

## 5 kW급 건물용 연료전지 시스템 연료승압 블로워 안전 성능 평가에 관한 연구

백재훈<sup>1</sup> · 이은경<sup>1</sup> · 이정운<sup>1,†</sup> · 이승국<sup>1</sup> · 문종삼<sup>1</sup> · 김규형<sup>2</sup> · 박한우<sup>2</sup> · 김동철<sup>2</sup> · 이진희<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국가스안전공사 가스안전연구원, <sup>2</sup>(주)씨에스이

### A Study on Safety Performance Evaluation of NG Blower for 5 kW Class Stationary Fuel Cell Systems

JAE-HOON BAEK<sup>1</sup>, EUN-KYUNG LEE<sup>1</sup>, JUNG-WOON LEE<sup>1,†</sup>, SEUNG-KUK LEE<sup>1</sup>, JONG-SAM MOON<sup>1</sup>, KYU-HYUNG KIM<sup>2</sup>, HAN-WOO PARK<sup>2</sup>, DONG-CHEOL KIM<sup>2</sup>, JIN-HEE LEE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation, 1390 Wonjung-ro, Maengdong-myeon, Eumseong 27738, Korea  
<sup>2</sup>CSE CO LTD., 11 Mayu-ro 118beon-gil, Siheung 15110, Korea

†Corresponding author :  
wooni@kgs.or.kr

Received 13 October, 2017  
Revised 21 December, 2017  
Accepted 29 December, 2017

**Abstract >>** New government, the market for stationary fuel cell systems in domestic is expected to expand in line with the policy for expanding new and renewable energy. In order to promote and expand the domestic market for stationary fuel cell systems, it is required to do research and develop for cost reduction and efficiency improvement technologies through the localization of BOP. In this study, the safety performance including the power consumption, flow rate, noise and air-tightness of the domestic fuel booster blower and the foreign fuel booster blower was evaluated and the performance improvement of the domestic blower was confirmed. As a result of the power consumption measurement and the flow rate according to the back pressure of the A company 2nd prototype and B company, the values were 73 W, 27 LPM, and 55 W, 25 LPM. These results are attributed to the improvement of performance through design changes such as CAM angle and diaphragm material.

**Key words :** Fuel booster blower(연료승압 블로워), Stationary fuel cell(건물용 연료전지), Diaphragm blower(다이어프램식 블로워), Safety performance(안전 성능)

## 1. 서론

신 정부의 출현으로 신재생에너지 및 분산전원 확대 정책 기조에 따라 국내 건물용 연료전지 시스템 시장 확대가 기대된다. 신재생에너지 확대 정책

인 풍력, 태양광 등 현재 시중에 널리 보급된 신재생에너지의 발전량으로는 원전의 발전량을 감당하는 것이 어려운 실정이다. 또한 화석에너지 사용에 따른 환경오염 및 기후변화 등의 문제점을 소비자들이 직접 경험하고 이를 개선하고자 하는 의지가

시장에 반영됨에 따라 태양광, 풍력 등 신재생에너지에 대한 관심이 높아지고 있는 상황이다<sup>1)</sup>.

연료전지는 발전효율이 높고, 디젤발전기나 화력발전 같은 연소과정이 없는 저공해 에너지 시스템으로, 기후변화 대응을 위해 수소에너지를 효과적으로 전기로 변환 가능한 시스템이다<sup>2)</sup>. 또한 모듈형태로 제작이 가능하므로 발전규모 조절이 가능하고 설치장소의 제약이 적어 다양한 용도로 사용하는 것이 가능하다. 연료전지의 주요 용도 및 종류를 살펴보면 분산발전용으로 molten carbonate fuel cell (MCFC, 용융탄산염연료전지), phosphoric acid fuel cell (PAFC, 인산염연료전지), 건물용 및 수송용으로 polymer exchange membrane fuel cell (PEMFC, 고분자전해질연료전지), 건물용 및 분산발전용으로 solid oxide fuel cell (SOFC, 고체산화물연료전지), 휴대용으로 direct methanol fuel cell (DMFC, 직접메탄올연료전지)로 구분한다<sup>3,4)</sup>. 그중 PEMFC는 수명이 길고 저온에서도 높은 전류밀도를 얻을 수 있어 많은 연구가 진행되어 기술수준이 매우 높다<sup>5)</sup>.

