

수소 충전소의 수소 판매량 데이터 분석

김민수[†] · 전성탁 · 정태영

한국전력기술

Analysis of Hydrogen Sales Data at Hydrogen Charging Stations

MINSU KIM[†], SUNGTAK JEON, TAEYOUNG JYUNG

[†]Korea Electric Power Corporation Engineering & Construction, 269 Hyeoksins-ro, Gimcheon 39660, Korea

[†]Corresponding author :
sriiv@kepco-enc.com

Received 24 May, 2023

Revised 8 June, 2023

Accepted 12 June, 2023

Abstract >> Due to lack of hydrogen charging stations and hydrogen supply compared to the supply of hydrogen vehicles, social phenomena such as 2-hour queues and restrictions on charging capacity are occurring, which negatively affects the spread of hydrogen vehicles. In order to resolve these problems, it is essential to have a strategic operation of the hydrogen charging stations. To establish operational strategies, it is necessary to derive customer demand patterns and characteristics through the analysis of sales data. This study derived the demand patterns and characteristics of customers visiting hydrogen charging stations through data analysis from various perspectives, such as charging volume, charging speed, number of visits, and correlation with external factors, based on the hydrogen sales data of off-site hydrogen charging stations located in domestic residential areas.

Key words : Hydrogen charging station(수소 충전소), Hydrogen car(수소 자동차), Hydrogen bus(수소 버스), Hydrogen sales(수소 판매량), External factors(외부요인), Correlation analysis(상관관계 분석)

1. 서론

현재 전 세계적으로 CO₂ 배출에 따른 급격한 기후 변화 발생에 대응하기 위해 재생에너지 발전원 증가, (renewable energy 100%, RE100), (carbon free 100%, CF100) 등의 친환경에너지 사용을 위한 움직임이 지속적으로 일어나고 있다. 이에 따라 우리나라는 온실가스 감축, 미세먼지 저감 등을 위하여 산업 전반적

으로 친환경에너지의 확산, 에너지원의 다각화 등을 정부 차원에서 추진하고 있다. 정부는 친환경에너지 중 대표적인 미래 청정에너지원으로 떠오르는 수소에 주목하고 있으며, 그 일환으로 2019년 수소경제 활성화 로드맵¹⁾을 발표하여 수소 경제 활성화를 추진하고 있다. 또한 사회적으로도 수소에 대한 관심이 나날이 증가하고 있다²⁾.

수소에너지는 기존에는 석유 정제, 로켓 연료로 사

용되었으나 지속적인 연구 개발을 통해 현재는 발전, 운송, 산업, 건물 분야 등에서 다양하게 활용되고 있다. 모든 분야에 대해 수소는 높은 잠재력을 가지고 있으나, 빠른 충전 속도와 높은 에너지 저장 밀도 등의 이유로 승용차, 버스, 트럭 등의 운송 분야에서 많은 수요가 발생할 것이라 예상된다³⁾.

특히 전기차와 달리 수소차는 충전 시간이 3-5분으로 빨라 고객이 충전을 위하여 행동 패턴을 변경할 필요가 없고, 기존 휘발유 차량과 유사한 수준으로 연료를 공급받을 수 있다^{4,5)}. 또한 수소차는 배기가스 배출도 없어 ‘궁극의 친환경차’로 불리고 있다. 이러한 장점을 바탕으로 정부는 로드맵을 통해 2018년 수소차 900대를 2022년에는 6.7만 대, 2040년에는 290만 대 이상 보급을 목표로 삼았다. 수소차에 수소를 공급하는 시설을 뜻하는 수소 충전소의 경우에도 마찬가지로 2018년 충전소 14개소를 2022년에는 310개소, 2040년에는 1,200개소 이상 구축을 목표로 삼았다. 수소 충전소는 내부에서 수소를 직접 생산하는 on-site 방식과 외부에서 생산되는 수소를 공급받는 off-site 방식으로 구분된다. on-site 방식은 운송 비용이 별도로 필요하지 않다는 장점이 있으나, 고가의 건설 비용과 수소 생산 비용 때문에 국내에 설치된 충전소 대부분은 튜브 트레일러를 이용한 off-site 방식을 채용하고 있다.

이러한 정부/지자체의 보급 지원 정책에 힘입어 2021년 3월 기준 전 세계 수소차 보급률 1위를 달성하였으나, 충전소 1기당 차량 대수가 180대로 충전 인프라 구축은 하위권에 머무르고 있다. 이로 인하여 2시간 줄서기 현상, 충전량 절반 제한, 지역별 편차 등 다양한 사회적 현상이 발생하고 있어 충전소 확충에 대한 목소리가 높아지고 있다. 그러나 수입 제품 사용에 따른 고가의 수소 충전소 건설 비용⁶⁾, 수소 공급량 부족 등과 같은 이유로 충전소 확충이 쉽지 않은 상황이며, 장기적으로는 수소차 보급 확산 속도에도 부정적인 영향을 끼칠 것이다.

이와 같이 부족한 수소 충전소의 수와 공급량으로 인해 발생하는 문제점들을 해결하기 위해서는 수소 충전소의 전략적인 운영이 필수적이며, 운영 전략 수

립을 위해서는 판매량 데이터 분석을 통해 고객의 수요 패턴과 특성을 도출하는 것이 우선이다.

