



수소충전소의 수소판매량 분석 및 모델링

권 오 정* · 조 혜 진 · 정 효 희 · 명 광 재

광주그린카진흥원 사업운영부

Analysis and Modeling of Hydrogen Sales at Hydrogen Filling Stations

Oh-Jung Kwon* · Hye-Jin Jo · Hyo-Hee Chung · Kwang-Jae Myong

Department Comprehensive Business Management, Gwangju Institute of Green-car Advancement, 55 Jingoksandanjungang-ro,
Gwangsan-gu, Gwangju 62465, Korea

(Received 26 July 2018 / Revised 13 September 2018 / Accepted 27 October 2018)

Abstract : At present, public institutions must deal with limitations in increasing the number of hydrogen filling stations, and there are no private business partners because hydrogen filling stations are not considered commercial. However, the supply of a fuel cell electric vehicle(FCEV) in Korea has increased significantly in recent years, and is expected to increase rapidly in the future. Many researchers believe that the economic feasibility of hydrogen filling stations will improve because the supply of FCEV is expected to increase. This study is part of a techno-economic analysis to determine the feasibility of hydrogen filling stations that use hydrogen by-products. This paper has shown the sales patterns of actual consumers by analyzing the data on hydrogen sales volume. Then, the results were used to manage the inventory of hydrogen. Also, the proposed formula in this study can be used to calculate the expected sales of hydrogen if the increasing rate of FCEV is predicted. So, this formula can be used to create a model of the relationship between the increase in hydrogen-powered vehicles and the hydrogen filling station's economics.

Key words : Hydrogen filling station(수소충전소), By-product hydrogen(부생수소), Hydrogen sales volume(수소판매량), Techno-economic analysis(기술 경제 분석), Sales modeling(판매 모델링)

Nomenclature

SV : sales volume, kg
D : business day, day
C : visiting vehicle and car, cars

Subscripts

h : hydrogen
a : average
hfs : hydrogen filling station

1. 서 론

수소전기차(Fuel Cell Electric Vehicle; FCEV)는 동력을 얻으면서 배출되는 부산물이 물(H₂O)과 열밖에 없다는 특징¹⁾을 갖고 있고, 반응기체인 산소를 공기 중에서 얻기

위해 Blower와 공기정화 장치를 갖고 있는 특징^{2,3)} 때문에 미세먼지를 줄이는 대안으로 부각되어,⁴⁾ 친환경 자동차 보급⁵⁾에 중요한 부분을 차지한다.

이러한 수소전기차의 보급은 연료인 수소를 충전할 수 있는 수소충전소의 보급과 연동하여 성장되어야 한다. 그러나 수소충전소의 보급은 법규제가 정비되어 있지 않고, 수소전기차 보급이 초기 단계라 운행 차량이 적어 충전소 운영에 경제성이 없어 민간사업자가 수소충전소 건립을 하지 않고 있다. 다행히 올 해부터 광주, 창원, 울산 및 충청남도(제천)를 중심으로 지자체의 수소전기차의 보급 계획이 빠르게 늘어날 것으로 판단되어,⁶⁾ 수소충전소의 수익성도 개선될 것으로 전망된다.

현재는 지자체를 중심으로 수익성에 관계없이 수소충전소의 건립을 확대할 계획을 가지고 있으나, 민간에서 수소충전소를 건립하도록 유도하기 위해서는 충전소 부지와 설계에 대한 법규 검토와 함께 ‘기술 경제 분석

*Corresponding author, E-mail: gemini77@gigca.or.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

(Techno-economic analysis)’을 통해 수소차의 보급 확대에 따른 충전소의 수익성 개선 정도를 유추해야 한다.

본 연구에서는 지속적으로 법규 정비를 논의^{7,8)}하고 있는 부분은 제외하고, 수소전기차의 보급에 따라 수소충전소의 수익성이 어느 정도 개선될 것인지를 예측하기 위한 연구의 일환이다. 충전소의 수익성에 대한 연구는 여러 단계의 연구를 통해서 수행되어야 한다. 이번 논문에서는 그 첫 번째 단계로서 현재 운영 중인 부생수소를 이용한 수소복합충전소의 운영 현황을 바탕으로 소비자의 수소 구매 패턴을 분석하여 수소 판매량을 예측할 수 있는 방정식을 도출하였다. 제시한 수식은 충전소를 방문하는 수소전기차의 수를 주요 변수로 사용하였고, 실제 수소충전소의 운영 현황을 분석하여 수소전기차의 1회 수소충전량을 가정하였기 때문에 소비자의 특성이 반영된 수치라는 점이 특징이라 하겠다. 따라서 해당 수식은 수소전기차의 보급계획을 바탕으로 수소충전소의 예상 수소 판매수익을 계산하는데 사용하는데 적합할 것으로 판단된다.

2. 수소충전소 경제성 연구 사례

수소충전소의 연구 내용은 시스템⁹⁻¹²⁾ 구성에 대한 연구와 경제성¹³⁻¹⁹⁾ 분석에 대한 내용이 주를 이룬다. 그 중 수소충전소의 경제성 연구에 관한 내용을 일부 소개하면 다음과 같다.

