

[Research Paper]

국내 연구논문의 키워드 네트워크 분석을 통한 수소충전소 연구개발 동향

임옥근

동아대학교 경찰·소방학과 교수

Keyword Network Analysis of Domestic Research Articles for Determining Recent Trends of Hydrogen Refueling Stations

Ohk Kun Lim

Assistant Professor, Dept. of Police and Fire Administration, Dong-A Univ.

(Received June 11, 2021; Revised June 29, 2021; Accepted July 1, 2021)

요 약

전세계적인 기후변화는 기존에는 겪어보지 못했던 자연재난과 같이 예상치 못한 심각한 피해를 발생시키고 있으며, 이로 인해 친환경에너지인 수소 사용에 대한 관심이 증가하고 있다. 국내에서는 수소자동차 보급과 함께 수소충전소와 같은 인프라 구축이 최근 활발하게 이루어지고 있으나 텍스트 마이닝을 활용한 관련 연구동향에 대한 체계적인 분석은 이루어지지 않았다. 본 논문에서는 최근 10년간 한국학술진흥재단 등재지에 게재된 수소충전소 관련 논문들에서 텍스트 마이닝기법을 사용하여 기간별 주요 키워드와 연구주제들을 분석했다. 2017년 이후로 수소충전소, 연료전지, 전기충전소 등이 핵심키워드로 등장했으며 수소저장, 수소자동차, 수소충전소 안전관련 주제들의 연구 비중이 증가하고 있음을 확인할 수 있었다. 이런 정량적인 분석결과는 국내 수소인프라의 효율적인 구축을 위한 연구와 정책방향 수립에 활용될 수 있을 것이다.

ABSTRACT

Global climate change has caused various natural disasters, which has resulted in serious damage to the society. Therefore, there has been a growing interest in utilizing eco-friendly energy sources such as hydrogen fuel. Hydrogen vehicles and infrastructures have been studied extensively. However, the research trends of hydrogen refueling stations have not been systematically analyzed using text mining with domestic research articles. The keyword network and research topics were analyzed based on the Korea Citation Index (KCI) data of the past 10 years. The analysis revealed that “hydrogen refueling station,” “fuel cell,” and “charging station” are new research keywords. Furthermore, topics such as “hydrogen storage,” “hydrogen and electric vehicle,” and “safety in hydrogen refueling station” are becoming increasingly popular. These quantitative analysis results provide an insight on the development of hydrogen infrastructure and research policy.

Keywords : Hydrogen refueling station, Hydrogen car, Fire safety, Text mining, Network analysis

1. 서 론

정부의 친환경 정책으로 인해 수소자동차의 사용이 증가하고 있으며, 이에 따라 수소충전소와 같은 인프라 구축이 활발히 이루어지고 있다. 수소융합얼라이언스추진단에 따르면 2021년 5월 현재 전국에 62기의 수소충전소가 구축되어 있다⁽¹⁾. 부산광역시의 경우에는 현재 2기가 운영되어 있고 금년 내에 2기를 추가로 설치하기 위한 건축허가가

완료되는 등 전국의 수소인프라는 꾸준히 증가하고 있다. 미국 에너지부(department of energy)에 따르면 일반인들이 사용할 수 있는 수소충전소는 53기가 존재하며 대부분 서부의 캘리포니아주에 위치하고 있었다⁽²⁾. 미국에서도 기존에 약 4년의 시간이 소요되었던 수소충전소 행정절차, 공사 및 사용시험기간을 그 절반인 약 2년으로 단축하는 등 수소인프라를 빠르게 구축하기 위해 노력하고 있다.

수소가스는 공기보다 가볍기 때문에 유출 시 공기중으

로 빠르게 확산되는 특징이 있음에도 불구하고, 지난 2019년 강릉테크노파크 벤처공장에 발생한 수소탱크사고에서는 사상자 8명이 발생하는 등 대형사고 발생의 위험성이 존재한다. 정부의 수소경제 로드맵에 따라 국내에서 수소 자동차의 판매가 증가하고 있으며, 관련 인프라 구축들이 빠르게 이루어지고 있다. 이렇게 수소의 사용이 증가하게 되면 예상치 못한 사고가 발생할 가능성이 높아지며, 보다 높은 수준의 안전을 확보하기 위해서는 다양한 관점에서 관련된 연구들이 수행되어야 할 것이다.

최근에는 한국화재소방학회지의 연구분야 체계를 바탕으로 전문가 인터뷰를 수행하고, 이런 소방분야 선행연구 분석자료를 활용하여 분야별 연구비중을 분류하고 향후 추진되어야 할 연구과제들을 제시한 바가 있다⁽³⁾. 수소충전소의 연구개발 동향과 단위공정 기술에 대해 발표된 논문들의 연구주제를 사용하여 정리한 바가 있으며⁽⁴⁾, 화석연료 개질반응과 바이오매스와 물을 사용한 수소생산방법에 정리하여 향후 청정에너지원으로 사용하기 위해서는 태양광, 태양열 및 풍력 등 재생 가능한 에너지의 필요성을 언급한 연구가 있었다⁽⁵⁾. 전문가가 관련주제의 논문들을 분석하는 경우 시간이 많이 소요되며 전문분야에 따라 보는 관점이 다를 수도 있다. 이런 이유로 최근에는 논문에 나열된 단어들을 통계적으로 처리하여 주제들을 추출해내는 다양한 방법들이 연구동향 분석에 활용되고 있다⁽⁶⁻⁹⁾.

