

수소에너지 주거건물의 운영비용 감축을 위한 연료전지 발전 부산물 활용기술에 관한 특허분석

지상훈*, 김원재

한국건설기술연구원 국토보전연구본부 환경자원재생연구센터

Patent Analysis on Fuel Cell By-Product Utilization Technology for Operating Expenditure Reduction of Hydrogen Residential Buildings

SangHoon Ji*, WeonJae Kim

Environmental Resource Research Center, Department of Land, Water and Environment Research,
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 친환경 에너지원으로 고려되는 수소의 수요가 증가하고 있고 이와 동시에 수소의 고효율 에너지변환이 가능한 설비인 연료전지의 시장 규모 또한 지속적으로 증가하고 있다. 본 연구는 수소를 에너지원으로 하는 주거건물의 운영비용을 감축하기 위한 연료전지 발전 부산물 활용기술에 대한 특허분석을 통해 관련 기술의 지식재산권 확보를 위한 전략을 수립하는데 목적을 두고 있다. 본 특허분석은, 2019년 10월까지 출원 공개 및 등록된 한국, 미국, 일본 및 유럽의 특허를 대상으로 분석하며 전문가회의를 거쳐 확정된 중분류 및 소분류 기술 체계를 기준으로 정량분석 및 지표분석을 실시하였다. 특허분석을 통해, 2019년 10월까지 출원/공개/등록된 한국, 미국, 일본 및 유럽 특허를 조사하였고 전문가의 의견을 바탕으로 기술분류체계 및 분류기준을 마련하였다. 특히, 수소에너지 주거건물의 운영비용 감축을 위해, 데드엔드 모드 운전을 통해 고분자 전해질 연료전지 발전 시 생성되는 공기극 측 주요 부산물인 정화공기, 생성수분 및 산소희박공기를 활용하는 시스템 및 방법으로 출원하여 권리화를 시도해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract The demand for hydrogen, which is considered an environmentally friendly energy source, is increasing, and at the same time, the fuel cell market is increasing continuously. This study aimed to establish a strategy for securing intellectual property rights on fuel cell by-product utilization technology for operating expenditure reduction of hydrogen-powered residential buildings. In this patent analysis, this study investigated Korean, American, Japanese, and European patents filed/published/registered by October 2019 and established a technical classification system and classification criteria through expert discussion. To reduce the operating expenditure of hydrogen-powered residential buildings, intellectual property rights will be improved using systems and methodologies involving cathode-side purified air, product water, and oxygen-depleted air captured with the dead-end mode operation of polymer electrolyte fuel cells.

Keywords : Patent Analysis, Fuel Cell By-Product, Operating Expenditure, Hydrogen Residential Building

본 연구는 한국건설기술연구원 연구사업(20200425, 20200392)과 한국연구재단 기초연구사업(NRF-2018R1D1A1B07048082)의 지원을 통해 수행되었음.

*Corresponding Author : SangHoon Ji(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

email: sanghoonji@kict.re.kr

Received October 20, 2020

Accepted December 4, 2020

Revised November 17, 2020

Published December 31, 2020

1. 배경

온실가스 감축에 대한 전 지구적 차원의 관심 증대, 기존 화석연료를 대신하는 탈탄소형 신재생에너지의 확대 요구, 주요국의 탈원전 에너지전환 정책 이행 등으로 인해 수소에너지 관련 시장의 규모는 2017년 1,292억 달러에서 연평균 6%만큼 성장하여 2050년에 2조5,000억 달러 매출과 3,000만개 일자리 창출이 가능할 것으로 전망되고 있다[1]. 현재 전 세계적으로 약 7,000만 톤의 수소가 화석연료 추출을 통해 생산(천연가스의 6%, 석탄의 2% 추출)되고 있으며 이는 수전해수소 생산 방식(2030년까지 약 30%만큼 단가 절감 예상)을 통해 대체될 수 있을 것으로 전망되고 있다[2].

