

수도권 수소 공급 계획 수립을 위한 사전 경제성 분석

박해민¹ · 김수현¹ · 김병인² · 이승훈³ · 이혜진³ · 유영돈^{1†}

¹고등기술연구원, ²포항공과대학교 산업경영공학과, ³수소융합얼라이언스추진단

An Economic Analysis for Establishing a Hydrogen Supply Plan in the Metropolitan Area

HYEMIN PARK¹, SUHYUN KIM¹, BYUNGIN KIM², SEUNGHUN LEE³, HYEJIN LEE³, YOUNGDON YOO^{1†}

¹Institute for Advanced Engineering, 175-28 Goan-ro 51beon-gil, Baegam-myeon, Cheoin-gu, Yongin 17180, Korea

²Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology, 77 Cheongam-ro, Nam-gu, Pohang 37673, Korea

³H₂KOREA, 4, 5F, Royal Building, 34 Banpo-daero, Seocho-gu, Seoul 06716, Korea

†Corresponding author :
ydneyoo@iae.re.kr

Received 22 April, 2022

Revised 27 June, 2022

Accepted 27 June, 2022

Abstract >> In this study, economic feasibility analysis was performed when various hydrogen production and transport technologies were applied to derive hydrogen supply plans by period. The cost of hydrogen may vary depending on several reasons; configuration of the entire cycle supply path from production, storage/transportation, and utilization to the cost that can be supplied to consumers. In this analysis, the hydrogen supply price according to the hydrogen supply route configuration for each period was analyzed for the transportation hydrogen demand in metropolitan area, where the demand for hydrogen is expected to be the highest due to the expansion of hydrogen supply.

Key words : Hydrogen(수소), Hydrogen vehicle(수소 자동차), Hydrogen cost(수소 비용), Hydrogen pathway(수소공급 경로), Economic analysis(경제성 분석)

1. 서론

2018년 8월, 정부는 3대 혁신성장전략투자 분야로 수소경제를 선정한 이후, 2019년 1월 『수소경제 활성화 로드맵』을 발표하였다. ‘수소에너지’는 수소의 형태로 에너지를 저장하고 사용할 수 있도록 하는 신에너지를 뜻한다. 수소는 자연계에 풍부하지만 단독으로 존재하지 않아 천연가스 등 화석연료의 개질, 물의 전기분해 등의 과정이 필수적이다¹⁾. 이 과정으

로 생산된 수소는 연소 또는 연료전지를 통해 에너지로 이용되는데, 주로 에너지 변환 효율이 높은 연료전지를 통해 활용되고 있다²⁾. ‘수소경제’는 재생에너지를 활용하여 수소를 생산하고, 에너지 수요와 공급 사슬 전체 영역에서 수소와 전기를 에너지 유통 수단(energy carrier)으로 사용하는 경제체제로서, 주로 재생에너지로의 에너지전환 기초와 연계하여 인식되고 있다³⁾. 『수소경제 활성화 로드맵』에서는 크게 수소차 부문 활성화 전략, 에너지 부문 활성화 전

략, 수소 생산 부문 활성화 전략 등을 제시하였고, 특히 2022년부터 2040년까지 시기별 수소차 및 연료전지 발전 보급 목표를 제시하였다^{4,6)}. 이를 근거로 수소 공급 목표는 2022년 47만 톤, 2030년 194만 톤, 2040년 526만 톤으로 산정되었다. 초기에는 부생수소 및 추출수소를 활용하고 장기적으로는 재생에너지를 활용한 수전해 수소 및 해외 수입 수소의 활용 비율을 높이는 것으로 계획하였다.

수소경제가 소비자들에게 수용되기 위해서는 충분히 낮은 수준의 수소 가격이 요구된다. 특히 수소 소매가격의 인하가 반드시 요구되며, 이를 위해서는 수소 공급 가격 인하가 필수적이다. 수소 공급 가격 인하를 위해서는 수소 생산 비용과 수송 비용 모두를 낮추는 전략이 요구된다⁷⁾.

수소는 생산, 수송/저장, 활용에 이르는 전 주기적 공급망 구성에 따라 소비자에게 공급 가능한 비용이 달라질 수 있다. 또한 각각의 비용은 생산 방식 및 용

량, 수송 방식 및 용량, 활용 방식 및 용량을 비롯한 다양한 조건에 따라 다르게 산정될 수 있다^{8,9)}.

본 분석에서는 수소 수요량이 가장 높을 것으로 예측되는 수도권 권역(서울, 경기, 인천)을 대상으로 수송용 수소 수요량에 한정하여 시기별 수소 공급망 구성에 따른 비용을 분석하였다. 이를 바탕으로 효율적인 수도권 수소 공급 방안을 도출하는 것을 목적으로 한다.

2. 수도권 수소 수요 시나리오

2.1 수송용 수소차 보급 대수 예측

『수소경제 활성화 로드맵』은 수송용(수소차)과 발전용(연료전지)으로 구분하여 2022년과 2040년의 보급 목표 및 추진 전략을 수립하였다. 현재 연료전지 설치 계획에 대한 구체적 수립안이 제시되지 않은

Table 1. The number of hydrogen passenger vehicles supplied by period (simple prediction based on the number of registered vehicles)

| Area | Number of passenger vehicles registrations (2018. 12) | Ratio (%) | Prediction of hydrogen passenger vehicles supply | | |
|----------------------------|---|-----------|--|---------|-----------|
| | | | 2022 | 2030 | 2040 |
| Gyeonggi-do | 4,584,983 | 24.55 | 15,956 | 198,846 | 675,095 |
| Seoul | 2,658,637 | 14.23 | 9,252 | 115,302 | 391,459 |
| Busan | 1,125,462 | 6.03 | 3,916 | 48,810 | 165,713 |
| Gyeongsangnam-do | 1,338,384 | 7.17 | 4,657 | 58,044 | 197,064 |
| Incheon | 1,324,817 | 7.09 | 4,610 | 57,456 | 195,066 |
| Daegu | 979,600 | 5.24 | 3,409 | 42,484 | 144,236 |
| Gyeongsangbuk-do | 1,048,829 | 5.62 | 3,650 | 45,486 | 154,430 |
| Jeollanam-do | 744,649 | 3.99 | 2,591 | 32,294 | 109,642 |
| Chungcheongnam-do | 825,104 | 4.42 | 2,871 | 35,783 | 121,488 |
| Jeollabuk-do | 691,403 | 3.70 | 2,406 | 29,985 | 101,802 |
| Gangwon-do | 578,419 | 3.10 | 2,013 | 25,085 | 85,166 |
| Chungcheongbuk-do | 622,459 | 3.33 | 2,166 | 26,995 | 91,651 |
| Daejeon | 558,101 | 2.99 | 1,942 | 24,204 | 82,175 |
| Gwangju | 548,234 | 2.94 | 1,907 | 23,776 | 80,722 |
| Ulsan | 468,283 | 2.51 | 1,629 | 20,308 | 68,950 |
| Jeju | 451,887 | 2.42 | 1,572 | 19,597 | 66,536 |
| Sejong | 127,673 | 0.68 | 444 | 5,537 | 18,798 |
| Total | 18,676,924 | 100 | 65,000 | 810,000 | 2,750,000 |
| Metropolitan area subtotal | | | 29,818 | 371,604 | 1,261,620 |

상태에서 발전용 수소 수요를 지역별로 예측하는 것은 어렵기 때문에 본 분석에서는 수송용에 한정하여 수소 수요량을 예측하였으며 이를 기반으로 수도권의 수소 수요량을 추정하고자 한다.

2.1.1 수소 승용차 보급량 예측

현재 등록(2018년 12월 기준)된 자동차 대수(승용차)를 기준¹⁰⁾으로 각 지역의 보급 비율을 계산하였으며, 전체 자동차 등록대수는 18,676,924대이고 이 중 수도권(서울, 경기, 인천)에 등록된 자동차는 총 8,568,437대로 45.88%를 차지하는 것으로 나타났다. 2022년, 2030년, 2040년의 수소차 보급목표는 각각 65,000대, 810,000대, 2,750,000대로 지역별 자동차 등록 비율 기준으로 수도권의 수소 승용차 보급 대수를 추정하면 Table 1과 같다. 그러나 단순히 자동차 등록 비율에 근거하여 수소차 보급 목표를 예측하는 것은 한계가 있으므로 본 분석에서는 정부의

수소경제 활성화 로드맵 목표와 자동차 등록 비율, 지역별 인구수, 지역별 면적, 현재까지의 수소차 보급대수, 2022년 충전소 배치 방안 등을 고려하여 2022년, 2030년, 2040년에 보급 가능한 수소차 대수를 가정하였다. 이를 기준으로 2022년, 2030년, 2040년 수도권 보급 수소차 수는 Table 2에 나타난 바와 같이 각각 20,000대, 360,000대, 1,222,900대로 예측된다.

