



주요국의 신재생에너지 분야 기술경쟁력 분석 연구

하수진¹⁾ · 최지혁¹⁾ · 오상진^{2)*}

Technology Competitiveness Analysis of New & Renewable Energy in Major Countries

Su-Jin Ha¹⁾ · Ji-Hyeok Choi¹⁾ · Sang Jin Oh^{2)*}

Received 16 June 2022 Revised 25 July 2022 Accepted 1 August 2022

ABSTRACT As the threat of climate change escalates, ‘net-zero’ has become a priority for the international community, and the use of new and renewable energy sources is expected to play a significant role in reaching international carbon neutrality. Here, we evaluate technological competitiveness in terms of implementation and technology by analyzing scientific literature and patents in the new and renewable energy fields of five major countries. For the past 10 years (2009-2019), the most active areas of new and renewable energy research and development have been solar power, wind power, waste, and fuel cells. China is the forerunner in implementation, whereas the United States has the most advanced technology. Portfolio analysis revealed that Korea’s fuel cell, the United States’ bioenergy, China’s waste, Japan’s solar and fuel cell, and the European Union’s wind power have shown to be in Star Field respectively. Technological competitiveness analysis found that Korea is lagging behind other countries in the new and renewable energy sector, and needs to set a new direction for future carbon-neutral research and development, investment, and policy.

Key words Climate Change(기후변화), Net-Zero(탄소중립), New & Renewable energy(신재생에너지), Technological Competitiveness Analysis(기술경쟁력 분석), R&D Investment(R&D 투자)

1. 서론

최근 30년 동안 전 세계 인구수 및 에너지소비량이 지속적으로 증가하고 있다.^[1] 특히 산업혁명을 전후로 석탄, 석유, 천연가스와 같은 화석연료 사용이 증가했으며, 화석연료의 연소과정에서 배출되는 온실가스로 인해 지구 온도는 지속적으로 상승하는 실정이다.^[2] 2015년 파리협정(Paris

Agreement) 채택을 기점으로 국제사회에서는 산업화 이전 대비 지구 평균온도 상승폭을 1.5°C 이하로 억제하기 위한 노력을 강조하고 있다.^[3,4] 기후변화 문제에 대한 가장 적극적인 해결책으로 탄소 순배출량 ‘0’을 의미하는 탄소중립으로의 사회적 전환이 제시되고 있으며, 이를 실행하기 위해서는 전환, 산업, 건물 등 각 부문별로 탄소중립 달성을 위한 구체적인 기본계획과 세부적인 실행 방안이 요구된다.^[5] 파리협정 발효 이후 120여 개국에서 2050년 이후까지 탄소중립 달성 목표에 동참하겠다는 뜻을 밝혔으며,^[6] 국제적 흐름에 편승하여 우리나라 정부도 2020년 12월에 2050 탄소중립을 발표하였다.^[7,8]

탄소중립 이행을 위한 다양한 기술 중에서도, 온실가스

1) Researcher, Division of Technical Supervision, Green Technology Center

2) Senior Researcher, Division of Technical Supervision, Green Technology Center

*Corresponding author: rurouni628@gtck.re.kr

Tel: +82-2-3393-3988

Fax: +82-2-3393-3919

감축 목표 달성, 에너지 안보 강화, 신성장동력 확보 등의 이유로 인해 신·재생에너지 기술이 주목받고 있다.^[8] 신·재생에너지 기술은 에너지 효율 향상과 지속가능한 발전을 달성하기 위한 핵심적인 수단이며 최근 정부는 ‘제5차 신재생에너지기본계획’을 수립하는 등 저탄소 경제·사회로의 전환을 달성하고자 노력하고 있다.^[9] 이렇듯 국가 에너지 전환 정책에서 신·재생에너지의 보급 확대가 중요한 전략 목표로 자리매김하면서, 신·재생에너지 분야에서의 국내 기술경쟁력 확보는 선택이 아닌 필수 이행사항이다.

국가적 차원에서 신재생에너지 기술의 발전방안 및 전략을 수립하기 위해서는 객관적인 정보에 기반한 기술동향 조사 및 기술경쟁력 분석이 수행되어야 한다.^[10] 현재 탄소 중립 실현의 근간이 되는 신재생에너지 기술에 특화된 현황정보가 부족한 실정이며, 이에 따른 국가 정책 수립에 어려움이 존재한다.

최근 과학기술 분야의 경쟁력 비교 및 측정을 위한 기술 수준조사가 주기적으로 수행되고 있으며, 방법론의 측면에서 일반적으로 전문가 델파이 조사에 근거한 정성평가 방식을 준용하고 있다. 델파이 조사에 의존한 기존 방식은 전문가의 편향된 주관, 전문성, 기술 비교시점 등의 영향을 받기 때문에 객관성을 높이고, 신뢰성 확보하는 측면에서 어려움이 있다.^[11,12] 기존 전문가에 의존한 기술 정성분석에서 벗어나, 논문·특허 정량분석의 방식을 적용한 기술경쟁력 평가로서의 심층 분석이 요구되는 시점이다.^[13,14]

기술경쟁력 분석 관련하여 국내·외 연구동향은 다음과 같다. 국내의 경우, Green Technology Center(2020)는 탄소중립 정책에 대비하여 기후기술 분야에 특화하여 논문, 특허 등의 정량 분석(양적-질적)과 전문가 델파이를 통한 정성 분석 및 종합적 분석을 통해 국내 기후기술 수준정보를 제시하였다.^[11] Institute for Information & communication Technology Planning & evaluation (2020)은 정보통신 기획평가원에서 ICT 12대 기술 분야의 152개 소분류 기술을 대상으로 기술별 10명 내외의 전문가를 그룹으로 구성하여 Focused Group Interview(FGI) 방식으로 기술수준 점수를 도출하였다.^[15]

국외의 경우, 미국 World Technology Evaluation Center는 2012년부터 매년 다른 주제로 발행하는 보고서로, 특정 과학기술 분야의 국제적 동향을 조사하고, 주요 경쟁국 대

비 기술수준과 인프라 비교하는 내용으로 구성되어 있으며, 전문가 패널 대표단이 현장을 방문하고, 워크숍을 개최하는 등의 방법으로 방문한 국가별 특정 기관에 대해 조사 및 비교를 수행하였다.^[16]

기존 국내 연구에서는 전문가 델파이 조사를 기반한 정성평가와 논문·특허를 적용한 평가지표 등 다양한 형태의 기술경쟁력 분석을 수행한 반면, 국외 사례에서는 지표 기반의 국내사례와 달리 일반적 범주에서 기술경쟁력 측정을 수행하고 있다. 본 논문은 기존 사례를 기반으로 3가지(양적, 질적, 포트폴리오) 유형의 기술경쟁력 평가 지표를 구성하였으며, 최신화된 논문·특허 정보를 활용한 심층적 분석을 수행하여 기존 국내·외 연구사례와의 차별성을 두고자 한다.

본 연구에서는 심회되는 기후변화에 영향에 대응하고 탄소중립 실현의 기술적 수단이 되는 신재생에너지 분야의 기술경쟁력 분석을 수행하였으며, 체계적인 분석을 통해 국가R&D투자 및 정책수립에 유의미한 자료제공 및 확산을 목표로하고자 한다. 기술경쟁력 분석은 “기후기술 분류체계”의 45대 소분류 분야 중 신재생에너지 10대 기술(수력, 태양광, 태양열, 지열, 풍력, 해양에너지, 바이오에너지, 폐기물, 수소제조, 연료전지)을 대상으로 수행하였다. 기술경쟁력 분석은 논문 및 특허 자료를 기반으로 대상기술의 객관적 정보를 제공하기 위한 데이터 기반의 대표적인 정량 평가 방법 중 하나이다.^[17] 본 연구에서는 기술경쟁력의 객관적인 측정을 위해 양적 경쟁력을 측정할 수 있는 활동력 부문과 질적 경쟁력을 측정할 수 있는 기술력 부문을 고려하여 평가지표를 구성하였다. 특히, 「2020 기후기술 수준조사」에 활용된 지표 이외에 중요논문과 중요특허 비율 항목을 신규로 추가하였으며, 포트폴리오 분석을 통해 국가별 연구개발 활동도와 매력도(영향력)를 산출하고 스타분야, 집중분야, 도전분야, 관망분야의 4개로 유형화하여 분석하였다. 마지막으로 기술경쟁력 분석 결과를 통해 신·재생에너지 분야에서의 우리나라 기술수준을 종합적으로 정리하고, 경쟁력 저해 요인에 관한 탐색적인 분석과 함께 향후 탄소중립 실현을 위한 R&D 투자 정책제언을 하고자 하였다.

