

고분자 전해질 연료전지 스택의 무인기 적용을 위한 진동 영향 평가

강준영 · 오건우 · 김민우 · 이정운[†] · 이승국

한국가스안전공사 가스안전연구원

A Evaluation on the Effect of Vibration for the Application of PEMFC Stack to Unmanned Aircraft

JUN-YOUNG KANG, GUN-WOO OH, MIN-WOO KIM, JUNG-WOON LEE[†], SEUNG-KUK LEE

Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation, 1390 Wonjung-ro, Maengdong-myeon, Eumseong 27738, Korea

[†]Corresponding author :
wooni@kgs.or.kr

Received 16 November, 2018

Revised 5 December, 2018

Accepted 30 December, 2018

Abstract >> Recently, research is being conducted to use a fuel cell as a power source of unmanned aircraft. However, safety standards about applying fuel cells to unmanned aircraft are insufficient. In this paper, to improve the safety of the fuel cells for unmanned aircraft is experimentally studied. For this reason, standards for safety of fuel cells were analyzed. And influence of vibration among the evaluation items related to the safety of the fuel cell for unmanned aircraft was discussed. In order to, at constant intervals, vibration was applied to the fuel cell, then the performance was measured, the measurement items were gas tightness, polarization curve, frequency response analysis (FRA). A total of 220 hours was experimented at 20 hour intervals. the result of vibration test, gas leakage rate was a maximum of -0.04826 kPa/min and Polarization curve reached a maximum of 1.0103 times of the initial value, the charge transfer resistance reached a maximum of 1.0104 times of the initial value. This research indicate that performance of fuel cell is affected by vibration and this study is expected to contribute to the safety of fuel cell for unmanned aircraft.

Key words : Fuel cell(연료전지), Vibration(진동), Safety(안전성), Unmanned aircraft (무인비행장치), Safety standard(안전 기준)

1. 서론

흔히 드론이라 불리는 무인비행체는 초기 군사용으로 개발되었으나 활용도로 인하여 최근 통신, 스포츠, 농업, 운송, 구조, 감시 등 적용 분야가 증가하며

개인 및 상업용 분야에서도 널리 쓰이고 있다. 전 세계적으로도 무인비행체의 운용이 증가하고 있으며 미국, 중국, 유럽 등 선진국에서는 국가 주도하에 무인비행체를 이용한 새로운 산업 분야를 개척하고 있다. 우리나라도 무인비행체를 이용한 산업을 육성하

기 위해 드론 활성화 지원 로드맵을 수립하며 드론 산업을 미래 신산업으로 선정하는 등 관련 정책들이 시행되고 있다. 무인비행체는 많은 분야에서 활용될 수 있는 장점이 있으나 기존 동력원으로 사용되는 리튬이온 배터리의 낮은 에너지 밀도로 인하여 비행 시간이 짧고 페이로드가 적다는 한계가 있다. 에너지 양 증가를 위한 배터리의 추가적인 탑재는 자체중량을 늘리기 때문에 일정 이상부터는 효과가 없다. 이를 개선하는 방안으로는 에너지 밀도가 높은 동력원을 탑재하는 것으로 이에 관한 연구가 수행되고 있으며 연료전지를 탑재하는 것도 그중 하나이다.

연료전지는 에너지 저장소의 개념이 아닌 발전기의 개념으로 연료 공급만 된다면 계속해서 에너지를 생산할 수 있다. 연료전지는 수소와 산소의 화학반응을 이용하여 전기를 생산하는 것으로 기존 화석연료를 이용한 발전방식에 비하여 화학에너지가 직접 전기에너지로 변환되어 효율이 높다는 장점이 있다. 또한, 반응 과정에서 물 이외의 부산물이 발생하지 않아 친환경적인 신에너지로써 수송용, 발전용, 가정용 등 많은 분야에 활용되고 있다. 최근 연료전지가 무인비행체의 동력원으로 적용되고 있는데, 기존 리튬이온 배터리에 비하여 높은 에너지 밀도를 가지고 있어 더 긴 비행시간과 페이로드의 증가로 사용 범위 증가와 고성능의 무인비행체 개발이 가능할 것으로 예측된다.