따라서 본 연구는 국내의 주거 지역에 위치한 off-site 수소 충전소의 1년간의 수소 판매량 데이터를 기반으로 충전량, 충전 속도, 방문 횟수, 외부요인과의 상관관계 분석 등 다양한 관점에서의 데이터 분석을 통해 수소 충전소를 방문하는 고객들의 수요 패턴과 특성을 도출하였다.

본 논문에서는 먼저 판매량 데이터 기반의 선행연구들의 연구 내용과 한계점을 서술한 후, 본 연구의 선행연구 대비 차별점과 연구 내용에 대해 서술한다.

2. 판매량 데이터 기반 연구사례

전 세계적으로 수소차 시장은 현재 보급 초기 단계에 있어 데이터가 충분하지 않고, 보안상의 이유로 실제 판매 데이터를 상세하게 수집하기가 어려워 전기차 대비 수소차의 데이터 기반 연구는 제한적이다. 하지만 해외 및 국내에서 수소 판매량 데이터를 분석 및 활용한 연구가 일부 존재한다.

Liu 등⁷⁾은 미래 수소차 보급 대수와 일일 수소 수요를 예측하여 충전소의 판매 용량별 자본 비용과 수소의 가격을 계산하였다. 미국 National Renewable Energy Laboratory에서는 시간/요일별 차량 방문 비율, 충전량, 충전 속도 등의 다양한 데이터를 히스토그램 등으로 공개⁸⁾하고 있으며, 이를 기반으로 Issac과 Saha⁹⁾는 수소차 고객의 충전 행위를 확률적으로 모델링하였다. Kurtz 등¹⁰⁾은 고객 방문 수, 충전량, 충전 속도 등을 수학적으로 모델링하여 충전소의 미래 수소 충전량 예측 모델을 제시하였다. Sun 등¹¹⁾과 Lu 등¹²⁾은 차종별 특성을 고려하여 충전소의 미래 수소 충전량 예측 모델을 개발하고, 이를 기반으로 on-site 수소 충전소의 설치 및 운영 비용을 최소화하는 최적화 방식을 제시하였다.

Brown 등¹³⁾, Kang 등¹⁴⁾, Kwon 등¹⁵⁾은 본 연구와 같이 기존에 설치된 수소 충전소의 실제 판매 데이터를 기반으로 고객의 수요 패턴을 분석하였다. Brown 등¹³⁾은 캘리포니아 고속도로에 위치한 수소 충전소

의 2007년부터 2011년까지의 판매량 데이터를 기반으로 고객들의 시간별/요일별 수요 패턴, 판매량 추이 등을 분석하였으며, Kang 등¹⁴⁾은 창원 수소 충전소의 판매 데이터를 기반으로 수소차 보급에 따른 수소 판매량과 일평균 충전 차량 대수, 충전량의 상관관계를 분석하였다. Kwon 등¹⁵⁾은 동곡과 진곡 수소 충전소의 판매 데이터를 기반으로 각 충전소의 평균 충전량, 고객의 충전 시점, 두 충전소의 판매 추이 비교 등을 수행하였다.

세 연구 모두 충전소의 시간/요일별 판매 데이터를 기반으로 고객의 충전 패턴을 분석하였으나, 수소차 시장이 활성화되지 않은 2020년 이전의 데이터를 기반으로 연구가 이루어진 점과 방문하는 차량이 승용차뿐이라는 점에서 한계가 있다. 또한 Kang 등¹⁴⁾과 Kwon 등¹⁵⁾은 국내의 충전소 데이터를 사용하였으나, 충전소가 요일마다 운영시간이 다르고 휴무일이 존재한다는 점에서 분석 결과의 일반화에 한계가 있다.

본 연구는 수소차 시장이 활성화되고 있는 비교적 최근 시점의 데이터를 사용하였다는 점, 충전소를 방문하는 차량에 버스도 포함된 점, 충전소는 연중무휴로 운영되며 요일에 관계없이 동일한 운영시간을 가지고 있어 고객의 요일별 일반화된 수요 패턴을 도출하였다는 점 그리고 외부요인과 상관관계를 분석하였다는 점에서 선행연구들과 차별된다.

3. 수소 판매량 데이터 분석

3.1 판매량 데이터 소개 및 전처리

본 연구에서는 2021-2022년 국내의 주거 지역에 위치한 off-site 수소 충전소의 1년간의 수소 판매량 데이터를 사용하였다. 해당 충전소는 연중무휴로 운영되며, 운영시간은 요일과 무관하게 9시부터 20시까지이다. 해당 충전소에서 충전 가능한 차종은 승용차와 버스가 있다.

데이터는 충전기 구분, 충전 시작 시간, 충전 종료 시간, 충전량 등을 포함한다. 여기서 충전량은 소수점까지 표현되어야 하나, 계측기 설정 문제로 정수

형태로 취득되었다. 그러나 충전량의 범위가 1-28이기 때문에 정수 형태로 표현되더라도 충전량을 비교 분석하는 데 문제가 없을 것으로 사료된다.

데이터에 차종, 고객의 소속, 충전소의 운영 상태는 포함되어 있지 않아 데이터 분석 시 여러 가정을 하였다. 데이터에 차종이 구분되어 있지 않아 현재 국내에 존재하는 최대 용량의 수소차인 넥소의 수소연료탱크 용량 6.33 kg를 기준값으로 하여 기준값 이하는 승용차, 초과는 버스로 가정하였다. 고객의 소속은 차를 개인적으로 보유하여 운행하는 일반인으로 가정하였고, 충전소의 운영 상태는 고장으로 인한 영업 중단 없이 운영을 지속하는 것으로 가정하였다.

