

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

GTC BRIEF

2020
DECEMBER
Vol.1 No.2

1. 장기 저탄소 발전 전략(LEDs)과 탄소 중립 정책 동향 01

_ 최형식

2. 기후변화대응을 위한 산림 분야 국내 정책 및 R&D 동향 분석 09

_ 이천환 이은창 안세진 한수현

3. Korea's CTCN pro bono activities: experiences and lessons learned 23

_ 이원아 양리원

4. 태양전지 분야 연구논문 동향 분석 33

_ 하수진 오상진

5. LDA 기반의 융·복합 녹색·기후기술 도출 방법 41

_ 신현우 전은진 오지현 정현덕

ISSUE
01장기 저탄소 발전 전략(LEDs)과
탄소 중립 정책 동향

최형식/정책연구부 | hyungsik.choi@gtck.re.kr

하이라이트

- 국내의 '50년 탄소 중립 달성을 위해서는 온실가스 순 배출 영점화를 위한 계획, 이행에 관한 법률적 기반, 예산, 실행 조직이 필요하며, 화석연료 대체를 통한 전환뿐만 아니라 탄소 흡수원 관리, 탄소 포집 활용 및 저장, 무역·금융·기술에 대한 국가 간 협력 방안 마련이 필요함
- EU, 중국, 일본, 미국을 중심으로 탄소 중립 선언이 이어짐에 따라 국제 기후 정치 및 무역에서 새로운 환경이 조성될 것이며 '50년 탄소 중립 달성을 위한 '30년의 상향된 감축 목표 제시와 탄소 국경세를 수단으로 하는 새로운 무역 경쟁이 예고되어 있어 이에 대한 대응책 마련 필요

키워드

- LEDS, 탄소 중립, '50년 온실가스 감축, 탄소 국경세

파리기후변화 협약에
따른 LEDS 수립과
1.5도씨 기후목표

- UN에서는 '15년에 합의된 파리기후변화협약 준수를 위해 '50년 온실가스 감축 목표를 포함하는 장기 저탄소 발전 전략 (Long-Term Low Greenhouse gas Emissions Development Strategies, LEDS) 수립을 요구
 - '15년에 열린 제21차 기후협약 당사국 총회 결정문(제35항)에 따라 모든 당사국은 '20년까지 '50년 온실가스 감축 목표가 담긴 LEDS 계획을 제출해야 함
 - UN 파리기후변화 협약 4조 19항은 '50년까지 모든 협약 당사국이 개개의 역량과 책임에 따라 LEDS 수립을 의무화하고 추가적으로 LEDS는 파리기후변화 협약 2조를 준수하여 기후변화를 2°C 이내로 억제하고 1.5°C 목표를 추구하는 것을 명시함
 - '20년 9월 기준으로 17개 국가와 유럽연합(EU)이 LEDS 계획을 제출¹⁾(표1 참고)하였지만 각국의 탄소 중립화 선언으로 LEDS 목표는 향후 상향 조정될 것
- LEDS 계획과 탄소 중립 달성 논의
 - '18년 발표된 IPCC 1.5°C 보고서는 파리기후변화협약이 기후변화 억제 목표로 제시한 2°C씨 지구 온도 상승이 가져올 기후변화의 생태적, 경제적 피해와 위험성을 경고 하고, 1.5°C 로 기후변화를 억제해야함을 주장함 그리고 이를 위해 '50년까지 탄소 중립 달성이 필요함을 제시

- 보고서 발표 이후에 탄소 중립에 대한 논의는 급속히 진행되었으며 UN에서는 '50년까지 국제 사회의 탄소 중립 달성을 권고하고 있음
- Will Steffen(2018)²⁾ 등의 기후과학자들은 2°C 기후변화에 근접한 지구는 연쇄 작용과 티핑 포인트 효과로 기후변화의 온도 상승이 가속화하고 이는 비가역적으로 진행되어 인류가 겪어 보지 못한 기후 상태인 찜통 지구(Hot House) 시스템으로 진입할 위험성을 경고
- EU는 IPCC 1.5°C 보고서 제안에 맞추어 '18년 12월 COP24회의(폴란드 카토비체)에서 '50년 탄소 중립 달성을 선언
- 탄소 중립 목표 수립 현황 자료에 따르면³⁾ 주요국가 중 탄소 중립을 법률화한 국가는 스웨덴, 영국, 프랑스, 덴마크, 뉴질랜드, 헝가리(총6개국)이며 EU, 스페인, 칠레, 피지는 법안이 제안되었음, EU집행부(EC)는 '20년 3월 '50년 탄소 중립 계획을 담은 기후법(Climate law)을 마련하고 EU의회 승인을 준비하는 중
- 국내도 지난 10월 문재인 대통령이 '50년 탄소 중립 목표로 나아감으로 선언한 이후 탄소 중립 달성을 위한 기본법이 발의 되는 등 탄소 중립 달성을 위한 논의가 진행되고 있음

[표 1] UNFCCC에 제출된 주요국의 LEDS 제안 내용('20년 9월 기준)

제안자	제안시기	제출된 LEDS 감축 목표	주요 국가 계획	최근 동향
캐나다	'16년	'05년 대비 80%	반세기 장기 전략	'50년 탄소 중립 선언('19년)
독일	'17년	'90년 대비 80~95%	'50 기후 행동 계획	기후법을 통해 '30년 목표 -55%제시, '50년 탄소 중립 선언('19년)
미국	'16년	'05년 대비 80%	심층 탈탄소화를 위한 반세기 전략	바이든 후보 당선 이후 '50년 탄소 중립 이행 예정
프랑스	'17년	'90년 대비 75%	국가 저탄소 전략	기후법을 통한 '50년 탄소 중립 선언('19년)
영국	'18년	'90년 대비 80%감축	청정성장(Clean Growth) 전략	기후법을 통한 '50년 탄소 중립 선언('19년)
일본	'19년	'13년 대비 80%감축	파리기후협약하의 장기 전략	스가 총리는 '50년 탄소 중립('20년)
EU	'20년	'50년 탄소 중립	그린딜 계획	기후법 국회 승인 준비 중, '30년 감축목표에 대해 55%로 합의
중국	·	·	·	'60년 탄소중립 선언('20년)
한국	·	·	·	'50년 탄소중립 선언('20년)

유럽의 LEDS 와 '50년 탄소 중립 계획

- 유럽은 그린딜(Green Deal) 계획을 통하여 '50년 탄소 중립 달성을 제시
 - '18년 12월 EC는 '50년 탄소 중립 선언을 담은 “A Clean Planet for All” 보고서를 발표⁴⁾하였고 '50년 탄소 중립 달성 전략을 담은 유럽 그린딜 계획⁵⁾을 '19년 12월에 발표
 - 유럽의 새로운 경제 성장 동력이자 기후보호 및 산업 전략으로 추진됨
 - 그린딜 계획 발표 이후 세부 계획안*을 순차적으로 발표
 - * 유럽 그린딜 투자 계획 및 공정전환 메커니즘 발표('20.1.4), 유럽기후법 채택('20.3.4), 유럽 산업 전략제시('20.3.10.), 순환경제 액션플랜('20.3.11.), 농업 및 생물다양성 전략('20.5.20.), 에너지 시스템 통합 및 수소 전략('20.7.8.)
 - 현재 '30년 기후목표를 기존 40%감축에서 55%와 60%로 상향하는 목표를 두고 협의 중이었으나 (EU의회는 60%감축 안을지지, EC는 55%안을 지지) 12월에 55% 감축으로 최종 확정
- “A Clean Planet For All”의 심층 보고서에서 유럽의 탄소 중립 달성 시나리오 제시⁶⁾
 - 모델기반 시나리오 연구에서는 재생에너지 확대와 함께 에너지효율 향상, 순환경제, 전력화, 수소 경제, Power-to-X, 에너지 저장 기술들의 조합을 통해 탄소 중립 달성이 기술적으로 가능함을 제시
 - 총 전력사용량은 '15년 465TWh에서 '50년 2948~3957TWh로 6~8배 증가, 에너지 저장용량은 총 발전용량의 26~28%까지 필요
 - 이번 탄소 중립 시나리오에서는 온실가스 배출을 '50년까지 91~94% 감축하고 나머지 6~9%의 배출 분은 탄소포집 기술과 산림 등 자연의 탄소 흡수분을 통해 상쇄 가능함을 제시
 - 총 에너지 비용은 상승하겠지만 경제적 비용도 감당할 수준임을 제시하며, '50년의 총 에너지 비용은 '30년보다 약 12~33% 증가 예상
 - 탄소 중립 달성을 통해 저탄소 산업을 선도적으로 육성하면 미래 산업의 경쟁력을 강화할 수 있어 GDP 성장에 긍정적인 효과가 있을 것으로 예상함, 타국가의 온실가스 감축 시나리오와 모델에 따라 상이하지만 최대 2%의 추가 GDP 성장도 가능함을 제시

미국의 LEDS 방향

- 미국은 오바마 정부에서 '15년 파리기후변화협약을 승인하고 '16년 LEDS안으로 '50년까지 80%감축 목표를 제출한 상태
 - 금융 위기 이후 오바마 정부는 '09년 “미국 회복 및 재투자 법안(American Recovery and Reinvestment Act)을 통해 청정에너지(Clean Energy)에 대한 투자 강화
 - 이후 미국은 경제성장과 온실가스 배출의 탈동조화(decoupling)가 진행되고 있는 추세이며 발전부에서 재생에너지 공급은 17%를 차지하며 비약적으로 성장

- 미국 11개주에서는 '50년 이전까지 재생에너지의무공급제도(RPS)를 통해 재생 에너지 공급 100% 목표 설정하는 등 주정부 및 민간 영역에서 온실가스 감축 및 기술개발이 적극 추진되고 있음
- 미국 탄소 중립 논의는 본격적으로 민주당의 '18년 그린 뉴딜 법안을 통해서 공론화 됨
 - 미국 하원의원 알렉산드리아 오카시오 코르테즈(Alexandria Ocasio-Cortez)와 상원의원 에드워드 마키는 그린뉴딜 법안을 발의하여 미국의 '30년 탄소 중립 달성과 대규모 재생에너지 투자를 통한 일자리 창출을 제안했으나 상원에서 법안 부결
 - '20년 6월 미국 민주당 하원의 특별 위원회는 기후위기 보고서를 발표하여 '50년 탄소 중립 달성에 관한 행동 계획을 제시
 - 미국 민주당 대통령 후보 바이든은 그린뉴딜을 통한 '50년 탄소 중립과 탄소 국경세 등의 수단을 통한 글로벌 기후문제 해결을 표방하고 있어 당선에 따라 큰 변화 예상
- 대통령 당선인 바이든의 공약
 - 100% 청정에너지(Clean Energy) 기반의 경제 구축과 탄소 중립을 '50년 이전에 달성, '35년까지 전력 부문 청정에너지 공급 100% 달성
 - 임기 4년 동안 바이든 정부는 2조 달러를 기후보호를 위한 재생에너지 관련 프로젝트와 '25년까지 발전 부문 온실가스 배출을 제로화 하는데 투자할 예정*
 - * 바이든 팀의 초기 공약에 따른 투자 계획은 10년간 연방정부 1.7조 달러 투자와 주정부/지역/민간 기관의 투자를 이끌어 내어 총 5조 달러의 규모의 투자 계획이 있었지만 기후변화 대응 시급성을 고려해 변경
 - 기후변화의 글로벌 대응을 위하여 미국의 파리기후변화 협약 준수 수준에 맞추어 모든 나라들의 협력을 이끌어 내고 감축 목표를 상향 조정*하는데 노력할 것
 - * 바이든 대통령 후보는 동일한 온실가스 감축의무를 책임지지 않은 해외 제품에 탄소 국경세를 부과하는 것에 원칙적으로 동의함⁷⁾
 - 임기 첫 1년 내에 의회와 협력하여 3대 주요 사항*에 대한 법률 마련을 할 예정
 - *1) '50년 이전 탄소 중립 달성에 관련한 마일스톤 수립을 위한 이행 메커니즘 마련하여 첫 임기 동안 계획 수립 완료, 2) 청정 에너지 분야에 대폭적인 투자와 연구개발 혁신, 3) 청정에너지 기술 보급과 혁신을 위한 인센티브 제도 마련
- 중국 시진핑 주석은 지난 9월 22일 UN정상회의에서 '60년까지 중국 경제가 탄소 중립을 달성할 것을 선언
 - 이를 위해 10년 후인 '30년까지 배출 정점을 달성하고 이후 30년 동안 감축노력을 강화하여 탄소 중립을 달성

중국의 '60년 탄소 중립 선언

우리 나라의 '50년 탄소 중립 선언과 과제

- 중국은 전 세계 온실가스 배출의 28%를 차지하며 중국의 감축 계획으로 지구평균온도상승은 0.2℃~0.3℃ 완화될 것이라 평가됨⁸⁾
- 제19기 공산당 중앙위원회 제5차 전체회의('20.10.29) 폐막
 - 제14차 5개년 계획('21-'25년) 건의안 심의가 통과되었으며 양적 팽창에서 질적 발전을 방향 전환 제시
- 문재인 대통령은 지난 10월 28일 국회연설에서 '50년 탄소 중립을 목표로 나아감을 선언함
 - 국제 사회의 기후보호 노력에 동참하고 지속가능한 발전을 촉진하기 위해 기존 저탄소 포럼에서 제시한 제1안 75% 보다 높은 감축 안으로 제시됨
 - 11월 3일 국무회의를 통해 문재인 대통령은 “탄소 중립은 선택이 아닌 필수이며 사회 전 영역의 혁신 추동을 통해 저탄소 사회로 이행 속도를 높여야 하며 화석연료 의존이 높고 제조업 중심의 산업 구조*를 가진 우리나라에게 쉽지 않은 도전이지만 기술 혁신과 산업 구조 혁신의 기회이자 일자리 창출의 기회”라고 강조
 - * 에너지 다소비 제조업 비중 (철강, 정유·석유화학 등)이 높아 에너지 원단위 (에너지 투입/GDP \$1000)는 OECD 34개 회원국 중 33위로 높은 수준을 보이며 서비스업 중심의 경제 구조를 지닌 선진국들 보다 탄소 저감 비용이 높아 무역경쟁에서 불리한 위치
- '50년 탄소중립 달성을 위해서는 법·제도, 계획, 재정, 기술 등 전 부문에서 전면적인 전환이 필요함
 - '30년 NDC 목표도 '17년 대비 24.4% 감축 ('30년 대비 37% 감축)에서 상향 조정되어야 현실적으로 '50년 탄소 중립 달성 가능할 것임
 - '50년 탄소중립 달성을 위한 목표와 의무를 명확히 할 수 있는 탄소 중립을 위한 기본법* 제정이 필요할 것
 - * 지난 11월 11일 더불어 민주당의 이소영 의원 등 46인 「기후위기 대응을 위한 탈탄소사회 이행 기본법」을 발의함
 - '30년 및 '50년 목표 달성을 위한 정합성 있는 에너지, 전력수급, 온실가스 감축, 재생에너지 공급, 기술 개발 계획 수립이 필요와 달성에 필요한 시장제도, 인센티브, 규제 마련 필요
- 온실가스 감축을 위해서는 재생에너지 보급의 전면적 확대가 필요하며 이에 따라 전력시장 변화, 수용성 확대, 재생에너지 보조금에 대한 사회적 합의 필요
 - 태양광, 풍력, 바이오매스는 가장 보편화된 재생에너지로서 화석연료를 대체하고 그린수소를 생산하는데 필요한 전력을 공급할 수 있어 온실가스 감축에 있어 가장 중요한 수단이 될 것이며 재생에너지 사업에 대한 안정적인 시장 환경 마련 및 REC 공급 인증서에 대해 전력시장을 통한 비용회수 방안 마련 필요