한편, 수소의 고효율 에너지화 설비인 연료전지의 2015년 기준 전 세계 시장규모는 약 36억 달러를 기록(아시아 지역은 전 세계 연료전지 시장의 약 65% 차지)하였고, 2024년에는 약 25억 달러 규모의 시장으로 성장할 것으로 예상되고 있다[3]. 연료전지는 관련 기관들의 지속적 시장 규모 증대 예측에도 불구하고 기존의 에너지설비에 비하여 상대적으로 높은 설비투자비용으로 인해 보급이 지연되고 있는 경향을 보이고 있다[4]. 이와 관련하여, 높은 설비투자비용에 기여하는 고가 촉매 재료를 대체하기 위한 저가형 촉매 재료와 생산단가가 높은 흑연기반 분리판 등의 핵심부품을 대체하기 위한 저가형 부품과 관련된 기술개발이 활발히 이루어지고 있다.

본 연구진은, 연료전지 발전 과정에서 생성되는 다양한 부산물(이하 연료전지 부산물)을 활용할 경우 생활에 필요한 전기에너지를 수소로부터 공급받는 건물(이하 수소에너지 주거건물)의 운영비용(에너지공급/환경개선/안전확보 비용)을 효과적으로 감축시킬 수 있을 것으로 예상하고 있다. 대표적인 연료전지 부산물은 발전폐열, 정화공기, 생성수분, 산소희박공기로 구분될 수 있으며 [5-8], 사전조사 결과 건물용 연료전지에서 이와 같은 부산물을 활용하는 기술은 상용화 단계와는 상당히 거리가 먼 것으로 파악된다. 본 연구의 목적은 수소에너지 주거건물의 운영비용 감축을 위한 연료전지 부산물 활용기술에 대한 특허분석을 통해 관련기술 현황을 파악하고 연구개발 방향을 제시하며 나아가 지식재산권 확보 전략을 구축하는 것이다.

2. 연구 방법

2.1 특허 검색 데이터베이스

본 특허분석은 2019년 10월까지 출원/공개/등록된 한국(Korean Intellectual Property Office, KIPO), 미국(United States Patent and Trademark Office, USPTO), 일본(Japan Patent Office, JPO), 유럽(European Patent Office, EPO)의 특허를 대상으로 수행하였다. WIPSON 검색 데이터베이스(Baidu, KIPRIS와 같은 특정 국가 특허 검색에 특화된 데이터베이스가 아닌 주요 100여개 국가 특허 검색이 가능한 데이터베이스)를 분석데이터로 활용하였고, 해당기술에 대해 유럽 내 특정 국가에서 원천 및 선두 기술을 보유하고 있는 것으로 판단되는 경우 유럽 내 해당 국가 특허청 검색을 실시하였다.

2.2 특허 검색 범위

2.2.1 기술분류체계 및 분류기준

본 특허분석에서는 기계/에너지 분야 전문 연구진들과의 논의를 통해 연료전지의 작동원리를 바탕으로 주요 부산물의 종류(발전폐열, 정화공기, 생성수분, 산소희박공기)를 선정하고 그 후 선정된 부산물에 대한 활용가치에 대해 기술경영 전문 연구진들과의 논의를 거쳐 중분류 및 소분류 기술 체계를 마련하였고 그 내용은 Table 1과 같다. 선정한 기술분류체계 및 범위는 아래와 같다. 첫 번째, 연료전지 발전폐열활용 기술(AAA)의 범위는 연료전지, 폐열, 회수를 핵심 키워드로 '연료전지 발전 시 생성되는 폐열 회수 및 활용 기술'로 한정되었다. 두 번째, 연료전지 정화공기활용 기술(AAB)의 범위는 연료전지, 공기, 불순물, 정화를 핵심 키워드로 '연료전지 발전을 위해 공급하는 공기를 정화하는 기술'로 한정되었다. 세 번째, 연료전지 생성수분활용 기술(AAC)의 범위는 연료전지, 수분, 회수를 핵심 키워드로 '연료전지 발전 시 생성되는 수분 포집 및 활용 기술'로 한정되었다. 네 번째, 연료전지 산소희박공기활용 기술(AAD)의 범위는 연료전지, 산소희박, 질소, 회수, 추출을 핵심 키워드로 '연료전지 발전 시 생성되는 산소희박공기 포집 및 활용 기술'로 한정되었다. 다섯 번째, 연료전지 운전모드 제어(AB)의 범위는 연료전지, 데드엔드, 퍼징을 핵심 키워드로 '데드엔드 모드 운전(정상 시 연료 출구를 닫아 연료 이용률을 최대화하는 운전 기법) 기술을 적용한 연료전지 발전 기술'로 한정되었다[9].

