

## 건물용 연료전지 복합배기구조 안전 실증평가

이은경<sup>1,†</sup> · 이정운<sup>1</sup> · 문종삼<sup>1</sup> · 이성희<sup>2</sup> · 신동훈<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국가스안전공사 가스안전연구원, <sup>2</sup>국민대학교 기계공학부

## An Empirical Evaluation of Safety of the Common Vent Structure for Stationary Fuel Cell Systems

EUN-KYUNG LEE<sup>1,†</sup>, JUNG-WOON LEE<sup>1</sup>, JONG-SAM MOON<sup>1</sup>, SEONG-HEE LEE<sup>2</sup>, DONG-HUN SHIN<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>School of Mechanical Engineering, Kookmin University, 77 Jeongneung-ro, Seongbuk-gu, Seoul 02707, Korea

†Corresponding author :  
eklee0123@kgs.or.kr

Received 16 November, 2018

Revised 3 December, 2018

Accepted 30 December, 2018

**Abstract >>** Interest in hydrogen, as an energy carrier, has been growing to solve the problems on shortage of fossil fuels and greenhouse gas. According to the standard KGS FU 551 for stationary fuel cell installation, the fuel cell system could be connected up to two common exhausts to one floor. depending on the required power for building or the installation environment in buildings, multiple fuel cell systems could be installed. Afterwards the number of perforations and flues could be decided. Hence, economic efficiency is significantly determined with respect to installation area and the number of fuel cell systems. In addition, the complexity of common vent structure for stationary fuel cell systems could be changed. In this paper, Verification experiments were conducted by connecting the common exhaust system to the fuel cell simulation system and the actual fuel cell system. Humidity and temperature were changed at ON/OFF, but no factors were found to affect performance or system malfunction. Exhaust emissions were also measured to obtain optimized values. We intend to expand the diffusion of stationary fuel cells by verifying safety of common exhaust structure.

**Key words :** Stationary fuel cell(건물용 연료전지), Common vent(복합배기), Safety performance(안전성능), Code & standard(코드 & 기준), Boiler(보일러)

### 1. 서론

수소경제사회란, 신재생에너지를 사용하여 수소를 생산하고, 에너지 수요와 공급을 포함한 전체 영역에서 수소와 전기를 주요한 에너지 유통수단으로

사용하는 사회 경제체제를 의미한다. 수소는 풍부한 자원일 뿐 아니라 에너지 효율이 높아 수소를 이용하는 연구가 증가하고 있어 신재생에너지와 수소발생기술을 연계한 에너지 저장기술인 power to gas, 수소 전기차, 수송 및 건물용 연료전지 등 이용분야

가 매우 다양하다<sup>14)</sup>. 국내에서는 연료전지를 포함한 신재생에너지의 보급을 2020년 641 MW, 2029년 1.3 GW로 보급할 계획을 수립하는 등 이에 대한 보급은 점차 확대될 것으로 전망된다<sup>5)</sup>. 수소에너지를 전기 및 열에너지로 변환시켜 활용하는 기술인 연료전지는 친환경적이고 높은 발전효율 및 상시발전, 공간효율성 등의 장점들로 이미 전 세계적으로 활발한 연구가 이뤄지고 있다. 또한 발전규모의 조절이 용이하여 적용대상에 따라 발전용, 수송용, 휴대용 등으로 구분할 수 있다. 우리나라처럼 재생에너지 부존량이 제한적이나 수요처가 높아 지속적인 에너지 수요가 요구되는 상황을 고려하였을 때 분산발전으로의 연료전지 개발은 필수적이다. 분산발전용 연료전지는 전해질의 종류에 따라 phosphoric acid fuel cell (PAFC), molten carbonate fuel cell (MCFC), solid oxide fuel cell (SOFC) 등이 있으며, 건물용 연료전지는 주로 SOFC, polymer electrolyte membrane fuel cell (PEMFC) 등이 주를 이룬다<sup>6-12)</sup>. 특히 최근 연료전지는 높은 효율과 전력, 배열회수를 통한 온수 등 활용도가 높아 최근 건물용 연료전지로 많이 설치되고 있다. 국내의 연료전지 관련 기준은 KGS AB 934 (가스용 연료전지 제조의 시설·기술·검사 기준)를 적용하며, 본 기준은 「액화석유가스의 안전관리 및 사업법 시행규칙」에 따른 가스소비량이 232.6 kW (20만 kcal/h) 이하인 가스용 연료전지 제조의 시설·기술·검사 기준에 대하여 적용한다. 본 규정은 연료전지에 대한 재료, 구조 및 장치, 안전 성능에 대한 전체적인 제조기술 기준과 공정검사, 검