그러나 연료전지를 무인비행체에 장착하여 동력원으로 사용할 경우 수소연료전지 파워팩 제품에 대한 안전성 검증이 필요한 실정이다. 비행장치의 안전성 인증시 관련 기준을 토대로 성능 및 안전성 평가가 진행되나 연료전지를 탑재한 비행체의 평가 기준은 현시점에서 충분치 않다. 향후 제품에 대한 적절한 안전 기준이 마련되지 않는다면 연료전지가 적용된 무인기의 안전성 검증은 제대로 이루어지기 어렵고 개발된 제품의 신뢰성 또한 보장할 수 없으므로 종합적인 안전성 평가 기준 마련이 요구된다. 이미 미국, 일본, 유럽 국가 등은 국가 주도적으로 무인비행체의 운용과 관련한 기준 및 법률적인 제도를 갖추려 하고 있으며 무인비행체 산업 창출에 힘쓰고

있다. 국내에도 무인비행체와 관련한 안전기준이 존재하나 연료전지를 탑재한 무인비행체의 성능 및 안전성을 평가하는 데 부족함이 있다. 이에 본 연구에서는 무인기용 연료전지의 안전성을 향상하고자 무인기용 연료전지시스템 안전성 평가기술을 개발하고자 한다. 이를 위하여 국내·외 연료전지 안전 관련 기준들을 분석하여 무인기용 연료전지 안전성과 관련된 항목을 도출하였다. 관련 항목으로는 절연, 내압, 기밀, 진동, 기울임, 충격 등이 있으며 이 중 본 연구에서는 무인기용 연료전지의 내구성 및 신뢰성에 영향을 미치는 진동 영향을 고찰하고자 하였다. 무인기 비행을 위하여 프로펠러가 회전하며 모터가 가동되는 동시에 이로부터 발생하는 진동이 연료전지에 계속해서 가해지게 된다. 게다가 무인기가 순간적으로 속력을 내거나 상승 및 하강시 모터 운전이 달라지며 이로부터 발생하는 진동 조건 또한 달라진다. 이에 따라 연료전지를 무인기에 적용하기 위하여 연료전지에 가해지는 진동의 영향에 관한 연구가 요구된다.

현재 무인기용 연료전지에 진동이 가해졌을 시 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구는 부족한 상황이며 이와 관련된 선행 연구는 다음과 같다. 중국의 Wang 등¹⁾ 연구팀은 연료전지에 진동을 가하였을 시 출력 전압에 요동이 있었으며 내부 생성 수분입자가 진동으로 뭉쳐져 물질전달이 방해될 수 있다고 하였다. 캐나다의 Banan 등²⁾ 연구팀은 PEMFC 캐소드극의 막과 촉매 층 사이에 진동이 미치는 영향에 연구하였다. 진동이 가해짐에 따라 막과 촉매층 사이에서 박리현상이 일어나 열화가 발생한다고 하였다²⁾. 중국의 Hou 등³⁾ 연구팀은 장기간의 진동은 연료전지 스택의 내부 기밀성능을 감소시키고 오믹저항이 증가하며 전체성능이 감소한다고 하였다. 캐나다의 Ahmed 등⁴⁾ 연구팀은 PEMFC를 가동하는 도중 자연적으로 발생하는 진동에 대하여 시뮬레이션을 이용하여 연구하였다. 이들은 PEMFC 제작시 적절한 재료의 사용과 기하학적 구조의 이용을 통하여 자연 발생하는 진동의 제어를 할 수 있다고 하였다⁴⁾. 이란의 Imen과 Shakeri⁵⁾ 연구팀은 장기간의 진동은 스택

체결압을 감소시켜 접촉저항이 증가하여 출력 전력이 감소하며 내부 수소 기밀성능이 감소한다고 하였다. 이렇듯 연료전지의 진동시험 관련 연구가 진행되고 있으며 본 연구에서는 단위전지를 이용하여 일정 시간 동안 진동을 가해준 후 성능 측정을 하는 방법으로 연료전지에 미치는 진동 영향에 관하여 연구하였다.

2. 실험

본 연구에서는 무인기용 연료전지의 안전성능 평가기술을 개발하기 위하여 Table 1에 제시된 무인기용 연료전지 안전과 관련한 국내·외 기준들을 분석하였다⁶⁻¹¹⁾. 무인기용 연료전지에 적용 가능한 이동용 연료전지 관련 국내·외 기준의 평가항목 분석 결과 대체로 유사한 항목을 운영 중인 것으로 확인되었고, 각 기준들의 평가항목을 종합해 구성요소에 따라 분류하여 Table 2에 나타내었다. 무인기용 연료전지 안전성과 관련한 항목들은 절연, 내압, 기밀, 온도,

비정상 상태운전, 진동, 축 이동 등이 있으며 이 중 본 연구에서는 진동에 대한 무인기용 연료전지의 안전성 평가를 수행하고자 실증 시험을 수행하였다. 무인기 비행시 연료전지에 불규칙한 진동이 가해지는데 연료전지는 전극, 전해질, 분리판, 가스켓 등 여러 구조의 접합체로 구성되어 있어, 진동에 의한 안전성에 다양한 영향을 끼칠 것으로 판단된다.

