



## 소용량 건물용 연료전지시스템 블로워의 가혹조건 평가에 관한 연구

김강수 · 이덕권 · 이정운 · 김은정 · 김인찬 · 김영규 · †신헌용\*

한국가스안전공사 가스안전연구원, \*서울과학기술대학교 화학공학과  
(2012년 11월 26일 투고 2012년 12월 24일 수정 2012년 12월 24일 채택)

### A Study on the Worst Stress Condition Test Evaluation of Blowers for Small Stationary Fuel Cell System

Kangsoo Kim · Deokkwon Lee · Jungwoon Lee · Eunjung Kim

Inchan Kim · Younggyu Kim · †Hunyoung Shin\*

Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation, Gyeonggi-do 429-712, Korea

\*Dept. of Chemical Engineering, Seoul National University of Science & Technology, Seoul 139-743, Korea

(Received November 26, 2012; Revised December 24, 2012; Accepted December 24, 2012)

#### 요약

연료전지는 우수한 도시가스 인프라로 안정적인 에너지공급이 가능하고, 연료 다변화가 가능한 신에너지 기술이다. 연료전지 상용화를 위해 시스템의 성능 및 신뢰성뿐만 아니라, 가격의 저감이 필수적이다. 소용량 건물용 연료전지시스템에서 가격비중이 매우 높은 보조기기의 가격저감 연구의 일환으로, 국내 제작된 블로워의 안전 성능을 평가하고 개선방향을 모색하고자 하였다. 본 연구에서는 실제 연료전지시스템의 작동환경과 가장 유사한 환경에서 블로워의 성능 및 가혹조건 평가를 수행하였다. 블로워를 70°C 온도조건에서 장기 가동 시 유량성능, 기밀성능 및 열적거동의 상관관계를 파악하여, 블로워의 성능 저하에 영향을 미치는 모터열화, 다이어프램 재질 및 토출구 구조 등의 주요인자를 도출하였다.

**Abstract** - The fuel cell is one of the renewable energy sources. And it is a new source of energy that can be applied to various fuels and continuously supported by the excellent city-gas infrastructure. It is important to improve performances and reliabilities, and reduce the cost of fuel cell systems for commercialization. And, some safety performances of blower domestically produced are evaluated and some improvements are researched to save the cost of fuel cell systems. In this paper, the performance and worst stress condition of blowers are evaluated in operating environment similar to the fuel cell systems. Actually, the correlation of flow, leakage and thermal behavior are evaluated in the worst stress condition at 70°C and, some major factors of blower degradation such as a motor deterioration, material and structures of the outlet are examined.

**Key words** : small stationary fuel cell system, worst stress condition, thermal behavior evaluation, fuel booster blower, preferential oxidation air blower, diaphragm type

#### 1. 서론

전 세계적으로 지구온난화에 따른 환경 및 생태 문제를 해결하고자 새로운 에너지, 발전방식 등에

너지 패러다임이 급속도로 변화하고 있는 실정이다. 국내에서도 저탄소 녹색성장 일환으로 신재생에너지에 대한 관심이 고조되고, 특히 기존 화력발전 등 중앙 집중형의 대규모 발전과는 달리 수요 및 관리 중심의 분산형 에너지시스템인 신재생에너지 기술 개발이 급속하게 이루어지고 있다. 신 재생에너지원 중 에너지 지속성 및 국내 보급 인프라가 우수한 건

†Corresponding author:hyshin@seoultech.ac.kr

Copyright © 2012 by The Korean Institute of Gas

물용 연료전지는 상용화를 위하여 다양한 응용분야에 적용되어 빠르게 성장하고 있다[1-3].

건물용 연료전지의 경우, 2006년부터 시작된 '가정용 모니터링 사업'을 시작으로 1kW급 연료전지시스템이 210대 설치되었고, 시범보급으로 1,000여대의 연료전지가 각 가정에 설치되어져 있다. 1kW급 건물용 연료전지시스템의 경우, 모니터링 사업 초기 1억 3천만원의 시스템 단가가 현재 5,000만원 가량으로 낮아지는 등 2013년 이후에 보급사업을 추진하는데 시스템 가격저감이 강력한 추진제가 될 것으로 보인다. 연료변환장치, 스택 및 전력변환장치 등 연료전지의 주요 부품의 국산화가 이루어지고 있는 실정에서, 해외 선진국에서 수입하여 시스템에 적용하고 있는 BOP(Balance of Plant, 보조기기)의 국산화는 시스템의 가격저감을 위해 불가피한 상황이다.