본 논문에서는 지난 10년간 국내에서 수소충전소 관련하여 수행된 연구논문들을 사용하여 현재까지 연구되어온 주제들을 분석하고 향후 필요한 연구들에 대해 분석하고자 한다. 이를 위해 문서내부의 단어들을 추출하는 텍스트마이닝기법을 이용해 키워드 네트워크를 구성하여 분석하고, 또한 토픽 모델링 기법 중 하나인 잠재디리클레할당(latent dirichlet allocation, LDA)을 사용하여 연구주제들을 분류하였다.

2. 연구방법

2.1 자료수집

본 연구에서는 한국학술진흥재단 등재지를 대상으로 한국교육학술정보원에서 제공하는 학술연구정보서비스를 활용하여 연구논문 자료를 수집했다. 국내학술논문자료는 한국학술지인용색인, 국가과학기술정보센터, 디비피아 등에서도 검색이 가능하지만 학술연구정보서비스에서는 엑셀, 텍스트 등 다양한 형식으로 서지정보의 일괄추출이 가능하여 이를 활용했다.

2010년 1월 1일부터 2020년 6월 30일까지 총 10년 6개월 간의 기간을 대상으로 하여 수소충전소 관련 논문자료를 폭넓게 수집하기 위해 논문명과 주제어에 ‘수소충전소’, ‘수소자동차’, ‘복합충전소’, ‘Hydrogen’, ‘수소’와 ‘충전소’, 그리고 ‘수소’와 ‘자동차’로 검색하여 총 444편의 자료를 수집했고, 이 중 중복자료를 정리하고 속보나 단신과 같이

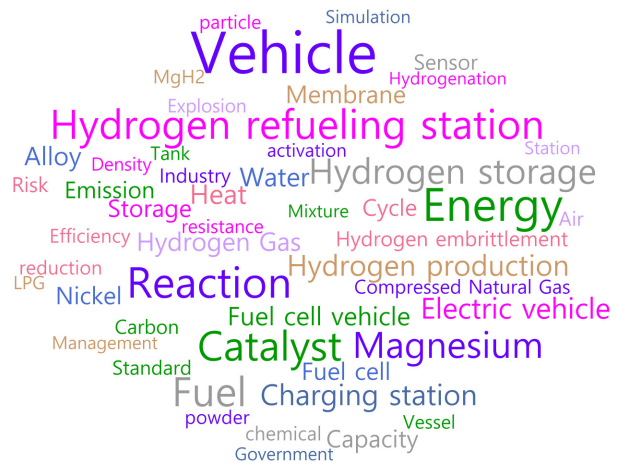


Figure 1. Word cloud using the frequency of keyword.

초록이 제공되지 않는 자료를 제외하여 총 399편의 논문을 이용하여 분석했다.

수집된 논문에는 영문초록만을 제공하는 경우가 있어 논문의 제목과 초록을 대상으로 명사형태의 영문키워드를 추출했고, 가장 많은 빈도수를 가지지만 분석주제와 동일한 ‘Hydrogen’을 제외하고 3725개의 키워드를 수집했다. 이때 유의어 사전을 적용하여 hydrogen refueling station (수소충전소), hydrogen storage (수소저장), fuel cell vehicle (연료전지자동차)과 같이 2개 이상의 명사로 구성된 키워드들을 포함했고, study, new, MPa 등과 같이 논문의 주제와 무관하게 일반적으로 많이 사용되는 단어들과 단위들은 제외했다.

Figure 1은 수집된 키워드의 빈도수를 기준으로 작성한 워드클라우드이다. 가장 사용빈도가 많은 키워드는 vehicle (자동차)이었고, 그 다음으로 energy (에너지), reaction (반응), catalyst (촉매), hydrogen refueling station (수소충전소)의 순으로 논문에서 많이 활용됨을 확인할 수 있었다.

2.2 분석기법

2.2.1 키워드분석

논문-단어로 구성된 2-모드 행렬을 단어-단어 형태의 1-모드 행렬로 변환하여 단어 네트워크를 구성했다. 이는 논문을 매개로 한 단어간 동시출현 행렬을 산출하기 위한 것으로 변환된 단어 간 관계의 강도는 행렬의 내적(inner product)을 통해 산출하였다. 단어 간 관계강도는 두 단어가 함께 출현한 논문의 수를 의미한다. 2개 이상의 논문에서 함께 등장한 단어간 관계(관계강도 2 이상)만을 분석대상으로 하여 우연적인 관계는 배제하고 복수의 저자들에 의해 의미적인 연관성이 인정된 관계만을 포함하였다.