무인기용 연료전지에 불규칙한 진동이 계속하여 가해질 경우 연료전지 내부 구성품에 열화가 발생하거나 체결 부위에서 문제가 발생하여 성능 감소 및 사고 발생을 초래할 수 있다¹²⁾. 스택 열화는 주로 전해질 및 전극에서 발생한다. 전해질 열화는 스택 내부의 반응과정에서 생성되는 과산화수소, 라디칼 등으로 인한 전해질 막의 손상, 전해질 막의 수축 및 팽창 등 균등하지 않는 스트레스로 인하여 발생하는

Table 1. Standard related to fuel cells safety⁶⁻¹¹⁾

Nation	Standard
IEC	IEC 62282-5-1: 2007 Portable fuel cell power systems - safety
America	ANSI/CSA America FC3: 2004 American national standard for portable fuel cell power systems
Japan	JIS C 8823: 2008 Testing methods for small polymer electrolyte fuel cell power systems
Korea	KS C IEC 62282-7-1: 2013 Fuel cell technologies-Part 7-1: single cell test methods for polymer electrolyte fuel cell (PEFC)
	KS C IEC 62282-4-101: 2014 Fuel cell technologies – Part 4-101: fuel cell power systems for propulsion other than road vehicles and auxiliary power units (APU)-Safety of electrically powered industrial trucks
	KS W 9001: 2018 Unmanned aircraft systems – Design for UAV

Table 2. Summary of standard assessments list for fuel cells⁶⁻¹¹⁾

Component	Assessments list
Fuel processing	- Leakage test for liquid fueled - Pressure test - Flammable gas concentration test - Component temperatures - Storage temperatures - Stress corrosion cracking - Protection against mechanical hazards
Oxidant processing	- Physical environment - Operating conditions leakage test - Pressure test - Protection against mechanical hazards
Water processing	- Leakage test - Pressure test
Heat processing	- Surface temperatures - Component temperatures - Stability performance
Power control equipment	- Insulating material - Earthing test - Leakage current at operating temperature
Automatic control equipment	- Abnormal operation - Shut down - Protection against electric shock
Fuel cell module	- Stability - Vibration - Impact test - Free drop test - Wind test - Strength test

crack, pinhole, tear로 인한 손상이 있다^{13,14}). 전극 열화는 전극 촉매의 용해, 응집, 금속산화물 형성 등을 통한 활성면적의 감소 혹은 촉매 지지체의 부식 현상이 있다^{15,16}). 이러한 스택 열화 현상을 봤을 때 스택에 진동이 가해졌을 시 스택 체결 부위, 가스켓, 전해질 막 등이 영향을 받아 이로 인한 기밀성능 변화와 전극이 영향을 받아 촉매 입자의 이동, 응집 등으로 인한 성능 변화가 예상된다^{2,17}). 특히나 진류 인출 부인 집전판 같은 전기적 접속 기구는 진동을 받을 시 접촉압력의 저하와 미동부식마모가 발생할 수 있어 접촉저항이 증가할 수 있다¹⁸). 이와 같이 진동이 연료전지에 가해졌을 때 발생 가능한 현상은 다양하며 장기간의 진동이 연료전지에 가해지면 성능 및 내구성이 감소할 수 있고 기밀성능에 이상이 생겨 연료 누출이 발생할 수 있다.

본 논문에서는 일정 시간 동안 진동을 가해준 후 스택 성능 변화를 측정하는 방법으로 실험하여 진동이 연료전지에 미치는 영향을 연구하였다. 진동이 가해짐에 따라 스택 내부 변화를 확인하기 위하여 실험을 진행하며 기밀성능, polarization curve, frequency response analysis (FRA)를 일정 시간마다 측정하였고 실험을 위해 Fig. 1에 제시된 단위전지를 이용하

였다. 사용된 단위전지는 CNL Energy사에서 제작된 단위전지로 반응면적은 25 cm², 담지량은 cathode 0.52 mgPt/cm², anode 0.56 mgPt/cm²이며 정격 성능은 0.6 V 기준 약 1.04 A/cm²이다.

2.1 단위전지 진동 시험

Fig. 1의 단위전지를 이용하여 Fig. 2와 같이 진동시험기 상단에 지그를 이용하여 단위전지를 고정하는 식으로 장치를 구성하였다. 사용된 장비는 FAMTECH사에서 만들어진 E0S30001S4-445모델로 제어프로그램은 VibrationVIEW를 사용하였다. 진동실험 조건은 관련 기준을 분석하여 설정하였다. 연료전지의 진동 시험과 관련된 기준으로는 ‘도로 주행용 차량과 보조 전원 장치(APU) 이외의 추진용 연료전지 발전 시스템 - 산업용 전동트럭의 안전(IEC 62282-4-101)’, ‘휴대용 연료전지 시스템 - 안전(KS C IEC 62282-5-1)’, ‘마이크로 연료전지 발전 시스템 - 성능시험방법(IEC 62282-6-200)’ 등이 있으며 이외에도 ‘무인항공기 시스템-무인 동력 비행장치의 설계(KS W 9001)’, ‘자동차 부품 진동 시험 방법(KS R 1034)’ 등의 기준을 분석하였다^{6,10,11,19,20}). 본 연구의 진동실험 조건은 진동 주파수 90-140 Hz 사이에서 랜덤하게 가해지며 진동 가속도를 1 G로 설정하여 실험을 진행하였다.