Guerra 등¹⁵⁾의 연구에서는 스페인에서 수소전기차를 비롯하여 친환경 자동차들의 예상 판매량을 예측하고, 적정 수준의 충전소 개수와 충전소들의 위치 선정에 대한 연구를 수행하였다. 국내에서는 김봉진과 김종욱¹⁶⁾의 연구에서 국내 분산형 On-site 수소충전소의 규모의 경제성 문제를 연구하였고, 주요 변수로는 초기투자비, 연간 운영비, 수소 판매가격을 사용하였다. Gokcek과 Kale¹⁷⁾의 연구는 신재생에너지를 에너지원으로 활용하고, 125 kg/day의 수전해 장치를 이용한 수소충전소를 만들 경우의 기술경제분석(Techno-economic analysis)을 수행한 결과를 제시하였다.

2.1 수소전기차의 1회 충전량

수소충전소의 기술경제분석을 위해서는 연료인 수소의 판매수익을 필히 계산하여야 한다. 수소의 판매 수익은 수소 판매량에 수소 단가를 곱하여 구할 수 있다. 대다수 수소 판매량은 부피(Nm³)보다 중량(kg)으로 표기하며, 평균적인 차량의 1회 충전량과 충전 차량수(충전 횟수)를 곱하여 구한다.

수소판매량을 예측하기 위해서는 충전소를 방문하는

차량의 예측도 중요하며, 수소전기차가 수소에너지를 1회에 몇 kg을 충전하는지를 추정하는 일 또한 수소충전소의 제고 관리 및 수소판매량을 추정하여 수소충전소를 운영하는데 매우 중요한 인자이다. Brown 등¹⁸⁾의 연구에 의하면, 캘리포니아 수소 고속도로에 위치한 수소 충전소의 2007년부터 2011년까지의 시간별, 요일별, 년도별 수소 판매량을 분석한 결과, 해당 수소충전소는 2009년부터 25 kg/day인 충전소 설계 용량을 초과하는 일수가 80일을 넘어갔다. 이러한 현상은 수소전기차의 증가에 따라, 수소 판매량이 급증할 것이라는 예측을 못하여 나타난 결과라 판단된다.

현재 국내에서는 지자체를 중심으로 “수소전기차의 구매 보조금 지원 사업”을 수행하기 때문에, 충전 차량수의 증가폭에 대한 예측은 각 지자체의 수소전기차 도입을 위한 보조금 지원 계획을 바탕으로 유추하는 것이 바람직할 것이다.

반면, 차량의 1회 충전량은 각 연구마다 각자 다른 기준을 적용한다. 국내의 경우 수소전기차의 1회 충전량에 대하여 연구 및 분석한 결과는 없으며, 수소전기차의 탱크 사이즈를 감안하여 1회 충전할 때 5 kg을 충전한다는 다수의 국내 전문가 의견이 있다. 본 진흥원에서는 “진곡(Jingok) 수소충전소”를 1년 정도 운영 후 얻은 데이터를 바탕으로 4.5 kg/회를 가정하여 일 평균 충전소 방문차량을 곱하여 수소판매량을 예측해 왔다. 다른 연구 논문에서는 또 다른 가정값을 제시하는 경우가 있다. 김봉진과 김종욱¹⁶⁾의 연구에서는 수소전기차는 1회에 3 kg의 수소에너지를 충전하는 것을 가정하였다. 그리고, Gokcek과 Kale¹⁷⁾의 연구에서는 차량 한 대당 5 kg을 충전한다고 가정하여, 하루에 25 대의 차량을 충전하는 경우를 가정하여 경제성 분석 연구를 수행하였다.

선행 연구 조사에서 알 수 있듯이 수소전기차의 1회 충전량에 대한 가정 수치가 3~5 kg으로 그 폭이 컸다. 따라서 수소 판매량과 판매 수익에 대한 계산도 가정된 수치에 따라 큰 폭의 차이를 보일 수 있으므로, 실제 소비자의 특성이 반영된 1회 수소충전량에 대한 연구가 필요하다 판단되었다.

3. 수소충전소의 개요

광주광역시에서 수소전기차는 2018년 상반기 현재 95대가 운영 중이다. 올해 하반기에 추가로 112대 보급될 계획이며, 2019년에 500대, 2023년까지 추가로 6,500대를 도입할 계획이다. 수소전기차의 보급이 급격히 늘어나고 있어, 추가적인 수소 충전소의 건립이 시급한 상태이다. 이러한 환경 속에서 올해 3월에 동곡동(Donggok-



Fig. 1 Donggok CNG·Hydrogen combined filling station

dong)에 수소 튜브트레일러(Tube trailer)를 이용한 수소 충전소가 CNG 충전소 부지내에 설치되었고, 4월부터 운영되기 시작하였다.

다음 장에서 설명할 수소판매량에 대한 설명은 동곡 CNG·수소복합충전소(이하 동곡충전소(Donggok station), Fig. 1)의 데이터를 바탕으로 진행하였기에, 다음 장의 설명을 위해 필요한 충전소관련 내용과 운영 시간을 정리한다.

