

창원시 수소버스 운행에 따른 수소소비 현황 및 보급 활성화 방안

강부민^{1,2} · 강영택¹ · 김민우¹ · 이상현¹ · 박민주³ · 정창훈³ · 정대운^{2,3,†}

¹(재)창원산업진흥원, ²창원대학교 토목환경화학융합공학부, ³창원대학교 친환경해양플랜트 FEED 공학과정

Current Status of Hydrogen Consumption and Promotion Plan for the Deployment of Fuel Cell Bus in Changwon City

BOO MIN KANG^{1,2}, YOUNG TAEC KANG¹, MIN WOO KIM¹, SANG HYUN LEE¹, MIN-JU PARK³,
CHANG-HOON JEONG³, DAE-WOON JEONG^{2,3,†}

¹Changwon Industry Promotion Agency, 46 Changwon-daero, Uichang-gu, Changwon 51395, Korea

²School of Civil, Environmental and Chemical Engineering, Changwon National University, 20 Changwondaehak-ro, Uichang-gu, Changwon 51140, Korea

³Department of Eco-friendly Offshore FEED Engineering, Environmental and Chemical System Engineering, Changwon National University, 20 Changwondaehak-ro, Uichang-gu, Changwon 51140, Korea

†Corresponding author :
dwjeong@changwon.ac.kr

Received 11 November, 2019
Revised 9 December, 2019
Accepted 30 December, 2019

Abstract >> Environmental problems were related to human life from second industrial revolution. Recently, peoples are interested in solving global warming problem and improving air quality. Therefore, we request for eco-friendly vehicles such as fuel cell electric vehicles using eco-friendly hydrogen energy. In order to reduce particulate matter in Korea, we have established a plan to promote the deployment of eco-friendly vehicles. In this paper, we analyzed the average monthly charging status and hydrogen consumption by introducing fuel cell bus.

Key words : Fuel cell bus(수소버스), Hydrogen refueling station(수소충전소), Hydrogen sales volume(수소 판매량), Hydrogen charging amount(수소충전량)

1. 서론

석유화학 에너지 사용 및 지속적인 에너지 사용량 증가로 인한 환경적 문제가 심각해지면서 친환경 에너지원 개발 및 이를 활용한 대체에너지가 필요할 시점이 도래하였다. 현재 우리나라 대도시를 기준으로 자동차에 의한 대기오염 비중은 65% 수준이며, 이 가운데 약 36%가 대형 경유차(시내/외 버스 및 화물차)에 기인하는 것으로 조사되었다. 특히, 미세 먼

지의 원인물질인 질소산화물(NO_x) 배출이 심각한 문제로 제기되고 있으며, 대형 경유차 및 압축천연가스(CNG) 차량의 경우에는 연료를 직접 연소시켜 추진력을 얻는 방식으로 고온·고압의 연소조건에서 질소 성분과 산소가 반응하여 다량의 질소산화물이 생성되는 것으로 알려져 있으며 도심을 운행하면서 지속적으로 오염원이 배출되기 때문에 문제가 더욱 심각하다고 볼 수 있다.

최근 미세먼지 등 환경이슈가 큰 사회문제로 대두

되고 있는 상황에서 내연기관 시내버스를 배기가스가 배출되지 않는 전기버스나 수소버스로 대체하고자 하는 목소리가 높아지고 있다. 그 중에서도 미래 청정에너지원인 수소^{1,2)}를 원료로 활용하는 수소전기차와 수소버스는 에너지 효율은 높은 반면, 오염물질은 배출하지 않으며 공기정화 효과도 있어 미래 친환경 자동차로써 각광받고 있다^{3,4)}. 이는 정부의 수소산업 활성화 로드맵 발표 이후 수소모빌리티 산업 활성화^{5,6)}를 위해 수소전기차 및 수소충전소 보급 확대를 통해 수소경제를 이끌고자 하는 정부의 취지와도 연관이 있다. 현재 창원시는 정부 로드맵에 발맞추어 창원시 수소산업 육성 정책 수립은 물론 수소경제 활성화 및 수소모빌리티 및 충전소 보급을 위해 많은 노력을 기울이고 있다.

