

LPG-수소복합충전소 운영데이터 모니터링 분석

박승현 · 김동환 · 구연진 · 김필중[†] · 허윤실

한국가스안전공사 가스안전연구원

(2019년 11월 2일 접수, 2019년 12월 11일 수정, 2019년 12월 13일 채택)

Analysis of Operation Data Monitoring for LPG-Hydrogen Multi-Fueling Station

Songhyun Park · Donghwan Kim · Yeonjin Ku · Piljong Kim[†] · Yunsil Huh

Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

(Received 2 November 2019, Revised 11 December 2019, Accepted 13 December 2019)

요 약

최근 수소충전소 수요 증가에 따라, 산업통상자원부는 LPG, CNG, 주유소 등 기존의 자동차용 연료공급시설 내에 융합, 복합의 형태로 수소충전소 설치가 가능하도록 특례고시를 제정·공포하였다. 수소 융복합충전소는 특례기준 제정 이전까지 국내에서 운영된 사례가 없어, 4계절, 일교차와 같은 환경특성을 감안한 실증이 필요하다. 본 연구에서는, 국내 최초로 실증을 위해 설치된 울산 LPG-수소복합충전소의 충전데이터를 수집하여 분석하였다. 충전데이터는 압축기, 저장용기, 디스펜서에서 발생한 시간별 온도, 압력 데이터이며, 계절별 특성을 비교하기 위해 2018년 7월 중 울산 지역의 최고기온 일과 2018년 1월 중 최저기온 일을 포함하여 4계절 충전데이터를 수집하여 비교하였다. 비교결과, 외기온도의 변화가 수소차 차량용기의 초기온도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 최종적으로 차량의 충전시간과 충전속도에도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 국내 수소충전소 기준(KGS FP217)과 미국의 충전프로토콜(SAE J2601)에서 제시한 한계온도를 초과한 경우는 없어 차량용기에 대한 영향은 없는 것으로 나타났다.

주요어 : 수소융복합충전소, 수소차, 저장용기

Abstract - In response to the recent increase in demand for hydrogen stations, the Ministry of Trade and Industry has enacted and promulgated special notifications to enable the installation of hydrogen stations in the form of the combined complex in existing automotive fuel supply facilities such as LPG, CNG, and gas stations. Hydrogen multi energy filling stations haven't been operated yet in Korea till the establishment of special standards, so it is necessary create special standards by considering all Korean environmental characteristics such as four seasons and daily crossings. In this study, we collected and analyzed the charging data of Ulsan LPG-Hydrogen Multi Fueling Station installed for the first time in Korea. The data are hourly temperature and pressure data from compressors, storage vessels and dispensers. We used the data collected for a year, including the highest temperature and the lowest temperature in Ulsan to compare seasonal characteristics. As a result, it was found that the change of the outside temperature affects the initial temperature of the vehicle's container of the hydrogen car, which finally affects the charging time and the charging speed of the vehicle. There was no effect on vehicle containers because the limit temperature suggested by the Korean Hydrogen Station Standard(KGS FP217) and the US Filling Protocol(SAE J2601) was not exceeded.

Key words : Hydrogen multi energy filling station, Fuel Cell Electric Vehicle, Storage container

[†]To whom corresponding should be addressed.

Tel : +82-43-750-1398 E-mail: jpotato@kgs.or.kr

1. 서론

화석연료의 사용량이 점차 증가함에 따라 이산화탄소를 비롯한 온실가스들의 배출이 더욱 심화되고 있으며, 이는 기후변화와 더불어 자연 및 인간사회 시스템에 광범위하고 심각한 영향을 미친다. 이러한 이유로 전 세계는 온실가스 감축을 위해 노력하고 있다.⁽¹⁾ 대한민국 정부는 2015년 UN이 주관한 파리 기후변화 회의에서 2030년까지 전망치(BAU) 대비 37%의 온실가스 감축 목표를 제시하였다.⁽²⁾ 이로 인해 수소, 태양광 등 친환경에너지를 중심으로 하는 정부 정책이 수립되어 오고 있다. 친환경에너지 중 수소는 이산화탄소를 줄일 수 있는 것과 더불어 석유화학단지 등에서 발생하는 부생수소와 화석연료 개질, 수전해 등의 공정을 이용해 많은 양을 확보할 수 있다. 또한, 이미 국내에서 수소차 양산을 하고 있기 때문에 정부에서 수소사회로 진입하기 위한 많은 정책을 수립하고 있다.