사항목 및 방법 등 검사 기준에 대한 내용이 제시되어 있으며, 난방 혹은 온수공급을 위하여 연료전지 안에 설치된 가스용품 역시 이 법이 적용된다<sup>13)</sup>. 또 다른 연료전지 설치 기준인 KGS FU 551 (도시가스 사용시설의 시설·기술·검사 기준)에 따르면 연료전지 시스템은 1개 층에 최대 2대까지 공동배기구에 연결하여 사용할 수 있다<sup>14)</sup>. 그러나 다양한 용량 및 설치환경에 따라 요구되는 전력이 다르므로 여러 대의 연료전지 설치가 요구될 수 있으며, Fig. 1과 같이 연료전지 시스템 수에 따라 타공과 연도의 개수가 늘어나게 된다. 연료전지 시스템의 설치장소는 주로 건물의 지하실이나 기계실 등에 설치되므로 설치 면적의 증가에 따라 경제성이 크게 떨어지게 되므로 복합배기관을 적용하여 타공과 연도의 개수를 줄이고자 한다. 현재 기존 가스보일러의 경우 복합배기통을 적용할 수 있도록 규정하고 있으나 연료전지 시스템에 대한 복합배기 기준은 마련되어있지 않은 상황이다. 기존 가스보일러의 규정을 참고하되, 시스템이 다르므로 이에 대한 실증실험을 거친 후 규정을 마련하고자 한다. 연료전지 개발의 활발한 보급 확대를 위해서는 소비자의 안전관리는 필수적으로 이루어져야 한다<sup>15)</sup>. 또한 가스보일러의 경우 회사와 용량이 동일한 경우 복합배기통을 적용할 수 있도록 규정하고 있으므로, 향후 다양한 회사, 다양한 용량이 설치될 경우를 대비하여 이에 대한 실증 실험 및 규정도 함께 마련하고자 한다.

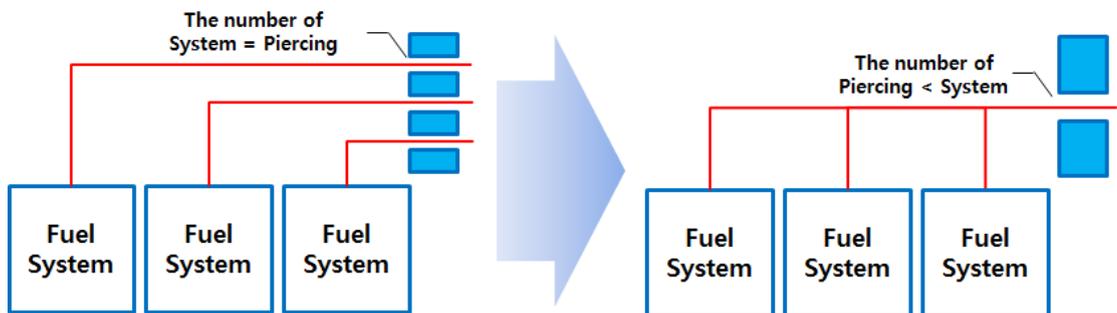


Fig. 1. Common vent structure system

## 2. 실험

### 2.1 복합배기구조 시작품 연결 연료전지 모사운전 장비

본 연구에서는 여러 대의 건물용 연료전지 배기관을 하나의 복합배기관으로 통합하는데 적합한지에 대한 안전성 검증을 위하여 복합배기구조 실증실험 시작품을 제작하였다. 각 시스템의 직관은 한 개의 복합배기관에 연결하였으며, 직관은 연료전지를 모사할 블로워에 연결시켰다. 실제 시스템 배기가스의 온도, 습도, 유량, 압력 등의 물성을 모사할 수 있도록 블로워 및 가습기, 히터 등을 설치하였다. 블로워는 6대를 연결하였으며, 상용압력 0.20 kgf/cm<sup>2</sup>, 풍량 250 L/min 사양의 블로워(ZP-250D)를 사용하였고, 블로워의 주파수를 조정하여 풍량을 조절하였다. 현재 시판되고 있는 5 kW급 건물용 PEMFC의 가스소비량은 0.25-0.26 m<sup>3</sup>/h, 공기 투입량은 70-90 L/min로 복합배기 시작품에 블로워를 통해 투입할 유량은 연



Fig. 2. Fuel cell system simulation and common vent

료전지 내 개질기의 연소기나 스택에서의 공기 배출 등의 손실을 고려하여 400 L/min을 투입하였다. 직관의 직경은 보일러 및 연료전지 제조사에서 일반적으로 사용하고 있는 75 A를 기준으로 제작하였으며, 복합배기관의 직경은 KGS GC 209 (상업·산업용 가스보일러의 설치·검사 기준)에 따라 시스템의 각 배기관 직관 단면적 합계의 1.5배인 225 mm로 선정하였다. 또한 복합배기관의 배기가스의 속도는 5 m/s 이하로 한다는 규정(KGS GC 209 - 부록 F 복합공동배기구 내부관의 단면적 선정 방법)에 따라 최대 속도의 90%인 4.5 m/s를 기준으로 5 kW급 6대를 연결할 수 있는 복합배기관의 최소 직경인 100와 125 mm를 추가로 선정하였다. 직관 사이의 최소 거리는 KGS FU 551의 복합배기통 설치기준에 따라 단독배기통 간 최소 거리인 500 mm로 유지하고 복합배기관의 총 길이는 4 m로 Fig. 2와 같이 제작하였다<sup>14,16)</sup>. 또한 직관과 복합배기관에 미치는 영향을 확인해보기 위하여 각 직관과 배기구 쪽에 압력, 유량, 습도, 온도 센서를 부착하였다. 압력 센서의 측정범위는 0-50 Pa로 Sensys사의 SMA(DA) 0050A0D 모델을 사용하였다. 유속 센서는 ELEKTRONIK사의 EE99-1 모델로 측정 범위는 0-2 m/s이며, 유량 측정을 위하여 유속을 측정하여 변환하는 방식으로 실험하였다.