계측 오류로 인한 결측치는 요일의 특성을 유지하기 위하여 해당 요일의 전주와 차주의 데이터를 이용하여 두 점의 값이 주어졌을 때 그 사이의 값을 직선 거리에 따라 선형적으로 계산하는 선형보간법(linear interpolation)으로 처리하였으며, 충전소에 방문하는 합산 판매량을 파악하기 위하여 데이터 분석 시 충전기 구분은 별도로 하지 않았다.

3.2 판매량 데이터 분석

3.2.1 판매량 데이터 통계량

수소 판매량 추이를 확인하기 위하여 Table 1에 1년간의 월별 전체 충전량, 하루 평균 충전량, 승용차/버스의 하루 평균 충전량과 방문량을 나타내었다. Fig. 1에서는 Table 1의 데이터를 이용하여 승용차 및 버스의 전체 충전량, 승용차 및 버스의 방문량 추이를 시각적으로 표현하기 위하여 일정 기간의 부분집합을 연속적으로 이동시켜 평균을 계산하는 이동 평균(moving average)을 사용하였으며, 평균을 계산하는 기간은 한 달로 설정하였다.

Table 1과 Fig. 1을 통해 전체 충전량과 승용차 방문량 추이가 지속적으로 증가하고 있음을 확인하였다. 반면에 버스는 방문량의 추이와 변동 범위가 일정함을 확인하였다.

전체 충전량과 승용차 방문량이 지속적으로 증가하고 있는 것은 정부/지자체의 수소차 보급 정책에

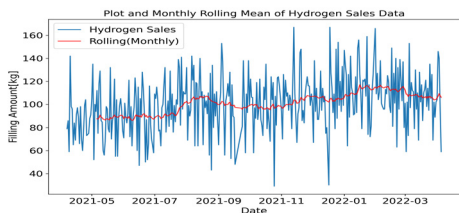
Table 1. Sales statistics of hydrogen charging station

Month (21.4-22.3)	Total charge [kg]	Average filling amount [kg/day]	Average filling amount of car/bus [kg/day]	Average filling count of car/bus [count/day]
Apr	2,574	88.8	51.6/37.2	14.5/2.3
May	2,802	90.4	50.6/39.7	14.7/2.6
June	2,541	87.6	47.8/39.8	13.6/2.4
July	3,159	101.9	54.5/47.5	16.1/2.6
Aug	3,129	100.9	57.7/43.3	17.1/2.5
Sep	2,473	98.9	60.3/40.3	17.2/2.3
Oct	3,057	98.6	63.2/36.6	17.5/2.3
Nov	3,199	106.6	66.9/36.6	18.5/2.6
Dec	3,143	104.8	64/43.6	17.4/2.4
Jan	3,597	116	67.5/48.5	18.8/2.6
Feb	3,105	110.9	64.5/46.4	18.1/2.6
Mar	3,223	104	61.8/42.2	17.1/2.5

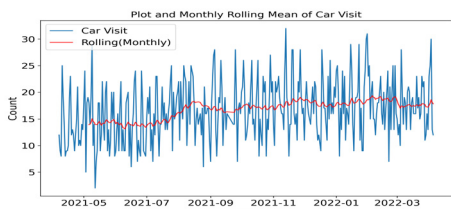
따라 수소차 시장이 활성화되었고, 이에 따른 수소차 등록 대수 향상에 의한 것이라고 판단된다. 버스의 경우 도시나 지역의 교통 운영 계획에 따라 버스 노선과 운영시간이 조정된다. 이러한 운영 계획은 수소 버스의 수요와 충전 인프라의 제한 등을 고려하여 수립되며, 이에 따라 운영 및 보급이 이루어진다. 따라서 버스의 방문량 추이와 변동 범위가 일정한 것은 데이터가 수집된 기간 동안에 버스의 보급이 없었고, 교통 운영 계획에 따른 정해진 운행 일정에 의한 것으로 판단된다.

결과 해석을 뒷받침하기 위하여 Table 2에 국토교통부에서 공개하고 있는 충전소가 위치한 도의 자동차 등록 현황¹⁶⁾에서 승용차, 버스 그리고 전체 합계를 월별로 나타내었다. 시별까지 자세한 정보는 공개하고 있지 않지만, 자동차 등록 현황과 방문량 추이 간의 관계를 확인하기에는 충분할 것으로 판단된다.

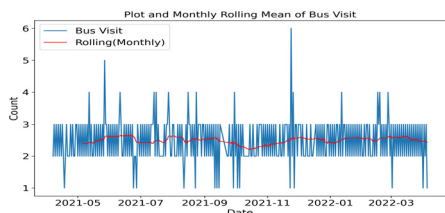
해당 도에 등록된 자동차의 수는 21년 4월 569대에서 22년 3월 821대로 약 44% 상승하였다. 승용차의 경우에는 꾸준한 상승 추세가 확인되었고, 버스의 경우에는 데이터가 수집된 기간 초기에 큰 상승폭을 보였으나 이후에는 일정한 것을 확인하였다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 1. Plot and monthly rolling mean of data. (a) Hydrogen sales. (b) Number of car visit. (c) Number of bus visit