단어간 1-모드 행렬에서 링크 강도의 표준화를 위해 단어 간 동시 등장한 문서의 수를 각각의 단어가 등장한 문서수를 곱한 뒤 제곱근을 한 값으로 나누는 방식인 오치아

이 지수(ochiai index)를 적용했다. 추출된 단어의 중요도는 각 단어가 몇 개의 논문에 등장했는지를 나타내는 등장논문수(document degree), 연결중심도(degree centrality) 및 매개중심도(betweenness centrality)로 분석했고, 상위에 동시 등장하는 키워드를 추출하여 연구동향을 분석했다⁽¹⁰⁾.

연결중심도는 대상 노드가 네트워크에서 중심에 위치하는 정도를 표현하는 것으로 네트워크에서 다른 노드들에 비해 상대적으로 중요도가 높고 낮음을 표현하는 지표이다. 대상 노드가 다른 노드들과 얼마나 많이 연결되어 있는지를 이용하여 측정하며, 연결된 노드의 수가 많을수록 연결중심도는 높아지게 된다. 단어-단어 형태의 1-모드 행렬에서 대상 노드는 문서에서 수집된 단어를 의미한다.

대상 노드의 연결중심도는 다음과 같이 계산한다.

$$Degree\ Centrality = \frac{d_i}{n-1} \quad (1)$$

여기서 d_i 는 해당되는 노드, n 은 네트워크 전체 노드수이다.

매개중심도는 대상 노드가 네트워크 내의 다른 노드들의 사이에 위치하는 정도를 표현하는 지표로, 매개중심도가 높은 노드는 서로 다른 노드들을 연결시키는데 중요한 역할을 하는 것을 의미한다. 따라서 매개중심도가 높은 키워드는 서로 다른 기술들의 연계하거나 두 가지 이상의 기술에 활용되는 것으로 볼 수 있다. 네트워크의 규모를 고려하여 표준화된 매개중심도는 다음과 같이 계산된다.

$$Betweenness\ Centrality = \frac{\sum_{j,k} \frac{g_{jk}(i)}{g_{jk}}}{(n-1)(n-2)/2} \quad (2)$$

여기서 N 은 n 개의 노드집합, $g_{jk}(i)$ 는 두 노드 j 와 k 사이에 존재하는 최단거리경로 중에서 노드 i 를 통과하는 것의 수, g_{jk} 는 노드 j 와 노드 k 사이에 존재하는 최단거리경로의 수이다(단, $i \neq j \neq k, i, j, k \in N$).

2.2.2 토픽분석

토픽분석은 문서-단어 2-모드 행렬을 입력 데이터로 이용하여 문서-토픽과 토픽-단어 2-모드 행렬로 산출하여 수행했다. 문서-토픽 행렬은 해당 문서에서 특정 토픽을 포함하고 있을 확률을 표현하며, 토픽-단어 행렬에서는 해당 토픽이 이에 대응하는 특정단어를 포함하는 분포를 나타낸다. 문서는 잠재된 토픽들이 무작위적으로 잠재되어 있으며 토픽들은 특정단어들의 분포로 표현 가능하다는 가정을 전제로 하는 잠재디리클레할당(LDA)을 이용하여 분석했다⁽¹¹⁾. 토픽분석에서는 도출할 토픽의 개수(k)와 하이퍼 파라미터인 α 와 β 값을 설정해야 하며, 최적화된 토픽의 개수를 결정하기 위해 실루엣 계수를 사용했다. 이는 토픽 내부의

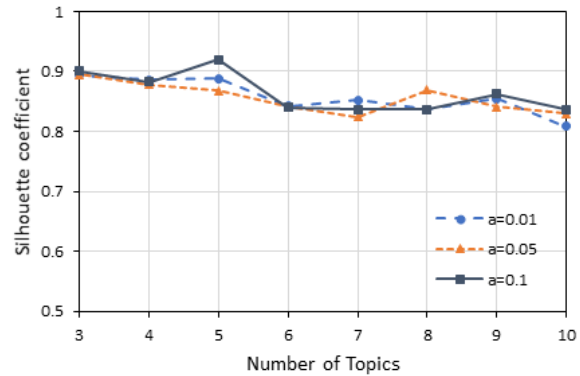


Figure 2. Silhouette coefficient.

유사성과 토픽 간의 차별성을 정량적으로 표현한 것으로 -1에서 +1의 값의 범위를 가지며 +1에 가까울수록 군집화가 잘 된 것을 의미한다. 실루엣계수는 다음과 같이 계산한다⁽¹²⁾.

$$s(d_i) = \frac{b(d_i) - a(d_i)}{\max[a(d_i), b(d_i)]} \quad (3)$$

여기서 $s(d_i)$ 는 실루엣계수, $a(d_i)$ 는 노드 d_i 에서 동일한 토픽 내의 다른 문서까지의 최대 거리, $b(d_i)$ 는 노드 d_i 에서 다른 토픽의 중심까지의 거리이다.