온도 센서는 Sensys사의 RTD (Platinum Resistance Temperature Detectors) Pt 100 Ω으로 측정 범위는 -200에서 650℃이다. 또한 연료전지에서 발생하는 CO와 NO<sub>x</sub>를 확인하기 위해 배기구에 Testo사의 330-LL 가스 분석기를 설치하였다. 센서에 대한 정보는 Table 1에 표기하였다. Fig. 3과 같이 각 직관에 연료전지를 모사할 블로워를 연결하였으며, 복합

Table 1. Specification of sensors

	Model	Range	Accuracy	Temperature
Flow rate	EE99-1	0 to 2 m/s	± 0.03 m/s	-40 to 120℃
Pressure	SMA(DA)0050A0D	0 to 50 Pa	± 5% FS	-5 to 65℃
Temperature	RTD Pt 100Ω	-200 to 650℃	-	-
Humidity	SH300 series	0 to 100% RH	± 2% (0.90% RH)	-50 to 180℃

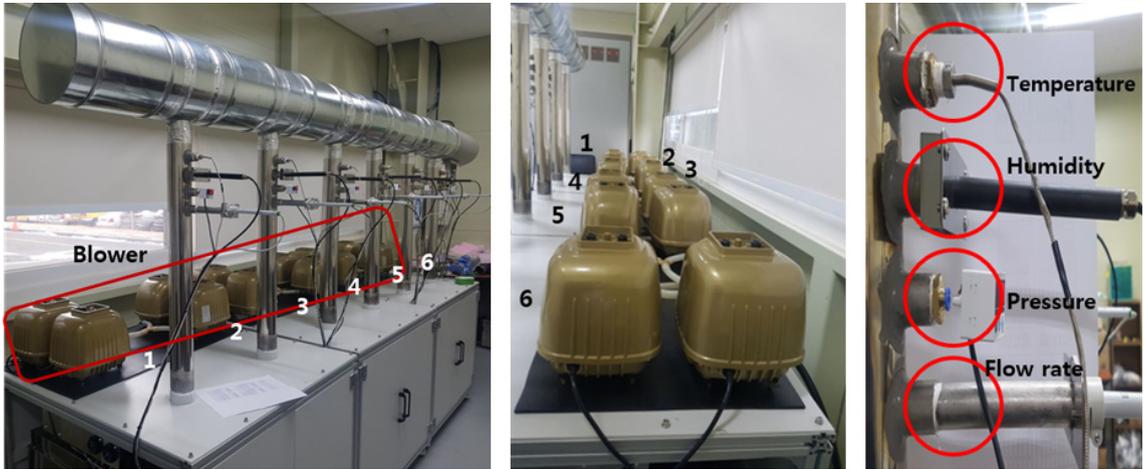


Fig. 3. Fuel cell system simulation and common vent ([a] common vent and blower, [b] blower, [c] sensor)

Table 2. Random scenario

	Module No.				
	1	2	3	4	5
1	ON	ON	ON	ON	ON
2	OFF	ON	ON	OFF	OFF
3	ON	ON	ON	ON	ON
4	OFF	ON	ON	ON	ON
5	ON	ON	ON	ON	ON
6	ON	OFF	ON	OFF	ON
7	ON	ON	ON	ON	ON

배기관으로 연결되는 부분 아래 각각의 센서를 부착하였다. 본 실험은 복합배기관에 연결된 연료전지 중 어떤 연료전지가 정지하였을 때 발생하는 상황이 나 다른 연료전지에 미치는 영향 등을 분석하는 것이 목적이므로, 각 모듈에 대해 ON/OFF 상태로 시나리오를 설정하여 실험하였다.

배기구조부터 순차적으로 블로워가 OFF가 되는 경우와 랜덤으로 OFF가 되는 경우가 발생할 것으로 보여 모두 실험하였으나, 실제 연료전지를 구동할 경우 랜덤으로 OFF가 되는 경우가 더 많을 것으로 예상되어 본 논문에는 Table 2의 랜덤 시나리오에 대하여 실험하고 비교 분석하였다.

## 2.2 복합배기구조 시작품 연결 실제 연료전지 장비

또한 현재 양산되고 있는 건물용 연료전지에 복합배기관을 연결하여 실증실험을 수행하였다. 5 kW 급 건물용 연료전지 5대에 복합배기관과 센서를 Fig. 4과 같이 연결하였다. 연결한 복합배기관과 센서들은 모두 동일한 장비를 사용하였으며, 실험방법도 동일한 방법으로 수행하였다. 다만 연료전지 제조사의 사정에 따라 5대로 실험을 진행하였으며, 데이터를 읽는 장비는 이동이 어려워 제조사에서 제공한 장비를 사용하였다. 측정된 데이터는 1초 간격으로 실시간 모니터링할 수 있는 YOKOGAWA사의 MV 2000 모델을 사용하였다. 연료전지 배기구는 연료전지 장비 뒤쪽에 위치하고 있으므로 복합배기 시작품과 연결하기 위하여 알루미늄 플렉시블 덕트를 사용하였으며, 복합배기관과 각 센서들이 달려있는 직관들을 연결하기 위해 프레임을 구축하여 실험을 수행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 복합배기구조 시작품 연결 연료전지 모사운전 실험

