

## 다가온 미래, 세계 최고수준 수소경제 선도국가로의 도약 - 「수소경제 활성화 로드맵」의 의미와 시사점 -

배 지 영 (민주연구원 연구위원, 경제학 박사)

문재인 대통령은 최근 산업구조의 혁명적 변화를 촉진하는 수소경제 로드맵을 제시하고 이를 혁신성장의 동력으로 육성, 세계 선도국가로 도약할 것을 천명하였다. 관련하여 산업부는 수소 경제가 2040년에는 연간 43조원의 부가가치와 42만개의 고용을 창출하는 성장 원동력이 될 것임을 밝혔다. 수소경제 로드맵은 온실가스 저감, 기후변화 극복, 미세먼지 해결이라는 국정과제를 이행하고 혁신성장과 친환경 사회로의 가속화를 위한 주요 동력이 될 것으로 기대된다. 이에 본고는 「수소경제 활성화 로드맵」의 의미와 시사점을 짚어보고 수소 사회로의 성공적 이행을 위한 정책적 고려사항을 논의하고자 한다.

수소경제 로드맵은 제조업 대표기업의 글로벌 경쟁력에 기반하여 우리나라 주력산업의 활로를 뚫는 대표적 산업정책이자 세계시장 선점을 위한 과감한 도전이라고 할 수 있다. 수소차와 수소연료전지 부문은 전략적 육성을 통해 우리나라 제조업 대표기업의 글로벌 경쟁력 제고에 기반한 세계시장 선점 및 혁신성장 동력 확보가 가능한 분야이다. 또한 수소에너지개발은 에너지시스템의 혁명적 전환에 필수적인 재생에너지 보급 확대에 기여하여 에너지·기후변화 관련 계획을 상호 보완하는 시너지 효과가 기대된다. 무엇보다 태양광과 풍력발전에 기반한 전력생산의 증가가 예상되는 가운데 전력계통의 안정성을 저해하는 요인인 간헐성 문제의 보완이 가능하다. 그러나 수소의 친환경성을 살리고 진정한 수소경제로 도약하기 위해서는 수소의 생산방식 선정에 있어서 경제성과 기술수준, 수요전망 등을 감안하되, 장기적으로는 온실가스 배출 등 오염물질 최소화를 위한 '그린 수소' 생산의 점진적 확대가 필요하다. 또한 타 에너지 계획들과의 정책적 정합성을 고려, 수소에너지 공급 확대가 여타 재생에너지원과의 전원구성상 밸런스를 조정할 필요가 있다. 수소경제로의 전환을 통한 경제성장 동력창출을 위해, 민간의 참여를 적극 유도하고 에너지·기후변화 계획 등 정책과제간 시너지를 낼 수 있도록 체계적 지원 시스템 수립이 필요하다.

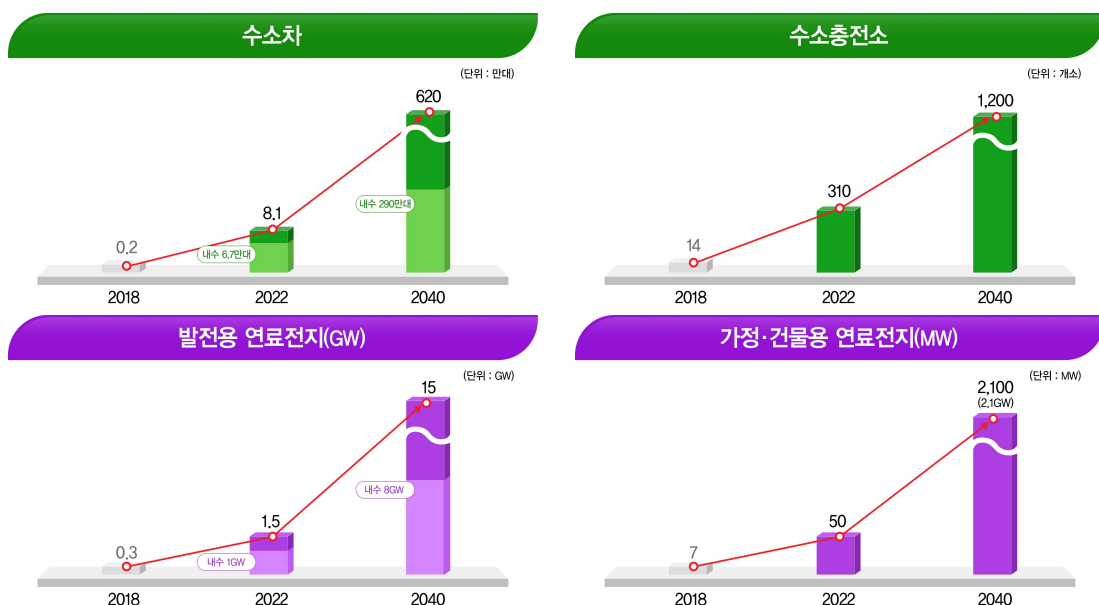
♣ 이 글의 내용은 집필자의 의견이며, 민주연구원의 공식 견해가 아님을 밝힙니다.