2. 연구방법

본 연구에서는 신·재생에너지 기술경쟁력 분석을 수행하기 위해서 대상기술 분야를 ‘녹색기술센터(GTC)’의 기후 기술 분류체계 중 신·재생에너지 10개(수력, 태양광, 태양열, 지열, 풍력, 해양에너지, 바이오에너지, 폐기물, 수소 제조, 연료전지) 기술로 한정하였다. 그리고 신·재생에너지 주요 국가는 전 세계 특허 출원의 80% 이상 차지하는 IP5 인 한국, 미국, 중국, 일본, EU을 대상으로 선정하였다.

본 연구에서는 기술경쟁력 분석을 위해서 논문 및 특허 동향 분석, 활동력 및 기술력 분석, 포트폴리오 분석을 수행하였다. 논문 및 특허 정보는 2020년 6월 검색일을 기준으로 하여 2009년부터 2019년 공개된 정보를 대상으로 하였다. 우선 논문 동향분석의 경우, Web of Science(WOS) 사이트를 활용하여 논문 정보를 수집하였다. 해당 사이트에서는 Table 1과 같이 신·재생에너지 분야 기술별 관련 키워드를 기반으로 검색된 논문 정보를 수집하였다. 논문 정보 검색 시에는 논문의 제목, 초록, 저자 키워드(Author Keyword), 인용 문헌 기반 키워드(Keyword Plus) 4가지 항목을 검색범위로 설정하였다. 이때, 검색된 개별 논문 정보에 대해 해당 기술 분야가 맞는지 유효성 검토를 추가 수행하였다. 그리고 개별 논문 정보에서 마지막 교신저자의 소속 기관을 중심으로 국가를 구분하여 최종 분석대상 데이터를 마련하였다.

특히 동향분석의 경우, 신·재생에너지 분야 개별 기술별 관련 도출된 키워드(Table 1 참조)를 기반으로 WINTELIPS에서 제공하는 공개, 공고, 등록 특허에 대한 정보를 수집하였다. 이후 특허 정보에 대해 유효성 검토를 수행하였다. 특허 정보는 총 12개국 Full-text 정보와 85개국의 서지정보 데이터베이스를 기반으로 높은 신뢰도를 갖는 정량분석에 활용할 수 있다.

다음으로 신·재생에너지 주요 국가별 활동력(Activity) 및 기술력(Technology level) 분석을 수행하였다. 활동력에는 논문 점유율(Share of paper), 논문 증가율(Increase in the number of paper), 특허 점유율(Share of patent), 특허 증가율(Increase in the number of patent), 해외 출원도(Overseas patent application index) 총 5개 항목으로 구분하여 분석하였다. 기술력은 논문 영향력(Impact

of paper), 중요 논문 비율(Share of key paper), 연구자 다양성(Researcher diversity), 특허 영향력(Impact of patent), 중요 특허 비율(Share of key patent), IP4 점유율(Share of IP4), 특허 청구항수(Number of patent claims) 총 7개 항목으로 구분하여 분석하였다. 활동력 및

Table 1. Keywords for searching published papers and patents

Technology	Keywords
Hydropower	Hydropower, Water power, Hydraulic, Hydro force, Fluid power, Fluid force, Generate, Energy, Plant, Engine, Turbine, Wheel, Runner, Blade, Wing, Impeller, Propeller
Photovoltaic power	Solar, Battery, Recharge, Cell, Generate, Solar cell, Solar battery, Photovoltaic, Module, Inverter, Film, Membrane, Silicon, Efficiency
Solar thermal power	Solar, Sun, Photovoltaic, Power, Electric, Plant, Generate, Energy, Harvest, Heat collect, Thermal collect, Light collect, Heat storage, Light storage, Thermal storage
Geothermal power	Geothermal, Ground thermal, Ground source, Geo heat, Ground heat, Terrestrial, Subterranean, Power, Electric, Plant, Generate, Energy, Harvest, Heat pump, Heat change, Heat exchange, Heat transfer, Change, Exchange, Pump
Wind power	Energy, Power, Electric, Farm, Generate, Wind, Breeze, Bearing, Yaw, Accelerate, Transmission, Gearbox, Space, Complex, Site, Fan, Wing, Blade, Vane, Propeller, Turbine
Ocean energy	Salinity, Difference, Hydropower, Waterpower, Hydraulic, Hydro force, Fluid power, Fluid force, Tidal, Wave, Energy, Power, Electric, Farm, Generate
Bio energy	Bio, Mass, Energy, Fuel, Methane, Ethan, Butane, Alcohol, Gas, Hydro, Refinery, Diesel, Oil, Bio alcohol, Bio ethanol, Bio butanol, Bio-hydrogen, Bio refinery, Bio diesel, Bio oil, Wood, Chip, Pellet, Lignin, Lignocellulose, Pretreat, Saccharify, Saccharize
Waste energy	Waste, Sludge, Sewage, Landfill, Liquefy, Energy, Recover, Recycle, Reuse, Scrap, Gasify, Pyrolysis, Resource, Combust, Nurn reduce, Incinerate, Thermal, Decomposite
Hydrogen production	Hydrogen, H2, Product, Process, Manufacture, Polymerize, Generate, Prepare, Making, Synthesis, Energy, Fuel, Electrolysis, Water
Fuel cell	Fuel cell, Fuel-battery, Electrode, Catalyst, Promoter, Membrane, Reformer, Stack, Power, Convert, Recover, Heat, Energy, Processor

기술력 개별 항목의 정의는 Table 2와 같다. 전체 논문 또는 특허 또는 국가(Entire)와 주요 5개국(Korea, USA, China, Japan, EU) 해당 논문 또는 특허를 대상으로, 가장 높은 점수를 기록한 경우를 5점, 가장 낮은 점수를 기록한 경우를 0점으로 환산하여 분석하였다. 상기 내용은 Green Technology Center(2020)와 Korea Institute of S&T Evaluation and Planning(2021)를 인용하였다.^[11,18]

마지막으로 신·재생에너지 주요 국가별 포트폴리오 분석을 수행하였다. 포트폴리오 분석은 논문과 특허 각각의 집중도 지수(Activity index)와 영향력 지수(Attractivity

index)로 구성하였으며, 각각 지수의 정의는 Table 3과 같다. 포트폴리오 분석에서 집중도와 영향력 지수가 모두 1 이상인 기술은 스타분야로 분류하였다. 집중도 지수는 1 이상이나 영향력 지수가 1 미만인 기술은 집중분야로 분류하였다. 그리고 집중도 지수는 1 미만이나 영향력 지수가 1 이상인 기술은 도전분야로 분류하였다. 마지막으로 집중도

Table 2. Definition for each category of (a) activity and (b) technology level

(a) Activity	Definition
Share of paper	$\frac{\text{Number of papers in a particular country for a particular technology}}{\text{Total number of papers for a particular technology}}$
Increase in the number of paper	$\frac{\text{Number of papers in a particular country for a particular technology for the recent period}}{\text{Total number of papers in a particular country for a particular technology for the past period}}$ ※ Past period: 2010–2014, Recent period: 2015–2019
Share of patent	$\frac{\text{Number of patents in a particular country for a particular technology}}{\text{Total number of patents for a particular technology}}$
Increase in the number of patent	$\frac{\text{Number of patents in a particular country for a particular technology for the recent period}}{\text{Total number of patents in a particular country for a particular technology for the past period}}$ ※ Past period: 2009–2013, Recent period: 2014–2018
Overseas patent application index	$\frac{\text{Number of family patent countries in a particular country for a particular technology}}{\text{Total number of family patent countries in a particular country for a particular technology}}$ ※ Family patent: Patents with the same contents published in two or more countries

