

## 압전 액추에이터를 이용한 DMFC의 공기 공급 시스템

홍철호<sup>1</sup>, 김동진<sup>2\*</sup>, 윤효진<sup>3</sup>

<sup>1</sup>호서대학교 시스템제어공학과, <sup>2</sup>호서대학교 산학협력중심대학, <sup>3</sup>(주)아모텍

### Air Supplying System for DMFC using Piezo Actuators

Chol-Ho Hong<sup>1</sup>, Dong-Jin Kim<sup>2\*</sup> and Hyo-Jin Yun<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of System and Control Engineering, Hoseo University

<sup>2\*</sup>Industrial-academic Cooperation centered University, Hoseo University

<sup>3</sup>AMOTECH Co., LTD.

**요 약** DMFC는 산소를 반응물질로 사용하기 때문에 캐소드 전극이 외부 공기와 직접 접촉해야 한다. 그러나 휴대 기기에 사용하는 경우에 사용자의 신체에 의해 공기의 흡입구가 가려져 산소공급이 되지 않는 현상이 발생할 수 있다. DMFC에 공기를 공급하기 위해 냉각팬을 사용하는데 냉각팬은 유로의 압력 손실 및 변동에 따라 출력의 변동이 심하다. 본 논문에서는 냉각팬의 문제점을 해결하기 위해 압전 액추에이터를 이용하여 공기 공급 시스템을 설계하였다. 설계된 공기 공급 시스템의 성능을 평가하기 위해 DMFC 평가 시스템을 구현하였고, 구현된 시스템을 통해 MP3 플레이어를 동작 시켰다.

**Abstract** DMFC uses oxygen by reactants. Therefore, cathode electrode must contact with outside air. However, when used in mobile devices, the user's body by blocking the air intake on the oxygen supply DMFC can not. DMFC to supply air to the cooling fan is used. However, by using cooling fan, air inlet to the pressure loss and changes will occurs, the output will be worse. In this paper, we designed air supplying system using piezo actuators. We DMFC evaluation system was implemented, verified the performance of air supplying system. And the operation was connected to an MP3 player.

**Key Words** : DMFC, Air Supplying System, Fuel Cell, Piezo Actuator, New Renewable Energy

### 1. 서론

현대 인류 문명은 지난 200년간 석유, 석탄, 천연가스 와 같은 화석연료를 이용하여 발전해왔다. 그러나 더 이상 화석연료는 사용 후 재생이 불가능하고 매장량이 한정되어 있을 뿐만 아니라 지역적으로 편중되는 등 여러 가지 문제를 안고 있다. 또한 화석연료는 연소 시 발생하는 공해물질로 인해 심각한 환경문제를 발생시키고 있으며, 1990년 이후 환경오염물질의 배출 규제가 전 세계적으로 엄격해지고 있다. 따라서 에너지 자원의 고갈 및 환경오염문제를 해결 할 수 있는 깨끗하고 지속가능한 새로운 에너지 자원의 개발과 에너지 시스템의 구축이 21세기의 중요한 해결과제 중의 하나이다[1].

화석연료를 대체할 수 있는 태양광, 풍력, 지열, 수력, 수소·연료전지 등의 대체에너지에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이중 연료전지는 환경에 영향을 받지 않으며 에너지 효율이 높아 소형 시스템으로도 큰 전력을 얻을 수 있어 관심이 높아지고 있다[2,3].

연료전지 기술은 수소의 화학에너지를 전기에너지로 바로 전환하여 친환경적이며, 발전 효율이 높아 에너지 절감효과가 매우 우수하다. 또한 수소, 천연가스, 에탄올, 메탄올 등을 연료로 이용할 수 있어, 차세대 대체 에너지 기술로 된다. 특히 직접 메탄올 연료전지(direct methanol fuel cell, DMFC)는 1W 정도의 소형 배터리 대체용 전원이나 500W 이하의 휴대 전원으로 사용 가능하다[4,5].

\*교신저자 : 김동진(djkim@hoseo.edu)

접수일 10년 04월 20일

수정일 10년 05월 11일

게재확정일 10년 05월 13일

DMFC는 수소를 사용하는 고분자 전해질 연료전지 (polymer electrolyte membrane fuel cell)와 유사한 구조의 작동원리를 갖고 있으나, 연료로서 수소 대신 메탄올을 직접 공급하여 사용한다. 따라서 연료 공급 체계가 단순하여 장치를 간단하게 할 수 있어 소형화가 가능하대[6].

