Journal of Hydrogen and New Energy, Vol. 36, No. 4, 2025, pp. 425~430
DOI: https://doi.org/10.7316/JHNE.2025.36.4.425

JHNE
pISSN 1738-7264 • eISSN 2288-7407

수소 연료전지 시스템용 수소 감지 센서 개발

박용선[1†] · 장한수[1] · 박준영[2]

[1]한국공학대학교 인공지능기술사업화연구소, [2]한국공학대학교 SW대학

Development of Hydrogen Detection Sensor for Hydrogen Fuel Cell Systems

YONGSUN PARK[1†], HANSOO CHANG[1], JOONYEONG PARK[2]

[1]Artificial Intelligent Commercialization Research Center, Tech University of Korea, 65 Emtibeuibuk-ro, Siheung 15119, Korea
[2]College of SW, Tech University of Korea, 237 Sangidaehak-ro, Siheung 15073, Korea

[†]Corresponding author :
yspark1964@gmail.com

Received 29 July, 2025
Revised 29 July, 2025
Accepted 12 August, 2025

Abstract >> To prepare for the transition to a carbon-neutral society, global automobile manufacturers are developing battery electric vehicles and hydrogen fuel cell vehicles (FCEVs). Among these, FCEVs that use pure hydrogen are equipped with fuel cell systems and hydrogen storage systems. However, since hydrogen poses an explosion risk when leaked, hydrogen gas sensors are essential for detecting leaks quickly during vehicle operation and ensuring safe driving. This study developed a hydrogen detection sensor for hydrogen fuel cell systems and conducted various evaluations. The results confirmed that the developed sensor demonstrated excellent response speed and repeatability. Based on these findings, the sensor technology is expected to contribute to enhancing the safety and reliability of future hydrogen fuel cell systems.

Key words : Hydrogen(수소), Hydrogen detection sensor(수소 감지 센서), Fuel cell system(연료전지 시스템), Temperature cycle test(온도 사이클 시험), Mechanical impact test(기계적 충격 시험), Salt spray test(염수 분무 시험), Dust test(먼지 시험)

1. 서 론

지구 온난화 등의 심각한 환경 문제 해결을 위하여 탄소 중립 사회로의 절실한 전환 노력이 현재 다양한 방향으로 요구되고 있다. 이에 따라 여러 분야에 배기가스가 없는 친환경 연료전지 시스템 기술 개발이 진행되고 있다. 자동차 분야에서도 연료전지 시스템이 적용되고 있는 연료전지 자동차는 기체 수소를 사용하여 고효율, 무공해 운전이 가능하다. 현재 Toyota (Toyota City, Japan)와 Hyundai Motor Company (Seoul, Korea)가 이 부분에서 기술 선두를 보이며 미라이(Toyota), NEXO (Hyundai Motor Company)와 같은 양산차를 판매하고 있다.

수소 연료전지 자동차는 수소와 공기 중 산소를

Fig. 1. Hydrogen detection sensor

반응시켜 전기를 발생시키는 연료전지 스택, 수소와 공기를 스택에 공급하여 이때 발생하는 열을 관리하는 운전 장치 시스템과 기체 수소를 저장하는 수소 저장 시스템이 기존 내연기관 자동차에는 없는 시스템이다. 따라서 이러한 시스템 기술 보유 여부가 향후 펼쳐질 연료전지 자동차 시장에서의 흐름을 주도하는 큰 역할을 할 것이다.

아울러 소비자가 안전하게 수소 연료전지 자동차를 사용하기 위해서는 차량 전반에 대한 안전 기준이 새로이 고찰[1]되어야 하며 이 중 고전압 전기 절연에 대한 전기 절연 기술[2]과 수소로 인한 화재 및 폭발을 사전에 막기 위한 수소 안전 관리 기술의 확보가 매우 중요하다.

기체 수소는 공기 중에서 약 4-75 wt%에서 폭발이 가능한 가연성 가스이며 특히 밀폐된 공간에서는 아주 적은 양의 수소 누출도 매우 위험하다. 따라서 연료전지 자동차에서는 수소 누출 발생 시에 이를 빠르게 감지하여 차량의 운전을 제어할 필요가 있다. 수소 누출을 감지하기 위해서는 수소 감지 센서가 필요하며 연료전지 자동차에는 수소가 누출될 수 있는 부분에 수소 감지 센서를 위치[3]시켜야 한다.