2.1.2 수소 버스 보급량 예측

2019년 5월 기준 등록된 버스 보유대수를 기준으로 각 지역의 보급 비율을 계산한 결과 수도권(서울, 경기, 인천)의 버스 등록 비율은 51.72%로 나타났다. 버스 등록 비율, 지역별 인구수, 지역별 면적, 현재까지의 수소 버스 보급대수, 2022년 충전소 배치 방안 등을 고려하여 2022년 2,000대, 2030년 20,000대, 2040년 40,000대 보급을 목표로 수도권에 공급되는 수소버스 대수를 예측한 결과 Table 3에 정리한 바와

Table 2. The number of hydrogen passenger vehicles supplied by period (prediction considering various factors)

| Area | Number of passenger vehicles registrations (2018. 12) | Ratio (%) | Prediction of hydrogen passenger vehicles supply | | |
|----------------------------|---|-----------|--|---------|-----------|
| | | | 2022 | 2030 | 2040 |
| Gyeonggi-do | 4,584,983 | 24.55 | 11,500 | 196,100 | 666,000 |
| Seoul | 2,658,637 | 14.23 | 5,500 | 108,700 | 369,300 |
| Busan | 1,125,462 | 6.03 | 3,000 | 48,000 | 162,600 |
| Gyeongsangnam-do | 1,338,384 | 7.17 | 4,000 | 59,000 | 200,400 |
| Incheon | 1,324,817 | 7.09 | 3,000 | 55,200 | 187,600 |
| Daegu | 979,600 | 5.24 | 1,500 | 41,000 | 139,200 |
| Gyeongsangbuk-do | 1,048,829 | 5.62 | 4,000 | 49,700 | 168,500 |
| Jeollanam-do | 744,649 | 3.99 | 3,000 | 36,000 | 122,200 |
| Chungcheongnam-do | 825,104 | 4.42 | 8,000 | 38,300 | 129,900 |
| Jeollabuk-do | 691,403 | 3.70 | 3,000 | 32,000 | 108,600 |
| Gangwon-do | 578,419 | 3.10 | 5,000 | 26,800 | 90,900 |
| Chungcheongbuk-do | 622,459 | 3.33 | 2,500 | 28,600 | 96,800 |
| Daejeon | 558,101 | 2.99 | 2,000 | 23,300 | 79,100 |
| Gwangju | 548,234 | 2.94 | 3,500 | 23,200 | 78,800 |
| Ulsan | 468,283 | 2.51 | 4,000 | 19,500 | 66,100 |
| Jeju | 451,887 | 2.42 | 1,000 | 19,400 | 66,100 |
| Sejong | 127,673 | 0.68 | 500 | 5,200 | 17,900 |
| Total | 18,676,924 | 100 | 65,000 | 810,000 | 2,750,000 |
| Metropolitan area subtotal | | | 20,000 | 360,000 | 1,222,900 |

Table 3. Estimates of the number of hydrogen buses supplied in 2022, 2030, and 2040

| Area | Number of buses registrations (2019. 05) | Ratio (%) | Prediction of hydrogen buses supply | | |
|----------------------------|---|-----------|-------------------------------------|--------|--------|
| | | | 2022 | 2030 | 2040 |
| Gyeonggi-do | 13,561 | 30.07 | 350 | 6,140 | 12,280 |
| Seoul | 7,405 | 16.42 | 250 | 4,240 | 8,490 |
| Busan | 2,511 | 5.57 | 200 | 1,440 | 2,880 |
| Gyeongsangnam-do | 3,702 | 8.21 | 350 | 980 | 1,960 |
| Incheon | 2,363 | 5.24 | 100 | 1,350 | 2,700 |
| Daegu | 1,531 | 3.39 | 50 | 870 | 1,740 |
| Gyeongsangbuk-do | 2,245 | 4.98 | 50 | 690 | 1,390 |
| Jeollanam-do | 2,418 | 5.36 | 50 | 420 | 830 |
| Chungcheongnam-do | 2,223 | 4.93 | 100 | 530 | 1,070 |
| Jeollabuk-do | 1,434 | 3.18 | 100 | 490 | 980 |
| Gangwon-do | 1,517 | 3.36 | 50 | 320 | 640 |
| Chungcheongbuk-do | 1,310 | 2.90 | 50 | 340 | 680 |
| Daejeon | 1,016 | 2.25 | 100 | 590 | 1,170 |
| Gwangju | 1,044 | 2.31 | 100 | 600 | 1,200 |
| Ulsan | 742 | 1.65 | 50 | 430 | 850 |
| Jeju | 80 | 0.18 | 0 | 460 | 930 |
| Sejong | - | 0.00 | 50 | 110 | 210 |
| Total | 45,102 | 100 | 2,000 | 20,000 | 40,000 |
| Metropolitan area subtotal | | | 700 | 11,730 | 23,470 |

Table 4. Estimates of the number of hydrogen taxis supplied in 2030 and 2040

| Area | Number of taxis registrations (2018. 09) | Ratio (%) | Prediction of hydrogen taxi supply | |
|----------------------------|---|-----------|------------------------------------|--------|
| | | | 2030 | 2040 |
| Gyeonggi-do | 37,217 | 15.17 | 2,420 | 19,370 |
| Seoul | 68,777 | 28.03 | 1,340 | 10,740 |
| Busan | 23,774 | 9.69 | 590 | 4,730 |
| Gyeongsangnam-do | 12,274 | 5.00 | 720 | 5,830 |
| Incheon | 14,137 | 5.76 | 680 | 5,450 |
| Daegu | 15,519 | 6.32 | 500 | 4,050 |
| Gyeongsangbuk-do | 9,737 | 3.97 | 610 | 4,900 |
| Jeollanam-do | 6,684 | 2.72 | 440 | 3,550 |
| Chungcheongnam-do | 6,224 | 2.54 | 470 | 3,770 |
| Jeollabuk-do | 8,674 | 3.53 | 390 | 3,150 |
| Gangwon-do | 7,672 | 3.13 | 340 | 2,650 |
| Chungcheongbuk-do | 6,838 | 2.79 | 360 | 2,820 |
| Daejeon | 8,425 | 3.43 | 290 | 2,310 |
| Gwangju | 8,131 | 3.31 | 290 | 2,300 |
| Ulsan | 5,669 | 2.31 | 250 | 1,930 |
| Jeju | 5,290 | 2.16 | 250 | 1,930 |
| Sejong | 343 | 0.14 | 60 | 520 |
| Total | 245,385 | 100 | 10,000 | 80,000 |
| Metropolitan area subtotal | | | 4,440 | 35,560 |

Table 5. Estimates of the number of hydrogen trucks supplied in 2030 and 2040

| Area | Number of trucks registrations (2018) | Ratio (%) | Prediction of hydrogen trucks supply | |
|----------------------------|--|--------------|--------------------------------------|--------|
| | | | 2030 | 2040 |
| Gyeonggi-do | 795,583 | 22.16 | 2,430 | 7,270 |
| Seoul | 337,241 | 9.39 | 1,350 | 4,030 |
| Busan | 190,070 | 5.29 | 590 | 1,770 |
| Gyeongsangnam-do | 291,880 | 8.13 | 720 | 2,180 |
| Incheon | 191,826 | 5.34 | 680 | 2,040 |
| Daegu | 162,693 | 4.53 | 500 | 1,510 |
| Gyeongsangbuk-do | 315,530 | 8.79 | 610 | 1,830 |
| Jeollanam-do | 239,763 | 6.68 | 440 | 1,330 |
| Chungcheongnam-do | 220,340 | 6.14 | 470 | 1,410 |
| Jeollabuk-do | 186,787 | 5.20 | 390 | 1,180 |
| Gangwon-do | 154,905 | 4.31 | 340 | 1,000 |
| Chungcheongbuk-do | 157,251 | 4.38 | 360 | 1,060 |
| Daejeon | 87,208 | 2.43 | 290 | 870 |
| Gwangju | 92,343 | 2.57 | 290 | 860 |
| Ulsan | 71,725 | 2.00 | 240 | 730 |
| Jeju | 80,217 | 2.23 | 240 | 730 |
| Sejong | 15,577 | 0.43 | 60 | 200 |
| Total | 3,590,939 | 100 | 10,000 | 30,000 |
| Metropolitan area subtotal | | | 4,460 | 13,340 |

같이 2022년에 700대, 2030년 11,730대, 2040년 23,470대로 나타났다.

2.1.3 수소 택시 보급량 예측

2018년 9월 기준 등록된 택시 보유대수를 기준으로 각 지역의 보급 비율을 계산한 결과 수도권(서울, 경기, 인천)의 택시 등록 비율은 48.96%로 나타났다. 택시 등록 비율, 지역별 인구수, 지역별 면적, 현재까지의 수소 택시 보급대수 등을 고려하여 2030년 10,000대, 2040년 80,000대 보급을 목표로 수도권에 공급되는 수소 택시 대수를 예측한 결과 Table 4에 정리한 바와 같이 2030년 4,440대, 2040년 35,560대로 나타났다.