그러나 DMFC는 산소를 반응물로 사용하기 때문에 환원반응이 일어나는 캐소드 전극이 외부공기와 직접적으로 접촉하는 구조를 가져야 한다. 그러나 DMFC를 휴대용 전자기기의 전원으로 탑재할 경우, 전자기기와 접촉되는 면에서 공기흡입구가 사용자의 신체부위나 전자기기가 놓여진 환경에 따라 가려지므로 그 부분에서는 공기흡입구를 통한 산소공급이 되지 않아 전극반응이 일어나지 않게 된다[7].

이러한 문제를 해결하기 위해서는 외부공기를 충분히 유입시켜 전극표면으로 고르게 공급할 수 있는 구조를 가져야 하며 외부로부터 이물질이나 수분의 침투를 막을 수 있는 공기 공급 시스템을 가져야 한다. 연료전지용 공기 공급 시스템으로 냉각팬(micro fan) 방식이 사용되었으나 유로 압력손실이 낮은 시스템에 적용이 제한되고 압력손실 및 변동에 따른 출력의 변화가 심한 문제점을 지니고 있으며, MFC(mass flow controller)를 사용하는 경우 소형의 시스템에 적용하는 것이 어렵다.

본 논문에서는 DMFC에 발생할 수 있는 문제점을 해결하고, 공기의 원활한 공급을 위해 압전 액추에이터를 이용하여 공기 공급 시스템을 구현하였다. 또한 구현된 공기 공급 시스템의 이용하여 DMFC의 동작 특성을 분석하여 구현된 공기 공급 시스템 성능을 평가 하였다.

## 2. 공기 공급 시스템 구현

DMFC에 공급되는 산소는 주로 공기 중의 산소를 사용하므로 공급되는 공기의 압력 및 유량에 따라 그 반응정도가 달라진다. 이는 시스템의 효율과 직결되므로 연료

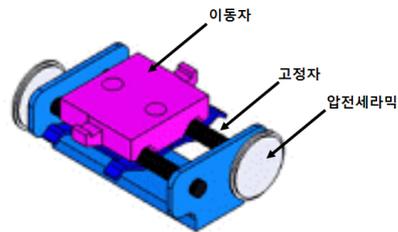
전지에 중요한 부분을 차지한다[8].

본 논문은 피에조 테크놀로지(주)의 바이모프 (bi-morph)형 압전 액추에이터를 이용하여 공기 공급 시스템을 구현하였다.

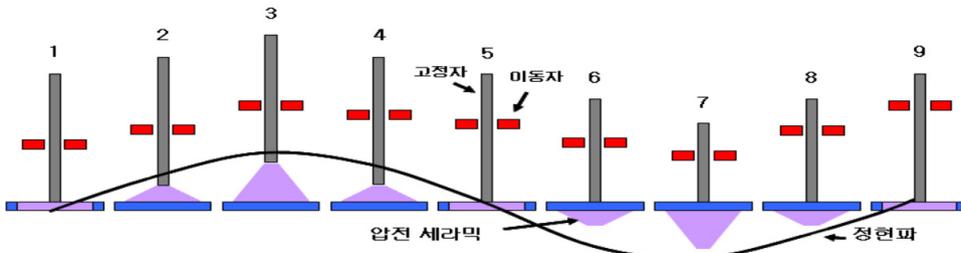
### 2.1 압전 액추에이터의 구동원리

DMFC의 공기 공급을 위하여 바이모프 형태의 압전 액추에이터를 이용하여 공기 공급 시스템을 구현하였다. 압전 액추에이터의 구동 원리는 그림 1에서 보는 바와 같이 압전 액추에이터는 압전 세라믹의 정현진동에 따라 이동자가 선형 운동을 한다. 이동자는 압전 세라믹이 사인파의 한주기를 따라 진동하여, 1번 위치에서 9번 위치로 변화한다. 1-3번과 같이 고정자가 상승할 때 이동자도 같이 상승하고, 4-7번까지 고정자가 하강할 때 이동자는 관성에 의해 3번 위치에 멈춘다. 그리고 8-9번과 같이 고정자가 다시 상승할 때 같이 상승하여 선형 운동을 한다. 이러한 과정을 반복하여, 이동자를 이동시킨다.