3.1 동곡 CNG·수소복합충전소

국내 1호 CNG·수소복합충전소인 동곡충전소는 부생 수소를 튜브트레일러 운송하는 방식의 수소충전소(Fig. 2)이며, 하루 50대의 차량을 충전할 수 있도록 설계되었다.

동곡충전소가 정상 운영됨에 따라 광주시는 일반인이 사용 가능한 수소충전소를 2기 확보하여, 1곳의 충전소에서 문제가 발생할 경우에도 지속적으로 수소전기차의 이용자에게 연료 공급이 가능한 구조를 구축하였다.

충전소 운영 시간은 월요일에서 목요일까지는 일과 시간에 맞춰져 있으며, 매주 금요일에는 오전 7시부터 오후 10시까지 충전소를 연장 운영하고 있다. 추가로 6월부터 매월 첫 주 토요일에는 오전 근무시간에 충전소를 운영하고 있다.

Table 1 Operating days of "Donggok CNG·Hydrogen combined filling station"

Day of the week	Time
Monday ~ Thursday	9:00 ~ 18:00
Friday	7:00 ~ 22:00
First Saturday of every month	9:00 ~ 12:00

4. 수소 판매량 분석 결과 및 논의

동곡충전소의 운영을 시작하면서 충전일시, 차종, 충전 시작 압력, 충전 후 압력, 충전량 등의 정보를 기록하였다. 이번 논문에서는 4월 1일부터 6월 30일까지의 데이터를 바탕으로 작성하였으며, 실증 차량은 광주시에서 운행 중인 수소전기차 95대를 고려하였다. 참고로 실제 충전소 이용객 중에서는 서울, 경기, 창원 등에서 온 관외 인원들도 약 5% 정도 있었음을 일러둔다.

4.1 수소충전소 운영 데이터 분석

동곡충전소를 운영하면서 판매한 수소와 이용현황을 Table 2, Fig. 3과 Fig. 4에 정리하였다.

충전소의 운영일은 4월 첫 주 시운전 기간과 공휴일을 제외하고 총 58일이었으며, 충전소에 방문한 차량은 총 319대, 판매한 총 수소량은 1180.556 kg이었다. 하루 평균 충전소에 방문한 차량 수는 5.5대였으며, 일 최고 기록은 22대가 방문하였다.

충전소에 방문하는 사람들의 소속 기관을 살펴보면 (Fig. 3), 수소전기차를 자가 소유한 경우나 카셰어링 업체를 통해 차량을 임대하여 사용하고 있는 개인(Citizen)이 전체 45%를 차지했으며, 카셰어링 업체인 "Jcar"에서 다음 고객이 사용하기 전에 수소를 미리 채워두기 위해서 찾아오는 경우가 26%를 차지하고 있다. 관공서에 해당하는 경우 광주시청 직원과 광주그린카진흥원(GIGA)

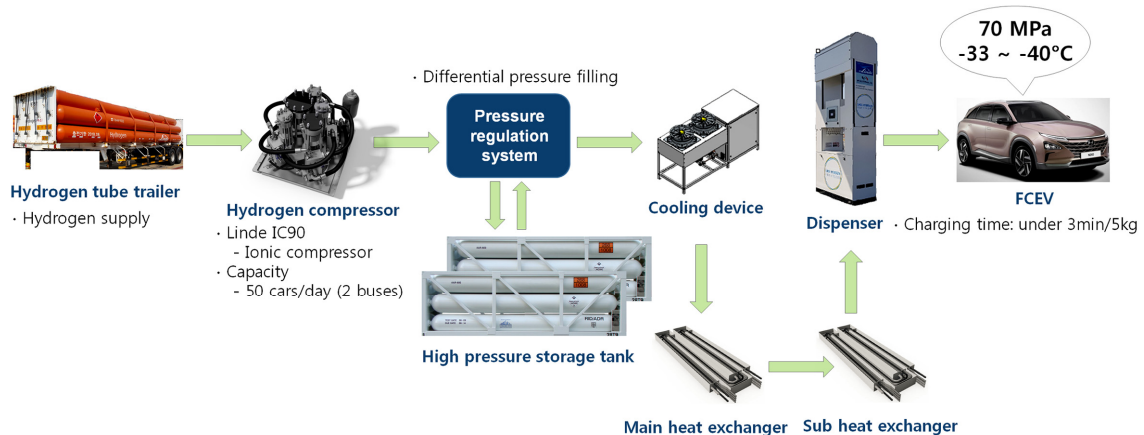
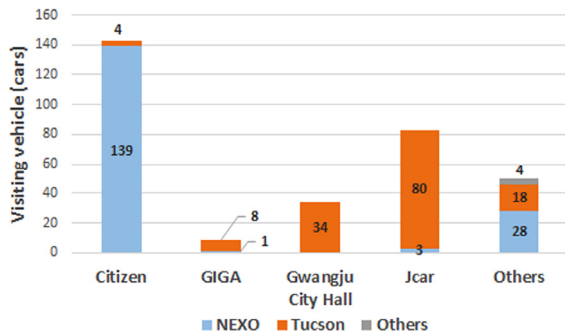


