

직접메탄올 연료전지 BOP 시스템에서 연료/공기 공급 장치의 선정

김기웅* · 김서영** · 강병하***

Selection of Fuel/Air feeders in BOP system for a DMFC

Ki Woong Kim*, Seo Young Kim** and Byung Ha Kang***

Key Words : DMFC (직접메탄올 연료전지), Feeder(공급 장치), Pressure Drop(압력강하), Fuel Cell BOP(연료전지 운전 장치)

Abstract

The objective of this study is to select fuel/air feeders for reliable operation of BOP(Balance of Plant) system for a DMFC (direct methanol fuel cell). A 42-cell 50W DMFC stack is considered for performance comparison of selected fuel pumps and air blowers. The present stack has two serpentine anode channels with depth of 1.2 mm and rib of 1 mm and one serpentine cathode channel with depth of 1.5 mm and rib of 1 mm. The pressure drop through the stack is estimated in advance by utilizing the pre-existing loss coefficients data for various flow configurations. Then the operating points of feeders are determined at the balance point of the flow impedance curves for the channels in the DMFC stack and the selected pump and blower performance curves. After estimating the operating flow rates in the anode and cathode channels, the flow measurement with the selected feeders is performed for the comparison with the estimated flow rates. The measured results show that the discrepancy between the estimation and the measurement for the cathode is about 26%, about 3% for the anode

기 호 설 명

P : 압력 강하 [kPa]

V : 속도 [m/s]

n_{ar} : 면적비

그리스 문자

ζ : 손실 계수

ζ_{fr} : 마찰 손실 계수

ζ_{loc} : 국부 손실 계수

ρ : 밀도

1. 서론

연료전지(fuel cell)는 연료의 화학에너지가 전기에너지로 직접 변환되어 직류전류를 생산하는 능력을 갖는 전기화학적 발전 설비로서, 천연가스, 프로판, 나프타, 메탄올 등의 다양한 에너지 원으로부터 전력과 열을 동시에 활용할 수 있는 고효율, 고출력,

무공해, 무소음 및 모듈화의 특징을 갖는 환경 친화적 차세대 발전 기술이다. 여러 형태의 연료전지 중 직접 메탄올 연료전지 (direct methanol fuel cell)는 높은 출력밀도, 빠른 연료공급, 소형화, 경량화 및 개질기를 포함한 주변시스템이 적은 장점으로 인하여, 최근 시장이 급격히 성장하고 있는 휴대용 IT기기의 배터리를 대체하여 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 연료전지는 발전모듈인 스택(Stack)이외에 스택을 구동시키기 위한 연료카드리지, 연료/공기 공급을 위한 펌프 및 블로워, 전압변환 및 각종 제어를 위한 제어보드 등을 포함한 BOP(balance of plant)로 구성되어 있는데, 휴대용 연료전지의 상용화를 위해서는 고성능 촉매/막 개발, 스택의 성능 향상, 박막화, 경량화, 소형화, 저가격화 등에 대한 연구와 더불어 연료/공기공급 장치 및 BOP 부품 설계/개발/성능검증을 통한 통합 시스템의 경량화, 소형화를 위한 시스템 최적화 연구가 반드시 필요하다. 이러한 연료전지 BOP 시스템의 연료/공기 공급 장치 선정을 위해서는 유량과 압력이 가장 중요한 변수이며 휴대용 연료전지에 적용되어질 경우 그 무게와 부피의 제한으로 인하여 소형화된 장치가 필요하며 스택의 부하를 줄이기 위해서 소비동력 또한 최소화되어야 한다. 또한 사람이 직접 사용하게 됨으로 소음도 중요한 변수이다.