### 1. 수소경제 활성화 로드맵: 비전과 개요

□ 문재인 대통령은 산업구조의 혁명적 변화를 촉진하는 수소경제 로드맵을 제시하고 이를 혁신성장의 동력으로 육성, 세계 선도국가로 도약할 것을 천명

- 문재인 대통령은 17일 수소경제와 관련하여 ‘국가 에너지 시스템을 근본적으로 바꾸면서 신 성장동력을 마련할 절호의 기회’라고 강조
- 문 대통령은 울산에서 열린 ‘수소경제 전략보고대회’에서 수소경제는 ‘대한민국 경제의 새로운 도전이자 울산경제의 새로운 희망’이며 ‘에너지원을 석탄과 석유에서 수소로 바꾸는 산업 구조의 혁명적 변화’라고 언급
  - ‘수소 활용 분야에서 이미 세계적 기술을 확보’하고 있으며 ‘수소의 생산, 저장, 운송, 활용 전 분야에 걸쳐 새로운 산업과 일자리를 창출’ 강조
- 산업통상자원부는 ‘세계 최고수준의 수소경제 선도국가로 도약’하기 위한 「수소경제 활성화 로드맵」을 발표, 수소 경제가 2040년에는 연간 43조원의 부가가치와 42만개의 고용을 창출하는 혁신성장 원동력이 될 것으로 기대
- 수소경제 활성화 로드맵의 주요 내용은 우리나라가 강점이 있는 수소차와 연료전지를 양대축으로 수소경제를 선도할 수 있는 산업생태계를 구축하는 것임
  - 수소차) 2040년까지 수소연료전지 자동차(FCEV) 누적생산량을 620만대(수출 330만대)
  - 수소 연료전지) 이산화탄소 배출이 없고 도심에 소규모 설치가 가능하여 친환경 분산전원으로 부상하는 발전용 연료전지 생산 규모를 15GW 이상 확대
  - 수소 충전소) '18년 14개에서 '40년 1,200개소로 확대
  - 수소 대중교통) 수소버스는 '19년 35대에서 '40년 4만개, 수소택시는 현 시범사업 단계에서 '40년까지 8만대
  - 그린 수소) CO2 Free 그린 수소 비중을 '18년 13만톤에서 '40년 526만톤 이상으로 확대, 수소 저장방식 다양화 및 전국적 파이프라인 공급망 구축

#### <수소 모빌리티 및 연료전지 보급 계획>



(출처: 산업자원부 보도자료, 2019.1.17)

- 이러한 수소경제 로드맵은 온실가스 저감, 기후변화 극복, 미세먼지 해결이라는 국정과제를 이행하고 혁신성장과 더불어 친환경 사회로의 가속화를 위한 주요 동력이 될 것으로 기대
- 수소를 통한 에너지원 다변화는 수소연료전지를 활용한 재생에너지 발전 보완 등 에너지전환의 이행과 이산화탄소 배출 감소 등 기후변화 대응과정에 기여할 것
- ※ 수소는 석유와 같은 지역적 편중이 없는 보편적인 에너지원이어서 자원확보에 따른 국가간 갈등요소가 없고 사용에 따른 부산물이 물(H<sub>2</sub>O)인 친환경 에너지
- 그러나 수소에너지를 중심으로 에너지 시스템이 전환되기 위해서는 연료전지의 기술 수준 및 안정성·경제성 제고, 친환경 수소의 공급확대, 인프라 구축 등의 과제가 남아있음
- 또한 재생에너지 3020에 따른 에너지원 믹스 비율과 수소경제 로드맵이 상호 조정되는 과정에서 적절한 밸런스를 유지해야 할 것으로 보임

□ 본고는 문재인 대통령이 지난 1월 17일에 주창한 「수소경제 활성화 로드맵」의 의미와 시사점을 짚어보고 수소사회로의 성공적 이행을 위한 정책적 고려사항을 논의하고자 함