그러나 현재 연료전지 시스템은 태양광 또는 풍력에 비해 고밀도의 에너지를 생산할 수 있으나 상대적으로 높은 원가로 인한 시장 진입이 지연되고 있다. 1 kW급 연료전지 시스템 1기당 약 3천 만원에 이르는 가격은 일반 건물에 적용하기 부담스럽지만, 국내의 우수한 도시가스 보급 인프라로 인해 건물용 연료전지는 다양한 응용분야에 적용되어 빠르게 성장하고 있다<sup>4,7)</sup>. 건물용 연료전지 시스템의 balance of plant (BOP, 보조기기), stack 등 주요 부품의 원가 비율을 살펴보면 BOP가 차지하는 비율은 47%를 상회한다<sup>8)</sup>. 일본의 경우 주택용 연료전지 BOP의 가격 저감을 국산화를 통해 실현하여 연료전지 보급을 크게 활성화하였다. 연료전지 stack 제조에 들어가는 Pt/C 촉매는 기술개발이 성숙되어 크게 가격 저감이 어렵고, 새로운 촉매를 개발하지 않는 이상 스택의 원가 절감은 어렵다. 국내 건물용 연료전지 기술개발을 통한 보급 확대를 위해서는 BOP의 국산화 및 공용화를 통한 가격저감과 효율

개선에 대한 연구개발이 요구된다<sup>9)</sup>.

시스템의 BOP 국산화를 위해서는 공기블로워, 물 펌프, 열교환기, 유량계 등의 개발이 요구되지만, 본 연구에서는 도시가스를 이송하는 연료승압 블로워의 안전 성능을 평가하여 안전 설계 방향을 제시하고자 한다. 세계적으로 연료승압 블로워의 최우수 성능은 일본이 기록하고 있으며(25 LPM @ 70 kPa, 80 W), 본 연구에서는 국내 연료승압 블로워 시제품 개선을 위해서 기존 건물용 연료전지에 적용된 해외 블로워와 신규 개발된 국산 블로워의 안전 성능 비교 평가를 수행하고 개선을 진행하고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 연료승압 블로워 안전성능 평가 방법

본 연구에서는 건물용 연료전지 시스템에 장착되어 실제 상황의 운전 상태 구현을 위해 후단부하의 변화에 따른 연료승압 블로워의 전력소비량, 토출 유량 등을 측정하였고, 기밀시험 장비와 소음측정 장비를 이용해 주변 환경에 대한 안전성능 평가를 수행하였다.

Fig. 1에 나타낸 블로워 안전성능 평가 장치는 배관 내부의 압력을 측정하는 압력계, 유량을 측정하기 위한 MFC, on/off 밸브 및 후단부하를 가하기 위한 air tank로 구성되어 있다. 해당 장치는 에어 컴프레서를 이용하여 평가 장치의 후단에 장착된 air