연료 공급 장치의 형식에 있어서 다이어프램 펌프는 작동 원리로 인하여 유동에 맥동이 발생하게 되며 큰 유량을 감당하려면 부피가 커지는 단점이 있으나 작은 유량의 경우에는 다른 형식의 펌프와 비교할 때 여러 측면에서 유리한 것으로 평가되고 있다. 또한 맥동의 경우에는 스택내부에서의 전기화학반응을 촉진시킬 수 있는 긍정적인 측면도 있어 DMFC의 메탄올재순환

* 국민대학교 대학원, k2w2892@gmail.com

** 한국과학기술연구원, seoykim@kist.re.kr

*** 국민대학교 기계·자동차공학부, bhkang@kookmin.ac.kr

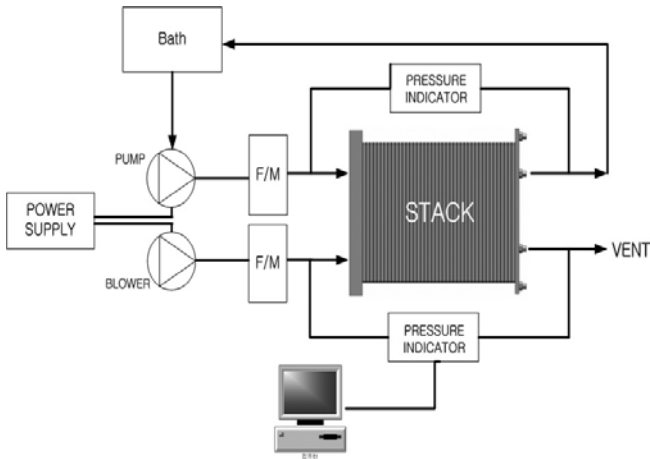


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

펌프와 연료펌프로 사용하기에 적합한 것으로 평가된다. 공기 공급 장치의 경우에는 위에서 언급하였듯이 다이어프램 펌프의 특성상 다이어프램의 변위에 따른 펌프 내부 용적의 변화를 이용하여 유체를 흡입하고 배출함으로 다이어프램 변위가 크지 않다면 큰 유량을 감당하기 어렵게 된다. 따라서 다이어프램 방식 보다는 회전식을 주로 사용하게 되며 상용의 공기 펌프로서는 로터리베인 (rotary vane) 펌프가 많이 사용되고 있다.^{[1]-[5]}

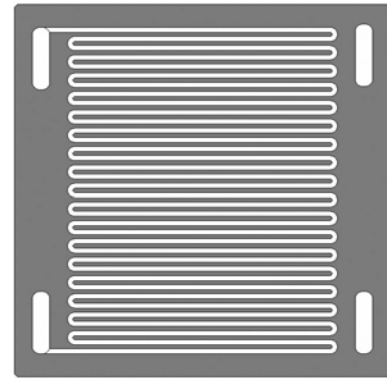
본 연구에서는 실제 연료전지 BOP 시스템을 구성함에 있어서 스택의 요구조건을 충족시키는 연료/공기 공급 장치를 선정하였다. 그 과정으로서 스택 내에서 발생하게 되는 압력 강하를 적절한 상관관계식을 통하여 산출한 뒤 공급 장치의 주어진 성능곡선 데이터를 이용하여 각 연료/공기 공급 장치의 작동점을 예측하고 적절한 공급 장치를 선정하였다. 또한 실험을 통하여 실제로 스택과 선정된 공급 장치가 잘 부합되는지를 증명하였다.

2. 실험 장치

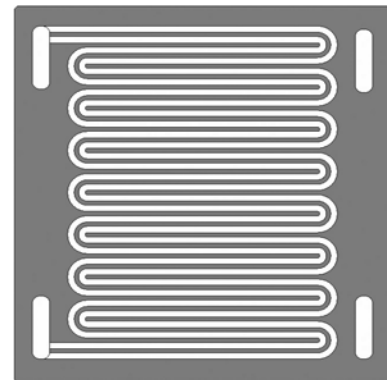
본 연구에서는 Fig. 1과 같이 스택내의 압력강하를 측정할 수 있는 장치를 제작하였다. 실험 장치는 크게 애노드(anode)측과 캐소드(cathode)측으로 나누어진다. 애노드측에서는 직접메탄올 연료전지의 BOP시스템에서와 같이 연료가 스택 내에서 소모되지 않고 나왔을 때 다시 순환하여 반응을 할 수 있도록 스택과 펌프의 중간에 Bath를 설치하였으며, 애노드측의 작동유체로서는 실제 스택을 구동했을 경우 애노드 연료에서 메탄올이 차지하는 부분이 단지 1% 내외이기 때문에 증류수를 작동유체로 선택하였다. 캐소드 측에는 반응에 소모된 공기가 외부로 배출될 수 있도록 Vent로 제작하였다. 측정에 사용된 압력계로는 정전 용량값을 입력받아 압력을 측정하는 Smart Pressure Transmitter를 사용하였으며 양쪽의 유량을 측정하기 위하여 로