- 재생에너지 확대에 따른 지역 주민의 갈등을 조정하고 해결하는 것이 필요하며 합리적인 이익 공유 시스템 마련을 위한 정부의 역할이 중요함
- 또한 전기차 /충전소 보급 확대, 그린 수소 생산 및 활용을 위한 기반 마련, 산업 분야 탈탄소화를 위해 에너지 효율 및 수소 공급에 대하여 온실가스 감축과 연계된 전략 및 기술개발이 필요함
- Paroussos et.al (2019)⁹⁾에서는 탄소시장, 기술, 무역, 금융 전 분야의 적극적 협력을 통한 감축 시나리오에서 한국의 GDP는 오히려 상승할 수 있음을 제시
 - EU와 일본, 중국과 함께 한국이 2°C기후변화 감축에 협력적으로 동참하는 기후 클럽(Climate Club) 시나리오를 CGE 모형 GEM-E3를 활용하여 분석하고 이에 따른 국가 간 GDP 영향을 제시함
 - 이 연구에서는 탄소 중립 시나리오와 미국의 참여가 반영되지 않아서 미국의 동참아래 온실가스 감축과 국가 간 경쟁 및 협력이 강화되는 시나리오에서 새로운 분석이 필요

LEDS 수립과 탄소 국경세(Carbon Border Tax)의 영향

- 탄소 국경세의 도입 배경
 - 한 국가 및 지역의 높은 온실가스 감축 목표 정책이 탄소 가격 상승을 불러 일으키고 이로 인한 생산 비용 증가로 자국 기업의 생산이 해외로 이전되어 지역 내의 일자리가 감소하고 탄소 배출이 해외로 이동하는 탄소 누출(Carbon Leakage)이 발생하는 것이 우려됨
 - 따라서 탄소 국경 조정(Carbon Border Adjustment) 또는 탄소 국경세(Carbon Border Tax)를 적용하여 동일한 수준의 탄소 감축의무를 이행하지 않은 수입 물품에 대해 온실가스 배출에 비례하여 탄소 가격을 부과하여 국내 시장 내에서 국내 제품과 외국 제품 간에 공평한 경쟁의 장(level playing field)을 조성하는 것, 또한 수출 품목에 대해서는 보조금 지급하여 해외 시장에서 경쟁력을 유지할 수 있게 지원 하는 등 여러 방식을 고려할 수 있음
 - 탄소 국경세 도입의 관건은 투명하고 객관적으로 물품의 수입품의 탄소배출량을 평가하는 것과 행정적인 비용을 줄이는 것, 또한 국제무역기구(WTO)의 규정에 맞게 동일한 원칙을 수입품과 국내 상품에 적용하는 것임
- 유럽 그린딜과 탄소 국경세 계획
 - EC는 현재 탄소 누출이 위험이 큰 부분의 수입품에 대해 일정한 세금 (관세(duty) 또는 부가가치세(VAT))를 부과하거나 수입품목에 대해서 EU 온실가스 배출권 거래제(EU-ETS)에 참여하여 배출권을 구매하게 하는 방식 등을 고려 중
 - EC는 탄소 국경세를 통해 추가 세수 수입을 50억 유로에서 140억 유로로 예상하며 이를 통해 그린딜 계획을 위한 예산을 확보할 계획¹⁰⁾

- 탄소 국경세 적용 가능한 품목에 크게 3가지 (철강, 시멘트, 화학 등의 원자재, 전력, 공산품)로 나뉠 수 있으며, 원자재 품목은 에너지 다소비 업종이며 탄소 배출 측정이 비교적 간단하여 이를 중심으로 탄소 국경세 적용이 시작될 가능성 높음
- EC는 현재 양자 간 대화를 통해 탄소 국경세 방향에 대해 논의하고 있으며 '21년 6월까지 최종 결론을 내리고 '22년 말까지 최종 EU의회, EU집행부(EC), EU정상 간에 협상과 합의를 통하여 늦어도 '23년 1월 시행할 계획¹⁰⁾
- 유럽의 탄소 국경세 시간표¹⁰⁾
 1. 공공 의견 수렴('20년 7월22일 ~10월 28일)
 2. EU 통상 통국(DG Trade) 및 EU대사들을 통하여 관련 국가들과 협의 진행
 3. EU집행부 컨퍼런스 개최를 통한 탄소 국경세 최종안 논의('21년 1월)
 4. 유럽 탄소 국경세 제안 ('21년 6월 경)
 5. EU집행부, EU정상회의, EU의회와의 협상을 거친 최종안 협상('21년 6월 이후)
 6. 최종 탄소 국경세 안 채택('22년 말 이전)
 7. 탄소 국경세 시행('23년 1월 예정)
- 우리나라 무역에 내재된 탄소 배출량
 - 표2에서 보듯이 한국은 수출 위주의 경제 구조에서 국내 소비 외에도 해외 수출을 위한 탄소 배출량이 많아 국제 무역에서 순 탄소 배출국가로 분류되어 있어 탄소 국경세는 새로운 무역 장벽으로 작용할 것으로 예상됨

[표 2] 국제 교역에 내재된 국가별 이산화탄소 배출¹¹⁾

(단위:CO₂ 백만톤)

국가	'10년	'11년	'12년	'13년	'14년	'15년
중국	1,431	1,535	1,563	1,537	1,480	1,303
한국	34	16	42	42	40	48
독일	-129	-141	-98	-99	-108	-88
영국	-131	-128	-127	-130	-145	-145
EU	-658	-659	-502	-505	-555	-506
일본	-218	-267	-282	-227	-213	-159
미국	-688	-684	-713	-690	-699	-775

주: 국내 소비 및 해외수출을 위한 국내 생산에 내재된 이산화탄소 배출에서 국내 소비를 위한 이산화탄소 배출을 차감한 배출량, (+)는 탄소 배출이 수출 내재화율이 높은 순수출 상태라는 것이며 (-)는 무역에서 수입된 탄소가 더 많다는 의미

시사점

- 국내 '50년 탄소 중립을 위한 법적 근거 및 구체적인 전략 수립이 필요
 - 탄소 중립 기반 마련을 위한 상위 법률 제정을 통해 온실가스 감축을 위한 에너지 계획, 전력 공급 계획, 재생에너지 확대, 기술 개발에 대한 정합성 있는 계획 수립 필요
 - '50년 탄소 중립 달성을 위해서는 보다 높은 수준의 '30년 감축 목표 수립 필요
 - 탄소세 및 전기요금 합리화를 통해 온실가스 감축 및 기후기술 지원에 대한 예산 마련 필요

- 국내 온실가스 감축뿐만 아니라 해외 감축량 확보, 자연적 탄소 흡수원 보존 및 미래 기술인 탄소 포집 저장 및 활용 (CCUS)에 대한 구체적 전략 수립이 필요
- 종합적이고 다부처적인 목표를 달성하기 위해 효율적인 정부 거버넌스 체계 수립이 필요하며, 중앙과 지방정부 간의 협력, 정부와 민간/시민의 참여와 협력이 필수적임
- 미국 대선 이후 바이든 후보 당선으로 인해 미국, EU 등은 기후보호를 위해 주요 국가들에 대한 '30년 NDC 목표 상향을 요구할 수 있으며 미국, EU와의 협력의 길이 열림과 동시에 탄소 국경세를 도구로 하는 무역 경쟁의 장이 열릴 것임
 - 투명한 국내 탄소 시장 운영을 통해 온실가스 감축에 대한 신뢰성을 높여 공동의 탄소 시장 형성 및 무역, 기술, 금융 분야에서 협력을 통해 온실가스 감축 비용을 줄이는 노력이 필요함
 - EU는 '23년부터 탄소 국경세 적용을 예고하고 있으며 향후 미국 바이든 정부도 동일한 방식의 국제 무역 규제를 통해 국제 사회의 동일한 감축 부담을 예고하고 있어 투명하고 합리적인 규칙 및 대응책 마련 필요

참고문헌

- 1) UNFCCC Communication of long-term strategies, Retrived (2020.10.05) from <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/long-term-strategies>
- 2) Steffen, W. et al., (2018). Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 115(33), 8252-8259. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>
- 3) Energy& Climate Intelligence Unit - Net Zero Tracker, Retrived (2020.10.05.) from <https://eciu.net/netzerotracker>
- 4) EU Commission, A Clean Planet for all - A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy(COM(2018)773 final), 2018
- 5) EU Commission, The European Green Deal(COM(2019)640 final), 2019
- 6) EU Commission, In-Depth Analysis in Support of the Commission Communication (COM(2018)773 final), 2019
- 7) Washington Post, The E.U.'s looking at a 'carbon border tax.' What's a carbon border tax?, 2019.10.23
- 8) Climate Action Tracker, China going carbon neutral before 2060 would lower warming projections by around 0.2 to 0.3 degrees C, 2020
- 9) Paroussos, L. et. al., (2019), Climate clubs and the macro-economic benefits of international cooperation on climate policy, Nature Climate Change, 9(7), 542-546
- 10) ERCST, Border Carbon Adjustments in the EU - Issues and Options, 2020
- 11) 대외경제연구원(KIEP), 유럽 그린딜 관련 국제사회의 주요 이슈 및 시사점, 2020

ISSUE
02기후변화대응을 위한 산림 분야 국내 정책 및
R&D 동향 분석

이천환 | chlee@gtck.re.kr

이은창, 안세진, 한수현 | ecclesia@gtck.re.kr, sejin_an@gtck.re.kr, sue@gtck.re.kr

하이라이트

- 산림은 인간의 활동으로 인한 온실가스 배출의 상반된 역할을 수행하는 중요한 존재이나, 전 세계 산림면적의 지속적인 손실로 산림 보호와 조림이 시급함
- 기후변화 관련 국내 산림정책은 산림기본법과 탄소흡수원법을 기반으로 다양한 국가계획과 사업을 추진 중이며, 국가R&D는 예산 및 사업 분야를 확장 중임
- 기후변화 관련 국내 산림 정책과 국가R&D의 주요 텍스트 토픽은 산림 조성 및 복원, 산림 재해 예측 및 방지, 산림 종자 및 생태계 보전, 임산업 및 생산물, 국내외산림 탄소 흡수, 산림 경영 및 서비스, 국내·외 협력사업 등의 범주로 나타남

키워드

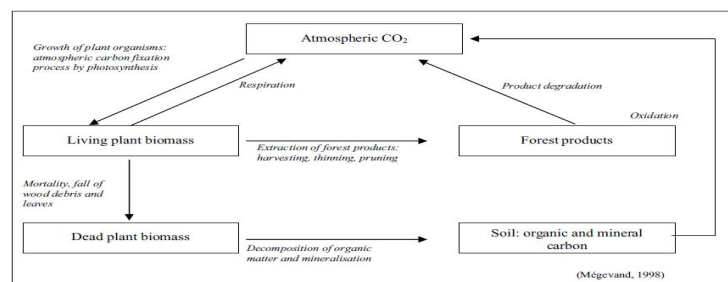
- 기후변화, 산림, 정책, R&D, 토픽모델링

서론

산림의 역할 및 중요성

- 산림은 산소 생성과 함께 이산화탄소는 흡수하고 저장하는 역할을 하며, 이를 통해 인간의 활동으로 발생하는 온실가스를 감축시켜 지구온난화를 막는 역할을 함
 - 산림은 대기 중의 탄소 흡수 뿐 아니라, 나무 부리 주변의 땅 속 바이오매스를 통해 토양탄소를 저장하게 되며, 죽은 나무의 바이오매스는 식물 성장에 필요한 주요 영양소를 발생
 - 기후변화와 산림 간의 관계를 살펴보면, 산림은 탄소 저장 및 흡수를 통해 온실가스 감축에 큰 역할을 하고 있으며, 기후의 변화는 임목의 고사와 성장, 수종분포 등에 영향을 미침¹⁾

[그림 1] 산림에 의한 탄소 순환



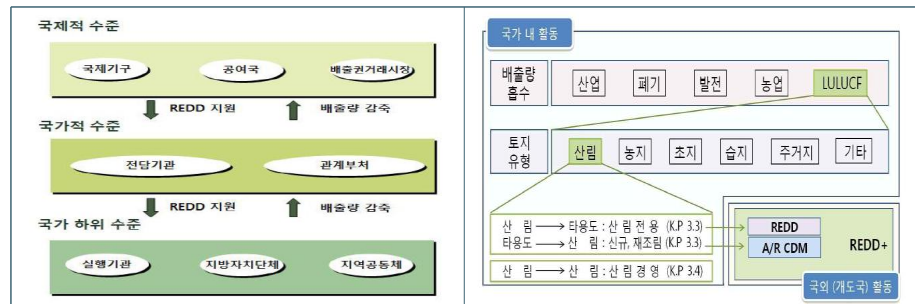
※ 출처: FAO(2003)

- 또한, 기후변화는 나무 열매와 버섯 등의 임산물 생산에 영향을 미치고, 따뜻한 기온으로 병충해가 발생하여 나무의 성장에 영향을 미치게 되어, 국가의 경제적·환경적 손실 발생

기후변화 대응과 산림분야

- 기후변화 문제의 해결을 위하여 UN과 전 세계 국가들을 중심으로 많은 논의와 활동이 이어지고 있으며, 지구 온난화 문제를 해결하기 위하여 산림 분야의 중요성이 대두되고 있음
 - 전 세계는 유엔기후변화협약(UNFCCC)을 중심으로 기후변화에 대응하기 위한 논의를 진행해 왔으며, 기존의 산림을 통한 논의는 교토의정서를 기반으로 탄소 흡수원으로 산정 가능한 다양한 방법론과 기준이 제시되어 진행
 - 산림 분야는 주요 국제 환경협약인 유엔사막화방지협약(UNCCD)과 생물다양성협약(CBD) 등의 당사국들을 통해 지속적으로 논의되는 주제이며, UN의 SDGs에서는 목표 15로 지정되어 국제적으로 중요하게 언급
 - 유엔기후변화협약의 산림 관련 전략은 LULUCF, A/R CDM, REDD+ 활동 등으로 발전되어 왔으며, 산림 전용·황폐화 방지, 지속가능한 산림경영과 산림탄소 증진을 위한 사업으로 정의된 REDD+* 사업이 교토체제 하에 국제적으로 진행²⁾
 - * 국제적 산림분야 기후변화대응 대책인 REDD+는 교토의정서 3.3조, 3.4조 등에 따른 개념으로 개도국 산림이 훼손되는 것을 방지하여 온실가스 배출을 줄이기 위한 활동

[그림 2] REDD+ 사업 접근방식(좌)과 LULUCF·A/R·REDD+ 관계(우)



※ 출처: 산림청(2014)