2019년에는 산업통상자원부에서 ‘수소경제 활성화 로드맵’을 발표하였으며, 2022년까지 수소차 8.1만대, 수소충전소 310개소 구축을 목표로 제시하였다. 그러나 2019년 10월 기준으로 가동 중인 수소충전소는 36개소로 매우 부족한 실정이다.⁽³⁾ 수소충전소 구축이 부진한 이유로는 좁은 국토로 인한 부지확보 및 보호시설과의 안전거리 확보가 쉽지 않기 때문이며, 충전소 구축을 위해 소요되는 기간과 비용이 높기 때문이다. 정부는 이러한 문제를 해소하고 수소충전소를 빠르게 구축하기 위해, 2016년 5월에 수소 용복합충전소와 패키지형 충전소의 구축이 가능하도록 특례고시를 제정·공포하였다. 용복합충전소는 부지확보를 원활하게 하기 위해 기존 연료공급시설인 주유소, LPG, CNG 충전소에 수소충전소를 설치·운영하는 것이며, 패키지형 충전소는 수소충전소 설비를 컨테이너 등에 미리 설치하여 현장에서 빠르게 사용할 수 있도록 한 것이다.⁽⁴⁾

정부의 이러한 정책으로 2017년 9월, 국내 최초로 울산시에 LPG와 수소를 모두 충전할 수 있는 옥동 LPG수소복합충전소가 개소하였다. 용복합충전소는 인프라의 빠른 확산을 위해 방호벽 설치에 따른 안전거리 완화 등 설치기준이 일부 변경되었는데, 이러한 조치의 적정성 확보를 위해 실증을 추진하고 있다. 실증의 내용은 안전거리 완화에 대한 실험적인 접근을 위한 제트화재, 방호벽 및 폭압시험과 4계절 변화와 같은 국내 환경특성에 따른 영향을 분석하기 위한 실시간 운영데이터 수집 및 분석이다. 실증의 결과는 고압가스안전관리법 시행규칙 등 수소충전소와 관련된 기준을 개선하기 위해 사용되어질 예정이다.

본 연구에서는 수소 용복합충전소의 운영데이터를

수집, 분석하여 국내 환경특성에 따른 영향과 이를 통한 국내 제도 개선 방안의 수립에 활용하고자 한다.

2. 이론적 배경 및 충전소 실증 개요

본 논문에서 제시하는 충전소 실증 대상은 2017년 9월에 완공되어 운영 중인 옥동LPG수소복합충전소이다.(Fig. 1) 수소충전소 실증을 위해 충전소와 관련된 제도, 설비 및 수소차 충전절차를 이해할 필요가 있다. 또한 충전소와 수소차의 특성을 나타낼 수 있는 데이터를 선정·수집하여 이를 분석하고자 하였다.

2-1. LPG-수소 복합충전소

서론에서 언급하였듯이 본 연구의 실증대상은 옥동LPG수소복합충전소이다.(이하 “옥동충전소”라 한다.) 옥동충전소는 기존의 LPG 충전소에 수소충전소를 설립한 것으로 용복합충전소 구축을 위해 제정된 특례고시를 따르고 있다. 특례고시는 그 근간을 고압가스안전관리법과 KGS FP216, 217에 두고 있어 수소충전소 구축시 안전거리 등 일부 변경된 기준을 제외하고 일반 수소충전소와 동일한 설비와 충전절차를 갖는다.⁽⁵⁻⁷⁾ 용복합충전소는 기존의 연료에서 수소를 추출하는 제조식 수소충전소의 형태로 KGS FP216을 따르며, 옥동충전소와 같은 복합충전소는 저장설비를 통해 외부로부터 수소를 공급받아