하이퍼 파라미터인 α 는 문서 내에서의 토픽간의 분포를 조정하고, β 는 토픽간의 분포를 조정하는 것으로 이 값들이 낮을수록 토픽간의 분포 편차가 커지는 반면, 이 값들이 높을수록 분포가 균등해지게 된다. 최적의 토픽 개수를 도출하기 위해 토픽의 수를 3개에서 10개로 변화시켜 가면서 각 토픽 수에 대해 α 값을 0.01에서 0.11로 변화시켜 가면서 총 70회의 계산을 수행했다. 이 때 β 값은 기존의 연구결과를 참조하여 0.01로 설정했다^(13,14). Figure 2는 총 70회의 연산을 통해 도출한 실루엣계수를 토픽 수에 따라 나타낸 것이다. 하이퍼 파라미터 α 가 0.1 일 때 평균 실루엣계수가 0.92로 가장 큰 값을 보였다. 따라서 본 논문에서는 5개의 토픽으로 α 와 β 값을 각각 0.1과 0.01로 설정하여 분석했다.

3. 분석결과

3.1 키워드 분석

총 3725개의 키워드 중 399편의 논문 제목과 초록에서 1회 출현한 것이 2056개로 55%에 달한다. 또한 전체 키워드 간의 연결은 109,865개의 링크로 구성되지만 2개 이상 연결된 것으로 제한하면 그 링크수는 12,048개로 감소한다. 전체노드에서 고립된 노드수를 제외한 비율을 나타내는 포괄성 또한 1에서 0.303으로 감소한다. 따라서 구성된 키워드 네트워크는 멱함수 분포를 따르는 무작위 네트워크로 높은 연결정도를 가지는 핵심 노드에서부터 낮은 연결정도를 가지는 수많은 노드로 구성되어 있다. 본 연구에서는 2



Figure 3. Network analysis of core keywords.

개 이상의 연결을 가지는 키워드 네트워크를 구성하고, 23개 이상의 논문에서 등장한 핵심 키워드들을 추출하여 분석했다.

Figure 3은 추출된 핵심키워드 55개로 구성된 네트워크를 각 키워드간의 연결정도에 따라 가깝게 혹은 멀게 최적화하여 표현하는 kamada and kawai의 알고리즘을 사용하여 표현한 것이다⁽¹⁵⁾. 인접한 키워드끼리 연결관계가 많을수록 두꺼운 실선으로 연결을 표현했으며, 논문에 출현하는 키워드의 빈도수가 많을수록 더 큰 동그라미로 표현했다. 가장 많이 등장하는 키워드는 vehicle (자동차)이며, 그 다음으로 energy (에너지), reaction (반응), catalyst (촉매), hydrogen refueling station (수소충전소), fuel (연료), magnesium (마그네슘)의 순이었다. vehicle (자동차), energy (에너지), fuel (연료)을 중심으로 수소나 전기 등의 대체에너지를 사용하는 자동차에 대한 주제로 연구가 수행되고 있고, 수소충전소의 경우 risk (위험성), high pressure (고압), vehicle (자동차), 그리고 station (충전소)와 밀접하게 연관되어 있으며, 관련하여 explosion (폭발), standard (기준), facility (설비) 등과 함께 연구되고 있었다. 그 외 magnesium (마그네슘)을 중심으로 하는 고체수소저장에 대한 것과, reaction (반응)을 중심으로 하는 수소제조에 대한 연구가 수행되고 있었다. 핵심키워드의 출현빈도에 따른 연결관계를 분석한 결과, 4에서 5가지 주제로 분류할 수 있었고 유사한 주제들끼

리 강한 연결관계를 보임을 확인할 수 있었다.

논문 수집기간을 3년과 4년씩으로 분류하여(1기: 2010년~2012년, 2기: 2013년~2016년, 3기: 2017년~2020년) 기간별 핵심키워드를 조사하였다. 이 때 1기의 논문수는 133편, 2기의 논문수는 142편, 3기의 논문수는 124편으로 각 기간별로 유사한 편수의 논문이 존재했다. 키워드의 등장논문수, 연결중심도, 매개중심도가 높은 상위 12개를 추출하여 Table 1에 나타냈다. 모든 기간에서 energy (에너지), vehicle (자동차), reaction (반응), fuel (연료)이 핵심키워드로 포함되어 있었다. 이는 친환경적인 대체연료인 수소에너지에 대한 연구가 지속적으로 수행되고 있으며, 자동차에 이를 응용하기 위한 연구도 수행되고 있는 것으로 판단된다. 특히 1기와 2기에서는 hydrogen storage (수소저장), alloy (합금), magnesium (마그네슘), catalyst (촉매)의 키워드가 공통적으로 확인되었고, 이는 앞의 키워드 네트워크에서(Figure 3 참조) 오른쪽 부분인 수소저장과 수소제조에 대한 연구가 다양하게 수행되었음을 의미한다. 2017년 이후 3기에서는 앞의 1기와 2기에서 없었던 hydrogen refueling station (수소충전소), fuel cell (연료전지), charging station (전기충전소), industry (산업), risk (위험성) 등이 핵심키워드였으며, 이는 연구의 방향성이 Figure 3의 키워드 네트워크상에서 왼쪽으로 이동함을 확인할 수 있었다. 2010년부터 2016년까지의 논문에서는 동일한 키워드가 다수 관찰된 반면, 2017년 이후부