Table 2. Count of registered motor vehicles by month and province

Month (21.4-22.3)	Car [count]	Bus [count]	Total [count]
Apr	569	9	578
May	594	13	607
June	621	13	634
July	661	13	674
Aug	688	15	703
Sep	709	15	724
Oct	757	15	772
Nov	765	15	780
Dec	766	15	781
Jan	768	15	783
Feb	781	15	796
Mar	821	15	836

3.2.2 충전량 분포

Fig. 2에서 승용차와 버스의 충전량 분포를 각각 나타내었다. 승용차의 판매 건별 충전량 평균은 3.54 kg, 표준편차는 1.08 kg이며, -0.42의 음의 왜도를 가지고 있어 분포가 전체적으로 우측으로 치우친 형태이다. 버스의 판매 건별 충전량 평균은 16.93 kg, 표준편차는 3.62 kg이며, 분포가 정규분포 형태이다.

승용차의 충전량 분포가 전체적으로 우측으로 치우친 형태를 보이고 있고, 평균이 3.54 kg이라는 것에서 다수의 승용차 고객들은 1회 충전 시 평균적으로 연료탱크 용량의 절반 이상을 충전함을 알 수 있다. 다시 말해, 승용차 고객들은 주로 차량의 state of charge (SOC)가 50% 이하로 내려갔을 때 충전소를 방문하는 경향이 있는 것으로 판단된다.

버스의 경우 3.2.1절에서 언급했듯이 도시나 지역의 교통 운영 계획에 따라 운행 일정이 정해져 운행

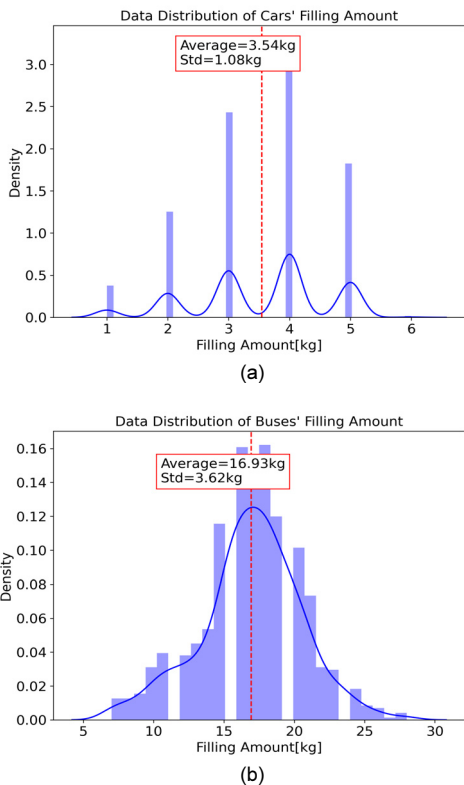


Fig. 2. Data distribution of filling amount. (a) Car. (b) Bus

거리가 매번 동일하므로 연료 소모량에 큰 차이가 없어 분포가 정규분포 형태인 것으로 판단된다.

3.2.3 충전 속도 분포

Fig. 3에서는 판매 건당 충전 속도에 대한 분포를 나타내었다. 이를 보면 승용차의 평균 충전 속도는 0.8 kg/min, 표준편차는 0.1 kg/min, 버스의 평균 충전 속도는 1.23 kg/min, 표준편차는 0.08 kg/min으로 나타났다. 이를 통해 버스의 충전 속도가 승용차보다 약 1.5배 빠르다는 것을 확인하였다.

차종별로 충전 속도 차이가 나는 것은 충전량이 증가하면 충전 시간도 증가하기 때문에 충전소에서는 승용차의 약 5배에 달하는 연료탱크 용량을 가진 버스의 충전 시간을 단축하기 위해 일반적으로 승용차와 버스에 서로 다른 종류의 충전 노즐을 사용하기 때문이다. 이러한 노즐 차이에 따른 충전 속도의 차이를 데이터를 통해 확인하였다.

3.2.4 시간별 방문 횟수

Fig. 4에서는 승용차와 버스의 시간별 방문 횟수를 각각 나타내었다. 이를 통해 승용차는 오전 시간대보다 오후 시간대에, 버스는 오전 시간대에 충전소 방문이 집중되어 있음을 확인하였다. 이는 승용차 고객들은 근무 시간을 고려하였을 때 출근 시간대보다 퇴근 시간대에 충전을 주로 하고, 버스 고객들은 하루 운영을 위하여 오후 시간대보다 오전 시간대에

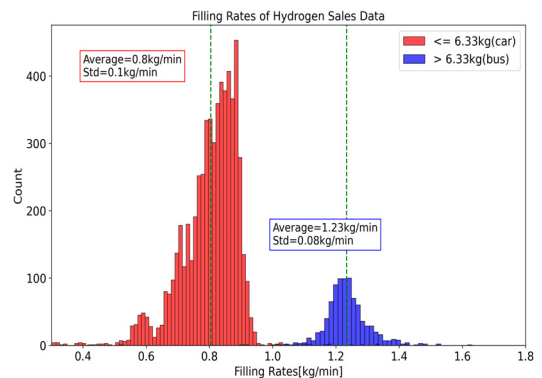


Fig. 3. Filling rates of hydrogen sales data

충전 후 운행을 개시하기 때문인 것으로 판단된다.