Table 1. Technology classification

| Category | Division | Section | Definition |
|---|-------------------------|---------------------------|--|
| Utilization of fuel cell by-product (A) | By-product (AA) | Waste heat (AAA) | Utilization of waste heat generated during electricity generation |
| | | Purified air (AAB) | Utilization of purified air generated during electricity generation |
| | | Distilled water (AAC) | Utilization of distilled water generated during electricity generation |
| | | Oxygen-depleted air (AAD) | Utilization of oxygen-depleted air generated during electricity generation |
| | Operation strategy (AB) | Dead-end mode operation | Operation strategy to effectively capture fuel cell by-products |

2.2.2 유효특허 선별 기준 및 결과

본 특허분석의 각 기술분류별 특허검색을 위한 핵심 키워드는 예비타당성조사 대상 사업에서 기 제출한 기획 내용을 기준으로 전담기관과의 논의를 거쳐 도출하였으며, 도출한 키워드를 조합하여 각 소분류 기술별 검색식을 작성하였다. 최종 검색식을 통해 얻은 원본데이터의 건수는 한국 818건, 미국 1,014건, 일본 2,009건, 유럽 362건으로 총 4,203건으로 검색되었다(Table 2). 도출된 키워드와 최종 검색식을 적용하여 얻은 원본데이터로부터 분석의 대상이 되는 기술과 관련도가 낮은 특허를 제외하기 위해 전문가 논의를 통해 노이즈 제거/중복 건 기준을 설정하였다. 이를 기준으로 Table 2에서 보는 바

Table 2. Patent selection results

| Section | KIPO | USPTO | JPO | EPO | Total |
|---------|------|-------|-------|-----|-------|
| AAA | 186 | 157 | 349 | 67 | 759 |
| AAB | 165 | 92 | 381 | 23 | 661 |
| AAC | 285 | 206 | 921 | 74 | 1,486 |
| AAD | 160 | 397 | 322 | 118 | 997 |
| AB | 22 | 162 | 36 | 80 | 300 |
| Total | 818 | 1,014 | 2,009 | 362 | 4,203 |

와 같이 각 소분류/국가별 유효특허를 추출하였으며 추출한 전체 검색결과 중 총 1,190건의 유효데이터를 대상으로 정량분석을 진행하였다.

3. 연구 결과

3.1 주요 국가별 출원동향

특허분석은 주요 국가, 주요 출원인, 세부기술별 분야로 나누어 분석하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 가로축은 출원연도를 나타내고, 세로축은 출원건수를 나타내고 있다. 전체 검색결과에서 노이즈 및 중복 건을 제외한 총 1,190건의 전체 연도별 출원동향을 살펴보면, 분석초기구간부터 출원건수가 서서히 증가하는 경향을 보이다가 2000년대 초반 이후부터 출원건수가 급격히 증가하였다. 2000년대에는 상대적으로 다수의 출원이 지속되다가 2010년대에 들어서 비교적 다소 감소된 출원건수로 유지되었다. 이를 통해 연료전지 발전 부산물 활용 기술에 있어서 2000년대부터 연구 개발 활동 및 지식재산권 확보 시도가 활발하였고 2010년대 들어서도 지식재산권 확보 시도가 꾸준히 이루어지고 있는 것으로 분석된다. 2000년대에 비해 최근으로 올수록 관련 기술의 발전에 따라 기술포화도가 증가하고 이에 따라 보다 진보적인 신규 기술을 권리화하기 위한 출원은 다소 감소된 것으로 고려된다. KIPO는 전체 출원의 약 24%를 차지하며 1990년대 말부터 출원건수가 꾸준히 증가하고, 2010년, 2012년, 2015년에 특히 다수의 출원건수가 나타났다. KIPO의 경우 USPTO, JPO에 비해 과거보다 더 많은 출원건수가 나타나 관련 기술에 대한 한국에서의 권리화의 관심도가 타국가에 비해 높다고 볼 수 있다.