Fig. 1은 일본 에너팜(ENE-Farm) 연료전지시스템의 2004년과 2011년 시스템 구성요소별 가격분석을 나타내고 있다. 생산대수 10,000대 당 시스템 가격이 \$20,200인 2004년과 비교하여 50,000대 당 \$7,500인 2011년 에너팜의 스택 등 주요 부품의 생산 단가는 \$10,700에서 \$2,950로 약 75%정도 생산단가가 절감되었다. 그러나 BOP류의 단가는 2004년 \$9,500이었던 것이 2011년 \$4,575정도로 50%에도 미치지 못해 전체 시스템 단가에서 차지하는 비용이 61%에 이를 정도로 비용적 측면에서 점점 중요성이 증가하고 있다[4]. 또한, 스택 생산전력의 15%정도를 차지하는 BOP류의 소비전력을 줄이는 것이 시스템의 효율을 높이는 중요한 요소이다.

미국, 유럽 및 일본 등의 선진국을 중심으로 연료전지시스템의 안전성능 평가기준이 마련되어 있으나, 아직까지 블로워, 밸브 등 연료전지 BOP류에 대

한 부품 인증기준은 마련되어 있지 않은 실정이다[5-6]. 본 연구에서는 이러한 국내 실정에 효과적으로 대응하기 위해 건물용 연료전지시스템 BOP류의 국산화를 앞당기고자 연료전지시스템의 연료 및 공기를 시스템 각 부분에 공급하는 국내제작 블로워의 내구성능을 분석하고 내구성 향상을 위한 방안을 제시하고자 한다.

## II. 연료전지시스템 블로워

건물용 연료전지시스템에 적용되는 블로워에서 요구되는 사항은 후단의 부하압력에 대하여 토출되는 유량이 안정적이어야 하며, 소비전력, 가격 및 소음을 최대한 낮추어야 연료전지 상용화에 가까워질 것으로 보인다. 본 연구에서 안전성능 평가를 수행한 연료승압 블로워의 사양은 5W이하의 소비전력, 10만원 정도의 가격, 40dB이하의 소음을 목표로 설계되었고 선택산화 공기 블로워는 2W이하의 소비전력, 5만원 정도의 가격, 40dB이하의 소음을 목표로 설계되어졌다. 특히 소용량 건물용 연료전지에 적용되어 각 가정의 실내에 설치되므로, 소음저감이 매우 중요한 요소로 요구되어진다.

Fig. 2는 건물용 고분자전해질 연료전지(PEMFC, Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell) 시스템 내 블로워의 구성을 나타내고 있다. 연료변환장치는 연료승압 블로워, 버너공기 블로워 및 선택산화공기 블로워에서 공기와 연료를 공급받게 되며 스택은 캐소드공기 블로워에서 공기를 공급받는다. 특히 다른 블로워에 비하여 연료변환장치, 스택 및 열교환기 등 후단 압력의 영향을 가장 많이 받는 도시가스 이용 연료변환장치 공급용 연료승압 블로워의 경우 최소 10~20kPa 정도의 후단 압력에 대한 유량의 안정성이 요구되어지고 있다.

연료전지시스템용 블로워에는 다이어프램방식, 플런지방식, 벨로우즈방식, 스크류 방식 및 터보방식 등 다양한 방식이 존재하나, 저유량 및 고정압 특성을 가지는 소용량 건물용 연료전지에 적용시키기에는 다이어프램방식, 플런지방식 및 벨로우즈방식과 같은 용적형 타입이 주를 이루고 있다[7].

다이어프램방식 블로워는 가격이 타 방식의 블로워와 비교하여 비교적 저렴하고 유량 및 압력의 안정적인 공급에 적합한 특징을 갖는다. Fig. 3은 single 다이어프램보다 안정적인 유량제공 및 미세압력조정이 가능한 double 다이어프램방식 블로워의 구성도를 보여주고 있다. 다이어프램방식 블로워는 회전운동을 왕복운동으로 변환시켜주는 편심, 편심축 및 연결축으로 구성되어 있으며 연결축의 왕복운동

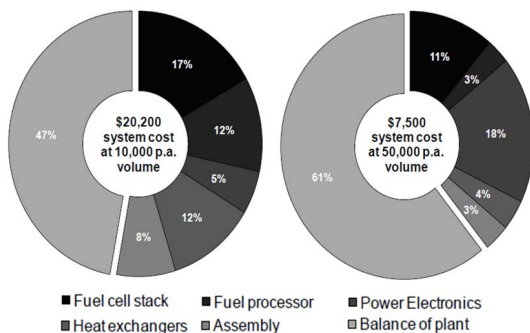


Fig. 1. The projected manufacturing cost of Ene-Farm systems in 2004(left) and 2011(right).