복합배기구조 시작품을 제작하고 연료전지를 모



Fig. 4. Fuel cell system and common vent

사할 블로워를 연결하여 실험을 수행하였다. 먼저 225 mm 복합배기관으로 순차적, 랜덤 OFF 시나리오로 설정하여 실험하였다. ON/OFF 시 재기동까지 시간이 소모되므로 수일에 걸쳐 시나리오를 나눠 실험을 수행하였다. ON/OFF 시 걸리는 시간은 시판되는 제조사에 따라 조금씩 차이가 있으므로 본 논문에서 나타낸 결과와 데이터에는 자세한 시간을 표기하지 않았다. 순차적 시나리오와 랜덤 시나리오로 실험을 수행한 결과, 대체적으로 유사한 경향성을 띄었으며, 실제 연료전지 구동시 랜덤 시나리오로 구동할 경우가 더 많을 것으로 예상되어 본 논문에서는 랜덤 시나리오 실험 결과만을 분석하였다. Fig. 5는 Table 2의 랜덤 시나리오로 구동한 실험데이터이며, Fig. 5(a)-(e)까지는 1번에서 5번 직관에 대한 유량, 습도, 압력, 온도 측정값이며, Fig. 5(f)는 배기구 쪽의 유량, 습도, 압력, 온도 측정값을 나타내었다. OFF한 직관에서 재기동 시 30-50 L/min 가량 Overshot이 일어났으나 다시 정상으로 돌아오는 것을 확인하였으며, 대체적으로 모든 실험에서 동일한 양상을 보였다. 그 외 정상가동 중인 직관의 유량은 변동이 없는 것으로 나타났다.

OFF시 해당 직관의 습도가 10-30% 가량 증가하였으나 ON시 다시 원래 상태로 돌아왔으며 온도와는 반대의 경향성을 나타내었다. 온도의 경우 OFF시 해당 직관에서 5-15°C 가량 감소하였다. 온도 변화 역시 일정 값까지 감소한 후 더 감소하지 않고

일정하게 유지되며, 감소한 폭이 작으므로 복합배기관에 영향을 미치지 않을 것으로 보인다. OFF시 압력값은 크게 변화하지 않는 것을 확인하였다. 실험 결과 OFF시 값이 변화하였으나 ON과 함께 원래 값으로 돌아가는 경향을 보였으며, OFF되지 않는 다른 직관에는 큰 영향을 미치지 않는 것을 확인하였다. 직경의 지름을 줄였을 때 어떤 영향을 미치는지 확인하기 위해 복합배기관의 직경을 100 mm로 줄여 같은 장비와 센서를 이용하고 Table 2의 랜덤 시나리오를 이용하여 실험을 수행하였다.

Fig. 6(a)는 225 mm, Fig. 6(b)는 100 mm 복합배기관 직경으로 실험하였을 때의 배기구 쪽에 대한 온도, 습도, 유량, 압력에 대한 값이다. 각 직관에 대한 실험 결과는 Fig. 5의 225 mm 실험 결과와 동일한 경향성을 나타내어 배기관만 비교하였다. 직경이 100 mm일 때 값의 변화가 더욱 클 것으로 예상되었으나 오히려 변화가 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 225 mm 복합배기관의 경우 배기구의 직경이 커 변화가 크게 나타났으나, 복합배기관의 직관이 줄어들면서 ON되어 있는 직관의 유량 값만 지속적으로 빠져나가 일정한 값으로 측정되었음을 알 수 있었다. 이 외 온도나 습도의 변화도 보였으나 그 차이가 크지 않은 것을 확인할 수 있었다. 복합배기구의 직경 차이에 따라 증감 폭이 다른 것을 확인하였으나, 성능저하에 영향을 미치지 않는 것으로 보인다.

