

# 신산업 혁신과정에 대한 탐색적 연구: 미국 수소에너지 산업을 중심으로

송민규\*, 봉강호\*\*

\*건국대학교 화학공학과

\*\*소프트웨어정책연구소

e-mail: bk91@spri.kr

## An Exploratory Study on Innovation Process New Industries: Focused on the American Hydrogen Energy Industry

Min Gyu Song\*, Kang Ho Bong\*\*

\*Dept. of Chemical Engineering, Konkuk University

\*\*Software Policy & Research Institute

### 요약

본 연구는 수소에너지 산업의 혁신과정을 탐색적으로 파악하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 수소에너지 분야를 선도하고 있는 미국의 뉴스 기사 및 정부 R&D 예산 데이터를 수집하고, 추세 분석을 진행하였다. 분석 결과, 수소에너지에 대한 뉴스 기사량 추이는 마치 혁신에 대한 시장의 기대(수용도)와 혁신의 성숙도 간 관계를 나타내는 하이프 사이클(Hype Cycle)과 유사한 양상을 보였다. 이는 미국의 수소 에너지 산업이 2000년대 중반 관심도가 급격히 상승하는 거품기를 거친 이후, 현재 안정기에 진입하였음을 의미한다고 볼 수 있다. 또한 연도별 뉴스 기사량 및 정부 R&D 투자 예산 규모가 유사한 궤적을 따르는데, 뉴스 기사량이 앞서 증가 또는 감소하고 약 1~3년의 시차를 가지고 이와 유사하게 정부 R&D 투자 예산 규모 추이가 변화하는 양상을 보였다. 이는 미국 수소 에너지 산업이 수요에 의해 혁신이 견인되고 있음을 암시하는 결과라고 하겠다.

## 1. 서론

최근 전 세계적으로 기후변화 및 에너지 부족 문제의 심각성이 위기 수준이라는 공감대가 형성되면서, 신재생에너지를 비롯한 여러 친환경 에너지 산업의 중요성이 크게 강조되고 있다. 이 중 수소에너지 산업은 수소에너지가 최고의 대체에너지라는 점에서 미래 성장산업으로 주목받고 있다. 수소는 우주를 이루는 원소의 90%를 차지할 뿐 아니라 물의 2/3가 수소 원자로 구성되어 있을 만큼 다른 자원에 비해 풍부하며, 온실가스나 미세먼지와 같은 유해 물질을 발생시키지 않으면서도 높은 효율을 낸다는 장점이 있기 때문이다. 이에 전 세계 국가들은 수소에너지 산업 선점을 위한 경쟁을 벌이고 있고, 우리나라의 경우 2019년 「수소경제 활성화 로드맵」을 발표하는 등 글로벌 수소에너지 산업 선도를 위한 정책적 노력을 추진하고 있다.

그러나 수소에너지 산업의 중요성에도 불구하고, 동 산업의 혁신과정에 대한 연구와 이해가 부족한 실정인 것으로 보인다. 다시 말해, 풍력에너지[1]나 태양광 에너지[2] 산업의 혁신이 어느 요인에 의해 어떠한 과정을 거쳐 전개되는 지에 대한 연구는 다수 수행되었으나, 수소에너지 산업에 대한 연구는 찾아보기 어렵다.

본 연구에서는 수소에너지 산업의 혁신과정을 탐색적으로 파악하고자 한다. 이를 위하여 수소에너지 분야를 선도하고 있는 미국의 뉴스 기사 및 정부 R&D 예산 데이터를 수집하고, 추세 분석을 실시한다. 이어서 분석결과를 토대로 한 정책적 시사점을 도출한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 혁신의 동인 및 과정에 대한 논의

21세기 대표 경제학자인 슘페터가 혁신이 경제발전의 핵심 동력임을 주창한 이후, 그렇다면 혁신을 견인하는 동인은 무엇이며 어떠한 과정을 거치게 되는 지를 탐구하는 연구 및 학술적 논의가 활발히 이루어져 왔다. 이러한 혁신의 동인과 그 과정을 설명하는 여러 주장들이 제기되었으나, 가장 대표적인 것은 ‘기술주도(Technology Push)’ 및 ‘수요견인(Demand Pull)’이라는 유형으로 구분하여 설명하는 주장이다. 여기서 ‘기술주도’는 기술의 진보 또는 새로운 기술의 출현이 혁신활동을 자극하고, ‘수요견인’은 시장의 수요가 혁신활동을 유도한다고 보는 관점이다.