본 연구는 이러한 기술 개발의 필요성을 배경으로 수소 감지 센서를 열전도도 방식으로 Fig. 1과 같이 S사와 공동 개발하였으며 신뢰성 확보를 위하여 다양한 평가를 수행하면서 개발된 센서의 특성을 파악하였다.

2. 실 험

수소 연료전지 시스템에 사용되는 수소 감지 센서는 접촉 연소식, 열전도식 등 여러 방식이 있으며 그 중 열전도식은 수소 검출 농도 범위가 넓고 안정적이며 반응 속도가 양호[4]하다.

본 실험에 사용된 수소 감지 센서는 열전도식으로 수소의 높은 열전도율을 이용해 열선의 온도 변화를 감지하여 수소 누출 정도를 파악하는 방식이다.

본 연구에서는 수소 센서에 대한 여러 가지의 신뢰성 평가 항목 중 온도 사이클, 기계적 충격, 염수 분무, 먼지 시험을 통해 개발된 수소 센서의 성능을 평가하였다.

2.1 온도 사이클 평가

Fig. 2는 온도 사이클 시험에 사용한 환경 체임버 및 체임버 내에 위치한 시료들의 사진이다. 시험 중

Fig. 2. Thermal cycling chamber and test samples inside the chamber

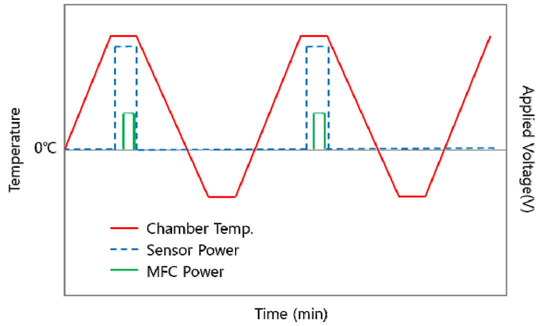

Fig. 3. Temperature profile, sensor power supply and MFC

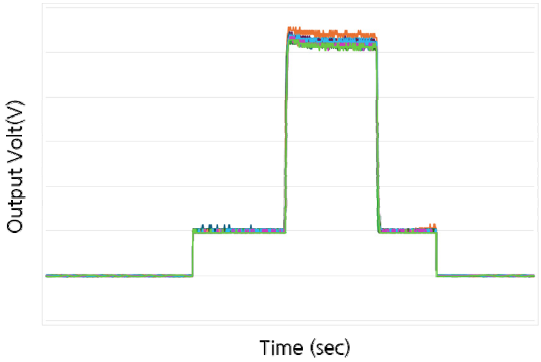

Fig. 4. Sensor output values during thermal cycle

에 시료에 전원을 인가하면서 기체 수소 감지 성능을 확인하였다.

Fig. 3은 온도 사이클 시험 중의 체임버 내에서의 온도 변화와 수소 센서의 전압 인가 시간 변화, 기체 수소를 공급하는 mass flow controller에 전압 인가 시간 변화이다.

온도 사이클 시험은 Figs. 2, 3과 같은 조건에서 주어진 사이클을 진행하였으며 평가를 하면서 모든 시료의 성능을 Fig. 4와 같이 확인하였다. 또한 시험 완료 후에도 모든 시료의 성능을 확인하였다.

Fig. 5는 충격 시험에 이용된 충격 시험기와 시료이다. 충격 시험은 여섯 방향, 즉 x, y, z 축 양방향으로 충격을 주었다.

Fig. 6은 x축 positive 방향에서의 시간에 따른 가속도 변화이다. 주어진 횟수만큼 충격 시험 후 모든 시료의 성능을 확인하였다.