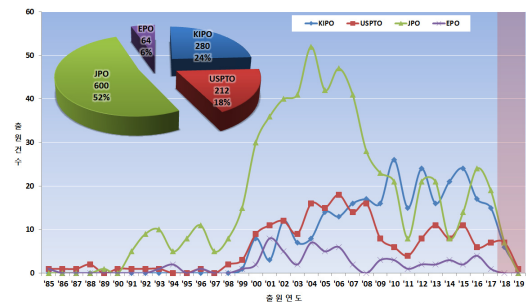


Fig. 1. KIPO (Korean Intellectual Property Office), USPTO (United States Patent and Trademark Office), JPO (Japan Patent Office), EPO(European Patent Office) patent data

USPTO는 전체 출원의 약 18%를 차지하고 있으며 1990년대 말부터 출원건수가 꾸준히 증가하여 2000년대 말까지 유지되다가 2009년 이후 감소된 출원건수로 유지되는 경향을 보였다. JPO는 전체 출원의 약 52%를 차지하고 있어 절반 이상을 차지하고 있으며 1990년대 말부터 출원건수가 급격히 증가하였다. 특히, 2004년부터 2006년까지 최대 출원건수가 나타나며 이후 감소하여 2009년 이후 꾸준한 출원건수를 유지하였다. JPO의 경우 2000년대에 관련 기술에 대한 폭발적 관심에 의해 다수의 출원건수가 발생하였고, 기술포화도의 증가에 따라 최근에는 2000년대에 비해 출원건수가 줄어든 것으로 보여진다. EPO는 전체 출원의 약 6%를 차지하고 있으며 소수의 출원으로 꾸준히 유지되는 경향을 보여주고 있다.

3.2 주요 출원인별 출원현황

3.2.1 출원인 현황

주요출원인의 출원현황은, PANASONIC이 전체 다출원인 1위(107건)로 나타나고, 현대자동차가 2위(84건)로 나타나며, TOYOTA MOTOR가 3위(71건)로 나타난다 (Fig. 2, Fig. 3). 그 뒤로, NISSAN MOTOR, FUJI ELECTRIC, HONDA MOTOR, OSAKA GAS, DONALDSON, FUELCELL ENERGY, TOKYO GAS 순으로 나타난다. 주요출원인 Top10 으로, 일본의 종합 전자기술 기업인 PANASONIC을 필두로, TOYOTA, NISSAN, HONDA와 같은 자동차회사 및 FUJI ELECTRIC과 같은 전기회사가 대다수를 차지하며 이들 일본 회사는 자국에 대다수의 출원을 한 것으로 나타난다. 일본 이외의 회사로 한국의 자동차회사인 현대자동차, 독일의 자동차 부품 회사인 DONALDSON, 미국의 에너지 회사인 FUELCELL ENERGY가 연료전지 발전 부산물 활용 기술 분야에서 다출원을 수행하고 있다. 이들 회사들도 마찬가지로 자국에 대다수의 출원을 하였음을 알 수 있다.

3.2.2 주요국가별 출원인 출원현황

주요국가별 출원인의 출원현황은, 한국의 경우, 현대자동차가 다출원인 1위(65건)로 나타나고 그 뒤로 삼성에스디아이, 한온시스템, 삼성전자 등 순으로 나타난다. 미국의 경우, 현대자동차, DONALDSON, PANASONIC 순으로 나타난다. 일본의 경우, PANASONIC, TOYOTA MOTOR, NISSAN MOTOR순으로 나타나며, 유럽의 경

우, PANASONIC, FUELCELL ENERGY, AIRBUS, 엘지전자 순으로 나타나고 있다.