이들 관점은 다양한 기술 혹은 산업의 혁신과정을 이해하

거나 설명하는 개념적 도구로서 활용되었다. 예컨대 Klaassen(2005)은 R&D 지출 예산 데이터를 활용한 분석결과를 토대로 풍력에너지 산업의 혁신이 기술주도형으로 발생된다고 주장하였으며[1], Li et al.(2019)는 뉴스 기사 및 특허출원 규모에 대한 데이터를 분석한 결과를 토대로 태양광 산업의 혁신이 수요견인형으로 발생된다고 주장한 바 있다[2].

한편, 다양한 동인에 의해 촉발되는 혁신을 주도하는 수행 주체가 산업에 따라 상이하다고 알려져 있다. 여기서 혁신활동의 수행 주체는 크게 공공과 민간(시장 또는 기업)으로 구분된다. 일반적으로 민간은 이윤을 극대화하기 위해 혁신활동을 수행하고 공공은 산업 육성을 지원하고 산업의 불확실성에 대한 리스크를 경감하는 역할을 수행한다.

혁신과정에서 공공의 역할은 경제학의 대표적인 개념인 시장실패에서 잘 드러난다. 시장실패란 외부의 간섭 없이 시장경제가 스스로 경제 자원의 효율적인 배분 상태를 달성하지 못하는 상태를 지칭한다[3]. 어떤 산업에서 시장실패가 발생하면 시장경제의 원리에 의해 움직이는 민간보다 사회적 책임을 가진 공공이 이에 대응하기 위해 더 적극적으로 개입하게 된다. 이러한 과정에서 민간보다 공공이 해당 산업의 혁신활동에 더 적극적으로 투자하며 공공주도의 혁신이 일어난다.

시장실패의 원인은 불완전경쟁, 공공재, 외부효과, 정보의 비대칭 등이 있으며[3], 많은 연구자들이 이를 활용해 공공 주도로 발전하는 산업의 특징을 제시하였다. Lu et al.(2011)은 에너지, 환경, 토목과 같은 공공재 산업이 공공주도로 발전한다고 주장하였다[4]. 공공재의 비경합성과 비배제성으로 인해 공공재 산업에서는 혁신활동에 드는 비용은 부담하지 않고 소비에만 참여하는 무임승차자(free-rider)의 문제가 주로 발생한다고 하였다. 이 때문에 공공재의 공급을 시장의 원리에 따라 움직이는 민간에게 맡기면 사회적으로 적절한 수준으로 생산되기 어려우며, 주로 정부가 직접 생산, 공급하는 공공주도의 산업이 발전이 이루어진다고 제시하였다. 이우영(2011)은 독자개발을 추진할 정도의 성숙단계가 아닌 신생산업은 정부가 주도적으로 거버넌스를 이끌어다가며 혁신체계가 구축한다고 주장하였다[5]. 신생산업은 기술발전수준이 낮고 불확실성이 크고, 기존 경쟁산업들이 가지고 있는 기술, 자본과 같은 진입장벽들 때문에 민간기업이 혁신의 주도적인 주체가 되기에는 여러 제약이 따른다고 하였다. 유사하게, 김종안(2016)은 태양광, 풍력에너지 관련 정책의 분석을 통해 신재생에너지 산업이 정부의 주도로 성장하였음을 주장하였다[6]. Guo et al.(2009)의 경우, 공공의 R&D 예산이 중국 태양광 산업의 성숙도에 중요한 선행변수이며 공공이 혁신 활동을 주도하였다고 설명하였다[7].

## 2.2 수소에너지에 관한 기존 연구

지구 온난화의 주범으로 손꼽히는 온실가스 감축 노력의 일환으로 전 세계는 재생에너지의 비중을 점차 높이고 있다. 그러나 태양광이나 풍력 에너지는 변동성이 심하여 안정적인 사용을 위해선 별도의 에너지 저장 수단이 필요하다는 한계점이 존재한다. 이에 반해 수소에너지는 저장, 운송이 용이하고 일조량, 바람량 등 외부 환경에 영향받지 않는 에너지 공급을 가능하게 해 준다. 전 세계 수소 수요도 증가하여 2020년 10EJ 수준인 수요는 2050년 78EJ까지 성장하여, 전 세계 에너지수요의 18%를 차지할 것으로 전망된다[8].