으로 다이어프램을 수직방향으로 반복운동을 시킨다. 이때, 다이어프램부는 압축챔버 내 체적의 수축·팽창 반복을 이용하여 흡입구를 통해 유체를 흡입하여 토출구로 밀어주는 구조적 특징을 갖는다. 연료전지시스템에서는 다이어프램 블로워가 압축이 가능한 기체를 운반하는 역할을 하기 때문에 액체운송용 펌프보다 큰 용적을 가져야 한다. 또한, 다이어프램의 왕복편차가 클수록 다이어프램의 압축 및 운송능력을 향상시키는 특징을 갖는다. 따라서 압축챔버의 내용적과 연결축의 길이, 다이어프램의 크기 및 두께 등이 다이어프램 블로워의 성능을 결정하는 중요한 요소이다[8-9].

### III. 블로워 가혹조건 평가방법

#### 3.1. 블로워 성능평가

블로워 성능평가 장치는 블로워의 각 유량과 환경 및 후단의 부하환경에 맞추어 Fig. 4와 같이 제작하였다. 측정 라인에는 유량의 변화와 압력의 변화를 실시간으로 측정할 수 있는 유량계와 압력계를

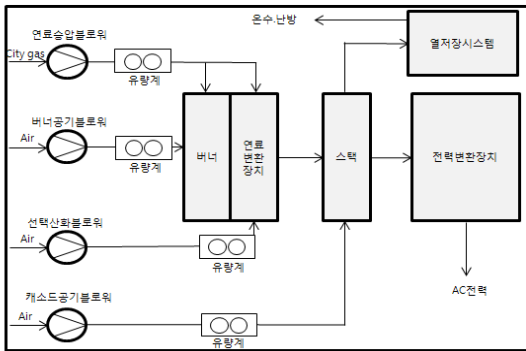


Fig. 2. Configuration of blowers in the stationary PEMFC system.

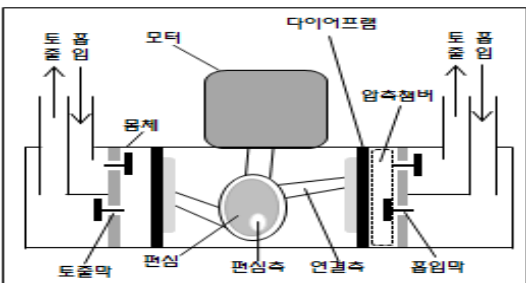


Fig. 3. Structure of the double diaphragm blower.

LabVIEW 프로그램과 연동하여 제작하였다. 연료전지시스템에서 각각의 블로워의 실제 후단압력과 유사한 환경을 조성하기 위해 후단에 0~30kPa 압력의 공기를 10kPa 압력 간격으로 유지한 채 실험을 수행하였다. 또한 블로워의 다양한 동작특성 및 최적의 운전조건을 분석하기 위해 블로워의 제어전압을 0~5V까지 0.5V간격으로 인가하여 블로워의 토출유량 성능을 평가하였다. 특히, 본 블로워 성능평가 장치는 PID제어를 통하여 설정된 후단 압력을 안정하게 유지시키는 동시에 유량, 온도, 압력 및 소비전력 등의 계측 값들을 실시간으로 수집하였다. Table 1은 블로워 성능평가 장치의 부위별 사양을 자세히 보여주고 있다.

#### 3.2. 블로워 가혹조건 성능평가

각각의 블로워의 온도에 의한 가혹조건을 조성하기 위해 항온챔버를 이용하여 내부 분위기 온도를 항상 70℃로 유지한채 블로워를 동작시켰고, 온도에 의한 영향을 고찰하고자 습도는 수분을 제거하여 건조한 상태가 항상 유지되도록 하였다(Fig. 5). 블로워의 구동전압은 가혹 구동조건을 맞추기 위해 최대 구동전압인 5V로 유지하여 운전하였다.