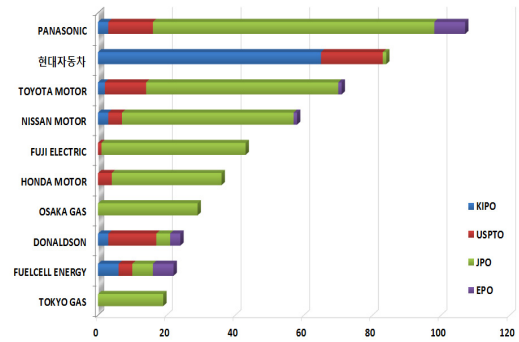


Fig. 2. Number of applications by major applicant country by application category

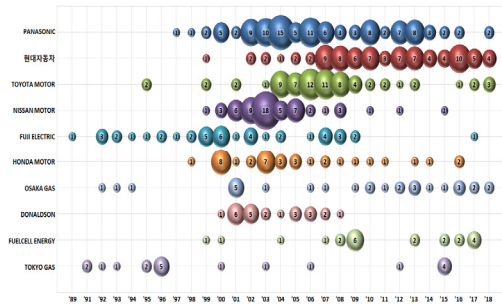


Fig. 3. Number of applications by major applicant

3.3 세부기술별 출원동향

세부기술에 대한 연도별 출원동향(Fig. 4)을 살펴보면, 연료전지 폐열활용 기술(AAA) 관련 출원은 2010년에 최다 특허출원 건수를 나타내고 1990년대 후반부터 꾸준한 출원 경향을 나타내고 이후 출원건수의 증감이 반복되는 경향이 나타나 해당 기술에 대한 꾸준한 관심이 있는 것으로 보여진다. 연료전지 정화공기활용 기술(AAB) 관련 출원의 경우, 2004년에 연료전지 생성 수분활용 기술(AAC) 관련 출원의 경우 2005년에 최다 특허출원 건수를 나타내며 1990년대 초반부터 꾸준한 출원 경향을 보인다. 다른 소분류에 비해 비교적 다수의 출원건수가 나타나기 때문에 해당 기술에 대한 연구개발 및 권리화가 많이 이루어지고 있다고 보여진다. 연료전지 산소희박공기활용 기술(AAD) 관련 출원의 경우, 2006년에 최다 특허출원 건수를 나타내며, 1980년대 후반부터 비교적 소수의 특허출원 건수가 꾸준히 나타나며 해당 기술에 대한 지식재산권 확보의 여지는 높다고 보여진다. 데드엔드 모드 운전을 적용

한 연료전지 운전모드 제어(AB) 관련 출원의 경우, 2008년에 최다 특허출원 건수를 나타내며 2000년대 중반부터 최근까지 꾸준한 출원건수를 나타내고 있다. 2008년 이후 출원건수가 다소 감소하였으며 해당 기술에 대한 지식재산권 확보 가능성이 높을 것으로 예상된다. 기술별 다출원인 현황(Fig. 5)을 살펴보면, 연료전지 발전 시 생성되는 폐열 활용 기술(AAA) 관련 출원은 PANASONIC이, 연료전지 발전을 위해 공급하는 공기를 정화하는 기술(AAB) 관련 출원은 DONALDSON이, 연료전지 발전 시 생성되는 수분 포집 및 활용 기술(AAC) 관련 출원은 현대자동차가, 연료전지 발전 시 생성되는 산소희박공기 포집 및 공급 기술(AAD) 관련 출원은 NISSAN MOTOR가 그리고 데드엔드 모드 운전을 통한 연료전지 운전모드 제어(AB) 관련 출원은 TOYOTA MOTOR가 주도하는 것으로 나타나고 있다. 특히, 연료전지 발전 시 생성되는 산소희박공기 포집/공급 기술(AAD) 및 데드엔드 모드 운전을 통한 연료전지 운전모드제어(AB)의 경우 타 기술에 비해 출원건수가 적어 연구개발을 통한 원천기술 확보 및 지식재산권 확보 가능성이 높을 것으로 예상된다.

