

GTC BRIEF

2020
DECEMBER
Vol.1 No.2

GTC BRIEF는 기후기술과 관련하여 시의성 있는 현안 및 동향정보를 알기 쉽게 정리한 자료임

1. 장기 저탄소 발전 전략(LEDs)과 탄소 중립 정책 동향

_ 최형식

2. 기후변화대응을 위한 산림 분야 국내 정책 및 R&D 동향 분석

_ 이천환 이은창 안세진 한수현

3. Korea's CTCN pro bono activities: experiences and lessons learned

_ 이원아 양리원

4. 태양전지 분야 연구논문 동향 분석

_ 하수진 오상진

5. LDA 기반의 융·복합 녹색·기후기술 도출 방법

_ 신현우 전은진 오지현 정현덕

ISSUE
04

태양전지 분야 연구논문 동향 분석

하수진, 오상진 | hsj@gtck.re.kr, rurouni628@gtck.re.kr

하이라이트

- GTC 8대 중점 탄소중립기술 중 하나인 태양전지 분야를 대상
- 최근 5년 주요국(한국, 미국, 중국, 일본, 유럽)의 연구논문 동향 분석
- 국가별 양적 경쟁력과 질적 경쟁력을 비교

키워드

- 태양전지, 연구 동향, 기후변화, 탄소중립기술

도입

기후변화 대응을 위한 태양전지 연구의 필요성

- 화석연료를 기반으로 한 전통적인 전력 생산방식은 대기오염뿐만 아니라 탄소배출로 인한 지구온난화, 기후변화 등 많은 환경문제를 초래하고 있음.^{1,2)} 한편, 현대의 생활 방식에서 가전제품 및 휴대용 전자기기 등의 사용 증가에 따라 전력 소비도 지속적으로 증가하고 있음.¹⁾
- 태양전지 기술은 화석연료를 사용하지 않고 영구적인 에너지원인 태양 빛을 활용하여 전력을 생산할 수 있으므로 상기의 환경문제를 해결할 수 있는 대안으로 주목받고 있음.^{3,4)} 이러한 관점에서 미래 수요를 충족할 수 있도록 태양전지를 활용한 신재생 전력 생산을 확대하고, 전력 생산비용을 낮추는 것은 매우 중요하며 시급한 과제임.
- 태양전지는 재생에너지 중 가장 빠른 성장을 보이는 기술 중 하나이며, 글로벌 발전 믹스에서 중요한 역할을 할 것으로 기대됨.⁵⁾ 그러나 파리협약 목표를 달성하기 위해서 전 세계 태양전지 생산 용량 480GW(2018년 기준)의 6배에 해당하는 전력을 2030년까지, 18배에 해당하는 생산 전력을 2050년까지 확대해야 한다는 전망이 나오고 있음.⁵⁾
- 특히 우리나라는 최근 발표한 '2050년 탄소중립' 선언에 따라 재생에너지 계획을 기존보다 확대하는 방향으로의 수정이 필요할 것으로 예상되며, 2030년 태양광 설비용량을 152GW까지 확대 구축하는 것이 필요함.⁶⁾
- 장기적으로 지속 가능한 개발을 위해서는 전력의 생산비용을 절감하는 것이 중요함. 태양전지의 전력 생산비용은 지속적으로 감소하여 기존의 지열 및 수력 발전 기술을 보완하고 있음. 최근 태양광 발전으로 인한 전기요금은 전년 대비 13% 하락한 kWh당 0.7\$(2019년 기준) 수준으로 보고되었음.⁷⁾

- 본 브리프에서는 태양전지 관련 주요 5개 국가별(한국, 미국, 중국, 일본, EU)의 연구 동향을 Web of Science에 등록된 논문을 중심으로 조사·분석하여 태양전지 분야의 과학기술개발 전략을 위한 기초자료를 제공하고자 함.

