

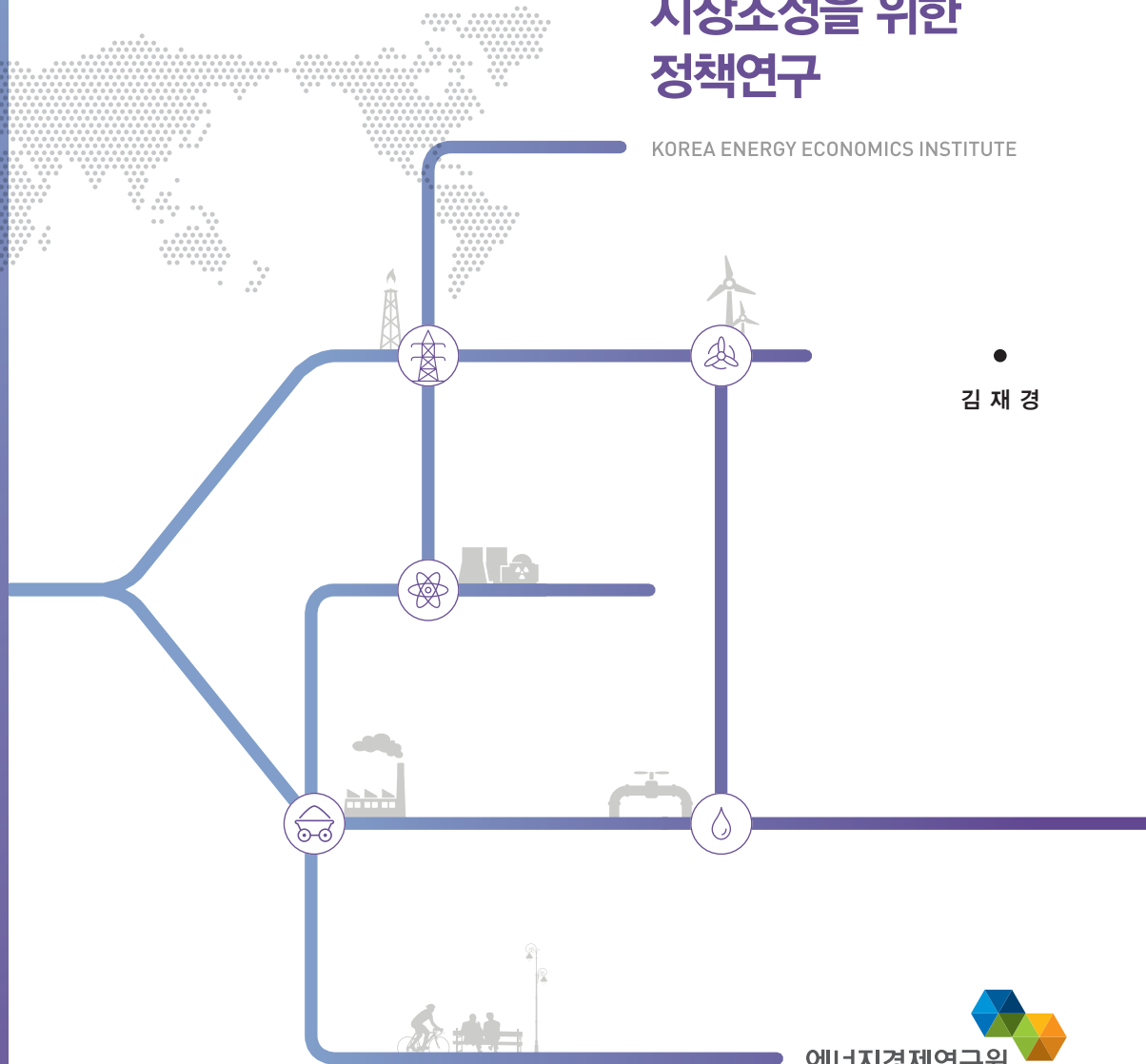
수시  
연구 보고서  
17-07

# 수소연료전지 자동차 (FCEV) 충전용 수소 시장조성을 위한 정책연구

KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE

●  
김 재 경

에너지경제연구원  
Korea Energy Economics Institute



## 참여연구진

---

연구책임자 : 연구위원 김재경

연구참여자 : 수소융합얼라이언스추진단 권성욱



## 〈요 약〉

### 1. 연구 필요성 및 목적

환경친화적 자동차로서 국내 수소연료전지 자동차(이하 수소전기차) 보급에 대해서도 정부지원이 잇따르고 있다. 또한 2016년부터 강화된 연비·온실가스 배출규제 기준 적용 등으로 국내 자동차산업 차원에서도 수소전기차 개발, 생산, 판매를 위한 노력이 가속화되고 있다.

이러한 노력에 힘입어 2017년 12월부터 제3세대 수소전기버스가 시범사업 차원에서 울산 시내 노선버스 정규노선에 투입되었으며, 2018년 2월에는 국내 최초로 일반 소비자 대상 보급형 수소전기차 모델(승용차, 모델명: 넥쏘)도 출시되었다. 이로 인해 2018년부터 수소전기차가 그 동안의 시험생산 내지 소량 생산단계를 넘어서 본격적인 대중화의 단계로 들어서는 초입(初入)에 도달하였다고 평가할만하다.

이처럼 2018년 본격적이 대중화를 앞두고 있는 수소전기차이지만, 이를 충전할 국내 수소충전소는 매우 부족한 것이 또한 현실이다, 2017년 10월 기준 구축되어 운영 중인 수소충전소는 12개소이며, 이 중 일반 수소전기차 이용자에게 개방되어 접근 가능한 상업용 충전소는 고작 6개소에 불과하다. 현재 건설 중인 충전소를 포함 2018년 말까지는 16개소가 추가 구축될 예정이지만 아직 턱없이 부족하기는 마찬가지이다. 물론 향후 정부의 수소충전소 보급목표에 따라 2020년 80개소, 2025년 210개소 그리고 2030년까지 520개소(누적)가 구축될 계획이며, 이러한 계획이 달성된다면 수소전기차 보급을 저해하는 수

소충전소 부족문제도 일정 정도는 완화될 수 있을 것으로 사료된다.

그러나 수소충전소라는 물리적 인프라가 구축되었다고 하더라도 이를 제대로 지속가능하게 운영하기 위해서는 수소충전소를 기반으로 한 수소충전소 운영사업(즉, 수소차 충전사업)도 함께 육성되어 그 기능을 수행할 수 있어야 한다. 또한 이러한 수소충전소 운영사업이 단독으로 영위할 수 없는 바, 이와 관련된 사업들이 어우러진 건강한 수소차 충전용 수소시장의 조성이 필요하다.

다시 말해 수소전기차 보급은 물리적인 인프라인 수소충전소와 이를 운영하기 위한 수소충전소 운영사업의 육성, 그리고 더 나아가 수소차 충전용 수소 시장의 조성이 전제되어야 한다. 결국 궁극적으로는 수소전기차 시장과 수소차 충전용 수소 시장은 공진화(共進化)할 수밖에 없다. 이 때문에 수소차-충전용 수소 시장의 공진화적 발전을 위한 중장기적 정책지원이 필요하며, 정부도 이에 대한 필요성을 인식, 정부 차원의 노력을 기울일 필요가 있다.

본 연구는 이러한 견지에서 국내 수소차 충전용 수소시장을 종합적으로 진단 및 평가해보고, 수소차 충전용 수소시장의 조성 및 육성을 위해 요구되는 정책적 니즈(needs)를 도출하고자 하였다. 그리고 이를 바탕으로 수소차 충전용 수소시장 조성과 육성을 위해 요구되는 정책방향을 제언하고자 하였다.

## 2. 내용 요약

‘닭과 달걀(chicken and egg)’ 문제로 인해 수소전기차나 수소충전소 중 어느 한쪽이 부족할 경우에는 상호간 보급·확산의 저해하는 요인을 작용하는 악순환 구조가 형성될 수 있다. 이러한 ‘닭과 달걀

(chicken and egg)’ 문제 해결을 위해서 적어도 손익분기점에 도달할 수 있을 정도로 수소전기차가 충분히 보급되기 이전까지는 한시적으로 정부 등 공공부문에서 공적재원을 활용하여 충분한 수소충전소를 구축하는 것이 바람직할 수 있다. 그러나 활용 및 확보에 제약이 있는 정부 예산만으로 충분한 자원 확보가 한계가 있음을 고려한다면, 민간 수소충전소 운영사업자를 육성하여 민간 투자를 유도하는 방안이 유효할 수 있다.

그러나 2017년 현재 국내에 누적 보급된 수소전기차는 170대 수준이며, 이들에게 충전용 수소를 공급할 수소충전소 역시 상업적으로 운영되고 있는 곳은 단지 6개소이다. 그리고 이들 수소충전소는 대부분 지방자치단체가 직접 운영을 담당하고 있다. 이로 인해 국내에는 경제적 수익창출을 목적으로 하는 수소충전소 운영사업자는 적어도 2017년 현재까지는 존재하지 않는다.

다만, 현재 민관 합자투자회사 형식으로 설립이 예정된 수소충전소 운영사업 특수목적법인(SPC)이 한시적으로 국내 유일한 민간 수소충전소 운영사업자(수소차 충전사업자)의 역할을 하게 될 것으로 보인다. 그리고 이미 구축되어 있거나 향후 구축 예정인 지방자치단체 운영 수소충전소까지 위탁 운영이 해당 특수목적법인 담당할 경우, 수소차 충전용 수소시장의 구성에 마중물 역할을 하게 될 것으로 보인다.

이처럼 민간 충전수소 운영사업자(수소차 충전사업자)가 충전소 구축과 함께 운영을 담당하게 될 경우, 일정 임계 수준이상, 즉 손익분기점 이상으로 수소전기차가 보급되기 이전에는 저조한 가동률로 인해, 운영 손실이 불가피하다. IEA(2015)는 이처럼 보급 초기단계에서 충전 수요 부족 등으로 수소충전소의 운영 손실이 불가피한 기간을 대략

10~15년 정도로 보고, 이 기간을 소위 ‘죽음의 계곡(Valley of Death)’로 명명한 바 있다. 그리고 이러한 죽음의 계곡을 극복하는 방안으로서 투자비용 및 운영비용 절감, 가동률 제고와 함께 공적 지원이 필요함을 주장한 바 있다.

결국 민간 수소충전소 운영사업자를 육성하는 한편 수소충전소 구축에 대한 민간 투자를 유도하는 차원에서, 정부 등 공공부문에서 공적재원을 활용하여 수소충전소 운영 자체를 한시적으로 지원하는 방안 마련이 필요하다.

한편 국내에 운영 중인 튜브 트레일러는 약 500여대로 추산되는데, 수소 저장용기인 튜브(tube)는 주로 수소 공급사업자들이 직접 소유하고 있는 경우가 대부분이며, 이를 물류회사와 운송계약을 맺고, 물류회사 소유의 트레일러에 적재하여 이송하게 하게 된다.

만일 수소 공급사업자가 수소충전소로 충전용 수소를 이송할 경우, 튜브와 관련하여 두 가지 옵션이 사용되는데, 먼저 수소 공급사업자 소유의 튜브를 충전소에 대여해주는 형식으로 수소와 함께 제공하는 경우와 충전소가 직접 튜브를 조달하여 해당 튜브에 수소만 담아서 제공하는 경우가 그것이다. 전자의 경우에는 충전용 수소의 공급가격에 튜브임대비가 포함되어 정산되지만, 후자의 경우는 자연스럽게 이러한 튜브임대비가 제외되는 구조이다.

이러한 구조 하에서는 수소충전소로 공급되는 일종의 도매 수소공급 비용을 절감하는 차원에서 튜브를 수소충전소가 소유하거나 혹은 이를 저렴한 비용으로 임대하는 제3의 기관이나 기업이 시장에 존재하는 것이 수소전기차 보급·확산 및 충전용 수소 시장의 육성에 보다 바람직할 수 있다.

### 3. 결론 및 정책제언

본 연구는 국내 수소차 충전용 수소시장 조성과 육성을 위해 다음과 같이 제언하고자 한다.

#### 가. 충전용 수소 소매가격(수소 충전요금)에 대한 한시적 보조

민간 수소충전소 운영사업자가 소위 죽음의 계곡을 극복하기 위해서는 해당 기간 동안을 지탱할 수 있도록 일정 정도의 수익 창출을 통한 현금 흐름 확보가 필요하다. 이를 위해서는 우선 고려될 수 있는 방안은 가동률 저조로 인해 발생 할 수밖에 없는 운영 손실분 중 전부 내지 일부를 수소전기차 이용자에게 전가하는 방안이 있을 수 있다. 이 경우 자연스럽게 충전용 수소의 소매가격, 즉 수소 충전요금의 인상이 불가피해진다.

사실 수소전기차가 보급되기 위해서, 즉 자동차 소비자들에게 수용되기 위해서는 적어도 수소전기차와 대체 관계에 있는 유사내지 동급 차종, 특히 경유 자동차의 연료비용보다는 충분히 낮은 수준이 되도록 수소 충전요금이 설정될 필요가 있다. 다시 말해 충전소 설치 투자비용 회수나 운영비용 보전 등을 고려하여 수소충전요금이 대략 8,000원/kg 수준을 넘어설 경우, 자동차 소비자에게 수소전기차 구입을 통한 연료비 절감의 편익을 제공함으로써 수소전기차 구매를 유도하기는 사실상 어렵게 된다.

이처럼 수소충전소 운영사업자의 운영 손실 보전의 필요성과 저렴한 수소 충전요금을 원하는 수소전기차 이용자들의 요구를 모두 충족시키기 위해서 본 연구는 충전용 수소 소매가격(수소 충전요금)의 일부를 한시적으로 보조해주는 방안을 제안하고자 한다.



우선 수소충전소 운영사업자는 손익분기점에 도달하기까지 사업을 영위할 수 있는 최소한의 수준에서 운영 손실분의 일부내지는 전부를 수소전기차 이용자에게 전가시킬 수 있도록 충전용 수소 소매가격(수소 충전요금)을 설정한다. 수소전기차 이용자는 설정된 소매가격에 충전용 수소를 구매하는 대신, 정부가 구매금액의 일부, 특히 운영 손실분 중 이용자에게 전가된 부분만큼을 산정하여 공적 재원을 활용하여 보전해주는 가칭 ‘수소차 충전보조금’을 수소전기차 이용자에게 지원하는 방안을 제안하고자 한다.

이러한 수소차 충전 보조금 제도를 도입할 경우 수소충전소 운영사업자가 실제 수취하는 금액과 수소전기차 이용자가 실제 부담하는 금액 간에 차이가 발생하게 되면서, 전자는 운영 손실 보전을 후자는 저렴한 충전요금 부담이라는 혜택을 상방 간에 동시에 누릴 수 있게 된다. 물론 수소차 충전보조금의 규모나 단가 그리고 지급 기간 등에 대해서는 추가적인 연구와 심도 있는 논의가 필요하지만, 이미 시행된 사례가 있다는 점 등을 고려한다면 충분히 적용이 가능하다고 사료된다.

더욱이 현재 전기차 이용자에게 제공되는 연료비 공적 지원 혜택과의 형평성 차원에서라도 수소전기차 이용자를 대상으로 한 수소 충전요금 공적 보조에 대한 도입 검토가 필요하다.

#### **나. 충전용 수소 대리점 설립 추진**

민간 수소충전소 운영사업자가 소위 죽음의 계곡을 극복하기 위한 다른 방편으로 충전용 수소를 충전소에 들여올 때 발생하는 제반비용(= 도매 공급가격+기타비용)을 절감하는 방안도 고려할 수 있다. 특히 앞서 언급한 바와 같이 수소 공급사업자가 수소충전소로 수소를 공급,

이송하는 과정에서 발생하는 튜브 임대비용은 튜브 소유를 통해 일정 정도 내부화가 가능하다. 그러나 튜브 구입에 투자되어야 할 비용을 고려할 경우, 가능하다면 몇 개소의 수소충전소만을 위해 활용하기보다 다수의 수소충전소로 구성된 수소충전소 네트워크를 구성하여 활용하는 편이 규모의 경제 효과를 누려 운영 단가를 낮출 수 있다는 점에서 보다 바람직할 수 있다. 그러나 구축비용만 30억 이상이 소요되는 수소충전소들로 네트워크를 구성하기 위해서는 그 자체만으로도 상당한 재원 확보가 필요하다. 이러한 점을 감안하여 본 연구는 ‘충전용 수소 대리점’ 설립 추진을 제안하고자 한다.

단일 수소충전소 (운영사업자)가 개별적으로 수소 공급사업자와 거래할 경우, 공급가격 협상에서 상대적인 열위에 위치하게 될 수밖에 없는 관계로 불리한 조건을 감내해야 하는 경우가 생길 수 있다. 그러나 충전용 수소 대리점이 거래처인 다수의 수소충전소 (운영사업자)를 대신해 사실상의 공동구매 협상 창구역할을 하게 된다면 수소 공급사업자와의 공급가격 협상에서의 협상력을 한층 고양시킬 수 있다. 그만큼 저렴하게 충전용 수소를 공급받을 여지도 커지게 된다.

이와 함께 대리점이 수소 저장용기인 튜브를 소유하고, 이를 충전용 수소 이송에 활용할 경우, 튜브 임대비용 등을 내부화시켜 상대적으로 공급가격을 인하하는데 기여할 수도 있다.

물론 이러한 기능과 역할을 수행하는 충전용 수소 대리점이 개설된다면 충전용 수소 시장 조성 및 육성을 넘어 수소전기차 산업 및 수소 산업 육성 및 발전에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다. 그러나 현 단계에서 자연발생적으로 이러한 대리점 설립을 기대하기는 어려운 것이 현실이다. 이러한 충전용 수소 대리점의 필요성에 대한 인식을 공유하

고 절감하는 이해관계자들이 재원을 분담하여 합작투자를 통해 특수목적법인 형태로 설립하는 방안이 가장 현실적일 수 있다. 특히 최근 보유 중인 천연가스나 LPG 배관망을 활용한 수소 공급 인프라 구축 및 운영사업을 검토 중인 공공기관(한국가스공사)이 해당 사업과 연계할 경우, 충전용 수소 대리점 설립에 일정 정도 기여할 수 있을 것으로 사료된다. 이에 대해 적극적인 정책적 고려와 검토가 필요하다.

## ABSTRACT

### 1. Purpose of Research

The government has introduced a series of policies designed to support the domestic supply of eco-friendly hydrogen fuel cell vehicles (or “hydrogen vehicles”). With the strengthening of fuel efficiency and greenhouse gas emission standards since 2016, efforts to develop, produce, and sell hydrogen vehicles have been accelerating in the domestic automobile industry.

Thanks to these efforts, third-generation hydrogen buses have been put into regular service in the city of Ulsan since December 2017, as one of the city’s pilot projects. Also, in February 2018, Hyundai introduced its Nexa hydrogen vehicle in Korea. With these developments, it can be said that hydrogen vehicles have now reached the initial stage of full-scale popularization, having gone beyond trial and small-scale production.

Therefore, Korea will soon see the wide-scale release of hydrogen vehicles in 2018. However, there are still very few hydrogen fueling stations in the country. A total of 12 hydrogen fueling stations were in operation, according to the set standard, as of October 2017, only six of which are commercial stations accessible by users. Although 16 additional fueling stations, including those currently under construction, will enter operation by the end of 2018, there will still be far too few. However, the government has a plan to have a cumulative total of 80

fueling stations in operation by 2020, with that number rising to 210 by 2025 and 520 by 2030. If this plan is realized, the problem of insufficient hydrogen fueling stations is expected to be eased to some degree.

However, even if the physical infrastructure, including hydrogen fueling stations, is established, hydrogen fueling station operating companies (or “station operators”) will still need to be fostered in order to sustain the infrastructure. In addition, since companies will not be able to engage in the hydrogen fueling station operation business independently, it is necessary to establish a healthy hydrogen fueling market that spans all hydrogen-related businesses. In other words, the dissemination of hydrogen vehicles needs to occur in line with the expansion of hydrogen fueling stations (the physical infrastructure for hydrogen vehicles), the development of the hydrogen fueling station business, and the establishment of the hydrogen fueling market. Ultimately, the hydrogen vehicle and hydrogen fueling markets must be developed and expanded together. For this reason, the government needs to recognize the need for and develop mid- and long-term policy support for the co-evolution of hydrogen vehicles and the hydrogen fueling market.

From this perspective, the purpose of this study is to comprehensively examine and evaluate the domestic hydrogen fueling market, and identify the policy needs that need to be satisfied in order to ensure the establishment and development of the market. Based on the results of our examination and evaluation, we propose policy directions for the establishment and growth of the hydrogen fueling market.

## 2. Summary

In the case where there is an insufficient number of either hydrogen vehicles or hydrogen fueling stations, the supply and expansion of one or the other will be restrained, thereby forming a vicious cycle, akin to the chicken-and-egg situation. To avoid such a situation, it may be desirable to build a sufficient number of hydrogen fueling stations, supported by the public resources of the public sector, for a limited period of time, until the number of hydrogen vehicles introduced into the market is sufficient for station operators to reach the break-even point. However, considering the limitations of the government budget and the constraints on securing and utilizing public resources, it may be more effective to promote private investment by encouraging private businesses to operate hydrogen fueling stations.

However, as of 2017, there are a total of 170 hydrogen vehicles in Korea and only six commercially operated hydrogen fueling stations, the majority of which are directly operated by local governments. For this reason, as of 2017, it is not possible for a hydrogen fueling station operating company to generate profits in Korea.

However, the Special Purpose Corporation (SPC) is scheduled to be established in the form of a public-private joint-venture investment company and will serve as the only private operator of hydrogen fueling stations in Korea for a certain pre-defined period of time. As it will be commissioned to operate the hydrogen fueling stations that have already been or will be built by local governments, the SPC is expected to play

a key role in fostering the growth and development of the hydrogen fueling market.

If a private company were to build and operate hydrogen fueling stations, it would inevitably incur financial losses until the number of hydrogen vehicles in the market rises above a certain threshold. The IEA (2015) reported that such station operators would be unable to generate profits for the next 10 to 15 years, due to the lack of demand and other factors in the early stages of market expansion, calling this period the “Valley of Death.” To overcome this issue, the IEA has argued that it is necessary to reduce investment and operating costs, increase the utilization rate of hydrogen fueling stations, and provide public support.

As a result, in order for the government to foster private station operators and encourage private investment in the construction of hydrogen fueling stations, it must prepare a plan for temporarily supporting the operation of hydrogen fueling stations based on the public resources of the public sector.

