

## 수소 복합스테이션 실증기반 운영데이터 모니터링 분석 연구

김동환 · 박송현 · 구연진 · 김필종<sup>†</sup> · 허윤실

한국가스안전공사 가스안전연구원

### A Study on Analysis of Operation Data Monitoring Based on Demonstration of Hydrogen Refueling Station

DONG-HWAN KIM, SONG-HYUN PARK, YEON-JIN KU, PIL-JONG KIM<sup>†</sup>, YUN-SIL HUH

Hydrogen Research Division, Korea Gas Safety Corporation, 1390 Wonjung-ro, Maengdong-myeon, Eumseong 27738, Korea

<sup>†</sup>Corresponding author :  
jpotato@kgs.or.kr

Received 4 October, 2019  
Revised 4 December, 2019  
Accepted 30 December, 2019

**Abstract >>** According to the “hydrogen economy roadmap” announced recently by the government, fuel cell electric vehicle diffusion and hydrogen refueling station construction are actively being carried out to prepare for the hydrogen economy era. The station will be expanded by introducing various charging station models such as hydrogen complex charging station, package, and mobile. Accordingly, the study on the safety demonstration of the charging station and related regulations should be compromised. The purpose of this study is to collect monitoring data during charging according to the distinct four seasons in Korea, and to use it as safety demonstration data by analyzing the charging status, charging rate and charging time during charging.

**Key words :** Hydrogen refueling station(수소충전소), FCEV (fuel cell electric vehicle, 수소전기차), SOC (충전율), Renewable energy(재생에너지), Fueling time(충전시간)

## 1. 서론

최근 미국에 영하 40°C의 한파, 호주에는 46°C에 이르는 폭염 등 이상기후가 심각해지면서 세계 각국에서 지구온난화의 주범인 온실가스 배출을 줄이기 위한 행동에 적극적으로 움직이며 2021년부터 발효되는 파리기후협정에 합의하였다<sup>1)</sup>. 이에 온실가스 감축을 목표로 기존 화석연료를 대체할 신재생에너지로 저장성과 효율성이 높은 친환경 무공해 에너지

수소가 주목받고 있다.

국내에서는 기존 규제를 면제하거나 유예시켜주는 규제 샌드박스 1호로 ‘도심 수소충전소 설치’가 승인됨에 따라, 도심 내 수소충전소 구축이 가능해짐으로써 수소사회를 선도하기 위한 기술 개발 및 보급이 활발히 이루어지고 있다<sup>2)</sup>.

수소사회 선도를 위해서는 수소전기차 보급 및 수소인프라 구축이 필수요소이고, 이와 함께 충전소 안전확보를 위한 연구도 병행되어야 한다. 국내에서는

2005년 수소충전소(경기 용인) 구축을 시작으로 현재 전국에 수소충전소 30개소 이상 운영 중에 있으나, 수소충전소에서 충전 중 fuel cell electric vehicle (FCEV)의 데이터 분석 연구는 미흡한 실정이다<sup>3)</sup>.

수소전기차는 약 70 MPa의 압력으로 수소를 충전·사용하며, 이를 안전하게 충전하기 위해 필요한 방법들을 정한 것이 충전 프로토콜이다. 세계 최초의 수소전기차 충전 프로토콜은 미국의 Society of Automotive Engineers (SAE)에서 제정·시행하고 있는 J2601 (fueling protocols for light duty gaseous hydrogen surface vehicles)로 경량자동차(light duty vehicles)에 수소를 충전할 경우에 적용하고 있다.

국내의 경우 봄, 여름, 가을, 겨울의 4계절과 각 계절에 따른 기온, 기후 변화 등을 갖고 있으며, 연중 최고/최저 기온이 50℃ 이상으로 온도 변화를 나타내는 등 충전 프로토콜(SAE J2601)을 개발한 미국과는 환경이 매우 다르기 때문에, 국내 환경에 적합한 충전소 모니터링 시스템이 필요하다<sup>4)</sup>.