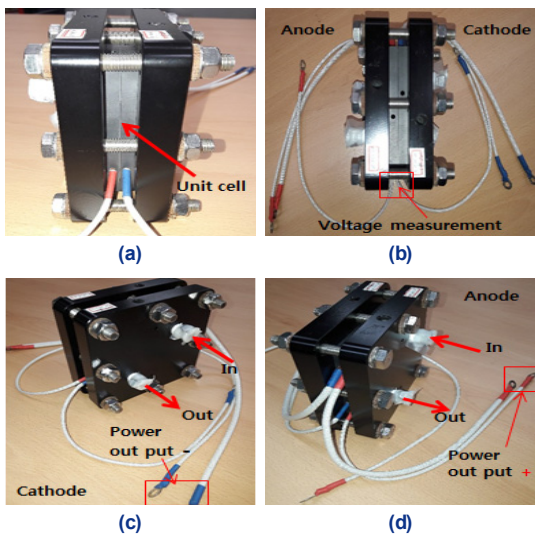


Fig. 1. Photograph of test fuel cell, (a) front-view, (b) top-view, (c) cathode-view, (d) anode-view

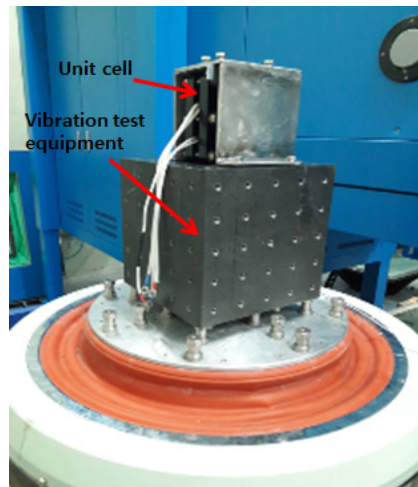


Fig. 2. Vibration experiment equipment

총 220시간 동안 실험을 진행하였으며 20시간마다 단위전지 성능측정 및 육안검사를 진행하였다. 육안 검사는 조립부의 풀림, 변형, 파손 등을 확인하였고 주요 성능 시험으로는 기밀성능, polarization curve, FRA를 측정하였다.

2.2 단위전지 polarization curve 측정

Polarization curve를 측정하기 위하여 기밀성능 측정과 동일한 Fig. 3의 장비를 이용하였다. 측정시 단위전지 운전온도는 60℃, anode, cathode에 공급하는 가스는 각 60℃, 상대습도 100%로 설정하였다. 공

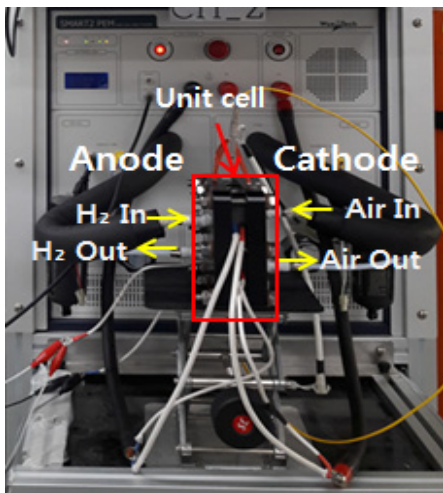


Fig. 3. Fuel cell performance evaluation equipment

Table 3. Operational conditions for polarization curve

Parameters	Value
Relative humidity of hydrogen	100%
Relative humidity of air	100%
Stoichiometry of hydrogen	1.5
Stoichiometry of air	2
Hydrogen inlet humidifier temperature	60℃
Air inlet humidifier temperature	60℃
Cell temperature	60℃
Hydrogen outlet pressure	0 psi
Air outlet pressure	0 psi

급가스 유량은 출력 전류에 해당하는 양론비로 설정하여 anode-1.5, cathode-2로 설정하였으며 상세한 실험 조건은 Table 3에 나타내었다. Polarization curve 측정 전 60℃, 상대습도 100%의 질소를 이용하여 약 5분간 퍼지를 하는 동시에 가습도 진행하였다. 그 후 constant current 모드로 일정한 간격으로 전류 값을 증가시키며 최대 1.4 A/cm²까지 증가시켰다.