Table 2. Definition for each category of (a) activity and (b) technology level (Continued)

(b) Tech. level	Definition
Impact of paper	$\frac{\text{Total number of citations of papers in a particular country for a particular technology}}{\text{Total number of papers in a particular country for a particular technology}}$
Share of key paper	$\frac{\text{Number of key papers } (\geq 10 \text{ citations}) \text{ in a particular country for a particular technology}}{\text{Total number of papers for a particular technology}}$
Researcher diversity	$1 - \frac{\text{Number of papers involving the top 5 major researchers in a particular country for a particular technology}}{\text{Total number of papers in a particular country for a particular technology}}$
Impact of patent	$\frac{\text{Total number of paper citations in a particular country for a particular technology}}{\text{Total number of papers in a particular country for a particular technology}}$
Share of key patent	$\frac{\text{Number of key patents } (\geq 10 \text{ claims}) \text{ in a particular country for a particular technology}}{\text{Total number of patents for a particular technology}}$
Share of IP4	$\frac{\text{Number of concurrnet patents in a particular country for a particular technology}}{\text{Total number of concurrnet patents for a particular technology}}$ ※ IP4: Patents from four countries: Korea, USA, China, Japan, EU
Number of patent claims	$\frac{\text{Number of patents claims in a particular country for a particular technology}}{\text{Total number of papers in a particular country for a particular technology}}$

Table 3. Definition of activity index and attractivity index

Category	Definition
Activity index	Number of papers (patents) in a particular country (applicant) for a particular technology
	Number of papers (patents) for a particular technology
	Number of papers (patents) in a particular country (applicant) for all technologies
	Number of papers (patents) for all technologies
Attractivity index	Number of papers (patents) citations in a particular country (applicant) for a particular technology
	Number of papers (patents) citations for a particular technology
	Number of papers (patents) citations in a particular country (applicant) for all technologies
	Number of papers (patents) citations for all technologies

와 영향력 지수가 모두 1 미만인 분야는 관망분야로 분류하였다.

3. 연구결과

3.1 신·재생에너지 전체 논문·특허 동향분석

신·재생에너지 연구 동향을 분석하기 2009년부터 2019년까지 게재된 논문 및 출원된 특허를 수집하였으며, 각각의 유효한 논문 및 특허 수는 Table 4와 같다. 전체 분석대상 논문은 총 78,570건으로 가장 많은 논문을 게재한 국가

Table 4. The results of effective papers and patents researched

Country	Number of papers (Ratio)	Number of patents (Ratio)	Period
Korea	6,329 (8.1%)	14,207 (20.3%)	2009.01. - 2019.12.
USA	13,825 (17.6%)	7,044 (9.0%)	
China	24,689 (31.4%)	22,905 (29.2%)	
Japan	4,554 (5.8%)	18,713 (23.8%)	
EU	29,173 (37.1%)	7,016 (8.9%)	
Entire	78,570 (100.0%)	69,885 (100.0%)	

는 EU(29,173건)로 37.1%의 비율을 차지하고 있었다. 다음으로 중국(24,689건) 31.4%, 미국(13,825건) 17.6%, 한국(6,329건) 8.1%, 일본(4,554건) 5.8% 순으로 나타났다. 전체 분석대상 특허는 총 69,885건으로 가장 많은 특허를 출원한 국가는 중국(22,905건)으로 29.2%의 비율을 차지하고 있었다. 다음으로는 일본(18,713건) 23.8%, 한국(14,207건) 20.3%, 미국(7,044건) 9.0%, EU(7,016건) 8.9% 순으로 나타났다. 중국은 논문과 특허의 비중이 각각 31.4%와 29.2%로 신·재생에너지 분야 논문 및 특허 활동이 모두 활발한 것으로 나타났다. 미국과 EU는 각 국가에서 특허출원 대비 논문 게재 활동이 높은 것으로 나타났으나, 한국과 일본의 경우 논문보다는 특허출원의 활동이 높은 것으로 분석되었다.

신·재생에너지 분야의 연도별 논문 및 특허 추이를 Fig. 1과 같이 살펴보았다. 전체 분석 대상 논문의 경우 과거 2009년부터 2019년까지 선형적인 증가 추이가 확인되었다. 반면, 특허의 경우는 2009년부터 2011년까지는 선형적으로 증가하다가 2011년부터 2019년까지는 감소추세가 지속되었다. 이를 통해서, 2013년을 기점으로 특허 대비 논문을 중심으로 한 연구 활동이 활발한 것으로 분석되었다. 참고로 2019년 특허출원 건수가 급격히 감소한 것은 출원 이후 1년 6개월 이내의 미공개 특허가 포함된 것으로 사료된다.

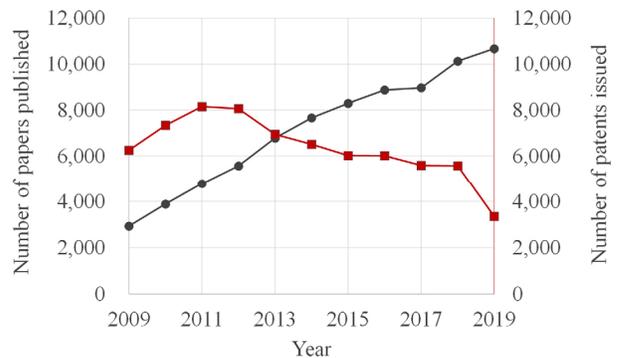


Fig. 1. The number of papers and patents per year

3.2 신·재생에너지 주요 국가별 논문·특허 동향분석

주요 국가별 연구 동향을 분석하기 위해서 개별 국가별 논문 및 특허 추이를 Fig. 2와 같이 살펴보았다. Fig. 2(a)에서 논문 게재 경향을 살펴보면, 전반적으로 한국, 미국, 일본은 2013년에서 2015년까지 논문 게재 건수가 소폭 증

가하다 이후 유지되었다. 반면, 중국과 EU는 2009년부터 2019년까지 지속해서 논문 게재 건수가 증가한 것으로 나타났다. 특히 중국은 2017년을 기준으로 EU의 연간 게재 건수를 증가하여 최근 2년 동안 연간 가장 많은 논문을 게재한 것으로 분석되었다. 2019년을 기준으로 중국 4,671건, EU 3,480건, 미국 1,351건, 한국 737건, 일본 429건 순으로 논문 게재 건수가 많은 것으로 나타났다.

Fig. 2(b)에서는 특허출원 경향을 살펴보았다. 한국과 일본은 개별 국가별로 2011년과 2012년에 가장 높은 특허출원 건수를 기록하고 이후 2019년까지 지속해서 출원이 감소하였다. 반면, 미국과 EU는 2009년부터 2019년까지 비교적 선행적인 출원 감소세가 나타났다. 5개 주요 국가 중 유일하게 중국이 2009년부터 2019년까지 지속해서 특허출원 건수가 증가하는 경향이 나타났다. 2018년을 기준으로 중국 2,496건, 일본 207건, 한국 261건, 미국 184건, EU 142건 순으로 특허출원 건수가 많은 것으로 나타났다.