Approximately 500 hydrogen tankers are estimated to be in operation in Korea. The hydrogen storage tanks transported by these trucks are mainly owned by hydrogen suppliers, who have contracts with logistics companies for the transport of their tanks. However, regarding the transportation of hydrogen to a hydrogen fueling station via hydrogen tanker, there are two options: the station operator can lease a hydrogen tank from a hydrogen supplier, or it can purchase and use its own tank. In the former scenario, the price of fueling includes the cost of leasing

the tank, while in the latter, it does not.

In popularizing hydrogen vehicles and expanding the hydrogen fueling market, it may be preferable for third-party companies to lease hydrogen tanks at a lower cost or for stations operators to purchase their own tanks in order to reduce the cost of the hydrogen supplied to their hydrogen fueling stations.

### 3. Conclusions and Policy Implications

This study makes the following suggestions regarding the establishment and development of the domestic hydrogen fueling market.

#### **A. Provision of temporary support for the retail price of hydrogen fuel (hydrogen fuel subsidy)**

In order to overcome the so-called “Valley of Death,” a station operator needs to secure sufficient revenue to sustain itself until the market matures. To achieve this, the operator may consider transferring all or part of its operating losses, caused by the low utilization rate, to its customers. In this case, an increase in the retail price of hydrogen for hydrogen vehicles, via a subsidy, will be inevitable.

To satisfy both the need of station operators to offset their operating losses and the desire of hydrogen vehicle users for cheap hydrogen, this study suggests a policy of temporarily supporting the price of hydrogen through a hydrogen fuel subsidy.



First, the station operators set a retail price for hydrogen that allows them to transfer all or part of their operating losses to hydrogen vehicle users. This price must be set only high enough to allow the operators to breakeven. In return for purchasing hydrogen at the set retail price, hydrogen vehicle users will receive from the government a “hydrogen fuel subsidy,” which will be calculated as a portion of the purchase price (up to the point where it covers the operator’s operating losses).

With such a subsidy system, there will be a difference between the gross revenue of station operators and the actual price paid by hydrogen vehicle users, allowing the former to cover their operating losses and the latter to enjoy cheaper hydrogen. Although further research and in-depth discussion on the size, unit price, and payment period of the hydrogen fuel subsidy needs to be conducted, the policy has already been proven effective in real-world cases.

#### B. Establishment of hydrogen fuel dealers

Another way to overcome the Valley of Death is to reduce the costs (wholesale supply price + other costs) of transporting hydrogen to fueling stations. As mentioned above, the cost incurred by a station operator for hydrogen transport can be internalized to some extent by the operator’s purchasing and using its own hydrogen tanks. However, considering the cost of purchasing tanks, it would be more advantageous for a network of multiple hydrogen fueling stations to purchase tanks together, thus reducing their operating costs through economies of scale.

However, to establish such a network of hydrogen fueling stations, each of which requires KRW 3 billion in construction costs, it is necessary to secure considerable financial resources. This study therefore suggests the establishment of hydrogen fuel dealers.

When dealing with a hydrogen supplier, an individual station operator may be at a relative disadvantage in terms of price negotiations. However, if a hydrogen fuel dealer representing multiple station operators acts as a de facto joint purchasing negotiator, the operators will have greater negotiating power in price negotiations with suppliers.

In addition, if a hydrogen fuel dealer also owns hydrogen storage tanks and uses them to transport the hydrogen to fueling stations, it may help lower the supply prices even further by internalizing the cost of leasing the tanks. Of course, if such a hydrogen fuel dealer system is adopted, it would have a positive effect on the development of the hydrogen and hydrogen vehicle industries, going beyond the establishment and expansion of the hydrogen fueling market. In reality, however, the spontaneous establishment of such dealers at this stage is unlikely. It would be more realistic for stakeholders, aware of the need for a dealer system, to establish special purpose corporations through joint ventures. In this regard, active policy consideration and review is necessary.



## 제 목 차례

제1장 서론 .....	1
제2장 국내 수소연료전지차 및 수소충전소 현황 .....	3
1. 수소연료전지차(수소전기차)의 구조와 구동원리 .....	3
가. 수소연료전지차(수소전기차)의 정의 .....	3
나. 연료전지(Fuel Cell)의 작동원리와 종류 .....	4
다. 수소전기차의 구조 .....	11
2. 수소 충전인프라의 구성 및 유형 .....	16
가. 수소충전소의 구성 .....	16
나. 수소충전소의 부지확보 전략에 따른 유형 .....	20
3. 국내 수소전기차 보급 및 수소 충전인프라 구축 현황 .....	26
가. 국내 수소전기차(수소전기버스 포함) 개발 및 생산 동향 .....	26
나. 국내 수소전기차 보급 및 수소 충전인프라 구축 정책 현황 .....	31
다. 국내 수소충전인프라 구축 현황 .....	37
제3장 수소차 충전용 수소시장의 구조와 현황 .....	41
1. 수소차 충전용 수소의 공급 및 유통체계 .....	41
가. 수소차 충전용 수소의 유통단계 .....	41
나. 수소차 충전용 수소의 생산 및 활용 .....	42
다. 수소차 충전용 수소의 이송수단 .....	46

2. 국내 수소차 충전용 수소 시장의 현황 .....	51
가. 국내 수소차 충전용 수소 생산 및 공급자 현황 .....	51
나. 국내 수소차 충전용 수소 이송 체계 현황 .....	53
다. 국내 수소충전소 운영사업(수소차 충전사업) 현황 .....	54
<b>제4장 수소차 충전용 수소 시장조성을 위한 정책제언 .....</b>	<b>59</b>
1. 국내 수소차 충전용 수소 시장 조성을 위한 정책적 니즈(needs) ....	59
가. 개관 .....	59
나. 수소차 충전용 수소의 상류부문(생산 및 공급부문) ....	61
다. 수소차 충전용 수소의 중류부문 .....	63
라. 수소차 충전용 수소의 하류부문(수소충전소 운영사업) ..	64
2. 국내 수소차 충전용 수소 시장조정을 위한 정책제언 .....	67
가. 충전용 수소 소매가격(수소 충전요금)에 대한 한시적 보조 .....	67
나. 충전용 수소 대리점 설립 추진 .....	70
<b>참고문헌 .....</b>	<b>73</b>

## 표 차례

<표 2-1> 「그린카 산업 발전전략 및 과제」의 보급목표 .....	31
<표 2-2> 국내 수소충전소 현황(2017. 10월) .....	38
<표 3-1> 전 세계 수소의 주요 용도별 소비량 .....	45

## 그림 차례

[그림 2-1] 연료전지(스택)의 구성 .....	4
[그림 2-2] 연료전기 내부에서의 전기발생 원리 개념도 .....	5
[그림 2-3] 연료전지의 유형별 특징 .....	8
[그림 2-4] 연료전지 유형별 전해질, 반응기체, 작동온도 비교 .....	9
[그림 2-5] DMFC 장착 지게차 .....	10
[그림 2-6] 수소전기차 구조 개략도 .....	12
[그림 2-7] 수소전기차 핵심모듈 구성도 .....	13
[그림 2-8] 내장 배터리의 역할에 따른 수소전기차의 유형 비교 ...	15
[그림 2-9] 수소충전소의 일반적 구성 .....	16
[그림 2-10] 수소충전소(중앙공급방식)에서의 충전 과정 개념도 ....	18
[그림 2-11] 수소충전소의 충전기(미국 캘리포니아주 트루제로 수소충전소) .....	19
[그림 2-12] 기존 수소충전소와 패키지형 모듈 수소충전소 비교 ...	21
[그림 2-13] 국내에서 개발 중인 컨테이너 형태의 패키지형 수소충전소 모형 .....	21
[그림 2-14] 울산 ‘옥동 수소-LPG 복합 충전소’ .....	23
[그림 2-15] 수소-LPG 복합 충전소 조감도 .....	23
[그림 2-16] 운영 중인 일본의 이동식 충전소 .....	24
[그림 2-17] 국내에 개발된 이동식 액화수소충전소 모형 .....	25

[그림 2-18] 산타페 FCV(좌)와 투싼 FCV-I(우) .....	26
[그림 2-19] 현대 투싼ix FC(좌)와 도요타 미라이(우) .....	28
[그림 2-20] 일반 보급형 제2세대 수소 전기승용차(모델명: 넥쏘) · 29	
[그림 2-21] 제3세대 수소전기버스 .....	30
[그림 2-22] 「수소차 보급 및 시장 활성화 계획」 보급목표 .....	32
[그림 2-23] 「수소차 보급 및 시장 활성화 계획」 상의 수소충전소 구축 전략.....	33
[그림 2-24] 「미세먼지 관리 대책」의 보급목표 비교 .....	35
[그림 2-25] 현행 수소전기차 보급 로드맵 .....	36
[그림 2-26] 현행 수소충전소 보급 로드맵 .....	36
[그림 2-27] 구축 시기별 수소충전소 분포 .....	37
[그림 2-28] 수소충전소의 지역적 분포 .....	39
[그림 3-1] 수소차 충전용 수소의 유통단계 .....	42
[그림 3-2] 수소의 생산방식 유형 .....	43
[그림 3-3] 수소의 형태에 따른 이송방식 .....	46
[그림 3-4] 180bar급 type1형 튜브(수소 저장용기) .....	47
[그림 3-5] 미국 Hexagon Composites의 type4형 튜브 트레일러 .....	47
[그림 3-6] type1형과 type4형 튜브 비교 .....	48
[그림 3-7] 액화수소 초저온저장용기(좌)와 액화수소 탱커 트럭(우) .....	49
[그림 3-8] 울산지역 수소파이프라인 배관망(주덕양, 좌)와 수소파이프라인 매설 사례(우) .....	49
[그림 3-9] 수소충전소 유형별 이송수단 .....	50
[그림 3-10] 국내 수소 생산 · 공급 구성 현황 .....	51



[그림 3-11] 국내 수소 생산·공급사업의 생산, 공급 가치사슬 현황 .....	52
[그림 3-12] 국내 수소 파이프라인 구축 현황 .....	54
[그림 3-13] 「친환경차 충전인프라 구축 방안」 상의 복합휴게소 개념도 .....	55
[그림 4-1] 수소전기차 보급목표에 따른 충전용 수소 수요량 전망	61
[그림 4-2] 국내 주요 석유화학단지내 수소 여유생산능력 .....	62
[그림 4-3] 튜브 트레일러를 활용한 충전용 수소 이송방식의 구조	63
[그림 4-4] 보급초기 단계에서의 수소충전소 연간 현금흐름 구조 개념도 .....	66
[그림 4-5] 전기자동차 구입 결정 요인(450명 중 응답비중(%)) .....	67
[그림 4-6] 에너지원별 차종간 단위 거리당 연료비용 비교 .....	68
[그림 4-7] 석유대리점의 역할과 기능 .....	71

## 제1장 서론

2015년 파리기후협약을 계기로 기후변화 대응과 지속가능한 성장의 조화를 위해 연비 향상과 온실가스 배출기준 등에 대한 환경규제가 전 세계적으로 보다 강화되고 있다(김재경, 2018). 이로 인해 현재와 같은 내연기관차 중심의 자동차산업으로는 강화 일변도인 온실가스 규제에 대한 대응이 어려워, 더욱이 보다 다양화되어 가는 소비자 수요 충족을 위해서라도 환경친화적 자동차의 필요성에 대한 인식이 확산되고 있다(김재경, 2018).

한편 이러한 환경친화적 자동차로서 국내 수소연료전지 자동차(이하 수소전기차) 보급에 대해서도 정부지원이 잇따르고 있다. 또한 2016년부터 강화된 연비·온실가스 배출규제 기준 적용 등으로 국내 자동차산업 차원에서 수소전기차 개발, 생산, 판매를 위한 노력이 가속화되고 있다.

이러한 노력에 힘입어 2017년 12월부터 제3세대 수소전기버스가 시범사업 차원에서 울산 시내 노선버스 정규노선에 투입되었으며, 2018년 2월에는 국내 최초로 일반 소비자 대상 보급형 수소전기차 모델(승용차, 모델명: 넥쏘)도 출시되었다. 이로 인해 2018년부터 수소전기차가 그 동안의 시험생산 내지 소량 생산단계를 넘어서 본격적인 대중화의 단계로 들어서는 초입(初入)에 도달하였다고 평가할만하다.

그러나 이처럼 2018년 본격적이 대중화를 앞두고 있는 수소전기차를 충전할 국내 수소충전소는 매우 부족한 것이 또한 현실이다, 2017년 10월 기준 구축되어 운영 중인 수소충전소는 12개소이며, 이중 일반 수소전기차 이용자에게 개방되어 접근 가능한 상업용 충전소는 고작 6개소에 불과하다. 현재 건설중인 충전소를 포함 2018년 말까지는 16개소가 추가 구축될 예정이지만 아직 턱없이 부족하기는 마찬가지이다.

한편 ‘닭과 달걀(chicken and egg)’ 문제로 대변되는 수소전기차와 수소충전소 간 상호 보완적 관계와 상호 의존적 성장 구조로 인해, 수소전기차나 수소충전소 중 어느 한쪽이 부족할 경우에는 상호간 보급·확산의 저해하는 요인을 작용하는 악순환이 발생할 수밖에 없다. 이로 인해 수소전기차의 보급·확산을 위해서라도 수소전기차가 충분히 보급되기 이전까지는 한시적으로 정부 등 공공부문에서 공적재원을 활용하여 충분한 수소충전소를 구축하는 것이 바람직할 수 있다. 그러나 활용 및 확보에 제약이 있는 정부 예산만으로 충분한 자원 확보가 한계가 있음을 고려한다면, 결국 민간 투자를 유도하는 방안이 효과적일 수 있다.

그러나 수소충전소라는 물리적 인프라가 구축되었다고 하더라도 이를 제대로 지속가능하게 운영하기 위해서는 수소충전소를 기반으로 한 수소충전소 운영사업(즉, 수소차 충전사업)도 함께 육성되어 그 기능을 수행할 수 있어야 한다. 또한 이러한 수소충전소 운영사업이 단독으로 영위할 수 없는 바, 이와 관련된 사업들이 어우러진 건강한 수소차 충전용 수소시장의 조성이 필요하다.

본 연구는 이러한 견지에서 국내 수소차 충전용 수소시장을 종합적으로 진단 및 평가해보고, 수소차 충전용 수소시장의 조성 및 육성을 위해 요구되는 정책적 니즈(needs)를 도출하고자 한다. 그리고 이를 바탕으로 수소차 충전용 수소시장 조성 및 육성을 위해 요구되는 정책방향을 제언하고자 한다.

## 제2장 국내 수소연료전지차 및 수소충전소 현황

### 1. 수소연료전지차(수소전기차)의 구조와 구동원리

#### 가. 수소연료전기차(수소전기차)의 정의

‘(수소) 연료전지 자동차(Fuel Cell Electric Vehicle: FCEV; 약칭 수소전기차)’란 수소를 사용하여 발생시킨 전기에너지를 동력원으로 사용하는 자동차로 정의된다(「환경친화적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」(이하 친환경자동차법) 제2조). 보통 수소를 에너지원으로 활용하는 자동차를 ‘수소자동차(Hydrogen Car)’로 통칭하는데, 수소를 엔진을 통해 직접 연소하여 구동에너지로 활용하는 수소연료자동차(Hydrogen Fueled Car)와 함께 수소연료전지차가 이에 속한다. 그러나 수소차 개발 초창기 각광받던 수소연료차가 상대적으로 낮은 연료 효율로 인해 사실상 사장(死藏)된데<sup>1)</sup> 반해서 수소를 직접 연소하지 않고, 연료전지를 활용하여 전기에너지로 구동에너지를 활용할 경우 상대적으로 효율성이 높다(동급 내연기관차의 약 2배)는 점에서

1) 에너지원으로서 수소는 연소 시 발생하는 열로 작동하는 열 엔진이나 갈바니 전지(즉 연료전지)를 이용하게 된다. 먼저 수소( $H_2$ )가 순수한 산소( $O_2$ )와 결합하여 연소되며, 이때 순수한 물이 생성된다. 이때 온도는 연소 가스의 비율과 산소의 농도에 따라  $2,000^{\circ}C$ - $3,000^{\circ}C$ 의 고온까지 올라간다. 그러나 이처럼 수소 연소 과정에서 발생하는 열을 역학적 에너지로 전환하는 열 엔진은 열에너지의 일부만을 역학적 에너지로 전환할 수 있어, 열 엔진의 효율은 이론상 최대 효율인 카르노 효율보다 낮다는 단점이 있다. 이로 인해 에너지를 얻기 위한 목적으로 수소를 (고온) 연소하는 경우는 많지 않으며, 수소 연소를 이용한 내연 기관에 대한 연구 개발도 최근 거의 이루어지고 있지 않고 있다. 더욱이 수소 동력을 사용하는 열 엔진에 요구되는 기술적 요구조건 때문에, 연료로서의 수소는 이제 거의 연료전지에만 사용되고 있다.(Shell, 2017).

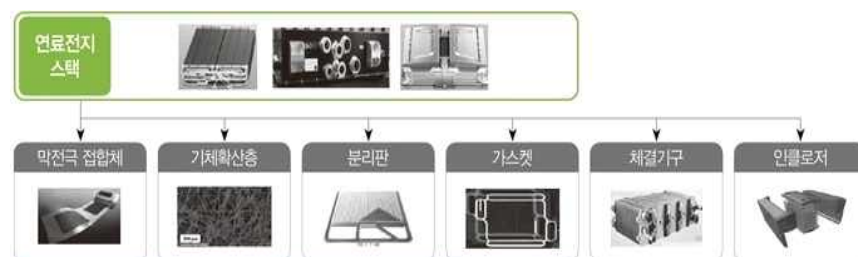
수소차의 중심이 수소연료전지차 개발로 이동하였다. 그래서 최근에는 사실상 수소연료전지차가 ‘수소차’의 동의어로 인식되고 있다. 이로 인해 본 연구는 수소연료전지 자동차의 약칭인 ‘수소전기차’와 함께 수소차를 병행해서 사용하고자 한다.

#### 나. 연료전지(Fuel Cell)의 작동원리와 종류

수소‘연료전지’차라는 명칭에서 직접적으로 알 수 있듯이, 수소전기차는 구동에너지 생산을 ‘연료전지’에 의존한다.

연료전지는 막전극접합체(Membrane Electrode Assembly, MEA), 가스확산층, 분리판, 가스켓(가스밀폐) 등으로 구성된다(이주영, 2017c).

[그림 2-1] 연료전지(스택)의 구성



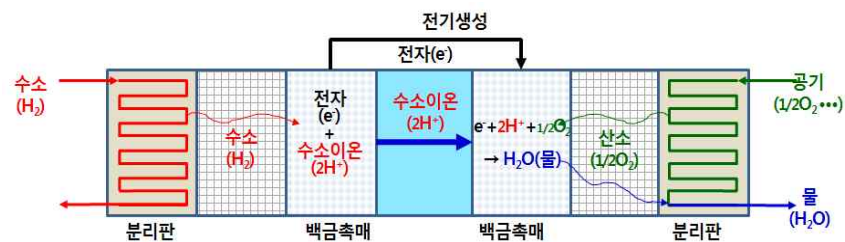
자료: [http://www.h2news.kr/data/photos/20171144/art\\_15096713672356\\_948e3f.jpg](http://www.h2news.kr/data/photos/20171144/art_15096713672356_948e3f.jpg)  
(검색일 : 2018.2.28.)

먼저 연료전지의 핵심 구성 요소이며, 중심에 위치하는 막전극접합체는 백금촉매와 탄소로 이루어진 다공성 전극(음극, 양극)과 양 극 사이에 배치된 전해질(이온 전도체) 막(membrane)<sup>2)</sup>이 일체형으로 접합되어

2) 전해질 막은 기체(수소, 산소)를 서로 분리하지만, 특정 이온(즉 전기 대전(帶電) 입자)은 투과할 있다(shell, 2017).

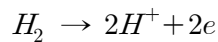
있는 구조이다(Shell, 2017). 그리고 막전극접합체의 바깥부분, 즉 양극과 음극이 위치한 바깥에 수소 또는 공기(산소), 물을 공급 또는 배출시키는 역할을 하는 기체확산층<sup>3)</sup>과 분리판<sup>4)</sup> 등이 위치하게 된다(이주영, 2017c).

[그림 2-2] 연료전기 내부에서의 전기발생 원리 개념도



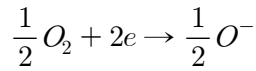
자료: 수소차 보급 및 시장 활성화 계획(2015.12.15.)

그리고 연료전지, 특히 막전극접합체에서의 전기 발생 과정은 다음과 같다. 먼저 기체확산층을 통해 양극에 공급된 수소 기체는 다음과 같은 반응식과 같이 백금과의 촉매반응 작용을 통해 이온으로 분리되어 전자를 방출한다.

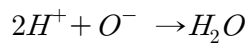


이렇게 생성된 전자들은 외부 회로를 통해 음극으로 보내지고, 다시 음극에서 다음 반응식에 따라 산소를 이온화시키게 된다.

- 3) 기체확산층은 유입된 기체와 반응생성물을 균일하게 분포하게 하며, 전자와 반응 과정에서 열이 제거하는 역할을 수행한다(Shell, 2017). 주로 탄소 소재의 carbon cloth, paper, felt의 형태로 이뤄져 있다(이주영, 2017c).
- 4) 분리판은 수소, 산소를 기체확산층으로 공급하거나 발생된 물을 배출시키는 역할을 한다. 주로 기체확산층 바깥에서 연료를 공급하고 반응에 의해 발생된 물을 배출하도록 유로의 기능을 하며, 탄소 또는 탄소복합재, 표면처리된 금속, 합금 등이 사용되고 있다(이주영, 2017c).



그리고 대전된 산소 및 수소 이온은 일정 수준 이상의 열에너지를 통해 결합하여 전기적으로 중성인 물을 생성하게 된다.