Table 1. Core Keyword with Respect to the Period

1 stage (2010~2012)	2 stage (2013~2016)	3 stage (2017~2020)
Energy	Fuel	Energy
Reaction	Energy	Vehicle
Hydrogen production	Reaction	Hydrogen refueling station
Hydrogen storage	Vehicle	Reaction
Vehicle	Hydrogen storage	Fuel cell
Fuel	Capacity	Charging station
Alloy	Hydride	Diffusion
Composite	Magnesium	Fuel
Magnesium	Alternative	Fuel cell vehicle
Catalyst	Catalyst	Industry
Powder	Alloy	Risk
Reduction	Chemical	Electric vehicle

Table 2. Topic Analysis with Major Keyword

Topic	Top terms	Number of articles (proportion)	Major journals (proportion)
1. Hydrogen storage	Heat, Hydrogen embrittlement, Storage, Energy, Vessel, Liquid hydrogen, Fuel, Resistance, Hydrogen gas, Cooling	80 (20%)	Transactions of the Korean Hydrogen and New Energy Society (34%) Korean Journal of Metals and Materials (12%)
2. Hydrogen and electric vehicle	Vehicle, Fuel, Electric vehicle, Charging station, Fuel cell vehicle, Hydrogen refueling station, Fuel cell, Emission, Energy, Industry	88 (22%)	Transactions of the Korean Hydrogen and New Energy Society (40%)
3. Safety in hydrogen refueling station	Hydrogen refueling station, Risk, Explosion, Leakage, Sensor, Standard, Risk assessment, chemical, Hydrogen gas, energy	55 (14%)	Journal of The Korean Institute of Gas (24%) Transactions of the Korean Hydrogen and New Energy Society (24%)
4 Hydrogen production	Catalyst, Hydrogen production, Reaction, Membrane, Water, Palladium, Hydrogen permeation, Silicon, Conversion, Hydrogen bonding	110 (28%)	Bulletin of the Korean Chemical Society (28%) Transactions of the Korean Hydrogen and New Energy Society (30%)
5 Solid hydrogen storage	Magnesium, Hydrogen storage, Alloy, Reaction, Nickel, Capacity, Cycle, MgH ₂ , Powder, Grinding	66 (16%)	Korean Journal of Metals and Materials (52%) Transactions of the Korean Hydrogen and New Energy Society (34%)

터는 기존에 핵심 키워드가 아니었던 hydrogen refueling station (수소충전소), charging station (전기충전소), fuel cell vehicle (연료전지 자동차), electric vehicle (전기자동차) 등이 새롭게 발견되는 것을 볼 때 수소충전소, 연료전지 및 전기자동차 등에 대한 연구가 2017년 이후에 활발히 이루어지고 있음을 확인할 수 있다.

3.2 토픽분석

최적의 토픽 개수를 도출하기 위해 토픽수에 따라 하이퍼 파라미터인 α 값을 변화시켜가며 총 70회 실루엣 계수를 반복하여 계산했다. Figure 2에서와 같이 토픽수가 5개이면서 $\alpha=0.1$, $\beta=0.01$ 일 때 가장 높은 실루엣 계수를 보여 5개의 토픽을 선정했다. 토픽별 주요 단어, 논문수, 그리고 발간된 주요 저널현황을 Table 2에 정리했다. 논문의 토픽

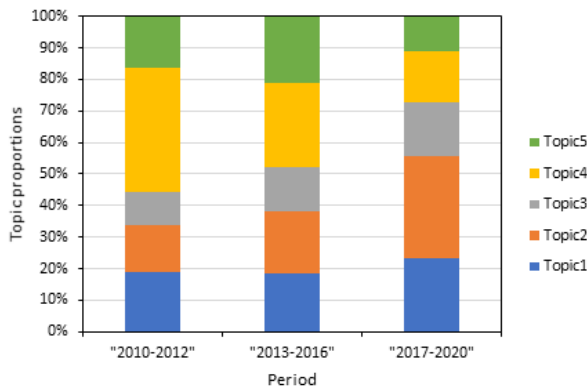


Figure 4. Topic proportions depending on the periods.