- 2015년 UNFCCC의 파리 협정 이후, 신기후체제(new climate regime)의 출범을 위해 선진국과 개도국이 공동으로 기후변화에 대응하기 위한 노력을 진행 중이며, 산림분야는 기존 교토체제의 사업 방식을 신기후체제에 적용하기 위한 논의를 진행 중
 - 2018년 유엔기후변화협약 제24차 당사국총회(COP)에서는 산림부문의 감축량 산정을 통해 국가 온실가스 감축 목표에 활용해야 하는 점을 논의하였으나, 투명성 체계를 위한 감축량 산정 방법론과 기준의 적용과 관련된 부분은 추후 결정하기로 논의
 - 2019년 유엔기후변화협약 제25차 당사국총회에서는 기존의 산림 탄소 흡수에 따른 국가별 감축량 산정 방법론과 기준 적용에 대한 부분은 결정되지 않았으나,

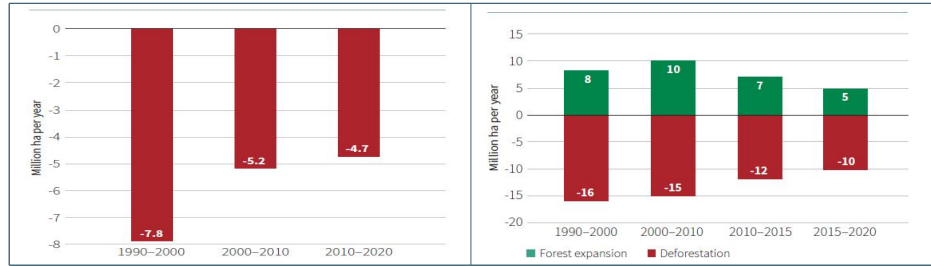
UNFCCC, FAO, UNCCD, GEF, UNEP, UNDP 등 주요 UN기관들이 산림의 훼손을 막기 위한 공동의 노력을 강조³⁾

- 국내 주요 국가 계획에서는 우리나라 온실가스 감축을 위한 수단으로 산림 부문을 주요하게 언급하고 있으며, 국내 산림 탄소흡수와 국제협력을 통한 국외 탄소흡수를 계획하여 추진 중임
 - 국내 기후변화 대응을 위한 국가 계획은 「저탄소 녹색성장 기본법」을 토대로 녹색성장 5개년 계획을 중심으로 하며, 그와 함께 기후변화대응 기본계획, 에너지 기본계획, 지속가능발전 기본계획 등이 수립되어 추진
 - 제3차 녹색성장 5개년 계획(2019~2023)에는 국내 산림의 조림 확대와 도시숲 조성 및 산림복원 등을 통해 신규 탄소흡수원을 확충하고, 해외 산림자원개발의 민간투자 확대와 REDD+ 중장기 종합계획 수립 및 시범사업 이행 등의 계획을 수립⁴⁾
 - 제2차 기후변화대응 기본계획(2020~2040)에는 2030년 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위하여 국내 산림흡수원과 국외 감축기여를 통해 총 38.3백만톤 CO₂를 감축하는 계획을 수립⁵⁾
 - 제3차 지속가능발전 기본계획(2016~2035)에는 산림 복원·보호 및 생태계 조성, 자연재해 방지 체계 구축 등을 통한 탄소흡수원 확충 계획을 수립⁶⁾

국내·외 산림 현황 글로벌 산림 현황

- 2020년 기준, 전 세계 산림 면적은 총 40.6억 헥타르(ha)*로서, 전체 육지 면적의 약 31%를 차지하고 있으며, 최근까지 산림 면적은 계속해서 손실되고 있음⁷⁾
 - * 1 헥타르(hectare, ha)는 10,000 제곱미터(100m × 100m)에 해당하는 넓이⁸⁾
 - 유엔식량농업기구(FAO)의 평가 보고서에 따르면, 2001년부터 2015년까지의 글로벌 산림 탄소 흡수량은 전체 발생량의 1/4을 차지하고 있으며, 그 비율은 산림 면적의 감소로 인해 줄어들고 있다고 발표⁹⁾
 - 글로벌 산림 면적은 1990년 대비 현재까지 총 1.78억 헥타르가 손실되었는데, 이는 산림 면적의 증가보다 손실된 양이 많았기 때문
 - 지역별로는 남미와 아프리카 지역에서 산림 면적의 손실이 가장 컸으며, 아시아와 유럽 지역은 면적이 증가했고, 오세아니아와 북미 지역 등은 시기에 따라 손실·증가 변화
 - 전 세계 산림의 복원 활동에 따라 2000년부터 2019년까지 증가한 산림 면적은 총 약 0.26억 헥타르이며, 그 중 지역별로는 남미지역이 0.17억 헥타르로 가장 많았고, 동아시아 지역이 0.95억 헥타르, 그 외 동남아시아, 북미, 유럽 등의 순의 결과를 확인¹⁰⁾

[그림 3] 전 세계 산림 면적의 순 증가량(좌) 및 확장·감소량(우)



※ 출처: FAO(2020)

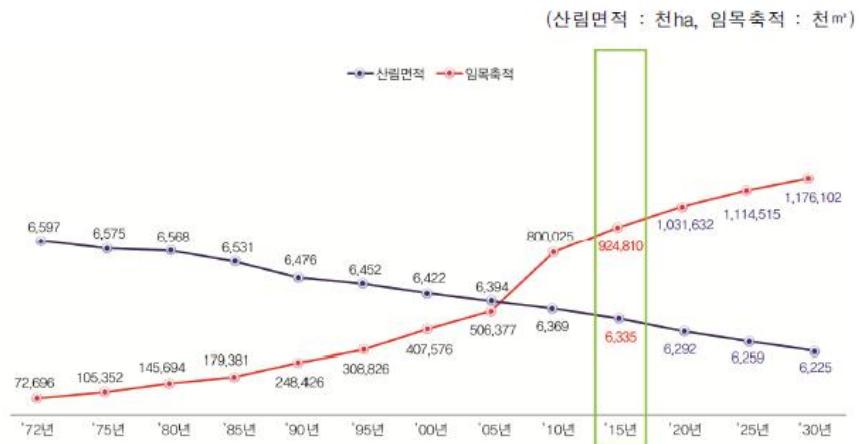
국내 산림 현황

- 우리나라의 산림 면적은 6,335천 헥타르로서, 전체 국토의 약 63.2%를 차지하고 있으며, OECD 국가 중 핀란드와 일본, 스웨덴에 이어 4번째로* 산림 비율이 높은 국가임¹¹⁾

* 위 내용은 2015년 기준으로, 5년 주기로 공표되는 [2015 산림기본통계]를 바탕으로 작성

- 국내 산림자원은 광복 이후 대비 현재까지 경제발전과 함께 크게 발전했으며, 현재 우리나라 산림은 탄소 흡수원 역할과 함께 산림 서비스 제공, 생물다양성 보전, 임산업 촉진 등의 다양한 가치를 제공
- 국내 산림 면적은 도로신설, 주택건설, 산업단지 조성 등의 이유로 지속적으로 감소하고 있으나, 전체 임목은 꾸준히 증가하여, 산림 면적이 감소하는 비율보다 임목축적 비율이 더 크게 증가

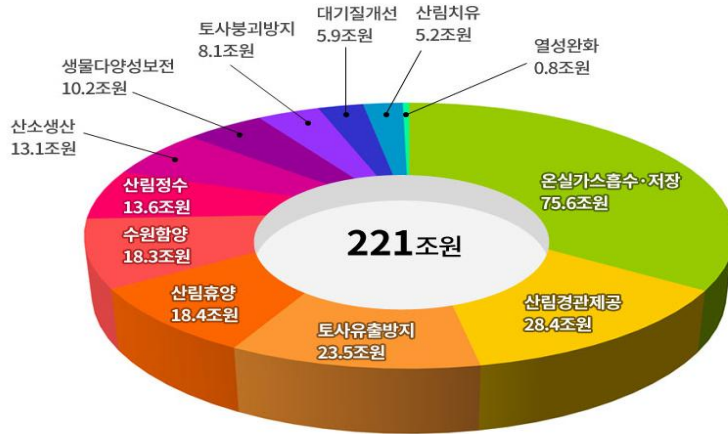
[그림 4] 국내 산림면적 및 임목축적 추이



※ 출처: 산림청(2016)

- 2018년 기준, 국립산림과학원이 발표한 국내 산림의 공익적 가치는 국내총생산(GDP) 대비 약 11.7%에 해당하는 총 221조원에 이르며, 그 중 온실가스 흡수와 저장의 기능이 전체 공익적 가치의 약 34%를 차지

[그림 5] 산림의 공익적 가치(2018년 기준)



※ 출처: 산림청(2020)

국내 산림분야 기후변화 대응 정책 동향

국내 산림분야 주요 정책

- 과거 황폐했던 우리나라 산림은 다양한 정책과 함께 빠른 속도로 발전했으며, 국내 산림정책이 추진된 주요한 시기는 크게 ①광복이후 산림청 발족 이전, ②산림청 발족 이후 치산녹화기 이전, ③제1차 치산녹화기, ④제2차 치산녹화기, ⑤산지자원화 추진기 이후의 5단계로 나뉜¹²⁾

[표 1] 주요 시기별 국내 산림정책 내용

시기	주요내용
광복 이후 산림청 발족 이전 (1946~1966)	<ul style="list-style-type: none"> • 산림황폐지 복구사업 <ul style="list-style-type: none"> - 대한민국 정부 수립 시 산림국 내 임정·임산·조림과 설치 - 「산림법」 제정 - 황폐지 복구사업(실패) 및 임산연료 감축
산림청 발족 이후 치산녹화기 이전 (1967~1972)	<ul style="list-style-type: none"> • 계획적인 산림 제도 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 농림분야가 포함된 제1차 경제개발 5개년계획 추진 - 산림분야 치산7개년 계획 수립 - 법적 규제를 통한 산림자원 소비 절약 추진 - 대단지 조림계획 수립
제1차 치산녹화 10개년 계획 (1973~1978)	<ul style="list-style-type: none"> • 국토의 속성녹화 기반구축 <ul style="list-style-type: none"> - 당초 계획보다 4년 앞당겨 108만 ha에 대한 녹화 완료 - 화전정리사업의 완료와 농촌임산연료 공급원 확보 - 육림의 날 제정과 산주대회 개최로 애림사상 고취
제2차 치산녹화 10개년 계획 (1979~1987)	<ul style="list-style-type: none"> • 장기수 위주의 경제림 조성과 국토녹화 완성 <ul style="list-style-type: none"> - 106만ha의 조림과 황폐산지 복구완료 - 대단위 경제림 단지 지정, 집중조림 실시 - 산지이용실태조사, 보전·준보전임지 구분체계 도입
제3차 산지자원화 계획 (1988~1997)	<ul style="list-style-type: none"> • 녹화성공 후 산지자원화 기반조성 <ul style="list-style-type: none"> - 32만ha의 경제림 조성과 303만ha의 육림사업 실행 - 산촌개발의 추진과 산림휴양·문화시설 확충 - 산지이용체계 재편, 기능과 목적에 의한 이용질서 확립

시기	주요내용
제4차 산림기본계획 (1998~2007)	<ul style="list-style-type: none"> • 지속가능한 산림경영기반 구축 → 사람과 숲이 어우러진 풍요로운 녹색국가 실현(2003년도 계획변경) - SFM 이행을 위한 기준과 지표설정, 「산림법」에서 「산림기본법」 중심의 12개 기능별 법체제로 개편 - '심는정책'에서 '가꾸는 정책'으로 전환하여 산림의 가치 증진 - 산림의 공익기능 증진과 산촌개발사업 본격추진 - 백두대간 등 한반도 산림생태계의 보전 관리체계 구축, 「산지관리법」 제정으로 자연친화적 산지관리기반 마련 - 산불진화 역량 확충과 해외조림사업 확대 - 국립수목원, 국립자연휴양림관리소 신설 및 FGIS 시스템 구축
제5차 산림기본계획 (2008~2017)	<ul style="list-style-type: none"> • 숲을 활력있는 일터, 쉼터, 삶터로 재창조하기 위해 다양한 산림 혜택의 선순환 구조 확립 - 지속가능한 기능별 산림자원 관리체계 확립 - 기후변화에 대응한 산림탄소 관리체계 구축 - 임업 시장기능 활성화를 위한 기반 구축 - 산림 생태계 및 산림생물자원의 통합적 보전·이용 체계 구축 - 국토의 안정성 제고를 위한 산지 및 산지재해 관리 - 산림복지 서비스 확대·재생산을 위한 체계 구축 - 세계녹화 및 지구환경 보전에 선도적 기여
제6차 산림기본계획 (2018~2037)	<ul style="list-style-type: none"> • 건강하고 가치있는 산림, 양질의 일자리와 소득 창출, 국민 행복과 안심국토 구현, 국제기여 및 통일대비 - 산림자원 및 산지 관리체계 고도화 - 산림산업 육성 및 일자리 창출 - 임업인 소득 안정 및 산촌 활성화 - 일상속 산림복지체계 정착 - 산림생태계 건강성 유지·증진 - 산림재해 예방과 대응으로 국민안전 실현 - 국제산림협력 주도 및 한반도 산림녹화 완성

※ 출처: 산림청(2020), 행정안전부 국가기록원(2020)을 기반으로 저자가 재구성

- 현재 주요한 국내 산림정책은 「산림기본법」을 기반으로 제6차 산림기본계획을 수립하여, 2037년까지의 산림자원·산업·복지·보호·행정, 국제산림 협력, 산지 및 산촌 등과 관련된 종합계획을 수립함¹³⁾
- 제6차 산림기본계획은 제5차 계획에 이어 국내 온실가스 감축에 기여하고, 개도국과 북한 산림사업 협력 확장을 통해 국제적 의무 이행을 추진 중임
 - 제6차 산림기본계획은 탄소흡수력이 높은 수종과 신규 산림을 조성하여 국내 온실가스 감축* 및 흡수에 기여하는 계획을 추진
 - * 산림임업을 통해 2030년까지 국내 온실가스 감축의 10% 기여 목표
 - 목재 건축재 활용과 산림탄소관리체계 등을 구축하여 화석연료 대체를 통한 온실가스 감축을 추진하고, 기후변화에 따른 산림 피해를 줄이기 위한 산림 모니터링과 생태계 관리 활동 등을 추진
 - 개도국 산림전용 방지 사업(REDD+)을 확대*하고 북한 산림복구 협력사업을 통해 기후변화 대응을 위한 국제적 의무 이행과 온실가스 감축에 기여
 - * 2030년까지 총 10개국으로 사업 협력 확대 목표

[그림 5] 제6차 산림기본계획 비전 및 전략



※ 출처: 산림청(2018a)