수소에너지는 산업은 정부와 기업뿐만 아니라 기술 혁신을 연구하는 학계에서도 많은 관심을 받고 있으며 여러 연구에서 수소에너지 산업 대한 특징이 논의되어왔다. Suurs(2009)는 수소에너지 산업이 높은 위험과 기술의 불확실성이 존재하는 신생산업에 해당한다고 주장하였다[9]. 또, 이창훈(2009)은 수소에너지는 화석에너지에 대한 수요를 줄여 환경오염을 감소시킨다는 점에서 환경공공재로 볼 수 있다고 하였다[10]. 수소에너지 산업은 앞서 살펴본 공공의 주도로 발전되는 산업의 두 가지 특성을 모두 띠고 있으므로 본 연구에서는 수소에너지 산업을 공공주도 산업의 관점으로 바라보았다.

공공주도 산업의 혁신과정에 대해 연구는 많이 존재하지만, 수소에너지 산업의 혁신과정에 대한 학술적 접근은 초기에 있다고 할 수 있다. Pingkuo et al.(2022)은 현재 수소에너지 산업 혁신에 대한 연구가 부족한 상황이며 수소 인프라 구축을 위한 연구 기반 조성 및 활성화되고 신기술이 시장에 성공적으로 정착되고 활성화되기 위해선 수소 산업을 다양한 관점으로 접근하는 연구가 필요하다고 서술하였다[11].

## 3. 연구 방법

### 3.1 연구자료

본 연구에서는 1990년부터 2020년까지 미국의 수소에너지 관련 뉴스와 연도별 R&D 예산 데이터를 분석한다. 미국은 오래전부터 수소에너지에 대한 투자 및 관련 정책들을 추진하여, 현재 높은 기술력을 보유하고 있으며 전 세계적으로 수소에너지 산업을 선도하고 있다는 점에서 연구 대상으로 설정하였다.

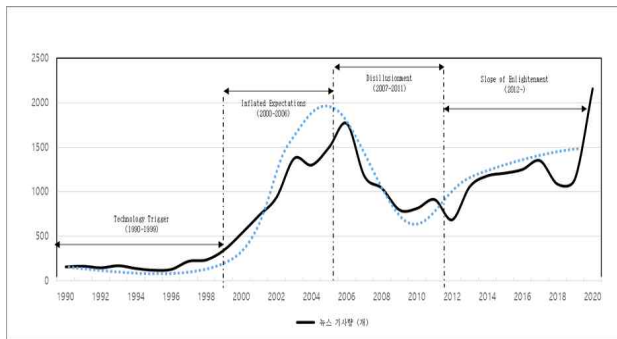
본 연구에 활용된 뉴스 데이터는 기사검색 서비스 Proquest를 통해 검색한 결과를 활용하였다. Proquest는 넓은 범위의 뉴스 DB를 제공하고 다양한 검색조건으로 필터링이 가능해 다수의 사회과학 연구에 활용된다. 데이터의 정확성을 위해 관련 선행연구에서 활용된 방법을 적용하였다. 우선,

검색조건은 기사의 제목과 서론 부분으로 한정하였다. McGinty(2016)는 기사의 제목과 서론이 기사의 내용을 압축하여 담고 있으며, 기사를 수집하는 과정에서 검색범위를 본문을 제외한 제목과 서론으로만 한정했다[12]. 또한 Kar et al.(2022)은 수소에너지 산업의 명칭은 한가지로 고정되어 있는 경우가 거의 없고, 다양한 방식으로 불리는 경우가 일반적으로 더 많다고 하였다[13]. 이러한 특이점을 고려해 Kar et al.(2022)의 연구에서 수소에너지 관련 문헌을 검색할 때 활용한 키워드(Hydrogen AND (Technology OR Technologies OR Industry OR Energy OR Economy OR Roadmap OR Strategy OR Policy))를 적용하여 데이터를 수집하였다. 연도별 R&D 예산은 국제 에너지 기구인 IEA(International Energy Agency)의 US Public R&D 데이터를 활용하였다.

#### 4. 연구 결과

연도별 뉴스 데이터와 R&D 예산 데이터를 선 그래프로 작성하여, 시간의 흐름에 따른 변화 추이를 살펴보았다.