이처럼 산소와 수소를 결합하여 물을 생성하고 직류 전기를 발생시키는 반응으로서의 연료전지의 기본 원리는 이미 1838-39년대에 발견된 바 있으며, 직류 전기를 사용해 물을 산소와 수소로 분리하는 물 분해 과정(즉 수전해(水電解))의 역반응 과정으로 이해될 수 있다(Shell, 2017). 연료전지는 효율이 낮은 열 엔진과는 달리, 열-전력 공정<sup>5)</sup>에 의존하지 않고 전적으로 화학적 반응 작용만으로 수소에 잠재되어 있는 화학에너지를 직접 전기와 열에너지<sup>6)7)</sup>로 전환하여 효율이 높다는 장점이 있다<sup>8)</sup>(Shell, 2017). 연료전지를 통해 수소 1mole당 286kJ의 에너

- 
- 5) 연료전지 대신 열 엔진으로 전기를 생산하는 에너지 전환 공정이 열-전력 공정이며, 주로 화력 발전기에 적용된다.
  - 6) 연료전지의 촉매반응 과정에서 도달하는 온도는 연료전지 유형별 차이는 있지만, 수소 연소 온도보다 훨씬 낮은 60°C ~ 1,000°C 수준인 관계로, 연료전지의 반응 과정을 ‘냉간(冷間) 전기화학적 연소(cold electrochemical combustion)’라고도 한다(Weber 1988, Shell, 2017 재인용).
  - 7) 연료전지는 전기와 함께 열에너지, 즉 폐열을 발생시키는데, 이때 발생하는 폐열을 열병합발전<sup>9)</sup>에 이용할 수 있다. 특히 고체산화물 연료전지(SOFC)와 용융탄산염 연료전지(MCFC)와 같은 고온 연료전지가 대표적으로 열병합발전<sup>9)</sup>에 이용된다(Shell, 2017).
  - 8) 특히 연료전지가 자동차의 구동에너지 발생장치에 적용되었을 경우, 상대적으로 적은 부하에서도 높은 효율성을 달성할 수 있다. 부분 부하(部分負荷, part load)에서도 일반적인 내연기관보다 대략 두배 이상의 효율성 달성이 가능하다. 더구나 차량 내부 난방이 필요할 경우, 연료전지 스택에서 발생하는 열을 냉각재 회로를 통해 그대로 활용할 수 있기 때문에, 배터리 전기차와 비교할 경우, 보조적인 난방장치 사용으로 인한 전력손실을 최대 5kW까지 줄일 수 있다(Tschöke

지가 생산되는데, 이 에너지를 전기에너지로 전환할 경우, 이론상 연료전지의 전지 최대 효율은 80% 이상<sup>9)</sup>으로 알려져 있다(Eichlseder and Klell, 2012; Shell, 2017 재인용).

한편 연료전지는 주로 전해질 유형과 전지가 작동하는 온도에 따라 분류된다. 우선 전해질 유형에 따라 알칼리 연료전지(Alkaline Fuel Cell, AFC)<sup>10)</sup>, 인산염 연료전지(Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC)<sup>11)</sup>, 용융탄산염 연료전지(Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC)<sup>12)</sup>, 고체산화물 연료전지(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)<sup>13)</sup> 그리고 고분자전해질 막 연료전지 또는 양성자교환막 연료전지(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell or Proton-Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC)

---

2014, Shell, 2017 재인용).

- 9) 만일 손실되는 전압을 고려하면 실제 달성할 수 있는 전지 효율은 80%를 밑돌게 된다(Shell, 2017).
- 10) 알칼리 연료전지(AFC)는 100°C 이하에서 작동하는 저온형 연료전지로서, 저온에서 작동하기 때문에 시동이 빠르고, 크기가 작고, 단순 전해질(수산화칼륨 용액)과 저렴한 촉매(비금속)를 사용해 제조비용이 저렴하다는 장점이 있다. 그러나 이산화탄소 내성이 매우 낮아 높은 순도의 기체, 특히 순수한 산소를 공급해야 한다는 단점도 있다. 우주선의 전원 공급장치로 사용되는 등 초창기 우주 산업에 최초로 사용된 바 있다(Shell, 2017).
- 11) 인산염 연료전지(PAFC)는 중간 온도 범위(약 160°C-220°C)에서 작동하는 연료전지로서, MW대 범위에서 넓은 출력 범위를 갖고, 고정형 전원으로는 높은 수준의 기술적 안정성을 갖는다. 주로 대형 고정형 연료전지(소형 발전소 등)에 사용된다(Shell, 2017).
- 12) 용융탄산염 연료전지(MCFC)는 작동 온도는 600°C-700°C인 고온형 연료전지로, 탄산염 용융물을 전해질로 사용한다. MW대 범위에서 넓은 출력 범위를 갖고 있으며 많은 공간이 필요로 한 관계로 주로 발전소에서 사용된다. 고온에서 작동하기 때문에 내부 개질 공정을 거치면 수소뿐 아니라 수소 함유 기체(예: 천연가스, 바이오 가스), 메탄올 등도 이용할 수 있다(Shell, 2017).
- 13) 고체산화물 연료전지(SOFC)는 고온전지(약 500°C-1,000°C)로서, 전해질이 다공성의 고체 산화 세라믹 물질로 이루어져 있는 관계로 산화 세라믹 연료전지(Oxide Ceramic Fuel Cell)로도 지칭된다. 주로 고정형으로 분산전원 시스템(kW대)에서 발전소(MW대)에 이르기까지 광범위하게 사용될 수 있다(Shell, 2017).



등 다섯 종류로 분류된다. 작동 온도<sup>14)</sup>에 따라서는 약 100℃ 이하에서 작동하는 저온형, 100℃ 이상의 중간 온도형, 500℃ 이상의 고온형 등 세 종류로 나뉜다. 전해질, 반응기체나 작동온도 등은 전지의 유형에 따라 달라진다(Shell, 2017)([그림 2-3] 참조).

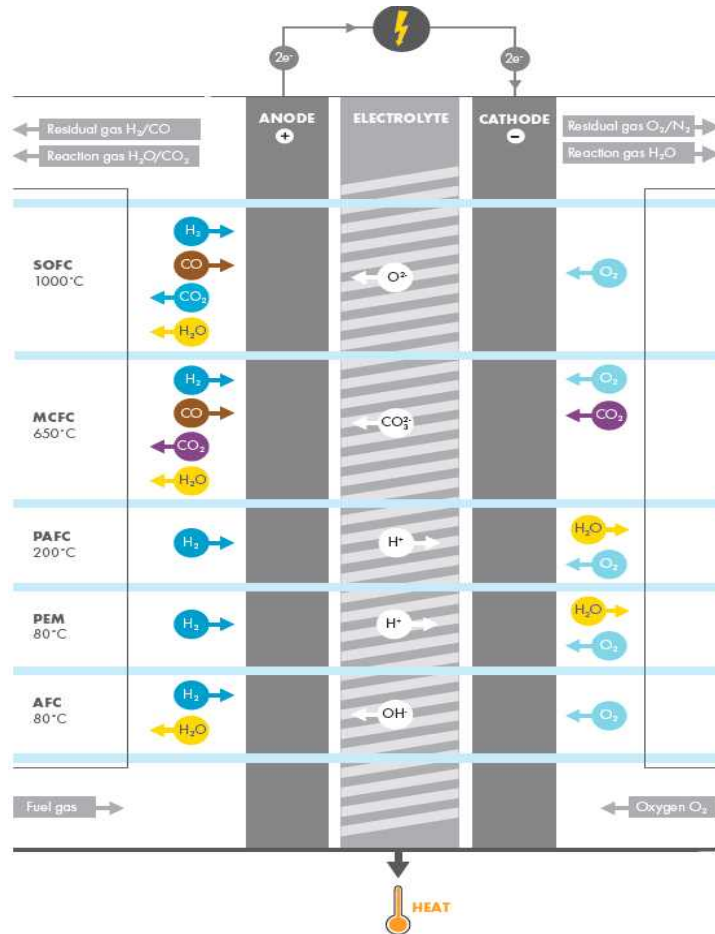
[그림 2-3] 연료전지의 유형별 특징

구분	알카리 (AFC)	인산형 (PAFC)	용융탄산염 형 (MCFC)	고체산화물 형 (SOFC)	고분자전해 질형 (PEMFC)	직접메탄올 (DMFC)
전해질	알카리	인산염	탄산염	세라믹	이온교환막	이온교환막
동작온도 (℃)	120이하	250이하	700이하	1,200이하	100이하	100이하
효율(%)	85	70	80	85	75	40
용도	우주발사체 전원	중형건물 (200kW)	중·대형건물 (100kW~MW)	소·중·대용 량 발전(1kW~ MW)	가정·상업용 (1~10kW)	소형이동 (1kW 이하)
특징	-	CO 내구성 큼, 열병합대 응 가능	발전효율 높 음, 내부개질 가능, 열병합 대응 가능	발전효율 높 음, 내부개질 가 능, 복합발전 가 능	저온작동 고출력밀도	저온작동 고출력밀도

자료: [http://www.knrec.or.kr/energy/fuelcell\\_summary.aspx](http://www.knrec.or.kr/energy/fuelcell_summary.aspx) (검색일: 2018.3.3.)

14) 일반적으로, 필요한 수소의 순도는 온도가 상승함에 따라 감소한다. 이를테면, 온도가 가장 낮을 때 가장 순수한 수소가 필요하다. 연료전지의 효율은 주로 공기 또는 순수한 산소와의 작용에 좌우된다(Shell, 2017).

[그림 2-4] 연료전지 유형별 전해질, 반응기체, 작동온도 비교



자료: Shell (2017)

이중 고분자전해질막 연료전지(PEMFC)만이 현재 수소전기차에 사실상 전적으로 활용되고 있다. 고분자전해질막 연료전지는 알칼리 연료전지(AFC)와 같이 80°C 정도의 온도에서 작동하는 저온형 연료전지의 하나이다. 그러나 동일한 저온형 연료전지이지만 수산화칼륨 용액을 전해질로

사용하는 알칼리 연료전지(AFC)와는 고분자막을 전해질을 사용한다는 점에서 구별된다(Shell, 2017). 또한 알칼리 연료전지와는 달리 순수한 산소 대신 대기 중의 공기만으로도 작동할 수 있다는 장점이 있으며, 전력 밀도가 높고, 부피가 작기 때문에 수소전기차 등을 포함 이동형 전원 공급원으로 사용하는 데 적합하다. 반면 비싼 귀금속인 백금을 촉매로 사용하고 있는 관계로 제조비용이 높다는 점과 함께 황과 일산화탄소가 촉매를 오염시키기 때문에 순수한 수소를 공급해야 한다는 단점도 지니고 있다. 최근 개발된 고분자전해질막 연료전지의 사용 수명은 약 5,000시간으로, 이는 150,000~200,000km를 주행하는 데 충분한 수명으로 평가된다(Shell, 2017).

[그림 2-5] DMFC 장착 지게차



자료: [http://h2news.mediaon.co.kr/data/photos/20170730/art\\_15009442450861\\_0f60b2.jpg](http://h2news.mediaon.co.kr/data/photos/20170730/art_15009442450861_0f60b2.jpg)  
(검색일 : 2018.2.28.)

참고로 이러한 고분자 전해질막 연료전지를 응용하여 직접메탄올 연료전지(Direct Methanol Fuel Cell, DMFC)도 개발되어 있다. 직접메탄올 연료전지는 고분자 전해질막 연료전지와 비슷한 온도(50°C-120°C)에서 작동하지만, 메탄올(CH<sub>3</sub>OH)에 포함된 수소를 직접 사용해, 메탄올의 높은 저장 밀도를 활용할 수 있다는 장점이 있다. 다만 직접메탄올 연료전지의 효율이 20%로 상대적으로 낮다는 단점이 있어, 주로 지게차(forklift)나 드론 등 소형 수송장치 등에 사용되고 있다(Shell, 2017).

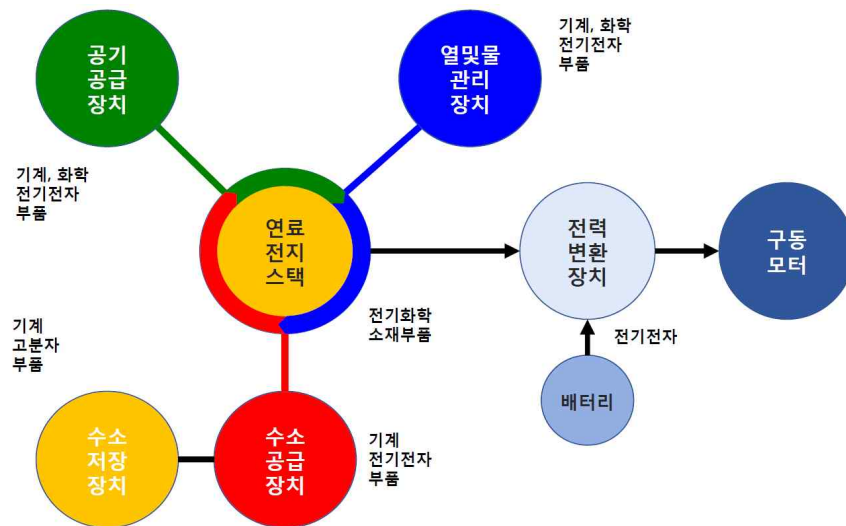
이 같은 연료전지를 차량의 동력 전달장치(powertrain)로 사용하기 위해서는 최소 100kw 이상의 출력을 낼 수 있을 정도로 충분한 숫자의 연료전지들의 ‘묶음’이 필요하다. 앞서 살펴본 원리에 따라 전기를 생산하는 단일한 연료전지를 ‘단위전지(Unit Fuel Cell)’라 하며, 이러한 단위전지를 여러 개 적층하여 묶음으로 만들어 차량의 구동에너지로 활용할 정도로 충분한 전기를 발생시키는 장치가 ‘연료전지 스택(Fuel Cell Stack)’이다.

#### 다. 수소전기차의 구조

이러한 연료전지 스택과 함께 수소전기차는 운전장치(수소공급·공기공급·열관리장치 등), 수소저장장치 및 전장장치 등으로 구성된 동력 전달장치(powertrain)를 장착하고 있다(이주영, 2017c). 이중 전장장치는 일반 전기차(Electric Vehicle)와 유사하여, 공유되는 구성품이다. 반면 연료전지 스택 및 운전장치(수소공급·공기공급·열관리장치 등)를 합친 ‘연료전지 시스템’과 수소저장장치가 기존 내연기관이나 전기차와 구별되는 수소전기차만의 특징적 구성품이라 할 수 있다(이주영, 2017c). 특히 연료전지 시스템은 수소전기차의 구동에너지(즉

전기에너지)를 생산하는 일종의 소형 발전기로서, 사실상의 엔진 역할을 한다.

[그림 2-6] 수소전기차 구조 개략도



자료: 구영모 (2018)

연료전지 스택과 함께 연료전지 시스템을 구성하는 운전장치에는 연료전지 스택에 수소와 공기를 공급하고 스택에서의 전기 생산을 지원하는 수소공급장치와 공기공급장치<sup>15)</sup>가 포함된다. 이와 함께 연료전지 스택에서 발생하는 열을 공기 중으로 방출시켜 스택이 적절한 온도와 습도를 유지해 작동할 수 있도록 관리하는 기능을 하는 열관

15) 공기공급장치는 공기 중의 불순물을 제거하는 에어필터, 소음저감을 위한 소음기, 고유량 공기공급용 에어블로워, 공급공기 상대습도 조절을 위한 가습기, 배압조절을 위한 압력조절 밸브 등으로 구성돼 있다(이주영, 2017c). 이러한 공기공급장치로 인해 수소전기차는 미세먼지를 필터링하는 공기청정기의 역할로도 주목받고 있다.

리장치<sup>16)</sup>, 스택의 폐열을 활용할 수 있는 공조장치 등이 운전장치로 포괄된다(이주영, 2017c).

[그림 2-7] 수소전기차 핵심 모듈 구성도



자료: 구영모(2018)

한편 수소저장장치는 연료전지 시스템에 연료로서의 수소를 공급함으로써, 내연기관차의 연료공급장치의 기능을 한다. 주로 수소를 700 bar<sup>17)</sup>로 저장하는 고압용기와 고압수소를 연료전지 스택에 공급하기 위

16) 연료전지 스택에서 발생하는 열을 방출시킴으로써 연료전지 스택 내부의 온도와 습도를 조절하는 역할을 열관리장치가 한다. 수소전기차는 공급된 에너지의 약 50% 미만을 열로 방출하며 수소전기차는 열을 공기 중으로 방출시키기 위해 수랭식을 채택하고 있다. 연료전지의 작동온도가 과도하게 상승할 경우 연료전지 전해질막이 손상되기 때문에 적정작동온도를 유지시켜야 하기 때문이다. 주로 열관리(열 및 물관리)는 워터펌프, COD겸용히터, 대용량 라디에이터, 전동식 3way V/V, 이온제거기 등으로 구성된다(이주영, 2017c).

17) 압축된 수소의 표시 단위는 bar, psi(평방 인치 당 파운드), MPa(메가파스칼) 등이 사용된다. 이때 1 bar는 100kPa로서 대기압을 의미한다(Jaffery and Singh, 2017).

한 고압밸브 및 배관류, 고압용기에 압력이나 온도가 증가할 경우 수소를 방출하고 용기파손을 방지하는 안전장치, 수소 충전관련 장치 등이 이러한 수소저장장치를 구성한다(이주영, 2017c).

이중 수소 충전관련 장치는 수소전기차가 수소충전소에서 수소 충전 시 충전소 압축기 압력, 공급유량, 탱크용기 상태 등을 모니터링하면서 제어할 수 있는 부품들로 이뤄진 시스템을 의미한다(이주영, 2017c). 주로 외부로부터 충전된 고압수소를 저장하고 압력을 조절하는 역할을 하며, 수소탱크, 압력조절밸브, 탱크내장형 솔레노이드 밸브, 압력센서, 수소센서 등으로 구성된다(IRS Global, 2017).

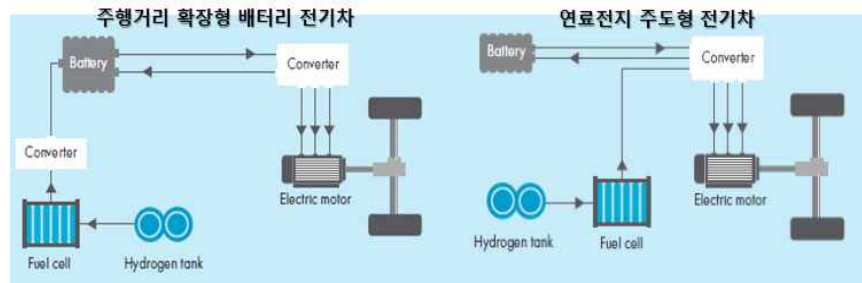
마지막으로 이상의 연료전지 시스템과 수소저장장치와는 별도로 수소전기차는 보통의 전기차와 마찬가지로 리튬이온(lithium-ion) 전지나 니켈-수소합금(nickel-metal hydride, NiMH) 전지 등의 이차전지를 구동배터리(traction battery)로서 내장하고 있다(Shell, 2017). 이러한 배터리는 주로 연료전지 스택으로부터 또는 구동장치의 회생제동을 통해 발생한 전기를 일시적으로 저장하는 기능을 수행한다(Shell, 2017). 이러한 특성 때문에 수소연료전지차도 전기를 구동에너지로 활용한다는 점에서 전기차의 일종으로 분류되기도 하는데, 이것이 수소연료전지차와 함께 ‘수소전기차’라는 명칭이 병용되는 이유이기도 하다.

한편 내장된 두 가지 구동에너지원인 연료전지 스택과 구동배터리 간의 역할 배분에 따라 수소전기차는 두 가지 유형으로 구분되기도 한다. 먼저 연료전지 스택은 직접 구동에 참여하지 않는 대신, 단지 구동배터리에 전기를 공급, 충전하는 역할만을 수행하고, 구동배터리에 충전된 전기에너지만으로 전기모터를 구동하는 수소전기차는 ‘주행거리 확장형 배터리 전기차(battery electric vehicle with range

extender)’로 지칭된다(Shell, 2017). 이 경우는 실제 구동에너지가 배터리로부터 나온다는 점에서 배터리 전기차의 일종으로 볼 수 있으며, 외부 전력 충전만으로는 주행 가능한 거리가 한정된다는 문제점을 해결하기 위해, 보조적인 수단으로서 수소 연료전지 스택이 전기차에 내장된 것으로 볼 수 있다.

반면 수소 연료전지 스택에서 생산한 전기로 직접 전기모터를 구동하는 수소전기차는 ‘연료전지 주도형(fuel cell-dominant) 전기차’로 지칭된다(Shell, 2017). 이 경우 구동배터리는 연료전지 스택의 보조적인 역할만을 수행하여, 단기적이거나 일시적인 피크부하에 대응하는 수단으로 활용된다.

[그림 2-8] 내장 배터리의 역할에 따른 수소전기차의 유형 비교



자료 : Shell (2017)

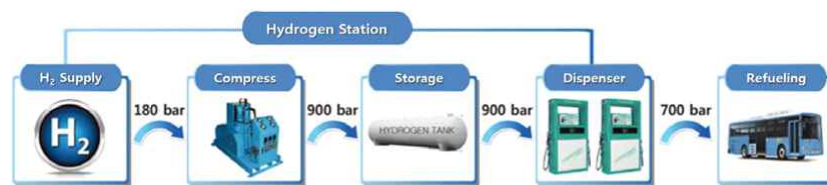


## 2. 수소 충전인프라의 구성 및 유형

### 가. 수소충전소의 구성

전절에서 살펴본 바와 같이 수소전기차는 순수한 고압 수소를 외부로부터 수소저장장치에 충전, 저장하고 이를 연료전지 시스템 내 수소공급장치를 통해 연료전지 스택에 전달하여, 공기공급장치를 통해 유입된 대기 중의 산소와의 화학적 반응을 통해 직류 전기를 생산, 구동에너지로 사용하게 된다. 수소차 개발 초창기에는 차량 내 천연가스나 도시가스 개질기(reformer)를 탑재하여 직접 수소를 생산하는 방식도 고려되었지만, 차체 중량이나 개질에 필요한 열 문제 등으로 현재는 사실상 배제되었으며, 외부에서 수소를 충전하는 방식만이 수소전기차에 적용되고 있다. 이처럼 외부에서 수소전기차에 수소를 공급하는 인프라가 수소 충전 인프라이며, 특히 그 중심에는 수소충전소(Hydrogen Refueling Station, HRS)가 있다. 수소충전소는 보통 수소공급장치, 압축장치(compressor), 수소 저장장치(탱크), 예냉장치(pre-cooler), 충전기(dispenser) 및 충전소 운전장치(priority panel)로 구성된다(강승규 외, 2017, Shell, 2017).