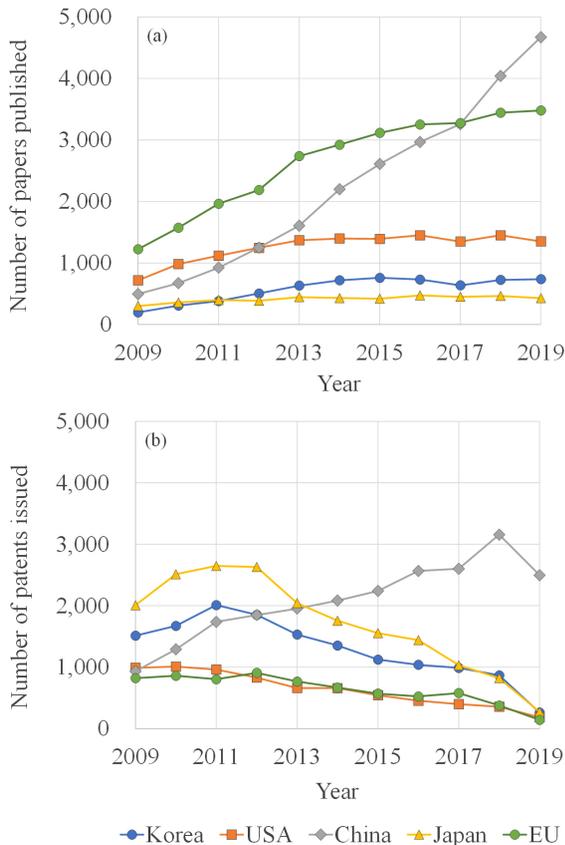


Fig. 2. (a) The number of published papers and (b) the number of issued patents for each country per year

3.3 신·재생에너지 기술별 논문·특허 동향분석

다음으로 주요 기술별 논문 게재 및 특허출원 추이를 Fig. 3과 같이 살펴보았다. Fig. 3(a)를 살펴보면, 신·재생에너지 10개 기술의 모든 분야에서 논문 건수는 지속해서 증가하는 추세가 확인되었다. 최근 10년 동안 가장 많은 증가세를 보인 기술은 태양열로 2010년 대비 2019년 7.5배 증가하였다. 다음으로 수력(5.5배), 풍력(4.9배), 수소제조(3.7배), 해양에너지(3.6배), 폐기물(3.1배), 태양광(3.1배), 지열(2.8배), 바이오에너지(2.6배), 연료전지(1.2배) 순으로 나타났다. 2019년을 기준으로 가장 많은 논문을 게재한 기술 분야는 태양광(2,481건)이었다. 다음으로 풍력(1,922건), 폐기물(1,659건), 연료전지(1,317건), 지열(1,243건), 바이오에너지(1,168건), 수소제조(359건), 태양열(354건),

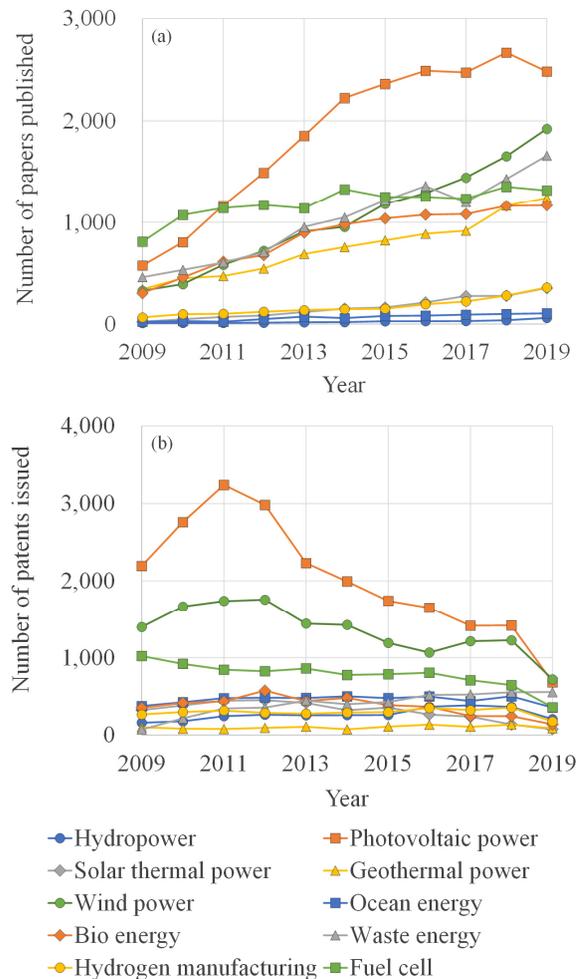


Fig. 3. (a) The number of published papers and (b) the number of issued patents for each technology per year

해양에너지(105건), 수력(60건) 순으로 확인되었다.

Fig. 3(b)에서 개별 기술별 2009년부터 2018년 기준 특허출원 추이를 살펴보았다. 신·재생에너지 10개 기술 중에서 유일하게 폐기물(7.8배)이 비교적 지속적인 증가세를 보였다. 그 외 9개 기술은 2011년과 2012년 이후 특허출원 건수가 대체로 감소 혹은 유지하는 경향을 나타내었다. 2018년을 기준으로 가장 많은 특허를 출원한 기술 분야는 태양광(1,419건)이었다. 다음으로 풍력(1,226건), 연료전지(645건), 폐기물(554건), 해양에너지(501건), 수력(364건), 수소제조(355건), 바이오에너지(244건), 태양열(136건), 지열(135건) 순으로 확인되었다.

Fig. 3의 결과를 종합하여 살펴보면, 최근 논문과 특허에서 모두 연구가 활발한 기술 분야는 태양광, 풍력, 폐기물, 연료전지 정도로 확인되었다.

3.4 신·재생에너지 주요 국가별 활동력·기술력 분석

앞서, 논문 및 특허 정보를 활용한 신·재생에너지 분야의 연구 동향에 대해 살펴보았다. 다음으로는 논문 및 특허 정보를 기반으로 신·재생에너지 분야의 국가별 활동력 및 기술력을 분석해보았다. 우선 Fig. 4(a)와 Table 5(a)에서 신·재생에너지 분야의 국가별 활동력을 비교하였다. 한국의 활동력은 논문 점유율, 논문 증가율, 특허 증가율, 해외출원도 4개 항목에서 항목별로 모두 주요 5개 국가 평균 점수 이하의 낮은 활동력을 갖는 것으로 분석되었다. 활동력 5개 항목 중 특허 점유율만 0.57점으로 평균 점수인 0.55점과 유사한 수준이었다. 미국은 해외출원도를 제외한 항목에서 모두 평균 점수 이하의 낮은 활동력을 갖는 것으로 분석되었다. 해외출원도의 경우 3.39점으로 EU 다음 높은 점수를 나타냈다. 중국은 논문 점유율, 논문 증가율, 특허 점유율, 특허 증가율 4개 항목에서 평균 점수 이상의 높은 활동력을 나타냈다. 특히 논문 및 특허 증가율은 5개 국가 중 가장 높은 점수를 보였다. 반면, 해외출원도의 경우에는 5개 국가 중 가장 낮은 점수를 갖는 것으로 분석되었다. 일본은 비교적 논문과 특허 활동 전반에서 낮은 점수를 보였다. 특히 논문 점유율과 논문 활동력은 모두 5개 국가에서 모두 최하위 수준으로 나타났다. 특허 점유율은 0.92점으로 평균 점수 0.55점보다 다소 높았으나, 특허 점유율은 5개 국가 중 최하위 수준이었으며 해외출원도의 경우에도

1.12점으로 평균 점수 1.97점보다 낮게 분석되었다. EU의 경우는 논문 점유율, 해외출원도의 경우 항목별 평균 점수 이상의 높은 활동력을 보였다. 반면 논문 및 특허 증가율은 평균보다 다소 낮은 수준이었으며, 특허 점유율에서는 5개 국가 중 최하위 수준인 것으로 분석되었다. 상기 활동력에 해당하는 5개 항목 점수를 종합적으로 고려해보면, 가장 활동력이 높은 국가는 중국으로 확인되었다. 다음으로 EU, 미국, 한국, 일본 순으로 분석되었다.

