



# 수소경제 이행을 위한 과제: 적정 수소생산 포트폴리오 결정<sup>1)</sup>

김재경 에너지경제연구원 연구위원 [fisherkjk@keei.re.kr](mailto:fisherkjk@keei.re.kr)

## 1. 「수소경제 활성화 로드맵」이행 추진 실적

작년 1월「수소경제 활성화 로드맵」이 발표된 이후 2019년 한 해 동안 로드맵의 이행을 위한 후속조치들이 잇따라 시행되었다.

먼저 수소차는 당초 2019년 보급목표인 당초 4,000대를 넘어선 5,467대(수소버스 35대 포함)가 보급된 것으로 추정된다. 특히 수소택시가 2019년 9월 국회 수소충전소 준공에 맞추어 총 10대 규모로 서울 소재 택시 업체2곳에 5대씩 배정하여 시범운행에 들어갔으며, 향후 실도로 환경에서 내구한계(20만km) 이상 운행함으로써, 핵심부품 성능 실증 및 분석을 통해 개선을 추진할 예정이다. 또한 연료전지 보급을 위한 「수소경제 활성화 로드맵」이행 차원에서 그 동안 발전용 연료전지용 가스에 적용된 “열병합용 요금” 대신 2019년 5월 1일부터 “연료전지 전용 가스요금”이 신설, 적용되었다. 이에 따라, 발전용·가정용·건물용 연료전지

에서 사용하는 가스요금이 현행 메가줄(MJ)당 13.16원에서 12.30원으로 6.5% 인하(서울시 소비자요금 기준, 부가가치세 제외)함으로써 연료전지 사업의 수익성 개선 및 운영부담 완화에 기여함으로써 연료전지 보급 추진을 도모하였다. 2019년 한 해 동안 발전용 연료전지는 2018년 설비용량 308MW 대비 70% 증가한 512MW가 보급된 것으로 추정된다. 또한 가정·건물용 연료전지는 2019년 설비용량 기준 보급목표인 6.5MW를 달성할 수 있을 것으로 보이며, 여수혁신센터 등 공공기관(5MW)을 중심으로 공공목욕탕, 타운하우스 등 다양한 민간 건물·주택(1.5MW)에도 연료전지 설치 확대를 추진 중이다.

수소차나 연료전지 등의 보급 확대와 함께 2019년 한 해 동안 수소경제 산업생태계 조정을 위한 표준화, 기술개발, 수소생산·충전인프라, 안전관리대책 등도 이루어졌다. 가령 국가기술표준원은 「수소경제 활성화 로드맵」을 기반으로 국제표준화 동향, 산업계 표준화 수요 등 대내외 표준화 동향을 고려해「수소 표준화

1) 본고는 김재경, 수소산업 육성 기본계획 및 수소연료 이행·보급 시책수립 연구, 산업통상자원부(2020)의 일부내용을 부분적으로 수정·보완한 것임.



## 이슈와 시선

### 수소경제 이행을 위한 과제: 적정 수소생산 포트폴리오 결정

전략 로드맵」을 수립, 2019년 4월에 발표하였다. 이와 함께 수소에너지 분야 국내 기술경쟁력 제고를 통해 수소경제 이행을 뒷받침하고자, 관계부처 합동으로「수소경제 활성화 로드맵」의 기본방향을 토대로 5개 대분류를 마련하고 각각의 과학기술적 산업적 특성을 고려하여 세부기술별 개발계획을 담은 「수소 기술개발 로드맵」을 수립, 2019년 10월 발표하였다.

이에 덧붙여 수소경제 이행 지원의 법적 근거인 “수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률”도 마련되었다. 2019년 7월까지 발의된 수소경제 육성, 안전, 선박 등 9개 법률안과 수소경제 육성 및 안전 관련 8개 법률안이 통합된 “수소경제 육성 및 수소안전관리에 관한 법률안”은 2019년 연내 소관위 및 법사위 의결, 본회의 상정 등을 마친 후 2020년 1월 9일 국회 본회의에서 통과가 의결되었다. 참고로 해당 법률에는 수소 기본계획 수립, 수소전문기업 육성, 저압 수소 제품·시설 안전규정, 수소충전소 설치, 인력양성, 수소경제 추진위원회 등의 내용이 포함되어 있다.