본 연구에서는 국내 4계절의 기후 특성에 따른 충전소 핵심데이터를 선정·수집하여 이를 분석하고 실증데이터에서 발생 가능한 특이사항을 분석하고자 한다. 핵심데이터 수집 대상으로 선정한 수소충전소는 광주광역시에 위치하고 있는 동곡 복합수소충전소(2018)로, 기존 CNG 충전소 부지 내에 “수소 융·복합 충전소 시설기준 특례(산업부 고시 제2016-3호)”에 따라 구축된 수소+CNG 복합충전소이다. 수소충전소에서 수소전기차 충전 중 FCEV 온도/압력 변화,

충전을 변화에 따른 충전시간, 주변 온도별 충전특성 현상분석 등을 분석해 향후 수소충전소 안전관리 시스템으로 에너지안전실증연구센터에 구축될 수소충전소 모니터링 시스템의 평가 항목으로 도출하고자 한다.

## 2. 수소스테이션 운영 모니터링 데이터 분석

### 2.1 수소충전소 구성

일반적인 수소충전소의 구성은 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있으며, 고압가스안전관리법에서 정의한 저장설비, 압축설비, 압축가스설비, 충전설비로 구성된다. 동곡 복합수소충전소에서는 저장설비로부터 인입된 수소가 아이오닉 압축기를 통해 압축가스설비에 약 87-90 MPa의 압력으로 충전되며, 하루 50대의 차량을 충전할 수 있도록 설계되었다. 압축가스설비로부터 차압에 의해 디스펜서를 통해 차량에 약 70 MPa의 압력까지 충전한다<sup>5,6)</sup>.

### 2.2 수소충전소 핵심데이터 구성

계절별 충전 특성을 확인하기 위하여, 수소충전소에서 수소전기차를 충전하는 과정에서 차량에 영향을 미칠 수 있는 주요 인자 8종을 핵심데이터로 선정

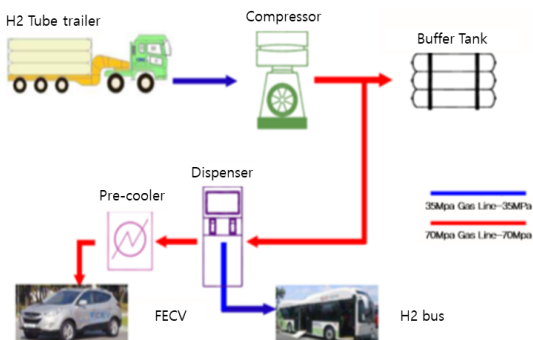


Fig. 1. Schematic of hydrogen fueling station

Table 1. Hydrogen station monitoring data

Equipment	Component	Description
Dispenser	Press_disp (Bar)	Dispenser pressure
	Temp_disp (℃)	Dispenser temperature (hydrogen temperature)
FCEV	Press_IR (Bar)	Vessel pressure
	Temp_IR (℃)	Vessel temperature
	SOC_IRb (%)	SOC
etc.	Mass total (kg)	Hydrogen mass
	APRR (MPa/min)	Average pressure ramp rate
	Fueling time (sec)	Fueling time

FCEV, fuel cell electric vehicle; IR, infrared ray; SOC, state of charge.

하여 분석하였다. 선정된 주요 핵심데이터로는 충전 설비인 디스펜서의 압력/온도, 충전기 적외선(infrared ray, IR) 통신을 이용해 수집되는 차량용기의 내부 압력, 온도, 충전율, 충전량, 평균압력상승률, 충전시간이 있다(Table 1)<sup>7)</sup>.

핵심데이터는 차량별 충전 시 매 1초 단위로 수집하였으며, 충전 과정의 데이터 변화와 특성을 분석하였다.

### 2.3 충전 중 실증데이터 분석

Fig. 2는 수소충전소에서 수소전기차를 충전 시 (2018. 12. 25) 나타나는 핵심데이터의 변화에 대한 예시를 나타낸 그림이다. 수소전기차의 연료공급시간은 약 3분 정도이며, 시작시간(startup time), 주요 연료공급시간(main fueling time), 연료공급종료시간(shutdown time)으로 구분할 수 있다.