픽분포에서 가장 확률값이 큰 토픽을 해당 논문의 토픽으로 할당하고, 각 토픽별로 분류된 논문과 상위 단어를 바탕으로 토픽명을 설정했다. 이때 논문 분류의 선명성을 높이기 위해 토픽별 확률이 ‘0.4’ 이상인 논문만을 추출하여 사용하였다. 첫 번째 토픽은 수소를 저장하는 것과 관련하여 압력용기나 압력용기로 사용하는 재료의 수소취화 거동을 분석하거나 수소연료탱크의 강도 및 안전성에 대한 논문들로 구성되어 있다. 두 번째 토픽은 수소나 전기충전소의 위치선정이나 경제성분석, 규제분석 등 수소연료전지자동차의 실용화에 대한 매우 다양한 주제들로 구성되었으며, 분류된 토픽들 중 가장 많은 38개 저널지에서 발표된 논문들이었다. 세 번째 토픽은 수소충전소의 안전성과 위험성평가에 대한 것으로 한국가스학회지에서 가장 많은 논문들이 발표되었다. 네 번째 토픽은 수소제조와 관련된 촉매, 이온교환막 등과 관련된 내용이 주로 포함되어 있으며, 다섯 번째 토픽은 수소를 소재의 표면 혹은 내부에 저장하는 고체수소저장기술에 관련된 것으로 대한금속재료학회지에서 발표한 논문이 절반 이상 차지했다.

지난 10년간 가장 많은 비중을 차지하는 토픽은 ‘4. hydrogen production (수소제조)’ 분야였으며 가장 작은 비중을 차지하는 토픽은 ‘3. safety in hydrogen refueling station (수소충전소 안전)’ 관련 연구였다. 하지만 Figure 4에서 보듯이 시간에 따른 토픽 비중의 변화를 관찰했을 때, 첫 번째부터 세 번째 토픽은 증가하는 추세를 보인 반면 네 번째와 다섯 번째 토픽은 감소하는 추세를 보였다. 키워드 분석에서와 마찬가지로 정부의 수소경제 실현에 대한 정책이 추진되면서 수소자동차와 관련하여 수소를 저장하는 고압용기, 수소충전소 인프라구축, 그리고 수소충전소의 안전성 분석에 대한 주제들의 연구 비중이 증가하는 추세를 보였으며, 이와 반하여 기초 원천기술인 수소제조와 고체수소저장에 대한 연구 비중은 감소하는 경향을 보였다.

추출된 키워드에서 가장 주요한 50개의 키워드를 토픽별의 관계를 포함하여 Figure 5에 표현했다. 최근 상승추세를 보인 첫 번째부터 세 번째 토픽들은 ‘hydrogen refueling

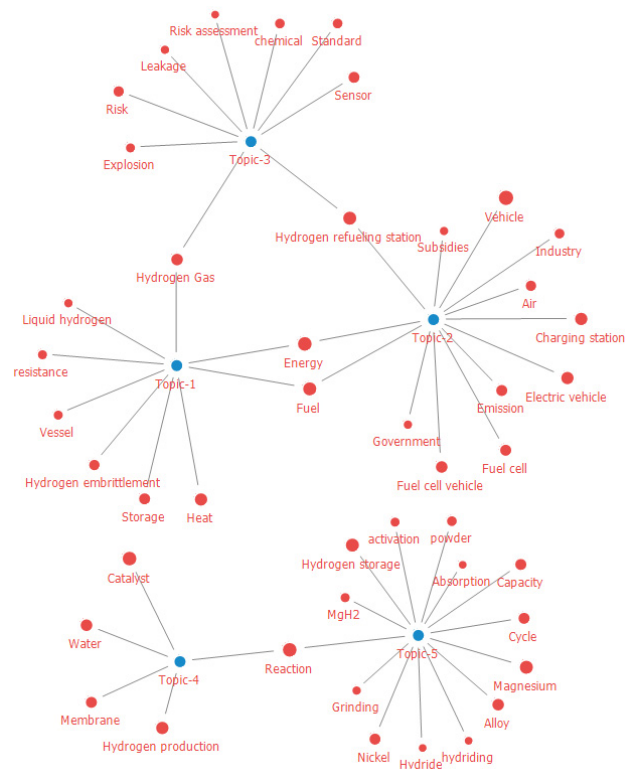


Figure 5. Word network with respect to topics.

station (수소충전소), ‘hydrogen gas (수소가스)’, ‘energy (에너지)’, ‘fuel (연료)’을 공유하고 있었으며, 네 번째와 다섯 번째 토픽은 ‘reaction (반응)’을 공유하는 형태를 보였다.

