통권 제323호

2030 국가온실가스감축목표에 기여할 10대 미래유망기술

KISTEP 기술예측센터 이동기

KISTEP

2030 국가온실가스감축목표에 기여할 10대 미래유망기술

(KISTEP 10 Emerging Technologies to Contribute to 2030 NDC)

이동기

Donggi Lee

I. 연구 배경

II. 연구 절차

III. 연구 결과

IV. 결론 및 시사점

[참고문헌]

I. Research Backgrounds

II. Research Process

III. Results

IV. Conclusion and Implications

[References]

KISTEP 한국과학기술기획평가원
Korea Institute of S&T Evaluation and Planning

요 약

연구 배경

- 미래유망기술 선정을 통해 현재 우리 사회에서 중요하게 생각하는 이슈와 과학기술의 미래 방향성 제시 필요
- 미래이슈에 대응하기 위한 10대 유망기술을 선정하고, 유망기술별 심층분석 자료를 제공하여 미래모습을 구체화함

연구 절차

- 미래이슈 선정, 미래유망 후보기술 발굴, 미래유망기술 선정, 미래유망기술 심층 분석 등의 순으로 연구 수행

연구 결과

- 국내외 미래 전망 동향 분석, 미래예측 전문가 대상 설문, 결과 활용성 등을 고려해 5~10년 후 한국 사회에 커다란 변혁을 가져올 '탄소중립 시대'를 주제로 삼아 미래유망기술을 발굴하고 심층분석을 수행
- 2030 국가온실가스감축목표 달성에 기여할 10대 미래유망기술
  ① 이산화탄소 포집 및 전환 기술, ② 바이오 기반 원료·제품 생산 기술, ③ 탄소저감형 고로-전로 공정기술, ④ 고용량·장수명 이차전지 기술, ⑤ 청정수소 생산 기술, ⑥ 암모니아 발전기술, ⑦ 전력망 계통연계 시스템, ⑧ 고효율 태양전지 기술, ⑨ 초대형 해상풍력 시스템, ⑩ 유용자원(희토류) 회수 기술

결론 및 시사점

- 각 미래유망기술은 타 기술과 상호보완적 관계를 나타내고 있어 2030 국가온실가스감축목표에 기여하기 위한 긍정적 시너지 효과를 창출할 것으로 기대
- 미래유망기술의 조속한 실현과 발전을 위해서는 법·제도 개선, 인력양성, 인프라 확보 노력이 필요

※ 본 이슈페이퍼는 한국과학기술기획평가원의 공식 의견이 아닌 필자의 견해임을 밝힙니다.

Abstract

Backgrounds

- It is necessary to present the future direction of science and technology through the selection of emerging technologies
- 10 emerging technologies have identified to prepare for future issues, and in-depth analysis data is provided for each technology to shape the future

Research Process

- The research was carried out in the four main steps including identification of future issues, nomination of technology candidates, selection of 10 emerging technologies, and in-depth analysis of the selected technologies

Results

- Under the issue of “carbon-neutral era,” which will bring great change to Korean society in 5 to 10 years, emerging technologies have identified and in-depth analysis are conducted
- 10 emerging technologies along with 2030 NDC
  ① Carbon capture and utilization, ② Bio-based chemical raw material/product production(manufacturing) technology, ③ Low carbon iron and steelmaking process, ④ High-capacity/long-life secondary battery, ⑤ Clean hydrogen production, ⑥ Ammonia firing power generation, ⑦ Grid integration system, ⑧ High-efficiency solar cell, ⑨ Large-scale offshore wind power system, ⑩ Rare earth element recycling

Conclusion and Implications

- Each emerging technology shows a complementary relationship with other technologies, which is expected to create positive synergy effects to contribute to 2030 NDC.
- To promote the commercialization and development of emerging technologies, it is necessary to improve laws and regulations, to foster experts, and to build infrastructure

Ⅰ 연구 배경

■ 디지털 사회로의 전환이 본격화·가속화되면서, 사회변화, 산업구조 재편 등이 예상되며 전 세계적으로 기술 패권을 차지하기 위한 경쟁이 심화

- 이러한 환경변화 속에서 지속적이고 주도적인 성장을 위해 미래사회 변화를 예측하고 과학기술 자체의 발전을 견인하는 독자적인 유망(emerging)기술을 선점하여 확보하는 것이 필요
- 미래유망기술 선정을 통해 현재 우리 사회에서 중요하게 생각하는 이슈와 과학기술의 미래 방향성 제시 필요

■ 탄소중립을 위한 에너지 전환 가속화에 따라 5~10년 후 한국 사회에 커다란 변혁이 다가올 것으로 예상

- 기후위기 극복을 위해 국제사회는 탄소중립 목표를 선언하고 탄소 규제 강화
- 온실가스 배출량 제로에 도달하는 방법과 속도에 대한 논의 필요

■ KISTEP은 2009년부터 매년 10대 유망기술을 선정

- 미래유망기술 선정 연구는 기관 고유 업무로 기술 추격국에서 벗어나 기술 선도국으로 진입하는 단계에서 우리만의 미래유망기술 선정 및 제시에 의의가 있으며, KISTEP의 기술예측 역량 제고를 위해서도 지속적으로 연구가 필요
- KISTEP의 10대 미래유망기술은 국내 주요 기관에서 발표하는 미래유망기술 중 인지도 및 활용도가 가장 높으며 미래사회 대비와 전략 수립에 활용(임현 외, 2019)

  ※ 미래유망기술 정보는 '신규R&D사업 및 과제 기획을 위한 아이디어 발굴'에 주로 활용되고 있으며 이를 위해 미래유망기술 정의 및 설명, 관련 사회·경제적 이슈, 기술 동향, 단계별 세부기술, 당면 과제 등 기술기획을 위한 내용 제시

Ⅱ 연구 절차 및 세부내용

■ 2022년 KISTEP 미래유망기술 주제(이슈)는 '탄소중립 시대'로 선정되었으며, 문헌조사, 설문조사, 전문가 회의 등을 통해 10대 유망기술을 최종 선정

● (STEP 1 – 미래이슈 선정) 국내외 문헌조사 및 전문가 의견수렴 등을 통해 미래 이슈 후보군을 발굴하고, 미래예측 전문가 및 KISTEP 정책고객 등을 대상으로 설문조사를 통해 최종 확정

〈표 1〉 미래이슈 선정을 위한 설문조사 평가지표

평가지표	설명
참신성	과거에 발표되었던 KISTEP 유망기술 주제와 중복되지 않는 정도
사회적 관심도 및 시의성	향후 5~10년 내 해당 주제에 대한 사회적 관심도 및 그로 인한 연구의 시의적절성
파급효과의 크기	해당 주제가 경제 · 사회 · 문화 · 윤리 · 환경 등 여러 분야에 영향을 미치는 정도
과학기술과의 연관성	해당 주제와 관련하여 발생하는 새로운 수요 및 문제점 대응에 있어 과학기술이 기여할 수 있는 정도 ※ 과학기술 외 방안(규제, 정책, 외교 등)으로 해결될 수 있는 주제는 제외
결과의 활용 가능성	최종적으로 도출된 유망기술 목록이 미래사회 대비, 과학기술 전략 수립, R&D 사업 및 과제 기획을 위한 관련 아이디어 수집 등에 활용될 가능성

● (STEP 2 – 미래유망 후보기술군 발굴) 미래이슈 대응 관련 유망기술을 발굴하기 위해 2021년 8월 발표된 '탄소중립 중점기술(안)'의 기술분류체계에서 사회적 보급 시작 시점(~'30)을 기준으로 후보기술 도출

● (STEP 3 – 미래유망기술 선정) 후보기술별 미래예측 전문가 논의, 전문가 서면평가 등을 종합하여 최종 10대 유망기술 선정

〈표 2〉 미래유망기술 선정을 위한 평가지표

평가지표	설명
기술적 실현 가능성	해당 기술이 국내에서 10년 내 상용화 될 가능성
경제적 파급 효과	해당 기술의 구현으로 시장에서 예상되는 부가가치의 규모
배출량 감축 기여도	2030 국가온실가스감축목표에 기여할 수 있는 정도

● (STEP 4 – 미래유망기술 심층분석) 10대 유망기술별 기술 개요(기술명, 정의, 범위), 국내외 동향, 2030 미래 전망, 다른 미래유망기술과의 관계 등 심층분석 수행

〈표 3〉 2022년 KISTEP 미래유망기술 연구절차

구분	세부 내용	방법
(1) 미래이슈 선정	미래이슈 후보 발굴	• 미래예측 보고서를 중심으로 미래이슈 관련 DB 구축 ※ 제6차 과학기술예측조사, 미래전략 2045, NIC Global Trends 2040, WEF Global Issue 등
	▼	
	미래이슈 우선순위 평가	• 기술수준평가 전문가, KISTEP 정책고객 및 미래예측 전문가 등을 대상으로 우선순위 평가
	▼	
(2) 미래유망 후보기술군 발굴	미래수요에 대응 가능한 미래유망기술 후보기술군 발굴	• 2030 국가온실가스감축목표 달성에 기여할 수 있는 기술로 범위 설정 • 탄소중립 중점기술(안)('21.8.) 기술분류체계를 참고해 사회적 보급 시작 시점(~'30)을 기준으로 후보기술군 발굴 • 부문별 기술 전문가의 서면평가로 후보기술군을 조정하고 미래이슈와의 부합성 평가
	▼	
(3) 미래유망기술 선정	미래유망기술 선정	• 전문가 자문 및 내부연구진 토의를 통해 최종 10개 유망기술 선정
	▼	
(4) 미래유망기술 심층분석	기술별 심층분석	• 기술 개요, 국내외 동향, 2030년 미래 전망, 다른 미래유망기술과의 관계 등

Ⅲ 연구 결과

1. 미래이슈 선정

2022년 KISTEP 미래유망기술 주제(핵심 트렌드)를 선정하기 위해 다양한 문헌조사 실시

- 최근 발표된 국내외 미래전망보고서의 트렌드와 이슈, 과학기술 예측조사 보고서, 미래전략 2045 등을 수집·분석하여 정치, 경제, 사회, 환경, 기술의 관점에서 미래사회 트렌드를 도출함