2.3 단위전지 FRA 측정

FRA 측정은 polarization curve 측정 장비와 같은 Fig. 3의 장비를 사용하였으며 ZIVELAB사에서 만들어진 Zcon제품을 같이 연동하여 사용하였다. FRA 측정은 polarization curves를 측정한 뒤, 60℃, 상대습도 100%의 질소를 이용하여 약 1분간 퍼지 후 바로 진행하였다. DC current는 1 A, AC amplitude는 50 mA, frequency는 5 kHz에서 100 mHz로 설정하였으며, Table 4에 실험 조건을 나타내었다.

전체적인 실험 과정 모식도를 Fig. 4에 나타내었다. 실험 시작 전 질소 퍼지를 해준 후 순서대로 기밀성능 측정, Polarization curve 측정, FRA 측정을 하였으며 각 성능 측정 사이마다 질소를 이용해 퍼지를 하였다. 모든 성능 측정 후 측정된 성능 값이 초기보다 일정 값 이하로 감소하거나 외관상 변형, 파손 등 이상이 생기면 실험을 종료하는 방법으로 진행하였다.

Table 4. Operational conditions for FRA

Parameters	Value
Relative humidity of hydrogen	100%
Relative humidity of air	100%
Flow rate of hydrogen	53 Sccm
Flow rate of air	170 Sccm
Hydrogen inlet humidifier temperature	60℃
Air inlet humidifier temperature	60℃
Cell temperature	60℃
Hydrogen outlet pressure	0 psi
Air outlet pressure	0 psi

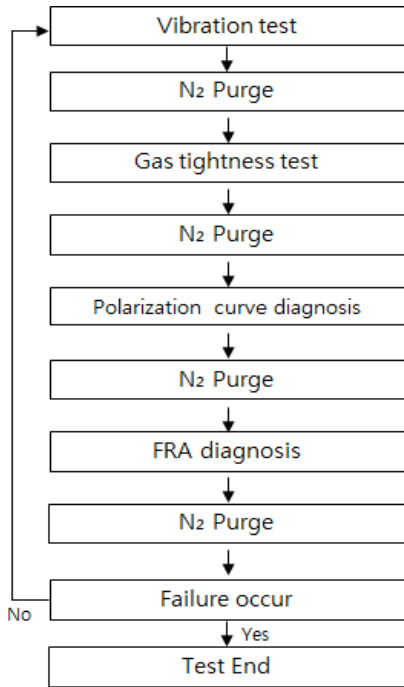


Fig. 4. Experimental process for vibration test

3. 결과 및 고찰

무인기용 연료전지 시스템 안전성능 평가기술을 개발하고자 국내·외 연료전지 안전 관련 기준들을 분석하여 무인기용 연료전지의 안전성과 관련된 항목을 도출하였고 그중 연료전지 안전성 검증이 필요한 진동 항목을 선정하여 실험을 진행하였다. 진동이 연료전지에 미치는 영향을 파악하기 위하여 단위전지에 진동을 가해준 후 성능 변화를 관찰하였다. 20시간 간격으로 11회 성능 변화를 총 220시간 동안 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

3.1 진동 시험 후 기밀성능 변화

연료전지에서 기밀성능은 연료전지의 성능뿐만 아니라 안전성 측면에서도 중요하게 요구되는 항목이다. 연료전지 전극 모든 부분에서 반응이 균일하게 일어나기 위해서는 내부 유로 끝까지 반응물이 일정한 압력으로 공급이 이루어져야 한다. 그러나 기밀이