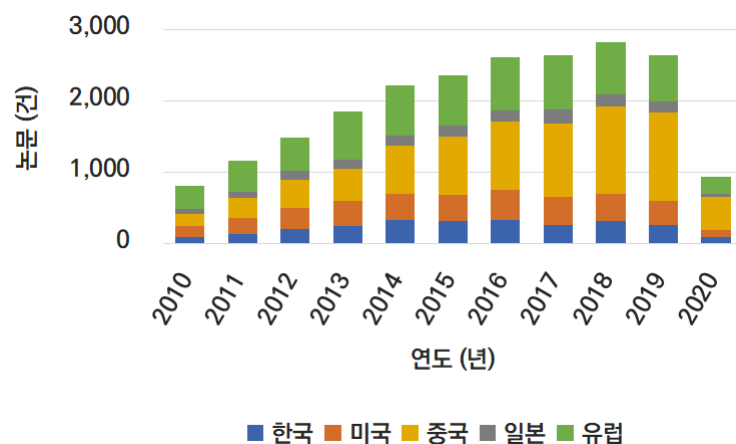
태양전지

연구개발 동향

주요국별 태양전지 연구 동향

- 태양전지는 최근 30년 동안 급격한 기술발전을 이뤄왔음. 최근 10년 동안의 연구 동향을 살펴보면, 2010년부터 2016년까지 게재된 논문 수는 지속적으로 증가하였음. 2017년부터는 증가율은 감소하는 경향을 보임. 2018년에는 가장 많은 연구 논문(2,823건)이 게재되었고, 이는 2010년 게재된 논문(804건) 대비 약 3.5배 증가한 것으로 나타남.
- 전체 게재된 태양전지 관련 논문 중 국가별 비중은 대체로 중국, 유럽 순으로 나타났음. 특히, 중국의 경우에는 2010년 20%에서 2019년 47%까지 증가한 것으로 조사됨. 한국의 경우에는 2014년까지 국가별 논문 비중이 다소 증가하는 경향을 보였으나, 최근 3년 동안 살펴봤을 때 10% 수준으로 유지되는 것으로 나타남.

[그림 1] 주요국의 연도별 태양전지 분야 논문게재 현황

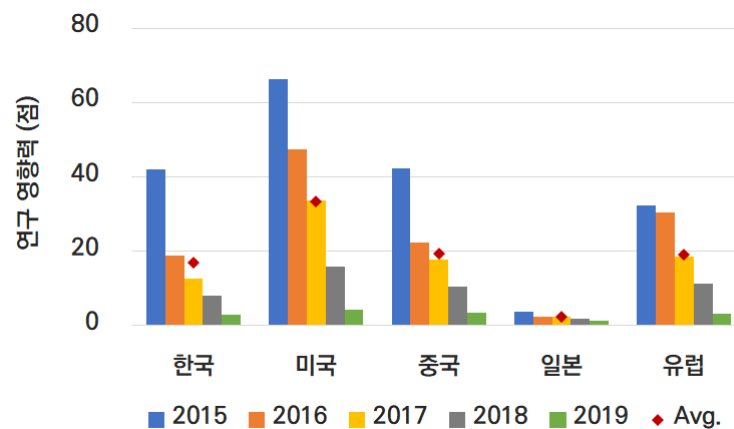
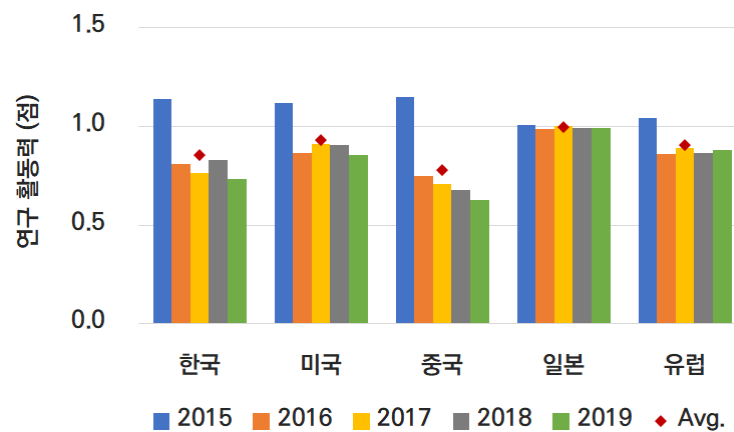