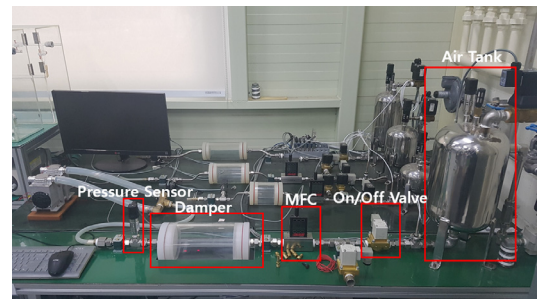


Fig. 1. Evaluation apparatus for blower performance

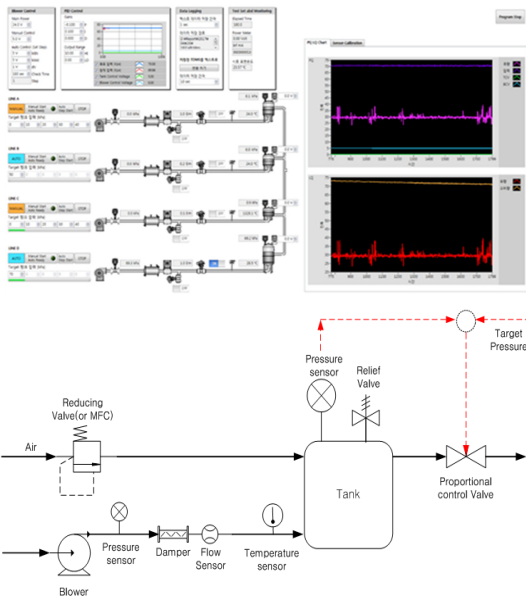


Fig. 2. Evaluation program for blower safety performance

tank를 통해 후단부하를 가할 수 있다. 해당 장비는 압축공기를 이용하여 최대 압력 100 kPa까지 후단 부하를 가할 수 있으며, MFM와 pressure sensor를 이용해 블로워 토출유량 및 라인 내부의 압력을 측정할 수 있다. 실제 연료전지 시스템에 사용되는 도시가스를 사용할 경우 누출 등으로 인해 사고가 발생할 수 있어 공기를 이용하여 평가를 진행하였다. Fig. 2와 같이 프로그램을 구성하여 사용자가 원하는 후단부하를 입력할 수 있으며, air tank에 장착된 비례제어 밸브를 통해 후단부하를 제어한다. 비교 대상으로 선정된 블로워는 본 연구를 통해 제작된 국내 A사의 1차 및 2차 시작품과 국외 B사의 건물용 연료전지 시스템용 5 kW급 연료승압 블로워를 평가하였다(Fig. 3). 연료전지 시스템에서 각각의 블로워의 실제 후단압력과 유사한 환경을 조성하기 위해 후단에 0-70 kPa의 압력의 공기를 10 kPa 압력 간격으로 유지한 채 실험을 수행하였다. 또한 블로워의 다양한 동작특성 및 최적의 운전조건을 분석하기 위해 블로워의 구동 전압은 DC 24 V로 설정하고, 제어 전압을 DC 1-5 V까지 1 V 간격으로 인가하여 블로워



(a)



(b)



(c)

Fig. 3. Tested blowers. (a) Blower (B company). (b) Blower 1<sup>st</sup> prototype (A company). (c) Blower 2<sup>nd</sup> prototype (A company)

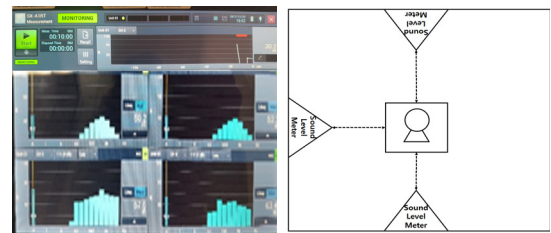


Fig. 4. Schematic diagram of anechoic room and noise measurement device

의 토출유량 성능을 평가하였다. 특히, 본 블로워 성능 평가 장치는 PID 제어를 통하여 설정된 후단 압력을 안정하게 유지시키는 동시에 유량, 온도, 압력 및 소비전력 등의 계측값들을 실시간으로 수집하였다<sup>10)</sup>.

## 2.2 연료승압 블로워 소음 평가 방법

소음 측정은 Fig. 4에 나타난 무향실에서 진행하였다. 소음 측정 관련 KS규격(KS B 6361:2002, 송풍기·압축기의 소음 레벨 측정방법)을 참고하여 측정을 진행하였으며, 바닥면 이외의 모든 면이 음의 반사가 없는 무향실 내부에서 측정된 평균 암소음은 26.4 dB 값을 보였다<sup>11)</sup>. 측정 방향은 측정 대상을 중심으로 3방향에서 1 m 떨어진 위치로 설정하였고, 바닥면과 1 m 높이의 거리에서 1시간 동안 측정 대상의 소음을 측

정하였다. 블로워 흡입구 및 토출구 유량에 의한 방사음을 최소화하기 위하여 블로워 흡입구 및 토출구에 고무호스를 연결하고 흡입 공기와 토출공기부의 호스를 무향실 외부로 위치하게 하였다.

### 2.3 연료승압 블로워 기밀성능 평가 방법

기밀시험은 Fig. 5와 같이 자체 설계하여 구성된 배기폐쇄 기밀시험 장비를 구축하여 진행하였다. 기밀시험을 진행할 시료의 내부로 공기를 주입하여 누출되는 공기량을 측정할 수 있도록 장비를 구성하였다. Air compressor를 통해 공급된 가압공기를 일정 압력으로 블로워 내부에 투입하여 누적 누출량을 측정하였다. 장비 내부에 장착된 비례제어 밸브를 이용해 원하는 압력을 설정할 수 있으며, 최대 10 kPa까지 압력을 가할 수 있다. 실험 방법은 블로워의 토출구 또는 투입구에 가압공기를 공급하는 배관을 연결하고, 배관이 연결되지 않은 투입구 또는 토출구는 밀폐시킨다. 이후 5 kPa의 압력을 걸어 준 후 기밀이 유지되는지 확인하면서 1시간 동안 누적누출량을 측정하였다. 본 실험 결과로 블로워 내부에서 누출되는 가스량을 측정하여 내부 기밀 성능을 측정할 수 있다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 연료승압 블로워 안전성능 평가 결과