4. 고찰

지난 10여년간 수소충전소와 관련된 국내 학술등재지 논문을 분석하여 핵심키워드를 추출하고 잠재디리클레할당을 이용하여 토픽을 분석한 결과 연구동향에 대한 뚜렷한 변화를 확인할 수 있었다. 최근에는 수소경제사회를 실현하기 위해 실용화되어 운행중인 수소자동차 및 그와 관련하여 고압의 수소를 저장하는 것과 수소충전소의 안전성에 대한 연구가 활발하게 수행되고 있음을 확인할 수 있었다. 2017년에 수소관련 전문업무를 수행하는 전문가인 수소융합얼라이언스추진단이 발족하면서 수소 인프라를 구축하기 위한 업무가 본격적으로 시작되었고⁽¹⁶⁾, 2018년에 기획재정부에서 발표한 혁신성장 전략투자 방향에도 수소를 미래 친환경 에너지로 사용하는 것을 3대 전략투자방향으로 설정하는 등⁽¹⁷⁾ 수소를 주요 에너지원으로 사용하는 정책들이 추진됨에 따라 수소충전소의 안전 및 연료전지 관련 주제에 대한 연구가 보다 활발히 이루어진 것으로 판단된다. 상대적으로 연구논문의 비중이 감소하고 있는 수소제조와 고체수소저장 관련 기술의 경우 국내외에서 꾸준히 연구되어온 분야로 수소산업의 원천기술 확보를 위해

지속적인 지원이 필요할 것으로 판단된다.

수소충전소 관련된 세 번째 토픽인 ‘수소충전소 안전’의 주요 키워드로는 ‘risk (위험)’, ‘explosion (폭발)’, ‘leakage (누출)’, ‘sensor (센서)’, ‘standard (표준)’, ‘risk assessment (위험평가)’가 있으며, 위험성평가, 방호벽의 안전성 분석, 제트화재 및 증기운폭발의 영향 등에 대한 연구주제를 포함하고 있다. 전체 분석대상 논문 중 14%를 차지하며 가장 낮은 비율을 보였으며, 토픽 내의 전체 논문 55편을 검토했을 때 가스의 확산 및 누출에 따른 영향과 접화되었을 때 발생하는 폭발 및 화염에 대한 것이 대부분이었다. 최근 많이 건축되고 있는 수소충전소에서의 사고 발생 시 위험성이나 이를 대처하기 위한 소방이나 경찰 등의 초기대응자 (first responder)에 대한 논문들은 없었다. 유럽에서는 영국, 프랑스, 이탈리아의 총 6개 기관이 공동으로 지난 2013년부터 약 40개월간 HyResponse project를 통해 수소사고 발생 시 초기대응자의 안전을 확보하고 효과적인 전략과 기술을 훈련할 수 있는 실물크기의 모형으로 구성된 훈련시설 플랫폼을 실제와 가상현실로 구현하였다¹⁸⁾. 재난현장 표준작전절차 수립운영에 관한 규정에는 하이브리드 차량 화재 대응절차(SOP 308), 유해화학물질사고 대응절차(SOP 310) 등 수소충전소나 수소자동차 사고에 활용가능한 표준작전절차가 존재하지만, 정부의 친환경 정책으로 인해 수소의 사용이 증가하는 것을 고려할 때 각종 수소사고에 대응하기 위한 체계적인 연구가 필요할 것이다.

화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률에 따르면 수소충전소는 가연성 가스를 제조·저장 및 취급하는 시설로 분류할 수 있으며, 가연성 가스 탱크의 저장용량의 합계가 100 t 이상이거나 저장용량이 30 t 이상인 탱크가 있는 가스시설을 특정소방대상물로 정의하고 있다. 국내 수소충전소의 대부분은 튜브 트레일러를 사용하고 있으며, 이 튜브 트레일러의 용량이 일반적으로 300 kg 내외이기 때문에 수소충전소 설치 시의 소방설비는 화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률에 따라 설치하지 않고 한국가스안전공사 코드인 저장식 수소자동차 충전의 시설·기술·검사기준(KGS FP217 2020)에 따라 설계되고 있다¹⁹⁾. 따라서 수소충전소의 안전성을 강화하기 위해서는 현재 분석대상논문 중 약 14%의 비중을 차지하고 있는 ‘수소충전소 안전’에 대한 연구가 보다 활성화되어야 하며, 특히 효과적인 사고예방이나 대처를 위한 소방시설 설치나 초기대응자의 대처방안에 대한 연구가 추진되어야 할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 논문에서는 수소충전소 관련 연구동향을 파악하기 위해 지난 10여년간의 국내 연구문헌 399편을 활용하여 현재까지 연구되어온 주제들에 대해 단어의 등장논문수, 연결중심도 및 매개중심도를 이용하여 기간별 키워드를 추출

하고, 잠재디리클레할당을 이용하여 주요 토픽들을 분석했다. 총 3725개의 단어 중 출현빈도가 가장 높은 상위 다섯 가지 키워드는 vehicle (자동차), energy (에너지), reaction (반응), catalyst (촉매), hydrogen refueling station (수소충전소)였다. 논문 수집기간을 3년과 4년씩으로 분류하고, 시간에 따른 변화를 분석했을 때 hydrogen refueling station (수소충전소)의 경우 기존에는 주요 키워드가 아니었지만 최근에 주요 키워드로 분류됨을 확인할 수 있었다. 토픽 분석에서는 다섯 가지 주제로 분류되었고 ‘수소저장’, ‘수소 및 전기자동차’, 그리고 ‘수소충전소 안전’관련 주제가 최근 상승추세를 보였으며, ‘수소제조’와 ‘고체수소저장’관련 주제의 연구비중은 하락하고 있음을 확인하였다.