2.1.4 수소 트럭 보급량 예측

2018년 기준 등록된 트럭 보유대수를 기준으로 각 지역의 보급 비율을 계산한 결과 수도권(서울, 경기,

인천)의 트럭 등록 비율은 36.89%로 나타났다. 트럭 등록 비율, 지역별 인구수, 지역별 면적 등을 고려하여 2030년 10,000대, 2040년 30,000대 보급을 목표로 수도권에 공급되는 수소 트럭 대수를 예측한 결과 Table 5와 같이 2030년 4,460대, 2040년 13,340대로 나타났다.

2.2 수송용 수소차 수소 수요량 예측

2022년, 2030년, 2040년의 수소차 보급 대수 예측 결과를 기준으로 수소 수요량을 추정, 수소차의 종류에 따른 연비, 연간 주행거리는 Table 6의 기준을 적용하였다.

각각의 수소차(승용, 버스, 택시, 트럭) 보급 대수에 따른 시기별 수소 수요량은 Tables 7-9에 정리하였다.

수소 승용차 연간 수소 수요량은 2022년 9,750 톤,

Table 6. Fuel economy and annual mileage by type of hydrogen vehicles

| Hydrogen vehicle | Fuel efficiency (km/kg-H ₂) | Annual mileage (km) | Note |
|-------------------|---|---------------------|---|
| Passenger vehicle | 100 | 15,819 | |
| Bus | 12.5 | 121,053 | Average value of city bus and express bus |
| Taxi | 100 | 80,957 | |
| Truck | 12.5 | 58,838 | |

Table 7. Estimated hydrogen demand for hydrogen buses in 2022, 2030, and 2040

| Area | Estimated hydrogen demand (bus) | | |
|----------------------------|---------------------------------|---------|---------|
| | 2022 | 2030 | 2040 |
| Gyeonggi-do | 3,395 | 59,558 | 119,116 |
| Seoul | 2,425 | 41,128 | 82,353 |
| Busan | 1,940 | 13,968 | 27,936 |
| Gyeongsangnam-do | 3,395 | 9,506 | 19,012 |
| Incheon | 970 | 13,095 | 26,190 |
| Daegu | 485 | 8,439 | 16,878 |
| Gyeongsangbuk-do | 485 | 6,693 | 13,483 |
| Jeollanam-do | 485 | 4,074 | 8,051 |
| Chungcheongnam-do | 970 | 5,141 | 10,379 |
| Jeollabuk-do | 970 | 4,753 | 9,506 |
| Gangwon-do | 485 | 3,104 | 6,208 |
| Chungcheongbuk-do | 485 | 3,298 | 6,596 |
| Daejeon | 970 | 5,723 | 11,349 |
| Gwangju | 970 | 5,820 | 11,640 |
| Ulsan | 485 | 4,171 | 8,245 |
| Jeju | 0 | 4,462 | 9,021 |
| Sejong | 485 | 1,067 | 2,037 |
| Total | 19,400 | 194,000 | 388,000 |
| Metropolitan area subtotal | 6,790 | 113,781 | 227,659 |

2030년 121,500 톤, 2040년 412,500 톤으로 예측되었으며, 수도권 수소 승용차 연간 수요량은 2022년 3,000 톤, 2040년 54,000 톤, 2040년 183,435 톤으로 나타났다.

수소 버스 연간 수소 수요량은 2022년 19,400 톤, 2030년 194,000 톤, 2040년 388,000 톤으로 예측되었으며, 수도권 수소 버스 연간 수요량은 2022년 6,790 톤, 2030년 113,781 톤, 2040년 227,659 톤으로 나타났다.

수소 택시 연간 수소 수요량은 2030년 8,000 톤, 2040년 64,000 톤으로 예측되었으며, 수도권 수소 택시 연간 수요량은 2030년 3,552 톤, 2040년 28,448 톤으로 나타났다.

수소 트럭 연간 수소 수요량은 2030년 50,000 톤, 2040년 150,000 톤으로 예측되었으며, 수도권 수소 트럭 연간 수요량은 2030년 22,300 톤, 2040년 66,700 톤으로 나타났다.

수소차(승용, 버스, 택시, 트럭) 보급으로 인한 전

Table 8. Estimated hydrogen demand for hydrogen passenger vehicles in 2022, 2030, and 2040

| Area | Estimated hydrogen demand (passenger vehicle) | | |
|----------------------------|---|---------|---------|
| | 2022 | 2030 | 2040 |
| Gyeonggi-do | 1,725 | 29,415 | 99,900 |
| Seoul | 825 | 16,305 | 55,395 |
| Busan | 450 | 7,200 | 24,390 |
| Gyeongsangnam-do | 600 | 8,850 | 30,060 |
| Incheon | 450 | 8,280 | 28,140 |
| Daegu | 225 | 6,150 | 20,880 |
| Gyeongsangbuk-do | 600 | 7,455 | 25,275 |
| Jeollanam-do | 450 | 5,400 | 18,330 |
| Chungcheongnam-do | 1,200 | 5,745 | 19,485 |
| Jeollabuk-do | 450 | 4,800 | 16,290 |
| Gangwon-do | 750 | 4,020 | 13,635 |
| Chungcheongbuk-do | 375 | 4,290 | 14,520 |
| Daejeon | 300 | 3,495 | 11,865 |
| Gwangju | 525 | 3,480 | 11,820 |
| Ulsan | 600 | 2,925 | 9,915 |
| Jeju | 150 | 2,910 | 9,915 |
| Sejong | 75 | 780 | 2,685 |
| Total | 9,750 | 121,500 | 412,500 |
| Metropolitan area subtotal | 3,000 | 54,000 | 183,435 |

Table 9. Estimated hydrogen demand for hydrogen taxis and trucks in 2030 and 2040

| Area | Estimated hydrogen demand | | | |
|----------------------------|---------------------------|--------|--------|---------|
| | Taxi | | Truck | |
| | 2030 | 2040 | 2030 | 2040 |
| Gyeonggi-do | 1,936 | 15,496 | 12,150 | 36,350 |
| Seoul | 1,072 | 8,592 | 6,750 | 20,150 |
| Busan | 472 | 3,784 | 2,950 | 8,850 |
| Gyeongsangnam-do | 576 | 4,664 | 3,600 | 10,900 |
| Incheon | 544 | 4,360 | 3,400 | 10,200 |
| Daegu | 400 | 3,240 | 2,500 | 7,550 |
| Gyeongsangbuk-do | 488 | 3,920 | 3,050 | 9,150 |
| Jeollanam-do | 352 | 2,840 | 2,200 | 6,650 |
| Chungcheongnam-do | 376 | 3,016 | 2,350 | 7,050 |
| Jeollabuk-do | 312 | 2,520 | 1,950 | 5,900 |
| Gangwon-do | 272 | 2,120 | 1,700 | 5,000 |
| Chungcheongbuk-do | 288 | 2,256 | 1,800 | 5,300 |
| Daejeon | 232 | 1,848 | 1,450 | 4,350 |
| Gwangju | 232 | 1,840 | 1,450 | 4,300 |
| Ulsan | 200 | 1,544 | 1,200 | 3,650 |
| Jeju | 200 | 1,544 | 1,200 | 3,650 |
| Sejong | 48 | 416 | 300 | 1,000 |
| Total | 8,000 | 64,000 | 50,000 | 150,000 |
| Metropolitan area subtotal | 3,552 | 28,448 | 22,300 | 66,700 |

Table 10. Estimated hydrogen demand for hydrogen vehicles in 2022, 2030, and 2040

| Area | Estimated hydrogen demand (passenger vehicle, bus, taxi, truck) | | |
|----------------------------|---|---------|-----------|
| | 2022 | 2030 | 2040 |
| Gyeonggi-do | 5,120 | 103,059 | 270,862 |
| Seoul | 3,250 | 65,255 | 166,490 |
| Busan | 2,390 | 24,590 | 64,960 |
| Gyeongsangnam-do | 3,995 | 22,532 | 64,636 |
| Incheon | 1,420 | 25,319 | 68,890 |
| Daegu | 710 | 17,489 | 48,548 |
| Gyeongsangbuk-do | 1,085 | 17,686 | 51,828 |
| Jeollanam-do | 935 | 12,026 | 35,871 |
| Chungcheongnam-do | 2,170 | 13,612 | 39,930 |
| Jeollabuk-do | 1,420 | 11,815 | 34,216 |
| Gangwon-do | 1,235 | 9,096 | 26,963 |
| Chungcheongbuk-do | 860 | 9,676 | 28,672 |
| Daejeon | 1,270 | 10,900 | 29,412 |
| Gwangju | 1,495 | 10,982 | 29,600 |
| Ulsan | 1,085 | 8,496 | 23,354 |
| Jeju | 150 | 8,772 | 24,130 |
| Sejong | 560 | 2,195 | 6,138 |
| Total | 29,150 | 373,500 | 1,014,500 |
| Metropolitan area subtotal | 9,790 | 193,633 | 506,242 |