Table 1 Selected fuel pumps and blower

	Model	Type
Pump	NF10 DC	Diaphragm Pump
	NF5 L-Version	
	NF5 S-Version	
Blower	BL-G 085 M	Rotary Vane Pump
	C.1C60G1	Diaphragm Pump



(a)



(b)

Fig. 2 Flow configurations with serpentine channel in stack.

(a) Anode (b) Cathode

터미터를 사용하였다.

사용된 스택으로서 42-cell 50W 급 DMFC 스택으로서 Fig. 2 와 같이 양쪽 모두 Serpentine 타입 구조로서 애노드측에서는 1개의 유로를 가졌으며 깊이 1.2 mm, 폭 1 mm, 전체 유로 길이는 45m 이고, 캐소드 측에서는 깊이 1.5mm, 폭 1 mm 이며 2개의 유로를 가졌다.

공급 장치에서 주어지는 성능곡선 데이터를 이용한 압력강하 예측을 위하여 애노드 측과 캐소드 측 각각의 펌프 및 블로워를 선정하였으며 종류 및 타입은 Table 1 과 같다.

3. 공급 장치의 성능곡선 및 작동점

3.1 부차적 손실

어떠한 파이프 시스템에서도 Moody 차트에서 계산된 파이프 길이에 대한 마찰손실 이외에 부차적 손실이 있게 된다. 이는 주로 파이프 입구와 출구, 급격한 확대 및 축소 Bend, elbow, tee 등에서 발생하는데 이러한 부차적 손실은 흔히 수두 손실을 파이프 시스템의 속도수두와의 비로 나타낸다.

본 연구에서는 차압계가 측정하는 첫 번째 지점에서부터 스택의 연료/공기 입구와 스택에서 연료/공기가 반응 후 나오게 되는 출구에서부터 차압계의 두 번째 측정지점 사이에서 이루어지는 일반 직관에서의 압력 손실을 계산하는 데에 식 (1)에서와 같이 Darcy-Weisbach 방정식을 사용하여 계산을 수행하였다.^[6]

$$\Delta P = \zeta_{fr} \frac{\rho V^2}{2} \quad (1)$$

$$\Delta P = \zeta \frac{\rho V^2}{2} = \zeta_{loc} + \frac{\zeta_{fr}}{n_{ar}^2} \quad (2)$$

$$\Delta P = \zeta \frac{\rho V^2}{2} = \zeta_{loc} + \zeta_{fr} \quad (3)$$

$$\Delta P = \zeta \frac{\rho V^2}{2} = C \zeta_{loc} + \zeta_{fr} \quad (4)$$

where $C = f(a/b)$

연료/공기 측 입구에서 일어나는 급격한 확관의 압력 손실을 계산하기 위하여 식(2) 를 사용하였으며, 또한 스택내의 채널로 애노드측과 캐소드측에서의 연료/공기가 유입될 때 급격한 축관이 일어나며 채널 내에서의 압력손실을 계산하기 위하여 각각 식(3), 식(4) 을 사용하였다. 여기서 a와 b는 채널 내에 단면에 대한 길이이며 애노드의 각 구간에서의 계산된 Reynolds number를 Table 2 에 나타내었다.^[7]

3.2 성능곡선 및 작동점

실제 연료전지 BOP시스템에서 요구되어지고 있는 연료/공기 공급 장치는 시스템에서 요구되어지는 유량이 적절하게 공급되어야 하며 또한 공급된 연료/공기가 스택 내에 MEA (Membrane Electrode Assembly)를 통과하며 반응이 이루어지기 때문에 비교적 높은 차압에서 형성 되어져야 한다. 이러한 시스템에서 요구되어지는 공급 장치와 스택과의 작동점은 펌프/블로워의 성능곡선과 스택의 구조에 따른 임피던스 곡선의 균형점에서 형성되어진다.