다음으로, Fig. 4(b)와 Table 5(b)에서 신·재생에너지 분야의 국가별 기술력을 비교하였다. 한국의 기술력은 논문 영향력, 중요 논문 비율, 연구자 다양성, 특허 영향력, 중요 특허 비율, IP4 점유율, 특허 청구항수 7개 항목에서 모두 평균 점수 이하의 낮은 기술력을 갖는 것으로 분석되었다. 한국의 기술력 항목 중 가장 점수가 높은 항목은 특허 영향력으로 1.66점이었으며, 미국 다음으로 두 번째로

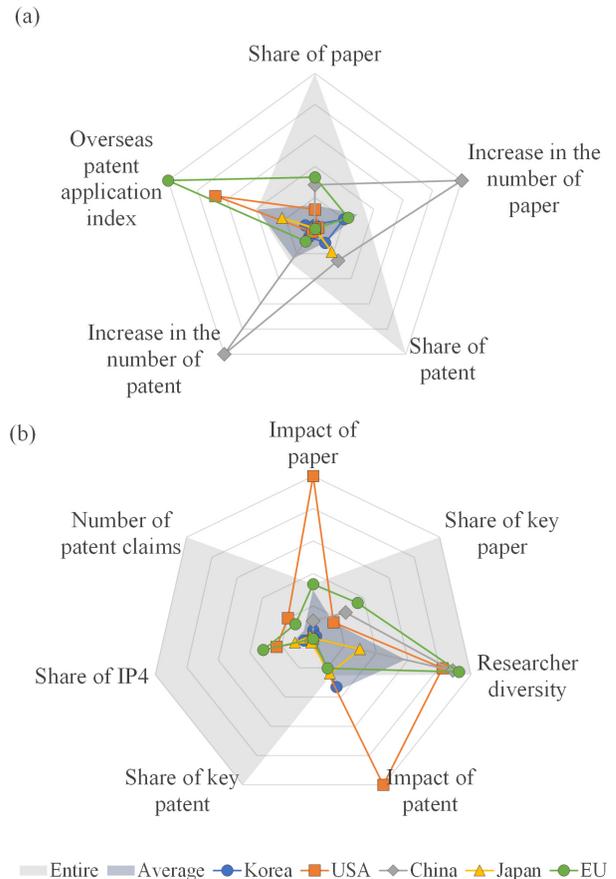


Fig. 4. The relative evaluation points of (a) activity and (b) technology level for each country

Table 5. The relative evaluation points of (a) activity and (b) technology level for each country

(a) Activity	Entire	Avg.	Korea	USA	China	Japan	EU
Share of paper	5.00	0.76	0.12	0.61	1.41	0.00	1.65
Increase in the number of paper	1.72	1.45	0.99	0.11	5.00	0.00	1.13
Share of patent	5.00	0.55	0.57	0.00	1.28	0.92	0.00
Increase in the number of patent	1.35	1.20	0.32	0.14	5.00	0.00	0.51
Overseas patent application index	1.97	1.97	0.33	3.39	0.00	1.12	5.00
(b) Tech. level	Entire	Avg.	Korea	USA	China	Japan	EU
Impact of paper	1.67	1.49	0.25	5.00	0.54	0.00	1.67
Share of key paper	5.00	0.79	0.11	0.80	1.28	0.00	1.75
Researcher diversity	5.00	2.92	0.00	4.10	4.43	1.48	4.62
Impact of patent	1.26	1.77	1.66	5.00	0.00	1.20	1.02
Share of key patent	5.00	0.06	0.00	0.07	0.07	0.14	0.01
Share of IP4	5.00	0.72	0.29	1.16	0.00	0.58	1.58
Number of patent claims	5.00	0.37	0.05	1.00	0.00	0.11	0.70

높은 수준이었다. 반면, 연구자 다양성 및 중요 특허 비율을 5개 국가 중 최하위 수준인 것으로 나타났다. 미국은 기술력 7개 항목에서 모두 평균 점수 이상을 보여, 신·재생에너지 분야 전반에서 우수한 기술력을 갖는 것으로 분석되었다. 특히, 논문 영향력, 특허 영향력, 특허 청구항수 3개 항목에서 주요 5개국 중 가장 높은 점수를 보였다. 중국은 중요 논문 비율, 연구자 다양성, 중요 특허 비율 3개 항목에서 평균 점수 이상을 보였다. 그러나 논문 영향력, 특허 영향력, IP4 점유율, 특허 청구항수 항목에서는 평균 점수 이하의 낮은 기술력을 보였다. 특히, 특허 영향력, IP4 점유율, 특허 청구항수 항목에서는 5개 국가 중 최하위 수준으로 분석되었다. 일본의 경우에는 중요 특허 비율의 점수는

0.14점으로 주요 5개국 중 가장 높은 수준으로 보였다. 그러나, 중요 특허 비율 1개 항목을 제외한 6개 항목에서 모두 평균 점수 이하의 비교적 낮은 기술력을 보였다. 논문 영향력과 중요 논문 비율은 주요 5개국 중 가장 최하위 수준으로 분석되었다. 연구자 다양성, 특허 영향력, IP4 점유율, 특허 청구항수 항목에서는 주요 5개 국가 중 3~4순위로 나타났다. EU는 논문 영향력, 중요 논문 비율, 연구자 다양성, IP4 점유율, 특허 청구항수 5개 항목에서 평균 점수 이상의 비교적 높은 기술력을 갖는 것으로 분석되었다. 특히 중요 특허 비율, 연구자 다양성, IP4 점유율 항목에서 주요 5개국 중 최우수 수준이었다. 특허 영향력과 중요 특허 비율은 각각 1.02점과 0.01점으로 평균 점수보다 다소 낮은 수준이었으며, 2개 항목 모두 주요 5개국 중 4위로 분석되었다. 상기 기술력에 해당하는 7개 항목 점수를 종합적으로 고려해보면, 가장 기술력이 높은 국가는 미국으로 확인되었다. 다음으로 EU, 중국, 일본, 한국 순으로 분석되었다.

3.5 신·재생에너지 주요 국가별 논문·특허 포트폴리오 분석

신·재생에너지 분야 주요 5개국에 대해 논문 및 특허 정보 기반의 포트폴리오 분석을 수행하였으며, 그 결과는 Fig. 5~9와 같다. 우선 Fig. 5에서는 한국의 논문 및 특허 정보를 토대로 활동도와 매력도를 분석하였다. 신·재생에너지 분야 10개 기술 중 논문 및 특허 포트폴리오에서 모두 스타분야에 해당하는 기술은 연료전지로 분석되었다. 반면, 바이오에너지 및 수소제조 기술은 논문 및 특허 포트폴리오에서 모두 관망분야에 속하는 것으로 나타났다. 한국의 논문 포트폴리오를 살펴보면, 스타분야에 해당하는 기술은 태양광과 연료전지 기술로 분석되었다. 반면, 집중분야와 도전분야에 해당하는 기술은 없었다. 그리고 신·재생에너지 10개 기술 중 태양광과 연료전지를 제외한 8개 기술 모두 관망분야로 나타났다. 다음으로 특허 포트폴리오를 살펴보면, 스타분야에 해당하는 기술은 수력, 폐기물, 연료전지 기술로 분석되었다. 집중분야에 해당하는 기술은 태양광과 풍력으로 분석되었다. 도전분야에 해당하는 기술은 지열과 해양에너지였으며, 관망분야에는 바이오에너지와 수소제조 기술이 해당하는 것으로 나타났다. 한국의 신·재

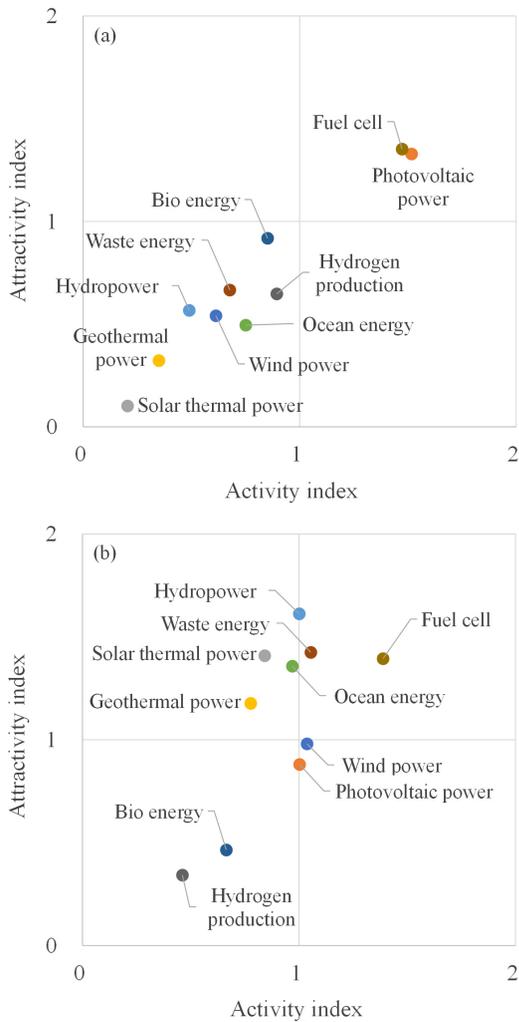


Fig. 5. Activity and attractivity index of (a) papers and (b) patents in Korea

생에너지 분야 포트폴리오를 종합적으로 살펴보면, 논문에서는 대부분 기술이 관망분야에 집중되어 있었으나, 특허에서는 비교적 4개 분야에 고루 분포된 것으로 확인되었다.