Table 11. Estimating the required amount of hydrogen refueling stations and production bases in the metropolitan area in 2022, 2030, and 2040

| | Unit | 2022 | 2030 | | 2040 | |
|---|--------------------|--------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|
| | | | 2030 needs | Excluding supply in 2022 | 2040 needs | Excluding supply by 2030 |
| Annual hydrogen demand | ton/year | 9,790 | 193,632 | 183,842 | 506,242 | 322,400 |
| Daily hydrogen demand (reflecting charging station operation rate) | ton/day | 30 | 587 | 557 | 1,534 | 977 |
| | kg/day | 29,667 | 586,764 | 557,097 | 1,534,067 | 976,970 |
| Charging station unit capacity | kg/day | 500 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Required number of charging stations | ea | 59 | 586 | 557 | 1,534 | 976 |
| Cumulative number of charging stations | ea | 59 | | 613 | | 1,589 |
| Production base for hydrogen supply to hydrogen refueling stations in the metropolitan area | | | | | | |
| Hydrogen production base scale | ton/day | 2 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| | Nm ³ /h | 933 | 4,667 | 4,667 | 4,667 | 4,667 |
| Required number of hydrogen production bases | ea | 15 | 59 | 56 | 154 | 98 |
| Cumulative number of production bases | ea | 15 | | 71 | | 169 |
| Number of charging stations (that can be supplied per production base) | ea | 4 | 10 | 10 | 10 | 10 |

국의 연간 수소 수요량은 Table 10에 나타난 것과 같이 2022년 29,150 톤, 2030년 373,500 톤, 2040년 1,014,500 톤으로 예측되었으며, 이 중 수도권 수소 수요량은 2022년 9,790 톤, 2030년 193,633 톤, 2040년 506,242 톤으로 나타났다.

2.3 수도권 수소 공급을 위한 충전기지 설계

수도권 수소 수요량 추정치에 근거하여 시기별 수도권에 필요한 충전소 개수를 산정하였다. 충전소 필요 개수 산정 시 충전소의 연간 가동률은 90.4% (연간 330일 가동 기준)를 반영하였다. 2022년까지 구축하는 충전소의 단위 용량은 500 kg/day, 2022년 이후 2040년까지 구축하는 충전소의 단위용량은 1,000 kg/day로 가정하여 산정하였다. 현재 수도권에 구축 또는 구축예정인 수소충전소의 개수는 고려하지 않았다.

2022년, 2030년, 2040년 수도권 수소 수요량을 기준으로 충전소 구축 개수 계산 결과 Table 11에 나타난 것과 같이 2022년에는 500 kg/day 규모 충전소 58기 구축 필요, 2030년과 2040년에는 1,000 kg/day 규모의 충전소를 각각 555기, 976기 추가 구축 필요한 것으로 나타났다. 수도권에 필요한 충전소 개수를 합하면 2022년 58기, 2030년 585기, 2040년 1,532기이다.

수도권 수소 공급을 위한 수소 생산기지 규모 및 필요 기수를 예측한 결과 2022년 단일 생산기지 1기 규모를 2 톤/day (약 5,000 Nm³/h)로 가정할 경우 2030년에 56기, 2040년에 98기의 수소 생산기지 구축이 필요한 것으로 나타났다. 이는 부생수소에서 수소를 공급하는 경우를 고려하지 않고 수도권 수소 수요량 전체를 천연가스 추출 수소로 공급하는 경우를 가정한 결과이다.

Table 12. Estimating the required amount of hydrogen refueling station in the metropolitan area in 2022, 2030, and 2040

| | Unit | Area | 2022 | 2030 | | 2040 | |
|--------------------------------------|----------|-------------|--------|----------|--------------------------|------------|--------------------------|
| | | | | ton/year | Excluding supply in 2022 | 2040 needs | Excluding supply by 2030 |
| Annual hydrogen demand | ton/year | Seoul | 3,250 | 65,255 | 62,005 | 166,490 | 104,485 |
| | | Gyeonggi-do | 5,120 | 103,058 | 97,938 | 270,862 | 172,924 |
| | | Incheon | 1,420 | 25,319 | 23,899 | 68,890 | 44,991 |
| | | Subtotal | 9,790 | 193,632 | 183,842 | 506,242 | 322,400 |
| Daily hydrogen demand | ton/day | Seoul | 10 | 198 | 188 | 505 | 317 |
| | kg/day | | 9,848 | 197,742 | 187,894 | 504,515 | 316,621 |
| | ton/day | Gyeonggi-do | 16 | 312 | 297 | 821 | 524 |
| | kg/day | | 15,515 | 312,297 | 296,782 | 820,794 | 524,012 |
| | ton/day | Incheon | 4 | 77 | 72 | 209 | 136 |
| | kg/day | | 4,303 | 76,724 | 72,421 | 208,758 | 136,336 |
| | ton/day | Subtotal | 30 | 587 | 557 | 1,534 | 977 |
| | kg/day | | 29,667 | 586,764 | 557,097 | 1,534,067 | 976,970 |
| Charging station unit capacity | kg/day | | 500 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Required number of charging stations | ea | Seoul | 19 | 197 | 187 | 504 | 316 |
| | | Gyeonggi-do | 31 | 312 | 296 | 820 | 524 |
| | | Incheon | 8 | 76 | 72 | 208 | 136 |
| | | Subtotal | 58 | 55 | 555 | 1,532 | 976 |

Table 13. Amount of hydrogen supply in the metropolitan area in 2022, 2030, and 2040 by method

| Hydrogen production method | Hydrogen supply in the metropolitan area (ton/year) | | | Hydrogen supply in the metropolitan area (ton/day) | | |
|-----------------------------|---|---------|---------|--|------|-------|
| | 2022 | 2030 | 2040 | 2022 | 2030 | 2040 |
| By-product hydrogen | 7,832 | 87,134 | 151,873 | 21 | 239 | 416 |
| Extract hydrogen | 1,958 | 96,816 | 151,873 | 5 | 265 | 416 |
| Water electrolysis hydrogen | 0 | 9,682 | 50,624 | 0 | 27 | 139 |
| Imported hydrogen | 0 | 0 | 151,873 | 0 | 0 | 416 |
| Total | 9,790 | 193,632 | 506,242 | 27 | 530 | 1,387 |

3. 결과

3.1 수도권 수소 공급 시나리오별 비용 분석

3.1.1 수도권 수소 공급을 위한 생산 및 수송 시나리오 선정

수도권 수소 수요량을 기준으로 권역별(서울, 경기, 인천) 수소 충전소 필요 대수를 산정한 결과 서울, 경기, 인천 지역에 구축이 필요한 수소 충전소 대수는 Table 12와 같이 2022년 각각 19기, 31기, 8기, 2030년의 경우는 각각 187기, 296기, 72기, 2040년은 316기, 524기, 136기로 산정되었다.

수도권에 수소를 공급할 수 있는 방법으로 부생수소, 천연가스 추출수소, 재생에너지 수전해 수소, 해외 수입수소를 고려할 수 있으며, 시기별 가능한 시나리오는 국내 현황, 수소 생산기지 구축 계획, 재생에너지 보급 및 이를 이용한 수소 생산, 해외 수소 수입 계획 등에 따라 다양해질 수 있다. 본 분석에서는 시기별 공급 시나리오를 Tables 13, 14와 같이 가정하여 수도권 공급 수소 비용을 산정하였다.

수소 수송 방법은 고압기체 수송 및 배관 수송을 적용하였으며, 해외 수입 수소는 별도의 수송 방법을 적용하는 것으로 가정하였다.

3.1.2 수도권 수소 공급 비용 산정을 위한 경제성 분석 기준

천연가스 추출수소, 수전해 수소 생산 비용 산정 및 고압기체 수송, 배관 수송에 대한 비용 산정을 위해 미국 Department of Energy 산하 National Renewable

Table 14. Proportion of hydrogen supply method in the metropolitan area in 2022, 2030, and 2040

| Hydrogen production method | Hydrogen supply rate (%) | | |
|-----------------------------|--------------------------|------|------|
| | 2022 | 2030 | 2040 |
| By-product hydrogen | 80 | 45 | 30 |
| Extract hydrogen | 20 | 50 | 30 |
| Water electrolysis hydrogen | 0 | 5 | 10 |
| Imported hydrogen | 0 | 0 | 30 |
| Total | 100 | 100 | 100 |

Energy Laboratory에서 개발한 H2A Production Model (H2A)과 Hydrogen Delivery Scenario Analysis Model (HDSAM) 프로그램을 활용하였다^{11,12)}. H2A와 HDSAM의 프로그램 주요구성 화면 및 개요는 Table 15에 정리하였다.

천연가스 추출수소 생산 비용 산정을 위한 분석 기준은 다음과 같이 정하였다. 천연가스 가격은 2019년 7월 8일 연료전지용 가격인 12,338 원/MJ (환율을 1,100 원/\$ 적용 시, 11.82 \$/MMBtu, 561 원/Nm³)을 적용하였다. 전기 가격은 산업용(을), 고압 B, 선택 III 중간부하 평균값인 96.83 원/kWh를 적용하였고, 세금은 국내 소득세율인 22%를 적용하였다. 플랜트 수명 및 분석 기간은 20년, 감가상각 기간은 7년, 공사 기간은 1년으로 가정하였고, 자본은 자기자본 100%, 잔존가치는 10%, 인플레이션율은 1.9%로 적용하였다. 납세 후 내부수익률(internal rate of return)은 5%, 환율은 1,100 원/\$을 적용하였다.