## 2. 수소경제 로드맵 의의: 혁명적 산업정책을 통한 경제성장과 에너지전환 가속화

□ 수소경제 로드맵은 우리나라 제조업 대표기업의 글로벌 경쟁력에 기반하여 우리나라 제조업의 활로를 뚫는 대표적 산업정책이자 세계시장 선점을 위한 과감한 도전

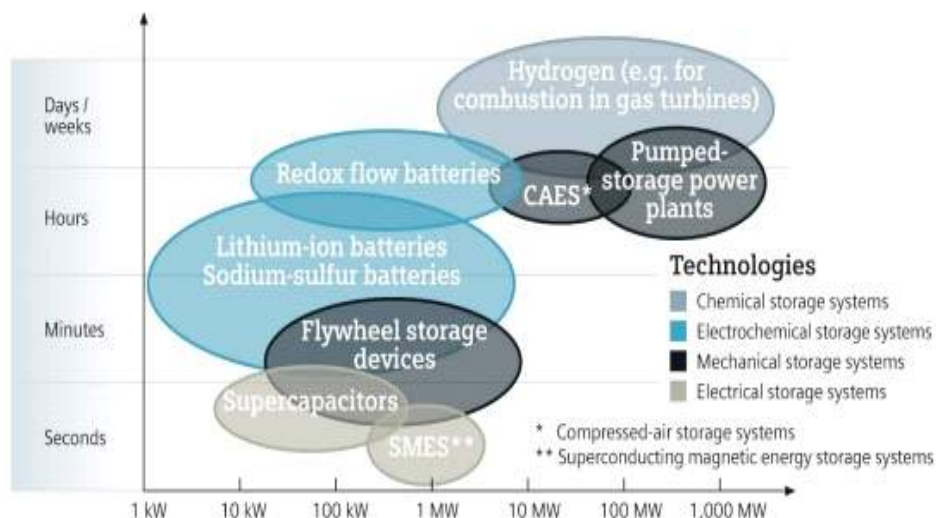
- 수소 부문에서 글로벌 경쟁력과 성장잠재력을 갖추고 있는 현대자동차 그룹을 필두로, 주력산업의 활로를 찾고 정부가 추진하는 혁신성장의 동력을 확보할 수 있을 것으로 기대
- 한국은 세계 최초로 수소차 상용화에 성공하여 수소기술 국제표준분야에서 성장잠재력이 높아 국제표준기술을 선점하는 경우 지배적 영향력 행사 가능
- 수소차) 현대자동차\* 그룹의 수소차가 경쟁국(독일과 일본) 기술에 비해 상대적으로 앞서 있어 글로벌 시장선점에 유리
- 수소전지) 수소연료전지\*\* 부문은 연료전지 스택 등 핵심부품 국산화에 성공하는 등 경쟁력을 갖추고 있어 이를 퍼스트 무버\*\*\*로 육성한다는 전략
- \* 현대자동차는 1998년부터 수소차를 연구·개발, 2013년 세계 최초로 양산체제 구축에 성공, 2018년부터 수소전기차 넥쏘 판매·수출
- \*\* 수소를 연료로 사용하는 연료전지(fuel cell)는 수소와 산소의 화학반응을 통해 전기에너지를 발생시키며 현대자동차는 세계 최초로 수소연료전지시스템 대량생산체제 구축
- \*\*\* 퍼스트 무버(first mover) 전략에서는 모방에 기초한 기존의 패스트 팔로어(fast follower) 패러다임으로는 선진국으로의 도약이 어려우므로 선제적 기술 우위확보 및 시장 선점을 강조

- 태양광과 풍력발전 사업에 비해 수소 부문은 정부 지원에 따른 글로벌 경쟁력 제고효과가 더 클 것으로 기대
  - 태양광 산업의 경우 중국계 기업이 글로벌 시장을 장악하여 전세계 태양광 패널 상위 10개 기업 중 등 7개가 중국기업(국내 기업은 1개)이며, 풍력 산업의 경우에도 유럽과 중국기업이 강세를 보이는 가운데 과거 일부 국내기업이 풍력발전시장에 진출하였으나 수년간 친원전 정책 영향으로 위축된 상태
- 한국의 주력산업인 제조업 분야의 경쟁력 제고가 절실한 현 시점에서 세계 최고수준의 수소경제로 도약한다는 산업전략은 선제적·공격적 산업 육성 및 미래 먹거리 확보라는 큰 의미가 있음