[그림 2-9] 수소충전소의 일반적 구성



자료 : 강승규 외 (2017)

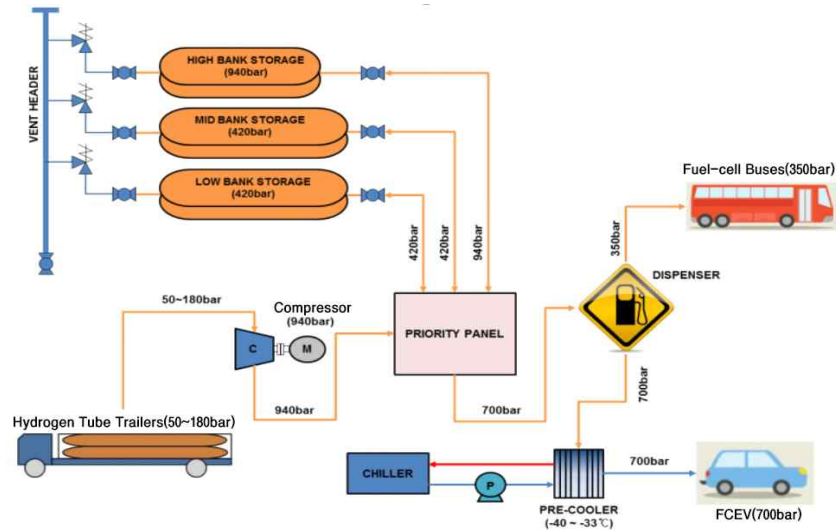
한편 수소충전소도 수소전기차 충전용 수소를 공급받아야 충전서비스를 제공할 수 있다. 수소충전소가 수소를 공급받는 방식은 크게 두 가지 방식을 고려할 수 있는데, 먼저 천연가스나 도시가스 등을 활용한 개질 설비나 수전해장치 등의 수소제조설비를 충전소 내에 설치하여 공급하는 현지생산방식 또는 일체형(On-site) 충전소가 있다(강승규 외, 2017, Shell, 2017). 이 경우, 수소제조설비가 별도의 ‘수소공급장치’로서 충전소에 내장되었다고 볼 수 있다. 반면 충전소 외부에 위치한 수소제조설비를 통해 생산된 수소를 액화내지 압축하여 운반수단을 통해 이송, 충전소에 공급하는 중앙공급방식(Off-site) 충전소가 있다(강승규 외, 2017, Shell, 2017). 이러한 중앙공급방식 충전소는 액화 또는 압축된 수소의 운반수단 자체가 해당 충전소의 수소 공급장치의 역할을 하게 된다.

가령 운반수단이 보통 50~180 bar로 수소를 압축하는 튜브 트레일러일 경우, 해당 튜브 트레일러에서 수소를 하역하여, 충전소 내 압축장치(compressor)<sup>18)</sup>를 거치면서 저장압력으로 압축, 수소 저장탱크에 저장된다(이택홍 외, 2017). 수소 저장탱크는 저장압력에 따라 20~200 bar의 저압 저장탱크<sup>19)</sup>, 200~450 bar의 중압 저장탱크, 800~1,000 bar의 고압 저장탱크로 분류된다. 수소전기차의 수소저장탱크 압력은 350 bar(수소버스)나 700bar(보통 신형 승용차)이기 때문에 350 bar 차종의 충전 시에는 중압 저장탱크만으로도 가능하지만, 700 bar 차종 충전 시에는 고압 저장탱크는 그대로, 저압 저장탱크의 경우에는 충전과정에서 재압축하는 절차를 거치게 된다.

18) 압축장치로는 피스톤 압축기, 압축공기형 압축기, 다이어프램 압축기, 이온 압축기 등이 있으며, 충전소의 설계(가동률, 에너지 소비, 비용 효율 등)에 따라 적절한 압축기가 선택된다(Shell, 2017).

19) 180 bar 수소 튜브테일러는 충전소에서 단기적으로 저압 저장탱크로 활용이 가능하다(Shell, 2017).

[그림 2-10] 수소충전소(중앙공급방식)에서의 충전 과정 개념도



자료: 이택홍 외 (2017)

한편 수소 저장탱크에 저장되어 있던 압축 수소가 수소전기차에 충전될 때는 다시 운전장치(priority panel)와 압축장치, 예냉장치(pre-cooler) 그리고 충전기(dispenser)를 거쳐 최종적으로 수소전기차의 수소저장장치에 충전된다(이택홍 외, 2017). 수소전기차가 충전소에 들어오면 (고압내지 중압) 저장탱크에 있던 수소가 우선적으로 사용되어 압력 차이(차압)를 이용하여 충전하게 되며, 수소전기차 저장탱크의 압력과 저장탱크의 압력이 비슷해지면 더 이상 차압으로 수소 충전이 되지 않기 때문에 압축기를 작동하여 추가적인 압력으로 충전하게 된다<sup>20)</sup>(이택홍 외, 2017). 이 과정은 보통 총 3-5분 내에 충분히 이루어

20) 수소는 고압 탱크로부터 저압 탱크로 직접 이동하지만, 반대 방향으로으로는 이동하지 않는다. 이로 인해 차량에 수소를 채우려면 수소충전소 탱크의 압력이 차량의 탱크보다 더 높아야 한다. 그렇지 않은 경우에는 충전소에서 수소를 추가 압축 해주어야 한다.(Jaffery and Singh, 2017).

저 전기차에 비해 상대적으로 신속하게 충전서비스가 제공될 수 있다.

[그림 2-11] 수소충전소의 충전기(미국 캘리포니아주 트루제로 수소충전소)



자료: [http://www.h2news.kr/data/photos/20180205/art\\_15174449501916\\_77db4f.jpg](http://www.h2news.kr/data/photos/20180205/art_15174449501916_77db4f.jpg)  
(검색일 : 2018.3.1.)

이처럼 충전과정에서는 압축과정이 필수적인데, 수소기체 압축시에는 불가피하게 온도가 상승할 수밖에 없다. 만일 충전소에서 충전된 수소가 가열되었을 경우 차량의 수소저장장치의 (과압/과열) 한계 범위를 넘어설 가능성이<sup>21)</sup> 있기 때문에, 주위온도, 수소 공급 온도, 차량 수소 저장탱크의 목표 압력 등에 따라 예냉(pre-cooling)하는 과정

21) 수소차 충전 프로토콜 표준인 SAE J2601은 차량의 수소 저장탱크의 온도가 85°C를 초과해서는 안 된다고 권고하고 있다(Shell, 2017).

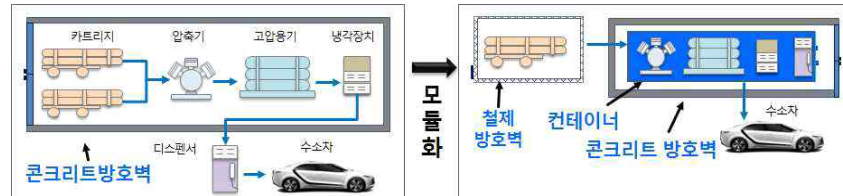
이 요구된다(Shell, 2017). 보통 700 bar 차종을 충전하는 경우라면, -40°C 정도로 수소를 예냉한다(Shell, 2017). 예냉을 위해서 일반적으로 압축 냉동기나 열 교환기를 사용하지만, 만일 공급된 수소가 극저온 액체수소(LH<sub>2</sub>)인 경우 액체 펌프를 통해 증발기(evaporator)로 기화하여 보내는 방식이 사용되기 때문에 굳이 액체수소를 냉각하지 않고 차량으로 직접 공급할 수 있다(Shell, 2017).

그리고 직접 수소전기차에 충전하는 충전기(dispenser)는 350 bar나 700 bar 등 수소 저장탱크의 압력에 맞게 설계되어 있으며, 각각 또는 둘 다 사용될 수 있도록 구성되어 있다. 충전기는 사용자 인터페이스로서 압력, 충전 정도, 측정량 등을 표시하는 디스플레이가 장착되어 있다(Shell, 2017).

#### 나. 수소충전소의 부지확보 전략에 따른 유형

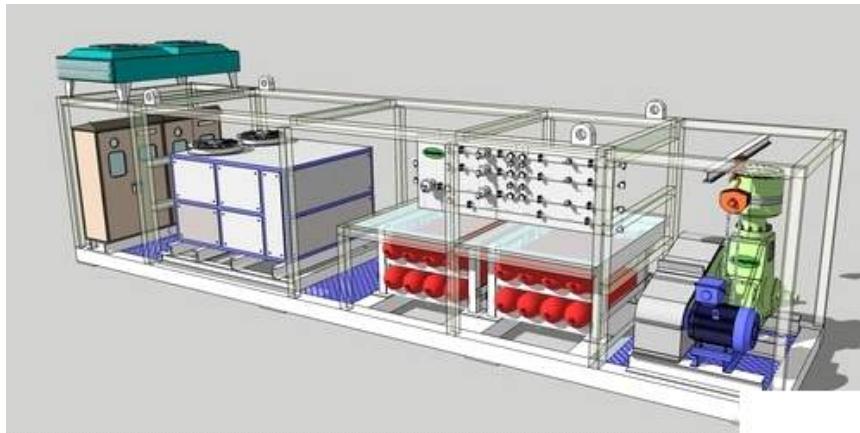
앞서 살펴본 바와 같이 수소충전소는 수소를 공급하고, 저장하고, 충전할 수 있는 설비들로 이루어진다. 물론 이러한 설비 간의 안전거리 확보를 위해서는 충분한 부지가 필요하다. 더욱이 주차 공간이나 판매 공간, 세차장 등에 필요한 충분한 부지 확보의 필요성은 수소충전소라고 해서 기존 주유소나 LPG, CNG 충전소 등과 크게 다르지 않다 이로 인해 도심지 등 충분한 부지확보가 어려운 지역에서는 충전소 구축에 난항이 있을 수밖에 없는 것이 현실이다. 이를 해결하기 위해 최근에는 부지 면적을 축소를 위해 압축, 저장, 제어반 등의 구성요소들을 모듈화하여 하나의 컨테이너 형태로 구축하는, 패키지형 모듈 충전소 시스템의 개발도 이루어지고 있다(이택홍 외, 2017).

[그림 2-12] 기존 수소충전소와 패키지형 모듈 수소충전소 비교



자료: 제3차 환경친화적자동차 개발 및 보급 기본계획(2015)

[그림 2-13] 국내에서 개발 중인 컨테이너 형태의 패키지형 수소충전소 모형



자료: [http://h2news.mediaon.co.kr/data/photos/20170730/art\\_15008791916051\\_09e69c.jpg](http://h2news.mediaon.co.kr/data/photos/20170730/art_15008791916051_09e69c.jpg)  
(검색일 : 2018.3.1.)

그러나 이러한 노력에도 불구하고, 부지확보 문제는 수소충전소 구축과 관련하여 불가피한 측면이 있다. 이러한 부지확보 문제와 관련하여 대략적으로 다음과 같은 세 가지 옵션이 이용되고 있다.

우선 수소충전소만의 전용 부지를 매입, 새로이 단독으로 설치하는 방식(단독충전소)이 있다. 이때 기존 시설물의 제약을 받지 않는다는 장점도 있지만, 수소충전소 운영을 위한 판매 공간이나 충전서비스 등에 대한 고

객의 수요 등도 고려해 신중하게 결정할 필요가 있다(Shell, 2017).

다음으로 기존 주유소나 LPG, CNG 충전소 등 다른 에너지원 충전소의 부지를 활용하여 수소충전소를 구축하는 방법이 있다. 그리고 이와 같은 방법을 활용하여 구축되는 수소충전소는 병설, 복합, 융합충전소로 다시 구분된다(박지원 외, 2017). 우선 병설 충전소는 도로를 경계로 두고 수소충전소와 다른 에너지원의 충전소를 나란히 구축하되 분리된 사업소를 구성하는 형태이며, 복합 충전소는 수소충전소가 다른 에너지원 충전소와 단일 사업소를 구성하는 형태를, 그리고 융합 충전소는 수소제조설비가 설치된 현지생산방식(On-site) 수소충전소가 다른 에너지원 충전소와 단일한 사업소를 구성하는 형태를 의미한다(박지원 외, 2017).<sup>22)</sup>

물론 아직까지 국내에 융합 충전소는 부재하지만, 복합 충전소의 경우 2017년 ‘울산 옥동 수소-LPG 복합충전소’<sup>23)</sup>가 개소되어 운영됨에 따라서, 이는 국내 첫 사례<sup>24)</sup>로 기록되었다.

---

22) 「융·복합 및 패키지형 자동차충전소 시설기준 등에 관한 특례기준(안)」(산업통상자원부 고시 제2016-130호)에 따른 정의로서, 동 고시에는 “기존의 CNG(압축천연가스) 또는 LPG(액화석유가스) 등과 같은 다른 에너지원의 충전소와 수소충전소를 하나의 사업소로 설치·운영을 하는 것을 복합충전소, 제조식 수소충전소를 하나의 사업소 내에 설치·운영하는 것을 융합충전소”로 정의하고 있다(박지원 외, 2017).

23) ‘옥동 수소 복합충전소’는 환경부의 ‘수소연료전지차 및 충전소 설치사업’에 따라 국비 15억원, 시비 15억원 등 총 30억원이 투입돼 건립됐으며, 산업통상자원부 ‘충전소 안전기준 개발 및 제도화를 위한 실증사업’의 일환으로 향후 3년간 인건비 등 운영비가 국비로 지원될 예정이다(이주영, 2017d).

24) 현재 진행 중인 환경부의 ‘수소연료전지차 및 충전소 설치사업’은 울산, 광주, 창원 등 3개 지자체가 참여해 기존 LPG 충전소(울산), CNG 충전소(광주), 주유소(창원)에 수소 복합 충전소를 건립·운영하는 사업으로서, 이 중 울산 ‘옥동 수소복합 충전소’가 가장 먼저 준공되었으며, 다른 충전소들도 순차적으로 향후 준공될 예정이다(이주영, 2017d).



[그림 2-14] 울산 '옥동 수소-LPG 복합 충전소'



자료: [http://www.h2news.kr/data/photos/20171249/art\\_15123731261701\\_b2adc4.jpg](http://www.h2news.kr/data/photos/20171249/art_15123731261701_b2adc4.jpg)  
(검색일: 2018.3.1.)

[그림 2-15] 수소-LPG 복합 충전소 조감도



자료: [http://www.h2news.kr/data/photos/20171249/art\\_15123757912881\\_397b6c.jpg](http://www.h2news.kr/data/photos/20171249/art_15123757912881_397b6c.jpg)  
(검색일: 2018.3.1.)



마지막으로 수소충전소 구축이 여의치 않지만, 수소 충전수요는 충분한 지역에서는 이상의 고정식 충전소의 대안으로서 최근 이동식 충전소가 활용되는 사례가 늘고 있다. 이 경우 액체 또는 압축 수소 저장 탱크로서 이동식 컨테이너, 트럭형 트레일러 등이 주로 활용된다 (Shell, 2017).

가령 2015년 일본 이와타니산업, 도요타통상, 다이요닛산 등 3개사가 공동으로 설립 및 운영하고 있는, 트레일러에 수소 저장탱크를 탑재해 직접 수소전기차에 수소를 공급하는 충전소는 이러한 이동식 충전소의 대표적인 사례라 할 수 있다(이주영, 2017b).<sup>25)</sup>

[그림 2-16] 운영 중인 일본의 이동식 충전소



자료: [http://www.h2news.kr/data/photos/20170936/art\\_15045888415393\\_d95cb4.jpg](http://www.h2news.kr/data/photos/20170936/art_15045888415393_d95cb4.jpg)  
(검색일: 2018.3.1.)

25) 일본 이와타니산업, 도요타통상, 다이요닛산 등 3개사가 공동 운영 이동식 수소 충전소는 소형 충전소 설치비(4~5억엔)의 절반가격(2~3억엔)이면 설치가 가능하며 면적도 기존 충전소의 30% 정도만 차지하는 것으로 알려져 있다(이주영, 2017b).

[그림 2-17] 국내에 개발된 이동식 액화수소충전소 모형



자료: [http://www.h2news.kr/data/photos/20170936/art\\_1504579789918\\_8f1029.jpg](http://www.h2news.kr/data/photos/20170936/art_1504579789918_8f1029.jpg)  
(검색일: 2018.3.1.)

### 3. 국내 수소전기차 보급 및 수소 충전인프라 구축 현황

#### 가. 국내 수소전기차(수소전기버스 포함) 개발 및 생산 동향

앞서 언급한 바와 같이 이미 1838-39년대에 기본 원리가 발견된 연료전지를 자동차 등 수송수단에 적용하기 위한 시도는 실험용 시범제작의 형식으로 이미 1960년대부터 시작되었다. 그러다 본격적인 차량용 연료전지 개발은 1990년대에 들어서 보다 가속화되어, 기존 내연기관차를 수소전기차로 개조한 다양한 실험용 모델들이 등장하기도 하였다.

국내에서도 1987년 12월 「대체 에너지 기술개발 촉진법」이 제정되면서, 1988년부터 2003년까지 100억원 규모의 연료전지 연구개발 프로그램이 시작되었다. 그리고 2003년 이후 연료전지기술이 국가주요 기술로 채택되면서(손민희 외, 2016), 연료전지를 탑재한 수소전기차 개발도 본격화되었다. 국산 수소전기차 개발은 주로 현대자동차(주)에 의해 주도되었으며, 1998년부터 개발에 착수, 2002년 미국 ‘UTC 파워’로부터 연료전지 시스템을 이전받아 75kW급 연료전지 시스템을 장착한 국내 최초 수소전기차 시험모델(모델명: ‘산타페 FCV’)이 출시되었다(이재연, 이충환, 2015).

[그림 2-18] 산타페 FCV(좌)와 투싼 FCV-I(우)



자료: 이재연, 이충환 (2015)

그러나 당시 연료전지 스택 제조 기술은 이전받지 못한 관계로, 2004년부터 추가적으로 국산 80kW급 연료전지 스택의 개발에 착수하여, 2006년 65kW급 연료전지 스택 개발에 성공하였다(이재연, 이충환, 2015). 그리고 2010년 10월 100kW급 연료전지 시스템과 2기의 수소 저장장치(700 bar)가 탑재된 시험모델(모델명: 투싼 ix FCV) 개발에 성공하게 된다. 개발성공 직후인 2010년 12월 관계부처(지식경제부, 환경부, 국토해양부, 녹색성장위원회) 합동으로 2015년까지 그린카 양산과 수출을 목표로 한 「그린카 산업 발전전략 및 과제」가 발표되었다. 이후 2012년 정부(지식경제부)와 자동차제조사(현대자동차(주))가 민관합동으로 수소전기차 양산계획을 발표하면서, 본격적으로 시험 및 소량생산단계에서 양산단계로의 진입을 위한 준비가 시작되었다.

양산단계의 서막은 2013년 2월 세계 최초로 국산 수소전기차 양산 모델(모델명: 투싼ix35 FCEV)이 출시되면서 열리게 되었다. 당시 판매가격은 1억 5,000만원 수준으로 유럽에서는 정부나 지자체 및 공공기관을 대상으로, 미국 캘리포니아에서는 리스(Lease)를 통해 일반 소비자를 대상으로 시판이 시도되었다(손민희 외, 2016).

그러나 실제 양산에 성공, 시장진입에 성공한 모델은 2014년 12월에 출시된 일본 토요타의 수소전기차(모델명: 미라이(Mirai))로 보통 평가되고 있다. 토요타는 수소전기차 보급 확대를 위해 보다 공격적인 저가 전략(韓貨 약 7천2백만원 수준)과 글로벌 특허 공개<sup>26)</sup>, 강력한 정부 지원 등(손민희 외, 2016)과 함께 차량 출시 이전 사전판매로 개

26) 토요타는 미라이 출시와 동시에 자사 수소연료전지차 관련 특허 실시권을 무상 제공한다는 방침을 밝혔는데, 무상 제공되는 특허는 세계 약 5,680건에 달했다. 또한 연료전지 스택 관련 특허 1,970건을 비롯해 3,350건에 달하는 연료전지 시스템 제어 등 개발과 생산 근간이 되는 특허를 개방했다(IRS Global, 2017).

인 대상 차량 판매(장성혁, 2017c)가 시장에 성공적 안착에 기여했다고 평가되고 있다.

[그림 2-19] 현대 투싼ix35 FCEV(좌)와 도요타 미라이(우)



자료: <https://auto.naver.com/car/image.nhn?yearsId=52425>(좌),  
<https://auto.naver.com/car/main.nhn?yearsId=56033>(우) (검색일: 2018.3.3.)

이러한 경쟁 모델의 등장에 대응하고자 2015년 초에는 국산 수소소  
전지차 양산모델 가격을 8,500만원으로 40% 이상 인하하는 조치를 단  
행하였다. 그럼에도 불구하고 당시 정부가 지급하는 구매보조금이 공  
공기관에 한정해서 5,500만원(국비+지방비)이 지급된 관계로, 주로 공  
공기관(지자체 또는 법인 등)만을 대상으로 판매가 이루어져 대중화를  
통한 시장 진입에는 한계가 있다. 2013년 양산 시작이후 총 누적 판매  
대수는 2017년 12월까지 총 170대에 그친 실정이다(장성혁, 2017c).

이러한 한계를 넘어서고자 2018년 평창 동계올림픽 개최 시점에 맞  
춰, 2018년 2월 17일 일반 소비자 대상 보급형 수소전기차 모델(승용  
차, 모델명: 넥쏘)가 최초로 공개되었다.

[그림 2-20] 일반 보급형 제2세대 수소 전기승용차(모델명: 넥쏘)



자료: [https://imgauto-phinf.pstatic.net/20180110\\_30/auto\\_1515570477051PMBrl\\_PNG/20180110164752\\_YXmrkbcZ.png?type=f508\\_367](https://imgauto-phinf.pstatic.net/20180110_30/auto_1515570477051PMBrl_PNG/20180110164752_YXmrkbcZ.png?type=f508_367) (검색일: 2018.2.28.)

새로 출시된 일반 보급형 수소전기차는 기존 양산형 모델(투싼ix)의 한계를 극복하여 1회 충전 주행가능 거리 580km에 도달하였을 뿐만 아니라 출력도 20% 증가한 163마력 정도의 성능을 보일 것으로 알려졌다(장성혁, 2017c). 특히 문제가 되었던 차량 판매가격(출고가 기준)도 6,500만원 수준으로서, 1,750만원의 정부 국비 지원금과 1,000~1,750만원 수준의 지방자치단체 지방비 지원금을 합한 차량구매 보조금을 수령할 경우 지역에 따라 3,000~4,750만원 수준으로 구입이 가능해질 것으로 보인다(장성혁, 2017c). 이 경우 약 3,000만원 수준인 동급 내연기관차량과는 적어도 차량 구매가격 면에서 경쟁이 가능해질 것으로 예상되기 때문에, 궁극적으로 수소전기차의 본격적인 대중화의 문을 여는 단초를 제공해줄 수 있을 것으로 기대된다.