가혹조건 성능평가 초기 상태의 블로워에 대한 모의부하별 성능곡선, 기밀성능 및 소비전력 등 성능

Table 1. Specification of blower performance evaluation apparatus

	관경	탱크 용적	멤퍼 용적	제어 전압	부하 압력
규격	1/2"	3L	0.5L	0~5V	0~30 kPa

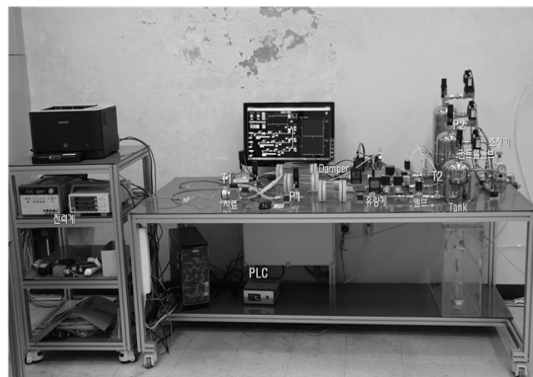


Fig. 4. Blower performance evaluation apparatus.

값을 측정하여 비교분석의 신뢰성을 높이고자 하였고, 약 100시간 간격으로 블로워 성능평가를 실시하여 실제와 유사한 환경보다 가혹한 조건에서 운전시간에 따라 성능특성을 파악하여, 실제 환경에서 성능저하에 따른 내구성을 예측하고자 하였다. 국내 건물용 연료전지는 실내설치 및 실외설치를 모두 고려하여 제작되고 있기 때문에 가혹조건에 따른 내구성 평가는 시스템 성능 및 안전성능을 위해 꼭 필요한 평가방법이 될 것이다.

### 3.3. 블로워 기밀성능평가

연료전지용 블로워의 기밀성능평가는 Fig. 6과 같이 특수 제작한 수압 기밀측정기를 이용하여 측정결과를 분석하였다. Fig. 7에서와 같이 먼저 외부 기밀성능은 토출구에서 토출로 방향으로 압력을 가해 일정시간 유지하여 토출막에 대한 기밀성능을 측정하



Fig. 5. Blower operation in chamber for worst stress condition test.

였고, 내부 기밀성능 측정을 위해 토출구를 막은 상태에서 흡입구로부터 압축챔버 방향으로 압력을 가하여 일정시간 다이어프램부의 기밀성능을 측정하였다.

### 3.4. 블로워 열적거동평가

열적거동평가는 블로워의 가혹조건 운전온도에 따른 성능변화와 외부온도 변화의 상관관계를 판단하기 위해 블로워의 각 부위별 발열변화를 측정하였다. 또한 각 발열부위에서의 열화현상을 관찰하였다. 열적거동평가는 블로워와 약 30~50cm 떨어진 곳에서 적외선 열화상카메라를 적당한 높이의 삼각대에 고정하고 블로워의 성능평가와 동시에 진행하였다. Fig. 8은 본 실험에 사용한 연료승압 블로워를 열화상 측정장치로 촬영한 화면이고, 흡입구, 토출구, 모터부 및 몸체부의 온도분포를 나타내고 있다.

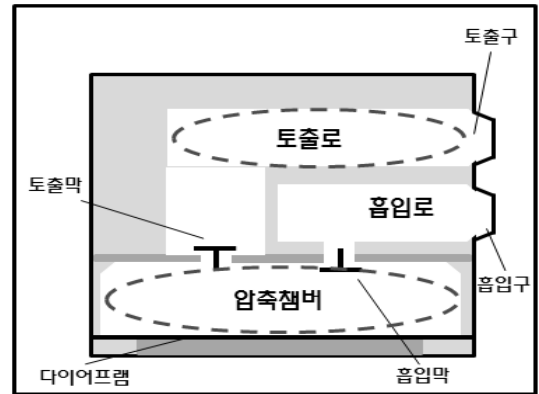


Fig. 7. Leak measurement parts and path.

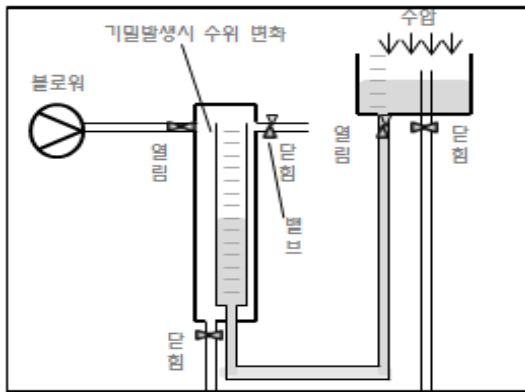


Fig. 6. Schematic diagram of hydraulic leak measurement apparatus.