국내 제작된 건물용 연료전지 5 kW급 연료승압



Fig. 5. Apparatus for leakage test

블로워 시작품의 안전성능 평가를 통해 유량, 전력 소비량 등의 성능을 외산 블로워와 비교 평가하고 개선방향을 찾고자 한다. 또한, 기밀, 소음 등 주변 환경영향에 대한 평가를 진행하고 개선 방향을 설정하고자 한다. 일반적으로 건물용 연료전지 시스템에 적용되는 블로워는 후단의 부하 압력에 대해 토출되는 유량이 안정적이어야 하고, 소비전력, 소음 등을 최대한 감소시켜야 한다<sup>9)</sup>. 본 연구에서는 후단부하를 0 kPa에서 70 kPa까지 10 kPa 단위로 증가시키면서 블로워의 토출유량 및 전력소비량 등 성능 평가를 진행하였다. 해당 결과는 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6에서와 같이 외산 B사의 블로워 성능 평가 결과 0 kPa에서 70 kPa까지 후단부하의 증가에 따른 전력소비량의 증가폭은 5 V 운전시 31 W에서 55 W로 증가하여 24 W 정도 전력소모의 증가를 나타내었으며, 토출유량은 5 V 운전시 42 LPM에서 25 LPM으로 약 17 LPM 정도 감소하였다. 한편, 1차 시작품과 국외 B사 블로워와의 비교를 통해 개선 방향을 찾고자 1차 블로워 시작품에 대한 안전 성

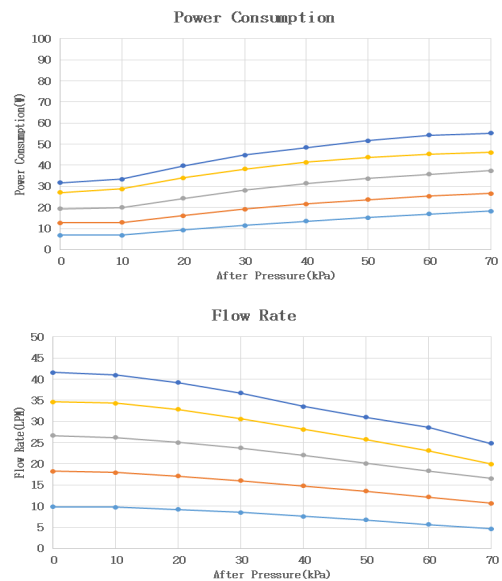


Fig. 6. Flow rate power consumption of foreign blower (B company)

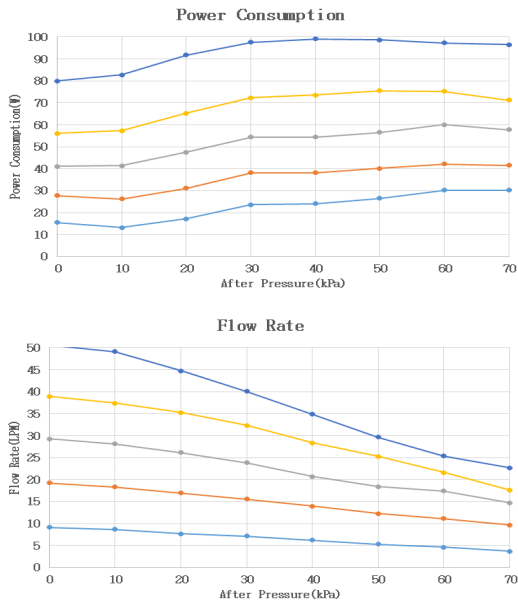


Fig. 7. Flow rate power consumption of Domestic 1<sup>st</sup> blower (A company)

능평가도 진행하여 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7과 같이 70 kPa 후단압력에 따른 전력소비량이 제어전압 5 V 인가시 약 98 W를 나타내어, 기존 블로워에 비해 상당히 높게 측정되었다. 또한, 후단부하를 증가시키에 따라 토출유량이 51 LPM @ 0 kPa에서 23 LPM @ 70 kPa까지 급격하게 감소하였다. 성능이 낮은 원인으로는 1차 시작품 설계시 CAM 각도 및 크랭크샤프트 편심 무게 등의 설정값 오류로 판단되며, 이후 2차년도에서는 개선된 구조 설계를 통한 성능 향상을 이루고자 하였다.