- 또한, 산림청은 「탄소흡수원 유지 및 증진에 관한 법률 (약칭 탄소흡수원법)」을 기반으로 기후변화와 직접적으로 관련된 산림 탄소 흡수 관련 국가 계획과 사업을 시행 중임
 - 산림청은 2015년 제1차 탄소흡수원 증진 종합계획에 이어 현재 파리협정에 따른 신기후체제 대응을 위하여 조기 수립된 제2차 계획을 토대로 산림의 탄소 흡수원 유지 및 증진을 위한 방안*을 추진 중
 - * 탄소흡수원 증진계획은 ① 목표와 기본방향, ② 국내외 여건, ③ 기술의 개발·보급, ④ 국제협력, ⑤ 온실가스 정보 및 통계 구축 등의 계획을 구축¹¹⁾
 - 제2차 탄소흡수원 증진 종합계획은 2018년부터 2022년까지 시행되며, ①산림 탄소 흡수·저장·감축 기능 증진, ②임업·산림의 기후변화 적응능력 강화, ③온실가스 통계 제고 및 산림탄소상쇄제도 확대, ④신기후체제 대응 국제협력 증진, ⑤기후기술(R&D) 개발 확대 등의 중점과제를 계획¹⁴⁾
 - 특히, 정부는 산림탄소상쇄제도를 운영하여, 식생복구, 산림경영, 신규조림·재조림, 목제품 이용, 산림바이오매스 에너지 이용 등 사업에 대해 정부 검증을 거쳐 산림의 탄소 흡수량을 인증해주고 있으며, 관련하여 산림청은 산림탄소등록부를 운영 중

- 수집된 자료를 기반으로 텍스트마이닝 방식을 통해 각 게시물의 본문 텍스트를 기반으로 토픽 모델링 분석을 진행함
 - 분석 방법은 자연어 처리를 통하여 동시출현 단어를 기반으로 네트워크 분석을 진행하였으며, 잠재 디리클레 할당(Latent Dirichlet Allocation)을 사용하여 토픽 모델링 분석을 진행¹⁶⁾
 - 수집된 게시물의 본문을 중심으로 명사를 추출하여 분석을 진행하였으며, 형태소 분석기는 은전한닢을 사용
 - 본 분석은 ‘기후변화’, ‘우리나라’와 같은 분석에 불필요한 단어들은 제외하였으며, 유사어 사전을 통해 전처리 과정을 거침
 - 텍스트 데이터는 명사를 추출하여 말뭉치를 구성하였으며, TF-IDF(Term Frequency - Inverse Document Frequency)를 활용하여 가중치를 적용
 - 전체 텍스트 데이터의 토픽은 LDA를 통해 15개 토픽을 추출하였으며, 각 토픽에 등장하는 주요 관련 단어와 본문 등을 활용하여 분석 진행
- 토픽 모델링 분석 결과, 기후변화 대응 관련 국내 산림 정책은 산림탄소흡수 및 상쇄제도, 산림종 및 생태계 보호, 인적 역량강화, 국내외 산림협력 및 국제협약, 임산업 및 산림자원 확보, 산림 관측 및 관리, 산림 경영·서비스, 산림 행사, 산림 재해 방지 등의 주제를 주요하게 다룬 것을 확인함

[표 2] 산림 정책자료 토픽 모델링 분석 결과

주제	주요 단어
Topic 1 (산림탄소흡수 및 상쇄제도)	상쇄, 협의회, 그루, 중립, 저장량, 승용차, 자작나무, 잣나무, 국유지, 입법 예고, 크레딧 등
Topic 2 (산림 DNA연구 및 역량강화)	포플러, 약용, 인턴, 자문, 함량, 엽록체, 자치단체장, 기념식, 리그닌, 토종, 플라스틱 등
Topic 3 (산림 생태계 관찰 및 국제협약)	아세안, 편성, 제주, 시험림, 아이디어, 산란, 아열대, 사업장, 발대식, 왕벚나무, 회담 등
Topic 4 (국내·외 산림 생물·표본 보호 활동)	표본, 광릉, 동아시아, 습지, 울릉도, 북방, 중앙아시아, 번식, 섬시호, 나비, 덩굴, 아랄해 등
Topic 5 (국내·외 산림자원 확보 활동)	버섯, 표고, 칠레, 우루과이, 파라과이, 에콰도르, 도서, 군상, 종균, 코스타리카, 마스터플랜 등
Topic 6 (식물 개화 및 종자 관측)	개화, 구상나무, 아까시나무, 침엽, 산악기상, 헛개나무, 고사, 분비나무, 홍릉, 눈잣나무, 가문비나무 등
Topic 7 (산림 DNA연구 및 국제협력)	백합, 잣나무, 클론, 복제, 씨앗, 체세포, 벚나무, 저항, 성형, 교배, 남북, 롬복 등
Topic 8 (사유림·조림 관리 및 임산물)	매수, 사유림, 양묘, 수액, 매도, 감정, 고로쇠, 후계자, 사업소, 감면, 대행, 법정제한림 등
Topic 9 (산림 품종관리 및 수재해 예방)	난대, 상록, 외래, 하천, 붉가시나무, 홍수, 침입, 활엽수림, 도토리, 방부, 종가시나무 등
Topic 10 (병해충 방지)	방제, 선충, 해충, 단풍나무, 흰개미, 벌레, 매미나방, 홍릉, 번식, 꽃매미, 시들음병 등

주제	주요 단어
Topic 11 (국내·외 산림 보전·복원 활동 및 생산물 협력)	평화, 보일러, 청소년, 에티오피아, 가로수, 은행나무, 숲사랑, 커피, 꽃가루, 캠프 등
Topic 12 (산림경영·서비스 활동 및 행사)	대나무, 박람회, 무인기, 절약, 예약, 개소식, 여행, 개관, 홍콩, 단양, 유치원, 초등학교 등
Topic 13 (산림 정보 제공 및 관련 행사)	토론회, 간담회, 계산기, 인지, 사립, 모바일, 보고회, 상생, 연찬회, 건기, 새만금, 발표회 등
Topic 14 (목조 건축 및 재료)	목조, 건축, 워크숍, 주택, 한옥, 재료, 목구조, 고층, 상용, 절약, 남북, 패널, 토론회, 화천 등
Topic 15 (산불 피해방지)	산불, 항공, 익산, 감시원, 산림항공본부, 연휴, 훈련원, 울진, 영서, 추석, 기상, 영덕, 개소식, 발대식 등

국내 산림분야 국가R&D 동향

산림분야 국가R&D 현황

- 국내 산림청 R&D는 국립산림과학원, 국립수목원, 산림청 출연 연구과제로 나뉘며, 산림·임업분야 연구개발 예산을 2020년 1,289억원, 2021년 1,493억원으로 편성하여, 예산 투자와 사업분야를 지속적으로 확장하고 있음¹⁷⁾
 - 2020년 신규 산림 R&D는 ①신기후체제 대응 연구사업, ②산림생명자원 소재 발굴 연구사업, ③목재자원의 고부가가치 첨단화 기술개발 사업, ④산림과학기술 실용화 지원 사업, ⑤산림산업 특화 연구지원 사업, ⑥대학(원)생 창의도전 아이디어 연구지원 사업 등을 추진¹⁸⁾
 - 2021년 신규 R&D는 ①4차 산업혁명 기술과 산림·임업의 접목, ②스마트 헬스케어 기술 개발, ③산림 재해 예방·대응 기술 개발, ④미이용 산림바이오매스 활용 사업 등이 추진될 예정¹⁷⁾
- 2020년 국내 산림과학기술 연구개발의 우수성과 중 기후변화 대응 관련 부분을 살펴보면, 7가지 사업구분 중 신기후체제 대응 연구를 별도 구분하여 우수 사례를 제시함
 - 산림과학기술 R&D의 신기후체제 대응 연구는 2017년부터 시작하여 계속 진행 중이며, 4년간 약 144.7억 규모의 예산이 투입
 - 2020년 우수 R&D사례는 산림의 탄소배출권을 확보하고 활용하는 방안과 관련된 기술 개발 등의 연구*가 대표적 사례로 제시¹⁹⁾
 - * ①국내 미활용 목질계 바이오매스 기반 슈퍼커패시터용 활성탄 개발, ②국산재 합판을 CLT의 코어재로 사용한 Ply-lam의 개발 및 활용에 관한 연구, ③국제적으로 이전되는 완화성과를 확보하기 위한 산림부문 기후변화대응 협력팀 모델 개발, ④산림부문 국제탄소시장 메커니즘을 활용한 해외 산림탄소배출권 확보방안 마련, ⑤산림토양의 메탄산화를 통한 온난화기체 저감 및 탄소배출권 활용 방안, ⑥신기후체제 대응을 위한 생활권 도시림의 탄소흡수원과 다원편익 증진을 위한 조성·관리·평가모델 및 기술개발, ⑦인도네시아 이탄지 보전·복원 및 기후변화대응 방안 개발

- 수집된 자료를 기반으로 텍스트마이닝 방식을 통해 각 게시물의 본문 텍스트를 기반으로 토픽 모델링 분석을 진행함
 - 분석 방법은 상기 정책동향 분석과정과 동일하게 진행하였으며, 전체 텍스트 데이터의 토픽은 LDA를 통해 15개 토픽을 추출하였고, 각 토픽에 등장하는 주요 관련 단어와 본문 등을 활용하여 분석 진행
- 토픽 모델링 분석 결과, 기후변화 대응 관련 국내 산림 R&D는 국내·외 산림탄소 흡수, 산림 재해 예측 및 방지, 임산업 및 바이오매스, 산림 경영 및 서비스, 산림 모니터링·복원, 산림종·생태계 보전 및 관찰, 사막방지화 및 도시숲 등의 주제로 연구가 진행된 것을 확인함

[표 3] 산림 R&D자료 토픽 모델링 분석 결과

주제	주요 단어
Topic 1 (국내·외 산림 탄소흡수 관련 연구)	탄소, 배출, 사업, 토지, 온실가스, 인벤토리, 상쇄, 바이오매스, 저장량, 감축, 표본점, 거래, 고사목 등
Topic 2 (산림 산림곤충 및 병해충 연구)	피해, 방제, 곤충, 선충, 소나무, 미생물, 해충, 병해충, 매개충, 수목, 살충, 기주, 사육, 진단 등
Topic 3 (건축 관련 목재 성능 연구)	목재, 성능, 국산, 목조, 건조, 강도, 부재, 수지, 탄화, 섬유, 가구, 건축, 집성재, 에너지 등
Topic 4 (산림재해 예측 및 대비 연구)	산불, 위험, 재해, 데이터, 알고리즘, 토사, 피해, 산지, 지도, 진화, 산사태, 센서, 관측, 시설물 등
Topic 5 (목재 생산공정 및 생산물 연구)	작업, 목재, 임도, 장치, 성능, 펠릿, 임업, 기계, 집재, 포장, 부산물, 근적외선, 원료, 경량 등
Topic 6 (산림 경영 및 서비스 연구)	경영, 시설, 휴양, 산촌, 제도, 사업, 임업, 정책, 서비스, 생태계, 수요, 복지, 소득, 국유림 등
Topic 7 (산림 바이오매스 및 유전자 연구)	바이오매스, 유전자, 바이오, 목질, 리그닌, 발현, 나노, 셀룰로오스, 형질전환, 포플러, 연료, 당화, 복합, 원료 등
Topic 8 (산림자원 건강 기능성 연구)	추출물, 효능, 원료, 제형, 독성, 발효, 산채, 피부, 억제, 정제, 건강, 분획, 화장품, 염증 등
Topic 9 (산림 품종 및 유전자원 보존 연구)	유전, 품종, 종자, 보존, 집단, 클론, 유도, 유전체, 우량, 소나무, 조직, 교배, 형질, 육종 등
Topic 10 (산림생물 표본 및 분류 연구)	식물, 표본, 분류군, 유용, 곤충, 자생, 특산, 생물, 형질, 한반도, 보존, 전시, 유전, 분류학 등
Topic 11 (사막 방지화 및 산림복원 연구·국제사업)	건조, 협력, 과제, 국제, 사업, 사막, 핵심, 북한, 복원, 사방댐, 모델링, 해외, 사방, 조림 등
Topic 12 (산림생태 모니터링·복원 연구 및 도시숲 연구)	산지, 복원, 생물, 생태계, 도시, 훼손, 경관, 공법, 광릉, 시험림, 백두대간, 도시숲, 식물, 녹화 등
Topic 13 (숲건강, 산림 치유 및 교육프로그램 연구)	치유, 프로그램, 교육, 정원, 건강, 문화, 미세먼지, 시설, 질환, 식재, 수목원, 피톤치드, 융합 등
Topic 14 (산림 종자·묘목 연구)	임분, 시업, 조림, 종자, 소나무, 묘목, 활엽수, 식재, 양묘, 파종, 산지, 생장량, 비료, 조림지 등
Topic 15 (임산자원 생산·관리 연구)	재배, 버섯, 균주, 표고, 임산물, 소득, 품종, 유통, 수액, 대나무, 고로쇠나무, 줄기, 미생물, 수출 등

- 산림은 기후변화 대응과 관련하여 유일하게 탄소를 흡수하는 주요한 자원으로, 국제적인 중요성이 부각되고 있으며, 이에 따른 국내 정책 및 기술개발 활동이 다양하게 추진되고 있음
 - 국내 산림정책은 탄소흡수원으로 활용하기 위한 다양한 정책을 추진 중이며, 국내 산림 관련 법률 및 주요 국가계획은 국내 산림사업과 함께 개도국에 대한 국제적 의무 이행을 수행하기 위한 다양한 협력사업 방안을 수립
 - 다만, 국제적인 산림 탄소흡수원의 단일화된 글로벌 기준과 산정방법 마련이 시급한 상황이며, 향후 수립될 국제 표준에 따른 국내 탄소흡수 관련 정책의 적응 필요
 - 국내 산림분야 국가R&D는 예산과 사업분야를 지속적으로 확장 중이며, 신기후 체제에 대응하기 위한 연구를 별도 진행하여 산림의 탄소배출권 확보를 계획
 - 또한, 국내 산림분야의 R&D 기술분류체계는 산림과학기술분류체계에서 자세하게 구분하고 있으나, 국가과학기술표준분류체계 및 국가기후기술 분류체계와 연계 하여 국가적으로 단일화된 산림 기술분류체계 구축 필요
- 기후변화 대응 관련 국내 산림분야 정책과 국가R&D 데이터의 토픽 모델링 분석 결과는 대체로 비슷한 범주의 주제들로 나타났으며, 이를 통해 국내 산림분야 정책과 국가 R&D의 주요 추진 방향을 확인함
 - 정책 자료와 국가 R&D 자료에서 비슷하게 다루어진 주요 텍스트 주제는 산림 조성 및 복원, 산림 재해 예측 및 방지, 국내외 산림 탄소 흡수, 산림 경영 및 서비스, 국내·외 협력사업 관련 주제
 - 정책 자료가 국가 R&D 자료에 비해 비교적 많았던 주요 텍스트 주제는 산림 종자 및 생태계 보전 관련 주제였으며, 국가 R&D 자료가 정책 자료에 비해 비교적 많았던 주요 텍스트 주제는 임산업 및 생산물 관련 주제

[표 4] 산림분야 정책 및 국가R&D 주요 토픽 모델링 결과 비교

주요 범주	정책 토픽 (건)*	국가R&D 토픽 (건)
1. 산림 조성 및 복원	2	1.5
2. 산림 재해 예측 및 방지	2.5	2
3. 산림 종자 및 생태계 보전	4.5	3
4. 임산업 및 생산물	2	5
5. 국내·외 산림 탄소 흡수	1	1
6. 산림 경영 및 서비스	2	2
7. 국내·외 협력사업	1	0.5