  - (정치) 글로벌 밸류체인·비즈니스 변화, 글로벌 저성장의 장기화와 신흥국의 부상, 자국중심주의 강화, 민주주의 위협, 기존 제도와 지배구조 불균형, 정치적 갈등 심화, 큰 정부의 귀환 등
  - (경제) 온택트 경제의 부상, 플랫폼 영향력 확대, 구독 경제의 확산, Cashless 사회 도래, 디지털 금융 활성화, 최적화된 맞춤화·개인화 서비스의 확산, 고용시장의 변화와 불안정한 일자리, 간접 체험 서비스 증가 등
  - (사회) 인구구조의 변화, 초연결 스마트시티의 가속, 원격근무 수요 증가, 메가시티, 메가리전, 지방 중소도시의 몰락, 비접촉 사회, 온택트 문화의 확산, 사이버·데이터 안보 등
  - (환경) 기후변화, 재난재해, 환경오염의 위협, 미세먼지 등 대기오염, 탄소중립을 위한 에너지 전환, 온실가스 저감, 전기차 수요 확대, 수자원 확보와 공급 위기, 자원의 선순환, 자원 부족과 생물다양성 감소, 미세 플라스틱 등
  - (기술) 우주 상업 시대, 스마트 소재, 스마트 생산, 전염병 관리와 의료 서비스 로봇, 저탄소 시멘트, 클라우드로의 전환 가속화, 디지털 치료제, 그린 수소, 심해 자원 발굴, 블록체인, 양자센서 등

향후 10년 이내 주요 이슈로 부상할 가능성이 크며 최근 주요 사회 이슈와 연관성이 높은 5개 트렌드를 후보 주제(표 4)로 선정

- 그동안 KISTEP 10대 미래유망기술 주제로 선정되었던 트렌드는 되도록 제외하여 기존 연구와의 차별성을 확보

- 과학기술 전반의 흐름과 정책 동향에 대한 이해도가 높은 KISTEP 정책고객과 미래예측 전문가를 대상으로 선호도 조사 및 주제 추가 발굴

〈표 4〉 2022년 KISTEP 미래유망기술 후보 주제

후보 주제	설명
거대 도시화를 준비하는 10대 미래유망기술	• 도시 과밀화 및 주변 지역 흡수, 지방 공동화 가속 등으로부터 발생 가능한 이슈를 전망하고, 이에 대응할 수 있는 기술을 발굴 • 관련 이슈(예): - 수도권(메가시티)의 경제 활성화 - 문화생활 등 인프라 격차 발생 - 인구 감소 지역의 슬럼화 가속
고령화 사회에 대비하는 10대 미래유망기술	• 인구 성장의 둔화 및 세계 최저수준의 출산율에 따른 고령화 현상이 심화하면서 발생 가능한 이슈를 전망하고, 이에 대응할 수 있는 기술을 발굴 • 관련 이슈(예): - 노화 방지 및 질병 예방 산업 지원 - 재생의료기술의 개발과 산업화 - 3D업종의 자동화
우주생활 시대를 준비하는 10대 미래유망기술	• 우주 생활권 실현을 위한 거대 산업의 형성과 발생 가능한 이슈를 전망하고, 이에 대응할 수 있는 기술을 발굴 • 관련 이슈(예): - 탑재체 발사 및 운용 시스템 정립 - 국가 차원의 안보 개념 확장 - 민간에 의한 우주 사업 주도
탄소중립 시대를 준비하는 10대 미래유망기술	• 기후 위기에 대응해 실질적 탄소 배출량을 0으로 만들기 위한 탄소중립 계획에 따른 이슈를 전망하고, 이를 준비할 수 있는 기술을 발굴 • 관련 이슈(예): - 신재생 에너지 기술 자립화 - 플라스틱 및 폐기물 순환 자원화 - 지속 가능한 미래 에너지원의 개발
플랫폼 경제를 준비하는 10대 미래유망기술	• 플랫폼에 의해 촉진되는 경제 및 사회활동으로 발생하는 다양한 이슈를 전망하고, 이에 대응하는 기술을 발굴 • 관련 이슈(예): - 다품종 소용량 경제 체계 구축 - 시공간의 제약 없는 서비스 제공 - 소수 기업의 산업 선도와 통제

■ 미래유망기술 후보 주제에 대해 기술수준평가 전문가 및 KISTEP 정책고객 등을 대상으로 설문조사 수행

〈표 5〉 2022년 KISTEP 미래유망기술 후보 주제 설문조사 결과

평가지표	후보 주제				
	거대 도시화	고령화 사회	우주 산업 시대	탄소중립 시대	플랫폼 경제
참신성	4.08	4.45	4.98	**5.09**	5.01
관심도·시의성	5.06	5.82	4.57	**5.95**	5.29
파급효과	5.00	5.70	4.83	**5.97**	5.52
기술 연관성	4.29	5.52	**6.33**	6.09	5.19
결과 활용성	4.67	5.59	4.87	**5.88**	5.42
합계	**4.62**	**5.42**	**5.12**	**5.80**	**5.29**

※ 평가지표별 점수 : 1(매우 낮음) - 4(보통) - 7(매우 높음)

■ 설문조사 결과를 바탕으로 '탄소중립 시대'를 2022년 미래유망기술 주제로 선정

- 과학기술과의 연관성은 '우주 산업 시대'가 가장 높았으나, 나머지 모든 평가지표에서 '탄소중립 시대'가 1위를 차지함

2. 미래유망기술 후보군 도출

■ 기후 위기에 대응해 실질적 탄소 배출량을 0으로 만들기 위한 탄소중립 계획은 세계적 흐름으로 자리매김

- 기후변화의 심각성을 인지하고 해결하기 위한 '교토의정서'와 '파리협정' 채택으로 글로벌 아젠다가 되어 새로운 국제질서를 형성
- '파리협정'에 따라 산업화 이전 대비 지구 평균온도 상승을 1.5℃ 이내*로 억제하기 위해 노력

  * 평균온도 상승 2℃ 대비 생물다양성, 건강, 생계, 식량안보 등에 대한 위험이 대폭 감소

- 우리나라 역시 세계적 흐름에 동참해 산업과 에너지 구조를 바꾸는 '2050 탄소중립 선언'('20.10.)

■ 미래유망기술은 5~10년 후 한국 사회에 커다란 변혁을 가져올 수 있는 이슈를 대상으로 하므로 2030 국가온실가스감축목표* 달성에 기여할 수 있는 기술을 선정

* 2018년 온실가스 배출량 대비 40% 감축

■ 후보군은 2021년 8월 발표된 '탄소중립 중점기술(안)'의 기술분류 체계를 참고해 사회적 보급 시작 시점(~'30)을 기준으로 발굴

■ 상기 탄소중립 기술분류(안)을 바탕으로 전문가 서면 평가를 통해 13개 미래유망 후보기술 도출

- 전문가 서면 평가로부터 얻어진 총 257개의 기술 중 추천 수, 평가지표 점수 및 R&D 전략, 중점기술 등을 고려
- 내부 전문가 논의를 통해 주제와의 부합성 및 파급효과가 큰 13개 기술을 후보로 선정

〈표 6〉 2030 국가온실가스감축목표에 기여할 미래유망기술 후보군

연번	부문	기술명	기술 개요
1	CCUS	CO_2 포집 기술	산업별 운영 중인 공정에서 배출되는 기체에서 CO_2를 포집하는 기술
2	CCUS	CO_2 활용 기술	유용 탄소원(CO 혹은 메탄)을 분리/활용하거나 연료·기초화학제품으로 전환하는 기술
3	산업	바이오 기반 원료·제품 생산기술	석유계 플라스틱을 바이오매스 유래 플라스틱으로 전환하여 온실가스 배출을 줄이는 기술
4	산업	탄소저감형 고로-전로 공정기술	고로-전로 공정에서 사용하는 탄소계 연료 및 원료를 대체하고 전로 내 스크랩을 다량 사용하여 탄소 배출량을 저감하는 제선 기술
5	산업	혼합재 함량 증대 및 신규 혼합재 제조 기술	클링커 생산량을 줄이기 위해 시멘트 혼합재 함량(현재 10% → 20%)을 증대시켜 CO_2를 감축하는 기술
6	수송·교통	수소전기차 연료전지 기술	연료전지 스택, 수소·공기 공급장치, 열관리 장치 등을 포함한 수소전기차 연료전지 기술
7	수송·교통	전기차 이차전지 기술	리튬이온전지, 이차전지 관리, 모듈/팩/시스템 등을 포함한 전기차 이차전지 기술
8	에너지	수소 생산 기술	천연가스, 납사, LPG로부터 수소를 생산하거나 재생전력 또는 기존 전원을 이용한 수전해 수소 생산기술
9	에너지	전력망 계통연계 시스템	신재생에너지의 간헐성과 변동성 보완 및 안정화, 전력변환 효율 향상 및 계통 연계기준 고도화 기술
10	에너지	차세대 태양전지	페로브스카이트, 다중접합 태양전지 등 효율이 향상된 차세대 태양전지
11	에너지	해상풍력 발전	콘크리트와 쇠기둥 등 고정할 수 있는 장치를 통해 해저에 설치하는 고정식 등 해상풍력 기술
12	환경	유용자원 회수 기술	유용자원 회수를 위한 수거·분리·선별 기술 및 금속자원 회수 기술
13	환경	폐플라스틱 재활용 고도화 기술	폐플라스틱의 열분해 및 석유화학 원료 생산 활용 기술

3. 10대 미래유망기술 선정

■ 미래유망 후보기술별 전문가 논의, 평가지표 점수 등을 종합적으로 고려하여 KISTEP 10대 미래유망기술 선정

- 탄소중립 R&D 17대 중점분야 및 수소경제 활성화 로드맵 등을 검토해 2030년 상용화를 목표로 하는 암모니아 발전기술을 추가
- 후보기술의 온실가스 배출량, 국내외 동향 및 기술실현 시점 등을 고려해 기술범위와 개요를 통합·조정하고 지향점을 기술명에 포함

〈표 7〉 2030 국가온실가스감축목표에 기여할 10대 미래유망기술

부문	유망기술명	기술 개요
CCUS	이산화탄소 포집 및 전환 기술	산업 공정에서 배출되는 기체에서 CO_2를 포집하고 연료·기초화학제품으로 전환하는 기술
산업	바이오 기반 원료·제품 생산 기술	석유계 기초/응용 원료·플라스틱을 바이오매스 유래 기초/응용 원료·플라스틱으로 전환하여 온실가스 배출을 저감하는 기술
산업	탄소저감형 고로-전로 공정기술	고로에서 환원에 필요한 탄소 사용량을 저감하는 기술과 전로에서 스크랩 사용 확대를 통한 원료(쇳물) 사용을 줄임으로써 CO_2 배출을 줄이는 기술
수송·교통	고용량·장수명 이차전지 기술	전기차 및 ESS[1]에 활용되는 리튬이온전지, 이차전지 관리, 모듈/팩/시스템 등을 포함한 이차전지 기술
에너지	청정수소 생산 기술	천연가스, 납사, LPG로부터 CO_2를 포집하는 기술이 접목된 수소 생산 또는 재생전력이나 기존 전원을 이용한 수전해 수소 생산 기술
에너지	암모니아 발전기술	청정연료(수소, 암모니아) 활용 무탄소발전 및 암모니아 단계적 혼소 확대 전환 기술
에너지	전력망 계통연계 시스템	재생에너지 변동성과 EV충전인프라 증가 등으로 인한 전력계통 불안정성 해소와 전력품질 확보, 분산에너지 변환효율 향상 및 계통 연계기준 고도화 기술
에너지	고효율 태양전지 기술	한계효율 극복을 위한 페로브스카이트, 탠덤, 이종접합 태양전지 등 차세대 태양전지
에너지	초대형 해상풍력 시스템	해상풍력 시스템을 초대형화하여 해상에 설치 및 운영하는 기술
환경	유용자원(희토류) 회수 기술	희토류 회수를 위한 수거·분리·선별 기술 및 회수 기술