압전 액추에이터는 압전 세라믹의 정현진동에 따라 이동자가 선형 운동을 한다. 이동자는 압전 세라믹이 사인파의 한주기를 따라 진동하여, 1번 위치에서 9번 위치로 변화한다. 1-3번과 같이 고정자가 상승할 때 이동자도 같이 상승하고, 4-7번까지 고정자가 하강할 때 이동자는 관성에 의해 3번 위치에 멈춘다. 그리고 8-9번과 같이 고정자가 다시 상승할 때 같이 상승하여 선형 운동을 한다. 이러한 과정을 반복하여, 이동자를 이동시킨다. 그림 2는 공기 공급 시스템에 사용된 압전 액추에이터이다.



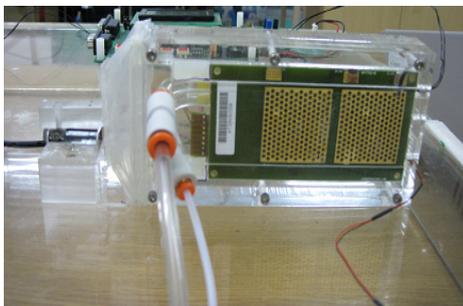
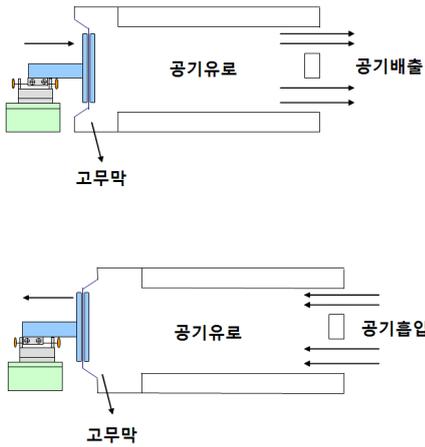
[그림 2] 압전 액추에이터



[그림 1] 압전 액추에이터의 구동원리

## 2.2 공기 공급 시스템

공기 공급 시스템은 DMFC의 공기 배출 및 흡입을 유도하기 위한 시스템으로 다이어프램 방식의 공기 공급 시스템을 구현하였다. 연료전지 케이스 한 쪽 면에 외부와의 공기 배출 및 흡입이 가능하도록 하는 공기 입·출구 및 공기 입·출구와 마주보는 면에 공기 공급 장치가 장착하였으며 공기 공급 시스템은 고무막과 그 고무막의 막 사이에 마련된 압전 액추에이터로 구성된다. 그림 3은 공기 공급 시스템의 구동 방식을 나타내었고, 그림 4는 구현된 공기 공급 시스템이다.



[그림 4] 공기 공급 시스템

## 3. DMFC 평가 시스템

### 3.1 DMFC 스택

본 논문에서 사용한 DMFC 스택은 대만의 Antig사의 4-cell 직접 메탄올 연료전지 스택을 사용하였으며 주요 특성은 표 1과 같다.

순수한 물과 메탄올로 혼합된 연료는 펌프를 통하여

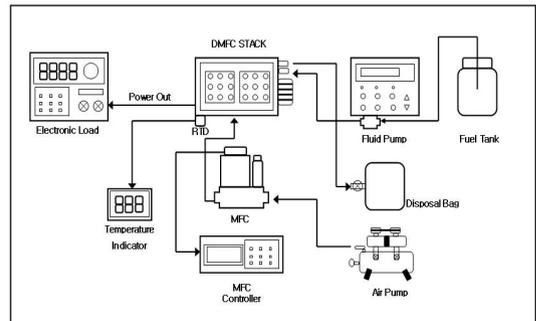
직접 스택 내부로 공급되며 스택내부의 내부 매니폴드에 연료가 채워지면 4개의 셀에 함께 연료가 공급되어 출구 쪽의 매니폴드에 연료가 모아져 스택의 외부로 배출되어 지는 방식이다. 공기극의 경우는 셀이 외부에 노출 되어 지 있어서 기체와 직접 맞는 구조로 되어있다.