Fig. 1. LPG-Hydrogen Multi-Fueling Station

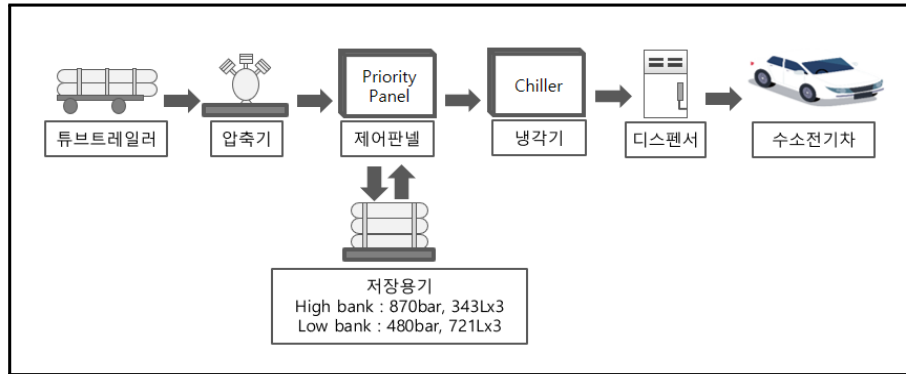


Fig. 2. Components and refueling process of hydrogen station in ulsan

Table 1. List of data acquisition for HRS monitoring

	Tag	Tag Description
Compressor	Comp_Dis Temp	Compressor discharge temperature after cooling
Storage container	High Bank	High bank pressure
	Low Bank	Low bank pressure
Dispenser	FCEV Pressure	FCEV pressure
	FCEV Temperature	FCEV temperature

운영되므로 저장식 수소충전소 기준인 KGS FP217을 따른다.

수소충전소에서 수소차를 충전하기 위한 설비 및 수소의 이동경로를 Fig. 2에 나타내었다. 옥동충전소는 복합충전소이기 때문에 Fig. 2에서 나타낸 것과 같은 약 150~200(bar)의 튜브트레일러(저장설비)를 통해 외부에서 생산된 수소를 공급받으며, 이를 압축, 냉각하여 최종적으로 수소차에 공급한다.

2-2. 수소충전소 운영데이터 선정 및 수집

충전소에서 수소차를 충전하기 위해 압축기를 통해 약 800(bar) 이상의 압력으로 압축하여 저장용기에 저장한 후 수소차에 차압방식(cascade)으로 충전하게 된다. 이때 수소는 줄-뜸슨 효과에 의해 수소차 용기의 온도를 상승시키게 되고, 85℃ 이상의 고온이 형성되면 용기의 내구성에 영향을 미치게 된다. 이러한 이유로 국내 기준과 미국의 SAE J2601(수소차 충전프로토콜)에서는 충전시 수소차 용기의 온도가 85℃를 넘지 않도록 하고 있다. 충전프로토콜에는 온도상승을 방지하기 위해 수소를 미리 -40℃로 냉각하여 공급하도록 하고 있다. SAE J2601 충전 프로토콜은 수소용기의 온도, 압력 등을 측정하여 충전속도를 조절하고, 최종적으로 수소차 충전률(SOC, State of Charge) 95% 이상을 도달한 후 충전을

종료시킨다. SAE J2601 프로토콜에서 제시하는 충전률 목표는 95% 이상이다. 디스펜서의 충전노즐에는 적외선통신 기능이 있으며, 이를 통해 수소차 용기의 온도, 압력 등 상태를 충전소로 피드백하여 충전이 정상적으로 이루어지도록 한다.

본 연구에서는 수소충전소 운영과 관련된 실증 데이터 분석 항목으로 저장용기의 압력, 수소차의 차량용기 온도, 차량용기 압력 등을 데이터로 선정하였다.(Table 1 참조) 수소차를 충전하는 과정에서 압력이 상승하는 부분과 온도가 상승하는 부분이 위험을 초래할 수 있다. 따라서 분석을 위해 수집하는 운영데이터를 이와 관련된 압력, 온도를 측정하였다. 주요설비인 압축기, 저장용기, 디스펜서의 온도, 압력 데이터를 초당 1회씩 기록하도록 하였다.