3.2.5 요일별 방문 횟수

Fig. 5에서는 승용차와 버스의 요일별 방문 횟수를 각각 나타내었다. 승용차는 주말에 가장 많이 방문하며, 금요일은 월요일부터 목요일까지에 비하여 방문 횟수가 상대적으로 많음을 알 수 있다. 이와 달리 버스는 요일별로 방문 횟수에 유의미한 차이가 없는 것을 확인하였다.

이는 승용차 고객의 경우에는 금요일과 주말은 다른 요일과 달리 상대적으로 충전할 시간적 여유가 많으며, 주말을 이용한 여행이나 귀성 등으로 이동거리가 많아 충전소를 방문하는 고객들이 많기 때문인 것으로 판단된다. 반면에 버스는 대중교통 수단으로서 요일과 무관하게 지속적으로 운행되어야 하는 특성이 있기 때문에 버스 고객들은 요일과 무관하게

충전소를 방문하는 것으로 판단된다.

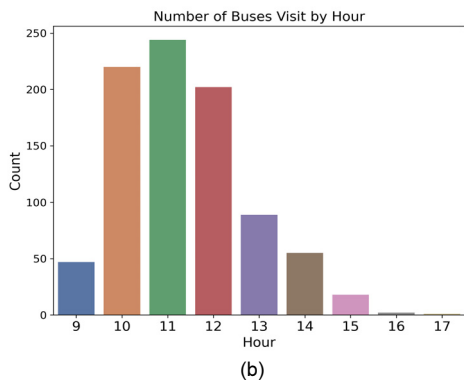
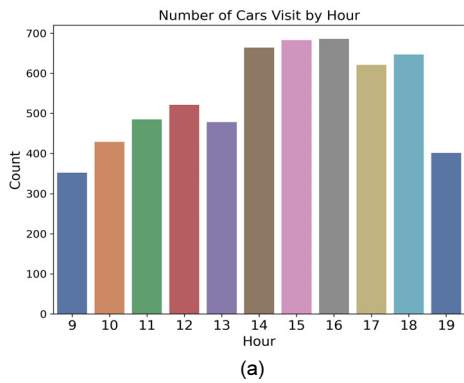


Fig. 4. Number of visits by hour. (a) Car. (b) Bus

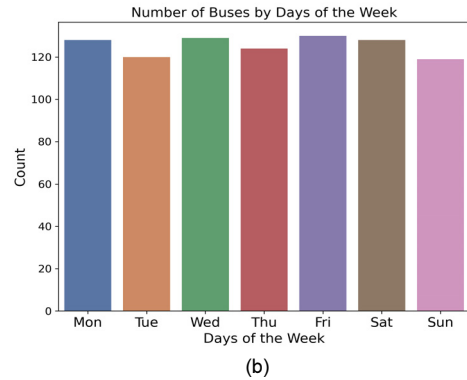
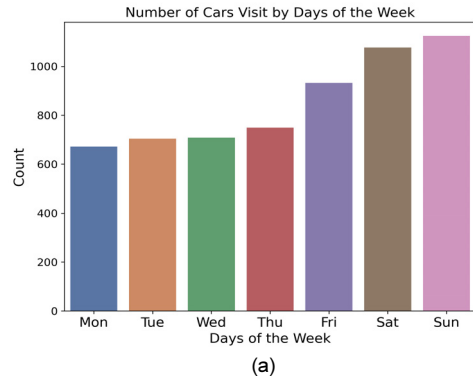


Fig. 5. Number of visits by day. (a) Car. (b) Bus

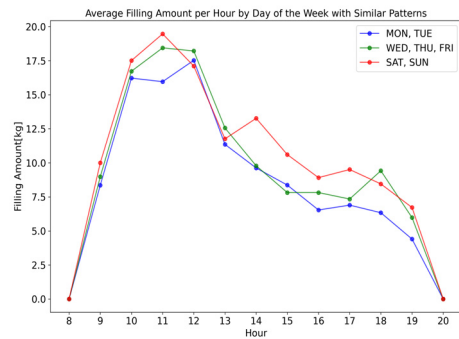


Fig. 6. Average filling amount per hour by day of the week with similar patterns

3.2.6 요일별 시간에 따른 평균 충전량

Fig. 6에서는 요일별 시간에 따른 평균 충전량을 유사한 패턴을 보이는 요일끼리 월요일과 화요일, 수요일부터 금요일 그리고 주말의 세 그룹으로 묶어 나타내었는데, 이를 보면 각 그룹에서 서로 다른 패턴이 확인되었다. 모든 그룹에서 오전 시간대에 평균 충전량의 최대치가 확인되며, 주말 그룹은 평일 그룹들에 비해 14시부터 17시까지 높은 충전량을 보이는 것으로 확인되었다. 또한 수요일 그룹만이 18시에 충전량이 증가하는 것이 확인되었다.

모든 그룹에서 오전 시간대에 평균 충전량의 최대치가 확인되는 것은 시간에 따른 승용차와 버스의 방문 빈도 차이와 요일과 무관하게 운행되는 버스의 특성에서 비롯된 것으로 판단된다. 다시 말해, 버스의 평균 충전량이 승용차의 약 5배로 매우 높기 때문에 버스의 방문 빈도가 높은 오전 시간대에 모든 그룹이 최대치를 보이는 것이다.