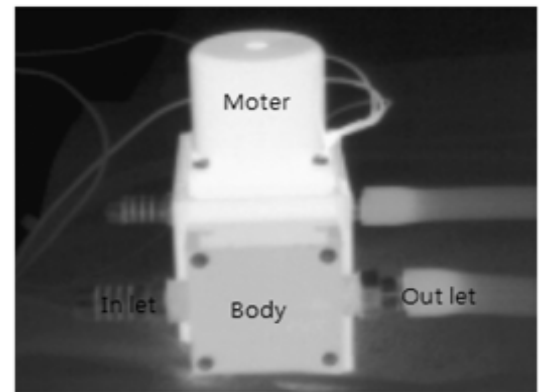


Fig. 8. Thermal behavior evaluation for fuel booster blower.

#### IV. 블로워 가혹조건 성능평가 결과

##### 4.1. 블로워 가혹조건 성능평가 결과

다이어프램 블로워의 내구성능을 향상시키는 요인 중의 하나는 고무재료의 열화를 방지하기 위해 주위 환경을 항상 저온상태로 유지시키는 것이다. 그러나 실외 설치 연료전지시스템은 여름철에 복사 및 대류현상에 의해 시스템 내부의 온도가 국부적으로 주위온도 보다 상승이 가능한 상황이다. 이와 같은 온도조건이 가혹한 상황을 설정하여 블로워의 성능변화를 관찰하고자 하였다.

Fig. 9~10은 선택산화공기 블로워와 연료승압 블로워의 가혹조건 운전 하에서의 유량과 후단 압력의 관계를 나타내고 있다. 블로워 구동전압이 3V일 때 선택산화 블로워의 경우 후단압력이 증가할수록 유량이 감소함을 보이고 있다. 장시간 작동 후의 내구성 성능평가 결과와 소비전력의 변화추이를 보여주고 있다. 실험은 3.1과 3.2에서 서술한 것과 같이 70°C의 항온챔버에서 장시간 운전을 시켜 내구성 평가장치를 통해 가혹한 블로워 작동환경에서 어떠한 성능 변화 특성을 지니고 있는지 평가하였다. 선택산화공기 블로워의 경우 초기 유량이 3.69lpm에서 후단압력 30kPa로 증가 시 1.34lpm으로 감소하여 64% 유량 감소율을 보였고, 361시간 가혹시험 후 초기 유량이 3.28lpm에서 후단압력 30kPa로 증가 시 0.5lpm으로 감소하여 85%의 유량 감소율을 보여 가혹조건 운전 시간이 증가할수록 후단압력에 대한 영향이 커짐을 알 수 있었다. 또한 후단압력 0kPa에서 초기 유량이 391시간 가혹시험 후 3.69lpm에서 3.28lpm으로 11%의 유량 감소를 보였다.

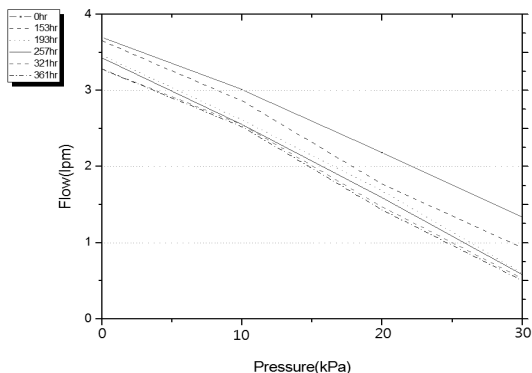


Fig. 9. Comparison of flow and rear pressure at 3V for preferential oxidation air blower according to the operation time under 70°C worst stress condition.

연료승압 블로워의 경우도 가혹조건 운전시간이 증가할수록 후단압력에 대한 유량의 감소율이 커짐을 보이고 있고, 후단압력 0kPa에서 초기 유량이 5.33lpm으로 361시간까지 거의 비슷하게 유지되지만 497시간이 지난후 급격하게 5lpm으로 6%의 유량감소를 보였다. 이는 고무재료로 이루어진 토출막과 다이어프램부의 열화에 의한 유량성능 저하에 기인한 것으로 판단된다. 또한 후단압력 20kPa에서 갑작스런 유량 저하율이 커지는 이유는 블로워의 운전조건이 10~20 kPa에 적합하도록 설계되어진 것으로 판단된다.