수소전기차에 수소가 공급되기 전에 반드시 연료 공급누출검사를 통해 누출 여부를 확인해야 한다. 이는 시작시간(startup time)에서 디스펜서 압력이 급상승하는 구간인 connection pulse로 특성이 나타났다. 누출검사 후 수소가 디스펜서에서 수소전기차 압력

용기로 충전되는 주요 연료공급시간(main fueling time)이 시작되어 충전율(state of charge, SOC)이 95-100%에 해당하는 압력에서 연료공급을 종료한다<sup>8)</sup>.

충전율은 차량압력용기 공칭작동압력(표준온도 15°C)에서의 밀도에 대한 수소저장시스템 수소 밀도 비율로 식 (1)과 같이 가스 밀도를 기준으로 계산하여 백분율로 표현한다<sup>8)</sup>.

$$SOC (\%) = \frac{\rho (P, T)}{\rho (NWP, 15^{\circ}C)} \times 100 \quad (1)$$

35 MPa 및 15°C에서 H35 밀도=24.0 g/L  
70 MPa 및 15°C에서 H70 밀도=40.2 g/L

J2601 적용대상은 70 MPa로 충전할 때 2-10 kg까지 적용할 수 있도록 되어 있으며 온도(주위온도, 연료온도, 수소전기차 용기온도) 및 압력(시작압력, 최종압력) 등의 충전조건을 만족하지 못하면 안전을 위해 5초 이내에 신속하게 충전을 중단하도록 하고 있다<sup>8)</sup>. Fig. 2는 시작시간(startup time)에서 연료공급 누출검사 후 수소공급이 개시되었으며, 시작압력 173 bar (initial pressure)에서 최종압력 776 bar (final pressure)로 충전하여 95.8%의 충전율, 4.4 kg의 수소

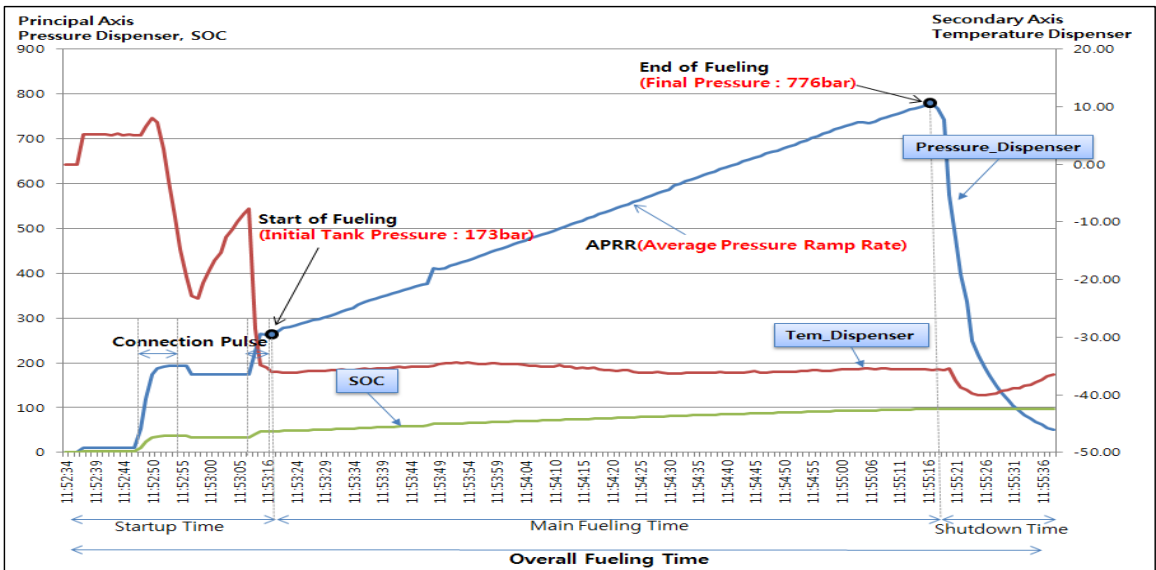


Fig. 2. Real time data during charging. SOC, state of charge

충전량을 보였다.