3. 모니터링 데이터 분석

3-1. 수소차 충전절차에 대한 압력 특성 분석

옥동충전소에서 수소차 충전시 압력용기와 수소차 용기의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 옥동충전소는 약 870(bar)로 수소가 압축되어 있는 고압 압력용기(High pressure bank)와 약 480(bar)로 압축된 저압 압력용기(Low pressure bank)를 통해 수소차를 충전한다. 수소차 충전시 먼저 저압 압력용기를 통해

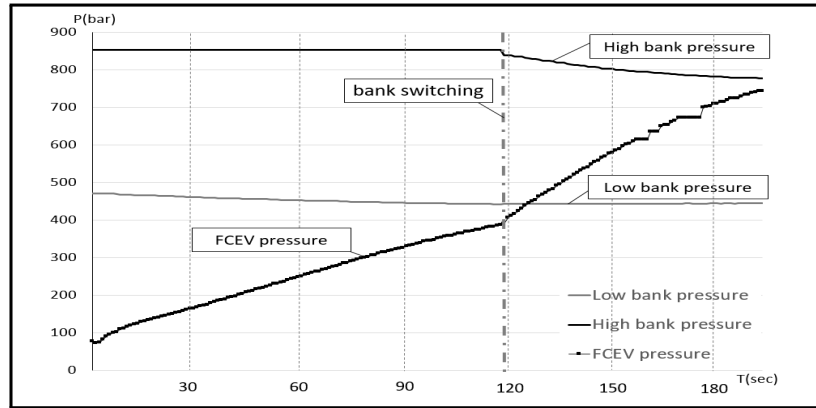


Fig. 3. Pressure characterization for hydrogen fueling process

Table 2. Temperature data in ulsan

	Winter	Spring	Summer	Fall
Date	'18.01.26	'18.04.09	'18.07.16	'18.10.07
Average temperature	-7.8℃	12.6℃	30.2℃	20.2℃
Highest temperature	-2.1℃	18.3℃	36.1℃	25.7℃
Lowest Temperature	-12.4℃	7.8℃	25.7℃	16.8℃

약 400(bar)까지 수소차에 공급하고 이후 고압 압력 용기를 통해 700(bar) 이상의 압력으로 충전된다. Fig. 3에서 수소차 용기의 압력이 상승되는 초기에는 고압 압력용기의 압력에는 변화가 없고, 저압 압력용기의 압력만 낮아지게 된다. 수소차 용기 압력이 약 400(bar) 이상이 되면 고압 압력용기의 압력이 낮아지며 수소차 용기의 압력이 급격히 상승하게 된다. 이렇게 저압 압력용기에서 고압 압력용기로 전환하는 상태를 확인할 수 있으며, 이때 유속이 변화하거나 일시적인 연료공급 중단이 일어나는 뱅크스위칭 현상이 나타난다.⁽⁸⁾

3-2. 외기온도에 따른 충전 특성 분석

앞서 설명한 것과 같이 대한민국은 4계절이 뚜렷한 특성이 있으며, 여름과 겨울의 기온차가 크기 때문에 수소 충전시 발생할 수 있는 특성에 대해 분석하였다. 먼저 울산지역의 기온변화를 파악하기 위해 기상청의 기온데이터를 사용하였다.⁽⁹⁾ 최저기온은 1월에 측정된 -12℃이며, 최고기온은 7월에 측정된 36℃로 약 48℃가량 차이를 보인다. 봄과 가을의 기온은 여름, 겨울의 평균 수준으로 큰 온도 차이를 보이지 않았다. 계절별 특성비교를 위해 2018년 7월 중 울산 지역의 최고기온 일과 2018년 1월 중 최저기온 일을 포함한 총 4일의 충전데이터에서 임의로 4대를 선정해 비교하였다. 충전데이터

는 압축기, 저장용기, 디스펜서에서 발생한 시간별 온도, 압력 값이며, 외기온도는 Table 2에 나타났다.

3-2-1. 차량용기 온도 변화

수소차 충전 중 차량용기 온도와 외기온도의 상관관계를 분석하였다. Fig. 4는 수소차 충전에 따른 외기온도별 차량용기 온도 변화를 나타낸 것이다. 디스펜서로부터 측정된 차량 용기 온도를 Table 2의 기온데이터와 비교해 본 결과, 수소차 용기 초기온도와 외기온도가 유사한 것을 확인할 수 있었다. 이는 수소차 용기 온도가 외부온도에 영향을 받고 있는 것을 의미한다. KGS FP217에 의하면, 차량용기 온도는 85℃를 초과하지 않아야 하며, SAE J2601에서 기술하고 있는 온도 범위는 -40℃~85℃이다. Fig. 4와 같이 수소차 용기 온도는 모두 85℃를 초과하지 않아 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 각 외기온도에 따른 충전 특성은 변화가 있는 것으로 나타났다. 이를 분석하기 위해 가장 특성 변화가 크게 나타난 1월과 7월의 데이터를 비교해 보았다. 우선 충전시간은 가장 더운 7월의 경우 평균 350초가 소요되었으며, 기온이 가장 낮은 1월은 평균 180초가 소요되었다. 충전시간에 차이가 나는 이유는 더운 날씨에 차량에 연료공급을 하는 경우 차량의 초기 용기 온도가 30℃ 이상이며, 높은 외기온도로 인한 열교환기(Pre-cooler)