[표 1] 스택 특성

Cell	Property
Cell	4
Dimension	Excluding Golden Finger 110(L)mm×55(H)mm×7(W)mm
Weight	- 64 ~ 68g
Output Voltage	- 2.4~3.2V(OCV) - 1.2~1.8V(Operation Range)
OutPut Current	0.2A~1.4A
Operation Temperature	0°C~70°C
Fuel Usage Range	3v%~10v% methanol solution
Module Resistance	≤300mΩ

### 3.2 DMFC 평가시스템 구성

DMFC 발전시스템의 최적화를 위해서 연료전지 스택과 같은 핵심 부품의 성능 개선은 물론 주변 시스템의 최적화 및 종합화 기술이 필요하다. DMFC 발전시스템의 주요 설비로는 연료전지 스택을 비롯하여, 연료 공급 장치, 공기 공급 장치, 시스템 제어 설비 및 전력 변화 장치 등이 포함된다. DMFC 평가 시스템은 그림 5와같이 구성하였다.



[그림 5] DMFC 평가시스템 구성도

연료 공급 장치로는 연료극에 다양하고 정확한 연료공급을 위해서 정량펌프를 사용하여 연료를 공급하고 공기 공급 장치로 공기극에 공기를 공급하기 위해서 MFC(mass flow controller)와 냉각팬을 이용하였으며 그 외에 셀 표면 온도 측정을 위한 RTD(온도센서), 연료

극에서 배출되는 메탄올을 회수하기 위해 Disposal Bag 을 연결하였다.

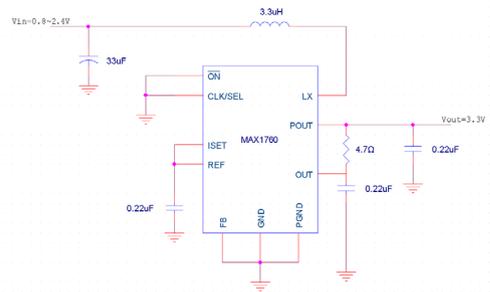
### 3.3 전원 관리 시스템

연료전지 동력원에서 중요한 부분 중의 하나가 전력 변환 문제이다. 연료전지는 부하의 증가에 따라서 출력의 전압이 감소하는 비선형 특성을 가지고 있다. 또한 생산 되는 전력의 기본 형태가 높은 전류 밀도를 가지는 직류 전원이기 때문에 상용의 구동장치를 이용하거나 다른 계통에 연례하기 위해서는 직류/직류 변환 및 직류/교류의 변환이 필요하다[9,10].

연료전지는 단위전지에 걸리는 전압이 0.3V 이하가 되면 역극성 현상이 발생하여 연료전지 성능을 저하하게 된다. 또 연료전지가 무부하 상태에 있는 경우에 부하의 작동 시작 또는 중단 시점에서 잔여 연료에 의한 전기화학 반응이 발생되어 순간적으로 과도 전압이 생긴다.

따라서 연료전지의 출력을 부하로 이용하고 있는 상용의 설비에 직접 전원을 공급하기에는 전원의 품질이 안정적이지 못하다. 다만 직접 메탄올을 연료전지 1개의 셀의 출력 전압이 0.6~0.7V 정도이므로 사용하고자하는 동력원의 입력 전압에 맞추어서 셀의 수를 적층하여 출력 전압을 높여서 사용하는 방법이 있다.

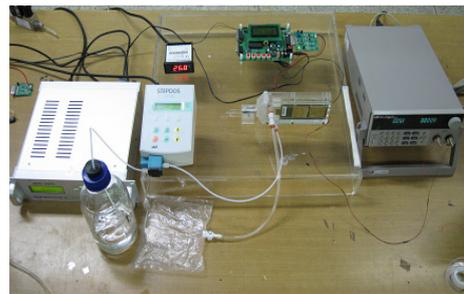
그러나 이 방법은 정밀성을 요구하는 전자 부하의 동력원으로 직접 이용하기에는 부족하다. 따라서 부하가 변하여도 안정적인 정격 전원을 공급할 수 있는 DC/DC 부스터가 필수적이다. 그림 6은 정격 전원을 공급하기 위한 부스터 컨버터의 회로도이다.