### 2.4. 수소충전량에 따른 핵심 데이터 분석

Figs. 3-8 데이터는 2018년 12월 광주 동곡 복합 수소충전소에서 수집한 핵심데이터로 수소충전량, SOC, 디스펜서 압력/온도, IR 통신으로 수집한 수소 전기차 압력용기 압력/온도를 분석하였다. 수소충전

소에서 수소전기차를 충전 시 주위온도가 같을 때 수소충전량을 변수로, 핵심데이터를 Table 2에 정리 하여 나타내었다.

수소전기차의 압력용기에 있는 잔여수소량은 수소충전소에 방문하는 차량마다 대부분 다르며 Fig. 3에서는 충전 중 수소전기차의 수소충전량을 나타냈다. FCEV-3, FCEV-4의 경우, 수소전기차 압력용기내의 수소를 대부분 사용하여 각각 4.59 kg, 4.47 kg의 충

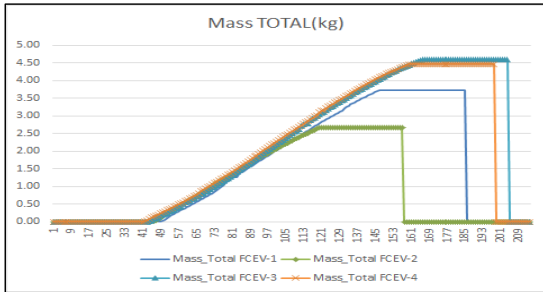


Fig. 3. Mass total (kg) for each FCEV

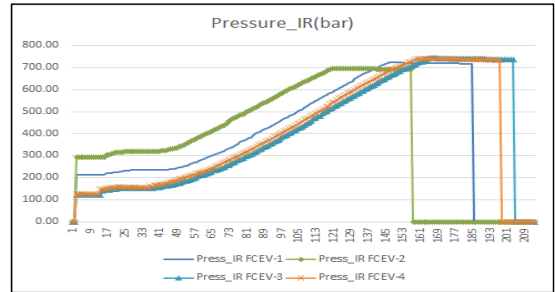


Fig. 6. Pressure IR (bar) for each FCEV. IR, infrared ray; FCEV, fuel cell electric vehicle

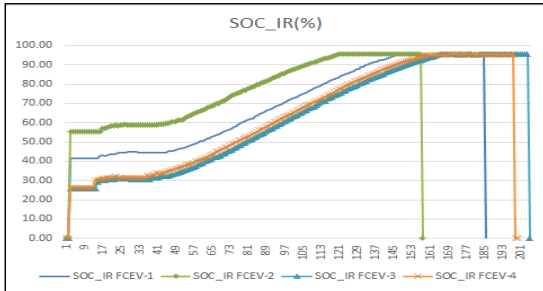


Fig. 4. SOC (%) for each FCEV. IR, infrared ray; SOC, state of charge; FCEV, fuel cell electric vehicle

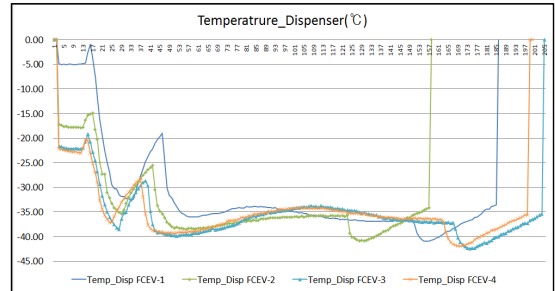


Fig. 7. Temperature dispenser (°C) for each FCEV. FCEV, fuel cell electric vehicle