Fig. 2 Schematic diagram of "Donggok CNG·Hydrogen combined filling station"

Table 2 Analysis of the data of the hydrogen filling station

Item	Data
Average number of visiting cars per day	5.5 cars/day (without weekend)
Average hydrogen sales per day	20.354 kg/day (without weekend)
Average amount of hydrogen sales per car	3.736 kg/car
Maximum number of visiting cars per day	22 cars/day (Fri.)
Maximum hydrogen sales per day	85.257 kg/day
Maximum amount of hydrogen per car ^{*)}	3.875 kg/car
Total number of visiting car	319 cars (times)
Accumulate sum of hydrogen sales	1180.556 kg

* : Maximum hydrogen sales volume per day / Maximum number of visiting cars per day



*: Gwangju Institute of Green-car Advancement

Fig. 3 Visitor(institution) using hydrogen filling stations

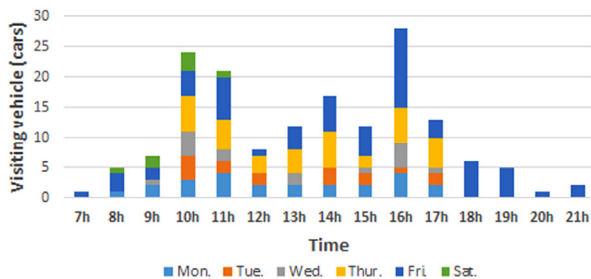


Fig. 4 Number of visiting vehicle by time and day of the week

직원이 14 % 정도를 차지하고 있었다.

개인은 NEXO를 사용하고 있었으며, 관공서와 카세어링 업체는 Tucson을 사용하고 있었다. 그리고 NEXO의 수소 충전량은 6.33 kg으로 Tucson의 5.4 kg 대비 약 1 kg의 수소를 더 충전 가능해 저서, 수소의 판매량도 더 많아

질 것으로 판단되었다.

충전소를 활용하는 요일과 시간대를 분석한 결과(Fig. 4), 금요일 오후 4시에 가장 많은 인원이 찾아오는 것으로 파악 되었다. 금요일에는 수소충전소가 연장 근무를 하는 날이며, 주말을 앞둔 시점에서 수소를 미리 채워두려는 경향이 반영되어 나타난 결과로 판단된다.

4.2 수소판매량 분석 및 모델링

동곡충전소의 수소판매량을 일별로 정리한 그래프는 Fig. 5와 같다. Fig. 5를 보면, 4월 7일까지는 충전소의 시운전 및 홍보 기간으로 차량 방문이 없었던 시기였으며, 6월 20일부터 ‘진곡수소충전소’의 수리를 위해서 가동을 멈춘 주간으로서, 동곡충전소에 방문차량이 증가하는 경향이 그래프 상에서도 알 수 있었다. 차량방문객이 가장 많았던 6월 22일의 경우 차량은 총 22대가 방문하였고, 수소는 약 85 kg을 판매하였다. 평균적으로 약 20 kg/day의 수소를 판매하였다.

일별로 판매한 수소 판매량을 충전소에 방문한 차량으로 나누어 차량 1대당 몇 kg씩 충전하는지를 분석한 그래프는 Fig. 6과 같다. 그래프에서 알 수 있듯이 일별로 계산한 차량 1대당 수소 충전량은 방문 차량이 증가하거나, Tucson과 NEXO와 같이 연료 탱크의 크기가 다른 차종이 들어오는 비율과 큰 차이 없이 약 3.736 kg을 충전하고 있음을 알 수 있었다.

일별로 분석한 차량 1대당 충전하는 수소의 양이 일정할 경우, 수소 판매량은 충전소에 방문하는 차량의 수와 비례할 것으로 판단되었다. Fig. 7은 동곡충전소에 방문한 차량의 수를 표현한 그래프이다. 그래프에서 알 수 있듯이 Fig. 5와 Fig. 7은 동일한 패턴으로 곡선을 그리고 있음을 알 수 있었다. 따라서 수소의 판매량을 예측할 때 하나의 수식으로 표현 가능하다고 판단되었고, 수식 (1)과 같은 함수를 도출하였다.

$$SV_h = 3.736 \times D_{a_hfs} \times C_{a_hfs} \quad (1)$$

정리하면, 수소 판매량(SV_h , kg) 예측 모델링 함수는 차량 1대당 수소충전량 약 3.736 (kg/car)에 충전소 운영일 수 (D_{a_hfs} , day)와 1일 평균 충전소 방문 차량 수 (C_{a_hfs} , cars/day)의 곱으로 표현하였다. 이때 비례 상수 3.736 kg/car는 충전소를 방문한 소비자의 패턴이 변경되면 수정될 수치이므로, 지속적으로 추적 관리가 필요하다 판단된다. 그러나 소비자의 패턴이 반영된 수치인 만큼 기존의 4.5 ~ 5 kg, 또는 3 kg으로 가정하여 수소충전소의 경제성 분석을 하였던 기존의 값을 3.5 ~ 4 kg 수준으로 계산하거나, 3.736 kg으로 가정하는 것이 더 바람직하다 판단된다.