본 연구에서는 본격적인 수소버스 보급 활성화에 앞서, 창원시에서 실증 운행 중인 수소버스(5대)의 데이터 분석을 통해 향후 전국적으로 수소버스 보급 확대 시 발생할 수 있는 문제점을 미리 예측하고 대응할 수 있는 결과를 도출하였다.

2. 창원시 수소버스 보급 및 인프라 현황

2.1 수소버스 시범도시

창원시는 지난 6월 환경의 날 행사에서 국내 최초로 수소 시내버스를 선보였다. 한편 수소버스 시범도시 7곳(서울/부산/울산/창원/광주/서산/아산) 중 가장 먼저 시내버스 공영차고지 인근에 수소충전소를 구축하여 수소버스가 불편함 없이 운행할 수 있는 환경을 조성하였다. 현재 창원시에는 5대의 수소버스가 운행 중에 있으며, 향후 수소버스의 안정적인 보급 및 정착을 위하여 마산 합포구 덕동(3호기)과 진해 죽곡(4호기) 지역에 추가 수소충전소를 구축 중에 있다. 덕동수소충전소는 올해 말 운영을 목표로 구축 중이며, 죽곡수소충전소는 2020년 상반기에 완공 예정이다.

2.2 수소버스 정규노선 운행

창원시는 지난 6월 6일 3대의 수소버스 정규노선 보급을 시작으로 현재 총 5대의 수소버스가 투입되어 운행 중에 있으며, 6월 운행을 시작한 수소버스는 창원 성산구 대방동에서 마산 합포구 월영동까지 왕복 60 km 구간을 운행하고 있다.

현재 창원시에는 2기의 수소충전소(팔룡/성주)가 운영 중에 있으며, 수소버스는 성주수소충전소에서만 충전이 가능한 상황이다. 이에 성주수소충전소는 버스운영에 따른 수소전기차 이용 시민들의 불편을 최소화하기 위하여 수소공급 및 버스충전시간을 효율적으로 운영하고 있다. 성주수소충전소는 기존 06시부터 22시까지의 운영시간을 수소버스 보급 이후 새벽 4시 30분에서 심야 23시 30분까지로 확대 연장하여 탄력적으로 운영하고 있다. 하지만 일반 수소전기차 이용 시민들은 09시부터 21시까지만 차량 충전이 가능하다(Table 1).

성주수소충전소는 시내버스 공영차고지 인근에 구축된 국내 유일의 수소충전소로써, 본 논문은 2018년

Table 1. Operating time of hydrogen refueling station in Changwon

Hydrogen refueling station	Operating time
Paryong HRS	06:00-21:00 (weekday)
	09:00-18:00 (weekend/holiday)
Sungju HRS	04:30-23:30 (open 365 days a year)



Fig. 1. View of Sung-ju hydrogen refueling station in Changwon

11월 준공된 성주수소충전소의 데이터를 활용하여 작성하였다(Fig. 1).

3. 창원시 수소버스 운행 및 충전소 가동률 분석

3.1 수소충전소 가동률 및 수소 판매 비중 변화

창원시 수소충전소 가동률 변화를 확인하기 위해 수소버스 보급 전/후 데이터를 활용하여 충전소 가동률을 비교 분석하였다(Fig. 2). 수소버스 5대 보급 이후 수소충전소 가동률을 분석한 결과 2019년도 6월 수소충전소 가동률은 전년 대비 월등하게 급증한 것을 알 수 있었으며, 수소버스의 충전소 이용 비중은 전체 대비 9%를 차지하는 것으로 나타났다(Table 2). 이러한 결과는 수소전기차 보급 확대에 따라 일반 수소전기차가 208대(2018년)에서 450대(2019년)로