이처럼 작년 한해는 수소경제의 재차 굴기(屈起)하는 발판을 마련하기 위해 숨 가쁘게 달려온 한해로 평

가된다. 그러나 이같이 희망찬 이행실적에도 불구하고, 아직 해야 추가적인 과제는 많이 남아있다. 본고는 이러한 과제 중 특히 에너지 정책적인 측면에서 과제와 이에 대한 권고안을 제시하고자 한다.

## 2. 수소공급 측면에서의 향후과제

사실 수소경제 추진은 현 문재인 정부의 혁신성장 정책의 일환인 첨단산업 육성정책에 무게 중심이 있으며, 그만큼 수소경제의 경제적 가치가 중요하게 고려되었다고 평가된다. 그러나 에너지 정책적 측면에서는 수소차나 발전용·자가용 연료전지 등 ‘수소’를 최종에너지로 전환하는 장치인 ‘연료전지’ 산업 육성보다는 연료전지 산업의 성장으로 인해, 연료전지에 향후 투입되게 될 수소가 어떠한 방식으로 얼마나 생산·공급되는냐가 더 큰 의미를 지닐 수 있다. 그런데 현재까지 제시된 수소 생산 및 공급전략을 실제 실행하기 위해서는 다음과 같은 추가적인 과제가 존재한다.

[그림 1] 「수소경제 활성화 로드맵」의 수소 공급 확대 로드맵(요약)

|               | 2018년                        | 2022년                     | 2030년                                                         | 2040년                                                         |
|---------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 공급량<br>(=수요량) | 13만톤/년                       | 47만톤/년                    | 194만톤/년                                                       | 526만톤/년 이상                                                    |
| 공급방식          | ① 부생수소 (1%)<br>② 추출수소 (99%)① | ① 부생수소<br>② 추출수소<br>③ 수전해 | ① 부생수소<br>② 추출수소<br>③ 수전해<br>④ 해외생산<br>※ ② : 50%<br>(나머지 50%) | ① 부생수소<br>② 추출수소<br>③ 수전해<br>④ 해외생산<br>※ ② : 30%<br>(나머지 70%) |

자료: 관계부처 합동, 2019



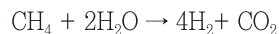
먼저 수소 활용 부문별 수소 조달계획, 특히 수소 생산방식별 포트폴리오가 구체화될 필요가 있다. 사실 수소 활용 산업인 수소차 및 발전용·자가용 연료전지 각 부문별 수소 조달계획이 부재하며, 특히 수송용 연료로서의 충전용 수소와 발전용 연료로서의 수소는 조달하는 방식이 다를 수 있으며, 이에 따라 조달 받을 수소 생산방식의 포트폴리오도 차이가 있을 수 있다. 그러나 현재 부문별 특성을 반영한 조달계획, 특히 수소 생산방식의 포트폴리오에 대한 목표나 계획이 부재하다.

다음으로 전체 수소 생산방식의 포트폴리오가 구체화될 필요가 있다. 현재 「수소경제 활성화 로드맵」에는 주요 수소 생산방식을 부생수소, 추출수소, 수전해, 해외생산 등 4가지 방식으로 구분하여 제시하였지만, 수소 수요에 대응하기 위해 각 방식별 공급비중 목표는 추출수소 비중만 2030년 50%, 2040년에는 30%로 규정하였으며, 나머지는 모두 그린수소로 묶뚱그러서 2030년 50%, 2040년 70%로 설정되어 있다. 더욱이 심지어 2022년의 경우에는 추출수소 비중마저도 설정되어 있지 않아, 2022년까지 약 5만톤 정도의 부생수소 공급을 제외한 42만톤의 수소가 어떤 방식으로 공급될지 현재로서는 추정하기 어렵다. 이에 덧붙여 소위 ‘그린수소’로 분류된 수전해 방식과 해외수입 간의 공급 비중 배분 역시 설정되어 있지 않다. 다시 말해 2040년경에는 70% 즉, 약 368만톤 이상의 수소를 이산화탄소가 배출되지 않는 그린수소로 공급하겠다는 의지를 표명하였지만, 구체적으로 어떤 그린수소를 얼마나 공급할지는 아직 목표나 계획이 분명하지 않다. 결국 2020년에는 수소 활용 부문별 수소 조달계획 수립을 통해 전체 “수소 생산방식의 포트폴리오의 구체화”를 달성해야 한다.