기후변화에 따른 자연재난의 증가로 인해 세계적으로 친환경 정책이 추진될 뿐만 아니라 국민들의 관심도 높아짐에 따라 친환경 에너지인 수소를 활용하는 수소자동차와 수소충전소에 대한 연구가 최근 활발하게 이루어짐을 국내의 연구논문들에서 확인할 수 있었다. 하지만, ‘수소충전소 안전’주제에 대한 연구비중이 다른 주제 대비 상대적으로 작은 편이며, 최근 정부정책에 따라 전략적으로 건축되고 있는 수소충전소의 사고대응에 대한 연구들은 활발하게 수행되지 않았다. 수소충전소의 소방시설 설치와 수소충전소나 수소자동차 사고 시 효과적인 대응을 위한 연구들이 향후 주요 연구주제가 되어야 할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 소방청 ESS·수소시설 화재안전기술 연구개발 사업(과제번호: 20011579)의 연구비지원으로 수행되었습니다.

References

1. Hydrogen Coverage Alliance, H2KOREA, <http://www.h2korea.or.kr/>, accessed 28, May. 2021.
2. U. S. Department of Energy, Hydrogen Fueling Station Locations, https://afdc.energy.gov/fuels/hydrogen_locations.html#/find/nearest?fuel=HY, accessed 28, May. 2021.
3. M. H. Jeong, S. J. Lee and I. Park, “Direction of Fire Safety Development through Analysis of Previous Firefighting-Related Research”, *Fire Science and Engineering*, Vol. 33, No. 5, pp. 103-108 (2019). <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2019.33.5.103>
4. D. J. Moon and B. G. Lee, “R&D Trends and Unit process of Hydrogen Station”, *Korean Chemical Engineering Research*, Vol. 43, No. 3, pp.331-343 (2005).
5. S. Ryi, J. Han, C. Kim, H. Lim and H. Jung, “Technical Trends of Hydrogen Production”, *Clean Technology*, Vol. 23, No. 2, pp. 121-132 (2017). <https://doi.org/10.7464/ksct.2017.23.2.121>

6. B. Kim and B. You, "Study on Determining Core Journals and Network Analysis in the Field of Disaster & Safety", *Journal of the Korean Society for Library and Information Science*, Vol. 53, No. 4, pp. 373-397 (2019).
7. S. Kim and Y. Kim, "Research Trend Analysis on Living Lab Using Text Mining", *Journal of Digital Convergence*, Vol. 18, No. 8, pp. 37-48 (2020). <https://doi.org/10.4275/KSLIS.2019.53.4.373>
8. C. W. Woo and J. Y. Lee, "Investigation of Research Topic and Trends of National ICT Research-Development Using the LDA Model", *Journal of the Korea Convergence Society*, Vol. 11, No. 7, pp. 9-18 (2020). <https://doi.org/10.15207/JKCS.2020.11.7.009>
9. S. Dai, X. Duan and W. Zhang, "Knowledge map of environmental crisis management based on keywords network and co-word analysis, 2005-2018", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 262, pp. 121168 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121168>
10. S. Lee, "Network Analysis Methods", Nonhyungbook, Seoul, Korea (2003).
11. D. M. Blei, A. Y. Ng and M. I. Jordan, "Latent Dirichlet Allocation", *The Journal of Machine Learning Research*, Vol. 3, pp. 993-1022 (2003).
12. A. Panichella, B. Dit, R. Oliveto, M. Di Penta, D. Poshynanyk and A. De Lucia, "How to effectively use topic models for software engineering tasks? An approach based on Genetic Algorithms," 2013 35th International Conference on Software Engineering (ICSE), May 2013.
13. T. K. Landauer, D. S. McNamara, S. Dennis and W. Kintsch, "Handbook of Latent Semantic Analysis", Lawrence Erlbaum Associates Publishers. Newyork, pp. 427-448 (2017).
14. Y. Lu, Q. Mei and C. Zhai, "Investigating task performance of probabilistic topic models: an empirical study of PLSA and LDA," *Information Retrieval*, Vol. 14, No. 2, pp. 178-203 (2010). <https://doi.org/10.1007/s10791-010-9141-9>
15. Y. H. Kim and Y. J. Kim, "Social Network Analysis", 4th ed., Parkyoungbook, Seoul, Korea (2016).
16. Hydrogen Covergence Alliance, H2KOREA, <http://www.h2korea.or.kr/>, accessed 11, Nov. 2020.
17. Ministry of Strategy and Finance, <http://www.moef.go.kr/>, accessed 11, Nov. 2020.
18. HyResponse, <http://www.hyresponse.eu/index.phpe>, accessed 30, May, 2021.
19. Gas Technical Standards Committe, "Code for Facilities, Technology and Inspection for Vehicle Refueling by Delivery of Compressed Hydrogen", KGS FP217 (2020).