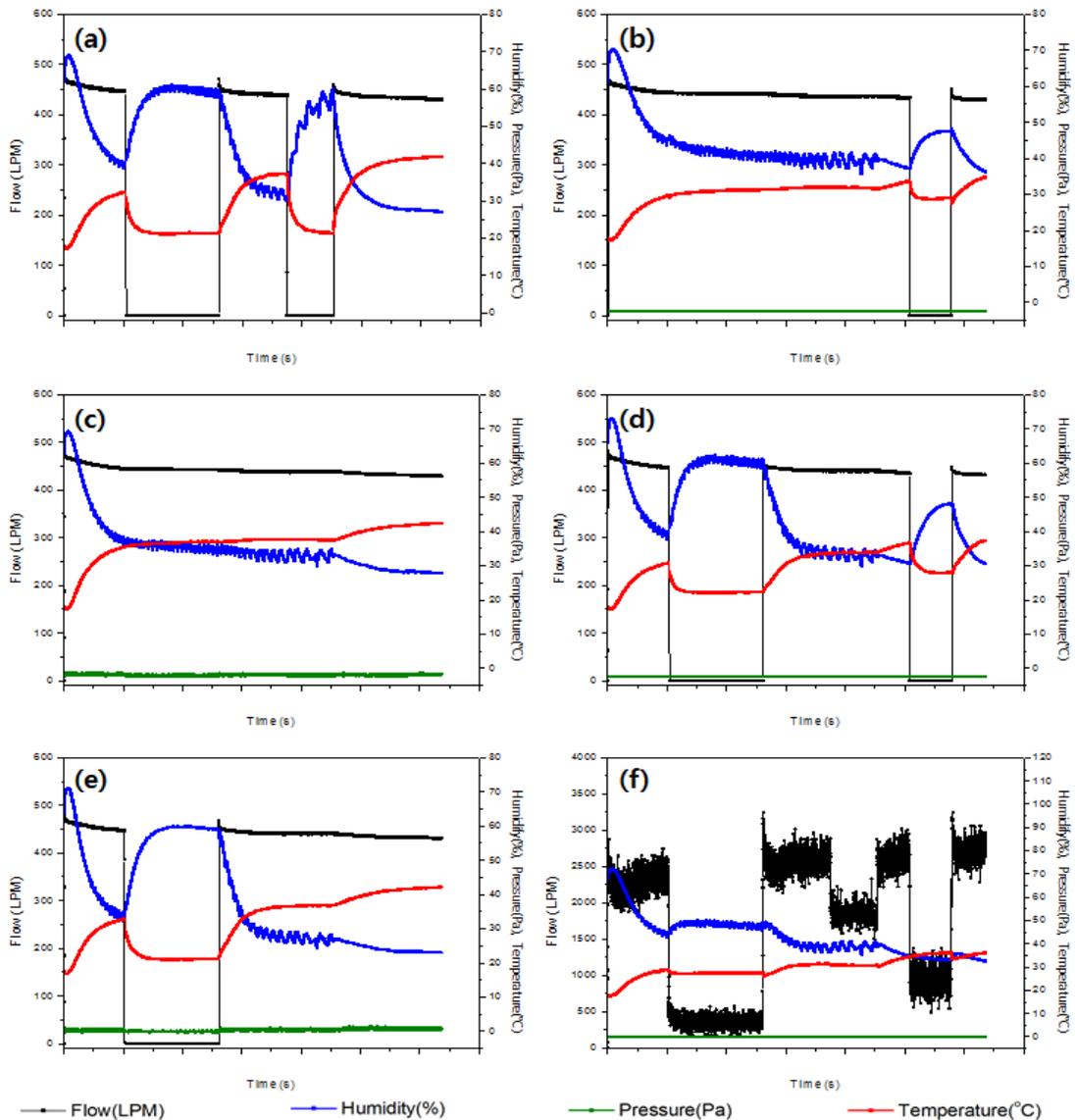


Fig. 5. Comparison of the temperature, humidity, pressure and flow on random scenario. (a) No. 1 module, (b) No. 2 module, (c) No. 3 module, (d) No. 4 module, (e) No. 5 module, (f) exhaust (D=225 mm)

### 3.2 복합배기구조 시작품 연결 실제 연료전지 실증실험

실제 시판되고 있는 5 kW급 건물용 연료전지에 복합배기관을 연결하여 동일한 시나리오로 구동하여 Fig. 7에 나타내었다. OFF시 유량이 크게 감소하면서 온도와 압력도 함께 감소하는 양상을 보였다. OFF시 바로 옆 직관의 유량, 압력 온도 변화는 나타

나지 않았다. 시작품의 경우 유량이 일부 overshoot되었으나, 실제 연료전지 실증 실험 시에는 해당 직관의 다른 직관에는 별다른 영향을 미치지 않는 것을 확인하였다. 또한 OFF되는 직관의 수가 많을수록 유량이 크게 감소하였다. 연료전지 모사운전 실험 결과와 유사하게 OFF시 온도가 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 습도는 ON/OFF와 상관없이 100%

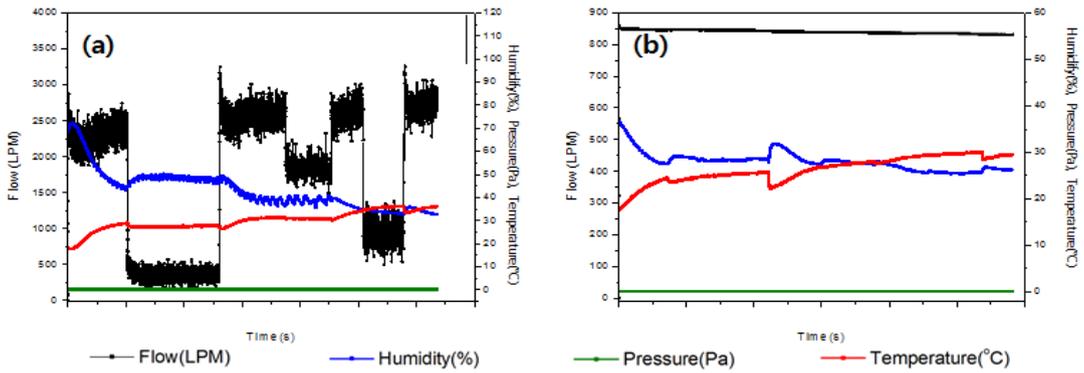


Fig. 6. Comparison of the temperature, humidity, pressure and flow on Random scenario. (a) 225 mm, (b) 100 mm