미국의 논문 및 특허 포트폴리오는 Fig. 6과 같이 분석되었다. 신·재생에너지 분야 10개 기술 중 논문 및 특허 포트폴리오에서 모두 스타분야에 해당하는 기술은 바이오에너지 기술로 나타났다. 논문 및 특허 포트폴리오에서 모두 집중분야 또는 도전분야에 해당하는 기술은 존재하지 않았으나, 관망분야에 해당하는 기술은 수력, 해양에너지, 폐기물로 분석되었다. 미국의 논문 포트폴리오를 살펴보면, 스타분야에 해당하는 기술은 바이오에너지와 연료전지로 분석되었다. 집중분야에는 태양열, 지열, 풍력 기술이, 도전

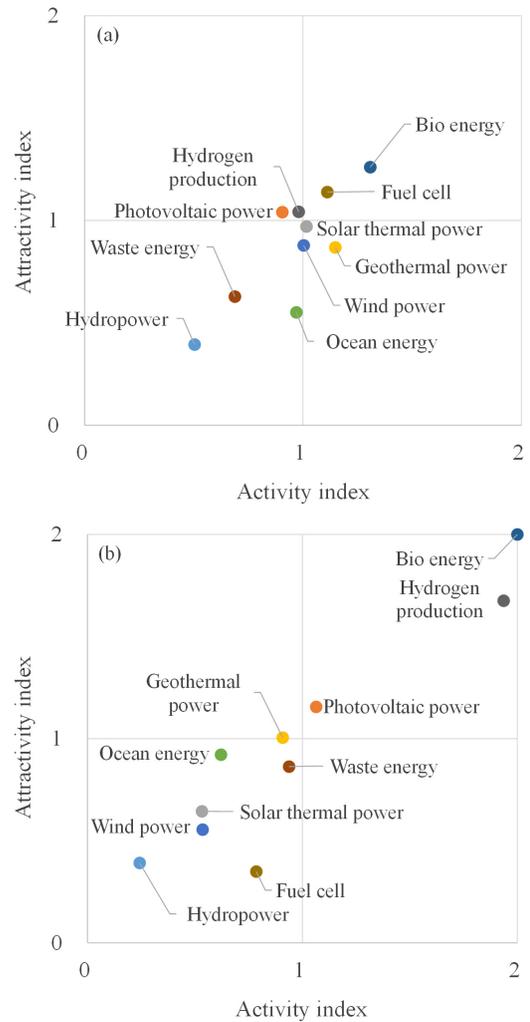


Fig. 6. Activity and attractivity index of (a) papers and (b) patents in USA

분야에는 태양광, 수소제조 기술이, 관망분야에는 수력, 해양에너지, 폐기물 기술이 해당하였다. 다음으로 특허 포트폴리오를 살펴보았다. 특허 포트폴리오에서 스타분야에 해당하는 기술은 태양광, 바이오에너지, 수소제조로 분석되었다. 그러나, 집중분야에 해당하는 기술은 존재하지 않았다. 도전분야에 해당하는 기술은 지열 1개 기술이 존재하였다. 관망분야에는 수력, 태양열, 풍력, 해양에너지, 폐기물, 연료전지 총 6개 기술이 해당하였다. 미국의 논문 포트폴리오에서는 신·재생에너지 기술이 비교적 4개 분야에 고루 분포된 것을 확인할 수 있었으나, 특허 포트폴리오에서는 스타분야와 관망분야에 다소 집중된 형태를 보였다.

중국의 논문 및 특허 포트폴리오는 Fig. 7과 같이 분석

되었다. 중국의 논문 및 특허 포트폴리오에서 모두 스타분야에 해당하는 기술은 폐기물이 유일한 것으로 분석되었다. 그 외, 논문 및 특허 포트폴리오가 동일한 분야에 속한 기술은 존재하지 않았다. 중국의 논문 포트폴리오를 살펴보면, 스타분야에 해당하는 기술은 폐기물로 확인되었다. 집중분야에는 태양광, 풍력, 바이오에너지 기술이 해당하였다. 도전분야에는 수소제조, 연료전지 기술이 해당하였으며, 관망분야에는 수력, 태양열, 지열, 해양에너지 기술이 해당하였다. 다음으로 특허 포트폴리오에서 스타분야에 해당하는 기술은 수력, 태양열, 지열, 풍력, 해양에너지, 폐기물로 분석되었다. 반면, 집중 및 도전분야에 해당하는 기술은 없었다. 그리고 관망분야에 해당하는 기술은 태양

광, 바이오에너지, 수소제조, 연료전지이었다. 중국은 10개 신·재생에너지 기술이 논문 포트폴리오에서 비교적 4개 분야에 고루 분포하고 특허 포트폴리오에서는 스타분야와 관망분야에 집중되어, 미국과 유사한 포트폴리오 형태를 보였다.

일본의 논문 및 특허 포트폴리오는 Fig. 8과 같이 분석되었다. 신·재생에너지 분야 10개 기술 중 논문 및 특허 포트폴리오에서 모두 스타분야에 해당하는 기술은 태양광 및 연료전지 기술로 분석되었다. 반면, 관망분야에 해당하는 기술은 수력, 태양열, 지열, 풍력, 해양에너지, 폐기물 총 6개 기술로 분석되었다. 일본의 논문 포트폴리오를 살펴보면, 스타분야에 해당하는 기술은 태양광, 바이오에너지, 연