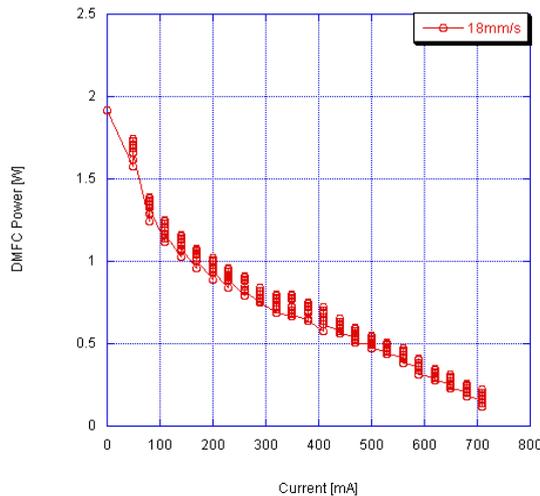
[그림 6] 부스터 컨버터 회로도

## 4. 시스템 성능평가

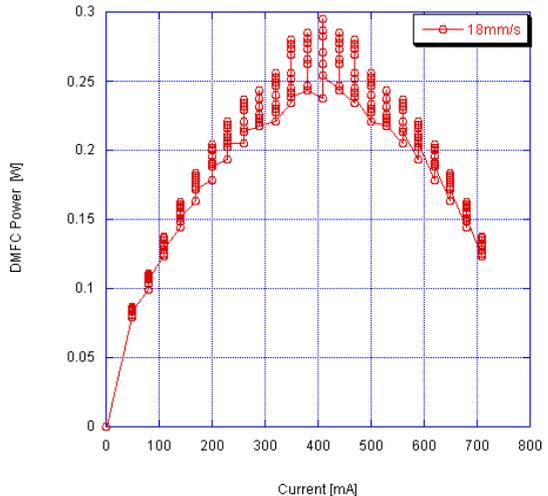
본 논문에서 구현한 공기 공급 시스템의 적합함을 판단하기 위해 DMFC 평가 시스템을 구현하여 성능을 평가하였다. 시스템의 성능평가를 위해 그림 7과 같이 시스템을 구성하였다.



[그림 7] 구성된 DMFC 평가 시스템

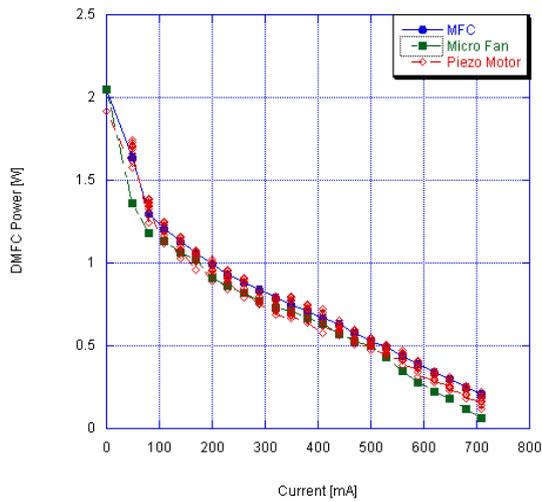


a) 전류-전압 특성

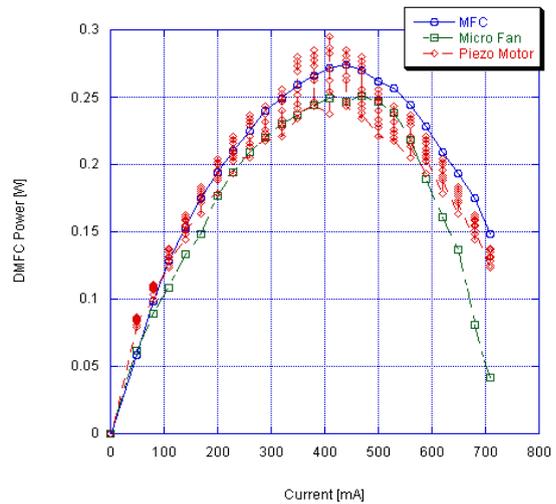


b) 전류-전력 특성

[그림 8] 공기 공급 시스템의 출력특성 (메탄올 농도 2M/연료공급량 1ml/min 일 때)