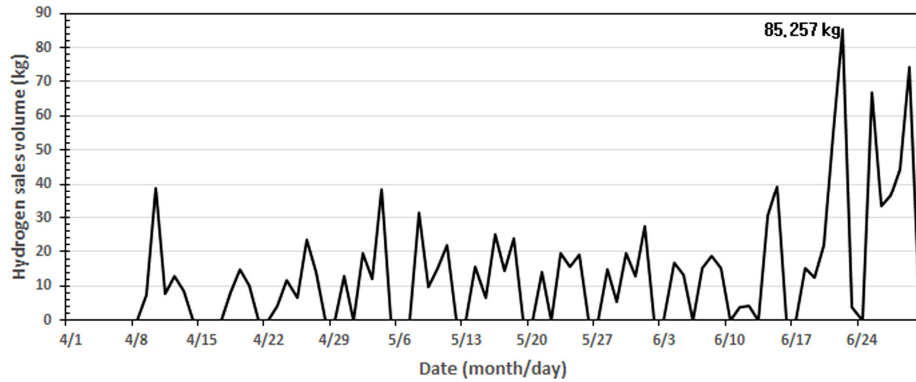


Fig. 5 Graph of the hydrogen sales at Donggok station

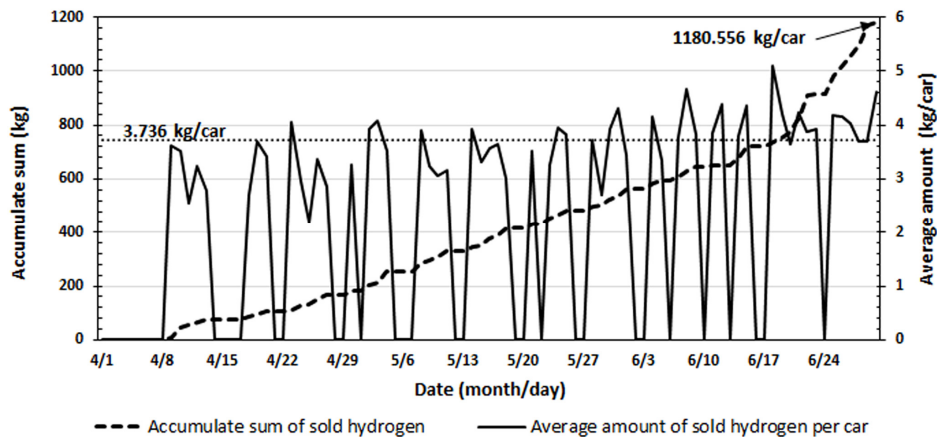


Fig. 6 Graph of the hydrogen sales at Donggok station

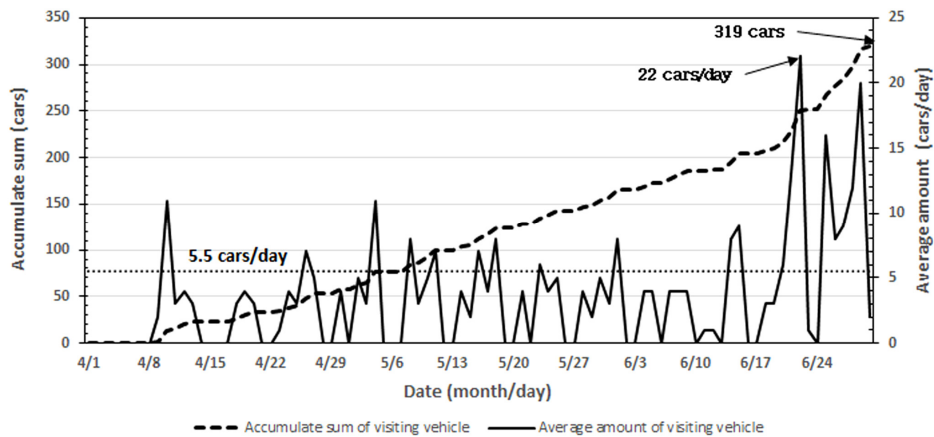


Fig. 7 Graph of the visiting vehicle at Donggok station

4.3 분석결과에 관한 논의(Discussion)

Fig. 4에서 아침 8시의 데이터를 분석해보면, 연장근무를 하는 금요일 아닌, 월요일과 토요일에 충전소를 방문하는 경우가 있는데, 이는 주말에 수소전기차를 사용하기 위하여 토요일 이른 시간에 미리 충전을 하거나, 주말 사용 후 월요일 출근 시간 전에 연료를 충전하는 경우이었다. 기관 근로자는 주말 근무에 한계가 있으므로, 주말

에 수소전기차를 이용하는 사용자를 위해서, 경제성 확보와 법 정비를 조속히 마무리하여, 민간에서 운영하는 수소충전소가 빠른 시일 내에 도입되어야 할 것이다.