1) Energy Storage System

4. 10대 미래유망기술 심층 분석

1) 이산화탄소 포집 및 전환 기술

■ (정의) 에너지, 산업공정 등에서 배출되는 CO_2를 포집하고, 포집된 이산화탄소를 유용한 물질로 전환하여 활용하는 기술

■ (범위) 이산화탄소 포집 및 전환기술은 포집 기술 및 전환기술로 분류

- (포집 기술) 발전 및 연소, 산업공정(철강, 석유화학, 시멘트, 수소 생산 등) 과정에서 발생하는 CO_2를 포집원별 최적의 기술을 적용하여 효과적으로 포집하여 처리하는 기술로, 연소 후 포집 상용화 기술, 산업공정 포집 기술, 연소 전 포집 기술, 대기 중 직접 포집 기술 등으로 분류
- (전환 기술) 이산화탄소를 전환하여 경제적 가치를 지닌 제품을 생산하는 기술로서, 전환 방식에 따라 화학적 전환기술, 생물학적 전환기술, 광물탄산화 기술 등으로 분류

■ (필요성) 화석연료 기반 에너지에서 저탄소 재생에너지로의 완전한 전환까지 상당 수준의 시간과 재원이 소요되므로 탄소중립을 달성하기 위해서는 발생한 이산화탄소를 포집, 저장 및 활용함으로써 탄소배출을 억제하는 기술 개발이 병행 필요

■ (국내외 동향) 전 세계적으로 대규모 포집을 포함하는 CCS 설비는 65개로 26개는 운영 중, 3개는 건설 중, 21개는 초기 개발 등으로 적극적 기술 개발 추진 중

- (한국) 이산화탄소 포집 기술은 개발 및 1~10 MW 실증 연구 수행 중이며 전환기술은 대부분 학계 중심의 기초·원천 연구단계
- (미국) 미국 Skyonic Corporation 사는 광물탄산화 공정을 이용하여 CO_2를 탄산수소나트륨 및 기타 산업 활용 가능한 물질로 전환하는 SkyMine 공정을 개발하여 운전
- (일본) 동남아 등지에서 산업부문 포집용으로 기술을 장기간 실증하고 미국에서 140만 톤/년급 세계 최초 석탄화력발전소 포집 실시

■ (2030 전망) 친환경 인프라 투자, 친환경 일자리 창출이 동반된 이산화탄소 포집 및 전환 기술 도입과 완성도 향상을 통해 기존 산업에 미치는 영향을 최소화하는 감축 효과기대

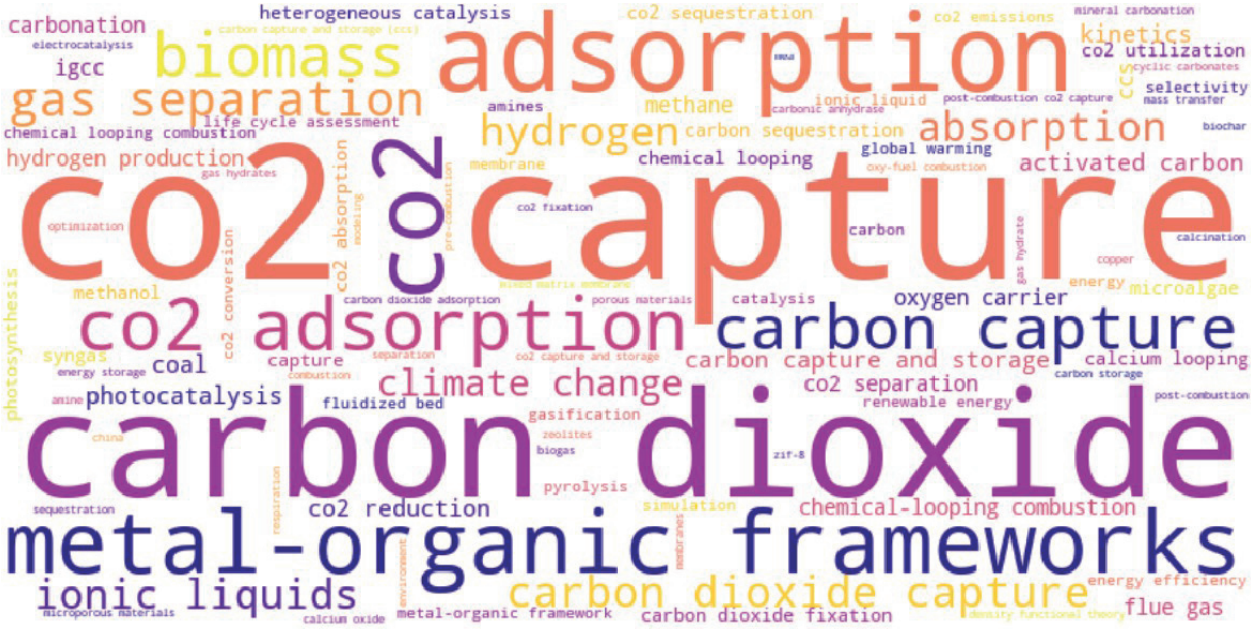
- 2030 목표인 석탄 화력 연소 후 CO_2 포집 100만 톤, 연료 전환 수율 30%, 광물탄산화 기술을 활용한 CO_2 10만 톤 전환으로 건설 소재 생산 등 예상

■ (다른 미래유망기술과의 관계) 탄소저감형 고로-전로 공정기술과 상호보완적 관계이나 고용량·장수명 이차전지 기술과 경쟁적 관계

- 고용량·장수명 이차전지 기술(전기차 및 ESS)이 확대됨에 따라 CCU 기반 연료 생산, 재생에너지 저장기술의 비교우위가 약화될 수 있음

- 탄소저감형 고로-전로 공정기술과 제철 부생가스 기반 CCU 기술의 병행을 통해 철강산업 탄소 배출량 저감이 필요

■ (키워드 빈도분석) Web of Science의 학술논문으로부터 추출한 키워드 빈도분석 결과 CO_2 관련 표현을 제외하면 흡수(absorption), 금속유기골격체(metal-organic frameworks), 바이오매스(biomass), 가스 분리(gas separation) 등의 키워드가 등장[2)]



2) Web of Science에서 CO2 capture OR CO2 utilization으로 검색하여 연관성이 높은 상위 5,000개 학술논문(articles)의 저자 입력 키워드(7,740개)를 추출

2) 바이오 기반 원료·제품 생산 기술

- (정의) 화석원료(나프타)를 대체하는 지속가능 식물 또는 목질계 바이오매스로부터 유래된 바이오리파이너리 플랫폼 기반의 기초 화학원료 생산, 실증 소재기술 및 이를 활용한 석유계 플라스틱 대체를 위한 바이오화학, 바이오플라스틱 합성·중합·제조의 제품 생산 기술

- (범위) 바이오 기초원료 생산기술, 바이오 응용원료 생산기술, 바이오 플라스틱 합성·중합 제조/생산기술 등으로 분류

  - (바이오 기초원료 생산기술) 식물계 또는 목질계 바이오매스 기반 바이오나프타, 바이오-알콜, C2/C3/C4, C6/C5-카보하이드레이트 등 바이오리파이너리 플랫폼 단량체 소재의 분리·정제·고순도화 제조·공정기술

  - (바이오 응용원료 생산기술) 바이오 기초원료로 출발하여 바이오올레핀, 바이오 아크릴산 등의 응용원료로 확장된 후 바이오 정밀·특수화학의 제품 분야로 발전하는 소재기술 및 바이오플라스틱의 핵심 중간체 소재기술

  - (바이오 플라스틱 합성·중합 제조/생산기술) 바이오 기초원료와 응용원료를 활용한 탈탄소·저탄소 바이오플라스틱의 실용화 제조·생산 기술

- (필요성) 탄소배출 저감을 위해 석유화학 분야의 기초원료인 나프타, 올레핀 등을 저탄소·친환경 바이오 원료로 전환이 필요하며, 업스트림(열분해) 및 다운스트림(기초유분 생산)을 연계한 노력이 필요

- (국내외 동향) 국내에서는 대기업 중심으로 기술 확보 중이며 다국적 화학기업들은 바이오화학으로 사업 전환을 적극적으로 추진

  - (한국) 기초·응용 소재를 활용한 상용·가공 바이오플라스틱 제품개발은 활발하나, 핵심 기초·응용 소재를 수입에 의존

  - (미국) Dupont은 Tate&Lyle와 합작으로 Dupont Tate&Lyle을 설립하고 연 4.5만 톤 규모의 바이오 기반 플라스틱 원료 1,3-Propanediol 생산 중

- (중국) 중국 과학아카데미의 물리화학연구소, 칭화(清華)대학, 쓰촨(四川)대학 등의 기관이 PLA(Polylactic Acid) 개발 연구에 동참

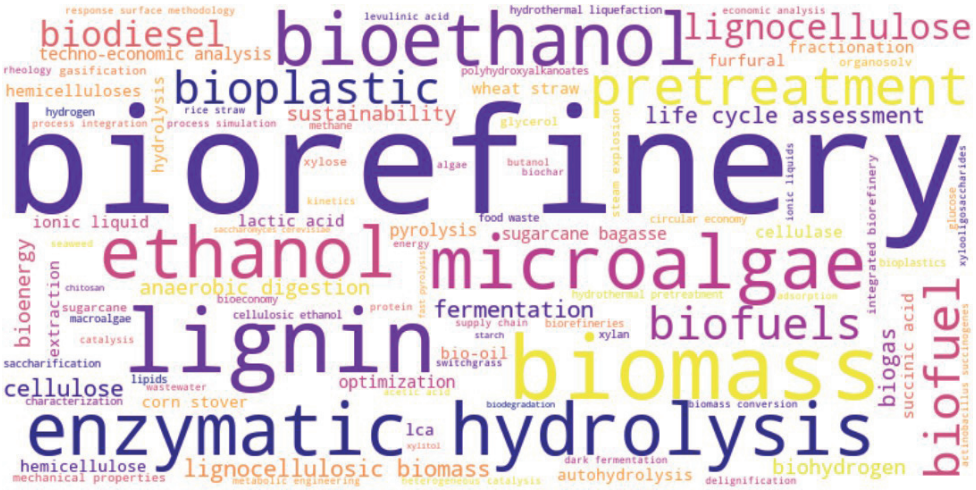
■ (2030 전망) 석유화학은 우리나라 대표 주력·수출 산업으로 국가온실 가스감축목표 달성과 미래 기술 경쟁력 확보를 위해 탈탄소·친환경 바이오매스 기반의 바이오화학 산업구조로의 대전환 예상