본 분석에서 대상으로 하는 천연가스 추출수소 생산 설비의 건설비는 현재 업체 견적을 통한 비용 산

Table 15. Overview of the program used to calculate the cost of hydrogen supply

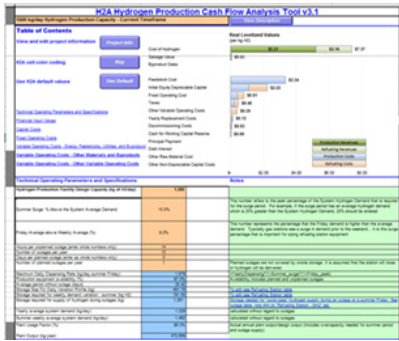
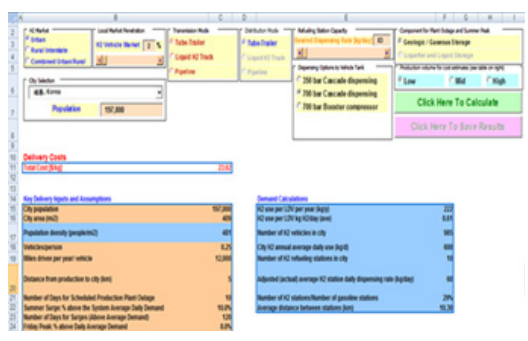
| H2A (H2A Production Model) | HDSAM (Hydrogen Delivery Scenario Analysis Model) |
|---|---|
|  |  |
| <p>Calculation of hydrogen production cost by production method (Since 2005, Ver. 3.2018)</p> | <p>Calculation of hydrogen transport cost for various conditions by transport method (Since 2006, Ver. 3.1)</p> |

Table 16. CAPEX by capacity of natural gas reformed hydrogen production facility

| Capacity of natural gas extraction hydrogen production facility (Nm ³ /h) | CAPEX of natural gas extracted hydrogen production facility (billion won) | |
|--|---|--|
| | Calculation of CAPEX using base price I | Calculation of CAPEX using base price II |
| 300 (base price I) | 3 | |
| 500 | 4.1 | 4 |
| 1,000 | 6.2 | 6 |
| 2,000 | 9.4 | 9.1 |
| 5,000 | 16.2 | 15.8 |
| 40,000 (base price II) | | 55 |

정은 불가능한 상황이므로 기존에 제시된 건설비를 활용하여 산정하였다. 300 Nm³/h급 천연가스 추출시스템 건설비(30억 원)를 기준으로 경제성 분석 비용 산정지수(0.6)를 적용하여 생산 용량별 천연가스 추출 시스템 건설비를 산정한 결과 1,000 Nm³/h급 천연가스 추출시스템 건설비는 62억 원, 2,000 Nm³/h급 천연가스 추출시스템 건설비는 94억 원, 5,000 Nm³/h급 천연가스 추출시스템 건설비는 162억 원으로 나타났다. Air liquid사에서 제시한 40,000 Nm³/h급 규모의 천연가스 추출시스템 건설비는 50 MMS\$ 수준(1,100원 환율 적용 시 550억 원)이며 이를 활용하여 1,000 Nm³/h급, 2,000 Nm³/h급, 5,000 Nm³/h급 천연가스 추출수소 생산설비 건설비 산정 결과 Table 16에

나타낸 것과 같이 각각 60억 원, 91억 원, 158억 원으로 300 Nm³/h급 용량 기준으로 산정한 경우와 유사한 수준으로 나타났다.

수소 수송 비용은 고압기체 수송 방식과 배관 수송 방식을 적용하였으며 비용 산정 프로그램인 HDSAM에서 정의한 Fig. 1의 수소 수송 방법 분류 중 Table 17의 CASE 4, CASE 6 구성을 반영하였다. 수송 방법에 대한 경제성 분석 조건 항목은 Table 18에 나타내었다.

3.1.3 2022년 수도권 수소 공급 비용 산정(생산 비용)

2022년 수도권의 연간 수소 수요량은 9,790 톤으로 이 시기에는 재생에너지 이용 수전해 수소와 해외 수입 수소는 공급이 불가능할 것으로 판단하여

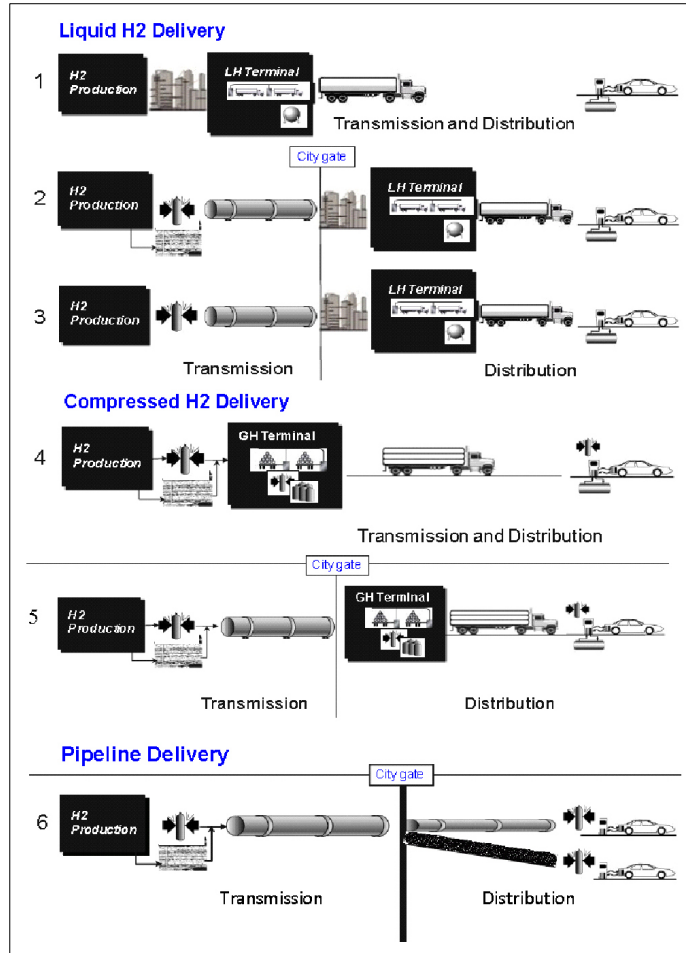


Fig. 1. Classification of hydrogen transport methods

Table 17. Classification of hydrogen transport methods according to HDSAM and the mode of transport applied for this analysis

| Case | Delivery | Process | Apply |
|--------|------------------------------------|--|-------|
| Case 1 | Liquid H ₂ delivery | Central production → Liquefier → Liquid H ₂ terminal (including storage for plant outages) → Liquid H ₂ truck transmission & distribution → Liquid H ₂ fueling station | |
| Case 2 | | Central production → Compressor → Geological storage for plant outages → Transmission pipeline → Liquefier → Liquid H ₂ terminal → Liquid H ₂ truck distribution → Liquid H ₂ fueling station | |
| Case 3 | | Central production → Compressor → Transmission pipeline → Liquefier → Liquid H ₂ terminal(including storage for plant outages) → Liquid H ₂ truck distribution → Liquid H ₂ fueling station | |
| Case 4 | Compressed H ₂ delivery | Central production → Compressor → Geological storage for plant outages → Gases H ₂ terminal → Gases H ₂ truck transmission & distribution → Gases H ₂ fueling station | ○ |
| Case 5 | | Central production → Compressor → Geological storage for plant outages → Transmission pipeline → Gases H ₂ terminal → Gases H ₂ truck distribution → Gases H ₂ fueling station | |
| Case 6 | Pipeline H ₂ delivery | Central production → Compressor → Geological storage for plant outages → Transmission & distribution pipeline → Gases H ₂ fueling station | ○ |

Table 18. Economic analysis conditions for hydrogen transport method based on HDSAM

| Case | Process |
|--------------|---|
| Transmission | <ul style="list-style-type: none"> Distance from production to city (km) |
| Target city | <ul style="list-style-type: none"> City population (person) City area (m²) Vehicles/person Miles driven per year/vehicle |
| Demand | <ul style="list-style-type: none"> Number of days for scheduled production plant outage Summer surge: % above the system average daily demand Number of days for surges (above average demand) Friday peak: % above daily average demand Scaling daily demand profile as % of chevron peak above average H₂ Vehicles fuel economy equivalent (mpgge) |

부생수소와 천연가스 추출 수소를 대상으로 공급 비율을 산정하였으며, 부생수소 80%, 천연가스 추출수소 20%로 가정하였을 경우 부생수소 공급량은 7,832 톤, 천연가스 추출수소 공급량은 1,958 톤이다. 부생수소의 가격은 150 원/Nm³, 200 원/Nm³, 300 원/Nm³ 세 경우를 가정하였으며, 무게 당의 금액으로 환산하면 각각 1,680 원/kg, 2,240 원/kg, 3,360 원/kg이다. 천연가스 추출수소 가격은 2022년에 가정한 단일 수소 생산기지 규모(2 톤/day)를 기준으로 산정한 결과 3.3 \$/kg으로 환율 적용 시 금액은 3,630 원/kg이다. 천연가스 추출 수소 공급 가격은 천연가스 가격에 따라 달라질 수 있다. 2018년 8월 liquefied natural gas (LNG) 도입 가격은 10.05 \$/MMBtu였으나, 2019년 9월 LNG 1,958 톤 도입 가격은 5.29 \$/MMBtu로 가격 변화가 크다. 본 분석에서는 천연가스 가격 11.82 \$/MMBtu를 적용하여 계산하였으나 천연가스 가격의 불확실성을 고려하여 적용 가격의 50%인 5.90 \$/MMBtu 수준과 80%인 9.87 \$/MMBtu 수준의 천연가스 가격 반영 시의 수소 공급 비용을 추가로 산정하여 Table 19에 나타내었다.