### 3. 수소 생산방식의 포트폴리오 결정을 위한 정책목표

수소 생산방식의 포트폴리오를 결정하기 위해서는 이를 통해 추구하고자 하는 사회적으로 가치가 있는 정책 목표를 선행적으로 식별하고 나아가 이를 구체화, 정량화하여 반영할 필요가 있다. 이러한 정책 목표로서 수소 생산 전과정에서 온실가스 배출을 최소화하는 “수소생산의 탈탄소화”와 수소충전소 기준으로 수소 공급가격을 최소화하는 “경쟁 가능한 수소가격”을 제안한다.

먼저 정부는 수소경제 이행 추진의 정당성을 경제적 가치뿐만 아니라 수소 활용을 통한 에너지 소비의 탈탄소화로 온실가스 감축과 미세먼지 저감 등 환경적 가치에도 두고 있다고 설명하였다. 이를 위해서는 선행적으로 현재와 같이 천연가스 추출방식 수소생산 확대를 추진이 지닌 온실가스 배출문제를 해결이 과제로 남는다. 사실 천연가스 수소 추출방식의 가장 보편적 기반이 되는 화학적 반응인 ‘수증기 메탄 개질(Steam Methane Reforming: SMR) 반응은 메탄(즉, 천연가스)과 700℃이상의 고온의 수증을 촉매 반응시켜 수소를 생산하는 흡열 반응으로서, 다음과 같은 반응식에 기초한다.



이러한 반응식에서 확인할 수 있듯이, 천연가스 1개 분자로 수소 분자 4개와 이산화탄소 1개 분자가 생산되기 때문에, 수소 1개 분자 당 1/4개의 이산화탄소가 생성되어 이론적으로 100% 효율 상정 시 수소 1kg 생산할 때 5.5kg의 이산화탄소가 발생한다. 물론 효율이 100%는 아니기 때문에 수소 1kg을 생산할 경우 이산화탄소 8.6kg~9.8kg이 배출되는 것으로 추



## 이슈와 시선

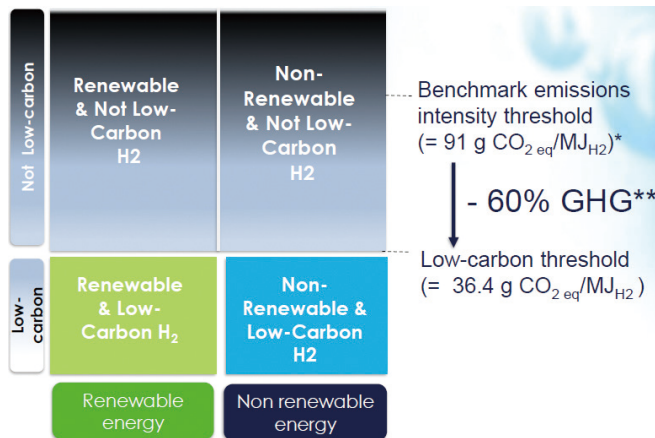
수소경제 이행을 위한 과제: 적정 수소생산 포트폴리오 결정

정된다. 물론 천연가스 추출방식의 이산화탄소 배출량 자체가 석탄 등 다른 탄화수소를 활용하는 수소 추출 방식에 비해서 문제가 되는 것은 아니며, 미세먼지나 미세먼지 전구물질 배출 문제는 상대적으로 적은 것으로 알려져 있다. 그럼에도 불구하고 수소 생산방식 중 유독 천연가스(메탄) 수소 추출방식이 온실가스 배출 문제의 중심에 있는 이유는 현재 천연가스 추출방식으로 수소생산을 단기적으로 확대하는 정책을 추진하기 때문이다.