□ 수소보급 확대는 에너지시스템의 혁명적 전환에 필수적인 재생에너지 보급 확대에 기여하여 에너지·기후변화 관련 국정과제들을 상호 보완, 시너지 효과 기대

- 재생에너지 3020 계획 등 태양광과 풍력발전에 기반한 전력생산의 증가에 대비하여 수소에너지 기술·제품개발을 통해 재생에너지 발전의 특성인 간헐성(기후·기상여건에 따른 전력생산 변동) 문제를 보완
  - 기상에 영향을 받는 태양광·풍력발전 설비의 발전비율이 높아질 수록 계통에 연결되지 못하여 가동이 중지되는 유희전력이 증가하여 전력계통 안정성을 저해하는 간헐성 문제가 대두
  - 이에 재생에너지원의 보급확대로 인한 간헐적 특성을 보완하기 위해 유희전력을 비축·저장하고 필요할 때 사용하기 위한 매개체로 수소와 수소연료전지가 주목받고 있음
  - 수소는 저장이 용이하고 저장시 높은 에너지밀도를 가지므로 변동성이 큰 재생에너지 전력저장에 용이, 특히 MW급 이상의 대용량 에너지 저장에 가장 적합하다는 장점이 있음
  - 즉 재생에너지 잉여전력을 장기간 저장·이용하는데 양수발전이나 이차전지에 비해 수소에너지 저장(H-ESS) 방식이 큰 장점을 보유

<에너지저장시스템(ESS)의 강도와 세기 - 수소에너지 비교



(출처: Siemens, 2014)

- 수소관련 산업분야 및 연관 부문에서 일자리 창출 및 전후방 산업연관효과 뿐 아니라 내연기관차의 이산화탄소 배출감소 등 글로벌 환경 규제 강화 추세 속에서 수소차·수소전지분야의 시장 선점은 수출 등 국민경제의 파급효과가 클 것으로 기대
- 전 세계적으로 2050년 수소관련 전 산업 분야에서 연간 2조5000억 달러의 시장가치와 3000만개 이상의 고용창출 전망(수소위원회, 2017)
- 수소산업 로드맵 이행 시, 2050년 수소 수요는 1700만 톤으로 전체 에너지 수요의 21%를 대체하고, 국내 수소 관련산업으로 인한 경제효과는 70조원 추산(국회신재생에너지포럼, 2018)
- 향후 세계 에너지 수요 전망에 있어서 에너지 효율성 향상이 지속된다고 가정하더라도 2050년까지 정보통신기술(ICT) 부문에 대한 에너지 수요는 두 배 증가할 것으로 예상되며, 이를 감당하기 위한 재생에너지의 저장 및 운반에 있어서도 수소연료전지 시스템이 중요한 역할을 담당할 것

### 3. 정책제언: ‘그린 수소’ 확대 및 유관계획간 정합성 제고 필요

#### □ 수소 생산방식에 있어서 경제성과 기술수준, 수요 등을 감안하되, 장기적으로는 온실가스 배출 등 오염물질 최소화를 위해 ‘그린 수소’ 생산의 점진적 확대 필요

- 공해가 발생하지 않는 청정 수소, 즉 ‘그린 수소’(Green Hydrogen) 생산에 이르기까지는 수소 제조시 소량의 온실가스가 발생하는 과도기적 시점을 거치게 되며, 이후 경제성 및 기술수준을 고려하여 그린수소 비중의 점진적 확대 필요
- 수소에너지는 사용과정에서는 물만 배출되는 친환경 에너지이나 제조방식에 있어서 현 부생수소 중심의 수소 제조방식은 이산화탄소, 즉 온실가스가 일부 배출되는 문제가 있음
- 수소의 제조방식은 크게 화석연료를 원료로 이용하는 방법과 비화석에너지(주로 물)를 이용하는 수전해(water electrolysis) 기술 적용방식이 있으며, 현재는 석유화학·제철단지에서 산업공정 중 나오는 수소혼합가스에서 수소를 분리하는 부생수소 생산 중심
  - 부생수소 이용 생산량은 현 수소생산량 164만톤의 95%를 차지
- 현재 상용화된 수소연료전지 발전시스템의 수소 공급도 화석연료(주로 LNG) 개질로 이루어지고 있어 온실가스 발생, 수소 에너지의 장점이 활용되지 못함
  - 천연가스 개질을 통한 수소제조는 수소 1kg 생산시 약 5kg의 이산화탄소 배출
- 정부는 국내에서 생산되는 부생수소(2016년 기준 164만톤) 중 약 5만톤의 부생수소를 수소경제 준비물량으로 활용하고, CO2가 배출되지 않는 재생에너지 기반 ‘그린 수소’를 현 13만톤에서 2040년 526만톤으로 확대하겠다는 계획
- 수소에너지가 활성화 될 경우 장기적으로는 화석연료사용 일부를 대체하여 이산화탄소 배출이 감소될 것으로 기대