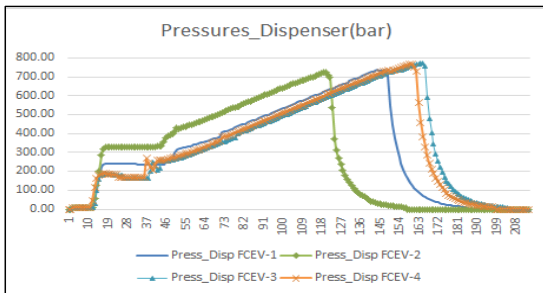


Fig. 5. Pressure dispenser (bar) for each FCEV. FCEV, fuel cell electric vehicle

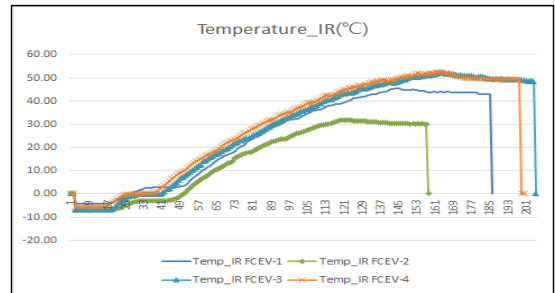


Fig. 8. Temperature IR (°C) for each FCEV. IR, infrared ray; FCEV, fuel cell electric vehicle

전량을 나타내었고, 기존에 수소잔량이 많이 존재하여 충전량이 작은 FCEV-2의 경우, 2.67 kg으로 적은 수소충전량을 보였다. 수소충전량에 따라 수소충전량이 적은 수소전기차의 경우, 충전시간(main fueling time)이 짧게 나타났다. Fig. 4에서 나타난 SOC는 실험

**Table 2.** FCEV data result & J2601 allowable range

No.	Item	Result	Allowable range (J2601)
1	Ambient temperature	1.1°C	-40°C< <50°C
2	Hydrogen temperature (dispenser temperature)	-40°C< <-33°C	-40°C<
3	Vessel temperature (tank temperature)	45.5°C	-40°C< <85°C
4	Initial pressure	17.3 MPa	0.5 MPa<
5	Final pressure	77.6 MPa	<87.5 MPa
6	SOC	95.8%	<100%

SOC, state of charge.

**Table 3.** Data result according to charge

	FCEV-1	FCEV-2	FCEV-3	FCEV-4
Start time of fueling	48 sec	45 sec	42 sec	41 sec
Final time of fueling	148 sec	121 sec	166 sec	160 sec
Main fueling time	100 sec	76 sec	124 sec	119 sec
Mass total	3.74 kg	2.67 kg	4.59 kg	4.47 kg
SOC	96.39%	95.53%	95.53%	95.29%
Initial pressure_IR	241 bar	328 bar	160 bar	172 bar
Final pressure_IR	724 bar	695 bar	743 bar	740 bar
Vessel temperature (max)	45.5°C	31.8°C	52.3°C	52.4°C
Hydrogen temperature range	-33°C to -37°C	-34°C to -39°C	-37°C to -39°C	-34°C to -39°C

SOC, state of charge; FCEV, fuel cell electric vehicle; IR, infrared ray.

제 충전 중 데이터를 확인한 결과로 J2601에서 목표로 하는 충전율 95-100%로 모두 만족하였다. Fig. 5에서 나타난 디스펜서 압력은 충전시작시간(startup time)에 연료공급누출검사로 connection pulse가 발생하였고, 이후 연료공급이 개시되었다. 또한 시작압력(initial pressure)은 충전잔량에 따라 충전잔량이 적을수록 낮은 압력으로 충전을 시작하며, 최종압력(final pressure)은 과압범위인 87.5 MPa를 초과하지 않고 목표압력에 도달하여 충전을 완료한 것으로 측정되었다. 주요연료공급시간(main fueling time)에서 수소의 온도는 -40°C~-33°C의 범위 내로 측정되었고, 수소전기차 압력용기 온도는 최고온도 52.4°C로 측정되어 과열조건인 85°C를 초과하지 않고 프로토콜을 만족하였다.

이처럼 주위온도가 같을 때 수소충전량에 따른 핵심데이터 측정 결과를 Table 3에 나타냈고, 수소충전소에서 수소전기차 충전 중 실증데이터를 분석하여 SOC, 충전량에 따라 충전시간, 충전 중 차량압력용기 내 압력의 상관관계를 확인하였다.