그래서 수소 생산방식의 포트폴리오를 “수소생산의

탈탄소화”를 달성하는 방향으로 구체화할 필요가 있다. 이때 수소 생산방식을 단순히 생산과정에서의 온실가스 배출만을 평가하는 것으로는 부족할 수 있다. 대신 유럽연합(EU)에서 추진하고 있는 그린수소 인증제도(CertifHy Guarantee of Origin(GO)), 보다 정확하게는 그린수소 원산지 표시제도에서 활용하고 있는 “CertifHy 프리미엄 수소”의 획정방식을 참조하여 수소 생산방식에 대해 수소의 원료 생산과정까지를 포함하여 수소 생산의 전과정적으로 발생하는 온실가스 배출을 평가하는 것이 바람직하다.

[그림 2] EU CertifHy 프리미엄 수소 인증기준



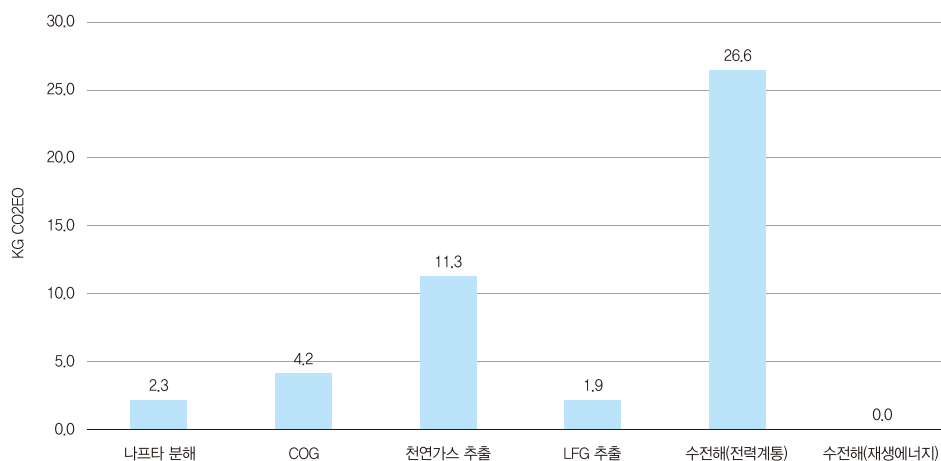
자료 : CertifHy, 2016; 김재경, 2018

참고로 Yoo et al.,(2018)의 국내 주요 생산방식별 전과정 온실가스 배출량 분석 결과, 수소 1kg 생산 시 매립지 가스(LFG 가스) 추출수소가 1.9kg, 납사 분해 공정 부생수소 2.3kg, 석탄오븐가스(COG) 추출수소 4.2kg 등이 상대적으로 온실가스 배출이 적은 저탄소 수소로 밝혀졌다. 반면 천연가스 추출수소는 수소 1kg 생산 시 11.3kg이 배출되며, 전력 계통 전기를 활용한

수전해 수소는 26.6kg이 배출하는 것으로 나타났다. 물론 재생에너지 연계 수전해 수소는 배출량이 0kg이다. 결국 “수소생산의 탈탄소화”를 위해서는 천연가스 추출수소나 전력계통 연계 수전해 수소 등의 생산 확대를 가능하면 지양할 필요가 있다. 대신 다양한 저탄소 수소와 재생에너지 연계 수전해 수소 생산 확대를 통해 이를 대체해 나가야 한다.



[그림 3] 수소의 주요 생산방식의 전과정 온실가스 배출량



자료: Yoo et al., 2018; 저자 일부수정

다음으로「수소경제 활성화 로드맵」은 “수소차 및 연료전지 세계시장 점유율 1위 달성”을 목표로 수소차와 발전용·자가용 수소 연료전지 등 수소 활용산업에서의 시장창출과 육성에 우선적인 중점을 두고 있다. 이를 위해서 자연스럽게 수소차와 발전용·자가용 수소 연료전지의 국내 보급 확대가 필수적이다. 이때 수소차가 보급되기 위해서, 즉 자동차 소비자들에게 수용되기 위해서는 적어도 수소차와 대체 관계에 있는 유사내지 동급 차종, 특히 경유 자동차의 연료비용보다는 충분히 낮은 수준이 되도록 수소 충전요금(수소 판매단가)이 설정될 필요가 있다. 다시 말해 다른 휘발유, 경유, 수송용 전기 등 다른 수송연료와 경쟁 가능한 수준으로 수소 충전요금을 인하하는 것이「수소경