- 세계적으로 기초적·원천적 연구단계에서 출발하고 있어, 우리나라에서 연구개발 수행 시 선진국과 기술격차를 충분히 줄일 뿐만 아니라 핵심기술 선점이 가능할 것으로 예측
- 분해가 되지 않는 플라스틱을 벗어나 분해가 가능한 플라스틱의 사용으로 육상, 해양 오염을 막을 근본적 해결책을 제공하여 환경과 인류 보호

■ (다른 미래유망기술과의 관계) 탈탄소·친환경 소재 및 부품 공급 가능

- 수소·전기차 등 미래형 자동차에 주로 사용되는 고용량·장수명 이차전지 기술을 비롯해 고효율 태양전지 기술, 초대형 해상풍력 시스템 등 재생에너지 전반에 소재와 기술 공급 가능

■ (키워드 빈도분석) Web of Science의 학술논문으로부터 추출한 키워드 빈도분석 결과 bioplastic 관련 표현을 제외하면 바이오리파이너리(biorefinery), 리그닌(lignin), 미세조류(microalgae), 효소 가수분해(enzymatic hydrolysis) 등의 키워드가 등장[3)]



3) Web of Science에서 bioplastic OR biorefinery OR bio naphtha로 검색하여 연관성이 높은 상위 4,988개 학술논문(articles)의 저자 입력 키워드(9,811개)를 추출

3) 탄소저감형 고로-전로 공정기술

■ (정의) 기존 고로-전로 공정에서 활용되는 연·원료를 대체하고 CCUS 기술 연계를 위한 공정기술

■ (범위) 고로-전로 공정에서 사용하는 탄소계 연료 및 원료를 대체하고 전로 내 스크랩을 다량 사용하여 탄소 배출량을 저감하는 제선 기술을 포함

- (고로 원·연료 대체 기술) 고로에서 원료 및 탄소계 연료, 환원제를 대체하기 위해 함수소 가스, 대체철원, 바이오매스 및 폐플라스틱을 활용하는 기술
- (스크랩 다량 사용 전로 기술) 전로에서 스크랩을 다량 사용하고 고품질의 철강 제품을 제조할 수 있는 공정기술
- (순산소 고로 기술) 고로에 활용되는 공기를 순산소-수소로 대체하여 CCUS와 연계 가능한 기술

■ (필요성) 국내 고로-전로 공정의 효율은 세계 최고 수준이며 공정 탄소 사용량이 철 생산을 위한 이론적 최소 필요량에 거의 근접하였으므로 기존 고로-전로 공정에서 탄소계 원·연료를 대체하고 CCUS 기술 연계를 위해 순산소 고로 기술 개발을 통한 탄소 배출량 감축 기술 개발이 필수적

■ (국내외 동향) 국내에서는 상용화 기술 개발 중이며 해외에서도 기술 실증을 위한 정책적 노력이 지속되고 있음

- (한국) 기존 철강 공정 대비 15% 수준의 CO_2를 저감하는 기술 개발을 위해 'COOLSTAR[4] 프로젝트' 추진 중('17~'25)
- (EU) EU 주도로 15개국, 48개 회사가 참여한 ULCOS(Ultra Low CO_2 Steelmaking) 프로젝트를 통해 2050년까지 기술 개발 완료 및 상용화 추진
- (일본) 고로에 함수소 가스 취입 및 CO_2 분리·회수 기술을 통해 제철 공정 CO_2 배출 30% 이상 저감 실증

4) CO2 Low Emission Technology of STeelmaking And hydrogen Reduction

■ (2030 전망) 탄소저감형 고로-전로 공정기술은 ’30년까지 기술개발 이후 상용화 추진을 통한 탄소 감축 기여 예상

- 고로 원·연료 대체기술 및 스크랩 다량 사용 전로 기술은 ’30년 내로 기술개발 및 실증을 완료하고 시험 적용 후 ’40년까지 단계적으로 고로-전로 설비보급 확대

■ (다른 미래유망기술과의 관계) 이산화탄소 포집 및 전환 기술과 연계

- 순산소 고로 기술은 직접적인 탄소저감 효과는 없으나 향후 이산화탄소 포집 및 전환 기술과 연계하여 탄소 감축에 기여
- 고로에 활용되는 열풍(공기)을 순산소-수소로 대체함으로써 배가스에서 큰 부피를 차지하는 질소를 제거하여 이산화탄소 포집 및 전환 설비 구축 가능

■ (키워드 빈도분석) Web of Science의 학술논문으로부터 추출한 키워드 빈도분석 결과 blast furnace 관련 표현을 제외하면 바이오매스(biomass), 반탄화(torrefaction), 미분탄(pulverized coal), 목재펠릿(wood pellets) 등의 키워드가 등장[5)]

5) Web of Science에서 Ironmaking OR Blast furnace OR Oxygen top and bottom blowing converter OR Blast Furnace Gas로 검색하여 연관성이 높은 상위 5,247개 학술논문(articles)의 저자 입력 키워드(9,808개)를 추출

4) 고용량·장수명 이차전지 기술

■ (정의) 외부의 전기에너지를 화학에너지의 형태로 바꾸어 저장했다가 필요할 때 다시 전기에너지로 변환해 사용할 수 있으며, 이러한 변환을 반복적으로 수행할 수 있는 장치

■ (범위) 이차전지는 리튬이온전지, 전고체전지, 금속공기전지, 리튬황 전지, 레독스흐름 전지, 나트륨이온전지, 다가이온전지 등 다양한 시스템이 존재하며 이의 소재·부품 기술과 셀 기술 등을 포함

- (4대 핵심 소재 기술) 이차전지는 4대 핵심소재(양극, 음극, 분리막, 전해질)를 중심으로 구성되며 4대 핵심 소재의 구성이 이차전지의 특성 및 성능에 매우 결정적인 영향을 미침
- (셀 기술) 핵심 소재 및 기타 부품·소재를 이용하여 원통형, 파우치형 등의 셀로 제조하는 기술
- (부품·소재 기술) 파우치, 캔, 리드탭, 집전체, 도전재, 바인더, 전해액 첨가제 등 이차전지를 구성하는 부품·소재 관련 기술

■ (필요성) 전기자동차의 보급 확대 및 신재생에너지 저장 등 이차전지 응용 분야 확대로 용도별 수요가 늘어나고 있으나, 리튬이온이차전지는 이론적 성능 한계에 다다르고 있어 차세대 이차전지 개발이 필요

■ (국내외 동향) 전 세계적으로 정책적, 재정적 지원이 가속되고 있음

- (한국) 전기차용 이차전지 셀의 경우 LG에너지솔루션, 삼성SDI, SK이노베이션 등이 고성장세를 이어가고 있으나 소재·부품·장비의 경우 해외의존도가 매우 높아 이 부분에 대한 경쟁력 강화 대책이 절실한 상황
- (EU) 이차전지 공급을 비EU 국가들에 의존하고 있어, 주요 자동차, 화학, 원자재, 엔지니어링 회사들이 컨소시엄을 구성하여 차세대 이차전지 기술의 경쟁 우위 확보를 위해 Battery Alliance 구축
- (중국) 막대한 내수 시장을 바탕으로 세계 시장 점유율 1위를 유지 중이며 풍부한 광물자원을 바탕으로 부품·소재 시장에서도 시장 우위를 확보 중

■ (2030 전망) 신재생에너지 및 ESS, 친환경 자동차의 보급 확대가 이루어지면서 이차전지가 핵심적인 역할을 수행할 것으로 기대

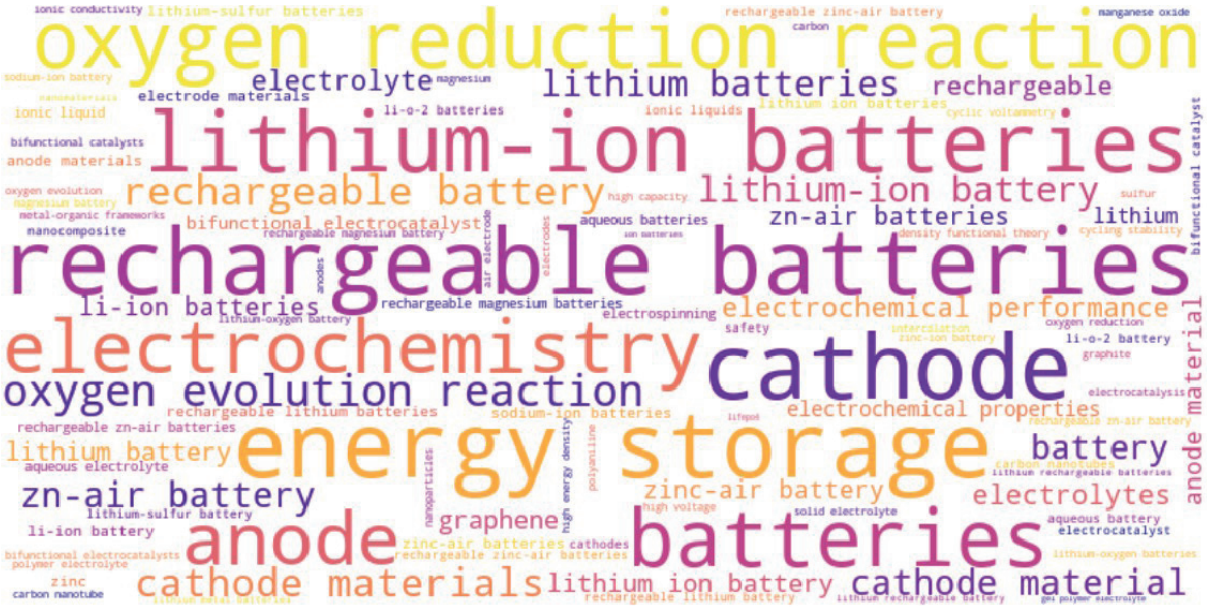
- 이차전지 산업뿐만 아니라 후방 산업인 소재·부품·장비 산업 및 전방 산업인 전기차, 전력저장, 전자기기 등이 동반 성장하여 일자리 창출 등 한국 경제에 긍정적 효과 예상

■ (다른 미래유망기술과의 관계) 고효율 태양전지 기술, 초대형 해상풍력 시스템, 청정수소 생산 기술 등과 상호보완적 관계

- 전력망 계통연계 시스템, 고효율 태양전지 기술, 초대형 해상풍력 시스템 등은 이차전지 기술과 연계될 때 기술의 완성이 이루어지며, 전기에너지의 연속성, 효율성, 고품질화를 달성할 수 있음