3.1 절에서 계산된 스택내에서의 압력 강하량과 선정된 펌프/블로워에서의 성능곡선 데이터를 이용하여 스택 내에 애노드 및 캐소드의 작동점을 각각 Fig. 3과 Fig. 4 에 나타내었다. Fig. 3 에서 알 수 있듯이 애노드측에서 선정된 3개의 펌프 중에서 NF 10 은 NF 5L 과 NF 5S 에 비하여 비교적 높은 유량의 영역에서 작동점이 생기는 반면 NF 5L과 NF 5S 는 낮은 영역에서 작동점이 형성되며 낮은 압력 강하량이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 4에서 보이는 것과 같이 캐소드측에서 선정된 2 개의 공기 공급 장치에서, BTS-IIS 는 스택에 요구되는 유량에 비해 높은 유량을 공급하며 스택과의 작동점을 형성하는 것을 확인할 수 있으며 BL-G 085M은 스택에 요구되는 적절한 유량과 압력 강하량이 형성되는 것을 확인할 수 있다.

위와 같은 결과로서 실험결과와 비교하기 위한 애노드측의 연료 공급 장치로서 NF 10 이 선정되었으며 캐소드측에서는 BL-G 085 M 모델이 선정되었다.

Table 2 Reynolds number of each section in Anode

Section	Reynolds number
Straight Tube	383
Sudden Expansion	664
Sudden Contraction	34
Anode Channel	34

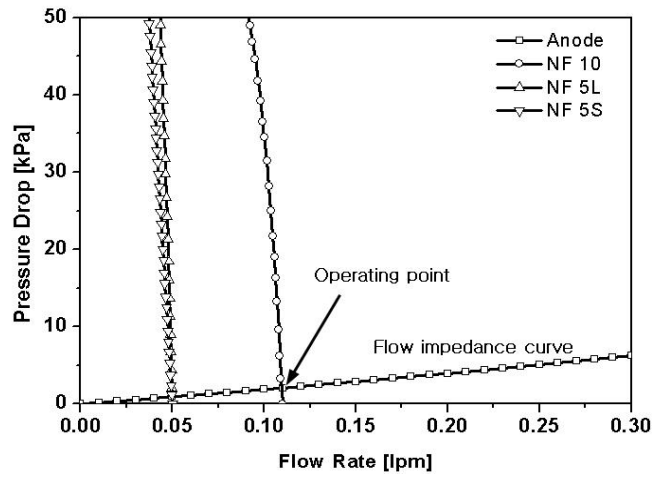


Fig. 3 Pump performance curve selected in this study.

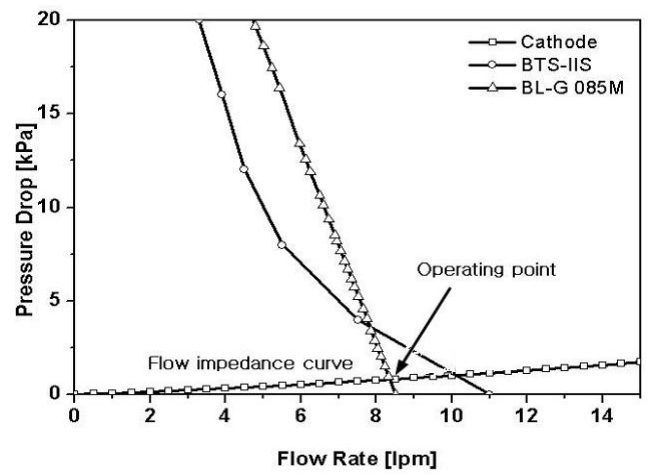


Fig. 4 Blower performance curve selected in this study.