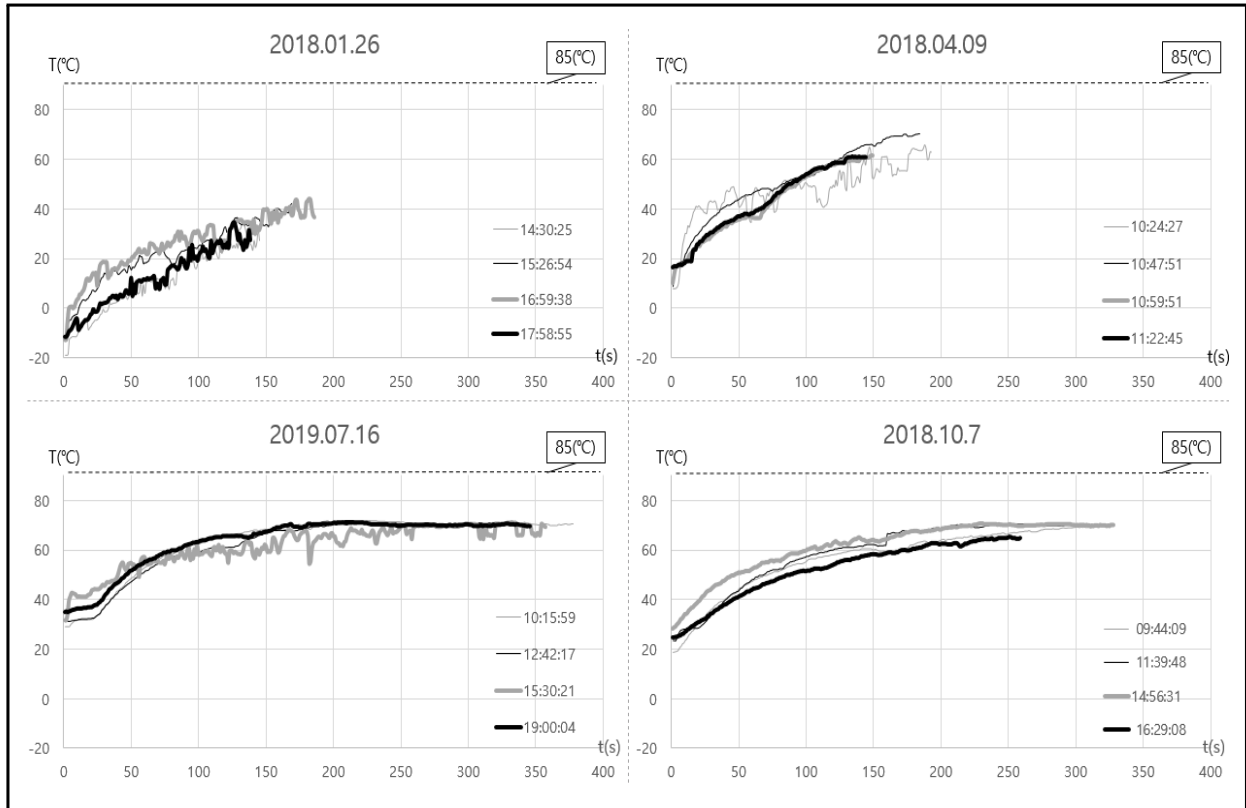


Fig. 4. Temperature variation of vehicle container by Ambient Air Temperature

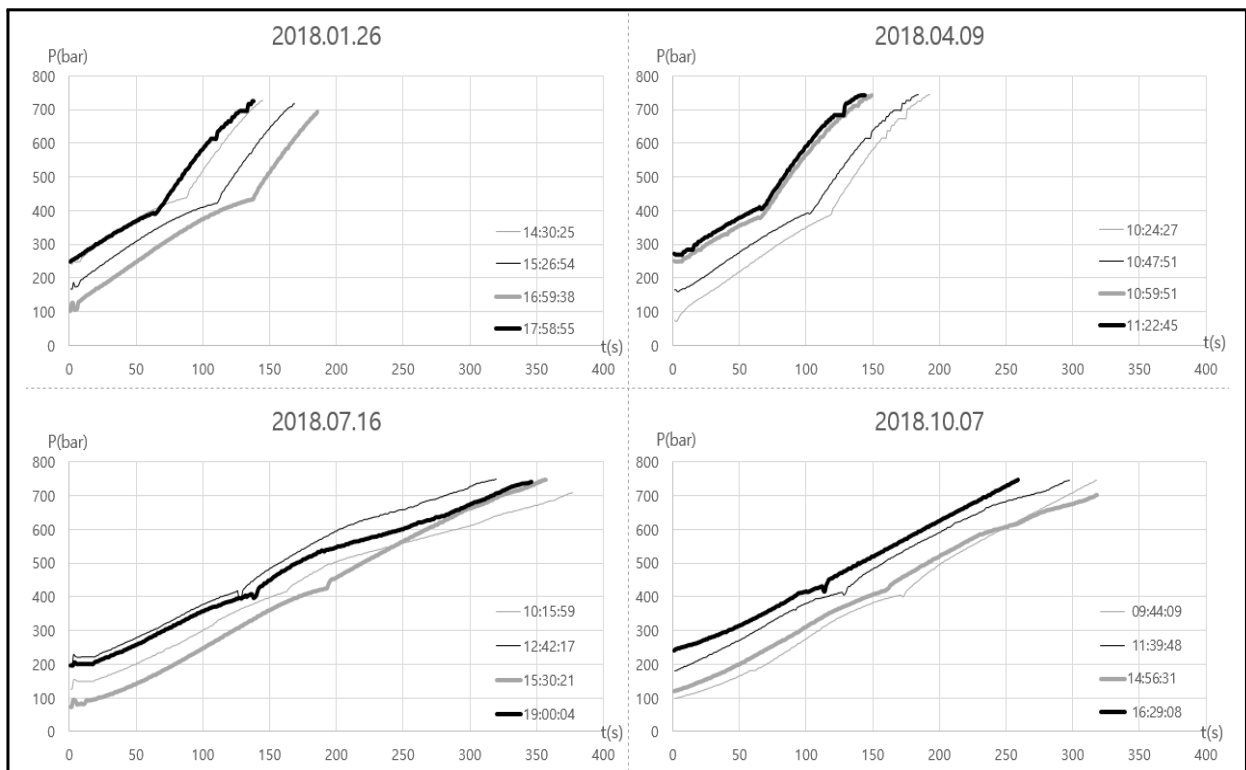


Fig. 5. Variation of vessel pressure by ambient air temperature

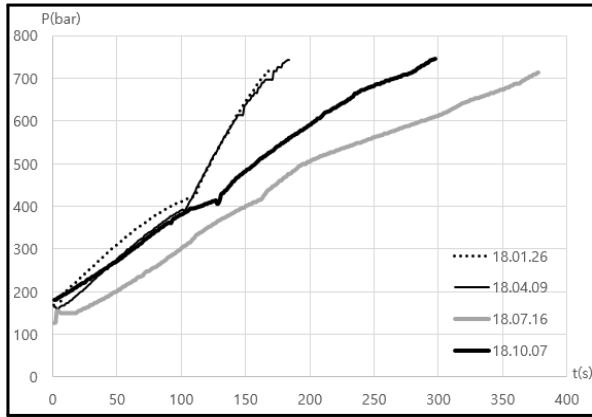


Fig. 6. Comparison of pressure rise rate with seasonal changes

에서의 부하로 프로토콜에 의해 단위압력 상승당 충전속도를 겨울철보다 느려지게 하여 온도상승을 억제하게 된다. 충전데이터의 온도 그래프가 선형으로 일정하지 않고 증감을 반복해서 나타나는 현상도 이러한 이유로 판단된다.