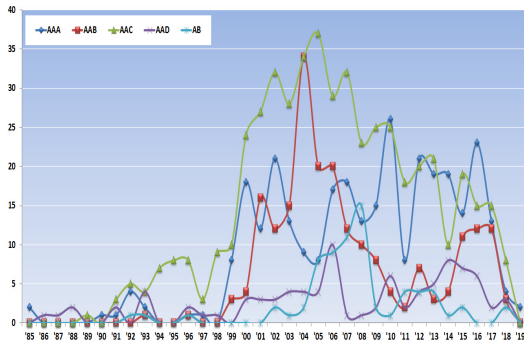


Fig. 4. Number of applications by category

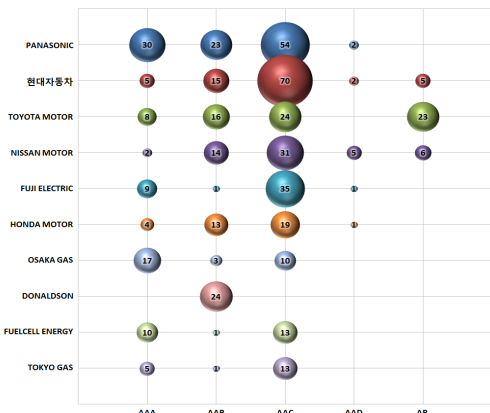


Fig. 5. Number of multi-applications by major applicant

4. 결론

본 연구에서는 수소에너지 주거건물의 운영비용을 감축시키기 위해 연료전지 발전 시 생성되는 부산물의 활용과 관련된 기술에 대한 특허분석을 수행하였고 핵심결과는 아래와 같다.

첫 번째, 연료전지 폐열활용 기술의 경우, '건물용 연료전지 발전 시 생성되는 폐열활용 기술'에 대한 특허가 다수 검색되었다. 그럼에도 불구하고, 고체산화물 연료전지와 같이 상대적으로 높은 온도영역에서 운전하는 연료전지를 활용할 경우 양질의 폐열을 통해 적용 가능성을 보다 높일 수 있을 것으로 예상된다.

두 번째, 연료전지 정화공기활용 기술의 경우, '건물용 연료전지 공기정화를 위해 시스템 내에서 정화된 공기를 활용하는 기술'에 대한 특허는 검색되지 않았다. 이와 관련하여, 건물 내 공기 정화를 목적으로 연료전지에서 배출되는 정화공기를 활용한다면 기존의 공기정화 장치의 운영 시간 및 빈도를 감축시키며 건물 공기 정화에 소요되는 총 비용을 감축시킬 수 있을 것으로 예상된다.

세 번째, 생성수분활용 기술의 경우, '건물용 연료전지 발전 시 배출되는 청정수의 활용 기술'에 대한 특허는 검색되지 않았다. 이와 관련하여, 건물 내에서의 활용을 목적으로 연료전지에서 배출되는 청정수를 활용하고자 한다면 활용목적이 명확한 분야(예. 가습 수분원으로 기존의 수돗물을 대신하는 연료전지 배출 청정수를 활용)의 구체화가 필요할 것으로 판단된다.

네 번째, 산소희박공기활용 기술의 경우, '건물용 연료전지 발전 시 생성되는 산소희박공기포집 및 활용 기술'에 대한 특허는 검색되지 않았다. 이와 관련하여, 건물용 연료전지용 연료 공급을 위한 수소공급인프라의 화재·폭발 사고 방지를 위한 산소농도 강하용 기체로 사용한다면 기존의 수소공급인프라 화재·폭발 사고방지 장치의 운영 시간을 감축시키며 안전관리 소요되는 총 비용을 감축시킬 수 있을 것으로 예상된다.