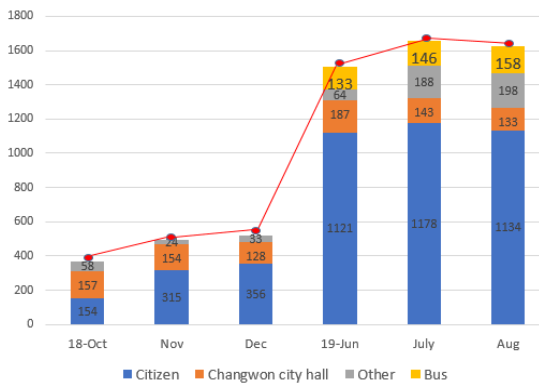


Fig. 2. Change in utilization rate of hydrogen refueling station after introducing fuel cell bus in Changwon city

Table 2. The share of hydrogen charging amounts in hydrogen refueling station by vehicle status by year

		2018 (cars)	2019 (cars)
FCEV	Citizen	60% (240)	72% (450)
	Changwon City Hall	32%	10%
	Other	8%	9%
FC bus		-	9% (5)
Total		100%	100%

증가한 것과 더불어 수소버스 보급에 따른 수소 수요 증가가 큰 영향을 미친 것으로 사료된다.

성주 수소충전소의 2019년 6월부터 9월까지 충전 데이터를 통해 수소버스 1회 충전량, 평균연비, 충전 시간 등을 도출하였으며 이러한 결과를 일반 수소전기차(NEXO)³⁾와 비교하여 나타내었다(Table 3). 수소버스의 경우 1회 충전량은 12.6 kg으로 일반 수소전기차 3.44 kg과 비교하여 약 4배가량 많은 것을 확인할 수 있었으며 버스충전 데이터를 통해 충전시간은 충전량에 비례한다는 것을 알 수 있다. 또한 수소버스 충전의 경우 상당량의 수소가스가 압축기를 통해 충전되는데 이때 압축기 내 압력이 크게 떨어져 다음 충전 차량의 경우 오랜 시간 대기하여야 한다. 이는 소량 충전하는 수소전기차와 달리 다량의 수소가스를 공급해야 하는 수소버스는 충전압축기의 압력이 일정압력 이상에서 충전이 가능한 압축기 시스템에 의한 결과이다. 이에 향후 버스 보급 확대에 따라 발생될 수 있는 충전지연 문제 및 불편사항들을 개선하기 위한 방안을 본 논문에서 자세하게 제시하였다.

3.2 수소버스 운영 데이터 분석

현재까지 수소버스에 공급된 수소 판매량을 알아보기 위해 수소버스가 정규노선에 투입된 2019년 6월

Table 3. The operation status of hydrogen refueling station in changwon by vehicle type from June to September 2019

	NEXO	FC Bus
Average amount of hydrogen sales per car	3.44 kg/car	12.6 kg/car
Average amount of charging per car	37,938 kg	157.5 kg (5 cars)
Average number of visiting cars per day	39 cars/day	2.5 cars/day
Total number of refueling cars	11,773	606
Accumulate sum of hydrogen sales	10,001 kg	7,634 kg (5 cars)
Refueling time	3-5 min	15-20 min

부터 9월까지의 차량별 운행 누적거리 및 충전량을 이용하여 나타내었다(Table 4).

지난 6월 수소버스 첫 운행 이후 9월 30일까지 수소버스 5대의 총 운행거리는 133,042 km이며 수소 충전량은 7,634.2 kg으로 나타났다. 이를 통하여 수소버스의 시내주행 시 실제 평균 연비는 약 17.4 km/kg으로 예측이 가능하다.

수소전기차(NEXO) 대비 충전용량은 많으며 운행거리가 긴 수소버스의 충전데이터는 향후 수소모빌리티 운영 시 당일 공급할 수소 소모량과 필요량 산출 및 수소충전소 운영을 위해 중요한 인자로 활용이 가능하다.