3.1.4 2022년 수도권 수소 공급 비용 산정

2022년 부생수소 및 천연가스 추출 수소로 수도권에 공급되는 수소의 양은 충전소의 가동률(연간 330일 운전)을 고려한 여유율을 반영하여 연간 29,667 톤, 1일 30 톤으로 산정되었으며, SK 인천석유화학단지

Table 19. Estimating the production cost of natural gas reformed hydrogen in 2022

| Capacity of natural gas extraction hydrogen production facility (Nm ³ /h) | Natural gas cost (\$/MMBtu) | Hydrogen production cost | |
|--|-----------------------------|--------------------------|--------|
| | | \$/kg | won/kg |
| 1,000 | 5.90 | 2.37 | 2,607 |
| | 9.87 | 2.93 | 3,223 |
| | 11.82 | 3.30 | 3,630 |

Table 20. Calculation of transportation cost according to transportation method when supplying hydrogen to the metropolitan area in 2022

| Area | High pressure gas transportation cost | | Piping transportation cost | |
|-------------|---------------------------------------|--------|----------------------------|--------|
| | \$/kg | won/kg | \$/kg | won/kg |
| Seoul | 2.84 | 3,124 | 2.63 | 2,893 |
| Gyeonggi-do | 2.69 | 2,959 | 2.06 | 2,266 |
| Incheon | 3.13 | 3,443 | 4.53 | 4,983 |

에서 생산되는 부생수소 및 인천가스공사 LNG 인수 기지에서 생산되는 추출 수소를 공급 받는 것을 가정하여 수송 시나리오를 결정하였다. 수도권 지역으로 수소를 공급할 경우 생산지로부터 터미널 역할을 할 수 있는 중간 저장소까지의 거리는 30 km로 가정(인천은 10 km)하였고, 서울, 인천 경기 지역의 수소 수요량과 고압기체 수송, 배관 수송 적용 시의 수소 수송 비용을 산정하여 Table 20에 나타내었다. 수소 수송 비용을 산정하기 위한 설비비 및 운영비 기준

Table 21. Calculation of hydrogen supply cost in the metropolitan area in 2022

| Area | Production method | Production cost | | Transportation cost | | Charging station cost | | Total cost | |
|-------------|---------------------------------|---------------------|-------|---------------------|--------|-----------------------|--------|-------------------|--------|
| | | | | High pressure gas | Piping | High pressure gas | Piping | High pressure gas | Piping |
| | | won/Nm ³ | \$/kg | \$/kg | \$/kg | \$/kg | \$/kg | \$/kg | \$/kg |
| Seoul | By-product hydrogen | 150 | 1.53 | 2.84 | 2.63 | 2.97 | 3.56 | 7.34 | 7.72 |
| | | 200 | 2.04 | | | | | 7.85 | 8.23 |
| | | 300 | 3.05 | | | | | 8.86 | 9.24 |
| Gyeonggi-do | | 150 | 1.53 | 2.69 | 2.06 | | | 7.19 | 7.15 |
| | | 200 | 2.04 | | | | | 7.70 | 7.66 |
| | | 300 | 3.05 | | | | | 8.71 | 8.67 |
| Incheon | | 150 | 1.53 | 3.13 | 4.53 | | | 7.63 | 9.62 |
| | | 200 | 2.04 | | | | | 8.14 | 10.13 |
| | | 300 | 3.05 | | | | | 9.15 | 11.14 |
| Seoul | Natural gas extraction hydrogen | 233 | 2.37 | 2.84 | 2.63 | 8.18 | 8.56 | | |
| | | 288 | 2.93 | | | 8.74 | 9.12 | | |
| | | 324 | 3.3 | | | 9.11 | 9.49 | | |
| Gyeonggi-do | | 233 | 2.37 | 2.69 | 2.06 | 8.03 | 7.99 | | |
| | | 288 | 2.93 | | | 8.59 | 8.55 | | |
| | | 324 | 3.3 | | | 8.96 | 8.92 | | |
| Incheon | | 233 | 2.37 | 3.13 | 4.53 | 8.47 | 10.46 | | |
| | | 288 | 2.93 | | | 9.03 | 11.02 | | |
| | | 324 | 3.3 | | | 9.40 | 11.39 | | |

은 HDSAM 내의 기준 값을 그대로 적용한 것으로 배관 구축비용 및 고압기체 수송 비용을 국내기준으로 적용한 것은 아니므로 수송 비용 산정 결과는 국내의 현실과 다를 수 있다.

2022년 구축을 가정한 수소충전소 용량은 500 kg/day로 충전소 구축 설비 비용은 30억 원을 적용하였다. 고압기체 수송의 경우 수소 충전소 비용은 2.97 \$/kg, 배관 수송의 경우는 3.56 \$/kg으로 산정되었다.

2022년 수도권 수소 공급 시 생산-수송-충전소 비용을 모두 포함한 비용 산정 결과는 Table 21에 정리하였다.

3.1.5 2030년 수도권 수소 공급 비용 산정

2030년 수도권 수소 수요량은 연간 193,632 톤이며, 충전소의 가동률(연간 330일 운전)을 고려한 여유율을 반영하면 연간 214,169 톤, 1일 587 톤으로

산정되었다. 부생수소, 천연가스 추출수소, 수전해 수소의 공급 비율은 각각 45%, 50%, 5%로 가정하면 2030년 수소 생산 방식에 따른 수소 공급량은 각각 96,376 톤, 107,084 톤, 10,708 톤으로 산정되었다. SK 인천석유화학단지에서 생산되는 부생수소는 연간 약 50,000 톤으로 추정되므로 추가의 부생수소 공급 지역이 필요하며 수도권까지의 이송거리를 고려할 때 대산에서 생산되는 부생수소를 공급하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 대산지역에서 수도권까지의 수소 수송 거리는 약 140 km이므로 대산에서 부생수소를 수송하는 경우의 비용을 추가로 산정하였다. 천연가스 추출 수소는 가스공사 LNG 인수기지에서 생산되는 추출 수소를 공급 받는 것으로 가정하여 수송 시나리오를 결정하였다. 인천에서 수도권 지역으로 수소를 공급하는 경우 생산지로부터 터미널 역할을 할 수 있는 중간 저장소까지의 거리는 30 km

Table 22. Estimating the production cost of natural gas reformed hydrogen in 2030

| Capacity of natural gas extraction hydrogen production facility (Nm ³ /h) | Natural gas cost (\$/MMBtu) | Hydrogen production cost | |
|--|-----------------------------|--------------------------|--------|
| | | \$/kg | won/kg |
| 5,000 | 5.90 | 1.69 | 1,859 |
| | 9.87 | 2.31 | 2,541 |
| | 11.82 | 2.62 | 2,882 |

로 가정(인천은 10 km)하였고, 대산에서 공급하는 경우는 140 km로 가정하였다. 수전해 수소로 공급하는 경우는 대용량 재생에너지 사업을 계획하고 있는 새만금에서 수송하는 것으로 가정하였으며, 수송 거리는 250 km를 적용하여 산정하였다.

2030년 천연가스 추출수소 생산기지 규모는 5,000 Nm³/h급으로 건설비는 약 162억 원으로 산정되었다. 천연가스 추출수소 공급 가격은 천연가스 가격에 따라 달라질 수 있기 때문에 본 분석에서는 천연가스 가격 11.82 \$/MMBtu를 기준으로 적용 가격의 50%인 5.90 \$/MMBtu 수준과 80%인 9.87 \$/MMBtu 수준의 천연가스 가격 반영 시 수소 공급 비용을 산정하여 Table 22에 나타내었다.

2030년 재생에너지 이용 수전해 수소 생산 비용은 수전해 설비 비용, 전기가격, 가동률 등 다양한 요인에 의해 결정되며, 현재 국내에 적용 가능한 수전해 설비비 및 전기가격, 가동률 등의 수치가 불확실하기 때문에 본 분석에서는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 국제재생에너지기구(International Renewable Energy Agency)에서 제시한 3가지 경우의 비용을 적용하여 생산비용을 산정하여 Table 23에 나타내었다. 추후 국내에 적용 가능한 수전해 설비 비용, 전기가격, 가동률을 적용할 경우 생산 비용은 달라질 수 있다.