다섯 번째, 데드엔드모드 운전기술의 경우, '데드엔드모드 기술을 적용한 건물용 연료전지 발전 배출물 활용 기술'에 대한 특허는 검색되지 않았다. 이와 관련하여, 건물용 연료전지에서 배출되는 정화공기, 생성수분 그리고 산소희박공기를 효율적으로 포집하기 위해 연료전지 반응유체를 공간적/시간적으로 제어할 수 있는 데드엔드모드 운전이 이용될 수 있을 것으로 고려되며 이때 에너지효율 저감을 완화를 위한 방안이 동시에 고려되어야 할 것으로 예상된다.

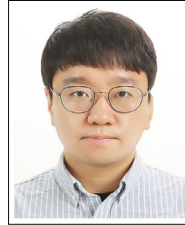
특히, 수소에너지 주거건물의 운영비용을 감축시키기 위해서는 데드엔드 모드 운전을 기반으로 연료전지로부터 배출되는 부산물(정화공기, 생성수분, 산소희박공기)을 에너지효율적으로 활용할 수 있는 시스템 및 방법으로 출원하여 권리화를 시도해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] Hydrogen scaling up, Report, Hydrogen Council, pp.8-11.
- [2] The Future of Hydrogen: Seizing Today's Opportunities, Report, International Energy Agency, pp.37-66.
- [3] Fuel Cell Market Size By Product (PEMFC, DMFC, SOFC), By Application (Stationary, Portable, Transport), Industry Analysis Report, Regional Outlook, Application Potential, Competitive Market Share & Forecast, 2020 - 2026, Market Research Report, Global Market Insights.
- [4] Manufacturing Cost Analysis of 100 and 250 kW Fuel Cell Systems for Primary Power and Combined Heat and Power Applications, Report, Battelle Memorial Institute, pp.26-83.
- [5] M. Gandiglio, A. Lanzini, M. Santarelli, P. Leone, "Design and optimization of a proton exchange membrane fuel cell CHP system for residential use", *Energy and Buildings*, Vol.69, pp.381-393, Feb. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.022>
- [6] D. M. Kennedy, D. R. Cahela, W. H. Zhu, K. C. Westrom, R. M. Nelms, "Fuel cell cathode air filters: Methodologies for design and optimization", *Journal of Power Sources*, Vol.168, No.2, pp.391-399, Jun. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2007.03.020>
- [7] X. Yu, B. Zhou, A. Sobiesiak, "Water and thermal management for Ballard PEM fuel cell stack", *Journal of Power sources*, Vol.147, No.1-2, pp.184-195, Sep. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2005.01.030>
- [8] G. Renouard-Vallet, M. Saballus, P. Schumann, J. Kallo, K. A. Friedrich, "Fuel cells for civil aircraft application: On-board production of power, water and inert gas", *Chemical Engineering Research and Design*, Vol.90, No.1, pp.3-10, Jan. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2011.07.016>
- [9] S. Hikita, F. Nakatani, K. Yamane, Y. Takagi, "Power-generation characteristics of hydrogen fuel cell with dead-end system", *JSAE Review*, Vol.23, No.2, pp.177-182, Apr. 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0389-4304\(02\)00161-3](https://doi.org/10.1016/S0389-4304(02)00161-3)

지 상 훈(SangHoon Ji)

[정회원]



- 2007년 8월 : 서울과학기술대학교 자동차공학과 (공학사)
- 2015년 8월 : 서울대학교 융합과학기술대학원 지능형융합시스템학과 (공학박사)
- 2015년 9월 ~ 2016년 12월 : 한국과학기술원 응용과학연구소 연수연구원
- 2017년 1월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<관심분야>

연료전지, 수소인프라, 신재생에너지

김 원 재(WeonJae Kim)

[정회원]



- 1996년 2월 : 고려대학교 환경공학과 (공학석사)
- 2007년 9월 : 동경대학교 도시공학과 (공학박사)
- 1996년 1월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 국토보전연구본부 환경자원재생연구센터장
- 2008년 9월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교-KICT 스쿨 건설환경공학과 교수

<관심분야>

도시물순환, 자원재생, 질소·인 회수 및 제거, 상하수도