* 두 가지 범주에 모두 속하는 토픽은 0.5로 카운트하여 두 범주에 가산

- 위 결과를 토대로 국내 산림분야의 기후변화 관련 정책과 국가 R&D는 대체로 비슷한 내용을 다루고 있으므로, 국가 정책과 R&D가 일치된 추진 방향을 가지고 있는 점을 알 수 있으며, 정책적으로는 산림 종자·생태계 보전 활동에 더 집중하고, 국가 R&D는 산업계 연구에 더 집중하고 있음을 확인

참고문헌

- 1) 김문일 외(2017). 기후변화가 한국 산림에 미치는 영향과 관리 전략.
- 2) 산림청(2014). REDD+ 교육교재 총론.
- 3) UNFCCC(2020). UNFCCC 홈페이지.
<https://unfccc.int/news/at-cop25-a-call-to-turn-the-tide-on-deforestation>. 2020.11.12. 방문.
- 4) 관계부처 합동, 녹색성장위원회(2019). 제3차 녹색성장 5개년 계획.
- 5) 관계부처 합동(2019). 제2차 기후변화대응 기본계획.
- 6) 관계부처 합동(2016). 제3차 지속가능발전 기본계획.
- 7) FAO(2020). Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. Rome.
- 8) 위키피디아(2020). <https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%97%A5%ED%83%80%EB%A5%B4>. 방문일 2020.11.12.
- 9) FAO(2015). Fao assessment of forests and carbon stocks, 1990-2015 : Reduced overall emissions, but increased degradation.
- 10) FAO & UNEP(2020). The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people. Rome.
- 11) 산림청(2016). 2015 산림기본통계.
- 12) 행정안전부 국가기록원(2020). 산림녹화 홈페이지. <https://theme.archives.go.kr//next/forest/viewMain.do>. 2020.11.04. 방문.
- 13) 산림청(2018a). 제6차 산림기본계획.
- 14) 산림청(2018b). 제2차 탄소흡수원 증진 종합계획(2018-2022).
- 15) 국립국어원(2011). 행정 기관 보도 자료 작성 지침.
- 16) 백영민(2017). R을 이용한 텍스트 마이닝. 한울 아카데미.
- 17) 문화체육관광부(2020). 대한민국 정책브리핑 홈페이지 : 내년도 산림, 임업분야 R&D 역대 최대 예산 확보.
<https://www.korea.kr/news/policyBriefingView.do?newsId=156412419>. 2020.11.17. 방문.
- 18) 행정안전부(2020). 정부24 홈페이지 : 2020년도 산림과학기술 분야 연구개발(R&D) 사업 본격 추진.
<https://www.gov.kr/portal/ntnadmNews/2035084>. 2020.11.17. 방문.
- 19) 한국임업진흥원(2020). 2020 산림과학기술연구개발 우수성과 사례집.
- 20) 한국임업진흥원(2019). 산림과학기술 출연 연구개발사업의 운영·관리 지침.
- 21) 과학기술정보통신부, 한국과학기술기획평가원(2018). 국가과학기술표준분류체계.
- 22) 녹색기술센터(2020). 국가기후기술정보시스템 홈페이지 : 국가 기후기술 분류체계.
<https://www.ctis.re.kr/ko/contents.do?key=1141>. 2020.11.17. 방문.
- 23) FAO(2003). Instruments related to the United Nations Framework Convention on Climate Change and their potential for sustainable forest management in Africa.
- 24) 산림청(2020). 산림청 홈페이지. <https://www.forest.go.kr/kfswb/kfs/idx/Index.do>. 2020.11.12. 방문.

(약어 정리)

- * A/R CDM(Afforestation and Reforestation CDM) : 신규/재조림 청정개발체제
- * CBD(Convention on Biological Diversity) : 생물다양성협약
- * COP(Conference of Parties) : 당사국 총회
- * FAO(Food and Agriculture Organization of the United Nations) : 유엔식량농업기구
- * Global Environment Facility (GEF) : 지구환경기금
- * LULUCF(Land Use, Land Use Change, Forestry) : 토지이용과 토지이용변화, 그리고 산림
- * REDD+(Reducing Emission from Deforestation and Forest Degradation) : 산림전용 및 산림황폐화 방지를 통한 온실가스 배출 감축
- * SDGs(Sustainable Development Goals) : 지속가능개발목표
- * UNCCD(United Nations Convention to Combat Desertification) : 유엔사막화방지협약
- * UNDP(United Nations Development Programme) : 유엔개발계획
- * UNEP(United Nations Environment Programme) : 유엔환경계획
- * UNFCCC(United Nations Framework Convention on Climate Change) : 유엔기후변화협약

ISSUE
03

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

Wona Lee, Rywon Yang / Division of Climate Technology Cooperation | wonalee@gtck.re.kr, rymayang@gtck.re.kr

Highlights

- This brief describes the Republic of Korea's seven (7) pro bono technical assistances (TAs) already completed or near completion; one (1) adaptation, four (4) mitigation and two (2) cross-cutting.
- Through such experiences, best practices of scale-up opportunities were identified. In such cases, the distinctive role of the intermediaries and the NDEs were defined as the key feature of Korea's CTCN pro bono support.
- Korea seeks to continue its efforts to scale up its pro bono support to strengthen the linkages between the Technology Mechanism and the Financial Mechanism and gain insights from its past experiences through developing a feedback loop for future pro bono support.

Keywords

- Korean NDE, pro bono, Climate Technology Centre and Network, Technical Assistance, international cooperation

Korea's CTCN pro bono support

Background

- Since its assignment as the National Designated Entity (NDE) of the Republic of Korea (hereinafter ROK) in November 2015, Korean NDE, the Ministry of Science and ICT (MSIT), has become a notably active participant of the CTCN activities.
 - Highest number of network members (75 as of December 2020)¹⁾
 - Director-General of the R&D Policy Bureau of MSIT was elected as the CTCN Advisory Board member (December 2018)²⁾
 - Home to the CTCN Partnership and Liaison Office that aims to strengthen the links between climate technology and finance³⁾
- One of its distinctive activities is its active pro bono support. Korean NDE secured a dedicated budget in 2018 for the first time as a donor country to plan and implement TA projects through the pro bono process.⁴⁾

Progress

- Korean NDE, jointly with the Green Technology Center (GTC), supported various activities to expand pro bono support. The activities include:
 - establishing the institutional arrangements, procedures and annual timeline to support operations
 - organizing the 'Korean CTCN pro bono Committee'
 - diversifying pro bono activities and introducing the counter proposition of pro bono support to promote participation.
- As of 2020, a total of thirteen (13) pro bono projects worth 1.87 billion KRW have been implemented, five (5) adaptation, five (5) mitigation and three (3) cross-cutting.
 - The 3rd Korean CTCN pro bono Committee identified new pro bono support participation for the year 2021

Korea's CTCN pro bono experiences ('18~'19)

Adaptation

- **Kurunegala as a climate smart city for climate change adaptation, Sri Lanka⁵⁾**
 - **(Background/challenges)** Kurunegala city faces climate change issues such as extreme heat conditions and decreasing drinking water supply mainly due to drought and gradually diminishing urban biodiversity. The city needs a comprehensive and feasible climate adaptation measures within the integrated city planning to account for climate change adaptation.
 - **(Objective)** The objective of this pro bono TA was to develop an adaptation plan for heat waves and water management sector by formulating an urban action plan based on the vulnerability and risk assessment.
 - **(Korean expertise/technology supported)** Korean experts assessed the climate change risk and vulnerability using the indicator and survey based approach. Moreover, drinking water purification technology known as the Gravity-Driven Membrane (GDM) was installed as a pilot for households without access to adequate drinking water.
 - **(Anticipated impact)** The action plan developed from this pro bono TA is expected to guide policymakers and stakeholders in Kurunegala city on how to increase the climate resilience of the city. Their increased capacity will enable them to conduct assessments on other issues and

reflect climate adaptation aspects to urban development planning. The direct beneficiaries of an updated urban plan with adaptation measures will be the 40,000 citizens in Kurunegala.

Mitigation

- **Innovative renewables and waste heat technologies in Belgrade's district heating system⁶⁾**

- **(Background/challenges)** The District Heating System (DHS) for the City of Belgrade connects upto fifty percent (50%) of all households. However, limited investment and maintenance for DHS resulted in the gradual deterioration of the DHS and the insulations of buildings. There was a need to identify renewable and waste heat sources and assess the feasibility to attract additional financing for renewable energy projects.
- **(Objective)** The objective of this pro bono TA was to conduct a feasibility study on renewable (RE) and/or low-carbon District Heating demonstration projects for potential scale-up in the City of Belgrade.
- **(Korean expertise/technology supported)** Six (6) renewable technologies; combined heat and power, district heating boiler, geothermal, waste heat recovery, heat pump, solar thermal were assessed according to their fuel source, benefits and impact on climate change.
- **(Anticipated impact)** The reports and action plan developed from this pro bono TA are expected to assist the City of Belgrade in setting a long-term plan for the uptake of the renewable and waste heat energy sources in their DHS. This will allow the continuous provision of efficient heating to the communities, reduce GHG emissions and improve energy efficiency.

- **Financing strategy for transit oriented development in Addis Ababa⁷⁾**

- **(Background/challenges)** Addis Ababa, the capital of Ethiopia, and its fast growing urban population are experiencing a lack of public infrastructure leading to limited access to public transportation services. Although a Transportation Oriented Development (TOD) strategy was planned to be implemented for the existing 35-km Light Rail Transit (LRT) system, there were financial challenges including high investment costs and low fare levels.
- **(Objective)** The objective of this pro bono TA was to support the climate-vulnerable areas of Ethiopia by assisting the Government of

Ethiopia to devise a suitable financing instrument to fund the incremental cost of the urban infrastructure and to leverage sources of private capital required for the development of the TOD.

- **(Korean expertise/technology supported)** Based on the South Korean experience in implementing the TOD, the Korean experts team identified the Bust Information and Management System (BIMS) as the best suitable technology, analyzed the initial cost for development and evaluated the potential environment impact.
- **(Anticipated impact)** When the TOD plan is implemented, it will contribute to the mitigation of GHG emissions and traffic congestions from private vehicles. The direct beneficiaries of the TOD plan are the 120,000 daily passengers that use the LRT. The increased utilization of public transportation will expand the relevant market and attract potential private investors such as IT solution/system providers in the transport sector.

- **Development of low-emission mobility policies and financing proposals for Cambodia⁸⁾**

- **(Background/challenges)** The Government of Cambodia seeks to reach its NDC target of 27% reduction of emissions compared to its BAU by 2030, of which 3% accounts for the transport sector. There is a high potential for a positive impact on GHG emissions by switching conventional vehicles to e-mobility. Therefore there is a need for developing an e-mobility policy action plan to boost action and investment for electric transportation in Cambodia.
- **(Objective)** The objective of this pro bono TA was to support the implementation of E-mobility in Cambodia through developing a policy action plan and project proposal on sustainable and low-emissions transport.
- **(Korean expertise/technology supported)** Korean experts derived a BAU and two (2) alternative policy option scenarios by analyzing the GHG emission reduction impact, lifecycle cost, environmental and health impact, socio-economic impact and gender assessment. They mapped the three (3) scenarios through the multivariate comparative analysis to identify the key barriers and enabling conditions.
- **(Anticipated impact)** The action plan implemented by this pro bono TA is anticipated to provide scenarios for CO₂eq emissions reduction or avoidance by switching to e-mobility. It will also contribute to achieving

the NDC target of 3% emissions reduction in the transport sector. Also, the project concept note may leverage funding or investment for future e-mobility projects.

- **Technical assistance for the development of a climate smart city in Kurunegala, Sri Lanka (mitigation elements)⁹⁾**

- **(Background/challenges)** Kurunegala is one of the fastest developing economic and administrative city of Sri Lanka. Its high population growth rate and increased traffic volume have led to increases in energy consumption, waste generation and severe traffic congestion. The city requested for a roadmap to convert into a climate smart city focused on the transport, energy and waste sectors, which are the major causes of increased GHG emissions.
- **(Objective)** The objective of this pro bono TA was to develop a pathway for the transition to a low emission municipality in Kurunegala by analyzing the status quo of the city in energy, transport and waste sectors, providing capacity building for city planners in the aforementioned sectors.
- **(Korean expertise/technology supported)** The Korean experts set specific goals in the roadmap through collecting primary and secondary data from literature review, on-site survey and tools such as Analytic Hierarchy Process (AHP). They also supported a toolkit for developing a GHG inventory.
- **(Anticipated impact)** The roadmap developed from this pro bono TA includes climate technology DB, which is expected to guide policymakers and stakeholders in Kurunegala city in selecting the best available climate technologies for mitigation. It can also be replicated for other cities to reflect mitigation measures in climate smart city planning. The direct beneficiaries of this mitigation roadmap will be the 40,000 citizens in Kurunegala.

Cross-cutting

- **Technology assistance to supply domestic solar water pump in Tanzania¹⁰⁾**

- **(Background/challenges)** Tanzania has prioritized water resources as rural water supply and sanitation is one of the three main areas for its Water Sector Development Program 2006–2025. This TA seeks to improve such conditions in semi-arid regions of Tanzania through solar photovoltaic conversion of its abundant solar renewable energy potential into electricity to run a sustainable water pumping system.

- **(Objective)** The objective of this pro bono TA was to develop a domestic solar photovoltaic water pumping system through a small scale demonstration. The pilot installation was used to develop a business model for scale-up/replication.
 - **(Korean expertise/technology supported)** The Korean experts developed a solar water pumping system, and modified in consideration of the local procurability of the parts. The technologies applied to the pilot system are direct-current submersible pump, variable type system and reverse osmosis system for desalination of the drinking water.
 - **(Anticipated impact)** The business model developed from the pilot testing of this pro bono TA will contribute to the replication and up-scaling of the solar water pumping system at off-grid regions of Tanzania. The installed filter will increase sanitation, health and wellbeing. The direct beneficiaries of the pilot installation are 12,000 people living in the Nghambi village.
- **Technical support for the dissemination of Togo's solar energy technology**
 - **(Background/challenges)** Togo's limited access to energy has long hindered its economic development. Despite its ambitious goal to achieve 100% energy access by 2030, proper planning and efficient deployment of its resources are imperative. While the government established an institution and launched programs for sustainable rural energy, policy and implementation gaps are prevalent in the solar energy market. This TA seeks to provide solar energy technology and financial options for increased dissemination of and access to solar energy in Togo.
 - **(Objective)** The objective of this pro bono TA was to review the solar energy technologies in Togo and suggest options to link resources to enhance the power supply rate in rural areas of Togo.
 - **(Korean expertise/technology supported)** Based on economic, environmental and sustainability indicators, Korean experts identified and prioritized the solar energy technology options and systems for different regions of the country. The process also included developing a training manual that covers design of solar PV system, solar energy planning and development, RE financing and market linkages.
 - **(Anticipated impact)** The reports and training materials developed from this pro bono TA are expected to improve the knowledge and capacity of the relevant stakeholders on planning, deployment and financing for solar energy projects. This may then contribute to the increased adoption of solar energy technologies at households, schools and offices.