4. 실험 결과

우선 선정된 50W 급 DMFC 스택에 대한 애노드 및 캐소드의 필요유량이 계산되었다. 각 셀에 대하여 연료가 반응하는 Active Area=50.22 cm², 스택에 대한 총 Cell number = 42-cell 에 대하여 애노드는 94 ccm, 캐소드는 8.9 lpm 이 결정되었다.^[8]

스택에서 요구되는 유량에 따른 공급 장치로서 NF 10 과 BL-G 085 M 의 각각에 대한 실험 결과와 상관관계식에 의해 수행된 계산결과를 Table 3과 4에 나타내었다.

Table 3과 4에서 알 수 있듯이 애노드 측에서 스택에 공급되어야 할 연료의 필요유량이 94 ccm 일 때 실험으로 측정된 압력 강하량과 상관관계식에 의해 수행된 계산 결과에서 잘 맞는

Table 3 Measured result of selected feeders

	Flow rate	Pressure drop
Anode	94 ccm	1.70 kPa
Cathode	8.9 lpm	1.17 kPa

Table 4 Calculated result of stack pressure drop

Model	Flow rate	Pressure drop
Pump(NF10)	94 ccm	1.743 kPa
Blower(BTS-IIS)	8.9 lpm	0.864 kPa

경향을 보였으며 그 오차는 3% 이내였다. 또한 캐소드 측에서 스택내로 공급되어야 할 연료사용량이 8.9 lpm 일 때 실험 데이터와 상관 관계식에 의해 수행된 계산결과 사이에서의 오차는 26% 이내였다.

5. 결론

본 연구에서는 직접연료전지 BOP시스템에 있어서 연료/공기 공급장치의 성능곡선 데이터를 이용하여 스택에 필요한 공급장치의 선정을 수행하였으며 주된 결론은 다음과 같다.

- (1) 애노드측에서 선정된 연료 공급 장치의 성능곡선 데이터를 이용한 스택내에서의 압력 강하 예측량과 실험 결과와의 오차는 약 3% 이다.
- (2) 캐소드측에서 공기 공급장치의 성능곡선 데이터에 의한 압력강하 예측량과 실측 압력 강하량과의 오차는 26% 이다.
- (3) 직접연료전지 BOP시스템의 연료/공기 공급장치를 선정함에 있어서 공급 장치의 성능곡선 데이터를 이용한 압력강하 예

측을 통하여 연료전지 시스템에 요구되는 연료/공기 공급 장치 선정의 적합성을 높일 수 있다.

참고 문헌

- [1] James Larminie and Andrew Dicks, 2003, Fuel Cell Systems Explained, John Wiley & Sons Inc., p.327-339.
- [2] Frano Barbir, 2005, PEM Fuel Cells : Theory and Practice, Elsevier Academic Press, p.271-278.
- [3] Ryan O'Hayre, Suk-Won Cha, Whitney Colella and Fritz B, 2006, FUEL CELL FUNDAMENTALS, John Wiley & Sons Inc, p.279-283
- [4] Microfluidic BOP system for portable fuel cells, 2006, KIST Report no. UCE1934-8229-2, KIST
- [5] Seo Young Kim and Ralph L. Webb, Analysis of Convective Thermal Resistance in Ducted Fan-Heat Sinks, IEEE Trans. Compon. Packag. Technol., vol.29, Issue 3, pp.439-448, Sept. 2006.
- [6] I.E. Idelchik, 1994, HANDBOOK of HYDRAULIC RESISTANCE, CRC Press, Chapter Two.
- [7] I.E. Idelchik, 1994, HANDBOOK of HYDRAULIC RESISTANCE, CRC Press, Chapter Four and Six.
- [8] James Larminie and Andrew Dicks, 2003, Fuel Cell Systems Explained, John Wiley & Sons Inc., p.395-400.