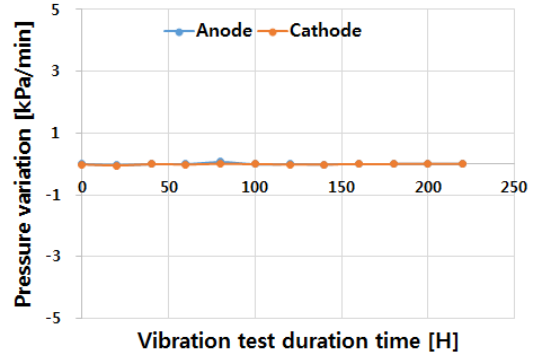


Fig. 5. Gas tightness variation after vibration test

제대로 이루어지지 않는다면 연료가 외부로 누출되어 유로 내부압력이 감소하여 연료전지 성능이 감소하거나 외부로 누출된 연료로 인하여 사고가 발생할 수 있다. 높은 성능이 나오기 위해서는 공급 가스가 안정적으로 반응해야 하며 가동 중 사고 방지를 위해서도 기밀성능에 이상이 없어야 한다. 그러므로 연료전지를 무인기에 적용하기 위해서 기밀성능에 미치는 진동의 영향에 관한 연구가 필요하여 이를 위해 연료전지에 진동을 가해 일정 시간마다 기밀성능을 측정하여 그 변화를 관찰하였다. 기밀성능 측정방법은 질소를 이용하여 anode와 cathode 내부에 일정 압력을 가해준 후 입출구를 모두 막아 시간에 따른 내부 압력 변화를 관찰하였다. 실험 결과 기밀성능의 변화는 거의 없는 것으로 확인되었다. Anode의 경우 시간에 따른 압력 강하가 최소 -0.00166 kPa/min에서 최대 -0.04137 kPa/min까지 변화하였고 cathode의 경우 시간에 따른 압력 강하가 최소 -0.00075 kPa/min에서 최대 -0.04826 kPa/min까지 변화하였다. Fig. 5에 진동시험이 진행되는 동안 변화하는 기밀성능을 나타내었다. 이와 비슷한 결과를 중국의 Hou 등³⁾의 연구에서도 볼 수 있는데 연료전지에 진동이 미치는 영향을 연구하여 기밀성능 변화가 불규칙하게 나타났다고 하였다. 기밀성능은 연료전지의 체결압력과 밀접한 관련이 있는데 관련 연구인 이란의 Imen과 Shakeri⁵⁾의 연구와 인도의 Rajalakshmi 등²¹⁾의 연구에서 진동으로 인하여 연료전지 체결 부위의 볼트, 너트 토크 값이 변화하였다고 하였다. 체결압력은 또

한 접촉저항과도 연관이 있어 연료전지 성능에도 영향을 미치는데 중국의 Chang 등²²⁾의 연구에서 이와 같은 내용을 찾아볼 수 있다. 이번 실험을 통하여 진동이 연료전지 기밀성능에 미치는 영향을 연구하였고 진동에 의한 기밀성능 변화가 거의 없는 것을 확인하였다. 그러나 단시간의 실험을 통하여 얻은 결과만으로는 진동으로 인한 기밀성능 변화에 대한 설명은 부족하며 장시간의 진동 실험을 통한 기밀성능 변화와 체결압력과도 관계도 연구가 필요할 것으로 보인다.

3.2 진동 시험 후 polarization curve 변화

연료전지가 외부 영향을 받았을 시 polarization curve의 변화로 어떤 부분에 영향을 끼쳤는지를 예측하기 위하여 본 연구에서는 연료전지에 무인기의 진동모사 주파수를 인가하여 진동시험을 수행하였고 20시간마다 polarization curve를 측정하여 그 변화를 Fig. 6와 같이 관찰하였다. 전류밀도 1 A/cm²일 때를 기준으로 초기 0시간에서 전압은 평균 0.6006 V였고 20시간에서 평균 0.5969 V로 성능이 감소하였다가 점차 성능이 증가하여 60시간일 때 평균 0.6181 V가 나왔다. 그 후 120시간에서 전압은 평균 0.6095 V로 감소하기 시작하여 200시간에서는 평균 0.579 V로 가장 낮은 전압이 나왔고 220시간에서 다시 증가하여 0.6182 V가 나왔다. 진동시간에 따른 성능 변화

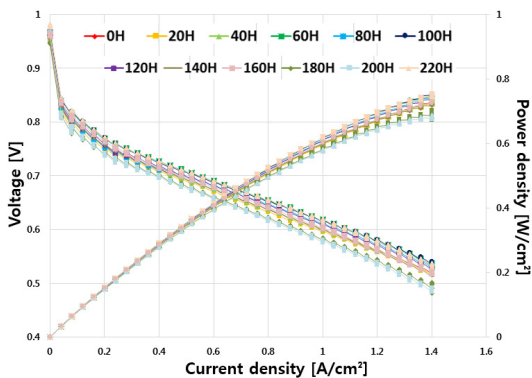


Fig. 6. Polarization curve variation after vibration test

는 일정하게 변하지 않고 불규칙하게 변하는데 관련 연구인 중국의 Hou 등³⁾의 연구에서도 이와 같은 내용이 나와 있다. 이란의 Imen과 Shakeri⁵⁾의 연구에서는 진동으로 연료전지 체결 부위의 볼트 토크값이 감소하여 성능이 감소하였으며 볼트를 다시 조인 후 성능을 측정하니 초기 성능을 회복하였다는 결과가 있다. 이로 미루어 보아 성능 감소의 원인으로 진동이 가해짐에 따라 연료전지 체결압력이 감소하였고 이로 인하여 접촉저항 및 Ohmic 저항이 증가하여 성능이 감소한 것으로 보인다.