2차 시작품에서는 전력소비량이 후단압력 70 kPa에서 제어전압 5 V 인가시 1차 시작품 98 W에 비해 25 W 감소된 73 W가 측정된 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 한편, 제어전압 5 V 인가시 토출유량은 31 LPM @ 70 kPa의 성능 결과로, 일반적인 5 kW 급 건물용 연료전지 시스템 연료승압 블로워의 정격 운전 시의 유량(20-25 LPM @ 50-600 kPa) 운전 에 충분히 적용할수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 9에서와 같이 국외 B사 제품보다 높은 후단 압력 조건에서 우수한 토출 성능을 보이고 있다. 또

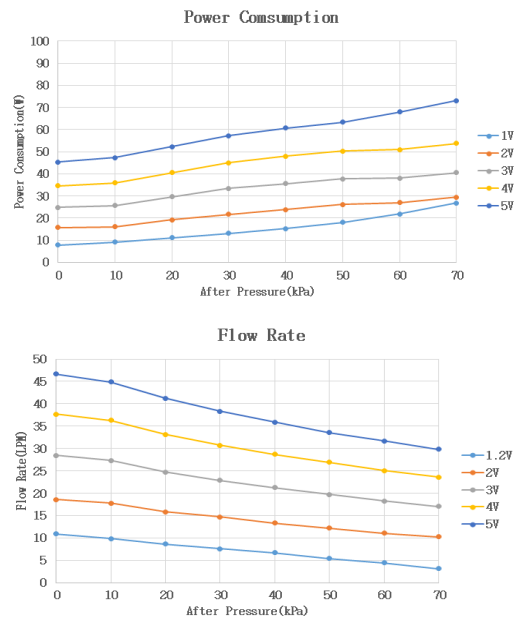


Fig. 8. Flow rate power consumption of Domestic 2<sup>nd</sup> blower (A company)

한 국내 A사의 2차 시작품의 유량값이 후단압력이 증가함에 따라 유량값의 변화폭이 1차 시작품에 비하여 적어져 시스템 후단 압력에 대한 안정적인 유량성능을 보임을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 연료승압 블로워의 CAM 각도, 다이어프램 소재 변경 등의 설계 변경을 통한 성능 개선에 기인한 것으로 판단된다.

### 3.2 연료승압 블로워 소음 평가 결과

국외 B사 제품과 국내 A사 2차 블로워 시작품의 소음 성능 측정은 연료승압 블로워가 건물용 연료 전지 시스템에 적용되어 운전되는 상태를 재현하기 위하여 연료승압 블로워의 흡입구 및 토출구에 배관을 장착하고 무향실 외부와 연결하여 소음 수준을 측정하였다. 소음 측정이 이루어진 무향실의 압소음은 최소 25.9 dB, 최대 26.8 dB를 기록하였으며, 평균 26.4 dB를 기록하였다. 제어전압 1.2 V부터 5 V까지 1 V마다 소음을 측정하였으며, 그 결과는 Fig. 10에 나타내었다. 전체적으로 국내 A사 2차 시