또한 수소전기차를 이용하는 소비자가 약 3.736 kg/car의 수소만 충전한다는 의미는 약 1.5 kg 즉 충전 전 주행 가능한 거리가 150 km 이상이 남은 시점에서 수소 충전을 시도한다는 것을 의미할 것으로 판단되었다. 이를 분

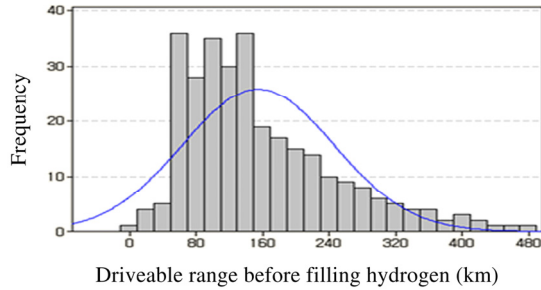


Fig. 8 Statistical analysis about the driveable range before filling hydrogen; at Donggok station

석하기 위해서 동곡충전소에 방문한 차량의 수소충전 전 주행 가능한 거리를 기록한 데이터를 분석한 결과(Fig. 8), 평균 155 km의 주행 가능한 연료를 가진 상태에서 충전소를 찾고 있음을 확인할 수 있었다.

또한 월별 충전일지를 작성하는 진곡수소충전소의 2015년부터 2018년까지의 데이터(Fig. 9, Fig. 10)와, 동곡충전소에서 측정한 수소판매량을 비교해 보았다. 진곡수소충전소에서 차량방문의 증가와 수소판매량의 증가 곡선은 유사한 형태로 나타났다(Fig. 9). 수소전기차가 13대 운영되던 2016년에는 봄에서 겨울까지(Fig. 9의 A부) 계절에 상관없이 월평균 126 kg 정도 수소를 판매하다, 2017년 동안 48대까지 수소전기차가 늘어나면서, 수소의 판매량도 차량 증가폭과 유사하게 증가하였다. 또한 2018년 겨울과 봄(Fig. 9의 B부)에는 수소판매량이 월 500 kg 정도를 유지하다, 4월부터 진곡의 수소 판매량이 절반 정도로 줄어드는 현상도, 계절적 특성이기 보다, 동곡충전소가 운영되면서 진곡충전소의 방문차량이 줄어 수소판매량이 줄어드는 현상으로 판단된다.

추가적으로 2015년부터 해당 월까지 판매한 ‘누적 수소판매량’에 ‘누적 방문차량수’를 나누어 본 데이터를 분석한 결과(Fig. 10), 진곡충전소의 운영 개월수가 증가하면서 1회 수소 충전량은 3.6 kg/car로 수렴해 가고 있음을 알 수 있었다. 이는 동곡 충전소의 일별 데이터인 3.736 kg/car와 유사한 결과임을 알 수 있었다.

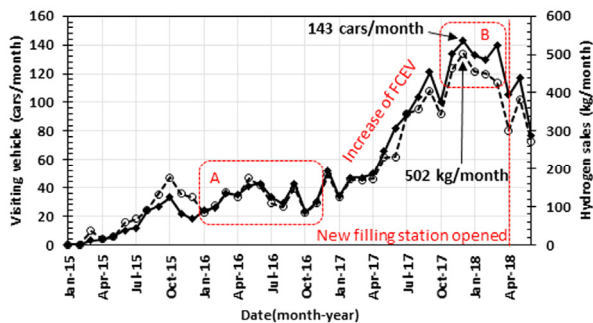


Fig. 9 Graph of the hydrogen sales at “Jingok hydrogen filling station”

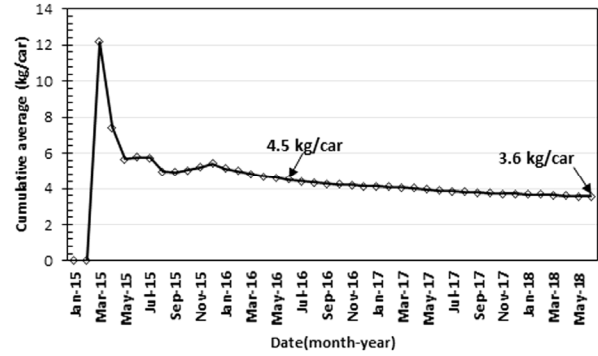
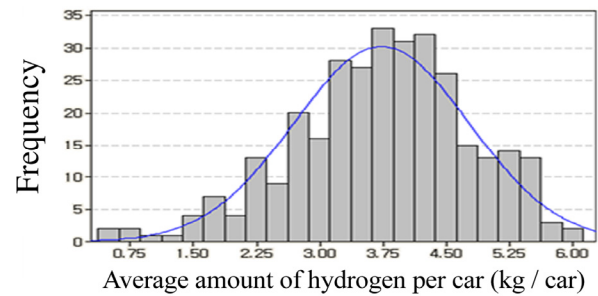


Fig. 10 Graph of the cumulative average of hydrogen sales at “Jingok hydrogen filling station”



Mean	3.736
A 95% confidence interval of mean	3.6203 ~ 3.8516
Variance	1.0915
Standard deviation	1.0447

Fig. 11 Statistical analysis about the average amount of hydrogen sales per car at Donggok station

이때 동곡충전소의 1회 수소충전량 3.736 kg/car은 평균값으로서, 오차 범위를 갖고 있으므로, 평균값의 ‘95 % 신뢰구간’을 계산해 보았으며, 차량 한 대당 수소충전량은 95 % 신뢰구간에서 최소값은 3.6203 kg/car, 최대값은 3.8516 kg/car 이었다(Fig. 11).