[그림 2-21] 제3세대 수소전기버스



자료: [http://www.h2news.kr/data/photos/20171043/art\\_15089859073957\\_687b2f.jpg](http://www.h2news.kr/data/photos/20171043/art_15089859073957_687b2f.jpg)  
(검색일 : 2018.2.28.)

그리고 이러한 일반 보급형 수소전기차(승용차) 모델과 함께 수소전기버스의 출시도 본격화되고 있다. 최근 개발이 완료되어 시범운행에 들어간 제3세대 수소전기버스<sup>27)</sup> 6대가 평창 동계올림픽 기간 행사 지원차량으로 투입되었다(장성혁, 2017c).

또한 울산시는 2019년 수소전기버스를 시내 노선버스 정규노선 투입을 목표로, 2017년 12월부터 제3세대 수소전기버스<sup>28)</sup> 2대를 투입, 시범사업을 수행하고 있다(이주영, 2017d; 장성혁, 2017c).

---

27) 제3세대 수소전기버스는 친환경 상용차 개발 3단계 로드맵에 따라 압축천연가스(CNG), 액화천연가스(LNG) 등 대체연료 적용 제1세대 수소전기버스, 하이브리드, 플러그인하이브리드 시스템을 적용한 제2세대 수소전기버스 이후 신규 개발된 신차종을 의미한다(IRS Global, 2017).

28) 울산 시범사업에 투입된 수소전기버스는 100kW급 연료전지 시스템 2개 모듈과 350 bar 수소저장탱크(수소 40kg 저장 가능)가 장착되어있으며, 최고속도는 100km/h, 1회 충전 주행가능거리는 최대 500km, 승차 정원은 51명이다(IRS Global, 2017).

#### 나. 국내 수소전기차 보급 및 수소 충전인프라 구축 정책 현황

앞서 언급한 바와 같이 2010년 국산 시험모델(모델명: 투싼ix35) 개발에 성공한 직후, 2010년 12월 정부(지식경제부, 환경부, 국토해양부, 녹색성장위원회)는 「그린카 산업 발전전략 및 과제」를 발표하였다. 해당 전략에 따라 처음으로 국산 수소전기차 및 수소충전소 보급 목표가 설정되었는데, 2015년까지 수소전기차는 10,100대, 수소충전소는 43개소를 보급하기로 하였다.

〈표 2-1〉 「그린카 산업 발전전략 및 과제」의 보급목표

구 분	2013년까지		2015년까지	
	수소차	충전소	수소차	충전소
보급목표	50대	18개소	10,100대	43개소
보급실적	5대	8개소	42대	10개소

자료: 산업통상자원부·환경부 (2015)

그러나 전 소절에서 살펴본 바와 같이, 2013년 2월 수소전기차 양산모델 출시와 2015년 초 판매가격 인하조치 등에도 불구하고, <표 2-1>에서 확인할 수 있듯이 2015년 말까지 수소전기차 보급대수는 고작 42대에 불과하였다.

이처럼 저조한 보급실적을 타개하고, 수소를 기반으로 환경과 경제의 상생 생태계 조성을 위해, 공적자금의 재정지원 없이 수소전기차의 자생력 확보가 가능할 수 있도록 2030년까지 수소전기차 판매 비중이 신차 판매의 10% (약 53만대)가 될 수 있도록 보급을 지원하는 내용으로 「수소차 보급 및 시장 활성화 계획」(환경부, 산업통상자원부)이 2015년 12월 마련되었다.



[그림 2-22] 「수소차 보급 및 시장 활성화 계획」 보급목표

구분	(수소충전소 : 개소, 수소차 : 천대)								
	구분	'16	'17	'18	'19	'20	'25	'30	'50
보급목표	수소차	0.2 (0.1)	0.5 (0.3)	2.5 (2.0)	5.1 (2.6)	9.0 (3.9)	100 (91)	630 (530)	7,000 (6,370)
	충전소	13 (3)	20 (7)	30 (10)	50 (20)	80 (30)	210 (130)	520 (310)	1,500 (980)

자료: 산업통상자원부·환경부 (2015)

해당 계획상의 수소전기차 누적 보급목표는 2020년 9천대, 2025년 10만대 그리고 2030년까지 63만대로 설정되었으며, 이들을 지원하기 위해 2020년 80개소, 2025년 210개소 그리고 2030년까지 520개소(누적)의 수소충전소를 구축하도록 하였다.

이를 위해 정부 보조금(국비 2,750만원+지방비) 지원과 함께 2015년 8,500만원 수준이었던 수소전기차 판매가격을 2018년까지 6,400만원, 2020년까지 전기차 수준인 5,100만원, 2025년까지 하이브리드차 수준인 3,800만원으로 인하를 유도하도록 하였다.

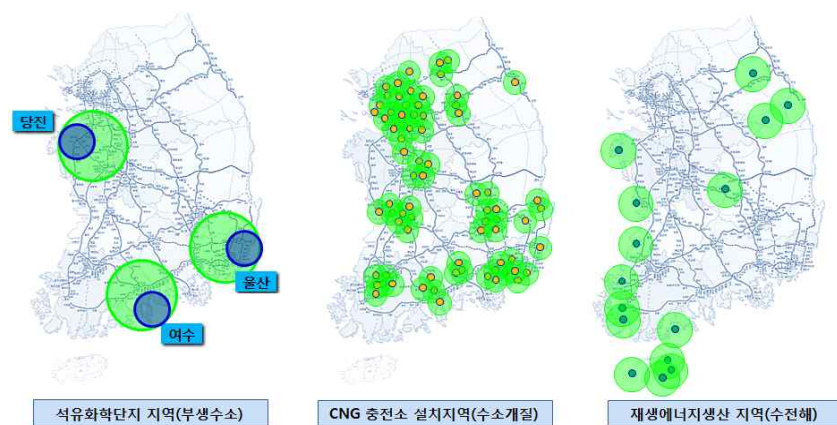
이와 함께 동 계획은 수소전기차 보급의 기반 조정을 위해, 수소 충전방식의 다원화 및 수소충전소 설치·운영 및 시설확충 보조 등을 내용으로 하는 수소충전소 구축 전략도 함께 규정하였다. 다음 장에서 살펴 보겠지만 수소 생산방식은 총 21가지에 이른다. 이처럼 다양한 생산방식 중 수소 충전수요를 충족할 만큼 충분한 생산 잠재력 있는 부생수소<sup>29)</sup>나 CNG(또는 도시가스) 개질방식<sup>30)</sup>, 그리고 풍력, 태양광발전

29) 부생수소 등을 튜브트레이러로 운송하여 수소를 공급하는 충전소로서, 석유화학 단지 등 수소 생산지에서 최대 200km 이내 지역 위주로 구축할 계획이다.

30) 기존 CNG 충전소(전국 CNG 충전소 194개소)에 CNG를 원료로 개질기 또는 발전용 연료전지 충전소 내에서 수소를 생산·공급하는 충전소로서, 주로 상대적

기반 한 수전해 방식<sup>31)</sup> 등을 활용하되, 각 생산방식별 생산거점을 중심으로 수소충전소를 확충해 나아가는 전략이 마련되었다. 이와 연계하여 수소차 및 충전소 중점 보급도시(광주, 울산, 창원, 충남 내포 등)를 선정하여 수소차와 충전소 설치비용을 지원하는 방안도 포함되었다.

[그림 2-23] 「수소차 보급 및 시장 활성화 계획」 상의 수소충전소 구축 전략



자료:자료: 산업통상자원부 · 환경부 (2015)

특징적으로 동 계획에는 물리적 ‘인프라’로서 수소충전소의 구축 전략과 함께 수소전기차 충전용 수소 유통체계 구축을 위한 전략도 마련되었다. 우선 수소 충전요금이 동급 다른 에너지원 차량과 비교해서 비싸면 수소전기차 보급 및 충전소 운영에 차질이 발생할 수밖에 없다.

으로 부생수소 사용이 용이하지 않은 지역을 중심으로 우선적으로 구축하기로 하였다. 특히 CNG와 수소공급이 가능하여 수소차, CNG버스, H-CNG버스, 전기차(발전용연료전지 충전소) 등 다목적 충전소로 활용 가능하며, 특히 도시가스 개질 등의 융합 수소충전소 형태로 추진될 예정이다.

31) 풍력, 태양광발전소 인근 지역에 풍력, 태양광발전소의 전기로 수전해를 통해 수소를 생산·운반하여 공급하는 충전소이다.

이러한 문제를 해결하기 위해, 보급목표 달성에 필요한 적정 수소 충전요금을 설정하도록 하였다. 또한 적정한 수소 충전요금을 유지하기 위해서는 충전용 수소의 공급이 일정정도 관리될 필요도 있다. 이에 수소 공급사업자로부터 수소를 대량구입(입찰)하여 안정적 수소공급과 적정가격을 유지하되, 특히 이를 공공기관인 한국가스공사에 서 전담하여 구매 및 관리 후 수소충전소로 이송하는 등 충전용 수소 도매사업자의 역할을 수행하게 하는 방안도 포함되었다.

이러한 「수소차 보급 및 시장 활성화 계획」은 동년 동월 「제3차 환경친화적 자동차 개발 및 보급 기본계획」에 그대로 반영되어 발표되었다. 「제3차 환경친화적 자동차 개발 및 보급 기본계획」은 「친환경자동차법」 제3조에 따라 법적 근거를 가지고 마련된 공식적인 정부 계획인 만큼, 해당 계획은 일정정도 법적 구속력을 지니고 있어, 최소한 2020년까지 정부의 공식적인 수소전기차 및 수소충전소 보급 및 구축 전략의 기본적인 틀로 볼 수 있다.

한편 2016년 3월 전국 CNG 노선버스를 수소전기버스로 교체하는 「수소버스 보급계획」(기획재정부)이 발표되었다. 전국 등록 CNG버스 26,000대(2016년 1월말 기준) 중 연간 2,000대 규모로 수소전기버스로 대체하는 한편, 기존 CNG 충전소에 수소충전소를 설치하여, 복합내지 융합 충전소로 구축한다는 방침이 담겨있다.

또한 2016년 7월에는 2020년까지 기존 9000대에서 1만대로 수소전기차의 보급목표를 상향 조정하는 한편 수소전기버스 및 수소택시 등 상용차 중심으로 시장규모 확대하고, 글로벌 기업과의 파트너십을 기반으로 주요국의 내수시장 공략하여 1.4만대 수출로 세계시장 선도한다는 「전기차·수소차 발전전략」이 발표되었다. 특히 해당 전략은 수

소전지차 대중화를 위해서 그 동안 공공기관만을 대상으로 지급됐던 구매보조금(2,750만원/대)을 개인 대상으로 확대하는 한편 카셰어링(광주), 수소택시(울산), 수소노선버스(울산) 등의 사업을 통해 일반인의 수소차 이용경험 확대 및 對국민 홍보 강화를 위한 계획 등이 포함되었다.

2016년 봄 중국발 미세먼지가 큰 사회적 이슈가 되자, 2016년 6월 정부는 관계부처 합동으로 「미세먼지 관리 특별대책」을 수립, 추진하기로 하였다. 당시 수소전기차 보급은 전기차 보급과 함께 미세먼지 저감 수단으로 등재되어, 2020년까지 수소충전소 누적 보급목표가 90개소에서 100개소로 상향 조정되었다.

[그림 2-24] 「미세먼지 관리 대책」의 보급목표 비교

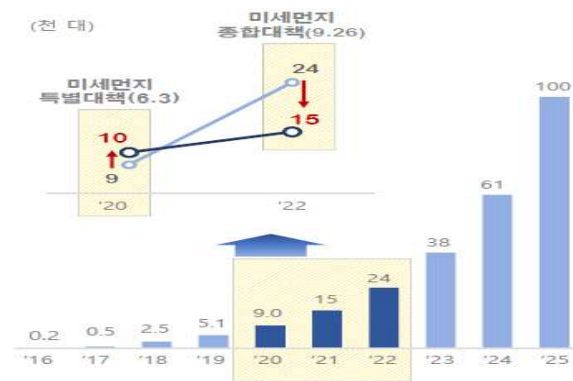
구 분		현 재	2020년(6.3대책)	2022년(종합대책)
친환경차 (누적)	합 계	총 25만대	총 150만대	총 200만대
	전기차	1.2만대	25만대	35만대
	수소차	0.01만대	1만대	1.5만대
	하이브리드차	23.8만대	124만대	163.5만대
충전 인프라 (누적)	합 계	총 764기	총 3,100기	총 10,310기
	전기(급속)	750기	3,000기	10,000기
	수소	14개소	100개소	310개소

자료 : 「미세먼지 관리 종합대책」(2017.9.26.)

이와 함께 미세먼지 문제해결을 최우선 과제로 설정한 신정부의 정책 기조를 반영하여 2017년 9월에는 「미세먼지 관리 종합대책」이 발표되었다. 「미세먼지 관리 종합대책」에서도 이전 대책과 마찬가지로

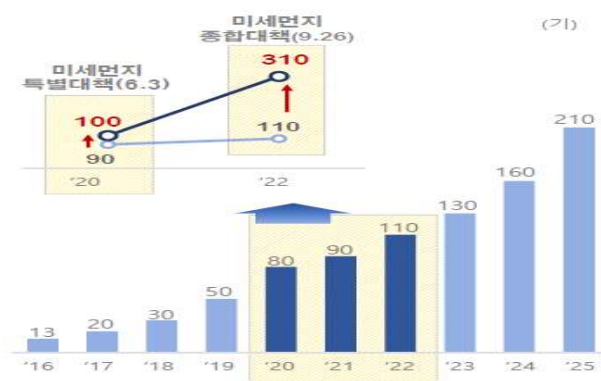
미세먼지 저감수단으로 수소전기차 보급이 등재되었다. 그러나 2022년까지 수소충전소 누적 보급목표는 110개에서 310개소로 재차 상향 조정된데 반해 수소전기차 누적 보급목표는 24,000만대에서 15,000만대로 오히려 하향 조정되었다.

[그림 2-25] 현행 수소전기차 보급 로드맵



자료: 수소융합얼라이언스추진단 (2018)

[그림 2-26] 현행 수소충전소 보급 로드맵

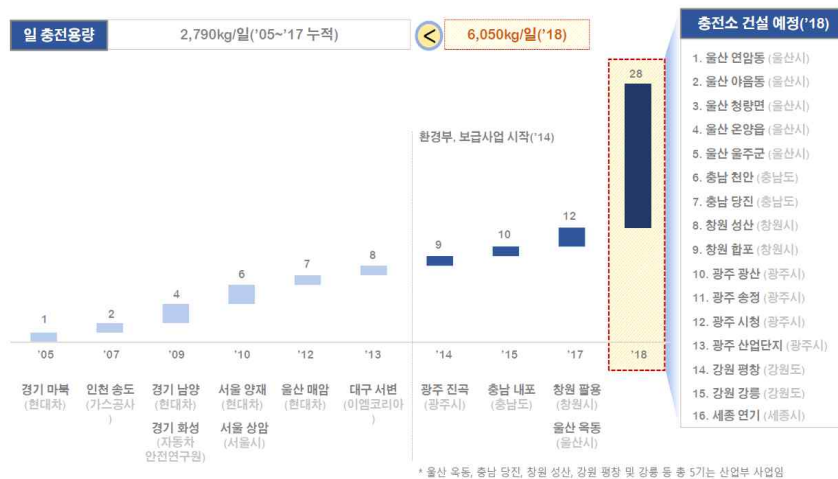


자료: 수소융합얼라이언스추진단 (2018)

#### 다. 국내 수소충전인프라 구축 현황

2001년 5월 경기도 화성의 남양연구소 내에 개발 중이던 수소전기차의 연구를 위해 구축된 남양 수소충전소를 시작으로, 2017년 10월 까지 총 21개소의 수소충전소가 국내에 구축되었다. 이중 사실상 용도 폐기된 5개소와 실제 운영을 하지 않는 4개소를 제외한 12개소만이 운영되고 있다. 그나마 이중 절반인 6개소는 연구목적으로 특정 연구시설 내에 위치하고 있어 일반 이용자들의 접근이 사실상 제한되어 사실상 6개소 정도만이 상업용으로 활용이 가능한 실정이다. 다시 말해 국내에는 2017년 12월말 기준 170대의 수소전기차를 위해 6개소 정도의 상업용 수소충전소만이 존재한다.

[그림 2-27] 구축 시기별 수소충전소 분포



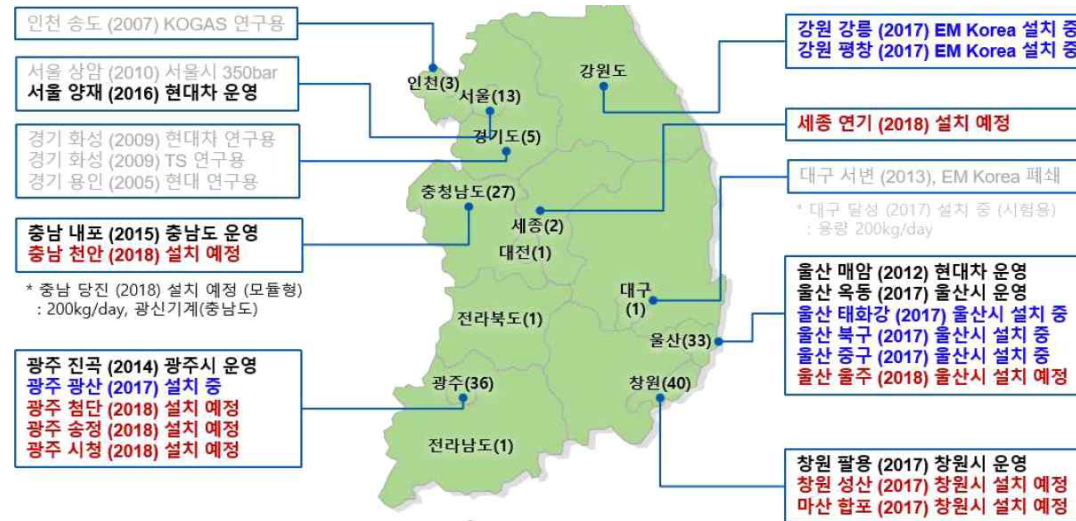
자료: 수소융합얼라이언스추진단 (2018)

〈표 2-2〉 국내 수소충전소 현황(2017. 10월)

No.	구축 시기	설치 지역	충전소 형태	용량 (kg/일)	운영형태			비고
					폐기 (운영 불가)	미운영	운영	
1	2001	경기(화성)	튜브트레일러	-	○			
2	2005	경기(용인)	튜브트레일러	110			○	상업용
3	2006	대전(유성)	개질(NG)	-	○			
4	2007	서울(신촌)	개질(납사, NG)	-	○			
5	2007	인천(송도)	개질(NG)	65			○	
6	2007	대전(유성)	개질(LPG, NG)	65	○			
7	2008	서울(홍릉)	이동식	-	○			
8	2009	경기(남양)	튜브트레일러	430			○	
9	2009	울산(매암)	튜브트레일러	220		○		
10	2009	여수(중흥)	파이프라인	220		○		
11	2009	경기(화성)	튜브트레일러	20			○	
12	2010	제주(김영)	수전해	10		○		
13	2010	서울(양재)	튜브트레일러	110			○	
14	2010	서울(상암)	개질(매립가스)	65			○	
15	2011	전북(부안)	수전해	50		○		
16	2012	울산(매암)	튜브트레일러	520			○	상업용
17	2013	대구(서변)	수전해	110			○	상업용
18	2014	광주(진곡)	튜브트레일러	220			○	
19	2015	충남(내포)	튜브트레일러	430			○	상업용
20	2017	경남(창원)	튜브트레일러	250			○	상업용
21	2017	울산(옥동)	튜브트레일러	250			○	상업용
합계					5	4	12	

자료 : 수소융합얼라이언스추진단 내부자료

[그림 2-28] 수소충전소의 지역적 분포(2017년 11월 기준)



자료: 이영철 (2018)





## 제3장 수소차 충전용 수소시장의 구조와 현황

### 1. 수소차 충전용 수소의 공급 및 유통체계

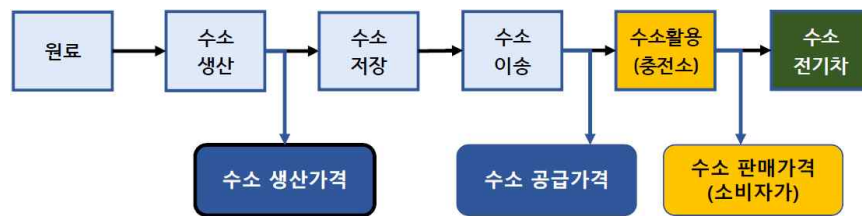
#### 가. 수소차 충전용 수소의 유통단계

전장에서는 수소를 연료처럼 사용하는 연료전기를 통해, 구동에너지를 얻는 수소전기차와 이러한 수소전기차에 수소를 공급하는 수소충전소(충전인프라)의 현황에 대해 살펴보았다. 앞서 언급한 바와 같이 수소충전소 중에는 충전소에서 소요될 수소를 전량 또는 부분적으로 충전소 내부에 설치된 수소 제조설비를 이용하여 생산, 활용하는 현지생산방식 또는 일체형(On-site) 충전소가 존재한다. 그러나 이 경우 충전소 구축비용이 상대적으로 상승할 뿐만 아니라 대규모의 수소 생산 및 유통을 통해 향유 가능한 규모의 경제 효과가 크게 반감됨에 따라 수소 공급단가도 높아져, 수소전기차 보급 촉진을 위해 수소 충전요금(판매가격)을 저렴하게 유지하는데 도움이 되지 않을 수 있다.

이로 인해 현지생산방식 보다 충전소 외부에 위치한 대규모 수소생산시설로부터 수소를 공급받아 규모의 경제 효과에 기반하여 상대적으로 저렴한 수소 공급을 가능케 하는 중앙공급방식(Off-site) 충전소가 적어도 수소전기차 보급단계에서는 수소차 충전 인프라 구축에서의 주축을 이루는 것이 바람직할 수 있다. 대신 현지생산방식(On-site) 충전소는 다양한 이유로 중앙공급방식(Off-site) 충전소로 수요를 충족시킬 수 없는 지역에 한정해서 구축, 보완적인 역할을 수행하도록 하는 전략이 유효할 수 있다.