- 청정수소 생산 기술, 암모니아 발전기술과도 상호보완적인 관계로 이차전지는 단기 저장, 타 기술들은 장기 저장 후 전력 생산 등으로 시너지 효과를 나타낼 수 있음

■ (키워드 빈도분석) Web of Science의 학술논문으로부터 추출한 키워드 빈도분석 결과 battery 관련 표현을 제외하면 산소환원반응(oxygen reduction reaction), 전기화학(electrochemistry), 산소발생반응(oxygen evolution reaction) 등의 키워드가 등장[6)]



6) Web of Science에서 next AND secondary battery OR rechargeable battery로 검색하여 연관성이 높은 상위 4,956개 학술논문(articles)의 저자 입력 키워드(8,141개)를 추출

5) 청정수소 생산 기술

■ (정의) 수소 제조과정에서 이산화탄소를 배출하지 않거나, 현저히 적게 배출하는 방법으로 수소를 생산하는 기술

■ (범위) 생산 방법에 따라 그린수소, 블루수소 등으로 분류할 수 있음

- (그린수소) 풍력, 태양광 등 재생에너지의 전기를 이용해 수소를 생산하는 수전해 기술
- (블루수소) 천연가스 등의 화석연료에서 수소를 추출하면서, 발생되는 이산화탄소를 포집하는 기술이 접목된 수소생산기술
- (소규모 생산) 바이오에너지에서 수소를 생산하는 기술

■ (필요성) 우리나라의 탄소중립경로에서 에너지 다소비 산업(철강, 석유화학, 시멘트, 알루미늄 등)에 새로운 탄소저감 수단으로 수소가 주목받고 있으며, 에너지 생산·이송·소비의 전주기에 활용 가능하여 신산업 창출과 기존산업의 재도약 기회를 제공

■ (국내외 동향) 그린수소 생산의 경우 실증 사업이 진행 중이나 규모 면에서 국내(수백kW급)와 해외(MW급)의 기술격차가 있음

- (한국) 국내 그린수소 생산기술은 평균 8.9 kg/hr의 실증단계 수준으로 '25년까지 재생에너지 그린수소 대량 생산 기술력 확보, 블루수소 산업 생태계 조성 및 생산 실증을 위한 블루수소 생산 기반 마련 필요
- (미국) 수소 생산을 위한 17 MW 규모의 수전해 설비 운영('21.6)
- (EU) 연료전지 및 수소 민관협의체(Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, FCH JU)는 수전해 용량 140 MW(전 세계 보급량의 40%) 이상 설치

■ (2030 전망) 탄소중립과 에너지 전환에 따른 과도기로 인프라 신규투자 및 전환 비용이 확대될 것으로 예측되며, 이에 대한 사회 수용성 문제가 제기될 것으로 전망

- 환경성 및 경제성 확보를 위해 그린수소와 블루수소가 수소 공급원으로 시장이 확대될 것이며, 해외에서의 수소 수입이 가시화 될 것으로 예측

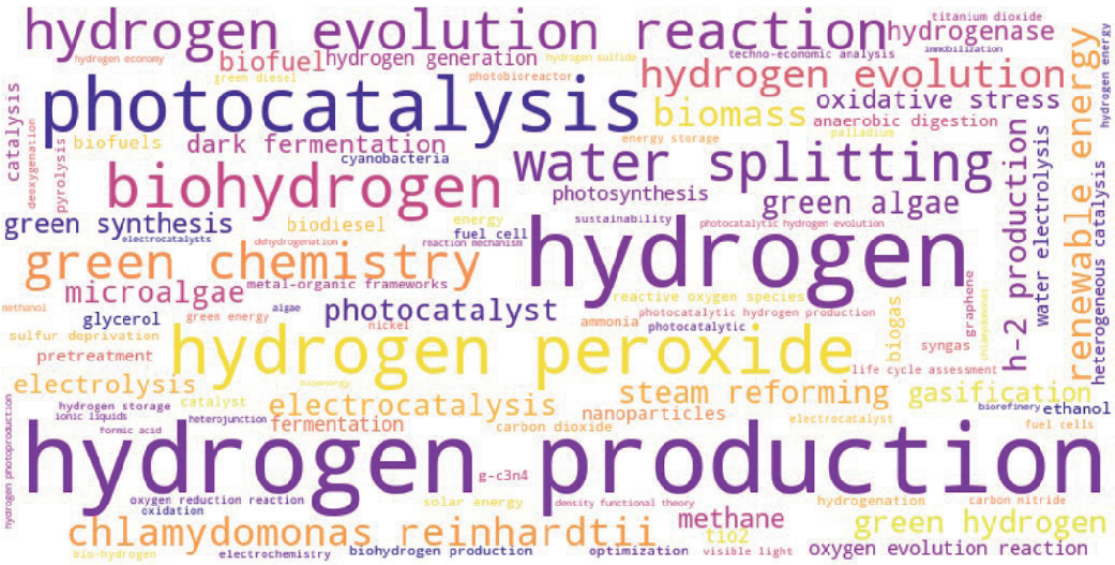
- ’30년은 청정수소 생산기술, 연료전지와 같은 에너지 전환 기술 등이 국가 경쟁력을 큰 영향을 줄 것으로 예측되며 기업과 국가가 신산업 육성과 업종전환에 어려움을 겪을 것으로 전망

■ (다른 미래유망기술과의 관계) 융합기술 형태로 현장에 적용될 예정으로 각 기술개발 수준, 가격경쟁력 및 환경성에 따라 종합적인 효율이 결정

- 고용량·장수명 이차전지 기술, 전력망 계통연계 시스템은 수전해 기술에 활용되는 기술로 공동개발이 불가피

- 블루수소 생산기술은 이산화탄소 포집 및 전환기술이 없으면 구현 불가

■ (키워드 빈도분석) Web of Science의 학술논문으로부터 추출한 키워드 빈도분석 결과 H2 관련 표현을 제외하면 광촉매(photocatalysis), 수소발생반응(hydrogen evolution reaction), 수전해(water splitting) 등의 키워드가 등장[7)]



7) Web of Science에서 green hydrogen AND production*으로 검색하여 연관성이 높은 상위 4,934개 학술논문(articles)의 저자 입력 키워드(10,170개)를 추출

6) 암모니아 발전기술

■ (정의) 화력발전 가스터빈/보일러의 기존 연료인 LNG/석탄을 무탄소배출이 가능한 암모니아 연료로 전환하면서 기존 가스터빈/보일러와 동등 수준의 성능 및 이산화탄소와 미세먼지 배출을 혁신적으로 저감하는 기술

■ (범위) 암모니아 발전기술은 기존 LNG 가스터빈과 석탄 보일러에 암모니아 혼소 및 전소 전환을 위한 암모니아 터빈/보일러 기술과 2차 미세먼지 후처리기술 및 운영기술 등으로 분류

- 암모니아 터빈 기술
- 암모니아 크래킹 수소터빈 복합발전 시스템 기술
- 석탄 화력발전소 암모니아 혼소 및 전소기술

■ (필요성) 수소가 포함된 암모니아(NH3)는 상온에서 저가로 저장·운송이 가능하며, 재생에너지로의 전환 과정 중 석탄 화력발전소의 설비 투자 및 변경을 최소화하면서 이산화탄소 배출 저감 효과를 극대화할 수 있어 중단기적 국산화 기술개발이 시급

■ (국내외 동향) 국내에서는 수소 · 암모니아 발전 실증 추진단 운영 등을 통한 기초연구 수행 중이며 국외에서는 발전용 가스터빈 실증 연구 진행

- (한국) 암모니아 혼소율 20% 이상 혼소 기술 개발을 목표로 하고 있으며 범수소기술인 혼소(LNG·암모니아·메탄·수소) 가스터빈, 대용량 암모니아 수전해, 고효율 다목적 가스연료전지 등의 개발이 필요함
- (일본) 50 kW급 암모니아 전소 및 2 MW급 암모니아 혼소율 20% 가스터빈 기술 개발 수행 완료, 40 MW급 암모니아 전소 가스터빈 개발 시작('21.3)
- (미국) 전력연구원(EPRI)과 가스기술연구소(GTI)가 수소와 암모니아 등을 이용해 전력을 생산하는 '저탄소 자원 이행계획(Low Carbon Resources Initiative)' 수립('20), 40kW 가스터빈을 이용한 화염안정화 연구 수행 등

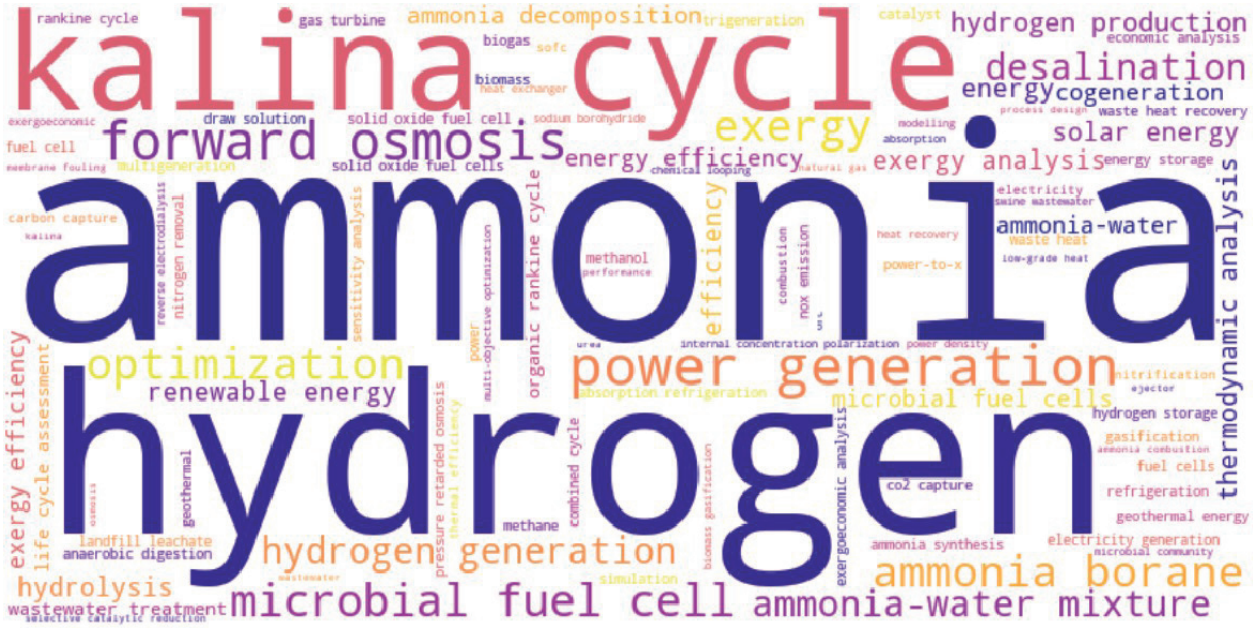
■ (2030 전망) 화력발전의 탈탄소화를 위해서는 무탄소 연료인 암모니아 활용이 매우 중요하므로, 석탄화력발전의 비중이 높은 한국, 일본, 동남아, 중국 등에서 암모니아 수요가 가속화될 것으로 전망