2030년 구축을 가정한 수소충전소 용량은 1,000 kg/day로 충전소 구축 설비 비용은 45억 원을 적용하였다. 고압기체 수송의 경우 수소 충전소 비용은 2.01 \$/kg, 배관 수송의 경우는 2.86 \$/kg으로 산정되었다.

2030년 수도권 수소 공급 시 생산-수송-충전소 비용을 모두 포함한 비용 산정 결과는 Table 24에 정리하였다. 2030년 수소 공급 비용 계산 결과 인천 지역에서 부생수소를 공급하는 경우 고압기체로 수송 시

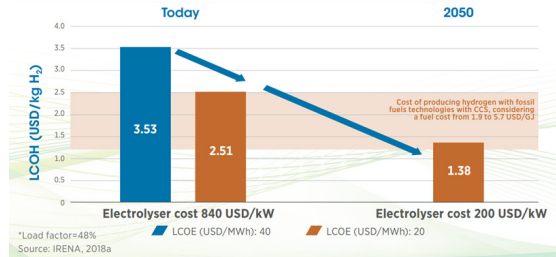


Fig. 2. Hydrogen costs at different electricity prices and electrolyzer CAPEX

Table 23. Estimating the cost of water electrolysis hydrogen production in 2030

| CAPEX (\$/kW) | Electricity cost (\$/MWh) | Hydrogen production cost | |
|---------------|---------------------------|--------------------------|--------|
| | | \$/kg | won/kg |
| 840 | 40 | 3.53 | 3,883 |
| 840 | 20 | 2.51 | 2,761 |
| 200 | 20 | 1.38 | 1,518 |

6,314-8,096 원/kg, 배관 수송의 경우 5,478-8,041 원/kg으로 공급량이 많을수록 배관 수송이 고압기체 수송보다 수송 비용이 낮은 것으로 나타났다. 대산 지역에서 부생수소를 공급하는 경우 고압기체로 수송 시 6,523-8,338 원/kg, 배관 수송의 경우 5,676-8,745 원/kg으로 산정되었다. 천연가스 추출수소를 공급하는 경우 고압기체로 수송 시 6,490-7,612 원/kg, 배관 수송의 경우 5,621-7,491 원/kg으로 공급량이 많은 경기 지역의 경우 부생수소를 공급하는 경우보다 추출수소를 공급하는 경우의 수소 공급 비용이 낮게 나타났다. 수전해 수소를 공급하는 경우 고압기체로 수송 시 6,798-9,856 원/kg, 배관 수송의 경우 8,767-19,800 원/kg으로 수전해 수소가 경쟁력 있는 가격이 되기 위해

Table 24. Calculation of hydrogen supply cost in the metropolitan area in 2030

| Area | Production method | Production cost | | Transportation cost | | Charging station cost | | Total cost | |
|-------------|--|---------------------|-------|---------------------|--------|-----------------------|--------|-------------------|--------|
| | | | | High pressure gas | Piping | High pressure gas | Piping | High pressure gas | Piping |
| | | won/Nm ³ | \$/kg | \$/kg | \$/kg | \$/kg | \$/kg | \$/kg | \$/kg |
| Seoul | By-product hydrogen (transport distance 30 km /Incheon 10 km) | 150 | 1.53 | 2.23 | 0.77 | 2.01 | 2.86 | 5.77 | 5.16 |
| | | 200 | 2.04 | | | | | 5.67 | 5.67 |
| | | 300 | 3.05 | | | | | 6.68 | 6.68 |
| Gyeonggi-do | | 150 | 1.53 | 2.2 | 0.59 | | | 5.74 | 4.98 |
| | | 200 | 2.04 | | | | | 5.49 | 5.49 |
| | | 300 | 3.05 | | | | | 6.5 | 6.5 |
| Incheon | | 150 | 1.53 | 2.3 | 1.4 | | | 5.84 | 5.79 |
| | | 200 | 2.04 | | | | | 6.3 | 6.3 |
| | | 300 | 3.05 | | | | | 7.31 | 7.31 |
| Seoul | By-product hydrogen (transport distance 140 km) | 150 | 1.53 | 2.43 | 1.04 | 5.97 | 5.43 | | |
| | | 200 | 2.04 | | | 5.94 | 5.94 | | |
| | | 300 | 3.05 | | | 6.95 | 6.95 | | |
| Gyeonggi-do | | 150 | 1.53 | 2.39 | 0.77 | 5.93 | 5.16 | | |
| | | 200 | 2.04 | | | 5.67 | 5.67 | | |
| | | 300 | 3.05 | | | 6.68 | 6.68 | | |
| Incheon | | 150 | 1.53 | 2.52 | 2.04 | 6.06 | 6.43 | | |
| | | 200 | 2.04 | | | 6.94 | 6.94 | | |
| | | 300 | 3.05 | | | 7.95 | 7.95 | | |
| Seoul | Natural gas extraction hydrogen (transport distance 30 km) | 166 | 1.69 | 2.23 | 0.75 | 5.93 | 5.3 | | |
| | | 227 | 2.31 | | | 5.92 | 5.92 | | |
| | | 257 | 2.62 | | | 6.23 | 6.23 | | |
| Gyeonggi-do | | 166 | 1.69 | 2.2 | 0.56 | 5.9 | 5.11 | | |
| | | 227 | 2.31 | | | 5.73 | 5.73 | | |
| | | 257 | 2.62 | | | 6.04 | 6.04 | | |
| Incheon | | 166 | 1.69 | 2.29 | 1.33 | 5.99 | 5.88 | | |
| | | 227 | 2.31 | | | 6.5 | 6.5 | | |
| | | 257 | 2.62 | | | 6.81 | 6.81 | | |
| Seoul | Water electrolysis (transport distance 250 km) | 136 | 1.38 | 2.95 | 5.43 | 6.34 | 9.67 | | |
| | | 247 | 2.51 | | | 10.8 | 10.8 | | |
| | | 347 | 3.53 | | | 11.82 | 11.82 | | |
| Gyeonggi-do | | 136 | 1.38 | 2.79 | 3.73 | 6.18 | 7.97 | | |
| | | 247 | 2.51 | | | 9.1 | 9.1 | | |
| | | 347 | 3.53 | | | 10.12 | 10.12 | | |
| Incheon | | 136 | 1.38 | 3.42 | 11.61 | 6.81 | 15.85 | | |
| | | 247 | 2.51 | | | 7.94 | 16.98 | | |
| | | 347 | 3.53 | | | 8.96 | 18 | | |

Table 25. Calculation of hydrogen supply cost in the metropolitan area in 2040

| Area | Production method | Production cost | | Transportation cost | | Charging station cost | | Total cost | |
|-------------|--|---------------------|-------|---------------------|--------|-----------------------|--------|-------------------|--------|
| | | | | High pressure gas | Piping | High pressure gas | Piping | High pressure gas | Piping |
| | | won/Nm ³ | \$/kg | \$/kg | \$/kg | \$/kg | \$/kg | \$/kg | \$/kg |
| Seoul | By-product hydrogen (transport distance 30 km /Incheon 10 km) | 150 | 1.53 | 2.21 | 0.63 | 2.01 | 2.86 | 5.75 | 5.02 |
| | | 200 | 2.04 | | | | | 6.26 | 5.53 |
| | | 300 | 3.05 | | | | | 7.27 | 6.54 |
| Gyeonggi-do | | 150 | 1.53 | 2.18 | 0.45 | | | 5.72 | 4.84 |
| | | 200 | 2.04 | | | | | 6.23 | 5.35 |
| | | 300 | 3.05 | | | | | 7.24 | 6.36 |
| Incheon | | 150 | 1.53 | 2.28 | 1.12 | | | 5.82 | 5.51 |
| | | 200 | 2.04 | | | | | 6.33 | 6.02 |
| | | 300 | 3.05 | | | | | 7.34 | 7.03 |
| Seoul | By-product hydrogen (transport distance 140 km) | 150 | 1.53 | 2.4 | 0.8 | 5.94 | 5.19 | | |
| | | 200 | 2.04 | | | 6.45 | 5.7 | | |
| | | 300 | 3.05 | | | 7.46 | 6.71 | | |
| Gyeonggi-do | | 150 | 1.53 | 2.37 | 0.57 | 5.91 | 4.96 | | |
| | | 200 | 2.04 | | | 6.42 | 5.47 | | |
| | | 300 | 3.05 | | | 7.43 | 6.48 | | |
| Incheon | | 150 | 1.53 | 2.47 | 1.46 | 6.01 | 5.85 | | |
| | | 200 | 2.04 | | | 6.52 | 6.36 | | |
| | | 300 | 3.05 | | | 7.53 | 7.37 | | |
| Seoul | Natural gas extraction hydrogen (transport distance 30 km) | 166 | 1.69 | 2.21 | 0.63 | 5.91 | 5.18 | | |
| | | 227 | 2.31 | | | 6.53 | 5.8 | | |
| | | 257 | 2.62 | | | 6.84 | 6.11 | | |
| Gyeonggi-do | | 166 | 1.69 | 2.18 | 0.45 | 5.88 | 5 | | |
| | | 227 | 2.31 | | | 6.5 | 5.62 | | |
| | | 257 | 2.62 | | | 6.81 | 5.93 | | |
| Incheon | | 166 | 1.69 | 2.28 | 1.12 | 5.98 | 5.67 | | |
| | | 227 | 2.31 | | | 6.6 | 6.29 | | |
| | | 257 | 2.62 | | | 6.91 | 6.6 | | |
| Seoul | Water electrolysis (transport distance 250 km) | 136 | 1.38 | 2.69 | 1.86 | 6.08 | 6.1 | | |
| | | 247 | 2.51 | | | 7.21 | 7.23 | | |
| | | 347 | 3.53 | | | 8.23 | 8.25 | | |
| Gyeonggi-do | | 136 | 1.38 | 2.64 | 1.31 | 6.03 | 5.55 | | |
| | | 247 | 2.51 | | | 7.16 | 6.68 | | |
| | | 347 | 3.53 | | | 8.18 | 7.7 | | |
| Incheon | | 136 | 1.38 | 2.81 | 3.58 | 6.2 | 7.82 | | |
| | | 247 | 2.51 | | | 7.33 | 8.95 | | |
| | | 347 | 3.53 | | | 8.35 | 9.97 | | |