주요국별 태양전지 연구 활동력 및 영향력 비교

- 연구 활동력은 연구자 수 대비 게재 논문 건수로서 양적 경쟁력의 지표로, 연구 영향력은 연구자 수 대비 게재 논문의 피인용 건수로서 질적 경쟁력의 지표로 활용됨.
- 2015년부터 2019년까지 주요 5개국의 연구 활동력을 살펴보면, 2015년 대비 연구 활동력이 대체로 감소하는 경향인 것으로 조사됨. 한국과 중국의 경우 최근 5년의 연구 활동이 감소하는 경향을 보인 반면, 미국, 일본 및 유럽은 최근 5년 동안 유사한 수준의 연구 활동력을 보임.

- 최근 5년 동안 연구 활동의 변화가 가장 작은 국가는 일본이며, 가장 큰 국가는 중국으로 조사됨. 최근 5년의 연구 활동력 평균은 일본이 가장 높았음. 그다음으로 미국, 유럽, 한국, 중국 순으로 나타남.
- 2015년부터 2019년까지 주요 5개국의 연구 영향력을 살펴보면, 미국이 가장 높은 연구 영향력을 발휘하는 것으로 조사됨. 연구 영향력의 평균은 미국, 유럽, 중국, 한국, 일본 순으로 나타남.