3.3 진동 시험 후 내부저항 변화

연료전지 내부에서 전자는 분리판을 통하여 이동하는데 이 부위의 체결압력이 감소하거나 분리판의 부식과 부식 생성물로 인하여 접촉저항이 증가할 수도 있다. 만약 연료전지에 진동이 가해진다면 내부 물질 간 마찰이 발생하여 체결압력의 저하와 미동부식마모로 인하여 접촉저항이 증가할 수 있다. 이러한 이유로 연료전지의 무인기 적용을 위해서는 진동에 의한 영향 연구가 필요하여 본 연구를 통하여 진동이 연료전지 내부저항 변화에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 진동 시험 후 연료전지 내부저항 변화를 확인하기 위하여 FRA를 측정하였으며 그 결과

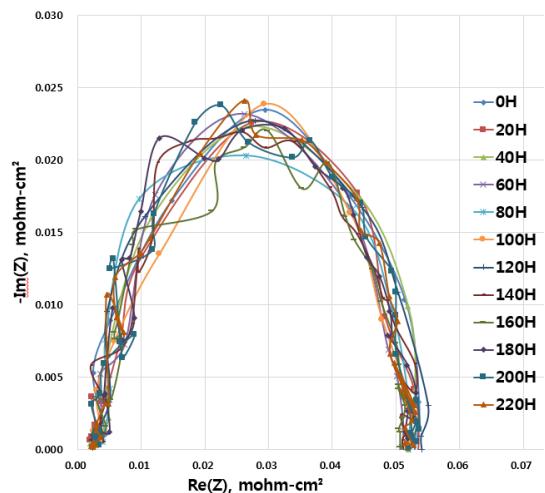


Fig. 7. FRA variation after vibration test

를 Fig. 7에 나타내었다. 실험 결과 내부 전하 전달 저항(charge transfer resistance)값은 0시간일 때 $0.05165 \text{ m}\Omega\text{-cm}^2$, 20시간일 때 $0.05231 \text{ m}\Omega\text{-cm}^2$, 60시간일 때 $0.05065 \text{ m}\Omega\text{-cm}^2$ 로 변하며 120시간에서 $0.05409 \text{ m}\Omega\text{-cm}^2$, 200시간에서 $0.05193 \text{ m}\Omega\text{-cm}^2$, 마지막 220시간에서 $0.05369 \text{ m}\Omega\text{-cm}^2$ 가 나왔다. 연료전지 성능은 내부저항에 영향을 받는데 이란의 Imen과 Shakeri⁵⁾의 연구에서와 같이 진동으로 인한 연료전지 내부저항 변화는 체결압력과 관련이 있으며 접촉저항 변화가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 보인다.

4. 결론

본 연구에서는 무인기용 연료전지의 안전성 확보를 위한 연구를 진행하였다. 이를 위하여 국내·외 관련 기준들의 평가 항목을 분석하여 무인기용 연료전지 안전성 관련 항목들로 절연, 내압, 기밀, 온도, 비정상 상태운전, 진동, 축 이동 등을 도출하였다. 도출한 항목 중 중요한 안전성능 평가항목으로 판단되는 진동 항목을 이용하여 실험을 진행하였다. 진동이 연료전지에 미치는 영향을 파악하기 위하여 총 220시간 동안 실험을 진행하였으며 진동을 단위전지에 가한 후 20시간마다 기밀성능, polarization curve, FRA를 측정하였다.

실험 결과 진동이 가해지는 시간이 증가할수록 기밀성능 변화는 최대 -0.04826 kPa/min 로 압력강하는 거의 없었다. 초기 0시간의 전류밀도 1 A/cm^2 기준으로 Polarization curve 성능 변화는 최소 0.0096% 에서 최대 0.0103% 까지 변화하였고 FRA 측정 결과 내부저항 변화는 최소 0.0098% 에서 최대 0.0104% 까지 변화하였다. 진동에 의한 연료전지의 성능과 내부저항 변화는 거의 없었으나 내부저항 변화와 성능 변화를 통하여 연료전지에 진동이 영향을 미친다는 것을 확인하였고 연료전지에 가해진 진동이 체결압력에 영향을 주어 접촉저항이 변한 것이 원인으로 보인다. 본 연구에서 체결압력의 변화를 측정하진 못하였지만, 관련 연구와 실험 결과로 보아 체결압력

또한 영향을 받았음을 추측할 수 있다. 본 연구 결과로 진동이 연료전지에 미치는 영향에 대하여 모두 파악할 수 없었지만, 진동이 가해질 시 연료전지에 영향을 미쳐 기밀 성능과 내부 전하 전달 저항이 변화하며 이에 따라 전체적인 성능도 변하는 것을 확인할 수 있었다. 기밀 성능과 관련하여 anode 및 cathode에 더 높은 가압조건 실험과 장시간의 진동 시험을 통하여 체결압력과 내부저항에 관한 추가적인 연구를 할 계획이며 본 연구가 연료전지의 무인기 적용에 대한 안전성 기준을 확립하는데 도움이 될 것으로 기대한다.