- 탄소배출량 감축을 위해 암모니아 혼소 및 전소가 가능한 버너, 보일러 등의 산업이 성장할 것으로 예상
- 수소 수입 의존도에 따라 암모니아를 통한 경제적 연료 활용 검토 필요

■ (다른 미래유망기술과의 관계) 청정수소 생산 기술과 밀접하게 연관

- 석탄발전소의 암모니아 혼소 전환 후 설비 수명이 도래하면 기존 암모니아 인프라의 지속적 활용을 위해 수소 터빈으로 전환을 추진할 예정이며, 수소 발전을 위해서는 기존 공급되던 암모니아에서 이산화탄소 배출이 없는 청정수소를 생산하는 기술이 필요

■ (키워드 빈도분석) Web of Science의 학술논문으로부터 추출한 키워드 빈도분석 결과 Ammonia 관련 표현을 제외하면 칼리나 사이클(Kalina cycle), 정삼투(forward osmosis), 미생물 연료 전지(microbial fuel cell) 등의 키워드가 등장[8)]



8) Web of Science에서 ammonia power generation으로 검색하여 연관성이 높은 상위 1,149개 학술논문(articles)의 저자 입력 키워드(2,960개)를 추출

7) 전력망 계통연계 시스템

- (정의) 신재생에너지를 비롯한 에너지저장시스템과 전기차 충전인프라 등 전력계통 안정화와 전력품질 확보에 필수적인 계통연계 시스템 기술

- (범위) 신재생에너지 확대와 에너지소비 전기화 추세에 대응하여 안정적인 전력계통 운영에 핵심인 가상관성/고속주파수 조정 기술, 스마트인버터 기술, 수송용 충전인프라 기술 등으로 분류

  - (가상관성/고속주파수 조정 기술) 재생에너지의 변동성과 수요의 불확실성에 대응해 기술적으로 빠른 계통관성을 공급하는 기술과 인버터 기반의 가상관성(virtual inertia)을 제공하고 안정적으로 제어하는 기술

  - (스마트인버터 기술) 태양광, 풍력, 연료전지 등 신재생에너지와 에너지저장시스템용 전력변환 인버터 기술로 전력변환 효율향상과 전력계통 연계기준 고도화 및 전력망 감시·제어, 조기 고장진단 등의 기술을 포함

  - (수송용 충전인프라 기술) 수송분야 전기화 대응기술로서 유선 및 무선, 초고속충전 인프라 등과 전력계통 운영 유연자원으로 전기차 등 수송기기용 배터리를 활용하는 스마트충전 및 양방향 충방전 기술을 포함

- (필요성) 재생에너지 발전원의 지역적 편차에 따른 전력수급 불균형 문제해소와 전원구성의 변화에 따른 전력시스템 특성 변화와 인프라 및 운영체계 전환 시급

- (국내외 동향) 국내에서는 계통관성 부족이 예상되어 대응 중이며 해외에서는 표준 고도화 및 실증 진행

  - (한국) 유연송전시스템, 동기조상기 등 계통안정화 설비 도입을 추진하고, 재생에너지 계통수용률 제고 및 계통 안정성 확보 중

  - (미국) 스마트인버터 표준(IEEE 1547-2018과 IEEE 1547.1) 고도화와 전압 제어기능과 전압/주파수 운전지속기능 구현을 위한 'California Rule 21'과 'Hawaii Rule 14H' 도입

  - (일본) 전기차 OEM을 중심으로 DC 전력 기반의 스마트시티 실증 진행

■ (2030 전망) 대용량 장거리 송전 중심의 전력공급 체계를 지역에서 생산된 전력을 동일지역에서 소비하고 최소한의 전력을 인근지역과 융통하는 형태의 전력공급 체계로 전환

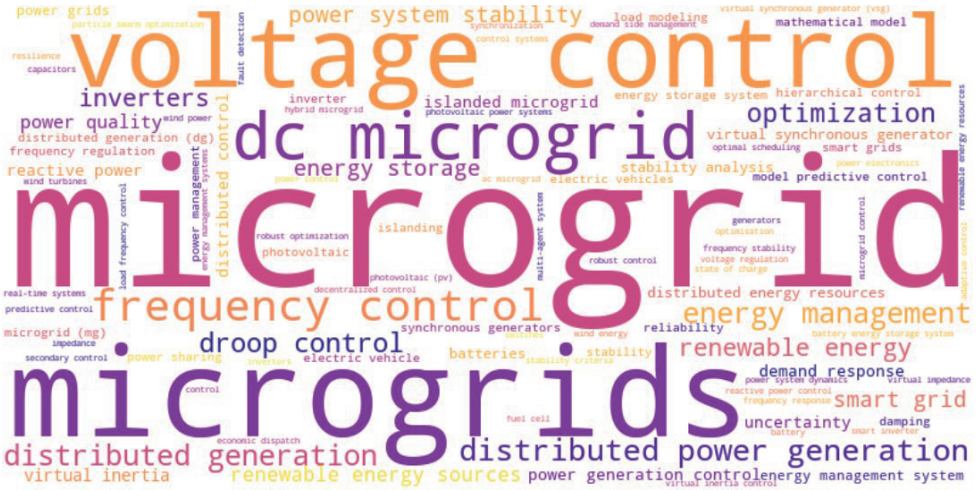
- 기존 교류(AC) 전력망에 새로운 직류(DC) 전력망을 연계하여 전력의 흐름을 자유롭게 제어하고, 높은 변동성과 불확실성 하에서도 상호보완적인 운영을 통해 전력망의 안정성 확보 가능

■ (다른 미래유망기술과의 관계) 고효율 태양전지 기술, 초대형 해상풍력 시스템, 고용량·장수명 이차전지 기술 등과 상호보완적 관계

- 가상관성/고속 주파수 조정기술과 스마트 인버터 기술은 고효율 태양전지 및 초대형 해상풍력 발전시스템의 원활한 계통접속과 출력변동에 따른 계통 안정성 확보에 기여할 수 있는 핵심기술

- 전기차 충전인프라 기술은 고출력 급속충전기의 보급 확대로 인해 발생할 수 있는 급격한 전력수요 변동을 완화하기 위해 고용량·장수명 이차전지 기술을 활용한 에너지저장시스템(ESS)과 시너지효과 기대

■ (키워드 빈도분석) Web of Science의 학술논문으로부터 추출한 키워드 빈도분석 결과 마이크로그리드(microgrid), 전압제어(voltage control), 주파수제어(frequency control) 등의 키워드가 등장[9)]



9) Web of Science에서 microgrid OR virtual inertia control OR smart inverter OR vehicle grid interface로 검색하여 연관성이 높은 상위 4,929개 학술논문(articles)의 저자 입력 키워드(13,279개)를 추출

8) 고효율 태양전지 기술

■ (정의) 한계효율 극복을 위한 초고효율 태양전지 기술

■ (범위) 고효율 태양전지 기술은 하기와 같이 구성

- (페로브스카이트 태양전지) 페로브스카이트 물질을 광흡수층으로 사용하는 태양전지 기술
- (초고효율 탠덤 태양전지) 상하부의 두 개의 태양전지가 하나의 태양전지로 구동하며 상하부의 각기 다른 흡수 파장 영역대를 극대화하여 효율을 극대화한 태양전지 기술
- (고효율 결정질 실리콘 기술) 현 PERC(Passivated Emitter Rear Cell) 태양전지 대비 상대적 고효율을 가진 결정질 실리콘 태양전지 기술로, TOPCon(Tunnel Oxide Passivated Contact)과 이종접합(HJT) 태양전지가 대표적으로 고려되고 있음

■ (필요성) 매년 전 세계 설치량이 지속적으로 성장하고 있으나 LCOE[10] 향상을 위해서는 기존과 차별화된 혁신적인 기술 개발을 통한 출력개선 및 제조 비용 절감 등이 필요

■ (국내외 동향) 국내에서는 차세대 태양전지(페로브스카이트)의 세계 최고효율 기록을 경신하고 있으며, 독일에서는 페로브스카이트/결정질 실리콘 기반 탠덤 태양전지로 세계 최대효율을 보고한 바 있음

- (한국) 결정질 실리콘 태양전지 기술 시장이 주도하고 있으며 양산효율은 셀 22~23%, 모듈 효율 20~21% 수준으로 경쟁국과 전반적으로 유사
- (미국) 페로브스카이트 개발 컨소시엄(US-MAP)을 구성해 First Solar, NREL, Swift Solar 등의 주요 태양전지 연구기관 및 산업체가 참여 중
- (중국) p-PERC 셀 기술 기반의 태양전지 생산이 주류를 이루고 있으며, 셀 사이즈의 확대와 모듈 대형화, 모듈 내 셀 영역 극대화 등을 통해 500 Wp 이상의 출력을 가진 모듈을 발표

10) Levelized cost of electricity

■ (2030 전망) 탄소중립에 대한 정책적 의지와 신재생에너지의 기술적 비용 하락에 의해 화석연료의 사용이 대폭 줄어들고 신재생에너지, 특히 태양광과 풍력의 비중이 대폭 증가할 것으로 예상

- 현재 전 세계 시장을 주도하고 있는 결정질 실리콘 PERC 기술은 제한적 효율로 인하여 시장점유율이 대폭 낮아질 것으로 예상되며, 고효율형 결정질 실리콘 기술인 TOPCon과 HJT 태양전지가 높은 점유율을 보일 것으로 예측

■ (다른 미래유망기술과의 관계) 청정수소 생산 기술과 직접적 관계

- 태양광 에너지로 발전된 전기를 이용한 수전해 기술로 CO_2 발생이 없는 청정수소 생산 가능

- 고효율 탠덤 태양전지에 의해 발전된 전기의 고전압 특성으로 인해 수전해 효율을 높일 수 있고, 전력 그리드로 연결되어 있어야 전달이 되는 재생에너지 발전의 단점도 수소로 변환하면서 저장성과 이동성이 개선

■ (키워드 빈도분석) Web of Science의 학술논문으로부터 추출한 키워드 빈도분석 결과 solar cell 관련 표현을 제외하면 페로브스카이트(perovskite), 탠덤(tandem), 태양광 발전(photovoltaics) 등의 키워드가 등장[11)]