Table 4. Accumulate sum of distance and total charging amount by fuel cell bus

	Start date of bus running	Bus number	Accumulate sum of distance (km)	Total charging amount (kg)
1	19/06/05	71자1014	33,924	1938.5
2	19/06/05	71자1108	37,938	2143.3
3	19/06/05	71자1109	39,406	2291.4
4	19/07/01	17자1351	11,773	672.7
5	19/09/13	17자1025	10,001	588.3
Total	-	-	133,042	7634.2

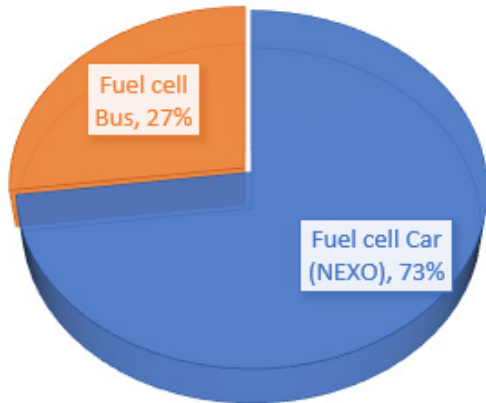


Fig. 3. Share of hydrogen charging amount by vehicle type

3.3 창원시 수소버스 계획 및 보급안

창원시에서 2019년 6월부터 9월까지 보급된 총 수소량은 28,669 kg이며 이 중 버스 5대에 충전된 양은 7,634 kg으로 전체 기준 27%의 비중을 차지하는 것으로 확인되었다(Fig. 3).

운행 중인 버스가 5대인 점을 감안하면 창원시에서 소비되는 수소 중 버스가 차지하는 비중이 상당한 것을 알 수 있으며, 향후 2022년 수소버스 100대 보급 시, 수소의 필요량은 기하급수적으로 증가될 것으로 예측된다. 이에 원활한 보급을 위해서는 튜브트레일러를 통한 부생수소 공급방식이 아닌 수소생산기지 구축을 통한 자체생산 및 대용량의 수소를 저장할 수 있는 수소액화방식 등의 다양한 수소보급 인프라 확충이 시급한 실정이다. 향후 3년간 창원시의 수소버스 보급 및 충전소 구축 계획을 Table 5에 나타내었다.

3.4 수소버스 보급에 따른 대응방안

3.4.1 수소버스 충전소 보급

수소버스의 성공적인 정착을 위해서는 수소버스 보급뿐만 아니라 추가 충전소 구축을 통한 안정적인 수소연료 공급이 중요하다.

창원시는 2022년까지 100대의 수소버스를 공급할 계획이며, 이에 수소충전소 또한 마산합포구 덕동, 진해 죽곡 지역을 포함하여 창원 관내에만 10곳의 수소충전소를 구축할 예정이다. 이러한 인프라가 점차 확대될 경우 현 시점에서 발생하는 충전 지연 문

Table 5. Deployment plan for fuel cell bus and hydrogen refueling station in Changwon

	Number of hydrogen charging station (units)	Number of hydrogen bus mobility (units)
2018	1	-
2019	3	5
2020	5	50
2022	10	100

제 및 충전소 이용 불편 문제 등은 점차 해결될 것이다.

또한 분산형 수소생산기지 및 액화수소시설까지 추가 증설될 경우, 수소버스를 포함하여 모든 모빌리티에 수소공급이 원활해질 것으로 사료된다.

3.4.2 수소버스 충전시간 단축

현재 성주충전소는 1대의 압축기를 보유하고 있으며, 이 압축기의 최대 압축 용량은 1,000 bar로 설계되어 있다. 하지만 실제 버스 충전 시에는 약 870 bar로 버스에는 700 bar까지 충전이 가능하며 이 경우 버스 1대당 약 15-20분 정도 소요된다. 이는 일반 수소전기차(NEXO) 대비 충전시간이 3배 이상 길게 소요되며, 향후 수소버스가 확대 보급됨에 따라 수소가스의 원활한 공급을 위해서는 이러한 문제 해결은 꼭 필요하다.