한편 충전소 외부에 위치한 대규모 수소생산시설로부터 수소를 공급 받는 중앙공급방식(Off-site) 충전소가 다수 포진되어 분포할 경우, 수소 생산부문, 즉 상류부문(upstream sector)에서 하류부문(downstream sector)인 수소충전소까지 충전용 수소가 이동하려면, 이송, 저장, 유통 등의 기능을 담당해야 할 중류부문(midstream sector)이 필요하다. 이러한 중류부문은 주로 유통단계 간의 가격차이(즉 유통마진(margin))나 저장시설 임대료, 운송서비스 요금 등을 통해 수익을 창출하며 사업을 영위하게 된다.

[그림 3-1] 수소차 충전용 수소의 유통단계



자료: 구영모 (2017)

본 절에서는 이러한 수소전기차 충전용 수소 생산부문과 함께 중류 부문을 중심으로 한 유통체계를 살펴보고자 한다.

#### 나. 수소차 충전용 수소의 생산 및 활용

비록 우주 질량의 약 75%를 차지하는 원소인 수소이지만, 적어도 지구 상 자연상태에서는 다른 원소들과 화학적으로 결합된 화합물 형태로 대부분 존재한다.<sup>32)</sup> 그래서 수소를 경제적으로 활용하기 위해서는 먼저 생산

32) 수소(hydrogen, 水素)는 주기율표 첫 번째 자리를 차지하는 비금속원소로, 원소

을 위한 특정한 공정이 필요하다. 현재 전 세계적으로 수소 생산에 활용내  
지는 개발되고 있는 생산방식은 총 21가지에 달한다([그림 3-2] 참조).

[그림 3-2] 수소의 생산방식 유형

수소생산방식		총 21가지	상용화 단계	CO <sub>2</sub> free 가능 기술
<b>1. 열화학적 수소생산 방식(12)</b>		<b>원료</b>	<b>2. 전기화학적 수소생산 방식(4)</b>	<b>원료</b>
1-1. 수증기 개질 (SMR, Steam Methane Reforming)	천연가스 액화석유가스 납사 탄화수소연료 바이오메스 등		2-1. 염소-알칼리 전기분해 (Chlor-Alkali Electrolysis)	물 전기 or 재생에너지
1-2. 부분산화 개질 (POX, Partial Oxidation)			2-2. 알칼라인 전기분해 (Alkaline Electrolysis)	
1-3. 자열 개질 (ATR, Auto Thermal Reforming)			2-3. 고분자전해질막 전기분해 (PEM Electrolysis, Polymer Electrolyte Membrane)	
1-4. 플라즈마 개질 (Plasma Reforming)			2-4. 고온수증기 전기분해 (HTE, High Temperature Electrolysis)	
1-5. 멤브레인 개질 (Membrane Reforming)	석탄 바이오메스 폐기물 등		<b>3. 광학적 수소생산 방식(1)</b>	<b>원료</b>
1-6. 가스화 (Gasification)			3-1. 광전기화학 반응 (Photoelectrochemical Reaction)	물 재생에너지
1-7. 열분해 (Pyrolysis)			<b>4. 생물학적 수소생산 방식(3)</b>	<b>원료</b>
1-8. 수성가스전환 반응 (WGS, Water Gas Shift Reaction)	부생가스		4-1. 수성가스전환 반응 (WGS, Water Gas Shift Reaction)	바이오메스
1-9. 흡착부과 반응 (SER, Sorption-Enhanced Reaction)			4-2. 발효 (Fermentation)	바이오메스, 물
1-10. 암모니아 개질 (Ammonia Reforming)	암모니아		4-3. 생물학적 광분해 (Photolytic Biological Hydrogen)	물
1-11. 액체유기수소 개질 (LOHC Reforming, Liquid Organic Hydrogen Carrier)	메틸사이클로 헥산 등		<b>5. 물리적 수소생산 방식(1)</b>	<b>원료</b>
1-12. 고온 열분해 사이클 (태양열, 원자력) (High-Temperature Thermochemical Cycle)	물 태양열, 원자력		5-1. 압력순환 흡착 (PSA, Pressure Swing Adsorption)	부생가스

자료: 구영모 (2017)

이를 크게 나누어 천연가스나 LPG, 석탄 등 수소와 화학적으로 결합된  
탄화수소 계열의 화석연료로부터 개질(Reforming) 또는 부생가스<sup>33)</sup> 등의

기호 H, 원자량 1.00794g/mol, 끓는점 -252.87°C, 녹는점 -259.16°C, 밀도 0.08988g/L이다. 지구상에 존재하는 가장 가벼운 원소로 무색, 무미, 무취의 기체로, 우주 질량의 약 75%를 차지하는 가장 풍부한 원소이지만, 지구 중력의 부족으로 대기 중 구성 비율은 매우 낮다(IRS Global, 2017).

- 33) 부생 수소는 석유화학 산업과 제철 산업에서 주로 발생한다. 석유화학 공정 중 부생 수소가 발생하는 대표적인 공정은 납사로부터 에틸렌과 프로필렌을 생산하는 납사분해 공정과 염소와 가성소다를 생산하는 염소-알칼리(CA) 공정이 있다. 또한 제철산업에서는 철광석을 환원하기 위해 코크스를 사용하는데, 석탄을 고온의 가열로에서 건류하여 코크스를 생산하는 과정에서 다량의 수소를 포함하고 있는 COG(코크 오븐 가스)가 생산된다. 이러한 부생수소는 주로 정

열화학적 생산방식, 다양한 방식으로 생산된 전기를 활용하여 물을 전기 분해(수전해)하는 전기화학적 생산방식, 광전기화학 반응을 이용한 광학적 생산방식, 바이오매스 등에 함유된 수소를 추출하는 생물학적 생산방식 그리고 압력순환 흡착법으로 대표되는 물리적 생산방식 등이 있다.

이러한 다양한 생산방식에도 불구하고 2014년 기준 전 세계적으로는 전체 생산량의 96%가 탄화수소 계열의 화석연료로부터 열화학적 생산방식으로 추출되고 있다. 그래서 가장 많이 활용되고 있는 수소 생산 원료는 단연 천연가스로서 전체 원료 중 49%를 차지하며, 액화석유가스(LPG) 등이 29%, 석탄 18%를 차지하고 있으며, 나머지 4%를 전기분해나 부생가스가 담당하고 있다(IHS Chemical, 2015).

한편 이렇게 생산된 수소(가스)는 전장에서 살펴본 연료전지의 연료, 즉 에너지원으로 활용될 뿐만 아니라 암모니아<sup>34)</sup>, 메탄올<sup>35)</sup> 같은 화학물의 대량 합성 공정이나 원유 정제공정<sup>36)</sup>에 투입되는 등 산업용 원료로서도 활용된다. 산업용 원료로서의 수소는 다른 물질이나 중간재를

---

유공장에서 발생한다. 정유공장에서는 납사를 방향족 화합물로 전환하는 납사개질 공정에서 막대한 양의 수소가 생산되지만 그만한 양의 수소가 수소첨가 탈황 공정과 수소첨가 분해공정에서 소모돼, 수소를 외부에 공급할 여력이 부족하다. 또한 정유공장에서는 경우에 따라서는 부족한 수소를 공급하기 위해 별도로 납사 수증기 개질공정을 가동하거나 외부에서 수소를 공급받기도 한다(IRS Global, 2017).

34) 비료의 주 성분인 암모니아( $\text{NH}_3$ )는 기본적으로 수소-질소 화합물로서 수소와 질소 합성을 통해 직접 결합시키는 공정인 하버-보슈법을 통해 대량 생산된다. 이 과정에서 질소는 공기를 저온에서 분리하여 얻지만, 수소는 주로 천연가스 스팀 개질을 통해 생산한다(Shell, 2017).

35) 메탄올은 일산화탄소의 촉매 수소화 공정을 통한 합성으로 대량 생산된다(Shell, 2017).

36) 석유 정제공정에서의 수소는 주로 촉매와 함께 석유(반)제품의 탈황 처리에 사용된다. 이때 석유(반)제품은 수소와 함께 가열되고, 황과 수소가 결합해 만들어진 황화수소가 배출된다. 한편 생산 수율을 향상을 위한 장쇄 탄화수소(long-chain hydrocarbon)를 수소와 촉매를 통해 단쇄 탄화수소(shorter-chain hydrocarbon)로 전환하는 공정에 사용되기 한다(Shell, 2017).

추가 처리하거나 정제하는 과정에 첨가되는 방식으로 활용되며, 이때 대부분 원하는 결과를 얻기 위해 압력, 온도, 또는 반응을 촉진하는 촉매를 통해 특별한 공정을 거치게 된다.

참고로 전 세계 수소 연간 생산 규모는 2014년 기준 약 6,804억Nm<sup>3</sup> (약 6,120만톤) 정도이며, 주로 암모니아, 메탄올 제조와 원유 정제공정에 가장 많이 사용되고 있으며 이외에도 화학산업, 제철, 유화, 전자, 유리 산업 등에서도 다량 소비되고 있다. 이중 가장 많은 비중을 차지하고 있는 것은 암모니아로써 세계 전체 소비량의 50.8%를 차지하고 있다. 그 다음은 원유 정제공정으로 28.7%를, 메탄올 제조에는 13.6%를 사용하고 있다(IHS Chemical, 2015).

〈표 3-1〉 전 세계 수소의 주요 용도별 소비량

단위: 백만Nm<sup>3</sup>

	미국	서유럽	중국	일본	기타	전체
암모니아	22,822	22,022	114,063	2,264	184,541	345,712
원유정제	59,007	20,674	25,858	10,007	79,442	194,988
메탄올	2,772	3,407	38,096	-	48,128	92,403
화학제품류*	4,412	4,014	8,227	2,025	6,926	25,604
제철	544	1,028	997	20	1,420	4,009
유화	154	256	532	13	166	1,121
전자제품	281	36	243	28	84	672
유리	25	45	143	8	40	261
기타	4,566	308	2,921	236	7,594	15,625
전체	94,583	51,790	191,080	14,601	328,341	680,395

\*주: Cyclohexane, Aniline, Hydrogen Peroxide, Caprolactam, Oxo Chemicals, Toluene Diisocyanate, Hexamethylenediamine, Adic Acid 생산공정

자료 : IHS Chemical (2015)

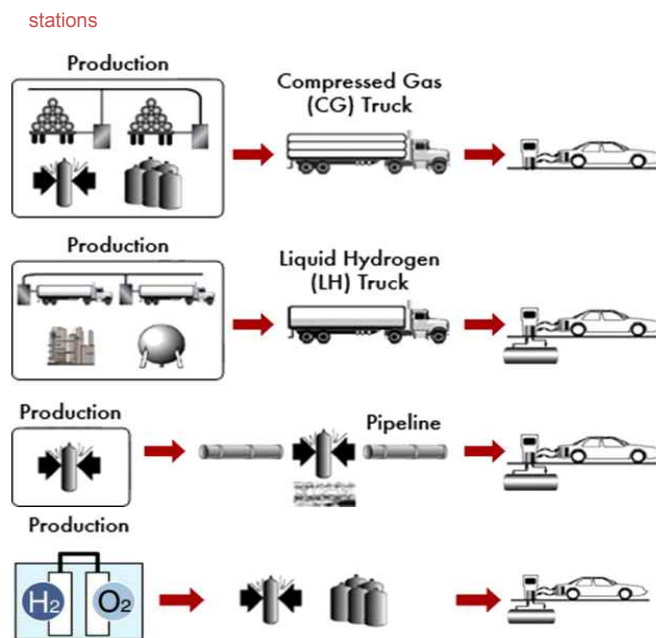
이로 인해 적어도 사실상 전량을 산업용 원료로 소비되는 수소산업의 관점에서 수소전기차 충전용 수소시장은 비중이 매우 적어, 중요도가 그리 높지 않은 파생시장 정도로 볼 수 있다. 다만, 수소전기차

보급 확대가 가속되어 해당 시장에서의 수소 수요가 충분히 증가하게 되면, 새로운 판매처로서 유의미한 위상을 갖게 될 것으로 보인다.

#### 다. 수소차 충전용 수소의 이송수단

이처럼 다양한 생산방식을 활용하여 생산된 수소 중 일부가 수소전기차 충전을 위해 수소충전소로 이송되게 된다. 이때 이용되는 이송수단은 생산된 수소의 성상에 의존적일 수밖에 없다.

[그림 3-3] 수소의 형태에 따른 이송방식



자료 : 강병우 외(2016)

우선 생산된 수소를 기체 상태로 이송할 경우에는 180 bar 이상의 압력으로 실린더 내에 압축되고, 이를 적재한 튜브 트레일러(tube

trailer)를 이용하여 이송하게 된다. 일반적으로 현재 활용되는 튜브 트레일러는 소형 튜브(6m 또는 6.10m)에서 점보 실린더(11.5m 또는 11.58 m)까지 길이가 다른 10-36개의 고압 실린더를 적재할 수 있다 (Jaffery and Singh, 2017).

[그림 3-4] 180bar급 type1형 튜브(수소 저장용기)



자료: [http://www.h2news.kr/data/photos/20171144/art\\_15096778131087\\_ec09bc.jpg](http://www.h2news.kr/data/photos/20171144/art_15096778131087_ec09bc.jpg)  
(검색일: 2018.3.5.)

[그림 3-5] 미국 Hexagon Composites의 type4형 튜브 트레일러



자료: [http://www.h2news.kr/data/photos/20171144/art\\_15096778108801\\_56c1da.jpg](http://www.h2news.kr/data/photos/20171144/art_15096778108801_56c1da.jpg)  
(검색일: 2018.3.5.)



국내에서는 보통 180~200bar 수준의 압력으로 사용하는 type 1형 튜브를 적재한 트레일러가 사용되어 왔다. 다만, 최근 압력 450bar로 압축하면서도 소재는 탄소섬유를 사용한 type 4형 튜브가 개발되어 출시되었다. 해당 튜브가 탄소섬유를 사용하기 때문에 오히려 튜브의 중량이 감소할 수 있는데, type 1형의 중량이 31톤이었다면 type 4형이 20톤으로 중량이 35% 축소된 반면에, 적재량은 180kg에서 950kg으로 5.2배 증가하여, 1회에 1톤 가까운 양을 저장·운반할 수 있게 되었다(수소융합얼라이언스추진단, 2018).

[그림 3-6] type1형과 type4형 튜브 비교

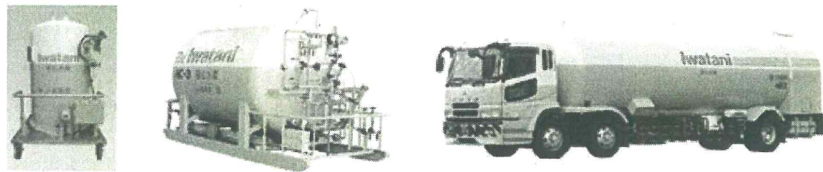
	200bar TT	450bar TT	비교
			
	[type1, 200bar]	[type4, 450bar]	
압력(bar)	200	450	2.5배 ↑
타입(Type)	Type 1(강재)	Type 4(탄소섬유)	
실린더 볼륨(L)	1200 / 2,290	1,845	19.4% ↓
적재량(kg)	180 / 340	950	2.8배 ↑
중량(kg)	31톤	20톤	35.4% ↓
가격(억 원)	1.2	5	4.2배 ↑

자료: 수소융합얼라이언스추진단 (2018)

한편 수소는  $-253^{\circ}\text{C}$ 에서 과냉각되어 액화된다(Jaffery and Singh, 2017). 이렇게 수소를 액체 상태로 이송할 경우, ‘듀어(Dewar)’ 탱크 트럭에 적재하여 이송하는데, 이 트럭에는 극저온 액체를 운반하도록 압력 상승을 방지하기 위해 안전 방출 밸브와 파열판 등으로 구성된 절연 듀어 플라스크가 장착되어 있다(Jaffery and Singh, 2017). 이러한 탱크 트럭에 적재되어 이송된 수소는 수소충전소에서 액체 상태로 저장되거

나 또는 재기화 장치를 통해 상온에서 기화시켜 저장 및 충전에 이용할 수 있다(Jaffery and Singh, 2017).

[그림 3-7] 액화수소 초저온저장용기(좌)와 액화수소 탱커 트럭(우)



자료: IRS Global(2017)

이 밖에도 주로 원료용 수소를 정유공장이나 석유화학공장으로 이송하는 수단인 수소 파이프라인이 된다. 이러한 파이프라인을 통해 공급된 수소는 일정한 정제과정을 거쳐 수소충전소 내에서 압축되어 저장되어 사용된다.

[그림 3-8] 울산지역 수소파이프라인 배관망(주덕양, 좌)와 수소파이프라인 매설 사례(우)



자료: 수소융합얼라이언스추진단(2018)

물론 이러한 파이프라인을 활용하기 위해서는 파이프라인이 사전에 매설되어야 하지만, 이 경우 상당한 투자비용이 발생한다는 단점이 있다(Jaffery and Singh, 2017). 주로 대규모 수소 생산시설에서 도시 교외 지역에 위치한 대형 수소충전소로 대규모 이송이 요구될 때 활용을 검토할 수 있는 안으로 사료된다.

이러한 수소 이송수단은 앞서 언급한 바와 같이 주로 중앙공급방식(Off-site) 충전소에 적용될 수 있다. 현장생산방식 충전소의 경우 이처럼 수소를 직접 이송하기보다는 개질에 필요한 원료(천연가스나 LPG)를 이송하거나 전력망을 통해 수전해용 전기를 이송하는 방식으로 대체할 수도 있다.

[그림 3-9] 수소충전소 유형별 이송수단



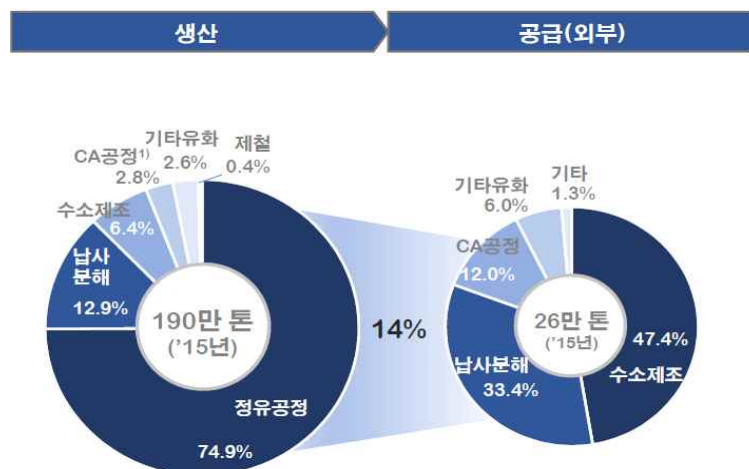
자료 : 구영모 (2017)

## 2. 국내 수소차 충전용 수소 시장의 현황

### 가. 국내 수소차 충전용 수소 생산 및 공급자 현황

국내 수소 생산규모는 2015년 기준 190만 톤이다(수소융합얼라이언스추진단, 2018). 이중 원유 정제공정에서 74.9%, 석유화학제품 생산을 위한 납사분해 공정에서 12.9%가 생산되어 국내 수소의 대부분(87.8%)은 사실상 석유로부터 추출된다고 볼 수 있다.

[그림 3-10] 국내 수소 생산·공급 구성 현황



자료: 수소융합얼라이언스추진단 (2018)

또한 염소-알칼리(Chlor-Alkali, CA)<sup>37)</sup> 공정(2.8%)나 제철공정(0.4%)

37) 염소-알칼리(Chlor-Alkali, CA) 공정은 소금물을 전기분해하여 수산화나트륨(NaOH)와 Cl<sub>2</sub>(염소)를 제조하는 공정으로 이 과정에서 수소가 발생한다  
([http://kin.naver.com/qna/detail.nhn?d1id=11&dirId=1115&docId=58821251&qb=Q2hsb3ItQWxrYWxp&enc=utf8&section=kin&rank=1&search\\_sort=0&spq=1&pid=TpHPdwpYSoossuF48kZssssRK-444256&sid=RyEkRhVsh6R5IWuPhvAJhg%3D%3D](http://kin.naver.com/qna/detail.nhn?d1id=11&dirId=1115&docId=58821251&qb=Q2hsb3ItQWxrYWxp&enc=utf8&section=kin&rank=1&search_sort=0&spq=1&pid=TpHPdwpYSoossuF48kZssssRK-444256&sid=RyEkRhVsh6R5IWuPhvAJhg%3D%3D), 검색일: 2018.3.3.).

까지 포괄할 경우 수소 자체를 목적으로 하는 생산보다는 타 공정에서 부수적으로 생산되는 소위 ‘부생수소’가 적어도 현재까지는 사실상 국내 생산 수소의 동의어라고 해도 과언이 아닌 수준이다. 반면 수소 자체를 생산하는 생산방식 중 국내에서 유의미한 생산하는 방식은 현재까지는 아직 천연가스 개질공정(6.4%) 정도라 할 수 있다.

[그림 3-11] 국내 수소 생산·공급사업의 생산, 공급 가치사슬 현황



자료: 수소융합얼라이언스추진단 (2017)

그러나 원유 정제공정에서의 생산된 수소는 다시 정유공장 내 탈황 공정 등에 재투입, 자체적으로 사실상 전량을 소비하는 관계로 실제 다른 용도로 사용되기 위해 외부로 공급되는 물량의 비중은 상대적으로 적은 것이 현실이다. 대신 석유화학공장의 납사분해 과정 등에서 발생한 부생수소 중 일부나 천연가스 개질 등을 통해 생산된 수소가

주로 정유공장 밖으로 공급되는데, 대략 전체 수소생산의 14% 정도인 26만 톤(2015년 기준) 정도로 추정된다. 그나마 정유공장 밖으로 공급되어 거래되는 수소도 주로 납사분해 공정에서 발생한 순도가 낮은 부생수소를 수소 공급사업자가 공급받아 순도를 높이는 정제공정(PSA)을 통해 고순도 수소를 생산하거나 또는 부족분이 있을 경우 천연가스 개질 등의 방식으로 추가 생산하여 다시 파이프라인을 통해 주요 석유화학업체나 정유공장에 재투입하는 방식으로 석유화학단지 내부에서 상당량이 활용된다. 이 같은 국내 수소 공급사업은 주로 (주)덕양, (주)SPG, Air Liquide Korea, SDG 등 소수의 중소 또는 중견기업들이 담당하고 있다.

한편 이러한 국내 수소생산의 구조적 특성으로 인해, 대규모 석유화학단지가 위치한 울산, 여수, 대산 등이 국내 수소의 주된 산지로서, 해당 3개 지역에서만 국내 전체 생산량의 86.3%인 164만톤(2015년 기준)이 생산되고 있다. 이렇게 석유화학단지 내부에서 순환되는 수소 중에서 일부 잉여 물량이 정유 및 석유화학업체 밖으로 나와 전자소재업체나 공업용 가스업체 등으로 공급된다.