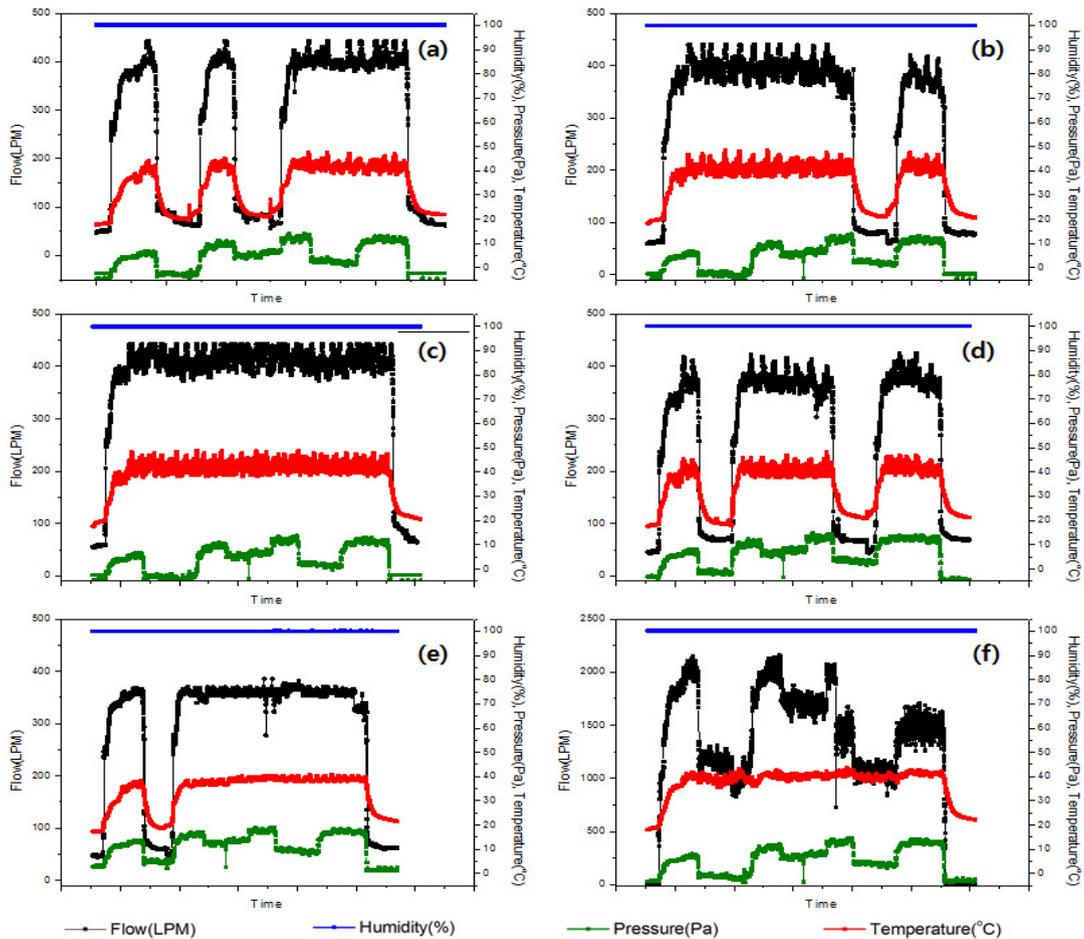


Fig. 7. Comparison of the temperature, humidity, pressure and flow on random scenario. (a) No. 1 module, (b) No. 2 module, (c) No. 3 module, (d) No. 4 module, (e) No. 5 module, (f) exhaust (D=225 mm)

Table 3.4.3.4 Combustion performance by Items	
Item	Performance
CO concentration in theoretical dry combustion gas	The CO concentration in theoretical dry combustion gas measured in CO concentration test in Appendix B, E shall not be over 0.10%.

Fig. 8. KGS AB 934 standard

Table 3.4.3.4.4 Limit NO <sub>x</sub> Concentration by Grades	
NO <sub>x</sub> Grade	Limit NO <sub>x</sub> Concentration (mg/kWh)
1	70
2	100
3	150
4	200
5	260

Fig. 9. KGS AB 131 standard

의 포화 증기가 배출되는 것을 확인하였다. 모사운 전 실험 결과시 압력의 변화는 거의 보이지 않았으나, 실제 연료전지 실증실험 결과 유량의 변화에 따라 압력이 변화하였다. OFF시 해당 직관을 포함한 모든 직관에서 압력이 감소하였으며, ON시 모든 직관의 압력이 다시 증가하는 것을 확인하였다. 배기구 쪽 센서 역시 다른 압력 그래프들과 유사한 양상으로 측정되었으며, 압력의 변화폭은 모두 대략 5-10 Pa로 측정되었다.