11) Web of Science에서 next AND photovoltaic OR solar cell OR tandem solar cell OR multi-junction solar cell OR perovskite OR TOPCon, HJT로 검색하여 연관성이 높은 상위 4,932개 학술논문(articles)의 저자 입력 키워드(7,742개)를 추출

9) 초대형 해상풍력 시스템

■ (정의) 해상풍력 시스템을 초대형화하여 설치 및 운영하는 기술

■ (범위) 초대형 해상풍력 기술은 단지설계, 부품, 시스템, 설치 및 시공, 운영 및 유지보수를 포함

- (단지설계) 해상풍력 시스템의 계통망 연계, 어업활동, 선박 통항 경로 등을 고려한 발전단지 설계 기술
- (부품) 해상풍력 시스템의 발전기, 블레이드, 고정식 하부구조물, 기초구조물, 부유체, 계류선 등을 포함
- (시스템) 경제성과 안정성을 함께 확보하는 시스템 설계 기술
- (설치 및 시공) 초대형 해상풍력 시스템 이송, 설치 및 시공 기술
- (운영 및 유지보수) 상태감시시스템, 예지적 유지보수 기술, 최적의 유지보수 계획을 수립하는 스케줄링 기술 등

■ (필요성) 신재생에너지 보급의 주된 에너지원은 태양광과 풍력이며, 해상풍력은 해외 수입이 아니라 국내 생산이 가능한 에너지원으로 급속히 성장 중인 기술 집약형 국가 기반 사업

■ (국내외 동향) 덴마크, 미국, 독일 등이 앞서나가고 있으며 국내의 일부 부품기업은 기술력을 인정받았으나 시스템은 해외 선진사와 비교해 뒤처지고 있음

- (한국) 해상풍력발전기 8 MW(두산중공업), 8~10 MW(유니슨) 등 개발 중
- (미국) 미국의 GE Renewable Energy는 '19년 Haliade-X 12 MW급 풍력발전기 인증을 마쳤으며, '20년 13 MW로 업그레이드, '21년 14 MW 실증
- (독일) 독일과 스페인 합작법인인 Siemens-Gamesa는 해상풍력 누적 설치 1위인 기업으로 전 세계에 설치된 제품을 실시간 모니터링하는 시스템을 갖춤

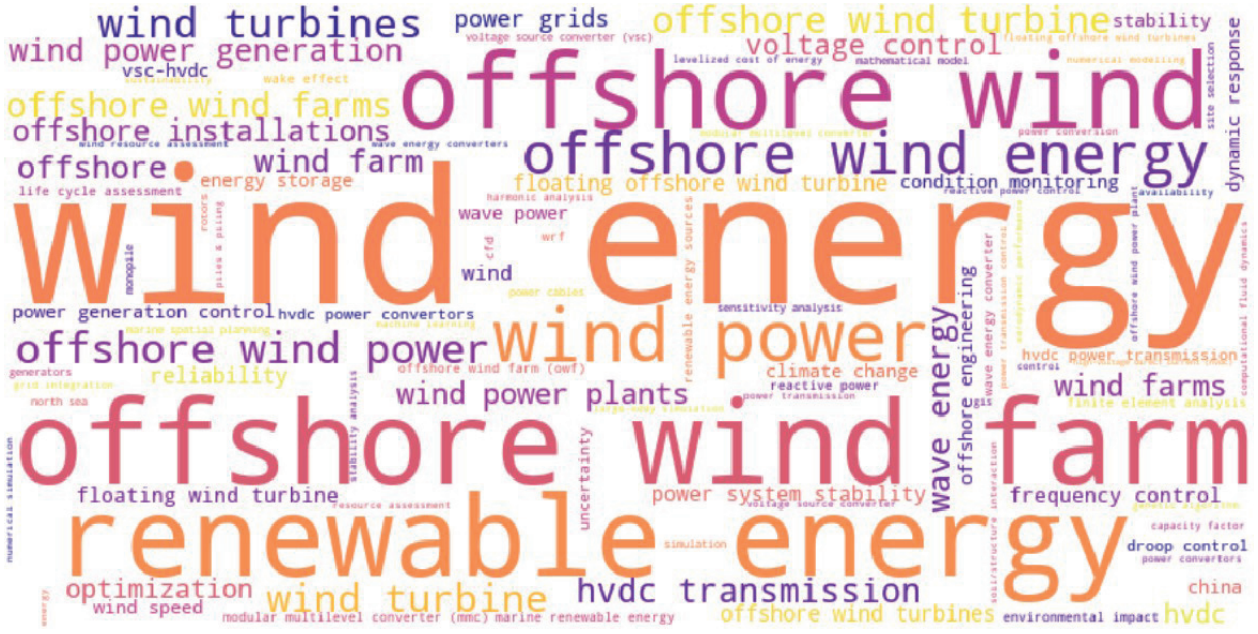
■ (2030 전망) 유지보수가 어려운 초대형 해상풍력의 특성상 가성비 제품보다 신뢰성 높은 제품의 LCOE가 더 향상될 것으로 예상

- 국내에서는 수명 30년, 15 MW급의 초대형 풍력발전기 개발 목표
- 풍력 집적화 제도와 주민참여형 단지 운영으로 인한 인센티브 지급을 통해 풍력에너지의 이익을 지역주민과 공유

■ (다른 미래유망기술과의 관계) 태양광 등의 다른 재생에너지원과 함께 에너지 저장기술과 연계하여 활용 필요

- 풍속은 수요의 증감과 무관하게 항상 변화하므로 수요에 맞춘 전력공급을 위해 에너지 저장기술과 연계되어야 하는데, 청정수소 생산 기술과 암모니아 발전기술, 전력망 계통연계 시스템이 이에 해당

■ (키워드 빈도분석) Web of Science의 학술논문으로부터 추출한 키워드 빈도분석 결과 wind energy 관련 표현을 제외하면 해상풍력단지(offshore wind farm), 풍력 터빈(wind turbine), 초고압직류 송전(HVDC[12] transmission) 등의 키워드가 등장[13]



12) High-voltage direct current

13) Web of Science에서 offshore wind power로 검색하여 연관성이 높은 상위 3,721개 학술논문(articles)의 저자 입력 키워드(10,805개)를 추출

10) 유용자원(희토류) 회수 기술

■ (정의) 폐자원으로부터 희소금속 중 국가 전략성과 산업적 중요도가 가장 높은 물질인 희토류를 회수 및 자원화하는 기술

■ (범위) 지속 가능한 친환경 자원 선순환 기술, 고부가가치화 소재 개발기술, 공급처 다변화 대비 산업 생태계 활성화로 분류

- (지속 가능한 친환경 자원순환 기술 개발) 환경오염 물질 배출량이 적고 공정 단계가 간소화된 고효율 희토류 순환 상용화 설비 및 기술 개발
- (고부가가치화 중심 희토류 소재화 기술 개발) 희토류 고유 기본 물성 데이터 기반 신기능 발현 원천기술 확보 및 고부가가치 소재화 기술 개발
- (공급처 다변화 대비 산업 생태계 활성화) 산업상 희토류 활용을 위해 용어, 측정법 등의 표준화, 채광 과정에서 환경 및 보건 문제 등 국제 규정 제정을 통한 글로벌 ESG(Environmental-Social-Governance) 규범 형성, 무역 질서 확립

■ (필요성) 전 세계적 친환경 정책에 따라 신재생 에너지 수요의 증가로 풍력발전, 전기차 등에 활용되는 영구자석에 필요한 네오디뮴 등 희토류 수요가 높아지고 있음

■ (국내외 동향) 중국의 자원 무기화에 대응하기 위해 공급망 다변화 및 희토류 사용량을 줄이고 대체제를 개발하기 위한 연구 진행 중

- (한국) 현재까지 희토류 자체 생산량, 생산 기술, 소재화 기술이 전무하며 전량 수입에 의존하고 있어 고성장 수요 대응 공급망 안정 전략 필요
- (중국) 채광, 분리, 추출 및 고순도 완제품 제조 등 희토류 공정의 전 단계에 걸쳐 생산 기술을 보유하고 있음
- (일본) 신에츠, 히타치 금속, TDK 등은 디스프로슘(Dy), 테르븀(Tb) 등 중희토류 사용량을 낮춘 영구자석 상용화 성공

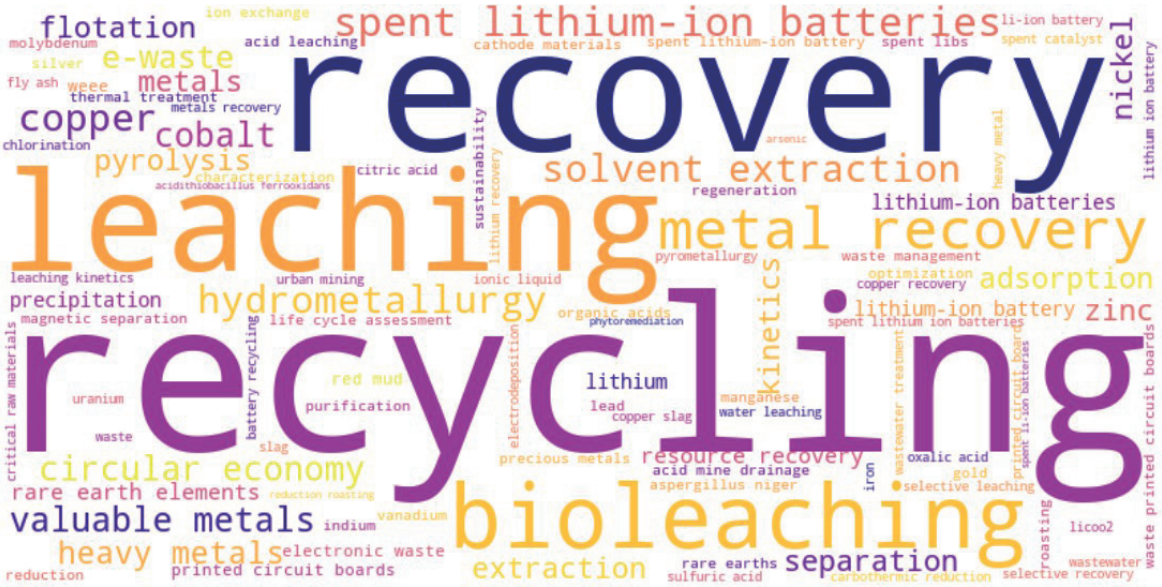
■ (2030 전망) 일부 국가에 한정된 기존 생산 시스템과는 달리 폐자원이 발생하는 도시 광산으로부터 고효율 희토류 회수 및 재활용을 통한 자원 회수 기술 개발

- 향후 수명이 다한 폐제품 발생 증가에 선제적으로 대비한 친환경 고효율 회수 또는 재사용을 통한 지속 가능한 자원 선순환 시스템 구축
- 희토류 공급망 안정화를 통하여 유망 기업 발굴·지원체계로부터 소재·부품의 수요처인 대기업과 생산자인 중소기업 간 협업 활성화