[그림 2]는 1990년부터 2020년까지 30년 동안의 연도별 뉴스 기사량을 보여준다. 연도별 뉴스 기사량은 상승과 하락을 반복하는 커브 모양을 보이고 있다. 2000년에 한 차례 증가세를, 2007년 이후 하락세를, 이후 다시 완만한 증가세를 보이다가 2019년을 기점으로 급증하고 있다. 이 그래프는 하이프 사이클<sup>1)</sup>과 매우 비슷한 양상을 보인다. 일반적인 형태의 하이프 사이클과 비교해보면 수소에너지 산업은 2000년대 초반부터 기사량이 급격히 상승하며 <sup>2)</sup>하이프 현상을 겪었으며 현재는 성숙기에 도달한 것으로 보인다.

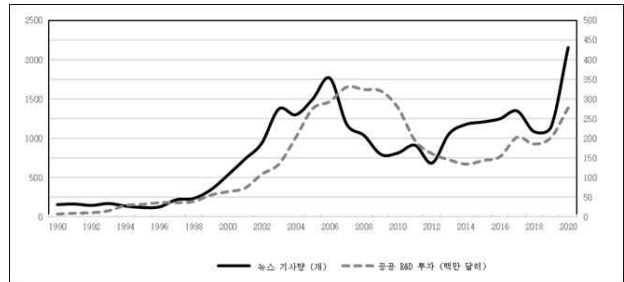


[그림 2] 연도별 뉴스 기사량 그래프

1) 하이프 사이클(Hype Cycle)이란 새로운 혁신에 대해 시장의 기대와 수용이 어떻게 변하는지 단계별로 나타낸 그래프이다. 혁신이 등장하는 시점부터 성숙기에 도달할 때까지 시간에 따라 ①여명기(Technology Trigger) ②버블기(Peak of Inflated Expectations) ③환멸기(Trough of Disillusionment) ④성숙기(Slope of Enlightenment) ⑤안정기(Plateau of Productivity) 5단계로 구분된다[14].

2) 하이프 현상이란 신기술에 대한 기대가 급격한 상승을 보이다가 현실 인식에 따른 실망으로 기대에 대한 붕괴 과정을 거쳐 일정 수준의 사회적 수용으로 수렴되는 소위 '붐-버스트(Boom-Bust)' 현상을 의미한다[14].

[그림 3]은 연도별 뉴스 기사량과 공공 R&D 투자 예산 추세를 비교한 그래프이다. 공공 R&D 투자금액은 뉴스 기사량과 약 1~3년의 시차를 보이며 그 변동궤적을 따르고 있다. 2003년에 한 차례 증가세를, 2010년 이후 하락세를, 이후 다시 완만한 증가세를 보이다가 2019년을 기점으로 급증하고 있다.



[그림 3] 뉴스 기사량 및 공공 R&D 예산 비교

2019년에 연도별 뉴스 기사량과 공공 R&D 투자 예산 모두 가파른 상승의 모습을 보이고 있는데, 이는 코로나-19로 수소에너지 이용 확대의 필요성이 강조된 데 기인한 것으로 사료된다.

#### 5. 결론

본 연구는 미국 수소에너지 산업에 대한 뉴스 기사 및 정부 R&D 예산 규모의 추이 분석을 통해 수소에너지 산업의 혁신과정을 탐색적으로 살펴보고자 하였다. 본 연구의 연구 결과와 시사점은 다음과 같다.

첫째, 뉴스데이터를 통해 살펴본 수소에너지 산업의 수요는 하이프 사이클과 유사한 궤적으로 변화해온 것으로 나타났다. 이는 현재 미국의 수소에너지 산업이 하이프 현상을 거친 이후 성숙기에 진입하였음을 의미한다고 볼 수 있다. 따라서 수소에너지 산업은 곧 민간·시장 투자가 중심이 되는 산업으로 전환될 것이라 전망해볼 수 있다고 하겠다.

둘째, 연도별 뉴스 기사량 및 정부 R&D 투자 예산 규모가 유사한 궤적을 따르는데, 뉴스 기사량이 앞서 증가 또는 감소하고 약 1~3년의 시차를 가지고 이와 유사하게 정부 R&D 투자 예산 규모 추이가 변화하는 양상을 보였다. 이러한 결과는 수소에너지 산업의 혁신이 시장수요에 의해 견인됨을 시사한다.

본 연구는 수소에너지 산업의 혁신과정을 정량적으로 살펴본 최초의 연구라는 점에서 학술적 의의가 있다. 물론 제한적인 자료를 활용한 탐색적 차원의 시도라는 점에서 한계가 있겠으나, 본 연구의 결과는 수소에너지 산업의 혁신과정에

대한 이해도를 높이고 후속 연구의 단서를 제공한다는 점에서 연구의 의의를 찾을 수 있다고 하겠다.