직관에 연결된 센서 외 배기구 쪽에 연결되어 있는 배기가스 양을 분석한 결과, CO와 NO의 발생량은 처음 시작품을 구동시 CO가 발생하였으며, NO<sub>x</sub>는 직관들을 ON/OFF하게 되면 10 ppm씩 발생하는 것을 확인하였다. CO와 NO 모두 ON/OFF 발생하였으나 CO의 경우 기준값을 초과하지 않은 값으로 측정되었다. KGS AB 934의 연소상태 성능 기준을 Fig. 8에 나타내었다. 연소상태 성능을 평가하는 항목은 불 율김, 연소 상태, 소화, 역화, 이론건조 연소가스 중의 CO 농도가 있다. 그중 CO 농도 항목은 부록 B의 마.를 따르며, 그 내용을 Fig. 8에 나타내었듯이 이론건조 연소가스 중의 CO 농도시험에 의하여 측정된 CO 농도 0.10% 이하로 이에 적합한 것으로 하도록 규정되어 있으며, 실험 결과 적합한 것

을 확인하였다<sup>13)</sup>. KGS AB 934 규정에 NO<sub>x</sub> 발생량에 대한 기준은 없으므로 보일러 제조의 시설 및 검사 기준에 대한 기준인 KGS AB 131 (강제배기식 및 강제급배기식 가스온수보일러 제조의 시설·기술·검사 기준)을 참고하여 비교하였다. Fig. 9과 같이 연소상태 성능에 대한 기준은 KGS AB 131 기준의 부록 B, D, E를 따른다<sup>17)</sup>.

본 규정의 연소 성능 기준은 배기통의 최대 길이, 성능을 시험하는 가스 및 최고 압력에서 이론건조배기가스 중 CO 농도는 0.10% 이하인 것으로 하며, 유품에서 측정된 CO 농도는 0.20% 이하인 것으로 한다. 또한 NO<sub>x</sub>의 경우 제조자는 Fig. 9의 표로부터 보일러의 NO<sub>x</sub> 등급을 선정하고, 이론건조연소가스 중 NO<sub>x</sub>는 선정된 등급의 제한 값을 초과하지 않도록 규정하고 있다. 연료전지 시스템의 ON/OFF시 NO<sub>x</sub>가 일부 발생하나 KGS AB 934에는 NO<sub>x</sub> 발생량에 대한 연료전지 시스템의 ON/OFF시 NO<sub>x</sub>가 일부 발생하나 KGS AB 934에는 NO<sub>x</sub> 발생량에 대한 연소 상태 성능 기준이 없으므로 이에 대한 검토가 필요할 것으로 보인다. 연료전지 모사 복합배기 실험과 실제 연료전지 복합배기 실증실험 모두 발생한 CO값이 연소성능 기준에 적합한 값으로 측정된 것을 확인하였고, NO<sub>x</sub>의 경우 연료전지 기준인 KGS

AB 934에 연소상태 성능에 대한 값이 규정되어있지 않아 보일러 기준인 KGS AB 131과 비교하였으며, 그 결과 선정된 등급의 제한값을 초과하지 않았으나 이에 대한 추가적인 검토는 필요할 것으로 보인다. 여러 대의 실제 연료전지 복합배기구조 실증실험 결과와 모사운전 결과는 대체적으로 유사한 경향성을 나타내었으며, 연료전지 시스템 구동에는 이상이 없는 것으로 나타났다. 배기구 직경 크기(D=225 mm, 100 mm)에 의한 실험 결과 역시 유사한 경향성을 보였다. 실제 연료전지 복합배기 구조 실증실험시 주변 환경의 영향으로 인하여 모사운전 복합배기구조 실험보다 다소 흔들리는 값이 측정되었으나 일정한 범위 내에서 변화가 일어났으며 이는 성능 저하에는 영향을 미치지 않을 것으로 보인다. 각 직관에 연결된 온도, 압력, 습도, 유량 등을 비교 분석하였을 때 연료전지 시스템의 성능을 저하시키거나 오작동을 일으킬만한 요소는 발견되지 않았으며 배출된 배기가스는 기준에 적합한 값으로 측정됨을 확인하였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 건물용 연료전지 시스템에 적용되는 복합배기구조에 대한 실증실험을 수행하고 이를 분석하였다. 현재 건물용 연료전지 시스템에 적용되는 설치 기준인 KGS FU551에 따르면 연료전지 시스템은 1개 층에 최대 2대까지 공동배기구에 연결하여 사용할 수 있다. 그러나 다양한 설치환경에 따라 요구되는 전력이 다르므로 여러 대의 연료전지를 설치하게 되면 연료전지 시스템 수에 따라 타공과 연도의 개수가 늘어나 경제성이 크게 떨어지게 된다. 기존 가스보일러에 대한 규정은 이미 존재하나 연료전지 시스템에 대한 복합배기 기준은 마련되어 있지 않으므로 이에 대한 실증실험을 통하여 연료전지에 미치는 영향이나 발생할 수 있는 문제점 등에 대하여 확인해보았다. 연료전지 모사 시스템 복합배기구조 실험과 실제 시판되고 있는 연료전지 연결 복합배기구조 실증실험을 같은 시작품과 같은 조건