Fig. 11은 선택산화공기 블로워와 연료승압 블로워의 후단 압력변화에 따른 구동전압별 소비전력과 유량의 상관관계를 나타내고 있다. 선택산화공기 블로워는 후단압력이 증가할수록 유량의 저하가 연료승압 블로워에 비해 크게 나타나고, 소비전력도 후단압력 증가 시 증가폭이 적어짐을 보였다.

이는 모터의 용량 설정이 후단압력 변화에 대한 유량의 성능과 밀접한 관계가 있다는 것을 보여주고 있다. 즉, 선택산화공기 블로워의 경우 모터의 용량을 조금 더 높이는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

##### 4.2. 기밀성능평가 결과

Double 다이어프램방식 블로워의 기밀성능과 유량과의 상관관계를 알기위하여 Table 2와 같이 두 개의 다이어프램부 모두 내부 및 외부 기밀성능을 수행하였다. 각각의 블로워 모두 내부 기밀성능 평가 시, 장시간의 가혹조건 운전시간 동안 어떠한 성능저하도 없이 우수한 기밀성능을 보여주었다.

이는 Fig. 7에서 볼 수 있듯이 흡입구의 기밀을 측정하는 부분인 압축챔버부 및 다이어프램부가 블로

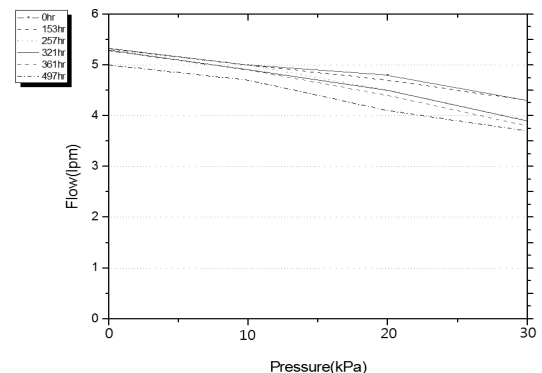


Fig. 10. Comparison of flow and rear pressure at 3V for fuel booster blower according to the operation time under 70°C worst stress condition.

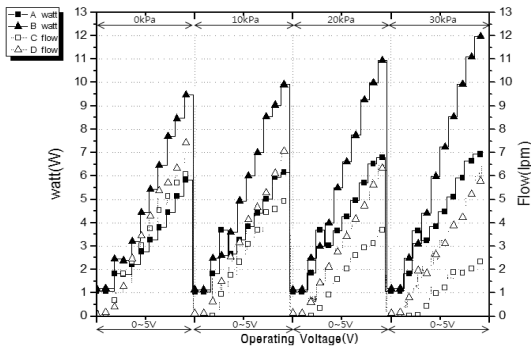


Fig. 11. Comparison of power consumption(PC) and flow for blowers at rear pressure(A,■)PC of preferential blower, (B,▲)PC of fuel booster blower, (C,□)flow of preferential blower, (D,△)flow of fuel booster blower)

Table 2. Results of the leak performance evaluation

구 분	기밀	시간			
		0h	88h	152h	193h
선택산화공기 블로워 (lpm)	외부 1	0	0.22	0.24	0.27
	외부 2	0	0.08	0.08	0.11
	내부 1	0	0	0	0
	내부 2	0	0	0	0
연료승압 블로워 (lpm)	외부 1	0	0.001	0.001	0.001
	외부 2	0	0.001	0.001	0.002
	내부 1	0	0	0	0
	내부 2	0	0	0	0

위의 유량성능을 저하시키는 주요인자가 아님을 알 수 있다. 하지만 외부기밀의 경우, 가혹조건 운전시간이 증가할수록 기밀성능이 내부기밀 성능과 비교하였을 때 저하되는 것을 볼 수 있었다. 이는 블로워 토출막의 운전시간이 지속될수록 성능저하가 커짐을 의미하며 압축챔버의 압력유지 및 일정한 유량성능을 유지하는데 어려움을 주는 요인이 될 수 있다.