아울러 본 연구에는 다음과 같은 한계점이 있음을 밝혀 둔다. 첫째, 본 연구에서 활용한 뉴스 기사 데이터는 그 내용의 성향이 고려되지 않았다. 향후 연구에서 긍정/중립/부정 등 뉴스 기사 내용의 성향을 고려하여 산업 혁신에 대한 시장수요의 영향을 체계적으로 살펴본다면 보다 다양하고 의미있는 결과를 도출할 수 있을 것이라 사료된다. 둘째, 본 연구의 결과는 미국 수소에너지 산업에 대한 데이터를 분석하였다는 점에서 일반화에 유의할 필요가 있다. 앞으로 본 연구와 유사하게 국내 수소에너지 산업의 혁신과정에 대해서도 활발한 연구가 이루어지기를 기대한다.

#### 참고문헌

- [1] G. Klaassen, A. Miketa, K. Larsen and T. Sundqvist, "The impact of R&D on innovation for wind energy in Denmark, Germany and the United Kingdom", *Ecological Economics*, Vol.54, No.2-3, pp. 227-240, Aug, 2005.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.01.008>
- [2] X. Li, Q. Xie and L. Huang, "Identifying the Development Trends of Emerging Technologies Using Patent Analysis and Web News Data Mining: The Case of Perovskite Solar Cell Technology", *IEEE Transactions on Engineering Management*, in-press, Nov, 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TEM.2019.2949124>
- [3] K. N. M. Dundas and P. R. Richardson, "Corporate strategy and the concept of market failure," *Strategic Management Journal*, Vol. 1, No. 2, pp. 177 - 188, Apr, 1980.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/smj.4250010207>.
- [4] W. Lu, Z. Wei-jun, and M. Shu-e, "A Research on the motive mechanism of public goods technological innovation", 2011 International Conference on Management Science & Engineering 18th Annual Conference Proceedings, Sep, 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/icmse.2011.6070122>
- [5] 이무영, "시장실패와 정부의 역할: 항공기산업으로의 정부 개입에 대한 개념 고찰", *항공산업연구*, 제74권, pp. 50-69. 12월, 2011.
- [6] 김종완, 박상철, "의무할당제도 개선을 통한 신재생에너지 산업의 발전 전략: 태양광, 풍력에너지 중심", *에너지 공학*, 제25권, 제4호, pp. 110-123, 12월, 2016.
- [7] Y. Guo, D. Zhu, and X. Wang, "Profiling innovation system for Solar Photovoltaics in China", *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Dec, 2009.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/ieem.2009.5373418>
- [8] 천강, 김희화. "주요국의 수소경제 지원 정책과 시사점", *한국자원공학회지*, 제57권, 제6호, pp.629-639, 2월, 2020
- [9] R. A. A. Suurs, M. P. Hekkert, and R. E. H. M. Smits, "Understanding the build-up of a technological innovation system around hydrogen and fuel cell technologies", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol.34, No.24, pp. 9639 - 9654, Dec. 2009.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.09.092>
- [10] 이창훈·황석준, "신재생에너지 전력에 대한 소비자 지불 의사". *자원·환경경제연구*, 제18권, 제2호, pp. 173-190, 9월, 2009.
- [11] Pingkuo, L. and Xue, H. "Comparative analysis on similarities and differences of hydrogen energy development in the world's top 4 largest economies: A novel framework", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol.47, No.16, pp. 9485 - 9503, Jan, 2022.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.01.038>
- [12] E. E. McGinty, A. Kennedy-Hendricks, S. Choksy, and C. L. Barry, "Trends In News Media Coverage Of Mental Illness In The United States: 1995 - 2014," *Health Affairs*, Vol. 35, No. 6, pp. 1121 - 1129, Jun. 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2016.0011>
- [13] S. K. Kar, S. Harichandan, and B. Roy, "Bibliometric analysis of the research on hydrogen economy: An analysis of current findings and roadmap ahead", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 47, No. 20, pp.10803 - 10824, Mar. 2022.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.01.137>
- [14] O. Dedehayir and M. Steinert, "The hype cycle model: A review and future directions," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 108, pp. 28 - 41, Jul. 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.04.005>