으로 실험하였다. 실험은 배기구 기준으로 직관이 순차적으로 OFF되는 실험과 무작위로 OFF되는 랜덤 실험 두 조건으로 실시였으나 실제 연료전지를 구동할 경우 랜덤으로 OFF되는 경우가 더 많을 것으로 예상되어 본 논문에는 랜덤으로 OFF되는 시나리오에 대한 실험만 분석하였다. 또한 실험 결과 순차적 OFF와 랜덤 OFF가 유사한 경향성을 나타내었다. 연료전지 모사운전 실험 결과 OFF되는 직관의 온도가 감소하고 습도가 증가하는 것을 확인하였다. 압력의 경우 별다른 차이를 보이지 않았으며 OFF되는 직관 바로 옆 직관의 유량이 30-50 L/min 가량 Overshot되었으나 다시 원래의 값으로 돌아오는 것을 확인하였다. 실제 연료전지 실증실험의 경우 OFF되면서 직관의 온도가 감소하였고, OFF되는 직관의 수가 많을수록 유량이 크게 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 습도의 경우 ON/OFF와 상관없이 습도는 모두 100%의 포화증기가 배출되는 것을 확인하여 연료전지 모사 시작품과는 다른 양상을 보였으나 실제 실험시 문제가 되지는 않을 것으로 보인다. 배기구에서 발생하는 배기가스를 측정해본 결과, 배출된 값이 선정된 등급의 제한 값을 초과하지 않은 값으로 측정되었다. 다만 NO<sub>x</sub>의 경우 검토할 적합한 규정이 미비하여 관련된 규정(KGS AB 131)을 참고하였으며 이는 향후 검토가 필요할 것으로 보인다. 본 연구 결과를 통하여 여러 대의 연료전지 배기를 복합배기로 연결하였을 때의 변화를 분석하였고, 복합배기시 크게 이상이 없는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 향후 다양한 회사의 제품과 요구되는 연료전지에 따라 다양한 용량의 연료전지 제품을 설치할 수 있으므로 이에 대한 실험을 수행할 계획이다. 또한 내구성 평가를 위하여 장기간 구동하는 등 다양한 실험을 수행하여 복합배기 구조 설치에 대한 보다 확실한 안전을 확보하고자 한다. 안전성이 확보된 복합배기구조의 설치를 통하여 연료전지 시스템 설치의 유연성을 확보하고, 경제성 및 보급 활성화에 기여하고자 한다.

## 후 기

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

## References

1. S. W. Lee and D. J. Yu, "Comparison of Properties of Two Kinds of Anion Exchange Membranes with Different Functional Group for Alkaline Fuel Cells", *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol. 29, No. 5, 2018, pp. 458-465.
2. S. Bose, T. Kuila, T. X. H. Nguyen, N. H. Kim, K. T. Lau, and J. H. Lee, "Polymer Membranes for High Temperature Proton Exchange Membrane Fuel Cell:Recent Advances and Challenges", *Prog. Polym. Sci.*, Vol. 36, 2011, pp. 813-843.
3. B. Smitha, S. Sridhar, and A. A. Khan, "Solid Polymer Electrolyte Membranes for Fuel Cell Applications a Review", *J. Membr. Sci.*, Vol. 259, No. 1, 2005, pp. 10-26.
4. H. C. Kim, "Domestic and Foreign Policy Trends for the Preparation of Hydrogen Economic Society", *Convergence Research Policy Center*, Vol. 98, 2017.
5. MOTIE, "7th Basic Plan for Long-term Electricity Supply and Demand", 2015.
6. H. P. Baek, "Status of Stationary Fuel Cell Technology", *Journal of Electric World*, Vol. 430, 2012, pp. 52-58.
7. MOTIE, "New & Renewable Energy White Paper", Korea Energy Agency, 2016, p. 233.
8. J. H. Baek, T. H. Nam, J. W. Lee, S. K. Lee, and Y. J. Lee, "Analysis of Safety Standard for Stationary Fuel Cell System Common Vent", *Korean Journal of Hazardous Materials*, Vol. 4, No. 2, 2016, pp. 69-75.
9. E. K. Lee, J. W. Lee, S. K. Lee, and J. S. Moon, "Analysis of the Current Status of Safety Management for Fuel Cell Power Generation", *Korean Institute of Hazardous Materials*, Vol. 5, No. 2, 2018, pp. 56-64.
10. A. Aiyejina, "PEMFC Flow Channel Geometry Optimization: A Review", *Journal of Fuel Cell Science and Technology*, Vol. 9, No. 1, 2011, p. 24.
11. D. Hart, F. Lehner, P. Rose, J. Lewis, and M. Klppenstein, "FUEL CELL INDUSTRY REVIEW 2017", E4tech, 2017.
12. S. Wang and S. P. Jiang, "Prospects of Fuel Cell Technologies", Vol. 4, No. 2, 2017, pp. 163-166.
13. KGS AB 934, "Code for Facilities, Technology and Inspection for Manufacturing of Gas Fuel Cells", 2018.
14. KGS FU 551, "Facility/Technical/Inspection Code for Urban Gas Using Facilities", 2018.
15. Y. D. Jo and J. J. Kim, "A Study on the Vent Stack of High Pressured Hydrogen Gas", *Korean Journal of Hazardous Materials*, Vol. 1, No. 1, 2013, pp. 20-27.
16. KGS GC 209, "Installation/Inspection Code for Commercial and Industrial Gas Boilers", 2018.
17. KGS AB 131, "Facility/Technical/Inspection Code for FE (forced exhaust) and FF (forced flue of forced feed-exhaust) Type of Gas Boilers", 2017.