 작동상태를 제어하여 조절하기도 한다.

3. 삼성종합기술원의 성과

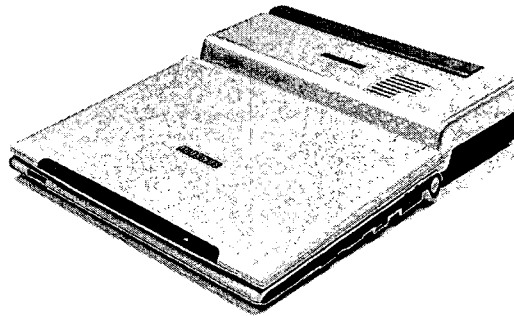


Fig. 3 20W Portable DMFC Fuel Cell for note PC application

삼성종합기술원에서는 2004년에 2가지 모델의 노트북 장착용 DMFC 연료전지를 공개하였다. 그 중에서 하반기에 공개한 20W급 모델을 Fig.3에 나타내었다. 공기공급은 압축기를 이용하는 active 시스템이다. 공간의 제약으로 인하여 소음기를 충분히 적용하

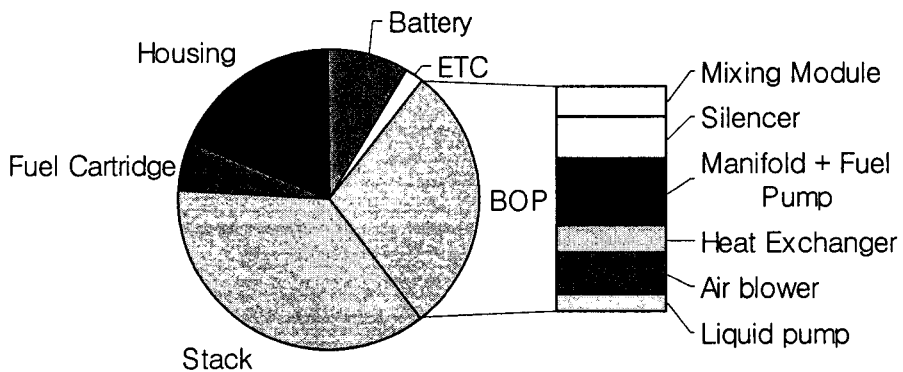


Fig. 4 Weight distribution chart of the 20W portable /DMFC fuel cell

지 못한 관계로 소음문제를 해결하지 못하였다. 연료는 cartridge 교체를 통하여 공급하도록 되어 있으며 cartridge 교체중 운전을 지속할 수 있다.. 2차전지 복합형으로 구성되어 있어서 최대 부하 50W까지 대응 가능하다. 중량 구성 분석결과를 Fig.4에 나타내었다. 일반적인 휴대용 연료전지의 중량 구성 비율과 유사한 형태이다. 압축기와 소음기가 BOP의 상당히 큰 부분을 차지하고 있는 것을 볼 수 있다. 작은 공간 내에 집적도를 높이기 위하여 많은 부분 manifold로 구성하였으며 이 부분이 전체에서 차지하는 부피도 작지 않다. 열교환기의 용량크기를 충분히 확보하지 못하여 순수 메탄올에서 작동하지는 못하였다. 소형 휴대용 연료전지의 시스템 설계에서 열설계는 매우 해결하기 어려운 문제중 하나이다.

4. 결 론

휴대용 연료전지의 시스템 설계에서 각 부분의 설계관점에 대하여 알아보았고 삼성종합기술원에서 2004년 하반기에 공개한 20W 시스템에 대하여 간략하게 소개하였다. 지속적인 연구를 통하여 소형화와 저소음화 그리고 고효율화를 달성하여야 할 것이다.

참고문헌

1. H. Yang, T.S. Zhao, Q. Ye, 2005, "In situ visualization study of CO₂ gas bubble behavior in DMFC anode flow fields," Journal of Power Source, Vol. 139, pp. 79-90
2. T. Stevens, J. L. Martin, B. Stoede, 2004, "High Energy Density Portable Direct Methanol Fuel Cell Generator," Fuel Cell Seminar 2004
3. M. G. Izenon, C. J. Crowley, S. Sarangapani, L. Cali, 2004, Fast Response Methanol Concentration Sensor for Portable DMFC Power System, Fuel Cell Seminar 2004
4. Siemens VDO Automotive Corporation, 2001, "Fuel Cell Mixture Sensor," US Patent 6842017