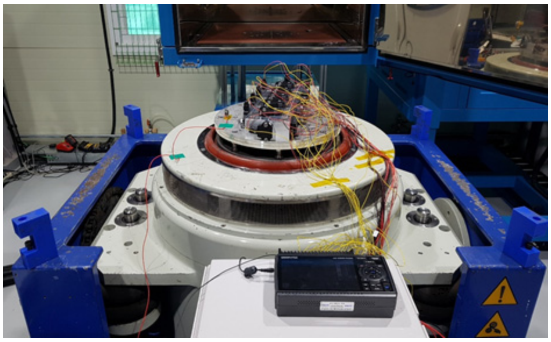

Fig. 5. Impact testing apparatus and samples

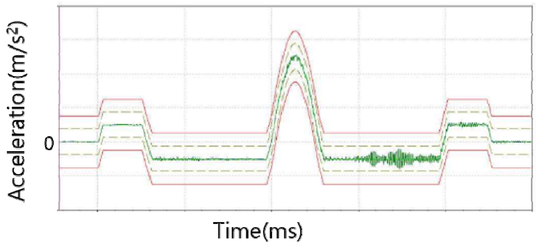

Fig. 6. Acceleration in the positive direction of the x-axis over time

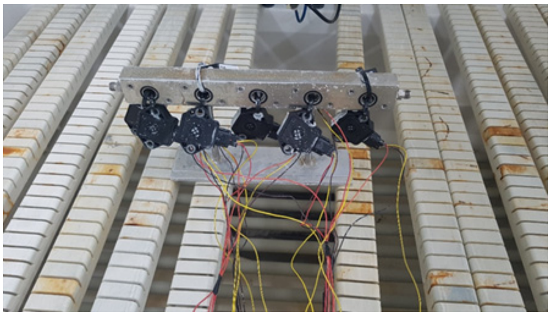

Fig. 7. Salt spray testing apparatus and samples

Fig. 7은 염수 분무 시험 체임버 내에 위치한 시료 사진이며 Fig. 8은 시험 조건인 체임버 내의 온도와 습도의 변화이다. 염수 분무 평가 시간은 주어진 시간 동안 실시하였다.

Fig. 9는 염수 분무 시험 중 센서의 출력값을 모니터링한 부분의 일부를 보여주는 그래프이다. 수소 0% 분위기를 지속하면서 수소 센서에 전원을 on/off 하면서 센서의 고장 유무를 확인하였다.

Fig. 10은 먼지 시험에 사용된 장비 내에 준비된

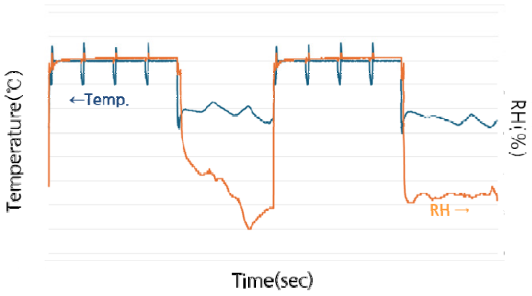

Fig. 8. Temperature and humidity variations during salt spray testing

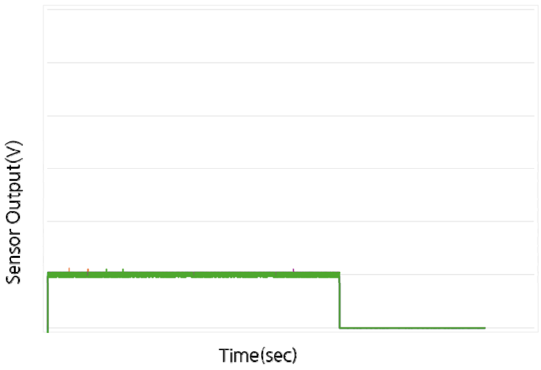

Fig. 9. Measured sensor outputs during salt spray testing

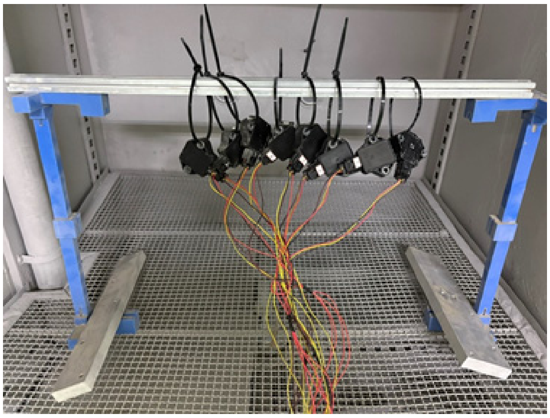

Fig. 10. Sensors installed inside the dust test equipment

시료 사진이다. 먼지 시험은 IP6KX 등급으로 실시하였고 시험에 사용된 시료 및 방법은 ISO-12103-1, ISO-20653에 따랐다.