오후 시간대에는 버스 방문이 없어 승용차의 영향만으로 해석이 가능하다. 따라서 주말 그룹이 평일 그룹들에 비해 14시부터 17시까지 높은 충전량을 보이는 것은 해당 시간대에 근무를 하지 않아도 되는 주말과 근무를 해야 하는 평일의 차이에 비롯된 것으로 판단된다. 주말에는 대부분의 사람들이 휴식을 취하므로 오후 시간대에도 많은 사람들이 이동하거나 외출하기 때문에 충전량이 높게 나타날 수 있다. 이와 달리 평일에는 근무나 학업 등의 일상생활로 인해 충전량이 상대적으로 낮을 수 있다.

수요일 그룹만이 18시에 충전량이 증가하는 것은 승용차 고객들이 같은 평일이더라도 월요일 그룹 요일보다는 수요일 그룹 요일의 퇴근 시간대에 충전을 하는 경향이 있기 때문인 것으로 판단된다.

4. 외부요인

4.1 외부요인 소개

수소 판매량을 상세하게 분석하기 위하여 판매량

에 영향을 끼치는 외부요인(external factors)을 도입하고 상관관계를 분석하였다. 외부요인은 2절의 분석 결과와, 직관적으로 생각했을 때 영향을 끼친다고 생각되는 시간(hour), 기상 상태, 교통량(traffic volume)을 설정하였으며, 이를 Table 3에 나타내었다. 시간은 충전 시작 시간을 기준으로 설정하였고, 기상 변수는 기상청에서 제공하는 충전소가 위치한 지역의 기상 데이터¹⁷⁾인 시간별 기온(temperature), 강수량(precipitation), 상대습도(relative humidity), 적설량(snow cover), 운량(cloud cover)을 사용하였다. 마지막으로 교통량은 교통량정보제공시스템에서 제공하는 충전소가 위치한 국도의 시간별 양방향 교통량¹⁸⁾을 사용하였다.

4.2 상관관계 분석(correlation analysis)

상관관계 분석은 확률론과 통계학에서 두 변수 간에 어떤 선형적 관계를 맺고 있는지를 분석하는 방법이다. 두 변수는 서로 독립적인 관계부터 서로 상관된 관계일 수 있으며 이때 두 변수 간의 관계 강도를 상관관계라 한다. 상관관계의 정도를 나타내는 수치로 -1과 1사이의 값을 가지는 상관계수를 사용하며, 양수이면 양의 상관, 음수이면 음의 상관, 0이면 무상관이다. 여기서 무상관이란 상관이 없다는 것이 아니라 선형의 상관관계가 아님을 뜻한다.

본 연구에서는 상관관계 분석을 위해 시간별 전체 충전량(fill amount), 승용차(car count)와 버스 방문량(bus count)의 3가지 내생변수와 4.1절에서 소개한 외부요인을 사용하였다. 변수들 사이에는 어떠한 인과관계도 존재하지 않지만 회귀 분석 시 상관관계가

Table 3. External factors for calculating correlation

External Factor		Unit
Type	Description	
Calender	Hour	Hour
Weather	Temperature, precipitation, relative humidity, snow cover, Cloud cover	
Traffic	Traffic volume	

발견되는 가성 회귀(spurious regression)를 방지하기 위하여 데이터가 정상성(stationary)을 가지도록 추세를 제거하는 1차 차분을 하였고, Table 4와 같이 피어슨 상관관계수(Pearson correlation coefficient)를 통해 상관관계를 분석하였다. 또한 상관관계수의 통계적 검증을 위하여 *p*-value를 괄호 안에 병기하였다.

5%의 유의수준에서 통계적 검증이 된 외부요인의 상관관계수를 확인해 보면 전체 충전량, 승용차 및 버스 방문량은 교통량, 기온과 통계적으로 양의 상관을 갖고, 시간, 상대습도와는 음의 상관을 갖는 것을 알 수 있다.

이를 해석해 보면 교통량이 많아질수록 많은 차량들이 도로를 이용하게 되므로, 연료 보충이 필요한 차량이 존재할 확률이 높아진다. 또한 기온이 높을수록 따뜻한 계절에는 사람들의 이동량이 증가하고, 에어컨을 평소보다 자주 가동하기 때문에 연료 소비량이 많아진다. 이러한 이유로 교통량과 기온이 높아질수록 전체 충전량, 승용차 및 버스 방문량이 증가하는

양의 상관을 갖는 것으로 판단된다.

3.2.4절에서 확인했듯이, 충전량이 많은 버스는 오전에, 충전량이 적은 승용차는 오후에 방문량이 집중되어 있다. 또한 상대습도가 높아질수록 비가 올 확률이 높아져 불쾌감이 증가하며, 이로 인해 외출이 감소하고 운전 조건이 악화된다. 이는 차량의 운행 횟수를 감소시키고, 정속 운전을 하도록 함에 따라 연비가 상승될 수도 있다. 따라서 시간과 상대습도가 높아질수록 전체 충전량과 승용차 및 버스의 방문량이 감소하는 음의 상관을 갖는 것으로 판단된다.

또한 버스 방문량은 전체 충전량, 승용차 방문량과 각 외부요인에 대한 상관관계수의 부호는 동일하지만 크기는 비교적 작게 나타났다. 이는 버스는 대중교통 수단으로서 항상 운행되어야 하기 때문에 상대적으로 외부요인의 영향을 덜 받는 것으로 판단된다.