## 2.5 주위온도에 따른 핵심 데이터 분석

국내는 봄/여름/가을/겨울이라는 뚜렷한 4계절을 가지고 있어, 지역에 따라 여름과 겨울 온도 차이가 50도 이상 차이 나는 곳이 있다. 이에 기상청 날씨누리에서 제공하는 광주의 연중 온도를 분석하여, Hot/Normal/Cold 3가지 조건으로 측정된 온도를 Table 4에 나타냈고, 각 조건에 따른 수소전기차 충전 중 핵심

**Table 4.** Temperature data in Gwangju<sup>9)</sup>

Condition	Hot	Normal	Cold
Date	2018.08.07	2018.09.27	2018.12.28
Average temperature	30.0°C	19.1°C	-4.9°C
Highest temperature	36.6°C	25.3°C	-1.3°C
Lowest temperature	28.0°C	13.6°C	-7.0°C

데이터의 변화를 분석하고자 하였다.

기온변화에 따른 핵심데이터를 확인하기 위하여 같은 수소충전량을 충전한 데이터를 선정하여 SOC, 디스펜서 및 수소전기차 압력용기의 온도/압력 변화를 Figs. 9-14에 나타냈고, 측정치는 Table 5에 나타냈다.

수소충전량이 같을 때 주위온도에 따른 충전시간의 변화를 Fig. 9에서 나타내었다. 충전소에서 기온

및 압력에 따라, 수소 공급을 수소전기차 압력용기 온도의 한계인 85°C를 초과하지 않도록 천천히 주입하기 때문에<sup>4)</sup> cold 조건과 hot 조건에서 주요연료공급 시간(main fueling time)은 2배 이상 차이가 나는 결과를 나타내었다.

J2601 프로토콜에서는 주위온도 20°C, 초기 압력 10 MPa, 최종 SOC 95% 등의 조건을 제시하여, 해당 조건에서 충전시간 3분 혹은 그 이하를 목표로 제시

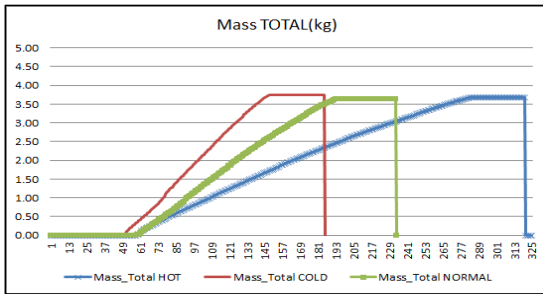


Fig. 9. Mass total (kg) result according to ambient temperature

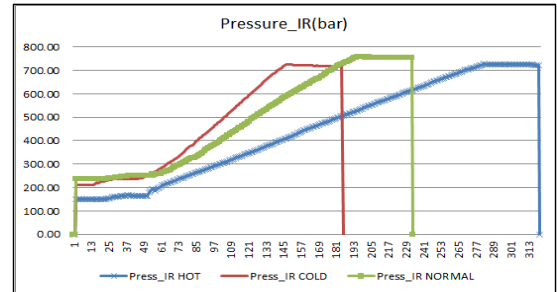


Fig. 12. Pressure\_IR (bar) result according to ambient temperature. IR, infrared ray

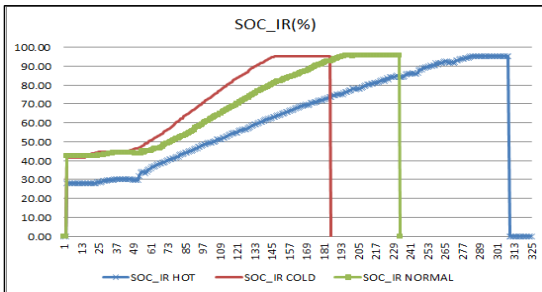


Fig. 10. SOC (%) result according to ambient temperature. SOC, state of charge; IR, infrared ray