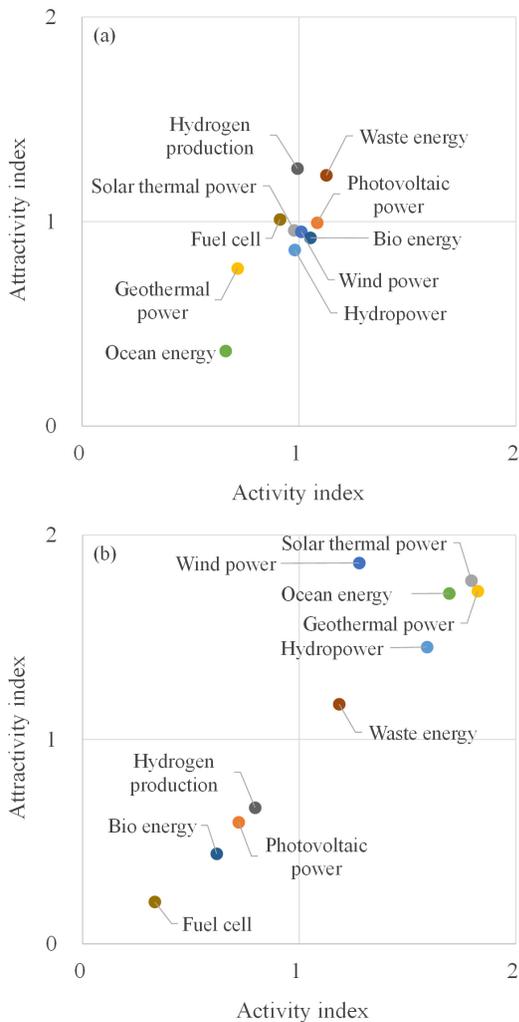


Fig. 7. Activity and attractivity index of (a) papers and (b) patents in China

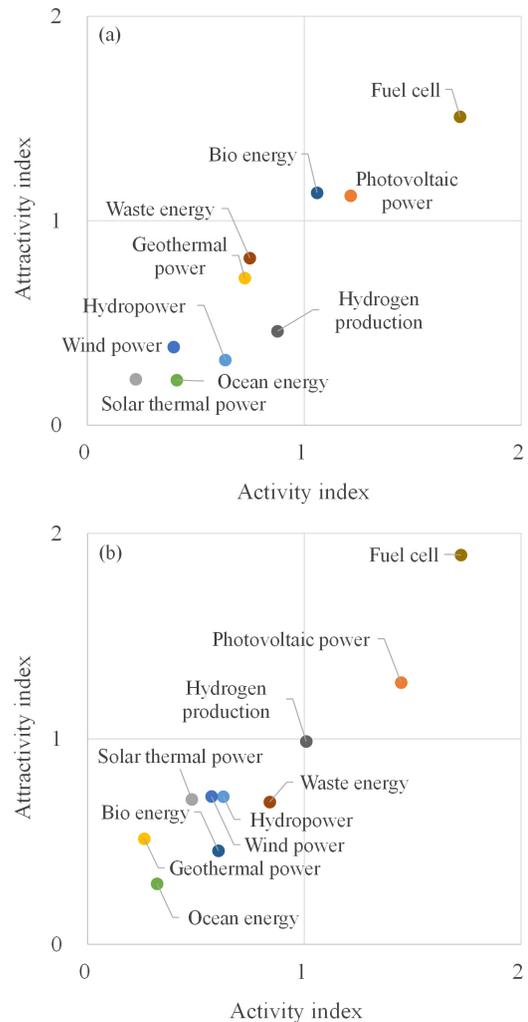


Fig. 8. Activity and attractivity index of (a) papers and (b) patents in Japan

료전지로 나타났다. 일본의 논문 포트폴리오에서 집중 또는 도전분야에 해당하는 기술은 존재하지 않았으며, 상기 스타분야에 해당하는 3개 기술을 제외한 7개 기술은 모두 관망분야에 해당하는 것으로 분석되었다. 일본의 특히 포트폴리오를 살펴보면, 스타분야에 해당하는 기술은 태양광과 연료전지로 나타났다. 집중분야에는 수소제조 기술이 유일하게 해당하였다. 그리고, 상기 스타분야 2개 기술과 집중분야 1개 기술을 제외한 총 7개 기술이 모두 관망분야에 해당하는 것으로 분석되었다. 일본의 논문 및 특허 포트폴리오에서는 신·재생에너지 기술이 상대적으로 스타분야 혹은 관망분야로 이분화된 형태를 보였다.

마지막으로 EU의 논문 및 특허 포트폴리오를 분석하였

으며, 그 결과는 Fig. 9와 같다. 신·재생에너지 분야 10개 기술 중 논문 및 특허 포트폴리오에서 모두 스타분야에 해당하는 기술은 풍력으로 분석되었다. 논문 및 특허 포트폴리오에서 모두 집중분야 또는 도전분야에 해당하는 기술은 존재하지 않았으나, 관망분야에 해당하는 기술은 태양광과 연료전지 기술로 나타났다. EU의 논문 포트폴리오를 살펴보면, 스타분야에는 수력, 태양열, 지열, 풍력, 해양에너지, 폐기물 총 6개 기술로 분석되었다. 집중분야에는 수소제조 기술이 해당하였으며, 관망분야에는 태양광, 바이오에너지, 연료전지 3개 기술이 해당하였다. 다음으로 특허 포트폴리오를 살펴보았다. 특허 포트폴리오에서는 스타분야에 해당하는 기술은 풍력, 수소제조로 나타났다. 집중분야에는 바이오 기술이, 도전분야에는 수력과 해양에너지 기술이 해당되는 것으로 나타났다. 관망분야에 해당하는 기술은 태양광, 태양열, 지열, 폐기물, 연료전지 총 5개 기술이었다. EU의 논문 포트폴리오에는 신·재생에너지 주요 5개국 중 가장 많은 스타분야 기술이 존재하였으며, 신·재생에너지 10개 기술이 논문과 특허 포트폴리오에서 비교적 모두 고르게 분포된 것으로 확인되었다.

4. 결론

본 연구는 신재생에너지 분야의 논문 및 특허의 기술경쟁력 분석을 통하여 우리나라를 포함한 주요 국가별 R&D 성과의 흐름을 관찰하고자 하였다. 2009년부터 2019년까지 공개된 정보를 바탕으로 신재생에너지 분야 논문 78,570건 및 특허 69,885건을 수집하고, 활동력과 기술력 2가지 평가 기준을 도입하여 기술경쟁력 분석을 수행하였다. 활동력 평가에서는 논문 점유율, 논문 증가율, 특허 증가율, 해외출원도 5개의 지표를 적용하였으며, 기술력 평가에서는 논문 영향력, 중요 논문 비율, 연구자 다양성, 특허 영향력, 중요 특허 비율, IP4 점유율, 특허 청구항 수 7개의 지표를 도입하여 분석하였다. 신재생에너지 전체 분야의 글로벌 동향을 살펴봤을 때 주요 5개국(한국, 미국, 중국, 일본, EU) 기준 논문 건수는 전반적으로 증가했지만, 특허 건수는 2012년 이후 감소하는 추세로 나타났다. 국가별로 살펴보면 중국과 EU를 중심으로 연간 논문 생산 건수가 지

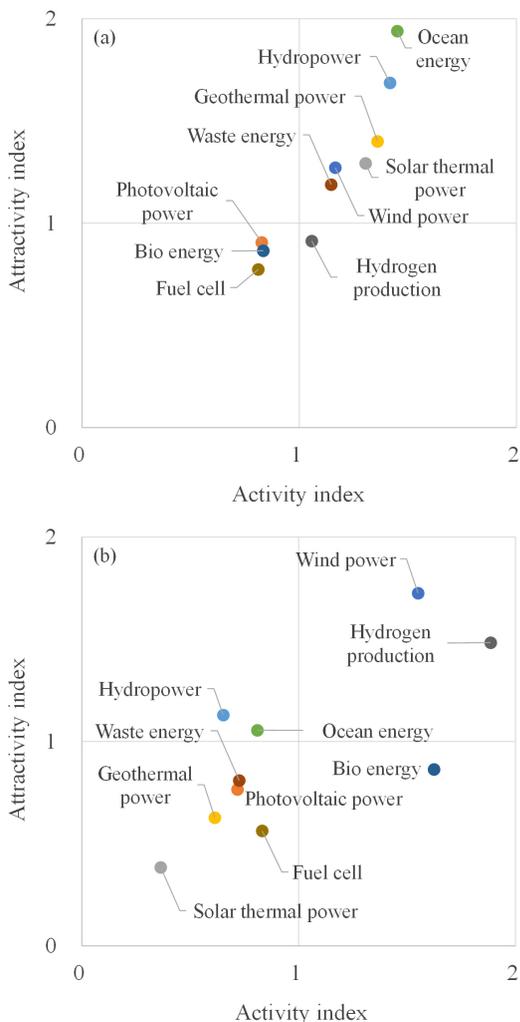


Fig. 9. Activity and attractivity index of (a) papers and (b) patents in EU

속해서 증가하고 있지만, 한국, 미국과 일본의 경우 점진적인 성장세를 나타냈다. 특히의 경우 주요국 대부분이 감소하는 추세에 있었지만, 중국의 경우 지속적인 성장세를 보이는데 이러한 분석 결과로부터 신재생에너지 학술부문 및 기술특허 확보 분야에서 중국의 양적 팽창이 두드러짐을 유추할 수 있다.

신재생에너지 10개 기술별 논문 및 특허 생산 추이를 살펴봤을 때 모든 기술 분야에서 논문 건수는 계속해서 증가하는 추세에 있으며, 특히 태양광을 중심으로 풍력, 폐기물 분야에서 학술 활동이 활발한 것을 확인할 수 있었다. 특히 부문의 경우 태양광, 풍력, 연료전지를 중심으로 특허출원이 발생하는 것으로 나타났으며, 이를 종합하여 정리했을 때 신재생에너지 분야에서는 태양광, 풍력, 폐기물, 연료전지 분야의 기초학술 연구와 지식재산권 확보 활동이 두드러진 것으로 보인다. 국가별로 살펴보면 활동력 부문에서 중국의 활동력이 가장 높은 것으로 나타났으며, 다음으로 EU, 미국, 한국, 일본 순으로 분석되었다. 기술력 부문에서는 미국이 가장 높은 것으로 나타났으며, 다음으로 EU, 중국, 일본, 한국 순으로 나타났다. 한국의 경우 주요국들보다 평균 이하의 낮은 활동력과 기술력을 보유하고 있는 것으로 나타났다.