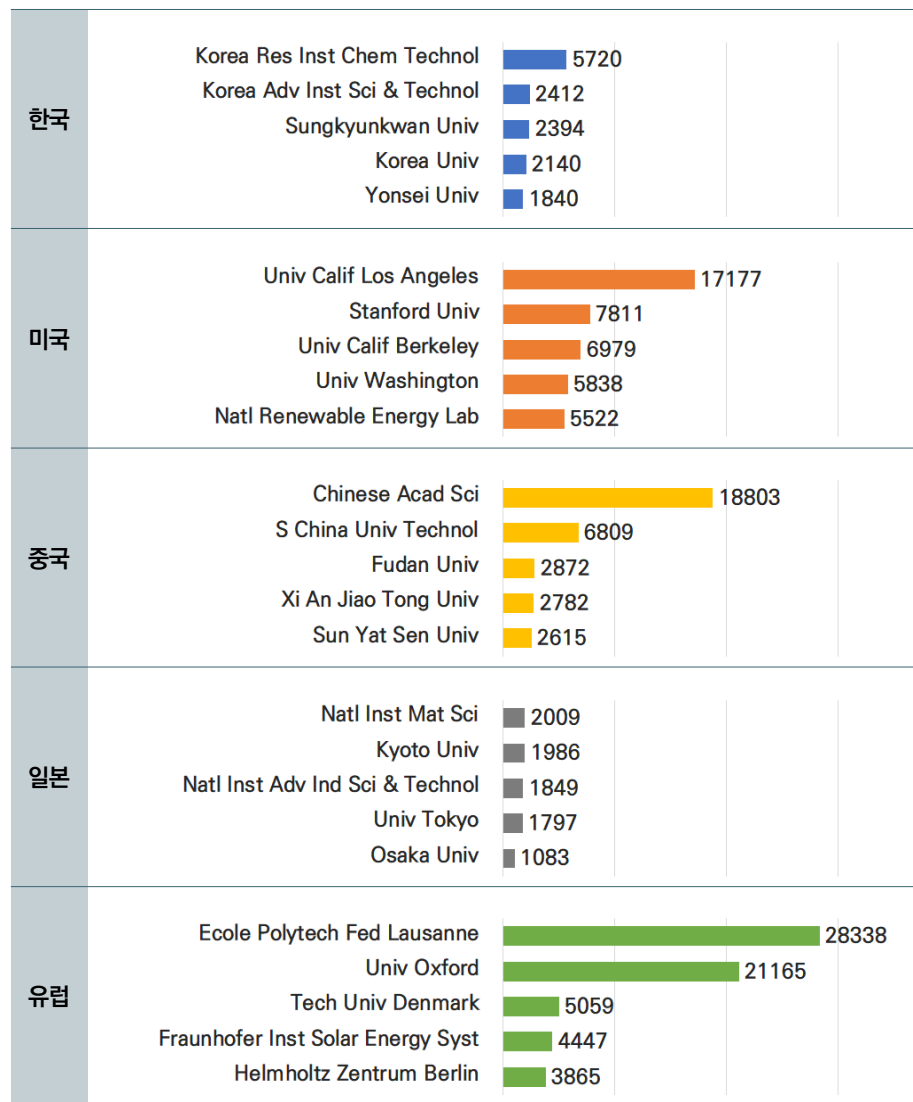
[그림 2] 주요국의 연도별 연구 활동력 및 영향력



주요국별 태양전지 분야 선도 연구기관 분석

- 태양광 분야 주요 5개국에 소속된 연구기관별 2015년에서 2019년 게재된 논문 피인용 건수의 합을 기준으로 국가별 주요 연구기관(상위 5개)을 도출함. 피인용 건수를 기준으로 영향력이 큰 주요 연구기관을 중심으로 살펴보고자 함.
- 최근 5년 한국의 태양전지 분야 주요 연구기관은 차례대로 한국화학연구원(21%), KAIST(9%), 성균관대학교(9%), 고려대학교(8%), 연세대학교(7%) 이었음(괄호 안은 상위 5개 기관 전체 피인용 대비 비중).

[그림 3] 주요국의 태양전지 분야 주요 연구기관



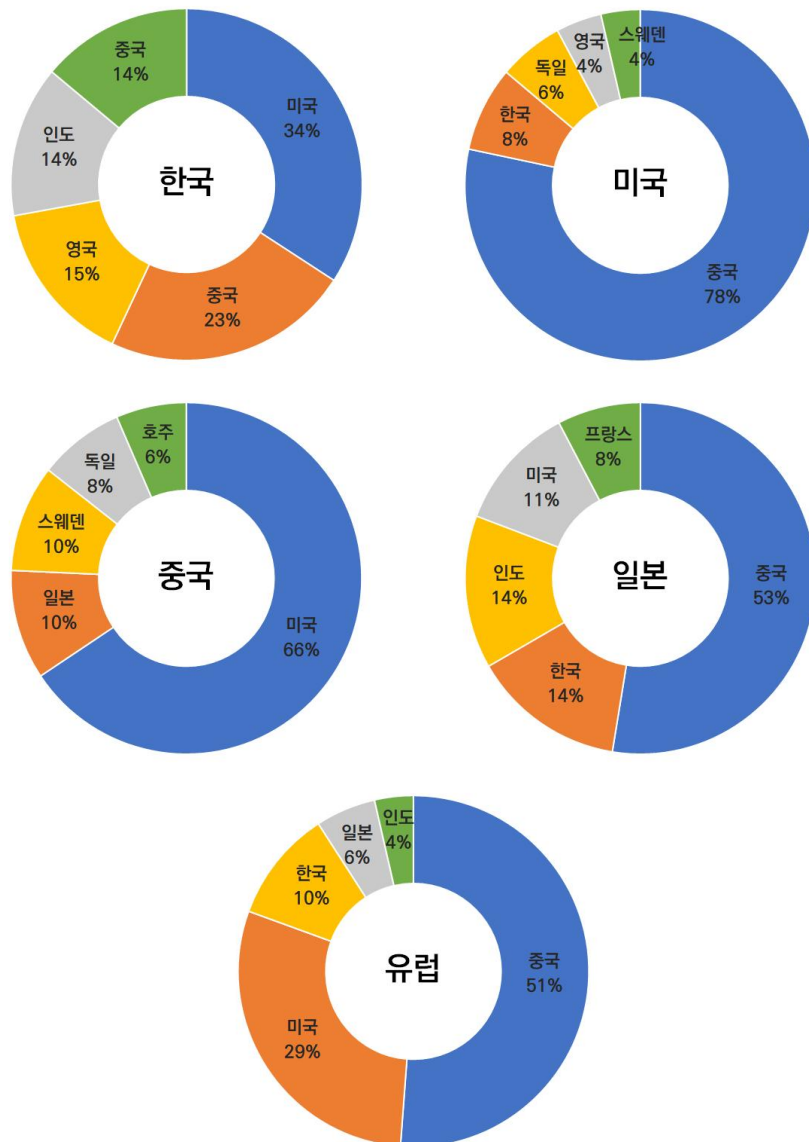
- 미국은 University of California, Los Angeles(UCLA, 26%), Stanford University(12%), University of California Berkeley(10%), University of Washington(9%), National Renewable Energy Laboratory(NREL, 8%) 순으로 나타남.
- 중국의 경우 Chinese Academy of Sciences(CAS, 17%), South China University of Technology(6%), Fudan University(3%), Xi'an Jiaotong University(3%), Sun Yat-sen University(2%)로 나타남.
- 일본의 경우에는 National Institute for Materials Science(14%), Kyoto University(14%), National Institute of Advanced Industrial Science and Technology(AIST, 13%), The University of Tokyo(13%), Osaka University (8%)로 나타남.