Table 4. Correlation between hydrogen sales data and external factors: correlation coefficient (*p*-value)

	Fill amount	Car count	Bus count	Hour	Traffic volume	Temperature	Precipitation	Humidity	Snow cover	Cloud cover
Fill amount	1	0.49 (0.00)	0.72 (0.00)	-0.1 (0.00)	0.07 (0.00)	0.19 (0.00)	0.01 (0.31)	-0.15 (0.00)	0.00 (0.75)	-0.01 (0.33)
Car count	0.49 (0.00)	1	0.02 (0.15)	-0.12 (0.00)	0.13 (0.00)	0.2 (0.00)	0.01 (0.2)	-0.15 (0.00)	0.01 (0.39)	0.01 (0.56)
Bus count	0.72 (0.00)	0.02 (0.15)	1	-0.04 (0.00)	0.02 (0.03)	0.09 (0.00)	-0.00 (0.88)	-0.06 (0.00)	-0.00 (0.89)	-0.01 (0.39)
Hour	-0.1 (0.00)	-0.12 (0.00)	-0.04 (0.00)	1	-0.41 (0.00)	-0.24 (0.00)	-0.00 (0.99)	0.2 (0.00)	-0.01 (0.49)	-0.00 (0.93)
Traffic volume	0.07 (0.00)	0.13 (0.00)	0.02 (0.03)	-0.41 (0.00)	1	0.3 (0.00)	-0.01 (0.17)	-0.25 (0.00)	0.02 (0.16)	0.01 (0.61)
Temperature	0.19 (0.00)	0.2 (0.00)	0.09 (0.00)	-0.24 (0.00)	0.3 (0.00)	1	-0.03 (0.00)	-0.75 (0.00)	-0.01 (0.34)	0.00 (0.77)
Precipitation	0.01 (0.31)	0.01 (0.2)	-0.00 (0.88)	-0.00 (0.99)	-0.01 (0.17)	-0.03 (0.00)	1	0.04 (0.00)	0.00 (0.65)	-0.00 (0.93)
Humidity	-0.15 (0.00)	-0.15 (0.00)	-0.06 (0.00)	0.2 (0.00)	-0.25 (0.00)	-0.75 (0.00)	0.04 (0.00)	1	0.04 (0.00)	0.04 (0.00)
Snow cover	0.00 (0.75)	0.01 (0.39)	-0.00 (0.89)	-0.01 (0.49)	0.02 (0.16)	-0.01 (0.34)	0.00 (0.65)	0.04 (0.00)	1	0.00 (0.98)
Cloud cover	-0.01 (0.33)	0.01 (0.56)	-0.01 (0.39)	-0.00 (0.93)	0.01 (0.61)	0.00 (0.77)	-0.00 (0.93)	0.04 (0.00)	0.00 (0.98)	1

5. 결론

본 연구에서는 국내의 주거 지역에 위치한 off-site 수소 충전소의 1년간의 수소 판매량 데이터를 기반으로 판매량 추이, 차종에 따른 수소 충전량, 충전 속도의 분포와 시간/요일별 방문 횟수, 요일별 시간에 따른 평균 충전량을 도출하고 결과를 분석하였다. 또한 수소 판매량에 영향을 미칠 수 있다고 판단되는 외부요인을 선정하여 수소 판매량과의 상관관계를 분석하였다. 이와 같은 다양한 데이터 분석을 통해 수소 충전소를 방문하는 고객들의 수요 패턴과 특성을 도출하였다.

1) 정부/지자체의 수소 보급 정책에 따라 전체 충전량과 승용차 방문량 추이가 지속적으로 증가함을 확인하였다. 그러나 버스의 방문량 추이와 변동 범위는 일정한 것으로 확인되었는데, 이는 도시나 지역의 교통 운영 계획에 따라 버스 보급이 없었기 때문인 것으로 판단된다. 자동차 등록 현황을 통해 이러한 추이를 확인할 수 있었다.

2) 충전량 분포를 통해 승용차 고객들은 SOC가 50% 이하로 내려갔을 때 충전을 많이 하는 경향이 있고, 버스는 정해진 노선에 의한 운행 때문에 충전량이 정규분포임을 확인하였다.

3) 충전 속도 분포를 통해 버스의 충전 속도가 승용차보다 약 1.5배 빠른 것을 확인하였다. 이는 충전 시 서로 다른 종류의 충전 노즐을 사용하기 때문인 것으로 판단된다.

4) 승용차는 오전보다 오후에, 요일은 월요일부터 목요일보다 금요일과 주말에 주로 방문하고, 버스는 오후보다는 오전에, 요일과는 무관하게 방문하는 특성을 확인하였다. 이는 차종별 고객들의 행동 특성에 의한 것으로 판단된다.

5) 요일별 시간에 따른 평균 충전량은 월요일과 화요일, 수요일부터 금요일, 주말이 유사한 패턴을 보이며, 모든 그룹에서 오전 시간대에 평균 충전량의 최대치가 확인된다. 또한 주말 그룹이 평일 그룹들에 비해 14시부터 17시까지 높은 충전량을 보이고, 수요일 그룹은 18시에 충전량이 증가함을 확인하였다.

6) 전체 충전량과 승용차 및 버스 방문량은 교통량, 기온과는 통계적으로 양의 상관관, 시간, 상대습도와는 음의 상관관 갖는 것을 확인하였다. 그러나 버스는 대중교통 수단으로서 항상 운행되어야 하는 특성 때문에 상관계수의 크기가 비교적 작게 나타났다.