제 활성화 로드맵」의 이행에 필수 조건이다. 그리고 수소차 충전소 민간 운영사업자의 수익성까지 감안한다면, 수소 충전요금(수소 판매단가)의 인하 여지는 수소 생산단가 및 이송단가로 이루어진 충전소 공급가격에서 찾을 수밖에 없다. 이러한 견지에서「수소경제 활성화 로드맵」은 수소충전소 공급가격(도매가격) 기준으로 2022년에는 시장 초기 가격이라 할 수 있는 6,000원/kg을 목표로 하며, 추후 2030년에는 4,000원/kg, 2040년에는 3,000원/kg으로 인하할 계획을 제시하였다. 이를 감안하여 수소 생산방식의 포트폴리오 목표 수립을 위한 정책 목표로서 수소충전소 기준으로 수소 공급가격을 최소화하는 “경쟁 가능한 수소가격”을 제안한다.



## 이슈와 시선

수소경제 이행을 위한 과제: 적정 수소생산 포트폴리오 결정

〈표 1〉 수소방식별 생산비용 전망

(단위: 원)

| 생산방식    | 2018년        | 2022년       | 2030년       | 2050년       |
|---------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 부생수소    | 1,500~2,000  | 1,500~2,000 | 1,500~2,000 | 1,500~2,000 |
| 천연가스 추출 | 2,700~5,100  | 2,600~4,800 | 2,500~4,300 | 2,400~3,900 |
| 수전해     | 9,000~10,000 | 7,000~8,000 | 3,000       | 2,000       |
| 수입      | -            | -           | 3,000       | 2,000       |

자료: 김재경, 2019

물론 “수소생산의 탈탄소화”와 “경쟁 가능한 수소가격”이란 두 가지 정책 목표를 달성하는 적정 수소 생산 방식의 포트폴리오를 결정하는 것은 쉽지 않다. 그러나 성공적인 수소경제 안착을 위해서는 반드시 필요하다.

### 3. 적정 수소 생산방식의 포트폴리오 권고안

사실 현재까지 계획된 수소 조달계획 들을 토대로 추정된 수소 생산방식 포트폴리오는 천연가스 추출방식의 비중이 2018년 99.9%, 2022년 96%에서 2030년 83%이며, 심지어 2040년 78.%로 감소하기는 하지

만, 절대적인 비중을 차지하는 것은 분명하다.

그래서 만일 적정 포트폴리오를 수립하고 이를 달성하기 위한 노력을 하지 않는다면, 2030년을 넘어 심지어 2040년에도 수소 공급의 절대량은 여전히 천연가스 추출방식에 의존할 수밖에 없게 된다. 그리고 이러한 현상의 근저에는 수소 수요의 절대적 비중을 차지하는 발전용 연료전지 부문이 아직 천연가스 추출방식에 의존적이며, 적어도 현재까지는 이를 전환할 구체적인 계획을 제시하지 않고 있다는데 있다. 다만, 적어도 현재까지는 2020년 준공예정인 남사 분해공정 부생수소를 활용하는 50MW급 대산그린에너지(주)의 연료전지 발전소가 현재 예측 가능한 발전용 연료전지 부문에서의 남사 분해공정 부생수소 소비의 전부이다.

〈표 2〉 수소 생산방식의 포트폴리오(BAU)

| 구 분  | 부생수소    | 추출수소 | 수전해  |        | 수입 수소 | 합계   |
|------|---------|------|------|--------|-------|------|
|      | 남사 분해공정 | 천연가스 | 전력계통 | 재생 에너지 |       |      |
| 2018 | 0.1%    | 100% | 0%   | 0%     | 0%    | 100% |
| 2022 | 10%     | 96%  | 0%   | 0%     | 0%    | 100% |
| 2030 | 3%      | 83%  | 0%   | 2%     | 10%   | 100% |
| 2040 | 2%      | 78%  | 0%   | 2%     | 9%    | 100% |



[그림 4] 대산그린에너지(주)의 연료전지 발전소 조감도



자료: 월간수소경제, 2019

이를 감안하여 본고는 수소 생산방식별 공급 가용량 제약조건을 고려하면서, 정책목표로 제안한 수소 생산 전과정에서 온실가스 배출 최소화(“수소생산의 탈탄소

화”)와 수소 공급가격 최소화(“경쟁 가능한 수소가격”)를 달성할 수 있는 다음과 같은 적정 수소 생산방식의 포트폴리오를 산정하여 권고하고자 한다.