Lessons learned **Role of the intermediary**

- The presence of the intermediary institutions was the distinct feature of Korea's CTCN pro bono TA. Intermediaries are third parties, bridging institutions, and brokers that facilitate inter-organizational relations¹⁰⁾, playing a role that enables better management of the TA.
 - (Communication) The intermediary organization made interventions to create a solid communication line and facilitate a clearer understanding of the TA by engaging with key stakeholders, the NDE, the CTCN secretariat, the implementer.
 - (Project identification) It identified the need for a CTCN TA by defining the gap in the status quo and helped to secure sustainability in the project by linking with other financial options to create synergy.
 - (Data collection) It provided primary and secondary data which is otherwise not accessible in the local setting.

Role of the NDE

- The NDEs serve as the window for all CTCN-related communications. Thus, it is important for the NDE to fully understand their roles and actively participate for the facilitation of the CTCN.
- The engagement and the solid commitment of the NDE on the TA will allow its outcome to better secure up-scaling and sustainability.
 - NDEs played an active role in communicating with relevant government agencies to quicken the admin process for additional scale-up project.
 - They also played the key role in all climate change related matters throughout the country to identify a potential project for TA. In one case it encouraged the formation of a team within the local government to secure the sustainability of the assistance received
- Korean NDE adopted a programmatic approach to set up an institutional arrangement for establishing inter-country partnerships and providing pro bono support.
 - 'Korean CTCN pro bono Committee', a national platform for pro bono support discussions, facilitates the participation of Korean CTCN network members to provide their financial resources and/or technical expertise.

Limitations

- In the case of the pro bono TAs for the year 2019 and 2020, the pandemic was the major risk in implementing the TA due to travel restrictions and frequent government lock downs of recipient countries.
 - Major communication was made on-line regularly and the situation required the full support from the NDE in opening all relevant channels for stakeholder consultation.
- Data of the recipient country may be poorly managed, lack reliability and documented in the native language, which lowered the accuracy of the assessment results and hindered verification.
- In the case of pilot demonstration using hardware technology, a trial-and-error is inevitable for modification.
 - Hardware parts purchased and assembled in Korea may not function on-site and require additional modification, incurring unexpected expenditure. Whether the parts can be locally produced and manufactured should be adequately considered.

Way forward

Best practices: scale up opportunities based on CTCN pro bono support TA

- Part of the results from the pro bono TA in Serbia was applied to develop an Official Development Aid (ODA) project of the Republic of Korea.
 - It is entitled 'Incorporation of Smart Monitoring System using IoT Technology for District Heating and Establishment of Renewable Energy Integration Network Plan in the District Heating system of Belgrade', with a duration of 24 months and a budget of 550,000 USD.
- The network and data accumulated on e-mobility from the pro bono TA in Cambodia helped to identify the political will and commitment of the NDA in developing a Green Climate Fund (GCF) Readiness proposal.
 - The title of the proposal is 'Climate Technology Deployment Roadmap for E-mobility Ecosystem in Cambodia', with a total requested budget of 199,920 USD and implementation period of 16 months.

Strengthen the linkages between the Technology Mechanism and the Financial Mechanism

- TA allows for network creation between relevant stakeholders and line ministries including the national focal points of operating entities of the Financial Mechanism (i.e. National Designated Authorities (NDAs) of the GCF and focal points (FPs) of Global Environment Facility.
 - The national focal points of the Financial Mechanism should engage in stakeholder consultation from the initial stage of the pro bono TA.
- The new CTCN Partnership and Liaison Office in Korea will open a channel for closer collaboration between the CTCN and the GCF.
 - It will allow the two mechanisms to transcend beyond their boundaries by exchanging technical and financial expertise, enhancing information sharing and coordination between NDEs and NDAs.

Create a feedback loop for future pro bono support

- A completed pro bono TA should be evaluated to collect feedback on the results of its implementation and to check its sustainability.
 - (End-of-project evaluation) The overall satisfaction of the pro bono TA can be evaluated by conducting surveys and interviews with primary stakeholders of the recipient country.
 - (post-closure evaluation) The overall monitoring of the pro bono TA results can be conducted within two (2) years after the completion to identify the barriers to the project sustainability.
- The accumulated feedback can be reflected in Korea's future pro bono support activities.
 - The Korean CTCN pro bono TA guideline can be modified for the improvement of Korea's CTCN pro bono support.
 - Korean CTCN Network members who participated in the pro bono TA can gain experience and lessons which will be then shared with other Korean CTCN network members for future technical assistance.

References

- 1) CTCN (2020). Network Members. Retrieved from <https://www.ctc-n.org/network/network-members>
- 2) CTCN (2020). Advisory Board. Retrieved from <https://www.ctc-n.org/about-ctcn/advisory-board>
- 3) CTCN (2020). Video: UNEP Executive Director Inger Andersen about the CTCN and its new Partnership and Liaison Office in the Republic of Korea. Retrieved from <https://www.ctc-n.org/news/video-unesp-executive-director-inger-andersen-about-ctcn-and-its-new-partnership-and-liaison>
- 4) CTCN (2020). 13th CTCN Advisory Board Meeting: Korea NDE presentation. Retrieved from https://www.ctc-n.org/sites/www.ctc-n.org/files/ctcn_ab13_9a_korea_nde.pdf
- 5) CTCN (2020). Development of Kurunegala as a climate smart city. Retrieved from <https://www.ctc-n.org/technical-assistance/projects/development-kurunegala-climate-smart-city>
- 6) CTCN (2020). Modernization of the district heating system and improvements of energy efficiency of buildings in the City of Belgrade. Retrieved from <https://www.ctc-n.org/technical-assistance/projects/modernization-district-heating-system-and-improvements-energy>
- 7) CTCN (2020). Development of low-emission mobility policies and financing proposal. Retrieved from <https://www.ctc-n.org/technical-assistance/projects/development-low-emission-mobility-policies-and-financing-proposal>
- 8) CTCN (2020). Development of Kurunegala as a climate smart city (mitigation element). Retrieved from <https://www.ctc-n.org/technical-assistance/projects/development-kurunegala-climate-smart-city-mitigation-element>
- 9) CTCN (2020). Sustainable domestic water pumping using solar photovoltaic. Retrieved from <https://www.ctc-n.org/technical-assistance/projects/sustainable-domestic-water-pumping-using-solar-photovoltaic>
- 10) Howells, J. (2006). Intermediation and the role of intermediaries in innovation. *Research policy*, 35(5), 715–728.
- 11) Lee, W. et al. (2020). What leads to the success of Climate Technology Centre and Network Pro Bono Technical Assistance? *Journal of Climate Change Research*, 11(5–1), 353–366

This brief is a contribution to a Green Technology Center research project, “Research on Expanding and Enhancing the Korean Climate Technology Cooperation Program with the Climate Technology Centre and Network(CTCN) – with focus on the CTCN Technology Assistance”.

The authors would like to thank Sera Yun, Inhye Bak, Hoon Kim, Seung Yeun Han, Yunho Choi, Jeung Soo Huh for their helpful input

ISSUE
04

태양전지 분야 연구논문 동향 분석

하수진, 오상진 | hsj@gtc.re.kr, rurouni628@gtc.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⁾

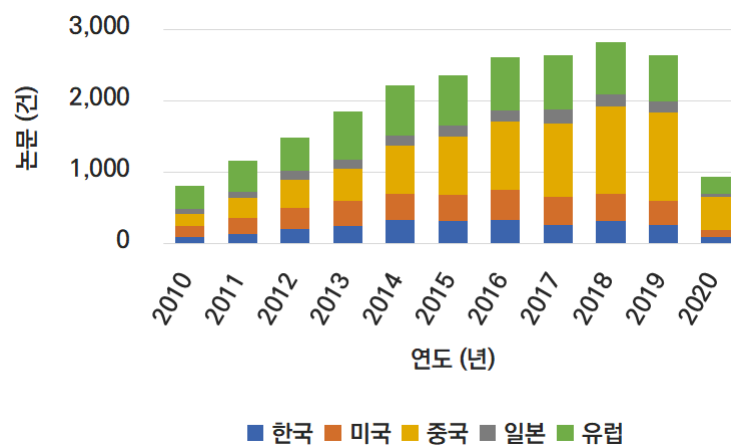
- 본 브리프에서는 태양전지 관련 주요 5개 국가별(한국, 미국, 중국, 일본, EU)의 연구 동향을 Web of Science에 등록된 논문을 중심으로 조사·분석하여 태양전지 분야의 과학기술개발 전략을 위한 기초자료를 제공하고자 함.

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

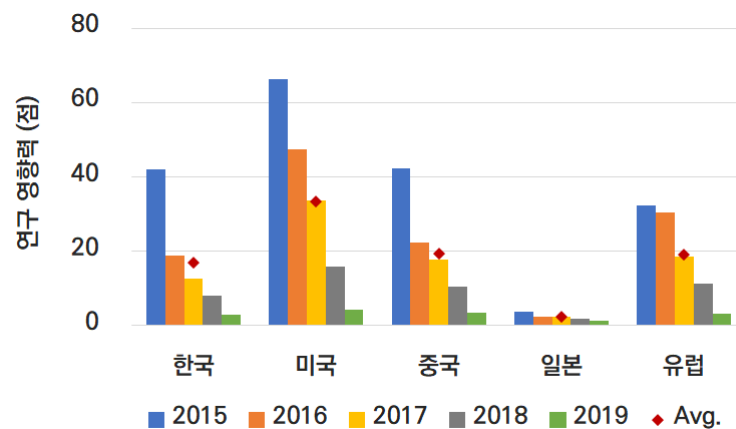
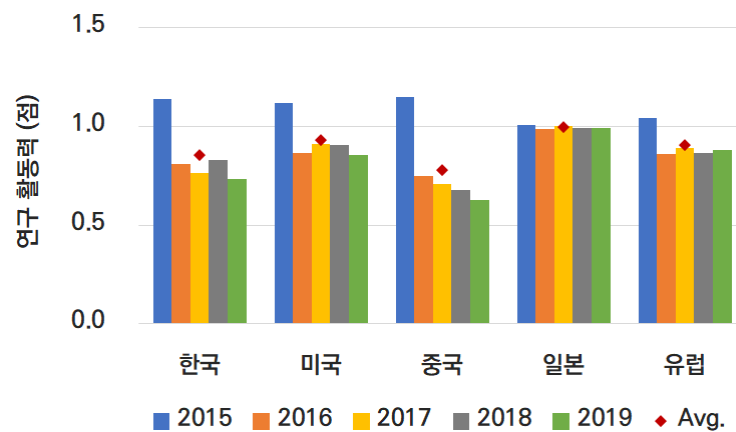


주요국별 태양전지 연구 활동력 및 영향력 비교

- 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.