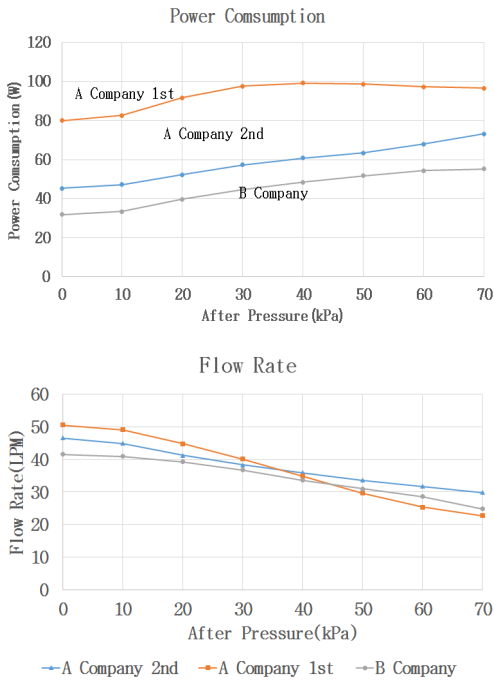


Fig. 9. Performance comparison of tested blowers

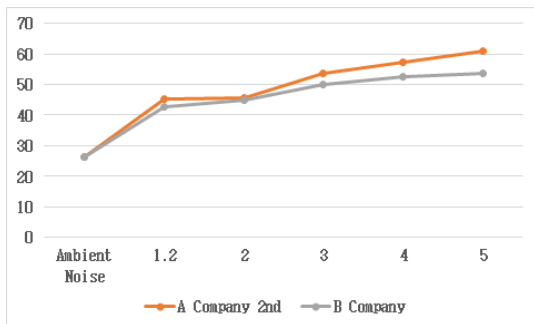


Fig. 10. Noise measurement of blowers

작품의 소음 수준이 조금 높게 나타났으며, 최대 부하 운전인 제어전압 5 V 운전시 대략 60 dB가 측정되었다. 이는 연료전지 시스템 관련 KS규격 중 소음 수준인 60 dB 이하를 만족하는 수치로 향후 블로워 제작시 소음 기준을 충족할 것으로 판단된다. 한편, 국외 A사 제품에 비해 소음 수준이 높은 것으로 측정되었는데, 향후 3차 시작품 제작시 소음 및 진동을 저감시키는 설계 개선이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

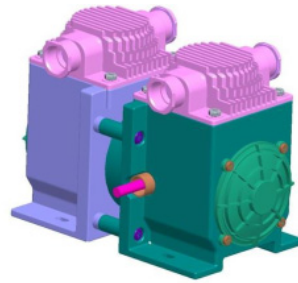


Fig. 11. Schematic of 2nd prototype fuel booster blower (A company)

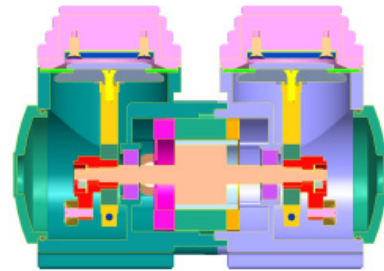


Fig. 12. Schematic of 2nd prototype structure fuel booster blower (A company)

### 3.3 연료승압 블로워 기밀성능 평가 결과

Fig. 11과 Fig. 12에 국내 A사의 연료승압 블로워 2차 시작품에 대한 외관도 및 구조도를 나타내었다. 유입 가스는 블로워의 입구를 거쳐 다이어프램, 토출구를 통해 연료 처리장치로 공급된다. 이 때 가연성 기체인 도시가스가 블로워 내부 또는 외부로 누출될 경우 피해가 발생할 우려가 있으므로 블로워의 내부 및 외부 기밀에 대한 안전 성능 평가를 진행하였다. 기존 건물용 연료전지 시스템에 적용된 연료승압 블로워와 비교평가를 진행하기 위하여 국내 A사 2차 시작품과 국외 B사 제품을 비교 평가하였다.

Fig. 13에 국내 A사 2차 시작품 및 국외 B사 블로워의 내부 및 외부 기밀에 대한 실험 결과를 나타내었다. 국내 A사 2차 시작품의 내부 기밀 성능 및 외부 기밀 성능은 각각 0.007 Nm<sup>3</sup>/h, 0.0048 Nm<sup>3</sup>/h이고, 국외 B사 C 제품의 내, 외부 기밀 성능은 0.0042 Nm<sup>3</sup>/h, 0.0035 Nm<sup>3</sup>/h의 값을 보여 작은 성능의 차이는 보

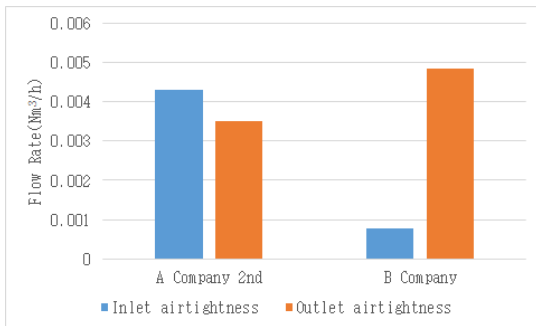


Fig. 13. Comparison of airtightness gas leakage of fuel booster blowers

이지만 대체적으로 유사한 기밀 성능을 보이고 있었다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 건물용 연료전지 시스템에 적용될 국산 연료승압 블로워 시작품의 안전성능 평가를 수행하고, 국외 블로워와 비교 평가를 통해 향후 개선 방향을 제시하고자 하였다. 연료승압 블로워를 후단 부하의 증가에 따른 토출유량 및 전력소비량을 측정하고, 기밀 및 소음을 비교 평가하여 주변 환경 영향에 대한 평가를 진행하였으며, 2개 회사 제품의 성능에 큰 차이를 보이지 않는다는 것을 확인할 수 있었다.