a) 전류-전압 특성

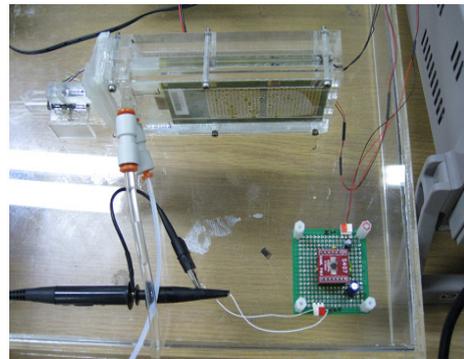


b) 전류-전력 특성

[그림 9] 구현된 공기공급시스템과 MFC 및 냉각팬과의 출력특성 비교

성능평가를 위해 연료 농도 2M, 연료공급량 1ml/min, 25°C의 공기를 18mm/s로 공급하여 성능평가를 하였다. 압전 액추에이터의 최대운동거리는 18mm이고, 18mm/s의 속력으로 구동을 하였기 때문에 구동기의 주기는 2초이다. 압전 액추에이터는 왕복운동을 하며 공기를 공급하는 방식이기 때문에 구동기의 이동에 따라 출력 값이 계속 가변하게 된다. 따라서 구동기의 이동에 따른 전류-전압, 전류-전력에 대한 출력을 DAQ시스템을 이용하여 0.2sec간격으로 한 주기 동안 총 10번씩 측정하였고 그림 8과 같은 결과 값을 얻었다.

구현된 공기 공급 시스템과 MFC 및 냉각팬과의 출력 특성을 비교하였다. 그림 9에 MFC 및 냉각팬의 출력 특성을 나타내었다. 출력 특성을 비교한 결과 냉각팬 방식 보다는 좋은 결과 값을 얻을 수 있었고 MFC를 이용한 결과 값과 유사한 결과를 얻었다.

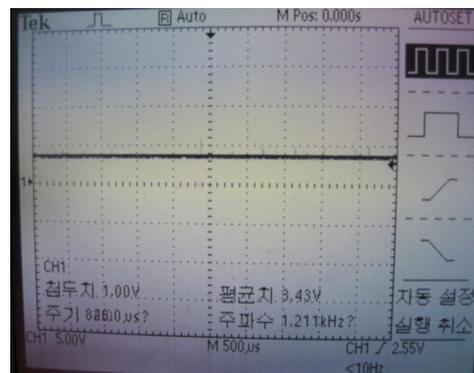


[그림 10] 평가시스템에 부스터 컨버터 적용

그림 11은 오실로스코프를 이용하여 DC-DC 부스터 컨버터에서 나오고 있는 전압을 측정한 그림이다. 그림에서 보면 약3.4V의 전압이 안정적으로 나왔다.

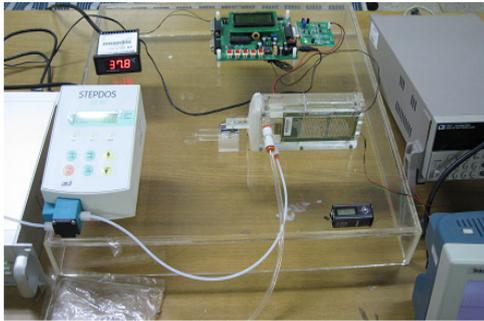
## 5. 연료전지 실제 시스템 적용

본 논문에서 구현된 DMFC 시스템의 안정된 동작을 확인하기 위해 실제 시스템에 적용하여 테스트 해보았다. 출력을 일정하게 하기 위하여 DC-DC 컨버터를 이용하여 일정한 출력을 만들었다. MP3, 휴대폰 등 휴대기기의 최소 작동 전압은 3V이상이다. 그러나 본 연구에 사용한 연료전지에서는 최대 2V정도의 전압이 나오고 있다. 따라서 3V이상의 전압을 일정하게 만들기 위하여 컨버터 중에 부스터 컨버터를 이용하였다. 그림 10과 같이 DC-DC 부스터 컨버터를 적용하여 구성하였다.



[그림 11] 오실로스코프로 측정된 전압파형

그림 11과 같이 안정하게 출력되는 전압으로 MP3 플레이어 구동해 보았다. MP3 플레이어는 내부에 부스터 컨버터 회로가 내장되어 있어 설계된 부스터 컨버터를 사용하지 않고, 그림 12와 같이 직접 연료전지에 MP3 플레이어를 연결하여 실험하였다.