#### **나. 국내 수소차 충전용 수소 이송 체계 현황**

이렇게 생산·공급되어 유통되는 국내산 수소 물량의 88%인 22.9만톤(2015년 기준)은 주로 파이프라인을 통해 유통되고 있다.

국내에 구축된 수소 파이프라인의 총 연장길이는 약 200km 정도로서, 앞서 언급한 바와 같이 대규모 석유화학단지가 위치한 울산(99km), 여수(63km), 대산·서산(13km) 등에 집중되어 있다. 이들 3개 지역 외에도 안산, 군산 등에 소규모 수소 파이프라인이 구축되어 운영되고 있다.

[그림 3-12] 국내 수소 파이프라인 구축 현황

	합계	울산	여수	대산·서산	안산	군산
연장거리 (km)	192.6 (100%)	99.0 (51.4%)	63.3 (32.8%)	13.6 (7.1%)	12.9 (6.6%)	3.8 (2.0%)
덕양	83.3	42.4	33.1	4.0		3.8
SPG	59.3	26.6	10.2	9.6	12.9	
SDG	30.0	30.0				
에어리프트	20.0		20.0			

자료: 수소융합얼라이언스추진단 (2018)

반면 국내에 운영 중인 튜브 트레일러는 약 500여대로 추산되며, 이를 통해 이송되는 수소 공급물량은 파이프라인 이송물량의 13.5%인 3.1만톤 수준으로 상대적으로 미미하다. 현재 주로 사용되고 있는 수소 저장용기인 일반형 튜브( type 1)은 강철재로서 200bar의 압력으로 약 180kg을 저장·운반할 수 있다. 또한 점보형 튜브도 사용되고 있는데, 압력은 200bar로서 일반형과 동일하지만 용기의 크기를 확대해 수소를 340kg까지 한 번에 적재할 수 있다. 한편 국내에서는 아직 액화 운송 방식이 활용되지 않고 있다.

#### 다. 국내 수소충전소 운영사업(수소차 충전사업) 현황

앞서 언급한 바와 같이 2017년말 현재 국내에 누적 보급된 수소전기차는 170대 수준이며, 이들에게 충전용 수소를 공급할 수소충전소 역시 상업적으로 운영되고 있는 곳은 단지 6개소이다. 그리고 현재 운영 중인 수소충전소는 전적으로 정부 출자금(국비 15억원+지방비 15억원)으로 설치되고 대부분 지방자치단체가 직접 운영을 담당하고 있

다. 이로 인해 국내에는 경제적 수익창출을 목적으로 하는 수소충전소 운영사업자, 곧 수소차 충전사업자는 적어도 2017년 현재까지는 존재하지 않는다고 보는 것이 타당하다.

다만, 최근 이러한 국내 수소 수소차 충전사업의 현실에 변화의 조짐도 있다. 사실 지금까지와 같이 수소충전소 구축에 필요한 재원을 운영에 제한적인 정부 예산에 의존하는 방식으로는 정부가 계획하고 있는 보급목표 달성에 한계가 있을 수밖에 없다. 되도록 민간자본 투자를 유도하여 민간 수소차 충전용 수소시장을 구축, 시장주도형 충전인프라 구축을 도모하는 방안이 보다 효과적일 수 있다.

이러한 점을 감안하여 정부(국토교통부)는 2017년 2월 「친환경차 충전인프라 구축 방안」을 통해 민간에 도로 휴게소 운영권을 보장해주는 대신 휴게소와 함께 수소충전소 포함 친환경차 충전소를 동시에 구축하는 ‘복합휴게소’ 개념을 제시하였다(장성혁, 2017a).

[그림 3-13] 「친환경차 충전인프라 구축 방안」 상의 복합휴게소 개념도



자료: 수소융합얼라이언스추진단 (2017)

제시된 복합휴게소 계획안은 2025년까지 총 200개 복합휴게소를 설치할 통해 사실상 200개의 수소충전소가 구축되는 효과를 기대할 수 있다(장성혁, 2017a). 더욱이 복합휴게소 계획안이 아직 보급초기 단계인 전기차나 수소전기차 등의 충전소 운영에서 발생할 수 있는 적자를 휴게소 상업시설의 운영수익으로 보전할 수 있는 수익모델에 기반하며(장성



혁, 2017a), 구축 재원을 정부 예산만이 아닌 민간 자본투자 유인을 통해 달성을 시도한다는 점에서 기존 전략에 비해 진일보했다고 평가된다. 물론 고속도로 휴게소 운영사업 이해관계자들의 반발과 복합 휴게소 규모가 기존 고속도로 휴게소의 약 1/10 수준인 간이휴게소<sup>38)</sup>라는 점과 함께, 대상지가 고속도로만 아니라 국도, 순환도로 등 기타도로라는 점 등으로 인한 실효성 논란(장성혁, 2017a)이 있어 아직 실행에 어려움을 겪고 있는 것이 사실이다. 그러나 수소충전소 운영의 새로운 수익모델이 연계된 수소충전소 구축 전략이 제시되었다는 점에서 향후 수소차 충전사업 창출에 긍정적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료된다.

더욱이 2017년 12월 29일 개정되어 2018년부터 시행에 들어간 「친환경자동차법」 제8조와 「친환경자동차법 시행령」 제17조 등을 통해 수소 생산, 공급, 판매와 함께 수소충전소 운영사업자(수소차 충전사업자)를 대상으로 한 정부 지원이 가능하도록 하는 법적 근거도 마련되었다. 해당 개정으로 수소충전소 운영사업자(수소차 충전사업자)를 대상으로 수소충전소 설치비(의 용자 또는 용자 알선)이나 설치부지(의 제공 및 알선), 또는 그 밖에 지원에 필요한 것으로 산업통상자원부장관 및 환경부장관이 공동으로 정하여 고시한 사항 등을 정부가 지원할 수 있도록 규정하였다.

이에 따라 환경부는 올해부터 시행하게 될 「수소연료전지차 충전소 설치 민간자본보조 사업」을 통해 2018년 구축 예정인 수소충전소 10개소 중 3개소를 대상으로 정부지원금(15억원)과 민간 투자금(15억원)을 50:50의 매칭펀드 형식으로 지원하는 방안을 공표한 바 있다. 정부지원을 일부 받아 수소충전소를 구축한 사업자는 의무적으로 해당 충전소를 3년간 운

38) 국토부가 제시한 예시 도면상 총 부지 면적 2,000~3,000㎡(약 605~907평) 내에 용·복합충전소와 주차장, 근린생활시설로 복합휴게소가 구성되어 있어 화장실, 편의점, 분식형태의 식당만 정도만이 설치될 수 있는 간이휴게소 수준으로 평가된다(장성혁, 2017a).

영해야 한다는 단서 조항도 추가함과 동시에 대상 사업자를 대기업이 아닌 중소, 중견기업으로 제한함으로써, 중소, 중견기업을 수소충전소 운영사업자(수소차 충전사업자)로 육성하기 위한 정책적 ‘착수(着手)’는 이미 이루어졌다고 평가된다.

그리고 실제 민간 수소충전소 운영사업자(수소차 충전사업자)의 등장이 이미 가시권안에 들어온 것으로 보인다. 이와 관련하여 2016년 8월 정부(산업통상자원부)와 지방자치단체, 한국가스공사, 현대자동차를 비롯하여 주요 지자체, 수소차 부품업체, 수소제조유통업체, 수소충전소설치업체 등 42개의 회원사가 참여하는 민관협의체인 ‘수소융합얼라이언스’가 발족되었으며(IRS Global, 2017), 그 상설기구인 ‘수소융합얼라이언스추진단’(이하 추진단)도 2017년 2월 출범하였다(조규정, 2017b). ‘수소융합얼라이언스’ 및 추진단이 추구하는 주된 목표는 정부지원과 함께 민간 투자금을 유치하여 수소충전소를 구축하고, 이를 운영할 수소충전소 운영사업 특수목적법인(Special Purpose Company)의 구성이라 할 수 있다. 이와 관련하여 추진단은 2017년 3월 특수목적법인 설립 준비위원회를 구성, 향후 설립될 법인의 사업방향을 결정한 바 있다(이종수, 2018). 이에 따라 2022년까지 특수목적법인은 정부(환경부)의 보급목표를 고려하여, 현재 충전소 구축된 지역(울산, 광주, 창원, 충남)과 향후 수소차 보급이 용이한 대도시(서울, 경기, 부산, 인천, 대전, 대구 등) 중심으로 신규 수소충전소를 80개소를 구축하며, 이를 향후 10년간 운영할 계획이다(이종수, 2018). 만일 현재 이미 구축되어 있거나 향후 구축 예정인 지방자치단체 운영 수소충전소까지 위탁 운영이 가능해진다면, 해당 시장에서 주도적인 민간 사업자로서, 수소차 충전용 수소시장의 구성에 마중물 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.



## 제4장 수소차 충전용 수소 시장조성을 위한 정책제언

### 1. 국내 수소차 충전용 수소 시장 조성을 위한 정책적 니즈(needs)

#### 가. 개관

전술한 바와 같이, 2017년 12월부터 제3세대 수소전기버스가 시범 사업 차원에서 울산 시내 노선버스 정규노선에 투입되었으며, 2018년 2월에는 국내 최초로 일반 소비자 대상 보급형 수소전기차 모델(승용차, 모델명: 넥쏘)도 출시되었다. 이로 인해 2018년은 수소전기차는 그동안의 시험생산 내지 소량 생산단계를 넘어서 본격적인 대중화의 단계로 들어서는 초입(初入)에 도달하였다.

이러한 수소전기차에 대해 정부도 여러 차례 보급·확산 의지를 표명한 바 있으며, 2017년 12월 기준 170대 보급된 수소전기차를 2020년까지는 1만대, 2025년 10만대 그리고 2030년까지 63만대를 (누적) 보급함으로써 수소전기차의 신차 판매비중을 10% 수준으로 끌어올리겠다는 장기적 목표 아래 관련 지원정책을 추진해 나가고 있다.

비록 정부의 정책적 지원 아래 경쟁력 있는 차량 모델이 양산될지라도 수소전기차 보급·확산을 위해서는 수소전기차에 수소 충전서비스를 제공할 수소충전소도 함께 구축 및 운영되어야 함은 두말할 필요가 없다. 그러나 대중화 진입을 앞둔 수소전기차를 지원할 국내 수소충전소는 매우 부족한 것이 또한 현실이다, 2017년 10월 기준 구축되어 운영 중인 수소충전소는 12개소이며, 이중 일반 수소전기차 이용자에게 개방되어 접근 가능한 상업용 충전소는 고작 6개소에 불과하다. 현재

건설중인 충전소를 포함 2018년 말까지는 16개소가 추가 구축될 예정이지만 아직 턱없이 부족하기는 마찬가지이다. 물론 향후 정부의 수소충전소 보급목표에 따라 2020년 80개소, 2025년 210개소 그리고 2030년까지 520개소(누적)가 구축될 계획이며, 이러한 계획이 달성된다면 수소전기차 보급을 저해하는 수소충전소 부족문제도 일정 정도는 완화될 수 있을 것으로 사료된다.

그러나 이러한 정부의 수소충전소 보급 정책은 물리적 인프라인 충전소 자체의 설치에 국한된다. 수소충전소 인프라가 구축되었다고 하더라도 이를 제대로 지속가능하게 운영하기 위해서는 수소충전소를 기반으로 한 수소충전소 운영사업(즉, 수소차 충전사업)도 함께 육성되어 그 기능을 수행할 수 있어야 한다. 또한 이러한 수소충전소 운영사업이 단독으로 영위할 수 없는 바, 이와 관련된 사업들이 어우러진 건강한 수소차 충전용 수소시장의 조성이 필요하다.

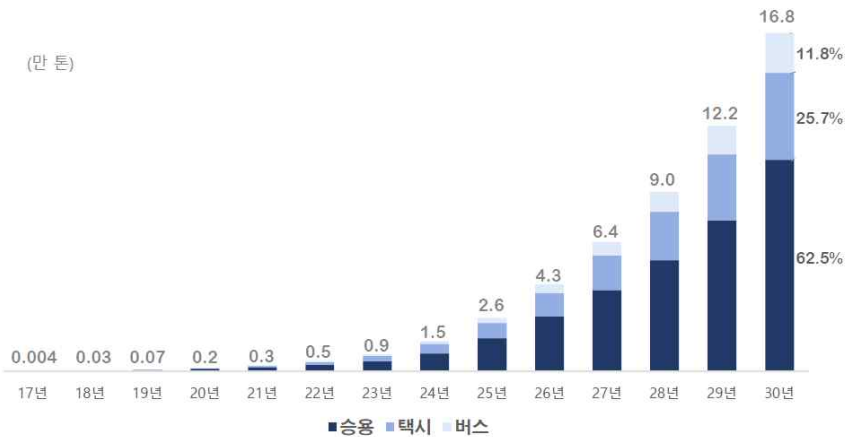
다시 말해 수소전기차 보급은 물리적인 인프라인 수소충전소와 이를 운영하기 위한 수소충전소 운영사업의 육성, 그리고 더 나아가 수소차 충전용 수소 시장의 조성이 전제되어야 한다. 결국 궁극적으로는 수소전기차 시장과 수소차 충전용 수소 시장은 공진화(共進化)할 수밖에 없다. 이 때문에 수소차-충전용 수소 시장의 공진화적 발전을 위한 중장기적 정책지원이 필요하며, 정부도 이에 대한 필요성을 인식, 정부 차원의 노력을 기울일 필요가 있다. 본 연구는 이러한 견지에서 국내 수소차 충전용 수소시장을 진단, 평가해보고 수소차 충전용 수소시장의 조성 및 육성을 위해 요구되는 정책적 니즈(needs)를 도출하고자 한다.

## 나. 수소차 충전용 수소의 상류부문(생산 및 공급부문)

수소가 새로운 에너지원, 즉 신에너지로 분류되지만, 사실 수소를 기반으로 한 수소산업 자체는 이미 일정정도 규모의 시장을 형성한 성숙된 산업이다. 앞서 살펴본 바와 같이 국내 수소시장내 수소공급 부문은 (주)덕양, (주)SPG, Air Liquide Korea, SDG 등 소수의 중소 또는 중견기업들로 구성되어 있으며, 주로 대규모 석유화학단지를 중심으로 정유공장이나 석유화학공장 등에서 부산물로 발생하는 부생수소와 함께 일부 천연가스 개질을 통해 생산된 수소를 석유화학단지를 중심으로 그 내부에서 순환, 유통하는 방식으로 운영되어 왔다.

사실 현재 2017년 12월 기준 170대의 수소전기차에 수소 충전서비스를 제공하는 6개소의 수소충전소에서 소요되는 충전용 수소의 양은 국내 전체 수소공급량에 비하면, 사실상 유의미하지 않을 정도로 미미한 것이 현실이다.

[그림 4-1] 수소전기차 보급목표에 따른 충전용 수소 수요량 전망



자료: 수소융합얼라이언스추진단 (2018)

다만, 정부의 정책적 의지가 반영된 보급목표가 달성됨을 전제할 경우, 향후 충전용 수소 시장의 조성 가능성도 열려있다. 만일 현행 보급 로드맵에 따라 수소전기차를 2025년까지 10만대(누적), 2030년까지 64만대(누적) 보급목표가 달성된다면, 이를 충전하기 위해 2025년에는 26만톤, 2030년에는 16.8만톤 정도의 수소가 요구될 것으로 전망된다(수소융합얼라이언스추진단, 2018).

그럼에도 불구하고 이처럼 증가가 예상되는 충전용 수소 수요 역시 현 수준의 공급역량으로도 충당이 가능하다. 울산, 여수, 대산 등 국내 대규모 석유화학단지 내에서 수소 생산능력은 2015년 기준 204만톤에 이른다. 그러나 실제 생산된 수소는 164만 톤으로 최대 약 40만톤 이상의 여유 생산능력을 보유하고 있다. 만일 2030년까지 정부의 보급목표가 달성되어 16.8만톤 정도의 충전용 수소 공급이 추가적으로 요구된다고 하더라도 현 생산시설에 추가적인 증설투자 없이도 이를 충분히 충당할 수 있게 된다(수소융합얼라이언스추진단, 2018).

[그림 4-2] 국내 주요 석유화학단지내 수소 여유생산능력



자료: 수소융합얼라이언스추진단 (2018)

결국 기존 수소시장에서 파생된 수소차 충전용 수소시장이 조성되어 수소가 생산, 공급되는데 큰 문제가 없을 것으로 사료된다.

#### 다. 수소차 충전용 수소의 종류부문

비록 2015년 기준 국내 수소 유통물량 중 88%(22.9만톤)가 수소 파이프라인으로 이송됨에도 불구하고, 수소충전소에 대한 이송은 주로 튜브 트레일러가 담당하고 있다. 현재 국내에 운영 중인 튜브 트레일러는 약 500여대로 추산되는데, 수소 저장용기인 튜브(tube)는 주로 수소 공급사업자들이 직접 소유하고 있는 경우가 대부분이며, 이를 물류회사와 운송계약을 맺고, 물류회사 소유의 트레일러에 적재하여 이송하게 하게 된다.

[그림 4-3] 튜브 트레일러를 활용한 충전용 수소 이송방식의 구조



자료: 수소융합얼라이언스추진단 (2018), 저자 일부 수정

현재 수소 공급사업자가 수소충전소로 수소 공급을 위한 이송은 튜브와 관련하여 두 가지 옵션이 사용되는데, 먼저 수소 공급사업자 소유의 튜브를 충전소에 대여해주는 형식으로 수소와 함께 제공하는 경우와 충전소가 직접 튜브를 조달하여 해당 튜브에 수소만 담아서 제



공하는 경우가 그것이다. 전자의 경우에는 충전용 수소의 공급가격<sup>39)</sup>에 튜브임대비가 포함되어 정산되지만, 후자의 경우는 자연스럽게 이러한 튜브임대비가 제외되는 구조이다.

이러한 구조 하에서는 수소충전소로 공급되는 일종의 도매 수소공급비용을 절감하는 차원에서 튜브를 수소충전소가 소유하거나 혹은 이를 저렴한 비용으로 임대하는 제3의 기관이나 기업이 시장에 존재하는 것이 수소전기차 보급·확산 및 충전용 수소 시장의 육성에 보다 바람직할 수 있다.

#### 라. 수소차 충전용 수소의 하류부문(수소충전소 운영사업)

마치 “닭이 먼저이냐 달걀이 먼저이랴”와 같은 순환적 인과관계로 인한 딜레마 상황과 같이, 수소전기차 보급·확산을 위해서는 수소충전소가 필요하지만, 또한 반대로 수소충전소 구축 및 운영 확대를 위해서도 역시 수소전기차 보급·확산이 필요하다. 보통 ‘닭과 달걀(chicken and egg)’ 문제로 지칭되는 딜레마로 인해, 수소전기차와 수소전기차 충전소가 상호 보완재적인 성격 때문에 발생하는 현상으로서, 결국 두 재화의 보급·확산은 상호간 간접적인 네트워크(indirect network) 효과<sup>40)</sup>로 인한 선순환 구조가 형성되게 된다(이승문·김재

39) 참고로 2017년 7월 기준 충남 수소충전소는 7,150원/kg, 창원 수소충전소는 6,910원/kg, 울산 수소충전소는 5,500원/kg에 공급사업자로부터 충전용 수소를 공급받고 있다. 반면 강원도 내 구축 중인 수소충전소의 경우 수소공급사업자들이 제시하고 있는 예상 공급가격이 1만원/kg 이상인 것으로 알려져 있다(수소융합얼라이언스추진단, 2018).

40) 네트워크 효과란 어떤 상품이나 서비스를 사용하는 사람들이 많아질수록 그 상품이나 서비스의 보급 속도가 증가하고 가치가 올라가는 것을 의미한다. 수소전기차와 수소충전소 상호간 간접적 네트워크 효과란 수소전기차 보급, 확산이 수소충전소 보급에 긍정적 영향을 미치고 수소충전소 보급의 확대는 수소전기차 보급 증가에 긍정적 영향을 미치는 선순환 구조 자체를 의미하게 된다(이승문·김재경, 2016).

경, 2016). 그러나 이러한 ‘닭과 달걀(chicken and egg)’ 문제로 인해 수소전기차나 수소충전소 중 어느 한쪽이 부족할 경우에는 상호간 보급·확산의 저해하는 요인을 작용하는 악순환 구조로도 얼마든지 전환될 수 있다. 이러한 ‘닭과 달걀(chicken and egg)’ 문제 해결을 위해서 적어도 손익분기점에 도달할 수 있을 정도로 수소전기차가 충분히 보급되기 이전까지는 한시적으로 정부 등 공공부문에서 공적재원을 활용하여 충분한 수소충전소를 구축하는 것이 바람직할 수 있다. 그러나 활용 및 확보에 제약이 있는 정부 예산만으로 충분한 자원 확보가 한계가 있음을 고려한다면, 민간 수소충전소 운영사업자를 육성하여 민간 투자를 유도하는 방안이 유효할 수 있다.

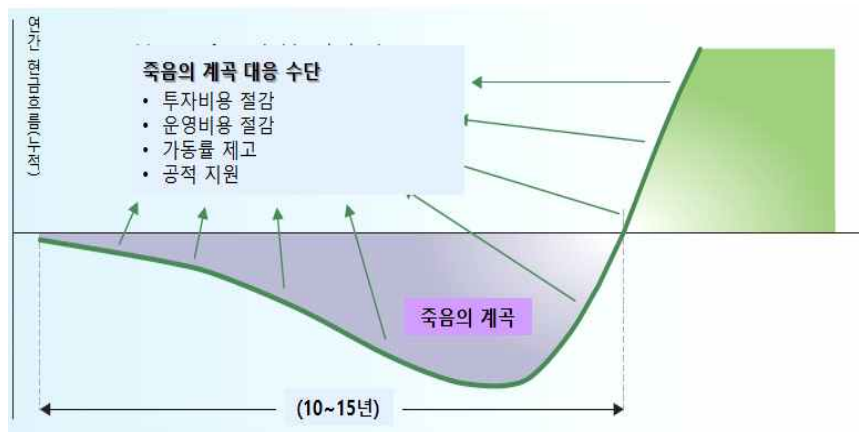
그러나 앞서 언급한 바와 같이 2017년 현재 국내에 누적 보급된 수소전기차는 170대 수준이며, 이들에게 충전용 수소를 공급할 수소충전소 역시 상업적으로 운영되고 있는 곳은 단지 6개소이다. 그리고 이들 수소충전소는 대부분 지방자치단체가 직접 운영을 담당하고 있다. 이로 인해 국내에는 경제적 수익창출을 목적으로 하는 수소충전소 운영사업자는 적어도 2017년 현재까지는 존재하지 않는다.