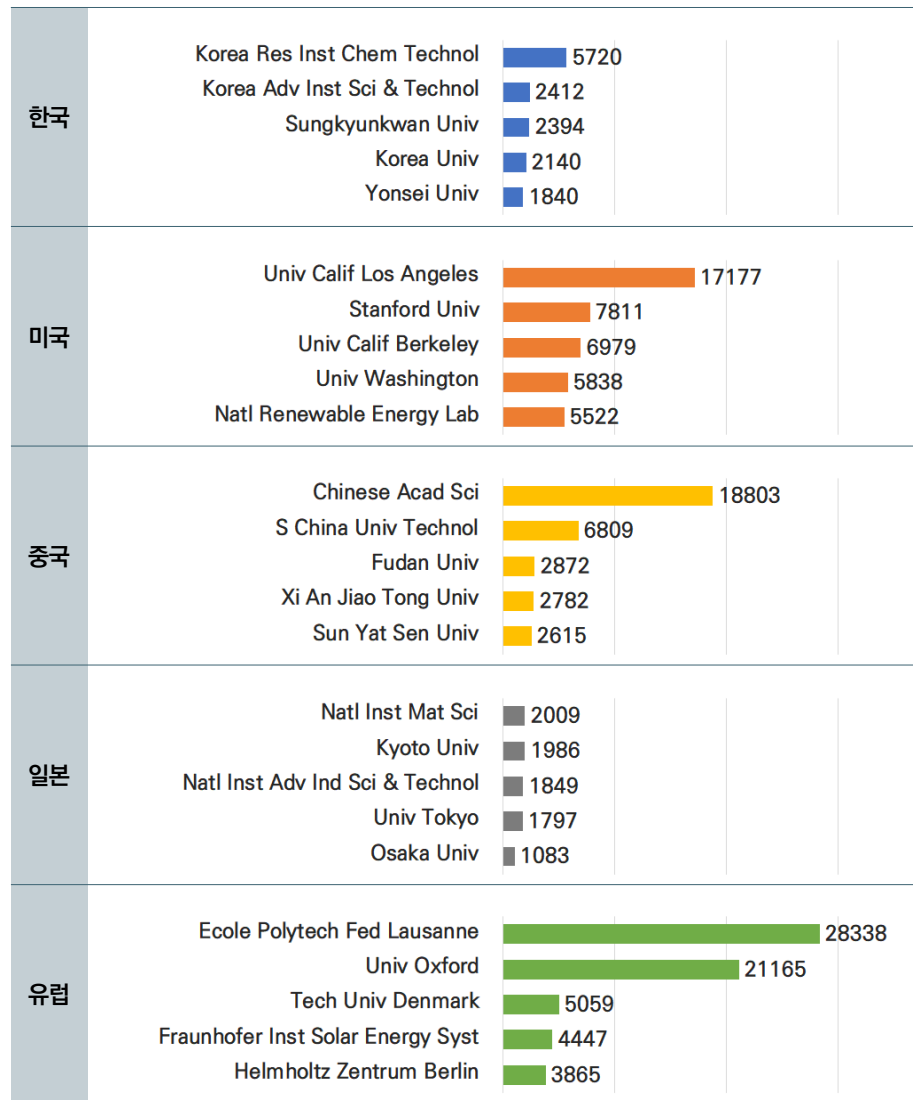
[그림 2] 주요국의 연도별 연구 활동력 및 영향력



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



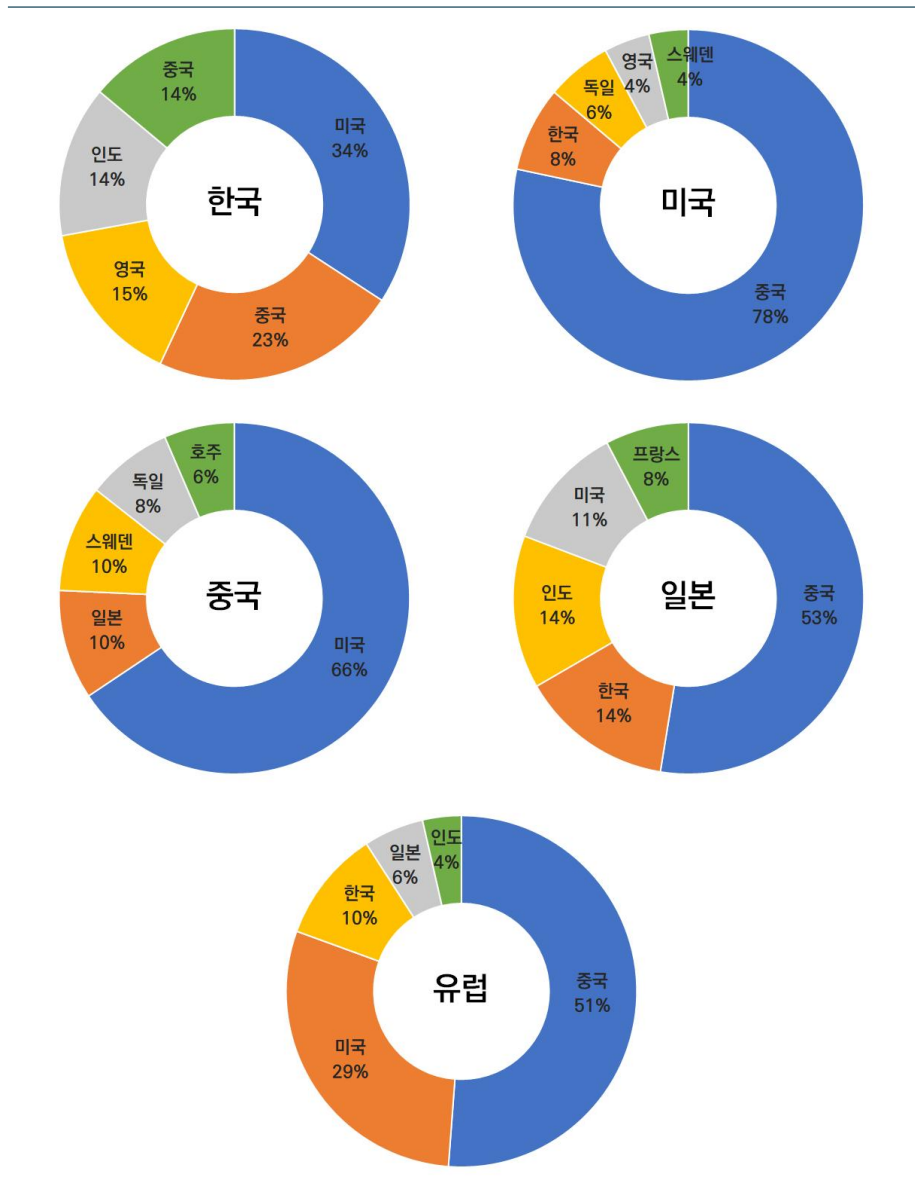
- 미국은 University of California, Los Angeles(UCLA, 26%), Stanford University(12%), University of California Berkeley(10%), University of Washington(9%), National Renewable Energy Laboratory(NREL, 8%) 순으로 나타남.
- 중국의 경우 Chinese Academy of Sciences(CAS, 17%), South China University of Technology(6%), Fudan 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.

ISSUE
05LDA 기반의 융·복합 녹색·기후기술
도출 방법

신현우, 전은진, 오지현, 정현덕 / 기술총괄부 | hwshin@gtck.re.kr, honeysuckle@gtck.re.kr, jhoh@gtck.re.kr, kate5684@gtck.re.kr

하이라이트

- 기후변화 문제해결형 녹색·기후기술을 도출하기 위한 방안으로 LDA(Latent Dirichlet Allocation) 기반의 토픽 모델링 방법론을 적용
- 특히, 개도국 기술수요가 가장 많은 물, 에너지, 식량 분야들이 연계·통합된 물-에너지, 에너지-식량, 식량-물 부문의 토픽 모델링을 실시하고 기후변화 현안 해결을 위한 융·복합 기술 영역을 도출
- 최근 5년간(2016~2020) 논문과 국·영문 특허의 통합 LDA 분석을 통하여 도출된 융·복합 녹색·기후기술 분야는 ‘태양광을 이용한 물 이용 설비’, ‘하수 슬러지를 활용한 폐자원 에너지화’, ‘스마트워터시티’, ‘ICT 기반 물 관리’, 및 ‘바이오매스를 이용한 수소생산’ 등 이었음

키워드

- LDA, 토픽 모델링, 융·복합 기술, 녹색·기후기술, 최적화 모델

융·복합
녹색·기후기술의
필요성

기후변화는 단일 기술로 해결하기 어려운 대표적인 난제이며, 유망 녹색·기후기술 간 융·복합화를 통하여 한계 극복이 가능

- 기후변화는 인류의 지속가능발전을 위하여 반드시 해결해야 할 도전적 과제이며, 경제적·환경적·사회적 문제가 복잡하게 얽혀 있어서 통합적 관점의 접근이 필요
 - 온실가스 감축과 기후변화 적응을 상호보완적으로 해결하기 위하여 국제 사회에서 융·복합 녹색·기후기술에 대한 수요*가 지속적으로 증가
 - * UNFCCC CTCN TA(기술지원) 및 GCF 사업에 cross-cutting 융·복합 과제 수요 증가
 - 특히, 글로벌 기후변화의 주요 현안인 물-에너지-식량(WEF) 부족 문제를 함께 해결할 수 있는 융·복합 기술개발이 더욱 중요해짐
 - 기후변화 현안과 연계되어 자원 간 상호연결성이 심화되고 효율적 성과활용이 더욱 강조됨에 따라서 WEF Nexus 부문의 융·복합 녹색·기후기술 도출 필요
- 따라서, 우선적으로 개발이 필요한 융·복합 녹색·기후기술을 도출하기 위하여 각기 다른 주제의 문서들 내 밀접하게 연계되어있는 기술 토픽 모델링 추진

융·복합 기술 도출을 LDA 방법론 위한 LDA 분석

- LDA를 번역하면 ‘잠재 디리클레 할당’이며, 주어진 문서 내 방대한 비정형 데이터로부터 내재하는 주요 토픽 또는 프레임을 도출할 수 있는 확률적 토픽 모델링 기법¹⁾
 - (의미망 분석) 텍스트와 텍스트 사이의 관계를 나타내는 텍스트 마이닝은 텍스트 간 연결성 및 네트워크 구조를 분석하는 ‘의미망 분석(SNA, Semantic Network Analysis)’이며, LDA 분석은 의미망 분석의 확장된 개념
 - (토픽 모델링) 텍스트 데이터에서 사용되는 단어들의 빈도를 통계적으로 분석하여 문서 집합 속에 포함되어있는 잠재적인 주제나 의미 구조 등을 자동으로 추출하는 분석 방법²⁾
- 대용량의 문서들로부터 주요 토픽을 자동으로 찾아내기 위한 LDA 알고리즘³⁾은 최초 학습을 시작할 때, 전체 문서에 토픽을 무작위로 1차 배정한 후 토픽의 재할당을 반복 수행하여 문서와 단어에 가장 적절한 토픽을 찾아가는 과정
 - (LDA 확률 산식) 문서에 포함된 모든 단어 수(V)와 토픽수(K) 지정되었을 때, d 번째 문서의 i 번째 단어에 해당하는 토픽 $z_{d,i}$ 가 j 번째에 할당될 확률(p)는 다음 수식과 같음⁴⁾

$$p(z_{d,i} = j | z_{-i}, w) = \frac{n_{d,k} + \alpha_j}{\sum_{i=1}^K (n_{d,i} + \alpha_i)} \times \frac{v_{k,w_{d,n}} + \beta_{w_{d,n}}}{\sum_{j=1}^V (v_{k,j} + \beta_j)} = AB$$

$n_{d,k}$ = k 번째 토픽에 할당된 d 번째 문서의 단어빈도
 $v_{k,w_{d,n}}$ = 전체 텍스트에서 k 번째 토픽에 할당된 단어 $w_{d,n}$ 의 빈도
 $w_{d,n}$ = d 번째 문서에 n 번째로 등장한 단어
 α = 문서의 토픽분포 생성을 위한 디리클레분포 parameter
 β = 토픽의 단어분포 생성을 위한 디리클레분포 parameter
 A = d 번째 문서가 k 번째 토픽과 연계되어있는 연관성 정도
 B = d 번째 문서의 n 번째 단어 ($w_{d,n}$)가 k 번째 토픽과 연계되어있는 연관성 정도

- (토픽 분포도) 사용자가 초기에 설정한 토픽의 개수에 따라 시각화된 토픽분포도 결과를 얻을 수 있는데, IDM(Intertopic Distance Map)은 토픽간 거리를 통해 주제 관련성을 나타내고, 막대그래프는 토픽별 가장 빈번하게 나타나는 상위 단어를 나타냄
- (주요 토픽) IDM 토픽 분포도 평면에 위치한 원의 크기는 각각의 토픽들이 전체 문서에서 차지하는 비율, 즉 빈도수에 비례하므로 원의 크기가 클수록 주요 토픽이라고 할 수 있음
- (토픽 가중치 λ 설정) Sievert & Shirley(2014)⁵⁾는 단어 간 연관성(r)을 나타내는 변수를 도입하고 다음의 식과 같이 λ 라는 가중치 parameter와의 관계를 통하여 토픽의 분별력을 설정

※ λ 값이 1에 가까울수록 토픽별 가장 빈번하게 사용되는 단어들로 구성되고, 0에 가까울수록 해당 토픽이 다른 토픽들과 구분되면서 상대적으로 빈도수가 낮은 단어들로 구성

$$r(w, k|\lambda) = \lambda \log(\phi_{kw}) + (1 - \lambda) \log\left(\frac{\phi_{kw}}{p_w}\right), 0 \leq \lambda \leq 1$$

r = 단어간 연관성을 나타내며, 가중치 λ 에 따라서 가변
 λ = 단어의 가중치로 0과 1사이의 값
 ϕ = 단어 w 가 토픽 k 에 해당할 확률
 p_w = 단어 w 가 해당 corpus(말뭉치)내 나타나는 확률

WEF 분야의 논문과 물, 에너지, 식량 부문의 주요 토픽 도출을 위한 LDA 적용 특허에 대한 LDA 적용 및 분석

- (분석 소프트웨어) Python 3.7⁶⁾ 기반의 오픈소스를 사용하여 텍스트마이닝을 수행하고, 토픽모델링 LDA는 Gensim⁷⁾, 시각화는 pyLDAvis를 활용
- (분석 대상 텍스트) 녹색기술센터 기후기술 분류체계 중 물(소분류27~30), 신재생에너지(소분류 4~13, 41)* 및 식량 부문(소분류 23~26, 34, 38)에 해당하는 기술들과 관련된 영문 논문과 등록 특허의 텍스트마이닝 결과에 대한 LDA 분석
 - * 신재생에너지 중심 에너지전환 등의 국제동향을 고려하여 온실가스 감축 기술 중 재생 에너지·신에너지 및 신재생에너지 하이브리드 기술로 한정
- (대상기간) 2016년도 1월 1일 ~ 2020년도 6월 30일
- (대상 논문) Web of Science의 database로부터 수집된 WEF 관련 논문

[표 1] 텍스트마이닝 및 LDA분석에 사용된 WEF 분야별 논문 개수

에너지	논문 수	식량	논문 수	물	논문 수
4. 수력	300	23. 유전자원 유전개량	16,189	27. 수계 수생태계	33,786
5. 태양광	17,166				
6. 태양열	3,061	24. 작물 재배 생산	16,431	28. 수자원 확보 및 공급	12,490
7. 지열	17,938				
8. 풍력	18,091	25. 가축 질병 관리	20,654	29. 수처리	3,648
9. 해양에너지	25,322				
10. 바이오에너지	11,607	26. 가공 저장 유통	10,985	30. 수재해 관리	17,556
11. 폐기물	23,222				
12. 수소제조	3,343	34. 수산자원	3,894		
13. 연료전지	8,446				
41. 신재생에너지 하이브리드	16,398	38. 산림 생산 증진	9,975		
총계	144,894	총계	78,128	총계	67,480

※DB 출처: GTC 기술총괄부 기후기술 수준조사

- (대상 특허) WINTELIPS database로부터 수집된 WEF 관련 등록특허

[표 2] 텍스트마이닝 및 LDA분석에 사용된 WEF 분야별 특허 개수

에너지	특허 수		식량	특허 수		물	특허 수	
	국문	영문		국문	영문		국문	영문
4. 수력	239	1,553	23. 유전자원 유전 개량	321	660	27. 수계 생태계	111	1,068
5. 태양광	849	3,672						
6. 태양열	345	677	24. 작물 재배 생산	916	2,292	28. 수자원 확보 및 공급	3,636	6,313
7. 지열	82	1,235						
8. 풍력	598	3,432	25. 가축 질병 관리	346	1,097	29. 수처리	596	3,321
9. 해양 에너지	408	2,744						
10. 바이오 에너지	138	839	26. 가공 저장 유통	550	4,196	30. 수재해 관리	362	1,090
11. 폐기물	1,037	1,369						
12. 수소제조	498	1,442	34. 수산 자원	618	3,435			
13. 연료전지	458	1,497						
41. 신재생 에너지 하이브리드	1,132	2,884	38. 산림 생산 증진	555	906			
총계	5,784	21,344	총계	3,306	12,586	총계	4,705	11,792

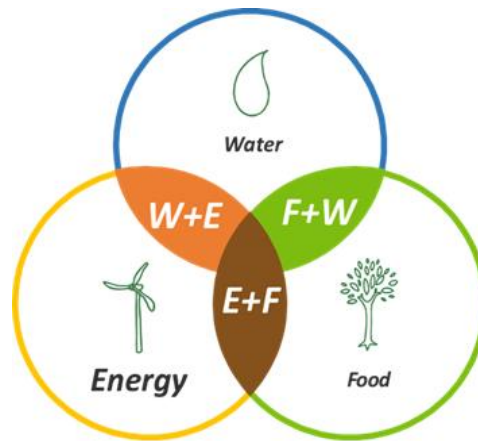
※DB 출처: GTC 기술총괄부 기후기술 수준조사

- (주요 토픽과 가중치) 토픽간 관련성과 비중을 나타내는 IDM과 연관된 상위 텍스트 분석시 λ 값은 Sivert & Shirley(2014)의 실험 최적치인 0.6을 중심으로 활용
 - 본 토픽 연구의 결과에 λ 값을 0~1 사이에서 변화시켰을 때에도 λ 값이 0.6 근처에서 최적치*를 나타냄
 - * GTC 내부 연구진이 최적치($\lambda=0.6$)를 기준으로 1차 해석안을 도출한 후, 전문가 심층 분석 단계에서 λ 값 변경에 따른 주요 키워드 변화를 관찰하여 토픽 해석을 확정