수식 (1)에 평균의 ‘95 % 신뢰구간’을 반영하고, 1년간 충전소 운영일은 250일로 가정한 후, 현재 광주에서 계

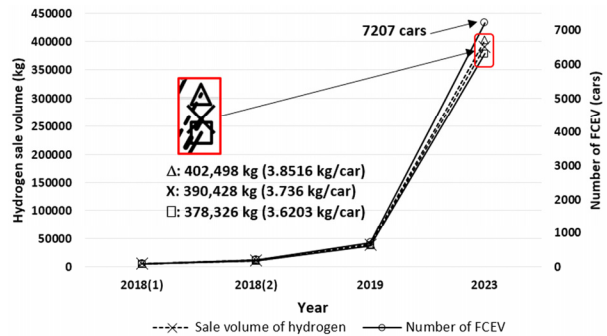


Fig. 12 Prediction of hydrogen sales by growing number of FCEV at Donggok station

확하고 있는 수소전기차를 도입하기 위한 지원사업 규모를 적용하여 향후 수소판매량을 예측해 보았다(Fig. 12). 이때 동곡충전소를 찾는 일 평균 방문 차량의 수가 5.5대이며, 현 광주시 내에서 운전 중인 수소전기차가 95대라는 점을 감안하여, 수소전기차의 보급 계획상의 차량 수에 5.8 %만 동곡충전소를 이용한다는 가정하에 예상 수소판매량을 계산하였다. 그 결과 2023년에는 연간 최대 402 ton, 최소 378 ton의 수소가 필요함을 알 수 있어, 동곡충전소의 증설도 고려해 보아야할 것으로 판단되었다.

5. 결 론

이번 연구에서는 수소충전소에서 수소의 설계 생산량 값은 적합한지, 충전하는 차량의 수와 수소 판매량간의 상관관계가 있는지 분석하여 수소충전소의 기술경제 분석을 위한 수소판매 수익 계산을 위한 기초 자료로 활용할 계획이다. 이번 연구에서는 수소 판매량과 충전소 방문 차량간의 패턴 분석이 상호 유사하고, 하루 기준으로 분석한 차량 1 대당 수소량이 일정함을 바탕으로 예상 수소판매량은 충전소의 운영일 수와 충전소 이용 차량 수를 곱하여 계산할 수 있음을 보였다. 이번 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 차량 1대당 평균 수소충전량은 일정한 경향을 보이며, 동곡충전소를 방문하는 승용차는 평균 3.736 kg/car를 충전하였다.
- 2) 실제 운전자는 155 km 정도 운행 가능한 거리를 남겨둔 상태에서 연료를 충전하는 경향을 보였다. 이는 수소충전소가 많지 않고, 충전소 운영 시간의 제약 때문에 미리 연료를 보충하려는 운전자의 심리에서 비롯된 것으로 판단되었다.
- 3) 수식 (1)에 시의 수소전기차 지원사업 규모를 반영하여 수소판매량을 예측한 결과, 현재 수소충전소의 보급계획이 수소전기차의 보급계획을 따라가지 못하는 것으로 분석되었다. 따라서 조속한 시일 내에 수소충전소의 추가 증설이 필요하다.
- 4) 현재와 같이 수소충전소의 보급이 지자체의 기관에서 주관할 경우, 주말에 수소를 구매하려는 소비자에 대응할 수 없으므로, 민간에서 운영하는 수소충전소 도입을 위한 제도 정비와 충전소의 경제성 확보 노력이 병행되어야 한다.
- 5) 현재 설계 중인 수소충전소의 설계 규모인 일일 50대 규모를 일일 100대 이상의 규모로 상향하여야 만, 2020년 이후의 수소 공급이 문제가 없을 것으로 판단된다. 앞서 언급했듯이, 충전소 방문 차량수와 1회 평균 충전량에 대한 데이터 분석은 지속적으로 수행하여, 데이터의 갱신(Update) 및 변화추이에 대한 연구도 지속할 것

이다. 또한 진곡충전소와 동곡충전소에서 수집하는 데이터 형태를 통일하여 데이터를 축적할 경우, 두 충전소의 요일과 충전시간에 대한 비교분석도 가능하여, 수소충전소 관제시스템 도입에 필요한 예비조사결과도 도출 것으로 예상된다. 추후 정기적인 수소버스의 운행이 시작되면, 버스에 대한 수소 충전량에 대한 연구도 수행할 계획이다.