- 전세계적으로 2050년경 수소에너지는 수소차의 공기정화효과로 연간 32억톤의 이산화탄소 배출량 감축 전망, 또한 수소차 주행 중 미세먼지 저감 효과도 클 것으로 보임

### ○ 재생에너지 발전과의 연계, 수전해 기술개발, 수소에너지저장시스템(HESS)의 효율성 제고를 위한 R&D에 집중할 필요

- 수소의 제조, 저장, 이용 기술 중 타 에너지원과의 경쟁과 기술의 적용성·다양성 측면을 고려할 때 수소 '제조'방식과 관련된 기술이 중요
- 화석연료기반 제조방법은 경제성이 높으나 천연가스 개질 등의 과정에서 온실가스가 배출되므로 재생에너지 발전과 연계한 수전해 기술사용이 환경적 측면에서 가장 이상적
- 그러나 수전해 기술의 경우 아직 선진국 대비 미흡한 수준이어서 정부는 수소경제 로드맵상의 초기에는 부생수소 중심으로 운영하고, 이후 수전해 기술을 확보·상용화한 다음 신재생에너지 잉여전력과 연계 및 수입을 통해 수소 보급을 확충한다는 계획
- 수소제조방법에 있어서 궁극적으로는 재생에너지에 기반하여 수전해 기술로 수소를 제조하고 이를 다시 연료전지를 통해 전기로 전환하는 에너지순환이 가능하도록 해야하며, 관련 에너지 저장시스템(ESS)의 효율을 높이는 연구개발이 시급
- 이러한 재생에너지와 연계된 수소에너지저장시스템(HESS) 효율증대를 위한 기술개발은 수소생산방식의 경제성과 환경성, 안정성을 강화시켜 수소경제 정착에 중요한 역할을 할 것

### □ 타 에너지 계획들과의 정책적 정합성을 고려, 수소에너지 공급 확대가 여타 재생에너지원과의 전원구성상 밸런스를 조정할 필요

- 수소경제 로드맵의 구체적 추진계획 상에서 온실가스 감축목표 뿐 아니라 재생에너지 3020, 제8차 전력수급기본계획, 제3차 에너지기본계획 등 주요 정책계획간 조율 및 정합성 제고 필요
- 수소에너지의 확대는 연료전지를 이용, 가정·산업, 수송, 발전용 기기 등 소비부문의 에너지원으로 이용되며 전원구성상의 재생에너지 비중에도 직간접적 영향을 미칠 것으로 예상됨
- 수소에너지는 수소경제로드맵의 초기에는 이산화탄소를 배출하나 전반적으로 수소에너지보급 확대를 통한 온실가스 감축 효과가 있다는 점에서, 수소경제 로드맵은 온실가스 감축 로드맵, 기후변화대응 기본계획과도 밀접하게 연계되어 있음
- 풍력 및 태양광 등 재생에너지 발전원의 효율성 및 경제성 제고 또한 수소연료전지 시스템상의 효율성과 연계되어 있어, 재생에너지 3020 및 제3차 에너지기본계획과 수소경제 로드맵 간 상호 정합성이 중요
- 수소시장 형성의 초기단계에서 이러한 장기적 비전을 가진 정책들이 일관성있게 추진되고 상호 연계지점이 체계적으로 조율되고 시너지가 제고되도록 면밀한 정책수립 필요

#### <수소경제 로드맵과 연관된 에너지·환경·기후변화 관련 계획>

- **재생에너지 3020 이행계획**: 2030년 재생에너지 발전 비중 20% 달성, 재생에너지 설비용량을 2030년 63.8GW 보급, 신규설비용량 97%를 태양광·풍력 공급(2017.2)
- **2030 온실가스 감축 로드맵**(2016.12): 2030년 목표 배출량 5억 3,600만톤 달성(8억 5천만톤 BAU 대비, 37% 감축), 전환(발전, 집단에너지) 부문에서는 미세먼지 저감과 친환경에너지로의 전환정책을 반영하여 약 2,400만 톤 감축
- **제8차 전력수급 기본계획**(2017~2031): 수요관리 중심으로 전환, 재생에너지 변동성 문제 보완, 신재생에너지와 LNG발전 비중 확대. 발전설비 계획 등
- **제1차 기후변화대응 기본계획**(2017~2036): 탄소포집·저장 및 자원화(CCUS)를 통한 CO2감축 및 자원 활용, ESS 활성화, 친환경차 이용의 편의성 제고 및 인센티브 마련 등(2016.12발표)
- **제3차 에너지기본계획**(2019~2040): 수소에너지, 수소경제 로드맵 반영(올해 초 발표 예정)