먼지 시험은 시험 중 센서에 계속 전원을 인가하여 센서의 이상 유무를 관찰하였으며 이는 Fig. 11과

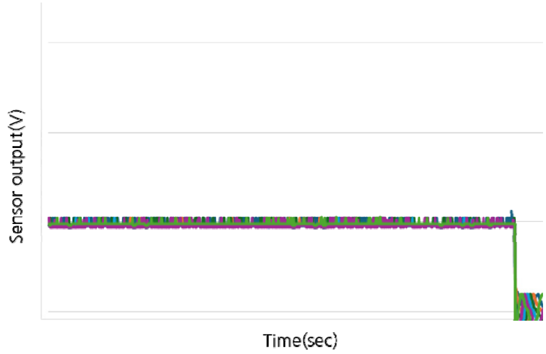

Fig. 11. Measured sensor outputs during dust testing

같이 먼지 시험 시간에 따른 센서의 출력값으로 확인할 수 있었다.

3. 결과 및 고찰

온도 사이클 평가를 비롯한 모든 시험은 규정된 조건에서 수행되었으며 시험 종료 후에는 규정된 조건으로 기체 수소를 투입한 결과 모든 시료는 허용된 범위 내에서 기체 수소를 안정적으로 감지하였다.

Fig. 12에서 Fig. 15는 각 평가별 결과이다. y축은 센서의 출력값(V)이고 x축은 평가에 사용된 센서들의 번호이다.

Fig. 12는 온도 사이클 시험 전후의 출력값을 보여주고 있다. 시험 후 출력값은 초기 출력값에 비해 평균 -0.7%의 변화를 보여 온도 사이클 시험 이후에도 성능의 변화가 거의 없음을 확인할 수 있다.

Fig. 13은 시료별 충격 시험 전후의 출력값이다.