[그림 12] DMFC에 MP3의 연결

그림 13은 MP3의 동작하는 모습을 보여주고 있다.



[그림 13] MP3 플레이어 동작 모습

## 6. 결론

DMFC는 메탄올을 연료로 사용하기 때문에 수소를 연료로 사용하는 연료전지와 비교하면 시스템의 작동이 간단하고 소형화가 가능하여 이동형 및 휴대용 전원으로 많이 개발되고 있다.

본 논문에서는 휴대용 기기의 전원 공급을 위해 DMFC의 공기 공급 시스템을 설계하였고, 설계된 공기 공급 시스템의 성능 평가를 하였다. 설계된 공기 공급 시스템은 냉각팬을 통한 공기를 공급할 때의 문제점을 해결할 수 있었고 저 전력의 공기 공급 시스템을 구현할 수 있었다. 또한 평가 시스템을 구현하여 설계된 공기 공급 시스템을 통해 공기를 공급하고 DMFC로부터 발생하는 전원을 통해 MP3 플레이어를 동작 시켰다.

압전 액추에이터를 이용하여 설계된 공기 공급 시스템은 DMFC에 충분히 적용이 가능하며, 타 연료전지에 응용이 가능한 시스템이다. 그러나 휴대용 기기에 사용하는 데 있어서 보다 더 소형화의 필요성을 있으며, 공기 공급 시스템의 유로 부분을 다양하게 적용하여 높은 효율을 가질 수 있는 시스템에 대한 연구가 진행 되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] “산재생에너지백서”, 지식경제부, 2008.12.
- [2] 김영호, 지용혁, 김재형, 원충연, 김영렬, “DMFC를 사용한 전기자전거 배터리 충전장치”, 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회 논문지, pp 255-258, 2008.
- [3] 심중표, “고분자전해질 연료전지 (PEMFC & DMFC) 기술개발동향”, 전자공학회지, 제35권, 제6호, pp. 635-645, 2008.
- [4] 남석우, “연료전지 기술동향”, 원자력과 수소 심포지움, 2003.
- [5] 백동현, “직접메탄올 연료전지 시스템의 응용과 연구 개발”, 설비저널, 2005.
- [6] “휴대용 50W급 DMFC 시스템 개발 연구”, 산업자원부, 2005.
- [7] 한국생산기술연구원, “연료전지용 공기공급장치”, 특허출원, 10-2008-0005603, 2008.
- [8] 이용복, “연료전지 BOP: 공기 공급 시스템”, 설비저널, 2005.
- [9] jason lai, damian urciouli, "A Low cost soft-switched dc/dc converter for solid oxide fuel cell" 2003.
- [10] m. nadal, f. barbir, "Development of a hybrid fuel cell/battery powered electric vehicle", 1996.
- [11] 윤효진, 김정주, 김동진, “상온상태에서의 직접 메탄올 연료전지의 특성연구”, 한국산학기술학회논문지, 10권 5호, pp.955-961, 2009.
- [12] 김정도, 김동진, 홍철호, 정영창, “리니어 초음파 모터를 이용한 X-Y stage의 마이크로미터급 위치 구획로 설계”, 한국산학기술학회논문지, 6권, 2호, pp. 165-171, 2005.

---

**홍 철 호(Chol-Ho Hong)**

[정회원]



- 1982년 2월 : 성균관대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1989년 2월 : 성균관대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1989년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 시스템제어공학과 교수

<관심분야>

로보틱스, 제어시스템응용

---

**김 동 진(Dong-Jin Kim)**

[종신회원]



- 2000년 8월 : 호서대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 호서대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 2000년 1월 ~ 2004년 6월 : (주) 제니스테크 기술연구소 선임연구원
- 2005년 1월 ~ 2007년 2월 : (주) 테크라인 세정기술연구소 책임연구원

- 2007년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 교수

<관심분야>

제어시스템응용, 센서응용, 신재생에너지

---

**윤 효 진(Hyo-Jin Yun)**

[정회원]



- 2007년 2월 : 호서대학교 정보제어공학과 (공학사)
- 2009년 2월 : 호서대학교 대학원 정보제어공학과 (공학석사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : (주)아모텍 모터사업부 연구원

<관심분야>

모터제어, 연료전지, 시스템제어응용