- 마지막으로 유럽은 Ecole Polytechnique Federale de Lausanne(EPFL, 37%), University of Oxford(28%), Technical University of Denmark(7%), Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems(Fraunhofer ISE, 6%), Helmholtz-Zentrum Berlin(5%) 순으로 나타남. 특히, 유럽은 상위 2개 기관의 비중이 65%로 소수 기관으로의 연구·개발 연구가 집중되는 양상이 뚜렷함.

주요국별 태양전지 분야 연구 협력 국가 현황

- 2015년에서 2019년까지 게재된 논문 중, 저자(주저자, 공동저자, 교신저자 모두 포함)의 국가가 2개국 이상인 연구논문의 비중을 살펴보았음. 최근 5년 게재된 논문 대비 연구 협력 기반 논문 비중은 한국(6.5%), 미국(21.3%), 중국(10.0%), 일본(0.9%), 유럽(8.8%)으로 나타남.

[그림 4] 주요국의 태양전지 분야 연구 협력 현황



- 각 주요국의 상위 5개 연구 협력 국가를 도출하고, 연구 협력 국가별 비중을 살펴보았음. 한국의 연구 협력 비중은 미국(34%), 중국(23%), 영국(15%), 인도(14%), 중국(14%)으로 나타났음. 특히, 미국 및 중국과의 연구 협력 비중이 50%를 상회하였음.
- 미국의 연구 협력 국가별 비중은 중국(78%), 한국(8%), 독일(6%), 영국(4%), 스웨덴(4%) 순으로 나타났음. 미국 내 연구자들이 중국 연구자들과 연구 협력을 하는 경우가 나머지 주요국과 대비하여 많은 것으로 조사됨.
- 중국의 연구 협력 국가별 비중은 미국(66%), 일본(10%), 스웨덴(10%), 독일(8%), 호주(6%) 순으로 나타남. 상기 결과와 유사하게, 미국-중국의 연구 협력 비중이 절대적으로 크게 차지하는 것으로 조사됨. 한국과의 연구 협력은 상위 5개국에 포함되지 않았음.
- 일본의 경우 중국(53%), 한국(14%), 인도(14%), 미국(11%), 프랑스(8%) 순으로 조사됨. 특히 한국 연구자들 간의 연구 협력 비중은 나머지 주요국 대비 높게 나타남.
- 마지막으로 유럽의 경우 중국(51%), 미국(29%), 한국(10%), 일본(6%), 인도(6%) 순으로 나타남. 특히 중국 및 미국과의 연구 협력이 총 80%로 2개 국가 간 연구 협력에 매우 집중되어 있음.