후 기

이 연구는 산업통산자원부 에너지기술개발사업의 수소 융복합스테이션 위험성 평가 및 연구사업(과제번호: 20162220100180)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- 1) X. Zhang, O. J. Kwon and B. S. Oh, "A Design of the Cooling Channel in the Bipolar Plate of PEMFC Using Experimental Design Method," Transactions of KSAE, Vol.23, No.5, pp.545-552, 2015.
- 2) K. Chu, K. Jo, M. Sunwoo and S. Choi, "Optimization of Air Supply for Increased Polymer Electrolyte Fuel Cell System Efficiency," Transactions of KSAE, Vol.19, No.3, pp.44-51, 2011.
- 3) Hyundai Motor, NEXO Catalog of Hydrogen Electric Vehicles, p.4, 2018.
- 4) NICE, Trends of Government Research Policy, News & Information for Chemical Engineers, Vol.34, No.5, pp.485-493, 2016.
- 5) S. K. Heo, S. B. Yoon, B. S. Kim and S. H. Lee, "Trends of Diffusion and Development of Hydrogen Filling Stations and Fuel Cell Electronic Vehicles at Domestic and Overseas," Auto Journal, KSAE, Vol.40, No.4, pp.72-76, 2018.
- 6) J. K. Kim and S. W. Kwon, A Policy Research about Hydrogen Market Development for Refilling Hydrogen of the Fuel Cell Electrical Vehicle(FCEV), The Korea Institute for Energy Economics, pp.26-36, 2018.
- 7) W. W. Lee, Hydrogen Economy Law (Bill No. 12992), Personalized Legislative Contents Searching System, pp.4-8, 2018.
- 8) H. I. Lee, Hydrogen Economy Revitalization Act (Bill No. 13699), Personalized Legislative Contents Searching System, pp.3-9, 2018.
- 9) G. Dispenza, F. Sergi, G. Napoli, N. Randazzo, S. D. Novo, S. Micari, V. Antonucci and L. Andaloro, "Development of a Solar Powered Hydrogen Fueling Station in Smart Cities Applications,"

- International Journal of Hydrogen Energy, Vol.42, No.46, pp.27884-27893, 2017.
- 10) C. He, H. Sun, Y. Xu and S. Lv, "Hydrogen Refueling Station Siting of Expressway based on the Optimization of Hydrogen Life Cycle Cost," International Journal of Hydrogen Energy, Vol.42, No.26, pp.16313-16324, 2017.
- 11) M. Honselaar, G. Pasaoglu and A. Martens, "Hydrogen Refuelling Stations in the Netherlands: An Intercomparison of Quantitative Risk Assessments used for Permitting," International Journal of Hydrogen Energy, Vol.43, No.27, pp.12278-12294, 2018.
- 12) S. Carr, F. Zhang, F. Liu, Z. Du and J. Maddy, "Optimal Operation of a Hydrogen Refuelling Station Combined with Wind Power in the Electricity Market," International Journal of Hydrogen Energy, Vol.41, No.46, pp.21057-21066, 2016.
- 13) K. Reddi, A. Elgowainy, N. Rustagi and E. Gupta, "Two-tier Pressure Consolidation Operation Method for Hydrogen Refueling Station Cost Reduction," International Journal of Hydrogen Energy, Vol.43, No.5, pp.2919-2929, 2018.
- 14) A. Elgowainy, K. Reddi, D. Y. Lee, N. Rustagi and E. Gupta, "Techno-economic and Thermodynamic Analysis of Pre-cooling Systems at Gaseous Hydrogen Refueling Stations," International Journal of Hydrogen Energy, Vol.42, No.49, pp.29067-29079, 2017.
- 15) C. F. Guerra, R. Garcia-Rodenas, E. A. Sanchez-Herrera, D. V. Rayo and C. Clemente-Jul, "Modeling of the Behavior of Alternative Fuel Vehicle Buyers. A Model for the Location of Alternative Refueling Stations," International Journal of Hydrogen Energy, Vol.41, No.42, pp.19312-19319, 2016.
- 16) B. J. Gim and J. W. Kim, "An Analysis of the Economy of Scale for Domestic On-site Hydrogen Fueling Stations," Journal of Energy Engineering, Vol.16, No.4, pp.170-180, 2007.
- 17) M. Gokcek and C. Kale, "Optimal Design of a Hydrogen Refuelling Station (HRFS) powered by Hybrid Power System," Energy Conversion and Management, Vol.161, pp.215-224, 2018.
- 18) T. Brown, S. Stephens-Romero and G. Scott Samuelsen, "Quantitative Analysis of a Successful Public Hydrogen Station," International Journal of Hydrogen Energy, Vol.37, pp.12731-12740, 2012.
- 19) K. Reddi, A. Elgowainy, N. Rustagi and E. Gupta, "Impact of Hydrogen Refueling Configurations and Market Parameters on the Refueling Cost of Hydrogen," International Journal of Hydrogen Energy, Vol.42, No.34, pp.21855-21865, 2017.