마지막으로 포트폴리오 분석을 통해 한국은 연료전지, 미국은 바이오에너지, 중국은 폐기물, 일본은 태양광과 연료전지, EU는 풍력 분야에서 논문 및 특허의 활동도와 매력도가 모두 높은 것으로 확인되었다. 이는 신재생에너지 분야 내에서도 주요 관심 기술 분야가 주요국별로 상이하다는 것을 의미한다. 또한, 상기 결과를 바탕으로 전문가 정성평가 기반의 기술수준과 국가별로 신재생에너지 정책과의 비교분석을 추가로 시도해 볼 수 있다는 점에서 본 연구 결과는 의의가 있다고 볼 수 있다. 일례로 전문가 델파이 조사를 기반으로 시행된 「2020 기후기술 수준조사」에 따르면 바이오에너지 분야의 기술선도국가는 미국이며, 풍력 분야에서 세계최고기술 보유국은 EU인 것으로 파악되었다. 또한, 일본과 한국의 경우 연료전지 분야에서 최고기술 보유국인 미국과 불과 0.5~2.0년의 기술격차를 보유한 것으로 나타났는데, 이는 본 연구에서 정량분석을 기반으로 수행한 기술경쟁력 평가결과가 외부 전문가 그룹이 이해하고 있는 기술수준 결과와도 일관성이 있음을 보여준다.

본 연구결과를 종합하였을 때 재생에너지 분야에서의 국내 기술경쟁력은 주요국보다 평균적으로 열위에 있는 것으로 확인되었다. 특히 스타분야로 주목받고 있는 연료전지, 태양광 분야에서도 활동력과 기술력 부문에서 비교우위를 차지하고 있지 못하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과가 나타난 원인에는 기초·원천 R&D 측면에서의 기술적 요인 외에 시장경쟁력과도 같은 기술 외적인 요인도 존재할 것으로 사료된다. 태양광 분야의 경우 10여 년 전부터 폴리실리콘 가격경쟁력 감소와 함께 보급형 실리콘 태양광 R&D 주도권이 중국 등지로 이동하면서 국내 기술의 성장세가 둔화하는 경향을 보이고 있으며, 연료전지의 경우 인산형(PAFC), 고분자전해질형(PEMFC) 연료전지 개발 분야에서 우수한 기술을 확보하고 있음에도 불구하고 소재 개발 및 시스템화 기술 영역에서의 낮은 국산화율로 인해 기술경쟁력 우위를 확보하지 못하고 있다.

한국의 경우 2017년에 발표된 ‘재생에너지 3020 이행 계획’에 따라 태양광과 풍력발전을 중심으로 재생에너지를 확충할 것을 천명하였음에도 불구하고, 이로부터 5년이 지난 시점에서의 재생에너지 분야의 평균 기술수준은 최고기술보유국 대비 80%대에 머물고 있다. 또한 「2020 기후기술 수준조사」 결과에서 기술격차에 대한 극복방안의 1순위로 R&D 예산투입 증대의 필요성이 제기되고 있다는 점은 국가 재생에너지 정책의 방향성과 실제 연구개발 투자 및 성과와의 간극이 벌어지고 있다는 것을 시사한다. 더불어 태양광과 풍력 이외의 재생에너지에 대한 정책 관심도의 하락과 함께 R&D 투자 불균형에 대한 우려도 커지고 있다. 재생에너지 기술경쟁력을 전반적으로 끌어올리기 위한 균형있는 R&D 예산 포트폴리오 전략제시가 필요한 시점이다.

2030년 국가 온실가스 감축 목표 달성과 2050년 탄소중립 실현이라는 후퇴 불가능한 공약을 지키기 위해서 재생에너지 분야 R&D 투자를 통한 기술경쟁력 우위 확보는 선택이 아닌 필수사항이다. 향후 본 연구를 기반으로 계속해서 기술경쟁력 분석 심층연구를 수행함으로써 국가 탄소중립 R&D 투자 효율화 방향을 제시하고, 재생에너지 연구개발·보급 정책을 확립하는데 기여하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 녹색기술센터 기관 고유사업 “기후변화대응 기술경쟁력 분석 및 중점 육성분야 발굴 연구(2021)”(과제 번호: R2110201)의 지원을 통해 수행되었습니다.

References

- [1] Park, J.M., 2018, “A comparison of factors affecting household electricity consumption by regional types”, *JKRDA*, **30**(2), 193-220.
- [2] Kang, C.D., 2011, “Analysis on energy consumption and its policy implication in Seoul with spatial econometrics”, *Seoul Studies*, **12**(4), 1-22.
- [3] IPCC, 2018, “Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways. in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty”, <https://www.ipcc.ch/sr15/download/>.
- [4] Ko, D.Y., 2021, “Evaluation of Korea’s mid- and long-term greenhouse gas mitigation targets: Meta-analysis of burden sharing based on equity”, *J.Climate Change Res.*, **12**(5), 493-504.
- [5] Kim, J.H., Park, D.K., Kim, J.H., Kim, H.J., Kim, H.S., Kang, S.H., and Ryu, J.H., 2021, “Trend of CO₂ free H₂ production technology for carbon neutrality”, *Journal of Energy&Climate Change*, **16**(2), 103-127.
- [6] Lim, J.M., and Kim, D.K., 2021, “A study on Korea’s remaining GHG emissions allowance and capped-emissions trajectories under the Paris agreement goal”, *Journal of Climate Change Research*, **12**(3), 255-270.
- [7] Cheon, Y.H., 2022, “Review of global carbon neutral strategies and technologies”, *Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, **59**(1), 99-112.
- [8] Lee, C.Y., 2021, “Estimating the economic effect of the renewable energy industry by energy transition”, *Innovation studies*, **16**(3), 247-275.
- [9] Son, H.S., 2019, “A Study on the Policy Improvement for Expanding New & Renewable Energy”, *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, **33**(2), 18-28.
- [10] Ha, S.J., Kim, J.Y., and Oh, S.J., 2021, “Photovoltaics research trend analysis and technology level evaluation for five major countries”, *J.Climate Change Res.*, **12**(1), 37-47.
- [11] Green Technology Center, 2020, “2020 Technology level assessment in fields of climate change technology”, <https://gtck.re.kr/gtck/researchall.do?mode=download&articleNo=2487&attachNo=3435>.
- [12] Park, J.Y., 2018, “Analysis of core patent and technology of unmanned ground technology using an analytical method of the patent information”, *KIPS Tr. Software and Data Eng.*, **7**(5), 189-194.
- [13] Koo, K.K., Lee, D.K., Hong, J.C., and Park, S.U., 2012, “An analysis of the competitiveness of renewable energy technologies”, *New. Renew. Energy*, **8**(3), 30-37.
- [14] Song, Y.H., Kim, H.W., Choi, S.A., Lim, S.Y., and Hong, Y.J., 2021, “Analysis of technological innovation performance according to the technology life cycle: Focusing on the early and late entrants of the photovoltaic industry”, *Innovation studies*, **16**(4), 293-324.
- [15] Institute for Information & communication Technology Planning & evaluation, 2020, “2019 ICT Technology level evaluation”, <https://iitp.kr/file/download.it?seq=7548>.
- [16] World Technology Evaluation Center, 2016, “Global assessment of research in nanomodular materials and systems by design: WTEC Report”, <http://scienceus.org/wtec/docs/NMSD-FinalReport-Web-Lowres.pdf>.
- [17] Kwon, W.J., Lee, J.H., and Lee, N.J., 2021, “Analysis of smart city core technology using quantitative indicators of patents”, *Journal of Information Technology Applications and Management*, **28**(4), 79-101.
- [18] Korea Institute of S&T Evaluation and Planning, 2021, “2020 Technology level evaluation”, https://www.kistep.re.kr/boardDownload.es?bid=0002&list_no=34317&seq=12939.