## 4. 맺음말

### □ 수소경제로의 전환을 통한 경제성장 동력창출을 위해서는 민간의 참여를 적극 유도하고 에너지·기후변화 계획 등 정책과제간 시너지를 낼 수 있도록 체계적 지원 시스템 수립 필요

- 수소경제로의 이행은 석유중심의 중앙집중형 에너지 시스템의 혁명적 변화를 촉진하고 재생에너지 확대와 분산전원에 필요한 기술·산업 역량제고를 촉진할 것으로 기대
- 수소기반 에너지는 국내외 환경 변화와 기술적 불확실성에도 불구하고, 선진국들이 화석연료의 환경적·기술적·비용적 한계로 인해 수소에너지의 경제효과를 주목하고 있음을 고려하여 정부의 적극적 지원·육성책이 필요한 시기
- 수소경제의 안착을 위해 정부가 초기에 수소 산업을 주도적으로 육성하되 민간참여를 확대하여 시장의 불확실성을 감소·분담할 필요가 있으며, 관련업계가 주도적으로 수소차 및 연료전지 부문에 지속적으로 투자할 수 있도록 관련기술 R&D, 실증사업상용화, 민관 컨소시엄 구성 등 유기적 협력체계를 구축·지원해야 함
- 특히 수전해기술 개발과 연료전지 시스템이 재생에너지 부문과 연계되어 재생에너지 보급확대에 따른 전력계통의 간헐성 문제를 해결하고 안정적 전력공급이 가능하도록 유관기술의 연구개발지원 필요
- 정부는 수소경제 로드맵의 이행과정에서 컨트롤 타워 역할을 도모하고 법제를 정비하는 등 종합적 지원책을 일관성있게 수립·이행하고 각종 에너지·기후변화 계획들과의 정합성을 높이는 방향으로 구체적인 추진전략을 제시해서 주요 국정과제 간 시너지 효과를 제고할 필요

## 참고자료

- 산업연구원, “신에너지 시대를 여는 수소산업의 성장가능성과 발전과제”, 정책자료 2016-278, 2016.
- 산업통상자원부, “세계 최고수준의 수소경제 선도국가로 도약”, 보도자료, 2019.1.17.
- 산업통상자원부, 「재생에너지 3020 이행계획」, 2017.
- 이투뉴스, “맥킨지 “2050년 수소가 국내 에너지 21% 대체”. 2018.12.06.
- 에너지경제연구원, “미래 수소경제 실현을 위한 기반구축 연구”, 2010.
- 에너지경제연구원, “차세대 에너지공급시스템 기반 구축 연구 : 미래수소경제 경쟁력 확보를 위한 수소 공급가격 및 공급방안 연구”, 에너지경제연구원 연구정책세미나, 2011.
- 중앙일보, “수소경제 활성화 “2040년 연 43조원, 42만개 일자리 창출”, 2019.01.17.
- 국회신재생에너지포럼, “국내 수소경제로드맵, 어떻게 구축할 것인가”, 정책토론회 자료집, 2018.12.06.
- 투데이에너지, “수소 수요, 2030년 최대 700만톤까지 확대”, 2018.09.20.
- 한국환경산업기술원, “수소에너지를 통한 기후 변화 대처”, ‘독일 수소 위원회’ 보고서 요약분석, 2017.
- 환경부, “2030 온실가스 감축 로드맵 수정안 및 2018~2020년 배출권 할당계획 확정”, 보도자료, 2018.7.24.
- Hydrogen Council, “Hydrogen could contribute to 20% of CO2 emissions reduction targets by 2050”. 2017. 11.13.
- Hydrogen Council, “Hydrogen meets Digital”, 2018.09.13.
- Hydrogen Council, “Hydrogen, Scaling up: A sustainable pathway for the global energy transition”, 2017.
- Siemens, “[Smart Grids and Energy Storage], Bottled Sunlight, Pictures of the Future: The Magazine for Research and Innovation”, 2014.10.01