특히 소비전력의 경우 73 W @ 70 kPa의 개선된 결과를 얻었고, 이는 기밀/소음 등 환경에 대한 영향을 고려하여 추가적인 연구를 통해 개선한다면 세계적 수준의 성능에 도달할 것으로 보인다. 또한 후단 압력 변화에 따른 블로워의 토출유량이 연료전지 시스템 적용에 무리가 없고, 전력소비량이 모든 구간에서 낮기 때문에 전력소비량을 저감시키는 것이 연료전지 시스템 총 효율 측면에서 유리할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 국내 A사 시작품 개선을 위해 CAM 각도의 변경을 통해 블로워 작동시 발생하는 토출유량 최대화, 소비전력 최소화 및 진동 최소화

를 달성하였고, 다이어프램 소재 변경을 통해 내구성 확보, 제품의 전체적인 형상을 제품 용도에 적합하게 변경하는 등 최적화를 진행하였다. 특히 1차 시작품 제작 이후 발견된 문제점을 수정하고 성능을 개선한 결과 국외 A사 제품에 뒤지지 않는 제품을 제작할 수 있었다고 판단된다.

향후 시작품 개선을 통하여 우수한 국산 연료승압 블로워의 적용을 통한 건물용 연료전지 시스템의 가격 저감에 도움이 될 것으로 판단된다. 연료누출 등으로 인한 인명, 재산 피해 등을 방지하기 위해 우수한 기밀 및 내구성을 유지한다면 더욱 향상된 블로워 성능을 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구 결과를 기반으로 연료전지 시스템의 국산화를 진행한다면 보급 활성화와 경제성 확보에 기여할 것으로 기대한다.

#### 후 기

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제이다(No. 20153010031950).

#### References

1. S. Yoo and D. Choi, "Development of a new on-line state estimation method in PEMFC using parameter estimation", Vol. 27, No. 1, 2016, pp. 36-41.
2. W. Y. Lee, G. G. Park, Y. J. Sohn, S. G. Kim, and M. Kim, "Fault detection and diagnosis methods for polymer electrolyte fuel cell system", Korean hydrogen and new energy society, Vol. 28, No. 3, 2017, pp. 252-272.
3. MOTIE, "New & Renewable Energy White Paper", 2016.
4. Y. Wang, K. S. Chen, J. Mishler, S. C. Cho, and X. C. Adroher, "A review of polymer electrolyte membrane fuel cells: Technology, applications, and needs on fundamental research", Applied Energy, Vol. 88, 2011, pp. 981-1007.
5. M. Song and K. Kim, "Numerical study on flow distribution in PEMFC with metal foam bipolar plate", Korean hydrogen and new energy society, Vol. 27, No. 1, 2016, pp. 29-35.
6. C. A. Cottrell, S. E. Grasman, M. Thomas, K. B. Martin, and J. W. Sheffield, "Strategies for stationary and portable fuel cell markets", Journal of Hydrogen Energy, Vol. 88, 2011,

- pp. 981-1007.
7. T. M. I. Mahlia and P. L. Chan, "Life cycle cost analysis of fuel cell based cogeneration system for residential application in Malaysia", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15, 2011, pp. 416-426.
  8. Nagata, "Development of BOP for 1kW Fuel Cell Systems", Toshiba Report, 2006.
  9. G. R. Choi and C. M. Jang, "Internal flow analysis of a fuel pressurized blower for fuel cell system", *Korean Society for New & Renewable Energy*, Vol. 7, No. 3, 2011, pp. 29-35.
  10. K. Kim, D. Lee, J. Lee, E. Kim, I. Kim, Y. Kim, and H. Shin, "A study on the worst stress condition test evaluation of blower for small stationary fuel cell system", *Journal of the Korean Institute of Gas*, Vol. 16, 2012, pp. 34-40.
  11. S. Lee and K. H. Kim, "Method of A-weighted sound pressure level measurement for fans, blowers and compressors", *KS B*, 2012.