현재 창원산업진흥원은 산업부의 “수소버스 충전시간 1/2 단축 및 튜브트레일러 운송용량 2배 이상 증대를 위한 수소충전시스템 기술개발 실증” 사업에 참여하고 있다. 본 사업은 압축용량 향상 및 튜브트레일러 용량 증대를 통해 충전 시 발생하는 문제 해결을 목표로 하고 있다. 이러한 수소 충전 프로토콜 도입 및 압축용량이 향상될 설비가 개발되어 도입될 경우 충전시간 단축은 물론 수소버스 보급이 원활하게 이루어질 것으로 사료된다.

3.4.3. 수소생산기지 구축

현재 창원의 모든 수소충전소에 공급되는 수소는

울산에서 생산된 부생수소를 수소튜브트레일러로 공급 받아 충전하는 방식이다. 2019년 9월 수소버스 5대/수소전기차 450대를 기준으로 월 사용량은 7.5톤으로 현재까지는 큰 어려움 없이 공급이 가능하다. 하지만 수소버스 보급 활성화에 따라 향후 매월 약 152톤의 수소 소비가 예상되고 이에 수소를 직접 생산하여 공급할 수 있는 분산형 수소생산기지 구축이 절실한 실정이다(Fig. 4).

이에 현재 창원시는 메탄가스에서 수소를 추출하는 방식의 분산형 수소생산기지 구축사업을 진행 중에 있으며, 현재 성주수소충전소 부지에 공사가 진행 중이며 2020년 8월 완공 예정이다.

3.4.4 액화수소 보급 및 액화수소충전소 구축

수소생산기지 구축 사업과 더불어 창원시는 수소경제 활성화를 위해 지속적으로 보급되고 있는 수소전기차 및 수소버스 등에 대응하기 위해 10기의 기체수소충전소 구축 계획을 발표하였다. 하지만 현재의 수소사용량을 고려해 볼 때 향후 사용될 수소의 양은 기하급수적으로 증가할 것으로 판단되며, 부생수소를 통한 보급만으로는 현실적으로 대응이 불가능할 것으로 판단된다. 이러한 문제 해결을 위해 창원시는 수소산업 로드맵에서 밝힌 바와 같이 수소충전소 보급과 함께 액화수소 사업을 추진해 왔다. 이에 최근 액화수소 생산플랜트 구축과 관련하여 산업단지환경개선펀드 사업의 우선협상대상자로 선정되어 액화사업을 계획 중에 있다. 이를 통해 액화수소가 국내에서 최초로 생산될 경우 저장 및 수송의 장점이 있는 액화수소충전소 구축이 가능하게 될 것이다. 액화수소충전소는 한 번에 최대 3,500 kg 이상의 수소를 저장하고 공급하여 기체수소충전소의 저장한계 문제를 해결할 수 있게 된다. 창원시는 이를 통해 향후 액화수소를 직접 생산하고 대용량의 수소를 저장할 수 있는 기반을 구축하여 향후 수소버스 보급에 따른 문제를 해결할 계획이다.