### 4.3. 열적거동성능평가 결과

블로워의 열적거동 평가결과, 부위별 온도는 토출부<몸체<모터 순으로 높은 온도 분포를 나타냈다. Table 3은 선택산화공기 블로워와 연료승압 블로워의 가혹조건 운전시간에 따른 모터부, 몸체부

Table 3. Result of Thermal behavior evaluation

구 분	선택산화공기			연료승압			
	시간(hr)	0	321	772	0	321	772
온도(ΔT)		20.3	26.6	32.3	17	17.9	18.2

및 토출부의 최고 및 최저의 온도차를 나타내고 있다. 선택산화공기 블로워의 경우 초기 온도차가 20.3℃에서 운전시간이 772시간 지난 후에 32.3℃로 크게 상승하는데, 연료승압 블로워가 1.2℃의 작은 온도상승 차이를 보이는 반면 12℃의 큰 온도상승 차이를 나타내고 있다. 이는 선택산화공기 블로워의 모터 용량이 부족하여 나타난 결과로 사료되며, 이는 가혹조건 성능평가결과와 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다.

## V. 결론

국내 소용량 건물용 연료전지 블로워는 가격이 저렴하고 고정압, 안정적 유량 및 내구성을 확보할 수 있는 다이어프램 방식을 시스템에 적용시키려고 하고 있다.

본 연구에서는 실제 작동환경과 가장 유사한 환경을 모사하여 가혹조건 운전시간에 따른 블로워의 성능을 평가하였다. 가혹조건 운전시간이 증가할수록 유량성능 저하와 후단압력에 대한 소비전력과 유량성능의 상관관계를 알 수 있었다. 기밀성능 평가에서는 내부기밀의 성능저하는 볼 수 없었고, 외부기밀 성능저하의 원인으로 파악되는 토출막의 열화에 의한 기밀성능 저하를 볼 수 있었다.

블로워의 성능에 직접적인 영향을 미치는 인자로는 블로워 모터성능 혹은 토출막의 재질특성 등이 주요한 요인이 되는 것으로 판단된다. 따라서 각각의 블로워에 적합한 모터용량의 설계와 Viton, EPDM 및 NBR재질 등으로 제작되는 토출막의 고무재료 선정이 중요하다고 판단되며, 토출구의 구조개선 등이 블로워 성능 및 안전성능 개선에 중요한 사안이 될 것으로 판단된다.

연료전지시스템 내에서 사용되는 블로워류의 내구성과 성능 신뢰성은 연료전지시스템 작동에 중요한 부분을 차지하고 있다. 본 연구의 평가결과를 토대로 블로워 설계 및 제작 시 성능저하에 미치는 요인들을 고려한다면 국내 연료전지 보급을 앞당기고 연료전지 활성화 및 안전 확보에 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국 에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

(No.2009301003002A / No.20113010030030)

## 참고문헌

- [1] Cottrell, C. A., Grasman, S. E., Thomas, M., Martin, K. B., Sheffield, J. W., "Strategies for stationary and portable fuel cell markets", *Inter. J. of Hydrogen Energy*, **36**, 7969-7975, (2011)
- [2] Wang, Y., Chen, K. S., Mishler, J., Cho, S. C., Adroher, X. C., "A review of polymer electrolyte membrane fuel cells: Technology, applications, and needs on fundamental research", *Applied Energy*, **88**, 981-1007, (2011)
- [3] Mahlia, T. M. I., Chan, P. L., "Life cycle cost analysis of fuel cell based cogeneration system for residential application in Malaysia", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15**, 416-426, (2011)
- [4] Staffell, I. and Green, R., "The cost of domestic fuel cell micro-CHP systems", Discussion Paper, Imperial College Business School, (2012)
- [5] Honselaar, M., Tsotridis, G., "The dynamics of the stationary fuel cell standardisation framework", *Inter. J. of Hydrogen Energy*, **36**, 10255-10262, (2011)
- [6] Cairns, J., "North American and international hydrogen/fuel cell standards", *Inter. J. of Hydrogen Energy*, **35**, 2767-2771, (2010)
- [7] Jang, C. M. and Lim, S. J., "Performance analysis of diaphragm blower for fuel cell", *Proceeding of SAREK Conference*, 1006-1011, (2010)
- [8] Becker, E., "Mechanically driven diaphragm pumps for use with gases", Vulkan Publishers, 9-10, (1997)
- [9] Danielson, P., "How to choose a diaphragm pump", *A journal of practical and useful vacuum technology*, (2000)