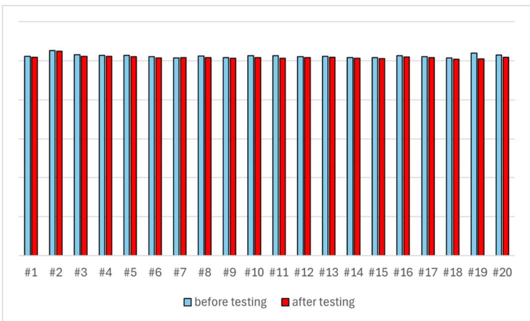

Fig. 12. Results of the thermal cycling test

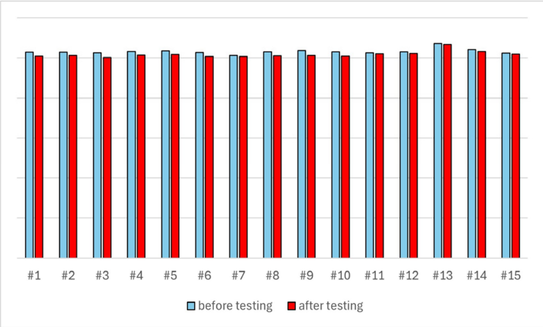

Fig. 13. Results of the impact test

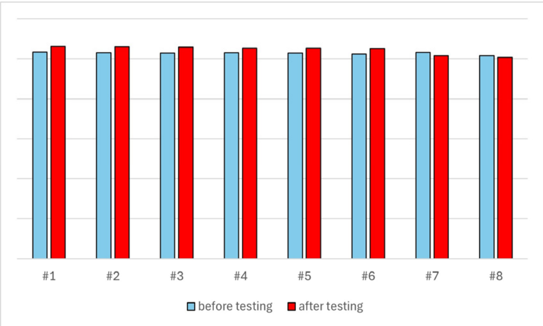

Fig. 14. Results of the salt spray test

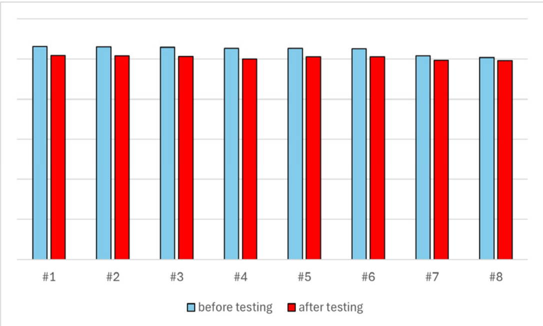

Fig. 15. Results of the dust test

시험 후 출력값은 초기 출력값에 비해 평균 -1.4%의 변화를 보여 시료가 충격 시험 이후에도 성능의 변화가 거의 없음을 확인할 수 있다.

Fig. 14는 시료별 염수 분무 시험 전후의 출력값이다. 시험 후에 출력값은 초기 출력값에 비해서 평균 +1.7%의 변화를 보이고 있어 충격 시험 이후에도 성능의 변화가 거의 없음을 확인할 수 있다.

Fig. 15는 시료별 먼지 시험 전후의 출력값이다. 먼지 시험 후에 출력값은 초기 출력값에 비해서 평균 -3.7%의 변화를 보이고 있어 다른 시험 결과에 비해 조금 큰 변화를 보여주고 있지만 규격을 만족한다. 이로써 본 연구를 통하여 개발된 열전도식 수소 센서는 규정된 온도 사이클, 기계적 충격, 염수 분무, 먼지 평가를 통해 규정된 성능 기준을 모두 만족하며 기체 수소를 안정적으로 감지하였으며 이러한 평가를 통해 개발된 수소 센서의 성능을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

연료전지 시스템에서 수소 센서는 수소 누출을 감지하여 사전에 안전을 확보하기 위하여 필수적으로 사용되는 제품이다. 이러한 수소 센서는 수소 저장 시스템, 연료전지 스택 및 운전 장치 시스템에 위치하여 수소 누출이 발생되면 즉시 감지하여 상위 제어기로 신호를 보내야 한다. 본 연구를 통하여 개발된 열전도식 수소 센서는 다양한 평가 조건을 모두 만족함으로써 연료전지 시스템용 센서로 적합함을 확인하였다. 이를 정리하면 다음과 같다.

1) 본 연구를 통해 개발된 열전도식 수소 센서는 규정된 온도 사이클 평가, 기계적 충격 평가, 염수 분무 평가, 먼지 평가를 통해 성능 기준을 모두 만족하였다.
2) 이에 따라 해당 센서는 연료전지 시스템에서 요구되는 기준을 충분히 만족하며 자동차용 연료전지 시스템뿐만 아니라 건설용 및 발전용 연료전지 시스템 등에 확대 적용할 수 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-지역지능화혁신인재양성사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다(IITP-2025-RS-2020-II201741).

References

1. G. J. Yong, K. B. Lee, and H. B. Kwon, "Study of KMVSS for hydrogen fuel cell vehicle", Journal of Auto-vehicle Safety Association, Vol. 6, No. 2, 2014, pp. 72-77. Retrieved from https://koreascience.kr/article/JAKO201432853255173.pdf.
2. J. H. Yu, D. W. Kim, J. H. Kim, K. S. Jeong, Y. B. Kum, S. H. Kim, and D. K. Ahn, "Study on the electric insulation characteristics in a fuel cell vehicle", Journal of Hydrogen and New Energy, Vol. 23, No. 2, 2012. pp. 150-155, doi: https://doi.org/10.7316/KHNES.2012.23.2.150.
3. H. K. Kim, Y. M. Choi, S. H. Kim, J. H. Shim, and I. C. Hwang, "The evaluation of hydrogen leakage safety for the high pressure hydrogen system of fuel cell vehicle", Journal of Hydrogen and New Energy, Vol. 23, No. 4, 2012. pp. 316-322, doi: https://doi.org/10.7316/KHNES.2012.23.4.316.
4. S. D. Han, "Review and new trends of hydrogen gas sensor technologies", Journal of the Korean Sensors Society, Vol. 19, No. 2, 2010, pp. 67-86, doi: https://doi.org/10.5369/JSST.2010.19.2.067.