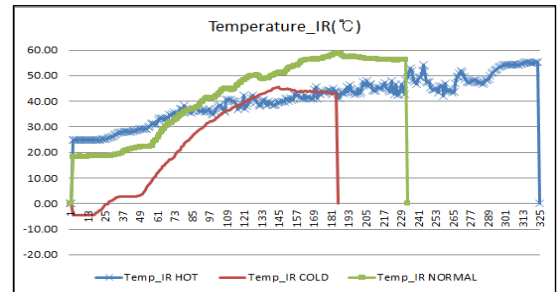


Fig. 13. Temperature\_IR (°C) result according to ambient temperature. IR, infrared ray

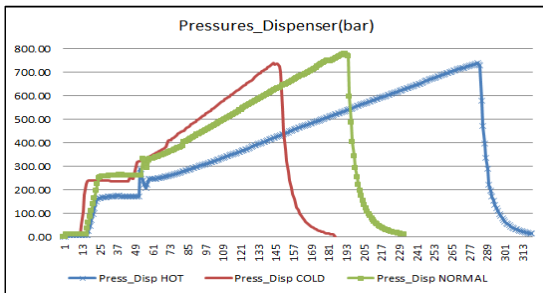


Fig. 11. Pressure\_dispenser (bar) result according to ambient temperature

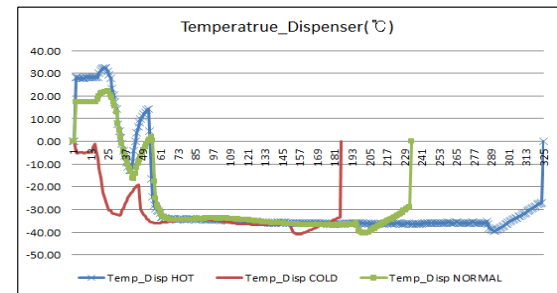


Fig. 14. Temperature\_dispenser (°C) result according to ambient temperature

하고 있다. 충전시간은 주위온도, 초기압력, 수소가스유량 등에 의해 결정되고 더운 날의 경우, 충전소에서는 수소차 압력용기의 과온온도 85°C를 초과하지 않도록 천천히 충전한다.

**Table 5.** Data result according to ambient temperature

Condition	Hot	Normal	Cold
Start time of fueling	59 sec	59 sec	48 sec
Final time of fueling	284 sec	233 sec	148 sec
Main fueling time	225 sec	174 sec	100 sec
Mass total	3.68 kg	3.64 kg	3.74 kg
SOC	95.97%	97.65%	96.39%
Initial pressure_IR	197 bar	259 bar	241 bar
Final pressure_IR	725 bar	752 bar	724 bar
Vessel temperature (max)	55.3°C	54.8°C	45.5°C
Hydrogen temperature range	-33°C to -37°C	-33°C to -39°C	-33°C to -37°C

SOC, state of charge; IR, infrared ray.

**Table 6.** Hydrogen station monitoring system evaluation item

No.	Item	Result	Judgement
1	IR communication	On	Y / N
2	Ambient temperature	-40°C<real time data <50°C	Y / N
3	Hydrogen Temperature	-40°C<real time data	Y / N
4	Vessel Temperature(max)	Real time data < 85°C	Y / N
5	Initial pressrue	Real time data < 0.5 MPa	Y / N
6	Vessel pressure	Real time data < 87.5 bar	Y / N
7	SOC	Real time data < 100%	Y / N

IR, infrared ray; SOC, state of charge.

광주 복합수소충전소에서의 hot 조건에서는 압력용기의 온도가 이미 주변온도의 영향으로 충전 초기 온도가 이미 높아져 있는 상태로 pre-cooler를 통해 수소의 온도를 낮추어 천천히 충전을 진행하여 충전시간이 225 sec로 길어지는 것을 Fig. 13에서 확인할 수 있다.

또한 충전시간과 관계없이 충전율은 95% 이상, 최종 충전압력은 충전성능목표인 70 MPa 이상, 과압범위인 87.5 MPa 이내로 충전된 것으로 측정되었다. 이처럼 수소충전소에서 충전 시에는 충전량, 충전압력, 기온(주변온도) 등 다양한 변수들이 서로 상관관계를 가지고 있는 것을 확인하였다.