다만, 현재 민관 합자투자회사 형식으로 설립이 예정된 수소충전소 운영사업 특수목적법인(SPC)이 한시적으로 국내 유일한 민간 수소충전소 운영사업자(수소차 충전사업자)의 역할을 하게 될 것으로 보인다. 그리고 이미 구축되어 있거나 향후 구축 예정인 지방자치단체 운영 수소충전소까지 위탁 운영이 해당 특수목적법인 담당할 경우, 수소차 충전용 수소시장의 구성에 마중물 역할을 하게 될 것으로 보인다.

이처럼 민간 충전수소 운영사업자(수소차 충전사업자)가 충전소 구축과 함께 운영을 담당하게 될 경우, 일정 임계 수준이상, 즉 손익분

기점 이상으로 수소전기차가 보급되기 이전에는 저조한 가동률로 인해, 운영 손실이 불가피하다. IEA(2015)는 이처럼 보급 초기단계에서 충전수요 부족 등으로 수소충전소의 운영 손실이 불가피한 기간을 대략 10~15년 정도로 보고, 이 기간을 소위 ‘죽음의 계곡(Valley of Death)’로 명명한 바 있다. 그리고 이러한 죽음의 계곡을 극복하는 방안으로서 투자비용 및 운영비용 절감, 가동률 제고와 함께 공적 지원이 필요함을 주장한 바 있다.

[그림 4-4] 보급초기 단계에서의 수소충전소 연간 현금흐름 구조 개념도



자료: IEA (2015), 저자 일부 수정

결국 민간 수소충전소 운영사업자를 육성하는 한편 수소충전소 구축에 대한 민간 투자를 유도하는 차원에서, 정부 등 공공부문에서 공적 재원을 활용하여 수소충전소 운영 자체를 한시적으로 지원하는 방안 마련이 필요하다.

## 2. 국내 수소차 충전용 수소 시장조정을 위한 정책제언

### 가. 충전용 수소 소매가격(수소 충전요금)에 대한 한시적 보조

민간 수소충전소 운영사업자가 소위 죽음의 계곡을 극복하기 위해서는 해당 기간 동안을 지탱할 수 있도록 일정 정도의 수익 창출을 통한 현금 흐름 확보가 필요하다. 이를 위해서는 우선 고려될 수 있는 방안은 가동률 저조로 인해 발생 할 수밖에 없는 운영 손실분 중 전부 내지 일부를 수소전기차 이용자에게 전가하는 방안이 있을 수 있다. 이 경우 자연스럽게 충전용 수소의 소매가격, 즉 수소 충전요금의 인상이 불가피해진다.

그러나 이 경우 수소전기차 보급에 장애가 발생할 수 있다. 일반적으로 수소전기차 등 친환경자동차 구매자들은 다른 요소보다 연료비에 민감한 것으로 알려져 있다. 가령 한국에너지공단(2017)은 전기차 구매자들의 절반 가량은 구입 결정시 연료비 절감 가능성을 제일 중요하게 고려하고 있다는 사실을 밝힌 바 있다([그림 4-5] 참조).

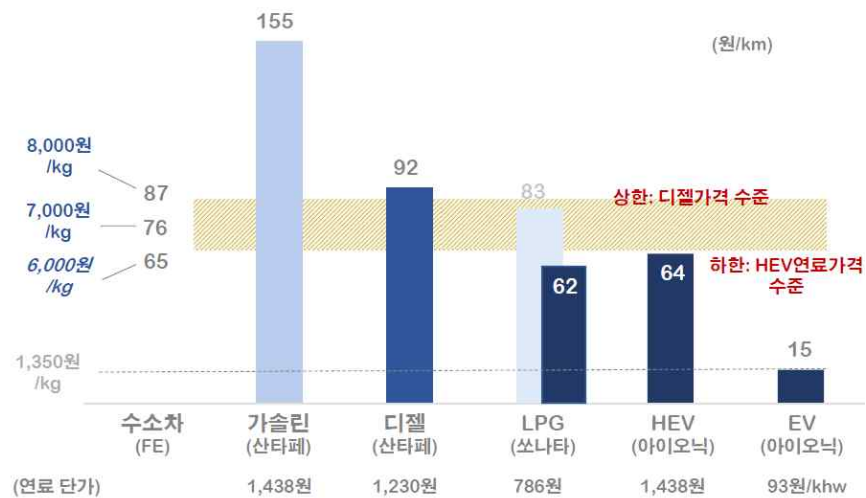
[그림 4-5] 전기자동차 구입 결정 요인(450명 중 응답비중(%))



자료: 한국에너지공단 (2017)

물론 앞서 언급한 바와 같이 현재까지는 수익을 목적으로 한 수소충전소 운영사업 자체가 부재한 관계로, 지방자치단체 운영 수소충전소는 충전용 수소를 무상으로 제공하고 있다. 이로 인해 실제 수소 충전요금이 어느 정도 수준인지 정확하게 파악하기는 현 단계에서는 사실상 어렵다. 다만, 수소 공급사업자로부터 충전용 수소를 공급받는 지역별 평균 (도매) 가격은 2017년 7월 기준 충남지역이 7,150원/kg, 창원 6,910원/kg, 울산 5,500원/kg 수준으로 알려져 있다(수소융합얼라이언스추진단, 2018).

[그림 4-6] 에너지원별 차종간 단위 거리당 연료비용 비교



자료: 수소융합얼라이언스추진단 (2018)

수소전기차가 보급되기 위해서, 즉 자동차 소비자들에게 수용되기 위해서는 적어도 수소전기차와 대체 관계에 있는 유사내지 동급 차종, 특히 경유 자동차의 연료비용보다는 충분히 낮은 수준이 되도록 수소 충전요금

이 설정될 필요가 있다. 다시 말해 충전소 설치 투자비용 회수나 운영비용 보전 등을 고려하여 수소충전요금이 대략 8,000원/kg 수준을 넘어설 경우, 자동차 소비자에게 수소전기차 구입을 통한 연료비 절감의 편익을 제공함으로써 수소전기차 구매를 유도하기는 사실상 어렵게 된다.

이처럼 수소충전소 운영사업자의 운영 손실 보전의 필요성과 저렴한 수소 충전요금을 원하는 수소전기차 이용자들의 요구를 모두 충족시키기 위해서 본 연구는 충전용 수소 소매가격(수소 충전요금)의 일부를 한시적으로 보조해주는 방안을 제안하고자 한다.

우선 수소충전소 운영사업자는 손익분기점에 도달하기까지 사업을 영위할 수 있는 최소한도의 수준에서 운영 손실분의 일부내지는 전부를 수소전기차 이용자에게 전가시킬 수 있도록 충전용 수소 소매가격(수소 충전요금)을 설정한다. 수소전기차 이용자는 설정된 소매가격에 충전용 수소를 구매하는 대신, 정부가 구매금액의 일부, 특히 운영 손실분 중 이용자에게 전가된 부분만큼을 산정하여 공적 재원을 활용하여 보전해주는 가칭 ‘수소차 충전보조금’을 수소전기차 이용자에게 지원하는 방안을 제안하고자 한다.

구체적인 적용 방법은 현재 「화물자동차 운수사업법」 제43조 제2항에 따른 화물자동차, 「여객자동차 운수사업법」 제50조 제4항에 따른 버스 및 택시 등에 지급되는 유가보조금 지급방식을 준용할 수 있다. 현재 화물자동차나 버스, 택시 등은 2001년 단행된 제1차 에너지 세제개편에 따라 유류에 부과되는 세금 등의 인상액에 상당한 금액의 전부 또는 일부를 보조해 주는 유류세(연동) 보조금을 지급받고 있다.

이에 본 연구는 이를 준용하여 다음과 같은 지급 방식을 제안한다. 먼저 수소전기차 이용자(차주)가 차량에 카드협약사가 발급하는

RFID(Radio-Frequency IDentification) 태그가 내장된 카드를 부착하고, 수소충전소에 설치된 RFID 리더기를 통해 차량 여부를 인식하고 충전 내역을 충전량 확인시스템을 통해 ‘수소충전 보조금 관리 시스템’에 전송하게 된다. 충전이 완료되면 수소전기차 이용자(차주)는 카드협약사에서 발급한 ‘수소충전카드’로 충전요금을 결제하게 되며, 이때 충전량 및 충전요금 등의 거래내역 등의 정보가 ‘수소 충전 보조금 관리시스템’에 전송된다. 이후 카드협약사는 ‘수소충전카드’ 대금 결제일에 보조금액을 제외한 금액을 수소전기차 이용자에게 청구하며, 보조금액은 따로 정부(관할관청)의 보조금 관리 시스템에 청구하여 지급받는 방식을 활용할 수 있다.

이러한 수소차 충전 보조금 제도를 도입할 경우 수소충전소 운영사업자가 실제 수취하는 금액과 수소전기차 이용자가 실제 부담하는 금액 간에 차이가 발생하게 되면서, 전자는 운영 손실 보전을 후자는 저렴한 충전요금 부담이라는 혜택을 쌍방 간에 동시에 누릴 수 있게 된다. 물론 수소차 충전보조금의 규모나 단가 그리고 지급 기간 등에 대해서는 추가적인 연구와 심도 있는 논의가 필요하지만, 이미 시행된 사례가 있다는 점 등을 고려한다면 충분히 적용이 가능하다고 사료된다.

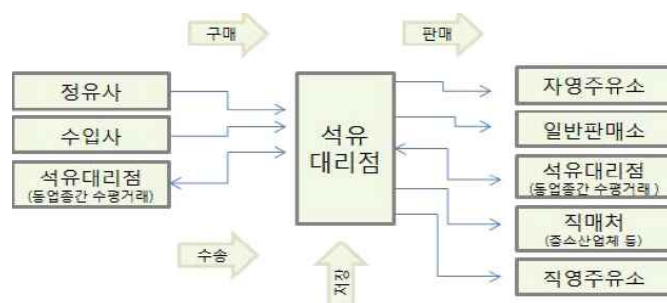
#### **나. 충전용 수소 대리점 설립 추진**

민간 수소충전소 운영사업자가 소위 죽음의 계곡을 극복하기 위한 다른 방편으로 충전용 수소를 충전소에 들여올 때 발생하는 제반비용(= 도매 공급가격+기타비용)을 절감하는 방안도 고려할 수 있다. 특히 앞서 언급한 바와 같이 수소 공급사업자가 수소충전소로 수소를 공급, 이송하는 과정에서 발생하는 튜브 임대비용은 튜브 소유를 통해 일정

정도 내부화가 가능하다. 그러나 튜브 구입에 투자되어야 할 비용을 고려할 경우, 가능하다면 몇 개소의 수소충전소만을 위해 활용하기보다 다수의 수소충전소로 구성된 수소충전소 네트워크를 구성하여 활용하는 편이 규모의 경제 효과를 누려 운영 단가를 낮출 수 있다는 점에서 보다 바람직할 수 있다. 그러나 구축비용만 30억 이상이 소요되는 수소충전소들로 네트워크를 구성하기 위해서는 그 자체만으로도 상당한 재원 확보가 필요하다. 이러한 점을 감안하여 본 연구는 ‘충전용 수소 대리점’ 설립 추진을 제안하고자 한다.

본 연구에서 제안하는 충전용 수소 대리점과 유사한 기능을 하는 사례로서 석유대리점이 있다. 석유대리점은 석유제품을 판매하는 도·소매 유통 판매사업자의 지위를 갖고 있으며, 정유사와 수입사 또는 다른 대리점으로부터 대량으로 석유제품을 공급받아 이를 저장하고 수송하여 주유소(일반판매소)나 실수요자에게 판매하는 역할을 수행한다. 보통 석유대리점은 정유사가 자사 직영주유소나 자영주유소에 공급하는 공급가격 보다 낮은 가격으로 석유제품을 대량 구입하여 거래처(주유소)에 저렴하게 공급하는 기능을 수행한다(김상환, 2018).

[그림 4-7] 석유대리점의 역할과 기능



자료: 김상환 (2018)



이와 유사한 역할과 기능을 수행하는 ‘충전용 수소 대리점’이 충전용 수소시장 조정을 위해서 필요하다. 단일 수소충전소 (운영사업자)가 개별적으로 수소 공급사업자와 거래할 경우, 공급가격 협상에서 상대적인 열위에 위치하게 될 수밖에 없는 관계로 불리한 조건을 감내해야 하는 경우가 생길 수 있다. 그러나 충전용 수소 대리점이 거래처인 다수의 수소충전소 (운영사업자)를 대신해 사실상의 공동구매 협상 창구 역할을 하게 된다면 수소 공급사업자와의 공급가격 협상에서의 협상력을 한층 고양시킬 수 있다. 그만큼 저렴하게 충전용 수소를 공급받을 여지도 커지게 된다.

이와 함께 대리점이 수소 저장용기인 튜브를 소유하고, 이를 충전용 수소 이송에 활용할 경우, 튜브 임대비용 등을 내부화시켜 상대적으로 공급가격을 인하하는데 기여할 수도 있다.

물론 이러한 기능과 역할을 수행하는 충전용 수소 대리점이 개설된다면 충전용 수소 시장 조성 및 육성을 넘어 수소전기차 산업 및 수소 산업 육성 및 발전에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다. 그러나 현 단계에서 자연발생적으로 이러한 대리점 설립을 기대하기는 어려운 것이 현실이다. 이러한 충전용 수소 대리점의 필요성에 대한 인식을 공유하고 절감하는 이해관계자들이 재원을 분담하여 합작투자를 통해 특수목적법인 형태로 설립하는 방안이 가장 현실적일 수 있다. 특히 최근 보유 중인 천연가스나 LPG 배관망을 활용한 수소 공급 인프라 구축 및 운영사업을 검토 중인 공공기관(한국가스공사)이 해당 사업과 연계할 경우, 충전용 수소 대리점 설립에 일정 정도 기여할 수 있을 것으로 사료된다. 이에 대해 적극적인 정책적 고려와 검토가 필요하다.

## 참고문헌

- 강병우·김태현·이택홍 (2016), “한국 수소충전소 건설의 경제성 분석”, 「한국 수소 및 신에너지학회 논문집」 제27권 제3호, pp.256-263.
- 강승규·허윤실·문종삼 (2017), “위험성 평가를 통한 패키지형 수소충전소 안전성 향상에 관한 연구”, 「한국 수소 및 신에너지학회 논문집」 제28권 제6호, pp.635-641.
- 김동용 (2018a), “수소충전소 구축, 민간보조 시행되지만…기대 반 우려 반”, 「월간수소경제」 2018년 1월호, pp.70-73.
- 김동용 (2018b), “한국형 수소 충전인프라 구축 모델, 어떻게 추진되나: ② 민간 SPC, 해외는 어떻게 추진했나”, 「월간수소경제」 2018년 2월호, pp.28-32.
- 김상환 (2018), “최근 석유대리점의 현황 및 변화된 역할”, 「주간석유뉴스」 제1879호(2018.3.7.), pp.2-9.
- 김재경 (2017), 「자동차의 전력화(electrification) 확산에 대비한 수송용 에너지 가격 및 세제 개편 방향 연구」, 에너지경제연구원 기본연구보고서 17-18
- 관계부처 합동 (2017), 「미세먼지 관리 종합대책」 (2017.9.26.)
- 구영모 (2017), “수소전기차 보급과 수소가격”, 수소융합얼라이언추진단 내부자료
- 구영모 (2018), “수소전기차와 개발 현황 및 개발 이슈”, KEVC(Korea Electric Vehicle Conference) 2018 발표자료(2018.3.29.)

- 박지원 · 허윤실 · 강승규 (2017), “국내 LPG 충전소 내 수소 용·복합충전소 구축 가능 부지 연구”, 「한국 수소 및 신에너지학회 논문집」 제28권 제6호, pp.642-648.
- 산업통상자원부 · 환경부 (2015), 「수소차 보급 및 시장 활성화 계획」 (2015. 12. 15.)
- 손민희 · 남석우 · 김경남 (2016), “수소연료전지자동차 보급을 위한 정부의 역할: 한국과 일본의 사례를 중심으로”, 「한국 수소 및 신에너지학회 논문집」 제27권 제1호, pp.71-82.
- 수소융합얼라이언스추진단 (2017), “수소산업 현황 및 주요 이슈”, 수소융합얼라이언스추진단 내부자료
- 수소융합얼라이언스추진단(2018), 「수송용 수소연료의 가격 설정과 수급 관리 방안」, 산업통상자원부
- 이승문 · 김재경 (2016), 「네트워크 기반의 전기자동차 충전인프라 구축 방안 연구」, 에너지경제연구원 기본연구보고서 16-08
- 이영철 (2018), “수소전기차 및 수소충전소 보급 동향”, KEVC(Korea Electric Vehicle Conference) 2018 발표자료(2018.3.29.)
- 이재연, 이충환 (2015), “세계 최초 양산형 수소연료전지차 투싼ix 개발의 요람”, 「(웹진)GTC NEWS」 (2015. 11. 23. 10:25) (<http://gtckrekr.blog.me/220547269135>)
- 이종영 (2016), 「환경친화적 자동차 보급 확대를 위한 법·제도 개선 방안 연구, 산업통상자원부.
- 이주영 (2017a), “수소충전소 구축 위한 최적의 솔루션은?”, 「월간수소경제」 2017년 9월호, pp. 68-72.

- 이주영 (2017b), “ <다가온 수소시대, 인프라 구축이 열쇠다> 이동식 수소충전소, ‘인프라·부지’ 두 마리 토끼 잡는다”, 「월간수소경제」 2017년 9월호, pp. 74-77.
- 이주영 (2017c), “수소전기차 바람이 분다 - ②수소전기차 부품, 어디에 어떤 제품 사용되나 ”, 「월간수소경제」 2017년 10,11월호, pp.28-32.
- 이주영 (2017d), “울산, 전국 최초 ‘수소복합충전소’ 준공”, 「월간수소경제」 2017년 10,11월호, pp.97.
- .이종수 (2018), “한국형 수소 충전인프라 구축 모델, 어떻게 추진되나 - ①수소 충전인프라 구축 마중물 민간 출자회사 설립 ‘스타트’”, 「월간수소경제」 2018년 2월호, pp.22-26.
- 이택홍·강병우·이은웅·정진배 (2017), “수소충전소 연료계량방법의 차이에서 발생하는 연료단가의 상이점에 대한 고찰”, 「한국 수소 및 신에너지학회 논문집」 제28권 제3호, pp.279-286.
- 장성혁 (2017a), “<수소충전소 200개소 구축 발표 이후> 예비투자자 속 내는 ‘기대반 우려반’ ”, 「월간수소경제」 2017년 8월호, pp. 74-75.
- 장성혁 (2017b), “수소충전소 보조금, 민간에 지원해야 할 5가지 이유”, 「월간수소경제」 2017년 9월호, pp. 47-51.
- 장성혁 (2017c), “2018년, 수소전기차 보급 좌우할 분수령 될 듯”, 「월간 수소경제」 2017년 9월호, pp. 60-64.
- 조규정 (2017a), “북유럽 수소 충전기술, 한국시장 정조준”, 「월간수소경제」 2017년 8월호, p. 35.
- 조규정 (2017b), “수소융합얼라이언스(H2KOREA) ‘수소인프라 구축 로드맵’ 연내 수립한다”, 「월간수소경제」 2017년 8월호, pp. 36-39.

- 환경부(2017), 「수소연료전지차 보급 및 충전소 설치사업 보조금 업무처리지침」.
- 한국에너지공단 (2017), 「2017 에너지총조사 전기자동차 조사 결과보고서」
- 한자령 · 박진모 · 이영철 · 김상민 · 전소현 · 김형식 (2017), “국내 수소충전소의 적정 용량 분석”, 「한국 수소 및 신에너지학회 논문집」 제 28권 제6호, pp. 649-656.
- 후지경제(2015), “수소연료 관련 시장의 장래전망”
- IRS Global (2017), 「국내외 수소 · 연료전지 시장전망과 핵심기술 개발동향」.
- IEA (2015), *Technology Roadmap: Hydrogen and Fuel Cells*.
- IHS Chemical(2015), *Chemical Economy Books : Hydrogen*.
- CertifHy(2015), *Overview of the market segmentation for hydrogen across potential customer groups, based on key application areas*.
- Eichlseder and Klell (2012), *Helmut Eichlseder, Manfred Klell, Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik Erzeugung, Speicherung, Anwendung*, 3rd edition, Wiesbaden.
- Jaffery, Naqi and Virat Singh (2017), *Global Market for Hydrogen Stations 2017*, Information TrendsTM..
- Shell (Shell Deutschland Oil GmbH) (2017), *Energy of the Future?: Sustainable Mobility through Fuel Cells and H2, Shell Hydrogen Study*.
- Tschöke, Helmut (2014), *Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs*, Wiesbaden.
- Weber, Rudolf (1988), *Der sauberste Brennstoff. Der Weg zur Wasserstoff-Wirtschaft*, FL-Vaduz.

## 김 재 경

現 에너지경제연구원 연구위원

### <주요저서 및 논문>

『자동차 표시연비제도 개선방안에 대한 연구: 연비단위(km/L)로 인해 유발된 소비자의 착오교정을 중심으로』, 에너지경제연구원, 2015

『네트워크 기반의 전기자동차 충전인프라 구축방안 연구』, 에너지경제연구원, 2016 (공저)

『전기차 충전서비스 시장 활성화를 위한 정책연구』, 산업통상자원부, 2016

『자동차의 전력화(electrification) 확산에 대비한 수송용 에너지 가격 및 세제 개편 방향 연구』, 에너지경제연구원, 2017

수시연구보고서 17-07

### 수소연료전지자동차(FCEV) 충전용 수소 시장조성을 위한 정책연구

2018년 3월 29일 인쇄

2018년 3월 31일 발행

저 자 김 재 경

발행인 박 주 현

발행처 에너지경제연구원

(44543) 울산광역시 중구 중가로 405-11

전화: (052)714-2114(代) 팩스: (052)714-2028

등 록 1992년 12월 7일 제7호

인 쇄 (주)갭스앤디컴퍼니 (051)911-9890

© 에너지경제연구원 2015 ISBN 978-89-5504-672-4 93320

\* 파본은 교환해 드립니다.

<값 7,000원>



KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE



9 788955 046724

ISBN 978-89-5504-672-4