3-2-1. 차량용기 압력 변화

Fig. 5는 수소차에 수소를 충전하는 동안 차량용기의 압력 변화를 나타낸 것으로, Fig. 4와 동일하게 날짜별로 측정된 데이터이다. 수소차의 초기 차량압력은 충전시간에 영향을 주고 있으나, 외기온도 수준이 유사한 동일한 날짜에 충전한 데이터를 보면 초기압력조건에 관계없이 그래프의 기울기가 유사한 것을 확인할 수 있다. 이는 동일한 온도조건에서 초기압력조건에 관계없이 유사한 속도로 충전되는 것을 의미한다.

외기온도의 변화가 충전속도에 미치는 영향을 확인하기 위해 초기의 차량용기 압력이 약 180(bar) 정도로 유사한 경우에 대해 충전속도를 비교해 보았다.(Fig. 6 참조) 그 결과, 초기 차량압력이 유사한 경우일지라도 외기온도에 따라 충전시간이 서로 다른 것으로 나타났다. 외기온도가 낮은 1월(겨울철)에 충전시간이 가장 짧았으며, 외기온도가 가장 높은 7월(여름철)에 충전시간이 가장 길었다. 이는 같은 초기압력일지라도 외기 온도에 따라 차량 용기의 초기 온도가 달라지고, 여름철과 같이 초기온도가 높은 경우 상한 온도(85℃)까지 여유가 없기 때문에 충전속도를 늦춰 온도상승을 억제하기 때문이다. 이로 인해 여름철에는 겨울철보다 충전속도가 느려지게 된다. 국내 충전소 기준에는 충전속도에 대한 언급이 없으나 SAE J2601에 의하면 충전시간 3분을 목표로 하고 있다. 그러나 옥동충전소의 경우 여름철 충전시간이 5~7분 정도로 많이 소요되고 있는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 국내의 4계절 변화가 수소차 충전에 미치는 영향을 분석하기 위해 LPG수소복합충전소의 충전데이터를 수집하고 이를 분석하였다. 충전영향 분석을 위해 수소충전소의 주요설비인 압축기, 저장용기, 디스펜서, 차량 등의 온도, 압력데이터를 초당 1회의 속도로 수집하였으며, 이를 날짜별, 계절별로 비교하여 보았다. 또한 정상적인 충전 여부를 판단하기 위해 고압가스안전관리법, KGS FP217(저장식 수소충전소 기준) 등 국내 기준과 미국의 SAE J2601 충전프로토콜 내용을 토대로 검토하여 보았다.

충전데이터 분석 결과, 국내 4계절 변화는 수소충전에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 외기온도에 의한 차량의 온도상승을 억제하기 위해 프로토콜 상에서 더운 여름철에는 충전속도를 느리게 하여 압력과 온도 상승을 기준에 만족하도록 유지하였으며, 차량의 초기 온도가 낮은 겨울철에는 충전속도가 여름대비 2배가량 빨랐음에도 최종 용기온도가 여름철보다 낮은 것으로 나타났다. 이는 초기온도가 낮을 경우 한계 온도와 차이가 커져 수소의 충전속도 및 온도상승이 빨라지더라도 영향이 없기 때문으로 판단된다.

현재 강원도 영월에 이러한 수소충전소 운영데이터를 실시간으로 분석, 모니터링하기 위한 센터가 구축되어 운영될 예정이다. 이를 통해 국내의 계절변화 등 다양한 환경조건에 따른 데이터의 실시간 분석을 통해 국내 제도 및 한국형 충전프로토콜 개발시 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

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

References

- 2019, The need for a hydrogen economy society, http://h2korea.or.kr/sub/sub02_01.php
- The 2030 National Greenhouse Gas Reduction Roadmap, 2018, Ministry of Environment
- Roadmap for activating hydrogen economy, 2019, Ministry of Trade and Industry
- Park, J. W., et al., 2017, A study on site to build

- hydrogen multi energy filling station in domestic LPG station, KHNES, Vol. 28, No. 6, pp. 642-648
5. High-Pressure Gas Safety Control Act, 2018.
 6. KGS FP216, 2019, “Facility/Technical/Inspection Code for Vehicles Refueling by Type of On-Site Hydrogen Production”, Korea Gas Safety Corporation.
 7. KGS FP217, 2019, “Facility/Technical/Inspection Code for Vehicles Refueling by Type of Compressed Hydrogen Delivery”, Korea Gas Safety Corporation.
 8. SAE International, 2014, Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles
 9. The Meteorological Administration, 2019, <http://www.weather.go.kr>