결론

요약 및 시사점

- 본 브리프에서는 연구개발 성과 중 하나인 연구논문을 토대로 태양전지 분야 주요 5개국의 연구 동향에 대해 살펴보고자 하였음.
- 주요 5개국을 대상으로 태양전지의 논문 동향 조사·분석을 통해 국내 태양전지의 양적 경쟁력(연구 활동력)과 질적 경쟁력(연구 영향력)을 측정하였으며, 태양전지 R&D를 선도하는 주요 연구기관과 국가별 협력 현황을 비교·분석함.
- 특히, 한국은 태양광 분야 기술 선진국인 미국과 유럽과 비교하여 우수한 연구 활동력을 보유하고 있는 것으로 나타남. 그러나, 2015년 이후 연구 활동력이 미국, 일본, 유럽에 비해 낮아지는 현상이 뚜렷하며, 연구 영향력도 주요 5개국 중 4번째로 낮게 나타났음.
- 최근 한국의 연구 활동력 및 영향력의 저하는 중국 정부가 지속해온 상당한 규모의 R&D 투자가 국내 R&D에 일부 영향을 주었을 것으로 추정됨. 그러나 실리콘 기반 태양전지 및 차세대 태양전지 부문에 따라 양상이 다를 것으로 예상하며 이에 대한 추가적인 분석이 필요할 것으로 사료됨.

- 연구논문의 피인용 수를 기준으로 각국의 선도 연구기관을 살펴본 결과, 페로브스카이트 태양전지를 연구하는 대학 및 연구기관에서 대다수 상위를 차지하는 것으로 나타남. 상기 결과는 연구 성과물 중 기초·원천 R&D 성격의 조사항목인 논문 항목을 기반으로 분석한 것이므로, 과기부의 R&D 투자에 많은 영향을 받는 대학 및 정부출연(연)이 주요 플레이어로 등장했을 것으로 사료됨.
- 한국의 태양전지 분야 연구·개발은 한국화학연구원에 상대적으로 집중되는 것으로 나타남. 특히, 차세대 태양전지 중 페로브스카이트 태양전지와 유기 태양전지 분야에서 주된 연구 활동을 수행 중임. 페로브스카이트 태양전지는 연구개발 초기에서부터 고효율화 기술을 선도해 왔으며, 최근 상용화 관련 연구로 확대되고 있음.
- 태양전지를 포함한 재생에너지는 기후변화대응 뿐만 아니라 다양한 이유로 정책적 지원이 지속적으로 이뤄졌음. 그리고 기술의 발전으로 이산화탄소 감축 및 에너지 경제성도 높아지고 있음.⁸⁾
- 태양전지의 수요 및 필요성이 강조되고 있는 만큼, 태양전지 기술 개발을 위한 R&D 지원을 지속하면서, 연구 인프라(소재·부품) 및 태양광 시스템 기술 등 관련 산업 인프라를 확충하여 태양광 시장의 경쟁력을 높일 수 있는 노력이 필요할 것임.
- 마지막으로, 본 브리프의 논문 분석은 연구 경쟁력을 단편적으로 확인하는 방법일 뿐이며, 연구논문만으로 전반적인 연구 경쟁력이나 연구 동향을 해석하기 어려운 한계점이 있음.
- 따라서, 주요국 및 기관별 세부 연구 분야 및 기술 수준 분석 방법을 보완한 후속 연구를 통해 객관성 있는 기술 수준 비교 데이터를 생산할 계획임. 이를 통해 향후 신기후체제에서의 국내 기후변화 대응기술과 관련한 연구개발 전략 수립에 기초 자료로 적극 활용할 수 있을 것으로 기대함.

참고문헌

- 1) Renewable and Sustainable Energy Review, 2018, 93, 215-224.
- 2) Renewable and Sustainable Energy Review, 2013, 26, 492-505.
- 3) Resources, Conservation & Recycling, 2019, 143, 114-118.
- 4) 한국태양광발전학회지, 2015, 1, 34-41.
- 5) International Renewable Energy Agency, 2019, T. FUTURE OF SOLAR PHOTOVOLTAIC Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects_Executive Summary.
- 6) <https://www.asiae.co.kr/article/2020110511201151069>
- 7) International Renewable Energy Agency, 2020, Renewable Power Generation Costs in 2019
- 8) 산업통상자원부, 한국에너지공단 신·재생에너지센터, 2018 신·재생에너지 백서, 2018

본 내용은 녹색기술센터(GTC)의 주요사업(이구용, 오상진, 손범석, 김지예, 하수진, 성민아, 홍민지, 최지혁 「기후기술 수준조사 및 중점 육성분야 발굴 연구」)으로 수행한 내용을 요약·정리한 것입니다.