현재 고가의 수소 충전소 건설 비용과 수소 공급량 부족 등의 문제로 인해 충전소 확충이 어려운 상황에서 본 연구가 장기적으로 충전소의 확충, 배치, 운영 전략 수립에 참고자료로 활용될 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 국토교통부 해외 수소기반 대중교통 인프라 기술개발 사업(과제번호: RS-2021-KA163280)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

1. Ministry of Trade, Industry and Energy, "Roadmap to revitalize the hydrogen economy", Ministry of Trade, Industry and Energy, 2019. Retrieved from https://www.motie.go.kr/motie/py/td/tradefta/bbs/bbsView.do?bbs_cd_n=72&cate_n=3&bbs_seq_n=210222.
2. I. Choi and H. K. Kim, "A study on social issues for hydrogen industry using news big data", Journal of Hydrogen and New Energy, Vol. 33, No. 2, 2022, pp. 121-129, doi: <https://doi.org/10.7316/KHNES.2022.33.2.121>.
3. Hydrogen Council, "Hydrogen meets digital", Hydrogen Council, 2018. Retrieved from <https://hydrogencouncil.com/en/hydrogen-meets-digital/>.
4. K. Wipke, S. Sprik, J. Kurtz, T. Ramsden, C. Ainscough, and G. Saur, "National fuel cell electric vehicle learning demonstration final report", National Renewable Energy Laboratory, 2012. Retrieved from <https://www.nrel.gov/docs/fy12osti/54860.pdf>.
5. M. Robinius, J. Linßen, T. Grube, M. Reuß, P. Stenzel, K. Syranidis, P. Kuckertz, and D. Stolten, "Comparative analysis of infrastructures: hydrogen fueling and electric charging of vehicles", Jülich, 2018. Retrieved from https://juser.fz-juelich.de/record/842477/files/Energie_Umwelt_408_NEU.pdf.
6. B. Kang, T. Kim, and T. Lee, "Analysis of costs for a hydrogen refueling station in Korea", Journal of Hydrogen and New Energy, Vol. 27, No. 3, 2016, pp. 256-263, doi: <https://doi.org/10.7316/KHNES.2016.27.3.256>.

7. X. Liu, S. Zhang, J. Dong, and X. Xu, "A short-term analysis of hydrogen demand and refueling station cost in Shenzhen China", *Energy Procedia*, Vol. 104, 2016, pp. 317-322, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.054>.
8. National renewable energy laboratory (NREL), "Next generation hydrogen station composite data products: retail stations", NREL, 2019. Retrieved from <https://www.nrel.gov/hydrogen/infrastructure-cdps-retail.html>.
9. N. Issac and A. K. Saha, "Analysis of refueling behavior of hydrogen fuel vehicles through a stochastic model using Markov chain process", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 141, 2021, pp. 110761, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110761>.
10. J. Kurtz, T. Bradley, E. Winkler, and C. Gearhart, "Predicting demand for hydrogen station fueling", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 45, No. 56, 2020, pp. 32298-32310, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.10.014>.
11. J. Sun, Y. Peng, D. Lu, X. Chen, W. Xu, L. Weng, and J. Wu, "Optimized configuration and operating plan for hydrogen refueling station with on-site electrolytic production", *Energies*, Vol. 15, No. 7, 2022, pp. 2348, doi: <https://doi.org/10.3390/en15072348>.
12. D. Lu, J. Sun, Y. Peng, and X. Chen, "Optimized Operation Plan for Hydrogen Refueling Station with On-Site Electrolytic Production", *Sustainability*, Vol. 15, No. 1, 2023, pp. 347, doi: <https://doi.org/10.3390/su15010347>.
13. T. Brown, S. Stephens-Romero, and G. S. Samuelsen, "Quantitative analysis of a successful public hydrogen station", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 37, No. 17, 2012, pp. 12731-12740, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.06.008>.
14. B. M. Kang, Y. T. Kang, S. H. Lee, N. S. Kim, K. E. Yi, M. J. Park, C. H. Jeong, and D. W. Jeong, "Analysis of hydrogen sales volume in Changwon", *Journal of Hydrogen and New Energy*, Vol. 30, No. 4, 2019, pp. 356-361, doi: <https://doi.org/10.7316/KHNES.2019.30.4.356>.
15. O. J. Kwon, H. J. Jo, H. H. Chung, and K. J. Myong, "Analysis and modeling of hydrogen sales at hydrogen filling stations", *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 27, No. 2, 2019, pp. 93-100, doi: <https://doi.org/10.7467/KSAE.2019.27.2.093>.
16. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), "Total registered motor vehicles", MOLIT Statistics system, 2022. Retrieved from <https://stat.molit.go.kr/portal/cate/statatFileView.do?hRsId=58&hFormId=5559&hSelectId=5559&hPoint=00&hAppr=1&hDivEng=&oFileName=&rFileName=&midpath=&sFormId=5559&sStart=202305&sEnd=202305&sStyleNum=1&settingRadio=xlsx>.
17. Korea Meteorological Administration (KMA), "Observation data of automated synoptic observing system", KMA, 2022. Retrieved from <https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAsosRltmList.do?pgmNo=36>.
18. MOLIT, "Traffic volume search service", Traffic Monitoring System, 2022. Retrieved from https://www.road.re.kr/itms/itms_22.asp?main_no=16&sub_no=1.