〈표 3〉 적정 수소 생산방식의 포트폴리오(권고안)

| 구 분  | 부생수소    | 추출수소 | 수전해  |        | 수입 수소 | 합계   |
|------|---------|------|------|--------|-------|------|
|      | 납사 분해공정 | 천연가스 | 전력계통 | 재생 에너지 |       |      |
| 2018 | 0.1%    | 100% | 0%   | 0%     | 0%    | 100% |
| 2022 | 10%     | 90%  | 0%   | 0%     | 0%    | 100% |
| 2030 | 16%     | 50%  | 14%  | 10%    | 10%   | 100% |
| 2040 | 5%      | 30%  | 1%   | 7%     | 57%   | 100% |

우선 2022년까지는 부생수소 약 10%와 천연가스 추출수소 90%로 구성되지만, 2030년까지 천연가스 추출수소 비중을 50%로 낮춘 만큼 다양한 생산방식들의 공급 비중이 상승함으로써 생산방식의 다각화가 이

루어져야 한다. 특히 상대적으로 저탄소 납사분해 공정 부생수소가 15.5%로 확대되며, CO<sub>2</sub> free 한 재생 에너지 연계 수소의 비중이 9.6%까지 확대되어야 한다. 다만, 부생수소와 재생에너지 연계 수소의 공급 제



## 이슈와 시선

수소경제 이행을 위한 과제: 적정 수소생산 포트폴리오 결정

약을 감안하여, 부족한 수소 공급 물량은 전력 계통 연계 수소가 일정 비중(13.7%)을 담당해주어야 한다. 한편 2040년까지 천연가스 추출수소 비중이 목표에 따라 30%까지 낮아지는 대신, 줄어든 공급 물량의 대부분(56.6%)은 해외로부터 수입되는 CO<sub>2</sub> free 수소가 담당하는, 다시 말해 천연가스 추출수소가 해외 수입 수소로 대체되어야 한다. 이처럼 CO<sub>2</sub> free인 해외 수입수소의 확대에 의해 온실가스 배출에서 상대적인 열위에 있는 저탄소 납사분해 공정 부생수소가 5.3%로 축소될 필요가 있다. 비록 이 때문에 재생에너지 연계 수소의 비중도 6.7%로 축소 공급되지만, 시장규모 확대에 예상 공급물량은 오히려 2030년 거의 2배로 확대될 수 있을 것으로 예상된다.

결국 이처럼 2040년까지 천연가스 추출수소 의존도를 낮추기 위해 납사 분해공정 부생수소나 수전해 수소, 나아가 해외 수입수소로 전환할 수 있도록 수소를 직접 사용하는 발전용 연료전지 시설 구축확대가 필요하다. 이를 유도하기 위해 '친환경 CO<sub>2</sub>-free 수소 인증제 도입과 함께 이와 연계된 발전용 연료전지의 REC 가중치 조정 등도 검토해볼만하다.

### 〈외국 문헌〉

CertifHy, Roadmap for the establishment of a well-functioning EU hydrogen GO system, 2016

Yoo, E., M. Kim and H.H.Song), Well-to-wheel analysis of hydrogen fuel-cell electric vehicle in Korea, International Journal of hydrogen energy, 43, 2018, 19267-192

## 참고문헌

### 〈국내 문헌〉

관계부처 합동, 수소경제 활성화 로드맵, 2019

김재경, 친환경 CO<sub>2</sub>-free 수소생산 활성화를 위한 정책 연구, 2018

김재경, 수소경제 활성화 로드맵 수립 연구, 산업통상자원부, 2019

월간수소경제, “부생수소 연료전지발전소가 뜬다”, 2019.9.2.