### 3. 결론

수소경제시대 시대를 준비하며 국내에서는 수소충전소가 활발히 구축되고 있으며 수소충전소 안전성 확보도 병행되어야 한다. 이에 따라 수소충전소 안전성 확보를 위하여 실증기반 충전데이터를 기반으로 수소전기차 충전규격인 SAE J2601 프로토콜의 적합성을 검토하였고 그 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

수소전기차 충전 시, 수소충전량 및 주변온도에 따라 충전시간, 충전율, 디스펜서 및 수소전기차 압력용기의 압력, 온도 등의 상관관계를 확인하였다. 또한 충전압력의 과압조건인 87.5 MPa, 용기온도의 과열조건인 85°C, 충전율 100%를 초과하지 않고 J2601 조건을 만족하고 있는 것으로 분석되었다.

향후 수소충전소 모니터링 센터에 Table 6과 같은 실시간 데이터를 확인할 수 있는 결과를 접할 수 있도록 구성하여, 측정된 실시간 데이터에 이상이 있을 경우 충전소 및 안전관리자가 신속히 이상을 감지하여 안전조치를 취할 수 있을 것으로 기대된다.

국내에서는 아직 수소충전소 관련 실증기반 모니터링 데이터 분석이 없는 상황에서 본 연구가 우리나라에서 구축된 수소충전소 안전성 확보를 위한 기술개발 및 안전기준 확보를 위한 정보를 제공함으로써 기초자료로 활용될 것으로 기대되며, 수소경제의

인프라인 수소충전소에 대한 안전 홍보에도 기여할 것으로 예상된다.

## 후 기

본 연구는 산업통상자원부 및 에너지기술평가원의 에너지안전기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다(20162220100180. 수소 용·복합스테이션 위험성 평가 및 연구).

## References

1. H. R. Kim, S. K. Kang, Y. S. Huh, and J. S. Moon, "Analysis for Design and Operation requirements of Overseas hydrogen station", The Korean Institute of gas, 2017, pp. 36. Retrieved from <http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07280767>.
2. D. H. Kim, Y. J. Ku, S. H. Park, P. J. Kim, and Y. S. Huh, "A Study on Real Time Monitoring Data Analysis of CNG-Hydrogen Combined Fueling Stations", Korean society for energy, Vol. 2019, No. 5, pp. 156.
3. Y. S. Huh and S. K. Kang, "A Study on the Standard for Expansion of HRS", Korean society for energy, 2019, pp. 148. Retrieved from <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE08632764#>.
4. SAE J2601, "Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles", USA, 2014. Retrieved from [https://www.sae.org/standards/content/j2601\\_201407/](https://www.sae.org/standards/content/j2601_201407/).
5. J. S. Moon, Y. S. Huh, J. H. Park, S. K. Kang, P. J. Kim, and S. I. Hwang, "Hydrogen refueling station reference manual", Korea gas safety corporation, 2018.
6. kgS FP217, "Facility/Technical/Inspection Code for Vehicles Refueling by Type of Compressed Hydrogen Delivery", Korea Gas Safety Corporation, 2019.
7. P. J. Kim, D. H. Kim, Y. J. Ku, S.H. Park, and Y. S. Huh, "A Study and Institutionalization on Hydrogen Multi Energy Fueling Station : Operation Monitoring and Empirical Analysis", The Korean Society for Energy, 2019, pp. 151. Retrieved from <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE08632767>.
8. ISO (2018). Gaseous hydrogen. Fuelling stations (ISO-FDIS 19880-1). Retrieved from <https://www.iso.org/standard/71940.html>.
9. Korea Meteorological Administration. "weather information". Retrieved from [http://www.weather.go.kr/weather/climate/past\\_cal.jsp?stn=156&yy=2018&mm=12&obs=1&x=16&y=4](http://www.weather.go.kr/weather/climate/past_cal.jsp?stn=156&yy=2018&mm=12&obs=1&x=16&y=4).