■ (다른 미래유망기술과의 관계) 초대형 해상풍력 시스템과 직접적 관계

- 풍력발전기 1 MW당 700~1,200 kg의 희토류 영구자석을 활용하고 있어 자원 보유국의 정책적·환경적 변화에 따른 수출 제한으로 공급·가격 불안 및 무역 분쟁 가능성이 있으므로 폐자원 수입 시장 개방 확대와 신산업 분야 폐기물 회수 체계화를 통한 자원 재생으로 원료 확보 및 경쟁력 확충 필요

■ (키워드 빈도분석) Web of Science의 학술논문으로부터 추출한 키워드 빈도분석 결과 recycling 관련 표현을 제외하면 침출(leaching), 미생물용출(bioleaching), 폐리튬이온전지(spent lithium-ion batteries), 습식제련(hydrometallurgy) 등의 키워드가 등장[14)]



14) Web of Science에서 recovery of valuable metals로 검색하여 연관성이 높은 상위 3,226개 학술논문(articles)의 저자 입력 키워드(7,328개)를 추출

Ⅳ 결론 및 시사점

■ 참신성, 관심도 및 시의성, 파급효과, 기술 연관성과 결과 활용성을 고려해 '탄소중립 시대'를 주제로 삼아 '2030 국가온실가스감축목표 달성에 기여할 10대 미래유망기술'을 발굴하고 심층분석을 수행

- 최근 발표된 국내외 미래전망보고서의 트렌드와 이슈, 과학기술 예측조사 보고서, 미래전략 2045 등을 수집·분석하여 정치, 경제, 사회, 환경, 기술의 관점에서 미래사회 트렌드를 도출함
- 과학기술 전반의 흐름과 정책 동향에 대한 이해도가 높은 KISTEP 정책고객과 미래예측 전문가를 대상으로 주제를 추가 발굴하고 설문조사를 진행하여 '탄소중립 시대'로 최종 확정

■ 미래유망기술은 5~10년 후 한국 사회에 커다란 변혁을 가져올 수 있는 이슈를 대상으로 하므로 2030 국가온실가스감축목표 달성에 기여할 수 있는 기술을 후보군으로 설정

- 후보군은 2021년 8월 발표된 '탄소중립 중점기술(안)'의 기술분류 체계를 참고해 사회적 보급 시작 시점(~'30)을 기준으로 발굴

■ 미래유망 후보기술별 전문가 논의, 평가지표 점수 등을 종합적으로 고려하여 KISTEP 10대 미래유망기술 선정

- 후보기술의 온실가스 배출량, 국내외 동향 및 기술실현 시점 등을 고려해 기술범위를 조정하고 지향점을 기술명에 포함
- ① 이산화탄소 포집 및 전환 기술, ② 바이오 기반 원료·제품 생산 기술, ③ 탄소저감형 고로-전로 공정기술, ④ 고용량·장수명 이차전지 기술, ⑤ 청정수소 생산 기술, ⑥ 암모니아 발전기술, ⑦ 전력망 계통연계 시스템, ⑧ 고효율 태양전지 기술, ⑨ 초대형 해상풍력 시스템, ⑩ 유용자원(희토류) 회수 기술

■ 각 미래유망기술은 타 기술과 상호보완적 관계를 나타내고 있어 2030 국가온실가스감축목표에 기여하기 위한 긍정적 시너지 효과 기대

■ 미래유망기술의 조속한 실현과 발전을 위해서는 법·제도 개선, 인력양성, 인프라 확보 등이 필요

- (법·제도) 다양한 민간투자를 유인할 수 있는 인센티브를 마련함과 동시에 효율적인 기술개발 및 산업 육성을 위한 제도적 기반과 지원책 마련
- (인프라 구축) 표준화, 인증을 위한 기반을 구축하고 해당 산업별 대표 실증 센터 또는 국가 차원의 종합 실증 센터를 운영하여 테스트 베드 제공
- (인력양성) 선진국과의 기술격차를 줄이기 위한 전문인력 공급이 부족하므로 산업 전반에 전문 인력 수급이 가능한 인력양성 프로그램 추진

■ 2030 국가온실가스감축목표에 기여할 10대 미래유망기술의 선정을 위해 탄소중립 중점기술(안)을 바탕으로 하여 국내외 유망기술, 전문가 의견수렴 등의 다양한 연구방법론을 적용하였으나 다음의 부분에 대한 개선 필요

- 유망기술별 경제적 파급효과나 성장단계, 시장진입 수준 등에 대한 항목이 포함되지 않아 2030 국가온실가스감축목표에 대한 기여도를 정량적으로 평가하기에 한계가 있었음
- 미래유망기술의 선정과 심층분석을 매년 진행하므로, 같은 세부 항목을 포함하여 일관된 정보를 제공하는 방식에 대한 고려 필요

참 고 문 헌

- Adams Intelligence, Rare earth Elements: Market Issues and Outlook (2019).
- BloombergNEF Note, Q1 2021 Global PV Market Outlook (2021).
- CharIN, CharIN explains Smart Charging-Vehicle to Grid (2021).
- European Bioplastics, EU Strategy on Plastics-Contribution of sustainable circular plastics economy (2018).
- Global Packaging Market, 중국 생분해성 플라스틱시장 동향 (2021).
- H2KOREA, 글로벌 수소경제 현황 및 미래 발전방안, (2021).
- IEA world energy outlook 2021, Electricity generation technology costs, (2021).
- IEA, CCUS in Clean Energy Transition, (2020).
- IEA, Global Hydrogen Review, (2021).
- IEA, Net Zero by 2050, (2021)
- IET Renewable Power Generation, A Novel Coordination Scheme of Virtual Inertia Control and Digital Protection for Microgrid Dynamic Security Considering High Renewable Energy Penetration, (2019).
- IPCC, Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C, (2018).
- KEPCO Journal on Electric Power & Energy, 그린에너지 스마트인버터기술, (2021).
- KEPRI News 2021년 3월호, 에너지전환의 현재와 미래, (2021).
- Marketsandmarkets, Carbon Capture, Utilization, and Storage Market, (2020).
- Nova Institute, Bio-based Building Blocks and Polymers, (2018).
- RE100, “RE100 Annual report 2019”, (2020).
- Roskill, Rare earths: Market outlook to 2029 (19th edition), Roskill, London, (2019)
- 과기정통부(탄소중립기술특위), 탄소중립 중점기술(안), (2021)
- 관계부처 합동, 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵, (2021)
- 관계부처 합동, 제1차 수소경제 이행 기본계획, (2021).
- 국가환경산업기술정보시스템, 탄소배출권과 2050 LEDS의 기대효과 및 발전방안, (2021).

- 대외경제정책연구원, 국제사회의 탄소중립 정책 방향과 시사점, (2021).
- 대한민국정부, 대한민국 2050 탄소중립 전략, (2020).
- 딜로이트 인사이트, 우리나라 탄소중립 로드맵과 NDC 강화 전망, (2021).
- 산업통상자원부, 2050 탄소중립 에너지기술 로드맵/청정연료발전, (2021).
- 에너지경제연구원, IEA가 제시하는 2050 탄소중립 달성의 필수조건, (2021).
- 한국과학기술기획평가원, 2019년 KISTEP 미래유망기술 선정에 관한 연구, (2019).
- 한국산업기술평가관리원, 생분해성 고분자 소재 연구 및 선진연구 개발 동향, (2019).
- 한국에너지기술연구원, Climate Technology Brief – Policy insight, (2021).
- 한국화학연구원, 이산화탄소 전환 (CCU) 기술 백서, (2020).
- https://www.european-bioplastics.org/market.
- https://www.european-bioplastics.org/bioplastics.

KISTEP 이슈페이퍼 발간목록

발간호	제목	저자
2022-02 (통권 제322호)	국내외 환경변화에 따른 과학기술혁신 총괄기능 강화 방향	이정재 (KISTEP)
2022-01 (통권 제321호)	KISTEP Think 2022, 15대 과학기술혁신정책 아젠다	손병호·손석호 (KISTEP)
2021-20 (통권 제320호)	국가 R&D 기술사업화 핵심 영향요인 분석 및 시사점	황인영(KISTEP)
2021-19 (통권 제319호)	탄소중립 달성을 위한 정부 연구개발 정책 및 투자방향	한웅용, 전은진, 손영주(KISTEP)
2021-18 (통권 제318호)	유럽연합의 임무주도형 혁신정책의 특징과 시사점	강진원(KISTEP)
2021-17 (통권 제317호)	대학 기술지주회사제도 개선방안	정동덕(KISTEP)
2021-16 (통권 제316호)	규제자유특구 운영 현황 분석 및 제도 개선 제언	이재훈, 박일주(KISTEP)
2021-15 (통권 제315호)	성장동력 현황 분석 및 정책 제언 -D.N.A와 BIG3-	김진용 외(KISTEP)
2021-14 (통권 제314호)	R&D인프라의 실증 데이터 활용을 위한 주요 이슈와 정책제언	유형정, 김선재, 권정은, 이승필(KISTEP)
2021-13 (통권 제313호)	신입과학기술인의 역량 인식 차이 분석	김지홍, 주혜정(KISTEP)
2021-12 (통권 제312호)	공공 R&D 투자의 사회·경제적 파급효과 분석	엄익천(KISTEP), 황원식(전북대학교)
2021-11 (통권 제311호)	지역대학 위기와 새 정부 고등교육정책 거버넌스 방향	오세홍, 안지혜, 유지은 (KISTEP)
2021-10 (통권 제310호)	기술개발지원 지역 R&D의 효율성 개선 방향 제언	박석종(KISTEP), 염성찬
2021-09 (통권 제309호)	바이오헬스 산업 성장가속화를 위한 정부R&D의 역할 및 예산배분 전략	홍미영, 김주원(KISTEP)
2021-08 (통권 제308호)	2045년을 향한 미래사회 전망과 핵심이슈 심층분석	정의진 외(KISTEP)
2021-07 (통권 제307호)	R&D시스템의 빅체인지 연구산업진흥법 제정의 의미와 시사점	허현회 (한국연구개발서비스협회), 이장재(KISTEP)

필자 소개

▶ 이동기

- 한국과학기술기획평가원 기술예측센터 부연구위원
- T. 043-750-2561 / leedonggi@kistep.re.kr

KISTEP ISSUE PAPER 2022-03 (통권 제323호)

‖ 발행일 ‖ 2022년 3월 23일

‖ 발행처 ‖ 한국과학기술기획평가원 혁신전략연구소
충청북도 음성군 맹동면 원중로 1339
T. 043-750-2300 / F. 043-750-2680
http://www.kistep.re.kr

‖ 인쇄처 ‖ 주식회사 동진문화사(T. 02-2269-4783)