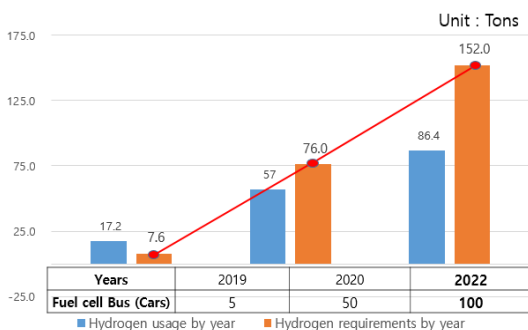


Fig. 4. The number of fuel cell bus and hydrogen demands by year in Changwon

4. 결론

본 연구에서는 수소버스 보급에 따른 수소충전소의 수소 소비량과 일일 평균 충전대수 및 일일 평균 충전량에 대한 상관관계를 분석하였다. 본 연구 결과를 통해 향후 수소전기차 및 수소버스 보급 확대에 따른 수소충전소 추가 구축 필요성을 확인하였으며, 본 연구 결과는 향후 발생할 수 있는 문제점을 미리 파악하고 대응하기 위한 자료로 사용할 계획이다.

1) 수소충전소 운영을 통해 수소버스는 한 대당 1회 평균 12.6 kg을 충전하고, 일 평균 충전량은 버스 5대 기준 157.5 kg으로 확인되었다. 이를 통해 향후 수소 버스 보급 확대에 따른 월별 수소 소모량, 수소충전소 보급량 및 압축기 capacity 등의 수요를 예측하는데 있어 관련 데이터로 활용 가능할 것이다.

또한 운영을 통하여 확인된 수소버스 충전 시간, 문제는 향후 지속적으로 개선해야 할 점으로 확인되었다.

2) 수소버스 보급 활성화를 위하여 본 논문에서 제시한 첫째 수소충전소 추가 구축, 둘째 버스 수소 충전시간 단축, 셋째 수소생산기지 구축, 넷째 대용량 수소저장을 위한 액화수소 공급 및 액화수소충전소 구축 문제 등을 해결하기 위해서는 많은 노력이 필요할 것이다. 이를 위해 유관기관 및 지자체, 기업 등의 협업이 필요하며 이를 통해 성공적인 수소버스 보급은 물론 수소모빌리티 산업 활성화의 시간을 앞당길 수 있을 것으로 사료된다.

3) 정부 수소산업 로드맵 실행을 위해서는 수소모빌리티 보급에 따른 수소충전소 추가 증설이 시급한 실정이며, 또한 관련 법규가 조속히 정리되어 지자체 중심이 아닌 민간사업자 중심의 수소충전소 구축 및 운영이 적극적으로 이루어져야 할 것이다.

후 기

본 연구는 산업통산자원부 에너지기술개발사업의 수소 융복합스테이션 위험성 평가 및 연구사업(과제 번호:20162220100180)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

본 연구는 환경부의 폐자원에너지화 재활용 전문인력 양성사업으로부터 지원을 받았습니다(YL-WE-19-001).

References

1. C. E. Thomas, "Fuel Cell and Battery Electric Vehicles Compared", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 34, No. 15, 2009, pp. 6005-6020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.06.003>.
2. P. Corbo, F. Migliardini, and O. Veneri, "Dynamic Behaviour of Hydrogen Fuel Cells for Automotive Application", *Renewable Energy*, Vol. 34, No. 8, 2009, pp. 1955-1961, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.12.021>.
3. 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", *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol. 30, No. 4, 2019, pp. 356-361, doi: <http://kiss.kstudy.com/thesis/thesis-view.asp?key=3697993>.
4. K. Y. Chu, K. C. Jo, M. H. SunWoo, and S. H. Choi, "Optimization of Air Supply for Increased Polymer Electrolyte Fuel Cell System Efficiency", *Trans. of KSAE*, Vol. 19, No. 3, 2011, pp. 44-51, 2011. Retrieved from <http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201113663904304.page>.
5. W. W. Lee, "Hydrogen Economy Law (Bill No. 12992)", *Personalized Legislative Contents Searching System*, 2018, pp. 4-8. Retrieved from <http://likms.assembly.go.kr/bill/main.do>.
6. C. I. Lee, "Hydrogen Economy Revitalization Act (Bill No. 13699)", *Personalized Legislative Contents Searching System*, 2018, pp. 3-9. Retrieved from <http://likms.assembly.go.kr/bill/main.do>.