후 기

본 연구는 2018년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20173010032210).

References

1. X. Wang, S. Wang, S. Chen, T. Zhu, X. Xie, and Z. Mao, "Dynamic response of proton exchange membrane fuel cell under mechanical vibration", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 41, No. 36, 2016, pp. 16287-16295.
2. R. Banan, A. Bazyłak, and J. Zu, "Effect of mechanical vibrations on damage propagation in polymer electrolyte membrane fuel cells", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 38, No. 34, 2013, pp. 14764-14772.
3. Y. Hou, D. Hao, J. Shen, P. Li, T. Zhang, and H. Wang, "Effect of strengthened road vibration on performance degradation of PEM fuel cell stack", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 41, No. 9, 2016, pp. 5123-5134.
4. H. E. U. Ahmed, R. Banan, J. W. Zu, and A. Bazyłak, "Free vibration analysis of a polymer electrolyte membrane fuel cell", *Journal of Power Sources*, Vol. 196, No. 13, 2011, pp. 5520-5525.
5. S. J. Imen and M. Shakeri, "Reliability Evaluation of an Open-Cathode PEMFC at Operating State and Longtime Vibration by Mechanical Loads", *Fuel Cells*, Vol. 16, No. 1, 2016, pp. 126-134.
6. "Portable fuel cell power systems - safety", IEC 62282-5-1, 2007.
7. "American national standard for portable fuel cell power systems", ANSI/CSA America FC3, 2004.

8. "Testing methods for small polymer electrolyte fuel cell power systems", JIS C 8823, 2008.
9. "Fuel cell technologies- Part 7-1:Single cell test methods for polymer electrolyte fuel cell (PEFC)", KS C IEC 62282-7-1, 2013.
10. "Fuel cell technologies – Part 4-101:Fuel cell power systems for propulsion other than road vehicles and auxiliary power units(APU)-Safety of electrically powered industrial trucks", KS C IEC 62282-4-101, 2014.
11. "Unmanned aircraft systems – Design for UAV", KS W 9001, 2018.
12. A. H. Hosseinloo and M. M. Ehteshami, "Shock and vibration effects on performance reliability and mechanical integrity of proton exchange membrane fuel cells: A critical review and discussion", *Journal of Power Sources*, Vol. 364, 2017, pp. 367-373.
13. D. E. Curtin, R. D. Lousenberg, T. J. Henry, P. C. Tangeman, and M. E. Tisack, "Advanced materials for improved PEMFC performance and life", *Journal of Power Sources*, Vol. 131, No. 1-2, 2004, pp. 41-48.
14. A. Pozio, R. F. Silva, M. De Francesco, and L. Giorgi, "Nafion degradation in PEFCs from end plate iron contamination", *Electrochimica Acta*, Vol. 48, No. 11, 2003, pp. 1543-1549.
15. C. A. Reiser, L. Bregoli, T. W. Patterson, S. Y. Jung, J. D. Yang, M. L. Perry, and T. D. Jarvi, "A reverse-current decay mechanism for fuel cells", *Electrochemical and Solid-State Letters*, Vol. 8, No. 6, 2005, pp. A273-A276.
16. H. Tang, Z. Qi, M. Ramani, and J. F. Elter, "PEM fuel cell cathode carbon corrosion due to the formation of air/fuel boundary at the anode", *Journal of Power Sources*, Vol. 158, No. 2, 2006, pp. 1306-1312.
17. G. Diloyan, M. Sobel, K. Das, and P. Hutapea, "Effect of mechanical vibration on platinum particle agglomeration and growth in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell catalyst layers", *Journal of Power Sources*, Vol. 214, 2012, pp. 59-67.
18. E. H. Park, J. H. Kim, J. H. Kim, Y. H. Kim, S. O. Han, Y. B. Keum, K. S. Jeong, and H. Z. Ko, "Contact Resistance of Current Collector for fuel cell by vibration", *Proceedings of the KIEE Conference, The Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 2009, No. 7, 2009, pp. 2049-2050.
19. "Vibration testing methods for automobile parts", KS R 1034, 2006.
20. "Micro fuel cell power systems-Performance test methods", IEC 62282-6-200, 2014.
21. N. Rajalakshmi, S. Pandian, and K. S. Dhathathreyan, "Vibration tests on a PEM fuel cell stack usable in transportation application", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 34, No. 9, 2009, pp. 3833-3837.
22. W. R. Chang, J. J. Hwang, F. B. Weng, and S. H. Chan, "Effect of clamping pressure on the performance of a PEM fuel cell", *Journal of Power Sources*, Vol. 166, No. 1, 2007, pp. 149-154.