서는 수소 생산 비용이 1.38 \$/kg 수준이 되어야 하며, 상대적으로 공급량이 많지 않고 수송거리가 길어 배관 수송보다 고압기체 수송이 유리한 것으로 나타났다.

3.1.6 2040년 수도권 수소 공급 비용 산정

2040년 수도권 수소 수요량은 연간 506,242 톤이며, 충전소의 가동률(연간 330일 운전)을 고려한 여유율을 반영하면 연간 559,934 톤, 1일 1,534 톤으로 산정되었다. 2040년부터는 해외수입수소 도입이 가능한 상황으로 가정하였으며, 부생수소, 천연가스 추출수소, 수전해 수소, 해외수입수소 공급 비율을 각각 30%, 30%, 10%, 30%로 가정하면 2030년 수소 생산 방식에 따른 수소 공급량은 각각 167,980 톤, 167,980 톤, 55,993 톤, 167,980 톤으로 산정된다. 2040년 수소 공급 비용은 2030년 생산 방식 및 수송 방식 계산과 동일한 기준을 적용하여 산정하였다.

2040년 수도권 수소 공급 시 생산-수송-충전소 비용을 모두 포함한 비용 산정 결과는 Table 25에 정리하였다. 2040년 수소 공급 비용 계산 결과 인천 지역에서 부생수소를 공급하는 경우 고압기체로 수송 시 6,292-8,074 원/kg, 배관 수송의 경우 5,324-7,733 원/kg으로 공급량이 많을수록 배관수송이 고압기체 수송보다 수송 비용이 낮은 것으로 나타났다. 대산지역에서 부생수소를 공급하는 경우 고압기체로 수송 시 6,501-8,283 원/kg, 배관 수송의 경우 5,456-8,107 원/kg으로 산정되었다. 천연가스 추출수소를 공급하는 경우 고압기체로 수송 시 6,468-7,601 원/kg, 배관 수송의 경우 5,500-7,260 원/kg 산정되었다. 이는 2030년의 경우와 유사하게 공급량이 많은 경기 지역의 경우 부생수소를 공급하는 경우보다 추출수소를 공급하는 경우의 수소 공급비용이 낮게 나타났다. 수전해 수소를 공급하는 경우 고압기체로 수송 시 6,633-9,185 원/kg, 배관 수송의 경우 6,105-10,967 원/kg으로 2030년의 경우에 비해 수소 공급 비용이 낮아졌다.

4. 결론

본 분석에서는 추후 수소 보급 확대에 따라 수소의 수요량이 가장 높을 것으로 예상되는 수도권 권역인 서울, 인천, 경기 지역을 대상으로 수송용 수소의 시기별 수소 공급망 구성에 따른 비용을 분석하였다.

1) 수송용 수소차(승용, 버스, 택시, 트럭)의 보급 대수를 예측하였다. 2018년 12월 시점 등록된 자동차 대수를 기준으로 각 지역의 보급 비율을 계산하고, 수소경제 활성화 로드맵의 목표와 지역별 인구수, 면적, 2022년 충전소 배치 방안 등 다양한 조건을 고려하여 2022년, 2030년, 2040년에 보급 가능한 수소차 대수를 가정하였다.

2) 2022년, 2030년, 2040년에 보급 가능한 수소차 대수 예측 결과를 바탕으로 각각의 수소차(승용, 버스, 택시, 트럭)의 수소 수요량을 추정하였다.

3) 부생수소, 천연가스 추출수소, 재생에너지 수전해 생산 수소, 해외 수입수소를 고려하여 시기별 수소 공급 시나리오를 가정 후 수도권 공급 수소 비용을 산정하였다. 천연가스 추출수소, 수전해 생산 수소의 생산 비용 산정과 고압기체 수송, 배관 수송에 대한 비용 산정을 위해 H2A와 HDSAM 프로그램을 활용하여 경제성 분석을 진행하였다.

4) 2022년 기준 고압기체 수송 비용은 수송거리에 따라 차이가 발생하지만, 약 2.69-3.13 \$/kg, 배관 수송비용은 2.06-4.53 \$/kg으로 산정되었다. 충전소 비용은 고압기체 수송의 경우 2.97 \$/kg, 배관 수송의 경우 3.56 \$/kg으로 산정되었다.

5) 2030년 기준 고압기체 수송 비용은 약 2.2-2.52 \$/kg, 배관 수송 비용은 0.77-2.04 \$/kg으로 산정되었다. 충전소 비용은 고압기체 수송의 경우 2.01 \$/kg, 배관 수송의 경우 2.86 \$/kg으로 산정되었다.

6) 2040년 기준 고압기체 수송 비용은 약 2.18-2.47 \$/kg, 배관 수송 비용은 0.45-1.46 \$/kg으로 산정되었다. 충전소 비용은 고압기체 수송의 경우 2.01 \$/kg, 배관 수송의 경우 2.86 \$/kg으로 산정되었다.

이를 바탕으로 수도권 지역의 효율적인 수소 공급

방안을 도출할 수 있고, 추후 발전용(연료전지) 설치 계획 수립에 따라 지역별 발전용 수소 수요를 예측하는 데 활용될 수 있다.

후 기

본 연구는 신재생에너지핵심기술 개발 사업의 재원으로 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다(No. 20203020040050).

References

1. K. Oshiro and T. Masui, "Diffusion of low emission vehicles and their impact on CO₂ emission reduction in Japan", *Energy Policy*, Vol. 81, 2015, pp. 215-225, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.09.010>.
2. R. O'hayre, S. W. Cha, W. Colella, and F. B. Prinz, "Fuel cell fundamentals", John Wiley & Sons, USA, 2016.
3. K. W. Jung, J. W. Ahn, J. H. Bae, and J. H. Jang, "Research on building the foundation for realizing the future hydrogen economy", *Korea Energy Economics Institute Research Report*, Vol. 08-14, 2008.
4. Ministry of Trade, Industry and Energy, "Hydrogen economy revitalization roadmap", Ministry of Trade, Industry and Energy, 2019. Retrieved from http://www.motie.go.kr/motie/ne/presse/press2/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=161262&bbs_cd_n=81¤tPage=1&search_key_n=&cate_n=&dept_v=&search_val_v=.
5. Ministry of Trade, Industry and Energy, "The 3rd environmental-friendly automobile development and distribution plan", Ministry of Trade, Industry and Energy, 2015.
6. Joint Ministry, "Comprehensive measures for fine dust control", Joint Ministry, 2017.
7. J. K. Kim, S. H. Kim, and J. N. Park, "Strategic research for early settlement of a market-driven hydrogen economy", *Korea Energy Economics Institute Research Report*, Vol. 20-26, 2020.
8. J. H. Park, C. H. Kim, H. S. Cho, S. K. Kim, and W. C. Cho, "Techno-economic analysis of green hydrogen production system based on renewable energy sources", *Trans Korean Hydrogen New Energy Soc*, Vol. 31, No. 4, 2020, pp. 337-344, doi: <https://doi.org/10.7316/KHNES.2020.31.4.337>.
9. B. R. Lee, H. J. Lee, C. H. Moon, S. B. Moon, and H. K. Lim, "Preliminary economic analysis for h₂ transportation using liquid organic H₂ Carrier to enter H₂ economy society in Korea", *Trans Korean Hydrogen New Energy Soc*, Vol. 30, No. 2, 2019, pp. 119-127, doi: <https://doi.org/10.7316/KHNES.2019.30.2.119>.
10. Statics Korea, "Automobile registration data statistics", Statics Korea, 2018.
11. National renewable energy laboratory, "H2A Production Ver. 3", Department of Energy, 2012.
12. National renewable energy laboratory, "Hydrogen Delivery Scenario Analysis Model Ver. 3.1", Department of Energy, 2020.