WEF Nexus 부문의 융·복합 녹색·기후기술 및 모델 도출

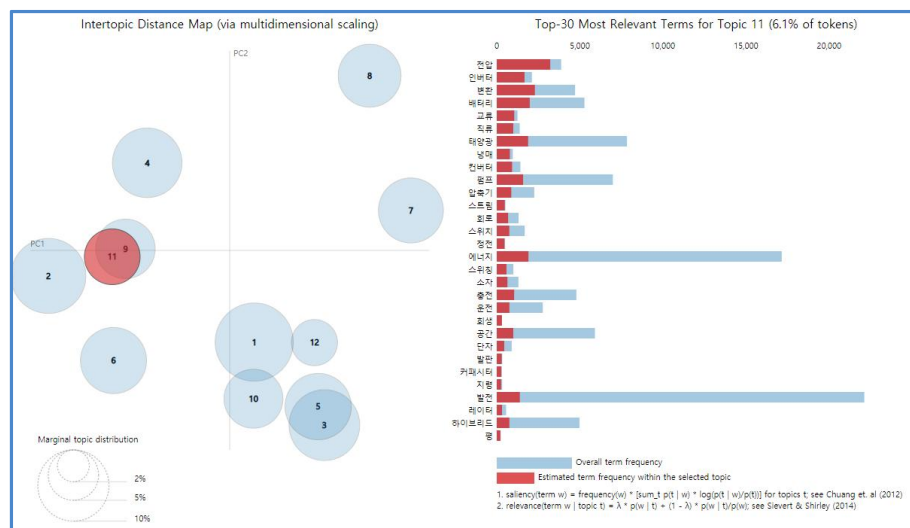
- (2개 부문 통합·연계 분석) W-E, E-F, F-W 연계 부문별 LDA 분석을 실시하여 융·복합 녹색·기후기술 영역 조사
 - 추출된 토픽 자체에서 융·복합 기술에 해당하는지 여부를 검토*하고, 서로 다른 분야에 속하는 토픽의 IDM이 가깝게 나올 경우 융·복합 여지가 높은 것으로 추정
 - * ICT 등 공통기반기술을 포함하여 융·복합 여부를 주로 검토

[그림 3] 물-에너지-식량 연계(WEF Nexus) 부문의 융·복합 기술 영역



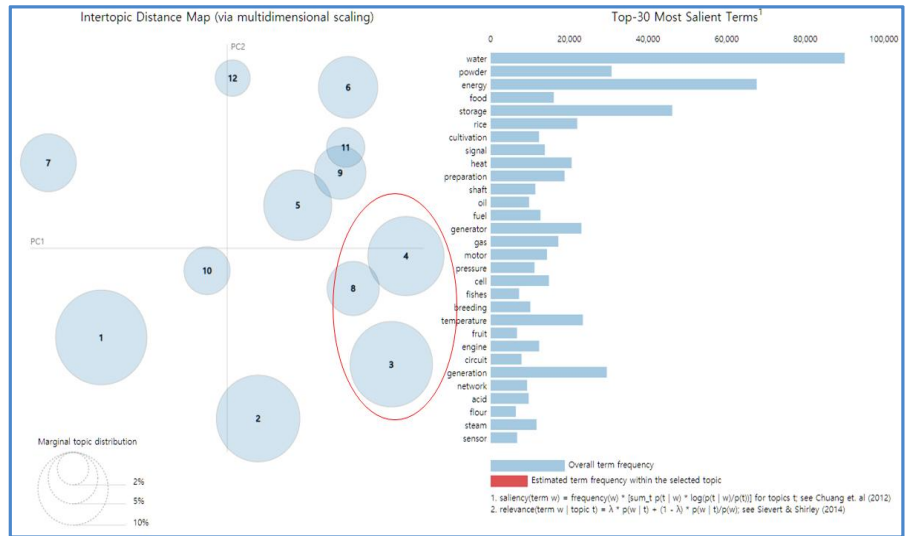
- (물-에너지 부문 연계분석 사례) 국문 특허내 물과 에너지 분야의 텍스트를 통합하여 토픽모델링 분석을 수행하고 두분야 간 융·복합 기술 영역이 존재하는지 조사
 - (융·복합 기술 도출) 주요 키워드 중 전압, 인버터, 배터리, 태양광, 컨버터, 펌프, 압축기 스트림 등의 빈도 수가 높아서 전문가 심층 분석시, ‘태양광을 이용한 물 이용 설비 기술’로 도출

[그림 4] 물-에너지 분야의 국문 특허 텍스트마이닝 LDA 분석 결과(토픽 11)



- (에너지-식량 부문 연계분석 사례) 영문 특허 내 에너지와 식량 분야의 텍스트를 통합하여 토픽모델링 분석을 수행하고 두분야 간 융·복합 기술 영역이 존재하는지 조사
 - (융·복합 기술 도출) $\lambda=0.6$ 일 때 토픽 1~5의 주요 영문 키워드는 [표 3]과 같으며, 토픽 3 및 4 영역에서 도출된 에너지와 식량이 연계된 융·복합 기술은 '바이오매스를 활용한 수소생산 기술' 분야로 유추됨

[그림 5] 에너지-식량 분야의 영문 특허 텍스트마이닝 LDA 분석 결과

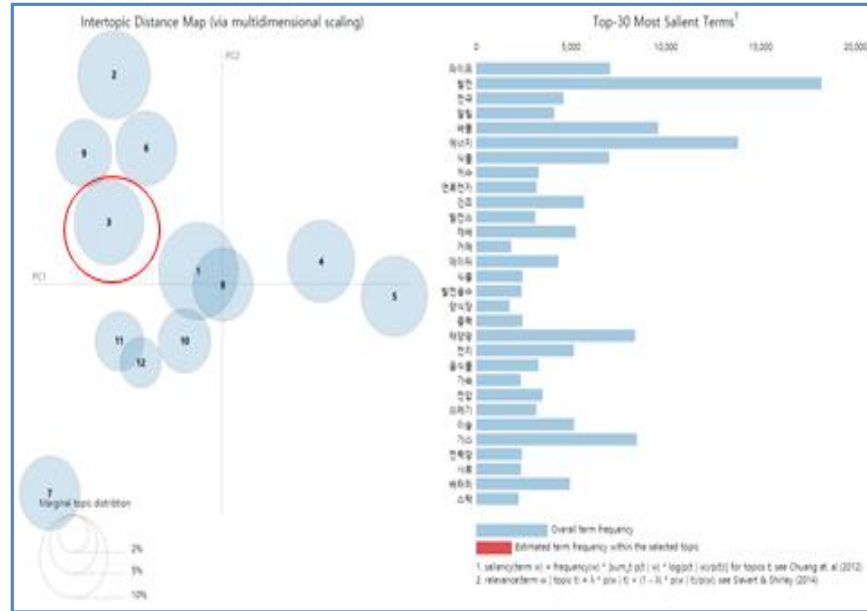


[표 3] 에너지-식량 부문 영문특허 내 각 토픽의 비중과 주요 키워드($\lambda=0.6$)

토픽	비중 (%)	$\lambda=0.6$ 주요 키워드	토픽해석
1	16.9	rice, preparation, cell, compound, salt, seed, protein, production, corn, membrane, growth, sodium, stack, vitamin, calcium, metal, bacteria, cake, yeast, fermentation, additive, slice	간척지 작물재배
2	14.2	water, breeding, tank, feeding, treatment, container, channel, fertilizer, sterilization, medicine, seeds, moisture, pump, peel, irrigation, shrimp, drainage, manure, injection	불명확
3	13.8	energy, storage, fuel, gas, heat, steam, generation, hydrogen, combustion, turbine, waste, exchanger, compressor, health, micro-grid, pump, generator, greenhouse, exchange, electricity, oxygen, soil medium, biomass	바이오매스를 이용한 수소생산
4	11.8	network, plant, energy, generation, converter, grid, distribution, management, inverter, battery, station, photovoltaic, storage, optimization, monitoring, electricity, response, capacity, population, interface, prediction	에너지/ 전력변환
5	9.4	block, wall, rod, cylinder, cavity, panel, shell, barrel, centimeters, spring, seat, ball, connecting, blocks, survival, frames, sleeve, connection, screw, assembly	장치관련

- (식량-물 부문 연계분석 사례) 국문 특허 내 식량과 물 분야의 텍스트를 통합하여 토픽모델링 분석을 수행하고 두분야 간 융·복합 기술 영역이 존재하는지 조사
- (융·복합 기술 도출) $\lambda=0.6$ 일 때 토픽 1~5의 주요 영문 키워드는 [표 4]와 같으며, 토픽 2의 '발전소 폐온수의 영농 활용'과 토픽 3 영역의 'ICT 기반 물관리'기술이 융·복합 기술 영역으로 추정

[그림 6] 식량-물 분야의 국문 특허 텍스트마이닝 LDA 분석 결과



[표 4] 식량-물 부문 국문 특허 내 각 토픽의 비중과 주요 키워드($\lambda=0.6$)

토픽	비중(%)	$\lambda=0.6$ 주요 키워드	토픽해석
1	16.2	펌프, 탱크, 열, 수위, 밸브, 정수, 물, 우량, 수원, 교환기, 수조, 센서, 순환, 전극, 냉수, 배관, 교환, 온수, 지하수, 냉매, 정수기, 목표, 유량, 온도, 응축, 필터, 출수, 전기, 히트	정수설비
2	11.9	폐수, 데크, 칼슘, 과수원, 탈리스, 가공, 해양, 황칠, 혼합, 분리, 원자력, 수력, 저온, 발전소, 분배, 온수, 이중, 유체, 수산물, 가열, 원자로, 증기, 조절, 출현, 진공, 구조, 발전기, 건설	발전소 폐온수의 영농 활용
3	11.3	데이터, 선정, 관리, 영상, 컴퓨터, 서버, 수신, 예측, 계획, 전송, 통신, 하천, 이미지, 신호, 자연환경, 기상, 모듈, 수질, 강우량, 촬영, 원격, 감시, 감지, 무선, 데이터베이스, 현장, 센서, 계측	ICT 기반 물관리
4	10.8	절곡, 수액, 입, 공원, 개부, 온도, 여과, 타, 평행, 끼움, 물고기, 물, 금속재, 양식장, 결합, 삽, 수질, 걸림돌, 프린팅, 보호, 수처리, 측정, 부력, 어류, 버블, 공간, 조절, 수조, 종묘, 이탈	불명확
5	10.4	레트, 금부, 공기, 포켓, 오존, 배출, 멩, 댐퍼, 결합, 적재, 흡입, 임펠러, 양방향, 분사, 모터, 피스톤, 후방, 압축, 상하, 배관, 산소, 직수, 밸브, 덕트, 공간, 염소, 대칭, 하천수, 노즐, 흡입구	불명확

융·복합 기술 도출을 위한 LDA 활용 확대

- 대량의 비정형화된 기후기술 데이터의 텍스트마이닝 LDA 분석을 활용하여 기후변화 현안 해결을 위한 융·복합 기술 도출
 - 통계적 모델 방법론을 활용하여 빈도수가 높은 텍스트군 집합에서 잠재적인 유망 기술 분야 및 주제의 발굴에 활용
 - 특히, 기후변화 현안 키워드 도출 및 워드클라우드 분석에서부터 기후변화 현안 해결을 위한 단일 및 융·복합 기술 도출에 이르기까지 체계적인 문제해결형 기후기술 도출 방법론 마련
- 다양하고 복잡한 기후변화 대응을 위하여 기술수요가 가장 많은 물, 에너지, 식량 분야별 유망 기술들을 1차 선정하고 유망 기술들이 연계·통합된 물-에너지, 에너지-식량, 식량-물 부문의 토픽 모델링을 실시하여 융·복합 기술 영역을 도출하고 시각화
 - 파리협정 이후의 논문과 특허를 대상으로 물-에너지-식량 부문의 텍스트마이닝 LDA 분석 결과, '태양광을 이용한 물 이용 설비', 'ICT 기반 물 관리' 및 '바이오매스를 이용한 수소생산' 등 이 융·복합 기술로 도출
- 기후변화문제 해결을 위한 기술트리와 도출된 융복합 기술들을 상호연계하여 궁극적이고 통합적인 녹색기후기술 모델 도출이 가능
 - (예시 1) 태양광 기술을 이용한 물 이용 설비 부문은 태양광 부문과 지하수 확보 분야간 매칭을 통하여 청정에너지 부족과 물 수요/공급의 불균형을 동시 해결
 - (예시 2) ICT 기반의 물관리 부문은 물부족 문제 해결-재난재해 예측-효율적 저류시설을 통합하는 스마트워터시티 모델과 밀접한 연계성을 나타냄
 - (예시 3) 바이오매스를 이용한 수소 생산 부문은 음식물을 포함한 유기성 폐기물을 활용하여 그린수소 생산 적용 필요성을 제시

시사점

- LDA 토픽 모델링은 확률에 기반한 분석결과가 비교적 직관적이고 정교한 편이나, 최적의 토픽 수 선정과 다양한 주제의 내용을 혼용하여 발생하는 토픽의 중복 문제를 보완할 필요가 있음
- 텍스트마이닝 빈도 분석과 텍스트 간 토픽 모델링을 통하여 유망 융·복합 기술 분야의 도출은 가능하였으나 해당 모델을 구성하는 세부기술항목 도출을 위해서는 추가 분석이 필요
 - IDM을 통하여 토픽 간 관련성과 주제를 정확하게 해석하기 위해서는 LDA 변수 최적화에 대한 추가 연구가 필요하며, 특히 최적 가중치(λ) 선정을 위한 체계 연구도 중요

- LDA로부터 도출된 기술 토픽과 모델을 실질적으로 적용하기 위해서는 해당 융·복합 분야만을 대상으로 한 기술 인벤토리 구축이 필요
- 전체 녹색·기후기술 특허 및 논문을 대상으로 한 통합 LDA 분석을 위해서는 방대한 양의 데이터가 예상되므로 이를 효율적으로 처리할 수 있는 방안 검토
- 특히, WEF Nexus 이외의 타 분야 기술 및 산업과의 융·복합화를 고려하기 위해서는 지능형 데이터 플랫폼 구축을 통한 통합 모델링 검토 필요

참고문헌

- 1) 미디어 빅데이터 연구소(2020), 텍스트마이닝의 시각화, 토픽모델링 분석과 활용 : <https://brunch.co.kr/@bflysoft1117/199>
- 2) Ramage et al (2009), "Topic Modeling for the Social Sciences", RAND Journal of Economics NIPS Workshop on Application for Topic Models : R=Text and Beyond
- 3) https://en.wikipedia.org/wiki/Latent_Dirichlet_allocation#inference
- 4) <https://ratsgo.github.io/from%20frequency%20to%20semantics/2017/06/01/LDA/>
- 5) Sievert and Shirley (2014), "LDAvis: A method for visualizing and interpreting topics", Proceedings of the Workshop on Interactive Language Learning, Visualization and Interfaces, p.63-70
- 6) Python : <https://pypi.python.org/pypi/lda>
- 7) Gensim : <https://radimrehurek.com/gensim/>

본 내용은 녹색기술센터(GTC)의 주요사업(신현우, 이구용, 전은진, 오지현, 신종석, 정현덕, 「문제해결형 융·복합 녹색·기후기술 도출 및 적용을 위한 전략연구」)으로 수행되었던 내용의 일부를 요약·정리한 것입니다.

2020년 2호 2020 DECEMBER Vol.1 No.2

GTC BRIEF

발행인 정병기

발행일 2020년 12월 30일

발행처 녹색기술센터

주소 04554 서울특별시 중구 퇴계로173
남산스퀘어 빌딩 17층

전화 02.3393.3961

팩스 02.3393.3919~20

홈페이지 <http://www.gtck.re.kr>

I S S N 2733-9696(온라인)
2733-9572(인쇄본)

디자인 리드릭 02.2269.1919



04554 서울특별시 중구 퇴계로173
남산스퀘어 빌딩 17층
Tel. 02.3393.3900
Fax. 02.3393.3919~20
www.gtck.re.kr

* 본 GTC BRIEF의 내용은 필자의 개인적 견해이며, 센터의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.